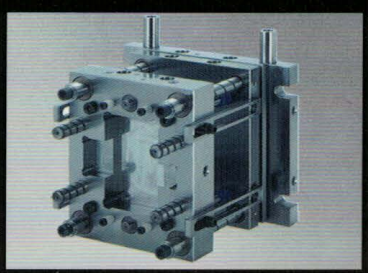
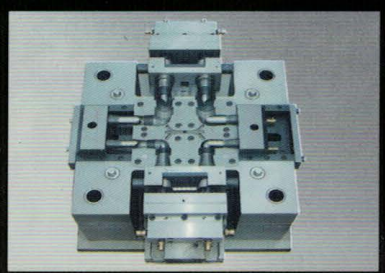
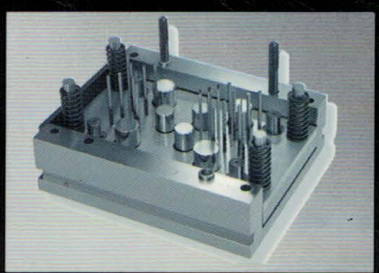
注塑模具设计

原则、要点及实例解析

付伟　陈碧龙○主编

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

注塑模具设计原则、要点及实例解析

主　编　付　伟　陈碧龙
副主编　匡唐清　赵龙志　赵明娟　龚志远
参　编　万　萌　陈　慧　张　海　罗会源
　　张小兰　周志华

机 械 工 业 出 版 社

本书系统、全面地介绍了注塑模具设计的相关知识，以及注塑模具各部分的设计要点和新技术的应用。全书包括塑料及其性能，塑料制件结构工艺，注塑模具结构与注塑机，分型面设计原则与要点，成型零件设计要点，注塑模具浇注系统设计，注塑模导向、定位机构的设计，注塑模具标准化，顶出机构，温度调节系统的设计原则与要点，抽芯机构，斜顶机构，脱螺纹机构，多板式开模控制机构，新型注塑模设计，热流道成型技术，注塑成型工艺，Moldflow 模流分析实例解析，注塑模用模具材料及热处理等内容。本书以注塑模具结构分析为重点，配有丰富的应用实例，概念清晰易懂，理论讲解深入浅出，同时还附有大量的模具结构图例和设计范例，实用性强，能开拓思路，便于自学。

本书可供高等院校、高职高专相关专业的师生作为参考书，也可供从事注塑工艺及注塑模设计、制造的工程技术人员参考使用。

图书在版编目（CIP）数据

注塑模具设计原则、要点及实例解析/付伟，陈碧龙主编. —北京：机械工业出版社，2010.7（2012.1 重印）

ISBN 978-7-111-30553-8

Ⅰ.①注… Ⅱ.①付…②陈… Ⅲ.①注塑－塑料模具－设计 Ⅳ.①TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 079256 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：周国萍 责任编辑：张淑杰

版式设计：霍永明 责任校对：陈延翔

封面设计：陈 沛 责任印制：李 妍

唐山丰电印务有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 2 次印刷

184mm×260mm · 32 印张 · 794 千字

3 001—4 000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-30553-8

定价：66.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

社 服 务 中 心：（010）88361066

销 售 一 部：（010）68326294

销 售 二 部：（010）88379649

读者购书热线：（010）88379203

网络服务

门户网：http://www.cmpbook.com

教材网：http://www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

前　言

注塑成型是塑料成型加工中的一种重要方法，热塑性塑料的注塑成型占注塑工艺的主导地位。如今各种复杂注塑结构件、功能件及特殊用途的精密件已广泛地应用到交通、运输、包装、储运、通信、建筑、家电、汽车、电子和航空航天等国民经济的所有领域，成为不可或缺的重要产品。塑料制件的结构和质量取决于注塑模的结构和质量，因此注塑模的结构设计至关重要。新型结构的使用、模流分析技术的辅助都有助于设计出高质量的注塑模。

本书以热塑性注塑模为主线，以实用和创新为特点，采取基础知识和设计技巧相结合、理论与实践相结合、图例和剖析相结合、模具设计和生产工艺相结合的方式，对典型模具结构的设计思路和动作过程进行详述，并对其优点、设计关键、可能出现的问题及相应的处理方法进行了详细剖析，具有极强的实用性。

全书由华东交通大学付伟高级实验师和圣万提注塑工业有限公司（德国）陈碧龙高级工程师担任主编，华东交通大学匡唐清博士、赵龙志博士、龚志远副教授和赵明娟讲师担任副主编，参加编写的人员还有万萌、陈慧、张海、罗会源、张小兰、周志华。在编写过程中，华东交通大学材料工程系、制造工程系和机电工程系的许多同事都对本书提供了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

全书共分为19章。其中，第1、15章由匡唐清编写，第2、4章由陈碧龙、万萌、张小兰、周志华编写，第3、19章由赵龙志编写，第6章由龚志远编写，第17章由赵明娟编写，第7章由张海编写，其余章节由付伟、陈慧、罗会源编写。

在编写过程中，李纳、陈炳辉进行了资料收集整理工作，李德英绘制了部分图片，郑美珠校对了部分书稿，在此一并表示感谢。

本书可供高等院校、高职高专相关专业的师生作为参考书，也可供从事注塑工艺及注塑模设计、制造的工程技术人员参考使用。

本书在出版过程中得到了机械工业出版社的大力支持，在此表示最诚挚的感谢。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编　者

目　录

前言

第 1 章　塑料及其性能 …… 1

1.1　塑料的特点、组成及分类 …… 1

1.1.1　塑料的特点 …… 1

1.1.2　塑料的组成 …… 2

1.1.3　塑料的分类 …… 3

1.2　塑料的性能 …… 5

1.2.1　塑料的技术性能 …… 5

1.2.2　常用热塑性塑料的使用性能 …… 7

1.2.3　常用热塑性塑料的加工性能 …… 11

1.2.4　常用热固性塑料的性能 …… 15

1.3　塑料的模塑性和可加工性 …… 17

1.3.1　塑料的流动性 …… 17

1.3.2　塑料的结晶型 …… 19

1.3.3　塑料的取向性 …… 22

1.3.4　塑料的收缩性 …… 22

1.3.5　塑料的吸湿性 …… 25

1.3.6　水敏性 …… 26

1.3.7　热敏性 …… 26

1.3.8　水分和挥发物的含量 …… 26

1.3.9　塑料的硬化性 …… 27

1.3.10　塑料的开裂性 …… 27

1.3.11　玻璃化温度 …… 28

1.3.12　流长比和型腔压力 …… 28

1.3.13　降解 …… 28

1.3.14　交联 …… 29

1.3.15　相容性 …… 29

1.4　常用塑料的简易鉴别方法 …… 31

1.4.1　常用塑料的外观鉴别法 …… 31

1.4.2　常用塑料的密度鉴别法 …… 31

1.4.3　常用塑料的燃烧鉴别法 …… 32

1.4.4　常用塑料的溶剂处理鉴别法 …… 33

1.5　塑料熔体的流动特性 …… 35

1.5.1　塑料的粘性流动行为 …… 35

1.5.2　影响塑料熔体流动的因素 …… 37

1.5.3　塑料熔体状态方程 …… 40

1.5.4　塑料熔体的弹性表现 …… 40

1.5.5　塑料熔体在圆管及狭缝中的流动分析 …… 42

第 2 章　塑料制件结构工艺 …… 46

2.1　塑件几何形状设计 …… 46

2.1.1　脱模斜度 …… 46

2.1.2　塑件的壁厚 …… 47

2.1.3　加强筋 …… 49

2.1.4　支撑面 …… 51

2.1.5　圆角 …… 51

2.1.6　孔 …… 51

2.1.7　字、符号及花纹 …… 55

2.1.8　塑料凸凹设计 …… 55

2.1.9　齿轮设计 …… 57

2.1.10　螺纹设计 …… 58

2.2　嵌件设计 …… 59

2.2.1　嵌件的类型 …… 59

2.2.2　设计注意事项 …… 60

2.3　塑件的尺寸精度及表面质量 …… 62

2.3.1　影响塑件尺寸精度的因素 …… 62

2.3.2　塑件的尺寸精度 …… 63

2.3.3　塑件的表面质量 …… 67

第 3 章　注塑模具结构与注塑机 …… 69

3.1　注塑成型原理及工艺过程 …… 69

3.1.1　注塑成型原理及其成型特点 …… 69

3.1.2　注塑成型工艺过程 …… 70

3.2　注塑模具结构 …… 71

3.2.1　注塑模具分类 …… 71

3.2.2　注塑模具基本结构及名称 …… 74

3.3　注塑模具设计 …… 78

3.3.1　注塑模具的设计与制造流程 …… 78

3.3.2　注塑模具的设计要点及注意事项 …… 80

3.4　注塑机的组成及分类 …… 81

3.4.1　注塑机的组成结构 …… 81

3.4.2　注塑机的工作过程 …… 82

3.4.3　注塑机的类型 …… 83

3.4.4　注塑机的规格及其表示方法 …… 84

3.5　注塑机的基本参数 …… 85
3.5.1　注塑量 …… 85
3.5.2　注塑压力 …… 85
3.5.3　合模力与合模装置 …… 86
3.5.4　开、合模速度 …… 87
3.5.5　空循环时间 …… 87
3.6　注塑机的主要装置与机构 …… 87
3.6.1　预塑装置 …… 87
3.6.2　注塑装置 …… 91
3.6.3　合模装置 …… 94
3.6.4　调模装置 …… 96
3.6.5　顶出装置 …… 97
3.6.6　加热/冷却装置 …… 97
3.6.7　其他机构 …… 97
3.7　注塑模与注塑机的关系 …… 98
3.7.1　注塑量的校核 …… 98
3.7.2　锁模力的校核 …… 99
3.7.3　最大注塑压力的校核 …… 99
3.7.4　注塑机安装模具部分尺寸校核 …… 99
3.7.5　开模行程的校核 …… 101
3.7.6　顶出装置的校核 …… 102
3.7.7　注塑机性能参数校核与型腔数量的确定 …… 103
第4章　分型面设计原则与要点 …… 104
4.1　分型面的定义 …… 104
4.2　分型面的基本形式 …… 104
4.3　分型面设计原则 …… 107
4.4　分型面设计要点 …… 110
4.4.1　碰穿、插穿及枕位分型面设计要点 …… 110
4.4.2　滑块分型面设计要点 …… 111
4.4.3　斜顶分型面设计要点 …… 112
4.4.4　直顶分型面设计要点 …… 114
第5章　成型零件设计要点 …… 115
5.1　整体结构设计要点 …… 115
5.1.1　整体结构的优缺点 …… 115
5.1.2　整体结构的结构形式 …… 115
5.2　镶拼结构设计要点 …… 116
5.2.1　镶拼结构的优点 …… 116
5.2.2　镶拼结构的缺点 …… 118
5.3　成型零件的固定形式与要求 …… 119
5.4　圆形型芯的设计要点 …… 121
5.5　成型零件固定尺寸的确定 …… 123
5.6　成型零件的设计实例 …… 124
第6章　注塑模具浇注系统设计 …… 128
6.1　概述 …… 128
6.1.1　浇注系统的组成及作用 …… 128
6.1.2　浇注系统的设计原则 …… 129
6.2　主流道设计 …… 129
6.2.1　直浇型主流道 …… 130
6.2.2　斜浇型主流道 133
6.2.3　横浇型主流道 …… 134
6.3　分流道设计 …… 135
6.3.1　分流道的设计要点 135
6.3.2　分流道的截面形状 …… 136
6.3.3　分流道的平衡和模腔的布置 …… 138
6.4　注塑模具浇口设计 …… 142
6.4.1　浇口的作用 …… 142
6.4.2　浇口的形式和特点 …… 143
6.4.3　浇口的设计要点 …… 152
6.5　冷料穴和拉料杆 …… 157
6.5.1　底部带推杆的冷料穴 …… 157
6.5.2　底部带拉料杆的冷料穴 …… 158
6.6　排气系统 …… 158
6.6.1　概述 …… 158
6.6.2　排气槽的设计要点 …… 159
6.6.3　排气方式与设计方法 …… 160
第7章　注塑模导向、定位机构的设计 …… 162
7.1　导向机构的作用 …… 162
7.2　导向机构设计 …… 162
7.2.1　导柱设计 …… 162
7.2.2　导套设计 …… 164
7.2.3　安装方法 …… 164
7.2.4　导柱布置 …… 165
7.2.5　导柱和导套的设计要点 …… 165
7.3　定位机构设计 …… 166
第8章　注塑模具标准化 …… 167
8.1　模具标准化的意义 …… 167
8.2　注塑模具目前实行的标准 …… 167
8.3　注塑模零件 …… 168
8.3.1　推杆 …… 168
8.3.2　直导套 …… 169
8.3.3　带头导套 …… 170
8.3.4　带头导柱 …… 171

8.3.5 带肩导柱 …… 172
8.3.6 垫块 …… 174
8.3.7 推板 …… 175
8.3.8 模板 …… 176
8.3.9 限位钉 …… 178
8.3.10 支承柱 …… 179
8.3.11 圆形定位元件 …… 180
8.3.12 推板导套 …… 181
8.3.13 复位杆 …… 181
8.3.14 推板导柱 …… 182
8.3.15 扁推杆 …… 183
8.3.16 带肩推杆 …… 184
8.3.17 推管 …… 185
8.3.18 定位圈 …… 186
8.3.19 浇口套 …… 186
8.3.20 拉杆导柱 …… 187
8.3.21 矩形定位元件 …… 188
8.3.22 圆形拉模扣 …… 189
8.3.23 矩形拉模扣 …… 190
8.4 注塑模模架 …… 190
8.4.1 模架组成零件的名称 …… 190
8.4.2 模架的主要结构形式和名称 …… 190
8.4.3 基本型模架组合尺寸 …… 197
8.4.4 导向件与螺钉的安装形式 …… 205
8.4.5 模架的标记方法 …… 207
第 9 章 顶出机构 …… 208
9.1 顶出机构的设计原则 …… 208
9.2 顶出机构的设计要点 …… 208
9.3 机械顶出机构方式 …… 211
9.3.1 动模一次顶出机构 …… 211
9.3.2 动模二次顶出机构 …… 213
9.3.3 定模顶出机构 …… 219
9.3.4 滑块顶出机构 …… 220
9.3.5 制品留模不定时的顶出方式 …… 221
9.3.6 流道顶出机构 …… 222
9.4 液压顶出机构方式 …… 223
9.5 气压顶出机构方式 …… 224
第 10 章 温度调节系统的设计原则与要点 …… 225
10.1 温度调节系统的重要性 …… 225
10.2 温度调节系统的设计原则 …… 226
10.3 温度调节系统的设计要点 …… 227
10.4 冷却系统的设计 …… 230
10.5 冷却系统设计实例 …… 233
10.5.1 与流道相关的冷却通道设计 …… 233
10.5.2 型腔、型芯的冷却通道设计 …… 233
10.5.3 滑块的冷却通道设计 …… 236
10.6 加热系统 …… 236
10.7 模具温度调节系统的外围设施 …… 238
第 11 章 抽芯机构 …… 239
11.1 抽芯机构的组成和分类 …… 239
11.1.1 抽芯机构的组成 …… 239
11.1.2 侧向抽芯机构的分类及特点 …… 239
11.2 抽芯机构的设计要点 …… 240
11.2.1 模具抽芯自锁 …… 240
11.2.2 抽拔力的计算 …… 241
11.2.3 抽芯距离的计算 …… 242
11.3 手动抽芯机构 …… 243
11.3.1 模内手动抽芯机构 …… 243
11.3.2 模外手动抽芯机构 …… 244
11.4 弹簧抽芯机构 …… 245
11.5 斜导柱抽芯机构 …… 248
11.5.1 斜导柱抽芯机构的设计要点 …… 249
11.5.2 斜导柱抽芯机构的实例解析 …… 259
11.6 弯销抽芯机构 …… 265
11.6.1 弯销抽芯机构的设计要点 …… 265
11.6.2 弯销抽芯机构的实例解析 …… 266
11.7 斜滑块抽芯机构 …… 270
11.7.1 斜滑块抽芯机构的设计要点 …… 270
11.7.2 斜滑块抽芯机构的实例解析 …… 274
11.8 齿轮齿条抽芯机构 …… 274
11.8.1 齿轮齿条抽芯机构的设计要点 … 274
11.8.2 齿轮齿条抽芯机构的实例解析 … 276
11.9 液压抽芯机构 …… 277
11.9.1 液压抽芯机构的设计要点 …… 277
11.9.2 液压缸抽芯的应用实例 …… 279
11.10 圆弧抽芯机构的实例解析 …… 281
11.11 带顶出系统的抽芯机构 …… 282
11.12 转换抽芯机构 …… 283
11.12.1 转换抽芯机构的设计要点 …… 283
11.12.2 转换抽芯机构的实例解析 …… 284
11.13 延迟抽芯机构 …… 284
11.14 联合抽芯机构 …… 286
11.15 内缩式抽芯机构 …… 286
11.15.1 内缩机构的设计要点 …… 287

11.15.2　内缩机构的模具设计 …… 287
第 12 章　斜顶机构 …… 289
12.1　概述 …… 289
12.2　斜顶的设计要点 …… 291
12.3　动模斜顶 …… 292
12.3.1　同步顶出斜顶 …… 292
12.3.2　超前顶出斜顶 …… 296
12.3.3　滞后顶出斜顶 …… 297
12.4　定模斜顶 …… 298
12.5　滑块斜顶 …… 299
第 13 章　脱螺纹机构 …… 301
13.1　脱螺纹机构的分类 …… 301
13.2　脱螺纹的原理 …… 301
13.3　脱螺纹机构的基础知识 …… 302
13.3.1　螺纹的要素 …… 302
13.3.2　齿轮 …… 304
13.3.3　链轮 …… 306
13.3.4　键 …… 306
13.3.5　轴承 …… 307
13.3.6　轴向定位和固定零件 …… 307
13.3.7　弹簧 …… 308
13.4　螺纹制品设计 …… 308
13.5　螺纹抽芯机构的实例解析 …… 310
13.6　强制脱螺纹机构的实例解析 …… 312
13.7　回转式脱螺纹机构的实例解析 …… 313
13.7.1　手动脱螺纹机构 …… 313
13.7.2　动模脱螺纹机构 …… 313
13.7.3　定模脱螺纹机构 …… 317
13.7.4　滑块脱螺纹机构 …… 318
13.8　大导程脱螺纹机构 …… 319
13.9　脱螺纹机构排布 …… 319
13.10　脱螺纹机构动力源 …… 321
第 14 章　多板式开模控制机构 …… 322
14.1　概述 …… 322
14.2　二板式注塑模 …… 322
14.3　三板式注塑模 …… 324
14.4　四板式注塑模 …… 326
14.5　五板式注塑模 …… 328
14.6　开模控制机构 …… 329
第 15 章　新型注塑模设计 …… 334
15.1　双色模 …… 334
15.1.1　双色模的特点及应用 …… 334
15.1.2　双色模的设计要点 …… 336
15.1.3　双色模设计实例 …… 337
15.2　气体辅助注塑 …… 338
15.2.1　气体辅助注塑原理 …… 338
15.2.2　气体辅助注塑的分类与工艺过程 …… 340
15.2.3　气体辅助注塑的特点与应用 …… 342
15.2.4　气体辅助注塑系统 …… 345
15.2.5　气体辅助注塑件的设计要点 …… 345
15.2.6　气体辅助注塑模的设计要点 …… 347
15.3　水辅助注塑 …… 349
15.3.1　水辅助注塑原理 …… 349
15.3.2　水辅助注塑的分类与工艺过程 … 349
15.3.3　水辅助注塑的特点与应用 …… 351
15.3.4　水辅助注塑系统 …… 353
15.3.5　水辅助注塑模的设计要点 …… 354
15.4　低发泡注塑成型 …… 354
15.4.1　低发泡注塑方法 …… 355
15.4.2　低发泡注塑的工艺参数 …… 357
15.4.3　低发泡注塑模具的设计要点 …… 358
15.5　熔芯注塑成型 …… 359
15.5.1　熔芯注塑原理与过程 …… 359
15.5.2　熔芯注塑的特点与应用 …… 360
15.5.3　熔芯注塑的工艺参数 …… 361
15.5.4　熔芯注塑模具的设计要点 …… 362
第 16 章　热流道成型技术 …… 364
16.1　热流道成型原理 …… 364
16.2　热流道成型技术的优缺点 …… 364
16.2.1　热流道成型技术的优点 …… 364
16.2.2　热流道成型技术的缺点 …… 366
16.3　热流道基础知识 …… 366
16.3.1　流动特性、粘性、压力损失 …… 366
16.3.2　降解反应 …… 367
16.3.3　加工温度范围 …… 368
16.3.4　塑料熔体的热性能 …… 370
16.3.5　塑料熔体的压缩和收缩 …… 371
16.3.6　热传递 …… 372
16.3.7　热膨胀 …… 372
16.4　绝热流道系统 …… 373
16.5　加热流道系统 …… 376
16.5.1　加热流道系统的类型 …… 376
16.5.2　热流道系统的组成 …… 376
16.5.3　喷嘴 …… 377

16.5.4 流道板 …… 382
16.5.5 热流道成型控制 …… 385
16.5.6 热流道接线方式 …… 386
16.6 热流道系统设计实例 …… 387
16.7 热流道模具的操作失误和典型制品缺陷 …… 389
16.8 热流道模具的应用范围及发展趋势 … 392
16.9 世界上主要的热流道生产商 …… 394
第 17 章 注塑成型工艺 …… 395
17.1 注塑成型工艺过程 …… 395
17.1.1 成型前的准备 …… 395
17.1.2 注塑过程 …… 398
17.1.3 制件的后处理 …… 402
17.2 注塑成型工艺参数的设定 …… 403
17.2.1 注塑温度 …… 403
17.2.2 注塑压力 …… 407
17.2.3 注塑时间 …… 411
17.2.4 成型周期 …… 412
17.3 注塑成型制品的成型收缩 …… 412
17.3.1 产生成型收缩的原因 …… 412
17.3.2 成型收缩对质量的影响 …… 413
17.3.3 减小成型收缩的途径 …… 413
17.3.4 成型收缩率的计算 …… 414
17.4 常用塑料的注塑成型工艺 …… 415
17.4.1 聚乙烯（PE） …… 415
17.4.2 聚丙烯（PP） …… 417
17.4.3 聚苯乙烯（PS） …… 418
17.4.4 ABS（丙烯腈、丁二烯、苯乙烯共聚物） …… 419
17.4.5 聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA） … 420
17.4.6 聚氯乙烯（PVC） …… 420
17.4.7 聚酰胺（PA） …… 421
17.4.8 聚甲醛（POM） …… 423
17.4.9 聚碳酸酯（PC） …… 424
17.5 注塑成型制品的缺陷类型、原因分析及解决方法 …… 425
17.5.1 充填不足 …… 425
17.5.2 翘曲变形 …… 427
17.5.3 熔接痕 …… 428
17.5.4 波流痕 …… 429
17.5.5 飞边 …… 429
17.5.6 银丝纹 …… 430
17.5.7 色泽不均 …… 431
17.5.8 表面光泽不良 …… 432
17.5.9 顶出不良 …… 432
17.5.10 裂纹及破裂 …… 433
17.5.11 暗斑 …… 434
17.5.12 尺寸不准 …… 434
17.5.13 气泡及暗泡 …… 435
17.5.14 表面混浊 …… 436
17.5.15 凹陷 …… 436
17.5.16 冷料僵块 …… 437
17.5.17 顶白 …… 438
17.5.18 白点 …… 438
17.5.19 强度下降 …… 439
17.6 热塑性塑料的工艺性能 …… 439
第 18 章 Moldflow 模流分析实例解析 … 443
18.1 概述 …… 443
18.1.1 Moldflow 产生的背景 …… 443
18.1.2 CAE 基本功能 …… 443
18.1.3 应用范围 …… 444
18.1.4 注塑模 CAE 技术的发展概况 …… 445
18.1.5 注塑模 CAE 专用软件 …… 448
18.2 Moldflow 模具分析应用实例 …… 452
18.2.1 浇口位置分析 …… 452
18.2.2 填充分析 …… 455
18.2.3 流动分析 …… 457
18.2.4 冷却分析 …… 462
18.2.5 翘曲分析 …… 466
18.2.6 优化模具设计 …… 468
第 19 章 注塑模用模具材料及热处理 …… 470
19.1 注塑模具常用材料的分类 …… 470
19.1.1 模具钢 …… 470
19.1.2 铝合金 …… 475
19.1.3 铜合金 …… 476
19.1.4 锌合金 …… 476
19.2 模具钢的基本要求 …… 477
19.2.1 强度与硬度 …… 477
19.2.2 韧性 …… 478
19.2.3 耐磨性 …… 478
19.2.4 导热性与耐热性 …… 479
19.2.5 尺寸稳定性 …… 480
19.2.6 失效形式 …… 480
19.3 模具材料的可加工性能 …… 482

19.3.1　切削性能 …… 482
19.3.2　电加工性能 …… 483
19.3.3　热加工性能 …… 483
19.3.4　冷加工性能 …… 484
19.3.5　热处理性能 …… 484
19.4　模具选材方法 …… 485
19.5　模具常用钢材及热处理 …… 489
19.5.1　碳素结构钢 …… 490
19.5.2　合金结构钢 …… 491
19.5.3　碳素工具钢 …… 491
19.5.4　合金工具钢 …… 491
19.5.5　高速工具钢 …… 492
19.5.6　热作模具钢 …… 493
19.5.7　时效硬化型塑料模具钢 …… 493
19.5.8　渗碳钢、渗氮钢 …… 495
19.6　塑料模具的制造工艺路线 …… 498
19.7　塑料模具钢的热处理特点 …… 498
19.8　影响模具钢选择的重要因素 …… 499
19.9　模具常用非铁金属材料 …… 499
参考文献 …… 501

第 1 章　塑料及其性能

1.1　塑料的特点、组成及分类

1.1.1　塑料的特点

塑料是以树脂为主要成分的高分子材料，在一定的温度和压力条件下具有流动性，可以被模塑成型为一定的几何形状和尺寸，并在成型固化后保持其既得形状不发生变化。

树脂可分为天然树脂和人造树脂，后者又称合成树脂。合成树脂是以煤、电石、石油、天然气以及一些农副产品为主要原料，先制得具有一定合成条件的低分子化合物（单体），进而通过化学、物理等方法合成而得到高分子化合物，化学上也常将它们称为聚合物或高聚物。聚合物虽然是塑料的主要成分，但是单纯的聚合物性能往往不能满足成型生产中的工艺要求和成型后的使用要求，欲要克服这一缺陷，必须在聚合物中添加一定数量的助剂，并通过这些助剂来改善聚合物的性能。例如，添加增塑剂可以改善聚合物的流动性能和成型性能；添加增强剂可以提高聚合物的强度等。因此，可以认为塑料是一种由聚合物和某些助剂结合而成的高分子化合物。

作为日常用品，塑料的用途已经广为人知。由于它们具有一些特殊的优点，因此在工业中的应用也已经非常普遍。

1. 塑料的优点

（1）密度小、质量轻　塑料一般都比较轻，其密度在 0.83 ~ 2.3g/cm^3 范围内，只有钢铁的 1/7 ~ 1/4、铝的 1/2。这对减轻机械设备的质量是非常有利的，尤其是对要求减轻自重的车辆、船舶、飞机、火箭、导弹、人造卫星和其他尖端技术，具有更重要的意义。

（2）比强度、比刚度高　通常情况下塑料的强度都低于金属，但各种增强塑料的力学性能却可以与金属相比。由于其密度远小于金属，因此其比强度（即强度/密度）、比刚度（即刚度/密度）与金属相当，甚至远比金属高。在空间技术领域，塑料的这一特性具有非常重要的意义。

（3）化学稳定性好　塑料的耐化学腐蚀性优于金属，对酸、碱等化学药品具有良好的耐腐蚀能力。其中塑料王聚四氟乙烯塑料的化学稳定性最高，连王水对其也无可奈何。因此，塑料在化工设备及其防腐设备中广泛应用。最常见的硬质聚氯乙烯管道与容器被广泛用于防腐领域及建筑给水、排水工程中。

（4）电绝缘性优异，介电损耗小　塑料是电的不良导体，其电绝缘性优良，介质常数较低，介电损耗很小，可与陶瓷和橡胶媲美。因此许多塑料成为不可或缺的高频材料，被广泛地用于电力、电机和电子工业中做绝缘材料和结构零件，如电线电缆、旋钮插座和电器外壳等。

（5）减摩、耐磨和自润滑性好　大部分塑料的摩擦系数都很小，可用作减摩、耐磨材料，有的甚至能在无润滑剂的情况下有效工作，自润滑性能良好。适宜在有磨粒或杂质存在

的恶劣条件下做摩擦材料。加上比强度高，传动噪声小，可以制成齿轮、凸轮和滑轮等机器零件，例如纺织机中许多铸铁齿轮已被塑料齿轮取代。还可粘贴或喷涂机床金属导轨（用尼龙1010），制造刹车块（石棉酚醛塑料）等。

（6）消声和隔热性优良　塑料具有优良的消声、隔热性能。用塑料制成的传动摩擦件能减少噪声，降低振动，改善劳动条件。尤其是泡沫塑料，常常用来作隔音、隔热或保温材料。

（7）成型及着色性能好　塑料在一定的条件下具有良好的可塑性，这为其成型加工创造了的条件。塑料的着色比较容易，而且着色范围广，可根据需要染成各种颜色。此外，有些如有机玻璃、聚苯乙烯、聚碳酸酯等均有良好的光学透明性。

（8）多种防护性能　除防腐外，塑料还具有防水、防潮、防透气、防振和防辐射等多种防护性能。尤其经改性后，优点更多，应用更为广泛。

2. 塑料的缺点

塑料虽然具有以上诸多优点和广泛的用途，但它们还有一些比较严重的缺点至今未能克服。

1）刚性差，不耐压。在载荷作用下，塑料会缓慢地产生粘性流动或变形，即蠕变现象。

2）耐热性差。大多只能在100℃左右使用，仅有少数品种在200℃上下使用。

3）热胀系数大、易老化、易燃烧。

4）制品精度较低。塑料的成型性能虽好，但因受成型工艺的影响，收缩率难以控制，制品的尺寸精度较低。

1.1.2　塑料的组成

塑料一般由树脂和添加剂（助剂）组成。

树脂决定了塑料的主要物理化学性能、加工性能和物理力学性能。塑料可以是纯的树脂(如有机玻璃就是由聚甲基丙烯酸甲酯组成)，也可以是加有各种添加剂的混合物。加入添加剂的目的主要是为了改善纯树脂的物理力学性能和加工性能、提高使用效能或节约树脂、降低成本。添加剂在塑料用料中所占比例较少，但对塑料制品的质量却有很大影响。不同种类的塑料，因成型加工方法以及使用条件不同，所需助剂的种类和用量也不同。塑料的组成成分及其作用如表1-1所示。

表1-1　塑料的组成成分及其作用

组　分		作用说明
树脂		塑料的基本组分，也是最重要的组分，在多组分塑料中约占40%～70%，在单组分塑料中树脂几乎达100%。树脂不仅起着胶结其他组分的作用，而且决定了塑料的类型和主要性能，如机械强度、硬度、耐老化性、弹性、化学稳定性及光电性等
添加剂	填充剂	填充剂又称填料，是塑料中的另一个重要组分，约占40%～70% 加入的目的是为了改善塑料的强度、硬度、冲击韧度、电绝缘性、耐热性及收缩率等性能，扩大使用范围，或只为降低成本等 常用的填料有木粉、滑石粉、硅藻土、石灰石粉、铝粉、炭黑、云母、二硫化钼、石棉、纸张、玻璃纤维等。其中纤维填料可提高塑料的结构强度；石棉填料可改善塑料的耐热性；云母填料能增强塑料的电绝缘性；石墨、二硫化钼填料可改善塑料的摩擦和耐磨性能等

（续）

组　分		作 用 说 明
添加剂	增塑剂	增塑剂能增加塑料的柔软性、延伸性及可塑性，降低塑料流动温度、脆化温度和硬度，有利于塑料制品的成型。增塑剂应与树脂有较好的相溶性，无色、无味、无毒，挥发性小，不燃，化学稳定性好，对光、热稳定 常用的增塑剂是具有低气压液体或低熔点固体的有机物，主要为酯类和酮类。如邻苯二甲酸酯类、癸二酸酯类、磷酸二辛酯、磷酸二甲苯酯、己二酸酯、二苯甲酮、氯化石蜡及樟脑等
	稳定剂	用于阻止或减缓塑料制品在成型加工和使用过程中因受热、光、氧、射线或其他因素的作用而降解、氧化断链、交联以致产品褪色、脆化、裂开的老化现象的发生，稳定塑料制品的质量，延长使用寿命。通常都要求稳定剂能与树脂互溶，且成型时不会分解，不与其他添加剂发生化学反应，在使用环境中稳定，挥发小，无色 常用的稳定剂有抗氧剂（酚类化合物等）、光屏蔽剂（炭黑等）、紫外线吸收剂（2－羟基二苯甲酮、水杨酸苯酯等）和热稳定剂（硬脂酸铝、三盐基亚磷酸铅等） 当今性能最优秀的塑料稳定剂是甲基锡热稳定剂（简称 181），对硬质聚氯乙烯（PVC）的成型非常有效；又由于它安全性高，所以特别用于食品包装和高清晰度的硬质聚乙烯制品；因其无毒又成为广泛取代其他高毒性的塑料热稳定剂。在美国、欧洲和日本得到了广泛的应用，在我国近几年也开始大量应用
	着色剂	用于使塑料具有一定的色泽且美观鲜艳。塑料制品中约有 80% 是经过着色后制成最终制品的。一般要求着色剂的性质稳定，耐热、耐光，不易变色，着色力强，色泽鲜艳，与塑料结合牢靠 着色剂按其在着色介质中的溶解性分为有机染料和无机颜料。染料可溶于被着色的树脂中，制件透明；颜料不溶于被着色介质，制品半透明或不透明。颜料不仅对塑料具有着色性，同时兼有填料和稳定剂的作用
	固化剂	固化剂又称硬化剂或熟化剂。其主要作用是在高聚物分子间生成横跨键，使大分子交联，从而使某些合成树脂的线型结构交联成体型结构，从而使树脂具有热固性 不同品种的树脂应采用不同品种的固化剂。酚醛树脂常用六亚甲基四胺；环氧树脂常用胺类、酚酐类和高分子类；聚酯树脂常用过氧化物等
	润滑剂	润滑剂又称脱模剂，能防止塑料在成型过程中粘附模具或设备，以使制品易于脱模，且表面光洁 常用的润滑剂有硬脂酸及其盐类、石蜡和合成蜡等，其用量为 0.5% ~1.5%
	其他	增强材料——提高塑料制品的强度和刚性 最常用的增强材料有玻璃纤维、石棉、石英、炭黑、硅酸盐、碳酸钙、金属氧化物等
		阻燃剂——增加塑料的耐燃性，或能使之自熄 常用的阻燃剂有氧化锑及铝、硼的化合物，卤化物和各类磷酸酯、四氯苯二甲酸酐、四溴苯二甲
		抗静电剂——消除或减少塑料在加工和使用中因摩擦而产生的静电，保证生产操作安全，并使塑料表面不易吸尘。抗静电剂大多数是电解质，它们与合成树脂的相溶性有限，这样可以迁移至塑料表面，从而达到吸潮和消除静电的作用 常用的有长链脂族胺类、酰胺类等
		发泡剂——一定温度下可以汽化或者受热时会分解出气体，主要用于制备泡沫塑料，使之产生泡沫结构 常用的有二氯二氟甲烷偶氮二甲酰胺和偶氮苯胺等
		导电剂、导磁剂等

1.1.3　塑料的分类

塑料的品种很多，分类方法也很多，如表 1-2 所示。

表 1-2　塑料的分类

分类方法	类　别		特　　点	举　　例
按受热时特征分	热塑性塑料		受热后发生物理变化，由固体软化或熔化成粘流体状态，但冷却后又可变硬而成固体，且过程可多次反复，塑料本身的分子结构则不发生变化 加工成型简便，具有较高的力学性能，但耐热性和刚性比较差 应用广泛，可再生利用	聚氯乙烯（PVC）、聚苯乙烯（PS）、聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）、尼龙（PA）、聚甲醛（POM）、聚碳酸酯（PC）、ABS 塑料、聚苯醚（PPO）、聚砜（PSF）、氟塑料、聚酯和有机玻璃（PMMA）等
	热固性塑料		在一定温度下，经一定时间的加热、加压或加入硬化剂后，发生化学反应而硬化。硬化后塑料的化学结构发生变化、质地坚硬、不溶于溶剂、加热也不再软化，如果温度过高则会分解。具有耐热性高，受压不易变形等优点，但力学性能不好 目前主要作为低压挤塑封装电子元件及浇注成型等用	酚醛、环氧、氨基、不饱和聚酯、呋喃、聚邻苯二甲酸二丙烯酯和聚硅醚树脂等
按用途和特性分	通用塑料		产量大（约占塑料总产量的四分之三以上）、价格低、应用范围广。性能一般，只可作为一般非结构性材料使用，多用于制作日用品	6 大通用塑料：聚乙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯、酚醛塑料和氨基塑料等
	工程塑料	通用工程塑料	综合工程性能（包括力学性能、耐热耐寒性能、耐蚀性和绝缘性能等）良好。一般可以部分代替金属材料作为承载结构件，高温环境下的耐热件和承载件，高温、潮湿、大范围变频条件下的介电制品和绝缘用品 产量较少，价格也较昂贵，用途范围相对狭窄	7 大工程塑料：ABS、聚碳酸酯（PC）、聚甲醛（POM）、聚酰胺（尼龙 PA）、PET、PBT、聚苯醚（PPO） 聚砜、聚四氟乙烯、热塑性聚酯、氯化聚醚、聚醚醚酮、超高相对分子质量聚乙烯、环氧塑料和不饱和聚酯等
		特种工程塑料	特种工程塑料又称功能塑料，具有某种特殊功能，适于某种特殊用途，例如用于导电、压电、热电、导磁、感光、防辐射、光导纤维、液晶及高分子分离膜，并专用于摩擦磨损用途等塑料，还包括为某些专门用途而改性制得的塑料	聚砜、聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚芳酯、聚苯酯、聚醚酮、氟塑料、有机硅橡胶以及环氧塑料等 导磁塑料、导电塑料、光敏树脂等
	耐高温塑料		耐热性好，大都可以在 150℃以上工作，有的还可在 200～250℃下长期工作，但一般价格较高，产量较小，应用范围不广	聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、有机硅树脂、环氧树脂、聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚苯并咪唑、聚二苯醚、芳香尼龙、聚香砜等
按塑料中树脂大分子的有序状态分	无定形塑料		树脂大分子链呈现无规则的随机排列。在纯树脂状态，这种塑料是透明的 力学特性表现为各向同性	ABS、PC、PVC、PS、PMMA、EVA、AS 等
	结晶型塑料		从熔融状态冷却变为制品过程中，树脂的分子链能够有序地紧密堆砌产生结晶结构。无完全结晶型塑料，都是半结晶的，呈现出无定形相与结晶相共存的状态 结晶结构只存在于热塑性塑料中	PE、PP、PA、POM、PET、PBT 等
按塑料的透光性分	透明塑料		透光率在 88% 以上	PMMA、PS、PC、Z－聚酯等
	半透明塑料		透光但透光率在 88% 以下	PP、PVC、PE、AS、PET、MBS、PSF
	不透明塑料		不透光	POM、PA、ABS、HIPS、PPO 等

（续）

分类方法	类　别	特　　点	举　　例
按塑料的硬度分	硬质塑料	拉伸弹性模量在 700MPa 以上	ABS、POM、PS、PMMA、PC、PET、PBT、PPO 等
	半硬质塑料	拉伸弹性模量在 70～700MPa 之间	PP、PE、PA、PVC 等
	软质塑料	拉伸弹性模量在 70MPa 以下	软 PVC、苯乙烯－丁二烯共聚物、TPE、TPR、EVA、TPU 等
按树脂合成方法分	聚合型塑料	由聚合反应制得。这种树脂一般是由含不饱和键（主要是双键）的单体借双键打开相互连接成庞大分子，并且基本化学组成不发生变化，反应过程中无低分子产物释出 聚合型塑料都是热塑性塑料	聚烯烃、聚卤代烯烃、聚苯乙烯、聚甲醛、丙烯酸类塑料等
	缩聚型塑料	由缩聚反应制得。这种树脂一般是由含有某种官能团（一般最少含有两个官能团）的单体，借官能团之间的反应使两个或两个以上的单体连接起来而形成的、与原来的分子完全不同的化学反应物，化合时还会生成水或其他简单物质	酚醛塑料、氨基塑料、有机硅塑料等

1.2　塑料的性能

塑料的性能包含技术性能、使用性能和加工性能。

1.2.1　塑料的技术性能

塑料的技术性能包括物理性能、热性能、力学性能、电气性能和化学性能等。这些性能都可以用一定的指标衡量并可以用一定的实验方法加以测定。

常用热塑性塑料的技术性能如表 1-3 所示。

表 1-3　常用热塑性塑料的技术性能

性能名称		聚氯乙烯（PVC）		聚乙烯（PE）		聚丙烯（PP）	聚苯乙烯（PS）	丙烯腈－丁二烯－苯乙烯（ABS）
		硬　质	软　质	高密度	低密度			
物理性能	密度/(g/cm^3)	1.30～1.58	1.16～1.35	0.94～0.97	0.91～0.925	0.90～0.91	1.04～1.10	1.03～1.06
	吸水率（%）	0.07～0.4	0.5～1.0	<0.01	<0.01	0.03～0.04	0.03～0.30	0.2～0.25
	折射率 n_0	—	—	—	—	—	1.59	—
	透光率（%）	—	—	—	—	—	88	—
	摩擦系数	—	—	0.21	—	—	—	—
	磨损量/mg	—	—	—	—	19	—	22

（续）

性能名称		聚氯乙烯（PVC）		聚乙烯（PE）		聚丙烯（PP）	聚苯乙烯（PS）	丙烯腈－丁二烯－苯乙烯（ABS）
		硬　质	软　质	高密度	低密度			
力学性能	抗拉强度/MPa	45～50	10～25	21～38	3.9～15.7	35～40	50～60	21～63
	弹性模量/GPa	3.3	—	0.4～1.03	0.12～0.24	1.1～1.6	2.8～4.2	1.8～2.9
	断后伸长率（%）	20～40	100～450	200～100	90～800	200	1.0～3.7	23～60
	抗压强度/MPa	—	—	18.6～24.5	—	—	—	18～70
	弯曲强度/MPa	80～90	—	—	—	42～56	69～80	62～97
	冲击韧度（悬臂梁，缺口）/(J/m^2)	30～40kJ/m^2（简支梁，无缺口）	—	80～1067	853.4	10～100	10～80	123～454
	硬　度	14～17HBW	50～75HA	60～70HD	41～50HD	50～102HRR	65～80HRM	62～121HRR
热性能	比热容/[kJ/（kg·K）]	1.05～1.47	1.26～2.1	2.3	—	1.93	1.4	1.26～1.67
	线胀系数/($\times10^{-5}$/K)	5～6	7～25	11～13	16～18	10.8～11.2	3.6～8.0	5.8～8.5
	热导率/[W/（m·K）]	0.15～0.21	0.13～0.17	0.46～0.52	0.35	0.1～0.21	0.1～0.14	0.19～0.33
	热变形温度/℃ 1.82MPa	54～79	—	43～54	—	52～60	79～99	87～99
	热变形温度/℃ 0.46MPa	57～82	—	60～88	38～49	85～110	—	99～107
	最高使用温度（无载荷）/℃	66～79	60～79	79～121	82～100	88～116	60～79	66～99
	连续耐热温度/℃	—	—	85	—	—	—	130～190
电性能	表面电阻率/(Ω/m^2)	—	—	—	—	—	—	—
	体积电阻率/(Ω·cm)	10^{11}～10^{16}以上		10^{16}		$>10^{16}$	$>10^{16}$	10^{13}～10^{16}
	相对介电常数（工频）	2～3		2.5（10^6Hz）		—	—	2.4～5.0
	介质损耗角正切（工频）	0.08～0.15		0.0002～0.0005		0.0005	0.0001～0.002	0.003～0.11
	介质强度/(kV/mm)	20～35		26～28		30	25	—
	耐电弧性/s	60～80		135～160		—	—	—

性能名称		聚甲基丙烯酸甲酯（有机玻璃 PMMA）	聚酰胺（尼龙 PA）			热塑性聚酯		聚四氟乙烯（PTFE）
			PA—66	PA—616	PA—1010	聚对苯二甲酸乙二（醇）酯（PETP）	聚对苯二甲酸丁二（醇）酯（PBTP）	
物理性能	密度/(g/cm^3)	1.17～1.2	1.14～1.15	1.07～1.09	1.04～1.07	1.37～1.38	1.30～1.55	2.1～2.2
	吸水率（%）	0.2～0.4	1.5	0.5	0.39	0.08～0.09	0.03～0.09	0.01～0.02
	折射率 n_0	1.49	—	—	1.566	—	—	—
	透光率（%）	92～94	—	—	85～90	—	—	—
	摩擦系数	—	0.15～0.4	—	—	—	—	0.04
	磨损量/mg	—	12	—	—	—	—	14

（续）

性能名称			聚甲基丙烯酸甲酯（有机玻璃 PMMA）	聚酰胺（尼龙 PA）			热塑性聚酯		聚四氟乙烯（PTFE）
				PA—66	PA—616	PA—1010	聚对苯二甲酸乙二（醇）酯（PETP）	聚对苯二甲酸丁二（醇）酯（PBTP）	
力学性能	抗拉强度/MPa		50～77	57～83	47～60	52～55	57	52.5～65	14～25
	弹性模量/GPa		2.4～3.5	—	—	1.6	2.8～2.9	2.6	0.4
	断后伸长率（%）		2～7	40～270	100～240	100～250	50～300	—	250～500
	抗压强度/MPa		—	90～120	70～90	65	—	—	—
	弯曲强度/MPa		84～120	60～110	70～100	82～89	84～117	83～103	18～20
	冲击韧度（悬臂梁，缺口）（J/m^2）		14.7	43～64	3.5～5.5（简支梁，有缺口）	4～5（简支梁，有缺口）	0.4	35.4	107～160
	硬　度		10～18HBW	100～118HRR	90～130HRR	71HBW	68～98HRM	118HRR	50～65HD
热性能	比热容/[kJ/(kg·K)]		1.47	1.67	1.67～2.09	—	1.17	1.17～2.3	1.05
	线胀系数/($\times10^{-5}$/K)		5～9	9.1～10	9	10.5	6～9.5	6	10～12
	热导率/[W/(m·K)]		0.17～0.25	0.26～0.35	—	—	0.15	—	0.25
	热变形温度/℃	1.82MPa	85～100	66～104	—	45	85	54	—
		0.46MPa	—	182～243	149	—	116	154	121
	最高使用温度（无载荷）/℃		65～95	82～149	—	—	79	138	288
	连续耐热温度/℃		—	—	—	—	—	—	—
电性能	表面电阻率/(Ω/m^2)		10^{15}	—	—	—	10^{15}	—	—
	体积电阻率/(Ω·cm)		—	10^{14}～10^{15}	10^{14}～10^{15}	10^{14}～10^{15}	$>10^{14}$	—	10^{17}～10^{18}
	相对介电常数（工频）		—	3.1～3.6	3.1～3.6	3.1～3.6	3.37	3～4（10^5Hz）	2～2.2
	介质损耗角正切（工频）		0.04～0.06	0.01～0.03	0.01～0.03	0.01～0.03	0.021	0.015～0.022（10^5Hz）	0.0002～0.0005
	介质强度/(kV/mm)		20	15～28	15～28	15～28	—	17～24	25～40
	耐电弧性/s		—	—	—	—	—	—	>360

1.2.2　常用热塑性塑料的使用性能

1. 硬聚氯乙烯（HPVC）

性能：力学强度高，价廉，耐腐蚀，化学稳定性好，电绝缘性优良，耐老化性能较好，但软化点低，天冷易裂，使用温度为 -15～60℃，应用广。

用途：板、管、棒、焊条等型材，化工、纺织等工业的废气排污排毒塔、气体液体输送管，还可代替其他耐蚀材料制造贮槽、离心泵、通风机和接头等。

2. 软聚氯乙烯（SPVC）

性能：增塑剂加入量多达30%～40%，伸长率较高，制品柔软，力学强度、耐蚀性和电绝缘性均低于硬聚氯乙烯，且易老化，天冷会变硬，其他与硬聚氯乙烯相同。

用途：薄板、耐酸碱软管、薄膜（用于工业包装、农业育秧和日用雨衣、台布等）、焊条、电器、电缆包皮、绝缘层及密封件等。

3. 低压聚乙烯（HDPE）

性能：熔点、刚性、硬度和强度较高，吸水性小，电绝缘尤其是高频绝缘性好，有良好的耐辐射性，相对密度为0.94～0.96，使用温度为－60～100℃。可用玻璃纤维增强，耐腐蚀，室温下不被有机酸溶剂、各种强酸（除浓硝酸外）浸蚀，耐磨、抗水性好，抗拉强度为19.8MPa。

用途：日用工业品，耐腐蚀件、绝缘件涂层，塑料管、板材、绳索以及承载不高的零件，如齿轮、轴承等。

4. 高压聚乙烯（LDPE）

性能：即低密度聚乙烯。相对分子质量、结晶度和相对密度较低，质地柔软，伸长率、冲击韧度和透明性较好，其他性能同HDPE，抗拉强度为98MPa。

用途：电缆电线绝缘，高强度薄膜，软管和塑料瓶，以及一般的注塑制品。

5. 超高相对分子质量聚乙烯（UHMW-PE）

性能：性能特别优异的工程塑料，具有质量轻、抗高强度冲击、耐疲劳、耐磨、耐腐蚀、摩擦系数小、吸能、耐老化、阻燃和抗静电等优良性能，可长期在－269～110℃的条件下工作。用冷压烧结成型。

用途：适于制作减摩、耐磨及传动零件。

6. 聚丙烯（PP）

性能：相对密度为0.9～0.91，是常用塑料中最轻的。强度、刚性、硬度和耐热性均优于HDPE，可在100℃左右长期使用。除浓硫酸、浓硝酸外，不被其他酸、碱浸蚀，高频绝缘性好，抗水性好，但冲击韧度差，低温发脆，不耐磨，较易老化，成型收缩大，对紫外线敏感。

用途：机械零件如法兰、齿轮、风扇叶轮、泵叶轮、把手及壳体等，以及导线外皮、绝缘件、耐腐蚀件、化工管道、容器、医疗器械等。

7. 聚苯乙烯（PS）

性能：刚度大、耐蚀性好、电绝缘性尤其是高频绝缘性优良，透光率为75%～88%，仅次于有机玻璃，着色性、耐水性、化学稳定性良好，耐碱及浓硫酸、磷酸、硼酸、10%～36%的盐酸、25%以下的醋酸、10%～19%甲酸及其他有机酸，不耐氧化性酸，可溶于苯，甲、乙苯，酯类，汽油等。缺点是抗冲击性差，质脆，易产生应力碎裂，强度不高，耐热性低，工作温度为－20～65℃。

用途：绝缘件、透明件、装饰件和泡沫保温材料，以及耐腐蚀件、化学仪器和光学仪器

等。

8. 聚苯乙烯改性有机玻璃（372）

性能：透明性极好，力学强度较高，有一定的耐热、耐寒和耐候性，耐腐蚀。绝缘性良好，综合性能超过聚苯乙烯，但质脆，易溶于有机溶剂，如作为透光材料，其表面硬度较低，容易擦毛。

用途：绝缘零件及透明和强度一般的零件。

9. 聚甲基丙烯酸甲酯（有机玻璃）（PMMA）

性能：透明度比无机玻璃还高，透光率达 92%；相对密度也只有后者的一半，为 1.18g/cm^3，透过紫外线光达 73.5%，布氏硬度为 140～180HBW，抗拉强度为 54～63MPa，优良的耐候性、绝缘性、耐蚀性，还有一定的耐热性，易成型及机械加工，耐磨性差，着色性好。

用途：板、棒、管型材，透明件，装饰件。

10. 聚碳酸酯（PC）

性能：誉称透明金属，具有优良的综合性能。冲击韧度和延性突出，在热塑性塑料中是最好的；具有较高的弹性模量，不受温度的影响；抗蠕变性能好，尺寸稳定性高，透明度高，着色性好，吸水性小，耐热性比尼龙、聚甲醛高，电绝缘性较好，耐蚀性、耐磨性良好，但自润性差，不耐碱、酮、芳香烃，有应力开裂倾向，高温易水解，与其他树脂相溶性差。

用途：精密齿轮、蜗轮、蜗杆、齿条等；制造垫圈、垫片、套管、电容器等绝缘件，并可作电子仪器仪表的外壳、护罩等；信号灯罩、挡风玻璃、座舱罩、帽盔等耐冲击透明零件。

11. 丁苯橡胶改性聚苯乙烯（203A）

性能：与聚苯乙烯相比，有较高的冲击韧度，其余性能相似。

用途：各种仪表和无线电结构零件。

12. 丙烯腈－丁二烯－苯乙烯（ABS）

性能：丙烯腈、丁二烯和苯乙烯的三元共聚物。具有其组成的硬、韧、刚的特性，综合力学性能良好，抗拉强度为 38～50MPa，尺寸稳定，耐化学性好，电绝缘性好，易于成型和机械加工，不会被水、无机盐、酸、碱浸蚀，但不耐浓硫酸、硝酸和冰醋酸，工作温度为 －20～50℃，与 372 有机玻璃的熔接性良好，可作双色成型塑料，且表面可镀铬。

用途：电绝缘件、机械零件、纺织器材、减磨、耐磨件及传动件。可制造齿轮、泵叶轮、轴承、把手、管道、储槽内衬、电机外壳、仪表壳、仪表盘、蓄电池槽及水箱外壳等。近来在汽车零件上的应用发展很快，如作挡泥板、扶手、热空气调节导管，以及小轿车车身等。作纺织器材、电讯器件也都有很好的效果。

13. 苯乙烯－丙烯腈共聚物（AS）

性能：冲击韧度比聚乙烯高，耐热、耐油、耐蚀性好，弹性模量是现有热塑性塑料中较高的一种，并能很好地耐某些使聚苯乙烯应力开裂的烃类。

用途：广泛用来制作耐油、耐热、耐化学腐蚀的零件及电讯仪表的结构零件。

14. 聚酰胺（尼龙）（PA）

性能：具有突出的耐磨性和自润滑性能；良好的韧性，强度较高（因吸水不同而异）；耐疲劳、耐燃性突出，好的减振性；耐水、油，耐弱酸碱和一般溶剂，对强酸、碱、酚类的耐蚀性较差，抗霉、抗菌，无毒，无味无臭，热导率低，热膨胀大，吸水性大，可在 -60 ~ 100℃内使用，成型性能也好。

PA6 弹性好，冲击韧度高，吸水性较大。

PA66 强度高，耐磨性好。

PA610 与 PA66 相似，但吸水性和刚性都较小。

PA1010 半透明，吸水性较小，耐寒性较好。

用途：广泛用于机械化工领域作机械零件，减摩耐磨零件，传动零件，以及化工、电器、仪表等零件，装饰件，金属表面喷涂层。

15. 聚甲醛（POM）

性能：综合性能良好，强度、刚度高，抗冲击、疲劳、蠕变性能较好，减摩耐磨性好，吸水性小，尺寸稳定性好，但热稳定性差，易燃烧，长期在大气中曝晒会老化。

用途：适于制作减摩零件、传动零件、化工容器及仪器仪表外壳。

16. 聚砜（PSF）

性能：耐热耐寒性、抗蠕变以及尺寸稳定性优良，耐酸，耐碱，耐高温蒸汽。聚砜的硬度和冲击韧度高，可在 -65 ~ 150℃下长期使用，在水、湿空气或高温下仍保持良好的绝缘性，但不耐芳香烃和卤化烃。聚芳砜的耐热和耐寒性好，可在 -260 ~ -240℃下使用，硬度高，耐辐射。

用途：适于制作耐热件、绝缘件、减摩耐磨零件、传动零件、仪器仪表零件、计算机零件及抗蠕变结构零件。聚芳砜还可用于低温下工作的零件。

17. 聚对苯二甲酸乙二酯（PETP）

性能：电绝缘性能优良，吸湿性小，摩擦系数较小。

用途：适于制作结构件、高强度绝缘材料及耐焊接部件。

18. 聚对苯二甲酸丁二酯（PBTB）

性能：吸湿性小，成型性良好，耐油性能优异，热变形温度较低，对缺口冲击敏感。力学性能优异，刚性好，摩擦系数低，对有机溶剂有很好的耐应力开裂性。

用途：适于作阻燃、耐热、电绝缘、耐化学性零部件，如电子和电器仪表的各种变压器骨架、接线板等。

19. 氟塑料

性能：耐高、低温，耐腐蚀，耐老化，电绝缘性能很好，且吸水性和摩擦系数很小。

聚四氟乙烯（PTFE）对所有化学药品都能耐蚀，抗拉强度为 14 ~ 22MPa，熔融碱金属能浸蚀，耐候性、抗老化性、电绝缘性和润滑性良好，摩擦系数在塑料中最低（$\mu = 0.04$），不粘，不吸水，可在 -195 ~ 250℃下长期使用，但力学性能较低，冷流性大，不能注塑成型，俗称塑料王。

聚三氟氯乙烯的耐蚀、耐热和电绝缘性略次于聚四氟乙烯，可在 -180 ~ 190℃下长期使用，可注塑成型，在芳香烃和卤化烃中稍微溶胀。

聚全氟乙丙烯除使用温度外，几乎保留了聚四氟乙烯所有的优点，且可挤塑、压塑及注塑成型，自粘性好，可热焊。

用途：适于制作耐腐蚀件、减摩耐磨零件、密封件、化工耐蚀零件与热交换器、高频或潮湿条件下的绝缘件、医疗器械零件、人造器官如血管、心肺，以及金属玻璃、陶器表面的防腐涂层等。

20. 聚苯醚（PPO）

性能：综合性能良好，抗拉强度、刚性、抗冲击、抗蠕变及耐热性较高，可在 120℃的蒸汽中使用。电绝缘性优越，受温度及频率变化的影响很小，吸水性小，但有应力开裂倾向。改性聚苯醚可消除应力开裂，成型加工性好，但耐热性稍差。

用途：适于制作耐热件、绝缘件、减摩耐磨零件、传动零件、医疗器械零件和电子设备零件。

21. 氯化聚醚

性能：突出的耐蚀性（稍次于氟塑料），摩擦系数低，吸水性很小，尺寸稳定性高，耐热性比硬氯乙烯好，抗氧化性比尼龙好，可焊接、喷涂，但低温性能差。

用途：适于制作腐蚀介质中的减摩耐磨零件、传动零件，以及一般机械及精密机械零件。

22. 醋酸纤维素（EC）

性能：强韧性好，耐油耐稀酸，透明有光泽，尺寸稳定性好，易涂饰、染色、粘合、切削，在低温下冲击韧度和抗拉强度下降。

用途：适于制作汽车、飞机、建筑用品，机械、工具用品，化妆品器具，照相、电影胶卷。

23. 聚酰亚胺

性能：综合性能优良，强度高，抗蠕变，耐热性好，可在 -200 ~ 260℃下长期使用，减摩耐磨、电绝缘性优良，耐辐射，耐电晕，耐稀酸，但不耐碱、强氧化剂和高压蒸汽。均苯型聚酰亚胺成型困难；醚酰型聚酰亚胺可挤塑、压塑、注塑成型。

用途：适于制作减摩耐磨零件、传动零件、绝缘零件、耐热零件，用作防辐射材料、涂料和绝缘薄膜。

1.2.3　常用热塑性塑料的加工性能

常用热塑性塑料的加工性能如表 1-4 所示。

表 1-4　常用热塑性塑料的加工性能

塑料名称	加 工 性 能
聚苯乙烯（PS）	1）无定型塑料，吸湿性小，不易分解，性脆易裂，热胀系数大。易产生应力开裂 2）流动性较好，溢边值在 0.03mm 左右 3）塑件壁厚应均匀，不宜有嵌件（如有嵌件应预热）、缺口和尖角，各面应圆滑连接 4）可用螺杆或柱塞式注塑机加工，喷嘴可用直通式或自锁式 5）宜用高料温、高模温、低注塑压力，延长注塑时间有利于降低内应力，防止缩孔、变形（尤其对厚壁塑件），但料温高易出银丝，料温低或脱模剂多则透明性差 6）可采用各种形式的进料口，进料口与塑件应圆弧连接，防止去除浇口时损坏塑件，脱模斜度宜取 2° 以上，推出均匀以防止脱模不良发生开裂和变形，可用热浇道系统

（续）

塑料名称	加 工 性 能
聚乙烯（PE）	1）结晶型塑料、吸湿性小 2）流动性极好，溢边值在0.02mm左右，流动性对压力变化敏感 3）可能发生熔融破裂，与有机熔剂接触可发生开裂 4）加热时间过长则发生分解、烧焦 5）冷却速度慢，因此必须充分冷却，宜设冷料穴，模具应有冷却系统 6）收缩率范围大，收缩值大，取向性明显，易变形、翘曲，结晶度及模具冷却条件对收缩率影响大，应控制模温，保持冷却均匀、稳定 7）宜高压低温注塑，料温均匀，填充速度应快，保压充分 8）不宜用直接进料口，否则易增大内应力，或产生收缩不匀，取向性明显，变形增大，应注意选择进料口位置与数量，防止产生缩孔、翘曲变形 9）质软易脱模，塑件有浅的侧凹槽时可强行脱模
聚氯乙烯（PVC）	1）无定型塑料，吸湿性小，但为了提高流动性、防止发生气泡，宜先干燥 2）流动性差，极易分解，特别是在高温下与钢、铜金属接触更易分解，分解温度为200℃，分解时产生腐蚀及刺激性气体 3）成型温度范围小，必须严格控制料温 4）用螺杆式注塑机及直通喷嘴，孔径宜大，以防止死角滞料，滞料必须及时处理清除 5）模具浇注系统应粗短，进料口截面宜大，不得有死角滞料，模具应冷却，其表面应镀铬
聚丙烯（PP）	1）结晶型塑料，吸湿性小，可能发生熔体破裂，长期与热金属接触易发生分解 2）流动性极好，溢边值在0.03mm左右 3）冷却速度快，浇注系统及冷却系统的散热应适度 4）成型收缩范围大，收缩率大，易发生缩孔、凹痕和变形，取向性强 5）注意控制成型温度，料温低时取向性明显，尤其是低温高压时更明显。模具温度低于50℃以下塑件无光泽，易产生熔接痕和流痕；90℃以上时易发生翘曲和变形 6）塑件应壁厚均匀，避免缺口和尖角，以防止应力集中
改性聚甲基丙烯酸甲酯（372）	1）无定型塑料，吸湿性大，不易分解 2）质脆、表面硬度低 3）流动性中等，溢边值在0.03mm左右，易发生填充不良、缩孔、凹痕和熔接痕 4）宜取高压注塑，在不出现缺陷的条件下宜取高料温、高模温，可增加流动性，降低内应力和取向性，改善透明性及强度 5）模具浇注系统应对料流阻力小，脱模斜度应大，顶出均匀，表面粗糙度应低，排气良好 6）防止出现气泡、银丝、熔接痕及滞料分解，并防止混入杂质
聚酰胺（PA）	1）结晶型塑料，熔点较高，熔融温度范围较窄，熔融状态的热稳定性差，料温超过300℃，滞留时间超过30min即易分解 2）较易吸湿，成型前应预热干燥，并应防止再吸湿，含水量不得超过0.3%（质量分数）。吸湿后流动性下降，易出现气泡、银丝等弊病，高精度塑件应经调湿处理，处理后发生尺寸胀大 3）流动性极好，溢边值一般为0.02mm，易溢料，易发生流涎现象，用螺杆式注塑机注塑时喷嘴宜用自锁式结构，并应加热，螺杆应带止回环 4）成型收缩率范围大、收缩率大，取向性明显，易发生缩孔、凹痕和变形等弊病，成型条件应稳定 5）融料冷却速度对结晶度影响较大，对塑件结构及性能有明显影响，故应正确控制模温，一般为60～90℃，按壁厚选定。模温低易产生缩孔、结晶度低等现象。对要求伸长率高、透明度高、柔软性较好的薄壁塑件宜取低模温；对要求硬度高、耐磨性好，以及在使用时变形小的厚壁塑件宜取高模温 6）成型条件对塑件成型收缩、缩孔、凹痕影响较大，料筒温度按尼龙品种、塑件形状及注塑机类型而异。柱塞式注塑机宜取高温，但料温一般不宜超过300℃。受热时间不宜超过30min，料温高则收缩大，易出飞边。注塑压力应随注塑机类型、料温、塑件形状尺寸和模具浇注系统而异。注塑压力高易出飞边，收缩小，取向性强；注塑压力低易发生凹痕、波纹。成型周期按塑件壁厚而定，厚则取长，薄则取短。注塑时间及高压时间对塑件收缩率、凹痕、变形及缩孔影响较大，为了减少收缩、凹痕和缩孔，一般宜采取低模温、低料温和高注塑压力的成型条件，以及采用白油作脱模剂 7）模具浇注系统形式及尺寸与加工聚苯乙烯时相似，但增大流道及进料口截面尺寸可改善缩孔及凹痕现象。收缩率一般视壁厚而异，厚壁取大值，薄壁取小值。模温分布应均匀，防止出飞边，并设置排气措施 8）塑件壁不宜取厚，并应均匀，脱模斜度不宜取小，尤其是对厚壁及深高塑件更应取大

（续）

塑料名称	加 工 性 能
聚碳酸酯（PC）	1）无定型塑料，热稳定性好，成型温度范围宽，超过 330℃才呈现严重分解，分解时产生无毒、无腐蚀性气体 2）吸湿性极小，但水敏性强，含水量不得超过 0.2%（质量分数），加工前必须干燥处理，否则会出现银丝、气泡及强度显著下降等现象 3）流动性差，溢边值为 0.06mm 左右，流动性对温度变化敏感，冷却速度快 4）成型收缩率小，如果成型条件适当，塑件尺寸可控制在一定的公差范围内，塑件精度高 5）可能发生应力开裂，易产生应力集中，应严格控制成型条件，塑件宜退火处理消除内应力 6）熔融温度高，粘度高，对大于 200g 的塑件应用螺杆式注塑机成型，而喷嘴应加热，喷嘴宜用敞开式延伸喷嘴 7）粘度高，但对剪切作用敏感。浇注系统宜设冷料穴。进料口附近有残留应力，必要时可采用调节式进料口。模具宜加热，模温一般取 70～120℃为宜，同时应注意顶出均匀，模具应用耐磨钢，并淬火 8）塑件壁不宜厚，应均匀，避免有尖角、缺口及金属嵌件造成的应力集中，脱模斜度宜取 2°，若有金属嵌件应预热，预热温度一般为 110～130℃ 9）料筒温度对控制塑件质量是一个重要因素，料温低时会造成缺料，表面无光泽；温度高时易溢边，出现银丝暗条，塑件变色有泡。注塑压力宜高不宜低 10）模温对塑件质量影响很大，薄壁塑件宜取 80～100℃，厚壁塑件宜取 80～120℃。模温低则收缩率、伸长率、冲击韧度大，抗弯、抗压、抗拉强度低。模温超过 120℃则塑件冷却慢，易变形粘模，脱模困难，成型周期长
聚甲醛（POM）	1）典型结晶型塑料，熔融范围很窄，熔融或凝固速度快，结晶化速度快，料温稍低于熔融温度即发生结晶，流动性下降 2）热敏性强，极易分解（但比聚氯乙烯稍弱，共聚比均聚稍弱），分解温度为 240℃，但 200℃时滞留 30min 以上即发生分解，分解时产生刺激性、腐蚀性气体 3）流动性中等，溢边值为 0.04mm 左右，流动性对温度变化不敏感，但对注塑压力变化敏感 4）结晶度高，结晶时体积变化大，成型收缩范围大，收缩率大 5）吸湿性低，水分对成型影响极小，一般可不干燥处理，但为了防止树脂表面吸附水分，不利成型，加工前需进行干燥并起预热作用，特别是对大面积薄壁塑件，改善其塑件表面光泽有较好效果。干燥条件一般用烘箱加热，温度为 90～100℃，时间为 4h，料层厚度为 3cm 6）摩擦系数低，弹性高，浅侧凹槽可强迫脱模，塑件表面可带皱纹花样，但易产生表面缺陷，如毛斑、折皱、熔接痕、缩孔及凹痕等弊病 7）宜用螺杆式注塑机成型，余料不宜过多和滞留太长，一般塑件注塑量（包括主流道、分流道）不应超过所选注塑机注塑量的 75%，或取注塑容量与料筒容量之值为 1:6～1:10，料筒、喷嘴等务必防止有死角、间隙而产生滞料，预塑时螺杆转速宜取低，并宜用单头、全螺纹、等距、压缩突变型螺杆 8）喷嘴孔径应取大，并采用直通式喷嘴。为防止流涎现象，喷嘴孔可呈喇叭形，并设置单独控制的加热装置，以适当地控制喷嘴温度 9）模具浇注系统对料流阻力要小，进料口宜小，要尽量避免死角积料，模具应加热，模温高时应防止滑动配合部件卡住，模具应选用耐磨、耐腐蚀材料，并淬硬、镀铬，要注意排气 10）必须严格控制成型条件，嵌件应预热（一般为 100～150℃），料温取稍高于熔点（一般 170～190℃）即可，不宜轻易提高温度。模温对塑件质量影响较大，提高模温可改善表面凹痕，有助于融料流动，塑件内外均匀冷却、防止缺料、缩孔和皱折。模温对结晶度及收缩也有很大影响，必须正确控制，一般取 75～120℃，壁厚大于 4mm 的取 90～120℃，小于 4mm 的取 75～90℃。宜用高压、高速注塑。塑件可在较高温度时脱模，冷却时间可短，但为防止收缩变形，应力不匀，脱模后宜将塑件放在 90℃左右的热水中缓冷或用整形夹具冷却 11）在料温偏高、喷嘴温度偏低、高压对空注塑时，易发生爆炸性伤人事故，分解时产生刺激性气体，易燃，应远离明火

（续）

塑料名称	加 工 性 能
氯化聚醚（又称聚氯醚）	1）结晶型塑料，内应力小，即使有较小内应力，在室温下也会自行消失，成型收缩小，尺寸稳定性好，宜制成高精度、形状复杂、多嵌件的中小型塑件 2）吸湿性极小，成型前不必预热。如果物料表面有水分，在 80 ~ 100℃的烘箱中干燥 1 ~ 2h 即可 3）流动性中等，对温度变化敏感，树脂相对分子质量小的熔体粘度低，选低料温即可，反之亦然，成型温度为 180 ~ 220℃，分解温度约 270℃左右，分解时产生腐蚀性气体 4）可采用柱塞和螺杆式注塑机加工，宜用直通式喷嘴，孔径可呈喇叭形，宜加热 5）树脂相对分子质量大、塑件壁厚、成型周期短时，料筒温度应取高一些，并宜用高压注塑。模温对塑件性能的影响显著，模温高，结晶度增加，抗拉、抗弯、抗压强度均有一定程度的提高，坚硬而不透明，但冲击韧度及伸长率下降；模温低则柔韧而半透明。故模温应按要求选用，常用 90 ~ 100℃，最低为 50 ~ 60℃，成型周期对塑件性能无明显影响 6）成型时有微量氯化氢等腐蚀性气体，熔体对金属粘附力强，模具应淬硬，表面镀铬抛光。浇注系统应首先考虑料流方向、阻力和压力损耗，宜取粗而短，尤其是对厚壁塑件更应注意
苯乙烯 – 丁二烯 – 丙烯腈共聚体（ABS）	1）无定型塑料，其品种很多，各品种的机电性能及成型特性也各有差异，应按品种确定成型方法及成型条件 2）吸湿性强，含水量应小于 0. 3%（质量分数），必须充分干燥，要求表面光泽的塑件应长时间预热干燥 3）流动性中等，溢边料 0. 04mm 左右（流动性比聚苯乙烯、A5 差，但比聚碳酸酯、聚氯乙烯好） 4）比聚苯乙烯加工困难，宜取高料温、模温（对耐热、高抗冲击和中抗冲击型树脂，料温更宜取高）。料温对物理性能影响较大，料温过高易分解（分解温度为 250℃左右，比聚苯乙烯易分解）。对精度要求较高的塑件，模温宜取 50 ~ 60℃；要求光泽及耐热型料宜取 60 ~ 80℃。注塑压力应比加工聚苯乙烯稍高，采用柱塞式注塑机时料温一般为 180 ~ 230℃，注塑压力为 100 ~ 140MPa；采用螺杆式注塑机时，则取 160 ~ 220℃、70 ~ 100MPa 为宜 5）模具设计时要注意浇注系统，选择好的进料口位置和形式。推出力过大或机械加工时，塑件表面呈现白色痕迹（通过在热水中加热可消除白色痕迹）。脱模斜度宜取 2°以上
苯乙烯 – 丙烯腈共聚体（AS）	1）无定型塑料，吸湿性大，热稳定性好，不易分解 2）流动性比 ABS 好，不易出飞边 3）易发生裂纹，塑件应避免尖角和缺口，顶出均匀，脱模斜度宜取大 4）进料口处易发生裂纹
聚砜（PSU）	1）无定型塑料，易吸湿，含水量超过 0. 125%（质量分数）即可发生银丝、云母斑和气泡，甚至开裂。应充分干燥，并在使用时防止再吸湿 2）宜用螺杆式注塑机加工，喷嘴宜用直通式并加热，加工前必须彻底清除对温度敏感的树脂，所以最好用聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯料进行清洗 3）成型性能与聚碳酸酯相似，热稳定性比聚碳酸酯差，分解温度在 360℃左右 4）流动性差，对温度变化敏感，冷却速度快 5）要求成型加工温度高，宜用高压成型。压力低，易产生波纹、气泡、凹痕；过高则脱模困难 6）模温以壁厚而定，一般取 90 ~ 100℃，对加工复杂或长而薄、厚壁塑件则取 140 ~ 150℃ 7）模具应有足够的刚度和强度。浇注系统应短而粗，散热慢，阻力小，宜取直接式、圆片式、扁平或扇形，侧向进料口，截面厚度宜取塑件壁厚的 1/2 ~ 2/3，用针点浇口时直径应取大，进料口宜设在厚壁处，对薄长塑件宜用多点进料口
聚芳砜（PPSU）	1）流动性差，料温在 380℃以下流动性迅速下降，热变形温度高（为 274℃），可以在 260℃以下脱模（但要防止变形），热稳定性好，不易分解，易吸湿，水敏性强，必须充分干燥 2）要高温、高压成型，宜用螺杆式注塑机，直通加热喷嘴加工，模温为 180 ~ 200℃，注塑及保压时间宜长 3）模具必须有足够的强度及刚度，浇注系统应粗而短、截面大、散热慢，注意选择配合间隙，防止高温时卡住

（续）

塑料名称	加 工 性 能
聚苯醚（PPO）	1）无定型塑料，吸湿性小，但宜干燥后加工，易分解（熔点 300℃，分解温度 350℃） 2）流动性差（介于聚碳酸酯和 ABS 之间），对温度变化敏感，凝固速度快，成型收缩小 3）宜用螺杆式注塑机，直通喷嘴，孔径宜取 3 ~ 6mm，并加热，但应比前段料筒的温度低 10 ~ 20℃，防止漏料 4）料温在 300 ~ 330℃时有足够的流动性，可供复杂及薄壁塑件的加工。注塑压力宜取高压，高速注塑，保压及冷却时间不要太长 5）模温取 100 ~ 150℃为宜，可防止过早冷却，提高充模速度，降低料温及注压，改善表面光泽，防止出现分层、熔接痕、皱纹及分解。模温低于 100℃时，尤其对薄壁塑件易造成充模不足、分层；模温高于 150℃时易出现气泡、银丝、翘曲等缺陷 6）模具主流道锥度宜大且用拉料钩。浇注系统应对料流阻力小，冷却慢，进料口宜厚，浇道短粗，宜用直接进料口或扇形、扁平等进料口，用针点浇口时截面宜大，对长浇道也可采用热浇道结构
醋酸纤维素（EC）	1）无定型塑料，吸湿性大，要预热干燥 2）极易分解（比聚氯乙烯、聚甲醛稍缓），分解时对设备、模具有腐蚀性 3）流动性比聚苯乙烯稍差，对温度变化敏感 4）模具应镀铬，不得有死角滞料 5）宜用螺杆式注塑机和直通喷嘴加工，谨防滞料分解
氟塑料（PCTFE、FEP、PVDF）	1）结晶型塑料（三氟料结晶化速度快），吸湿性小，聚全氟丙乙烯易发生熔体破裂 2）热敏性料，极易分解，分解时产生有毒、腐蚀性气体。三氟料的分解温度为 260℃，偏二氟乙烯料为 340℃，必须严格控制成型温度 3）流动性差，熔融温度高（偏二氟乙烯成型较方便），成型温度范围狭，要高温、高压成型 4）宜用螺杆式注塑机成型加工，模具要有足够的强度及刚度，应防死角滞料。浇注系统应对料流阻力小。模具应加热，并淬硬、镀铬 5）聚四氟乙烯（PTFE），只能经预压型坯后烧结成型

1.2.4　常用热固性塑料的性能

常用热固性塑料的性能及用途如表 1-5 所示，其加工性能如表 1-6 所示。

表 1-5　常用热固性塑料的性能及用途

塑料名称	型号举例	性　　能	用　　途
酚醛塑料	R131、R121、R132、R126、R133、R136、R135、R137、R128、R138	可塑性和成型工艺良好，适宜于压缩成型	主要用来制造日常生活和文教用品
	D131、D133、D138、D135	机电性能、物理及化学性能良好，成型快、工艺性良好，适宜于压缩成型	主要用于制造日用电器的绝缘结构件
	D141、D144、D145、D151		用来制造低压电器的绝缘结构件或纺织机械零件
	U1601、U1801、U2101、U151	电绝缘性能和力学、物理、化学性能良好，适宜于压塑成型，U1601 还适合于传递成型	用来制造介电性较高的电讯仪表和交通电器的绝缘结构件，U1601 还可在湿热地区使用

（续）

塑料名称	型号举例	性　能	用　途
酚醛塑料	P2301、P7301、P3301	耐高频绝缘性和耐热、耐水性优良，适合于传递法加工成型	用来制造高频无线电绝缘零件和高压电器零件，并可在湿热地区使用
	Y2304	电气绝缘性和电气强度优良，防湿防毒及耐水性好，适合于压塑成型，也可用于压注成型	用来制造湿度大、频率高、电压高的条件下工作的机电、电讯仪表和电工产品的绝缘零件
	A1501	物理、力学性能和电气绝缘性能好，适合于压塑成型，也可用于压注成型	主要用来制造在长期使用过程中不放出氨的工业制品和机电、电讯工业用的绝缘结构件
	S5802	耐水、耐酸性、介电性和机械强度良好，适合压塑成型，也可压注成型	主要用来制造受酸和水蒸气浸湿的仪表、电器的绝缘结构件，以及卫生医疗器械用零件
	H161	防霉、耐湿性优良，力学、物理性能和电绝缘性能良好。适宜于压塑成型，也可用于压注成型	用于制造电器、仪表的绝缘结构件，可在湿热条件下使用
	E631、E431、E731	耐热、耐水性、电气绝缘性良好。E631、E431 适宜于压塑成型，E731 适宜于压注成型	主要用来制造受热较高的电气绝缘件和电热仪器零件，适宜在湿热带使用
	M441、M4602、M5802	机械强度和耐磨性优良，适宜于压塑成型	主要用来制造耐磨件
	J1503、J8603	冲击韧度、耐油、耐磨性和电绝缘性能优良，J8603 还具有防霉、防湿及耐水性能，适宜于压塑成型	主要用来制造振动频率的电工产品的绝缘结构件和带金属嵌件的复杂制品
	T171、T661	力学性能良好，T661 还具有良好的导热性	用来制造特种要求的零件，T661 主要用于制造砂轮
	H161－Z、H1606－Z、D151－Z	力学、物理性能、电绝缘性能良好，适宜于注塑成型	用来制造电器、仪表的绝缘结构件，H1606－Z 还可在湿热地区使用
氨基塑料	塑 33－3、塑 33－5	耐电弧性和电绝缘性良好，耐水、耐热性较高。适宜于压塑成型，塑 33－5 还适宜于压注成型	主要用来制造要求耐电弧的电工零件以及绝缘、防爆等矿用电器零件
	脲－甲醛塑料	着色性好，色泽鲜艳，外观光亮，无特殊气味，不怕电火花，有灭弧能力，防霉性良好，耐热、耐水性比酚醛塑料弱	用来制造日用品、航空和汽车的装饰件、电器开关、灭弧器材及矿用电器等
有机硅塑料	浇注料	耐高温和低温、耐潮、憎水性好，电阻高、高频绝缘性好，耐辐射、耐臭氧、耐电弧，力学性能较差，成型工艺性较差	主要用于电工、电子元件及线圈的灌封与固定
	塑料粉		用来制造耐高温、耐电弧和高频绝缘件
硅铜塑料		电性能良好，可在很宽的频率和温度范围内保持良好的性能，耐热性好，可在－90～300℃下长期使用，耐辐射、防水，化学稳定性好，抗裂性良好。可低压成型	主要用于低压压注封装整流器、半导体管及固体电路等

（续）

塑料名称	型号举例	性　　能	用　　途
环氧塑料（EP）	浇注料	强度较高、韧性较好、电绝缘性优良、尺寸稳定性高、耐久性好、具有优良的绝缘性能、耐热、耐寒、化学稳定性很高、成型工艺性能好、耐有机溶剂性好，对许多材料的粘结力强，是很好的胶粘剂。缺点是有毒性，性能受填料品种和用量的影响。脂环族环氧塑料的耐热性较高。适用于浇注成型和低压压注成型	可用于制作塑料模具、精密量具、电工、电子元件及线圈的灌封与固定、配制飞机漆、油船漆、罐头涂料、印制线路，还可用来修复零件

表 1-6　常用热固性塑料的加工性能

塑料名称	加 工 性 能
酚醛塑料	1）成型性较好，但收缩及方向性一般比氨基塑料大，并含有水分挥发物。成型前应预热，成型过程中应排气。不预热者应提高模温和成型压力 2）模温对流动性影响较大，一般超过 160℃时，流动性会迅速下降 3）硬化速度一般比氨基塑料慢，硬化时放出的热量大。大型厚壁塑件的内部温度容易过高，容易发生硬化不均和过热
氨基塑料	1）流动性好，硬化速度快，故预热及成型温度要适当，装料、合模及加压速度要快 2）成型收缩率大，脲甲醛塑料等不宜压注大型塑件 3）含水分挥发物多，易吸湿、结块，成型时应预热干燥，并防止再吸湿，但过于干燥则流动性下降。成型时有水分及分解物，有弱酸性，模具应镀铬，防止腐蚀，成型时应排气 4）成型温度对塑件质量影响较大。温度过高易发生分解、变色、气泡、开裂及变形，色泽不匀，温度低时流动性差，不光泽，故应严格控制成型温度 5）料细、质量体积大、料中充气多，用预压锭成型大塑件时易发生波纹及流痕，故一般不宜采用 6）性脆，嵌件周围易产生应力集中，尺寸稳定性差 7）储存期长、贮存温度高时，会引起流动性迅速下降
有机硅塑料粉	1）流动性好，速度慢，压塑成型时需要较高的成型温度 2）压塑成型后，需经过高温固化处理
硅酮塑料	1）流动性极好，易溢料，收缩小，但贮存温度高时会使流动性迅速下降 2）硬化速度慢，成型后需高温固化，并可能发生后收缩。塑件厚度大于 10mm 时，应逐渐升温和适当延长保温时间，否则易脆裂 3）用于封装集成电路等电子元件时，进料口位置及截面应注意防止融料流速太快，或直接冲击细弱元件。主流道截面尺寸不宜过小，进料口相对方向宜开溢料槽
环氧塑料（浇注料）	1）流动性好，硬化收缩小，但热刚性差，不易脱模 2）硬化速度快，硬化时一般不需排气，装料后应立即加压

1.3　塑料的模塑性和可加工性

1.3.1　塑料的流动性

在成型加工中，塑料熔体在一定的温度与压力作用下充填模腔的能力，称为塑料的流动性。塑料流动性的好坏，在很大程度上影响了成型工艺的许多参数，如成型温度、压力、周

期、模具浇注系统的尺寸及其他结构参数。在决定零件大小与壁厚时，也要考虑流动性的影响。

从分子结构来讲，流动的产生实质上是分子间相对滑移的结果。高聚物熔体的滑移是通过分子链段的运动来实现的。显然，流动性主要取决于分子组成、相对分子质量大小及其结构。只有线型分子结构且没有或很少有交连结构的高聚物流动性好，而体型结构的高分子一般不产生流动。在高聚物中加入填料会降低树脂的流动性；加入增塑剂、润滑剂可以提高流动性。流动性差的塑料，在注塑时不易充填模腔，易产生缺料。当采用多个浇口时，塑料熔体的汇合处不能很好地熔接而产生熔接痕，这些缺陷甚至会导致零件报废。若材料流动性太好，注塑时容易产生流涎，造成塑件在分型面、活动成型零件、推杆等处的溢料飞边。因此，成型过程中应适当地选择和控制材料的流动性，以获得满意的塑料制件。

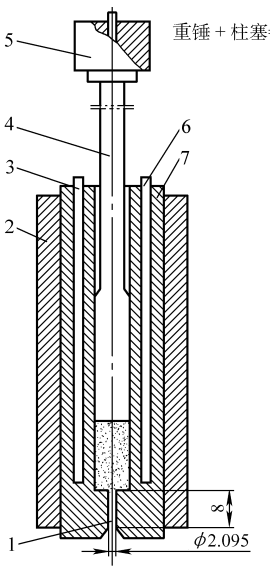


图 1-1　熔融指数测定仪结构示意图
1—出料孔　2—保温层　3—加热器
4—柱塞　5—重锤　6—热电偶
测温管　7—料筒

塑料流动性的好坏采用统一的方法来测定，对热塑性塑料常用的方法有熔融指数测定法和螺旋线长度试验法。熔融指数测定法是将被测塑料装入熔融指数测定仪（见图 1-1）中，在一定的温度和 2160g 的压力下，通过测定熔体在 10min 内通过标准毛细管（直径为 2.095mm、长为 8mm 的出料模孔）的塑料质量值来确定其流动性的状况，该值称为熔融指数（单位为 g/10min）。熔融指数越大，流动性越好；螺旋线长度试验法是将被测塑料在一定的温度与压力下注入型腔为标准的阿基米德螺旋线槽的模具（见图 1-2）内来表示该塑料的流动性。流动长度越长，流动性就越好。

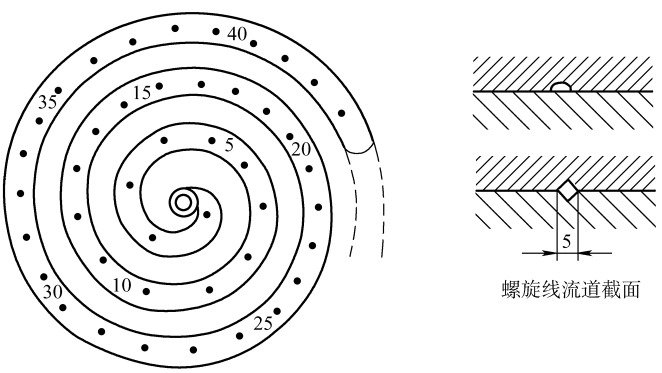


图 1-2　螺旋线长度试验用模具示意图（入口处在螺旋中央）

按模具设计要求，大致可将常用塑料的流动性分为三类：

（1）流动性好的塑料　尼龙 PA、聚乙烯 PE、聚苯乙烯 PS、聚丙烯 PP 及醋酸纤维素等。

（2）流动性中等的塑料　改性聚苯乙烯、ABS、AS、有机玻璃 PMMA、聚甲醛 POM 及聚氯醚等。

（3）流动性差的塑料　聚碳酸酯 PC、硬 PVC、聚苯醚 PPO、聚砜 PSU、聚芳砜及氟塑料等。

影响流动性的因素主要有：

（1）温度　料温高，则流动性大，但不同的塑料也各有差异。聚苯乙烯、聚丙烯、聚酰胺、聚甲基丙烯酸甲酯、ABS、AS、聚碳酸酯以及醋酸纤维等塑料的流动性受温度变化的影响较大，而聚乙烯、聚甲醛的流动性受温度变化的影响较小。所以前者在成型时宜用调节温度的方法来控制流动性。

（2）压力　注塑压力增大，则熔料受剪切作用大，流动性也增大，尤其是聚乙烯、聚甲醛较为敏感。所以成型时宜调节注塑压力来控制流动性，但聚碳酸酯对压力的反应不敏感。

（3）模具结构　浇注系统的形式、尺寸、布置（如型腔表面粗糙度、浇道截面厚度、型腔形式、排气系统）、冷却系统的设计以及熔料的流动阻力等因素都直接影响熔料的流动性。凡促使熔料温度降低、流动阻力增加的因素，就会使流动性降低。

热固性塑料的流动性通常以拉西格流动性来表示，而不是用熔融指数来表示。如图 1-3 所示，将一定质量的欲测塑料预压成圆锭，将圆锭放入压模中，在一定的温度和压力下，测定它从模孔中挤出的长度（毛糙部分不计在内，单位为 mm），数值大则流动性好。

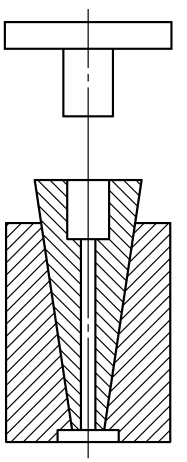


图 1-3　拉西格流动性测定示意图（热固性）

流动性过大容易造成溢料过多、填充不密实、塑件组织疏松、树脂与填料分头聚集、易粘模而使脱模和模具清理困难以及过早硬化等缺陷；流动性过小则会造成填充不足、不易成型及成型压力增大等缺陷。因此所选塑料的流动性必须与塑件要求、成型工艺及成型条件相适应。模具设计时应根据流动性来考虑浇注系统、分型面及进料方向等。

影响热固性塑料流动性的因素主要有以下三点：

（1）塑料品种　不同品种的塑料，其流动性各不相同。即使是同一品种的塑料，由于其相对分子质量的大小、填料的形状、水分和挥发物的含量以及配方等的不同，其流动性也不相同。

（2）模具结构　模具成型表面光滑，型腔形状简单，有利于改善流动性。

（3）成型工艺　采用预压锭及预热，提高成型压力，在低于塑料硬化温度的条件下提高成型温度等都能提高塑料的流动性。

1.3.2　塑料的结晶型

根据塑料内部分子排列是否有序可将热塑性塑料分为（半）结晶型塑料与非结晶型（也称无定型）塑料两大类。（半）结晶型塑料内部大部分分子排列规则，而非结晶型塑料内部分子排列无规则。常见的结晶型塑料和非结晶型塑料如表 1-7 所示。

表 1-7　常见的结晶型塑料和非结晶型塑料

（半）结晶型塑料	PE、PP、POM、PA、PET、PPS、LCP、PBT、PP/PMMA、PP/PS、PP/TPO、TPE、TPO、聚四氟乙烯、氯化聚醚等
非结晶型塑料	PS、PVC、PMMA、PC、ABS、PSF、PPE、PPE + PS、HI - PS、PVC 等

作为判别这两类塑料的外观标准，可由塑料的透明性而定。一般结晶型塑料为不透明或半透明（如聚甲醛等），非结晶型塑料为透明（如有机玻璃等）。但也有例外情况，如聚 –4 – 甲基戊烯为结晶型塑料却有高透明性，ABS 为非结晶型塑料却并不透明。结晶型聚合物与非结晶型聚合物的典型特点如表 1-8 所示。

表 1-8　结晶型聚合物与非结晶型聚合物的典型特点

结晶型聚合物	非结晶型聚合物
大部分大分子排列规则	分子链随机排列
熔融需要的热量较高，因其结构规则化	熔融需要的潜热较低
无明显的玻璃态转变点（T_g） 通常低于室温 有明显的结晶熔融点（T_m）	明显的玻璃态转变点（T_g） 宽广的软化温度范围 无明显的结晶熔融点（T_m）
收缩率大，因结构规则化而占较少空间 尺寸精度难保证	收缩率小 尺寸精度高
易发生翘曲，易受模塑条件影响	发生翘曲少
制件透明度差 抗化学性及耐热性佳 润滑性良好、吸湿性低	制件透明度高 耐热性中等 耐冲击性好
导热性几乎是非晶体的两倍	热导率低

结晶过程的实质是大分子链段的重排，由无序变为有序的松弛过程。当聚合物熔体冷却时，熔体中的某些有序区域（链束）开始形成尺寸很小的晶胚，晶胚长大到某临界尺寸转变为初始晶核，然后大分子链通过热运动在晶核上重排生成初期晶片，初期晶片沿晶轴方向生长而后再纤维状生长，逐步形成初级球晶，初始球晶进一步长大成球晶。聚合物的结晶过程同金属的结晶相类似，也是由晶核生成和晶体生长两步完成。

加工成型过程中，影响结晶的主要因素有冷却速度、熔融温度和熔融时间、应力作用、低分子物、固体杂质和链结构。

冷却速度指温度从熔点以上到玻璃化温度的变化速度，决定了晶核生成和晶体生长的速度与形态，其影响如表 1-9 所示。

表 1-9　冷却速度对结晶的影响

缓慢冷却	中等冷却	快速冷却
熔体与冷却介质温差小，接近于等温过程	冷却介质温度在 T_g 与最大速率结晶温度间	冷却介质温度在 T_g 以下很多（淬火）
均相成核 易生成大的球晶	晶核数量与生长速率间有很好的比例关系 晶体生长好	结晶速度滞后于温度变化速度 形成过冷液体的非晶结构和微晶结构
制品发脆，力学性能差 生产周期延长，因冷却程度不够易使制品扭曲变形	结晶完整，结构稳定 生产周期较短	不稳定 成型后的继续结晶会改变制品的形状尺寸和力学性能

熔融温度和熔融时间通过影响聚合物中的残存晶核数量来影响结晶，如表 1-10 所示。

表 1-10　熔融温度和熔融时间对结晶的影响

熔融条件 / 结晶影响参数	熔融温度高 熔融时间长	熔融温度低 熔融时间短
残存晶核	少 （原结晶结构多被破坏）	多 （原结晶结构很少被破坏）
成核方式	均相成核	异相成核
结晶速度	慢 （均相成核需诱导时间）	快
晶体尺寸	大	小而均匀
制品性能	制品脆，力学性能差	有利于提高制品的力学强度、耐磨性和热畸变温度

应力增加，应力导致取向，诱发成核，使结晶速度加快，结晶度提高；应力作用时间足够长，由于分子链的松弛解取向，使得熔体结晶速率降低。

压力增加，结晶度提高，结晶温度升高；低压下易生成大而完整的球晶；高压下则生成小而形状不规则的球晶。

熔体受力方式也影响球晶的形状和大小，如螺杆式注塑机生产的制品具有均匀的微晶结构，而柱塞式注塑机生产的制品中则有小而不均匀的球晶。

分子结构越简单、越规整，结晶越快，结晶程度越高；聚合物相对分子质量越大，大分子及链段结晶的重排运动越困难，结晶能力越低。

添加剂中的固体物质如炭黑、氧化硅、氧化钛、滑石粉和聚合物粉末等都能促进结晶，可作为成核剂。成核剂能大大加快结晶速度，使球晶数量增多，晶粒尺寸变小，从而改善了制品的性能。

塑料在成型过程中的结晶对成型后的制品性能有着直接的影响，具体影响及其原因如表 1-11 所示。

表 1-11　结晶对制品性能的影响及原因

影　响	原　因
密度、刚度、抗拉强度、硬度、表面光泽度、熔点、耐热性、抗溶性、气密性和耐化学腐蚀性等性能提高	大分子链段排列规整 分子间作用力增强
透明度下降	球晶的存在引起光波散射
弹性、断裂伸长率、冲击韧度下降	链段活动受限
易翘曲	冷却不均导致结晶度的差异，使收缩不等

结晶型塑料对模具设计及选择注塑机有下列要求：

1）结晶型塑料的料温上升到成型温度所需的热量多，要用塑化能力大的设备。

2）结晶型塑料冷凝时放出的热量大，要充分冷却。

3）结晶型塑料熔态与固态的密度差大，成型收缩大，易发生缩孔和气孔。

4）结晶型塑料冷却快，结晶度低，收缩小，透明度高。结晶度与塑件壁厚有关。壁厚冷却慢，结晶度高，收缩大，物性好，所以结晶型塑料必须按要求控制模温。

5）结晶型塑料各向异性显著，内应力大。脱模后未结晶的分子有继续结晶的倾向，处于能量不平衡状态，易发生变形和翘曲。

6）结晶型塑料结晶熔点范围窄，易发生未熔粉料注入模具或堵塞进料口的现象。

1.3.3 塑料的取向性

1. 取向的概念

链状大分子具有很大的长径比，可以达到数百、数千、数万甚至数十万，这样的分子在外力作用下，分子链会沿外力作用方向呈某种方式和某种程度的平行排列，称为取向。宏观上取向一般分为拉伸取向和流动取向两种类型。拉伸取向是由拉应力引起的，取向方位与应力作用方向一致；而流动取向是在切应力作用下沿着熔体流动方向形成的。

2. 取向的实质

高聚物的取向现象从微观上来看，主要是高聚物分子的分子链、链段及结晶高聚物的晶片、晶带沿特定方向的择优排列。因为高分子有链段与高分子链两种运动单元，因此微观上非晶态高聚物可以有链段和高分子链两种取向。链段的取向只要在高弹态下便可完成，它主要是通过单键的内旋转来导致链段运动完成取向。而整个分子链的取向需要链段的协同运动来完成，因此只有当高聚物处于粘流态时才可以完成。在外力作用下，高聚物一般先发生链段取向，然后才是整个分子的取向。总之，取向过程是一种分子的有序化过程。结晶态高聚物的取向，除了非晶区中可能发生链段取向与分子取向外，还可能发生晶粒的取向，在外力作用下，晶粒将沿外力方向做择优取向。但是值得注意的是，取向态与结晶态虽然都与高分子的有序程度有关，但它们的有序程度不同，取向态是一维或二维有序，而结晶态是三维有序。

3. 解取向

无论链段取向或整链取向，都是热力学上的非平衡状态，当外力解除后，都会由于分子的热运动使链段或整链重新处于随机状态，称为解取向。只有当取向后的链段或整链被迅速冷却到玻璃化转变温度时，取向才能被保留下来。这种被“冻结”的取向也只有相对的稳定性，也会很缓慢地解取向。随材料温度的提高，解取向会迅速进行。

4. 取向对制品质量的影响

取向对制品质量的影响是产生性能的各向异性，取向方向的强度、模量等明显增大，垂直于取向方向的强度、模量等明显减小。这是因为在取向方向上分子链的各原子是以化学键相结合，而垂直于取向方向的各分子链之间的作用力是范德华力。取向还会造成制品两个方向的收缩率、折射率等的不同。

5. 取向的利用与应对

在注塑制品的生产过程中，常常利用取向来改善制品某个方向的力学性能。取向也会对制品带来不利影响，使制品在工作过程中由于解取向的进行而改变尺寸，产生变形甚至产生裂纹等（垂直于取向方向）。针对这种情况，制品成型后应进行必要的处理，创造出使已取向分子解取向的必要条件，避免冻结在制品中的分子链取向在制品工作中带来上述弊病。

1.3.4 塑料的收缩性

塑件自模具中取出冷却到室温后，其尺寸或体积会发生收缩变化，这种性质称为收缩

性。

1. 塑件收缩的形式

塑件收缩主要表现在下列几方面：

（1）塑件的线性尺寸收缩　由于热胀冷缩，塑件脱模时的弹性恢复、塑性变形等原因导致塑件脱模冷却到室温后尺寸缩小，为此型腔设计时必须考虑予以补偿。

（2）收缩方向性　成型时分子按方向排列，使塑件呈现各向异性，沿料流方向（即平行方向）则收缩大、强度高，与料流垂直方向则收缩小、强度低。另外，成型时由于塑件各部位的密度及填料分布不匀，会导致收缩不匀。收缩不匀使塑件易发生翘曲、变形和裂纹，尤其是在挤塑及注塑时方向性更为明显。因此，模具设计时应考虑收缩方向性，按塑件形状、料流方向选取收缩率。

（3）后收缩　塑件成型时，由于受成型压力、剪切应力、各向异性、密度不匀、填料分布不匀、模温不匀、硬化不匀及塑性变形等因素的影响，引起一系列应力的作用，在粘流态时不能全部消失，故塑件在应力状态下成型时存在残留应力。脱模后应力趋向平衡以及贮存条件的影响，会使塑件发生再收缩，称为后收缩。一般塑件在脱模后 10h 内变化最大，48h 后基本定型，但最后稳定要经 30 ~ 60 天。通常热塑性塑料的后收缩比热固性塑料大，挤塑及注塑成型的比压塑成型的大。

（4）后处理收缩　有时塑件按性能及工艺要求，成型后需进行热处理，处理后也会导致塑件尺寸发生变化，故模具设计时对高精度塑件应考虑后收缩及后处理收缩的误差并予以补偿。

2. 收缩率的计算

收缩性的大小以单位长度塑件收缩量的百分数来表示，称为收缩率。由于成型模具材料与塑料的线胀系数不同，收缩率分为实际收缩率和计算收缩率。实际收缩率表示模具或塑件在成型温度时的尺寸与塑件在室温时的尺寸之间的差别，而计算收缩率则表示室温时模具尺寸与塑件尺寸的差别。这两种收缩率的计算可按下列公式求得

$$S' = \frac{L_c - L_s}{L_c} \times 100\%$$

$$S = \frac{L_m - L_s}{L_s} \times 100\%$$

式中　S'——实际收缩率；

S——计算收缩率；

L_c——塑件在成型温度时的单向尺寸；

L_s——塑件在室温时的单向尺寸；

L_m——模具在室温时的单向尺寸。

在普通中、小型模具成型零件尺寸计算时，计算收缩率与实际收缩率相差很小，且塑件在成型温度时的单向尺寸测量不便，所以常采用计算收缩率。实际收缩率表示塑料实际所发生的收缩，在大型、精密模具成型零件尺寸计算时常采用。

3. 影响收缩率变化的因素

在实际成型时不仅不同品种的塑料其收缩率各不相同，而且不同批次的同品种塑料或同一塑件的不同部位其收缩率也经常不同。影响收缩率变化的主要因素有如下几个方面：

（1）塑料品种　各种塑料都具有各自的收缩率。同一种塑料由于树脂的相对分子质量、填料及配方等的不同，其收缩率及各向异性也不同。例如，树脂的相对分子质量高，填料为有机的，树脂含量较多，则塑料的收缩率就大。热塑性塑料在成型过程中，由于还存在结晶化引起的体积变化、内应力强、冻结在塑件内的残留应力大以及分子取向性强等因素，因此与热固性塑料相比收缩率较大，收缩率范围宽，方向性明显。另外，成型后的收缩、退火或调湿处理后的收缩一般也比热固性塑料大。

（2）塑件结构　成型时熔融料与型腔表面接触外层立即冷却形成低密度的固态外壳。由于塑料的导热性差，使塑件内层缓慢冷却而形成收缩大的高密度固态层，所以壁厚、冷却慢、高密度层厚的结构收缩大。另外，有无嵌件及嵌件布局、数量都直接影响料流方向，密度分布及收缩阻力大小等。如塑件的形状复杂、壁薄、有嵌件、嵌件数量多且对称分布，收缩率就小。

（3）模具结构　模具的分型面、加压方向、浇注系统形式、布局及尺寸等因素直接影响料流方向、密度分布、保压补缩作用及成型时间，因而对收缩率及方向性的影响也很大。如采用直接浇口和大截面的浇口，可减少收缩，但方向性强；若浇口宽且短，则方向性小；距离浇口近的或与料流方向垂直的部位收缩就大。

（4）成型工艺　包括温度、压力和周期。模具温度高，熔融料冷却慢、密度高、收缩大，尤其是结晶料，因结晶度高，体积变化大，故收缩更大。模温分布与塑件内外冷却及密度均匀性也有关，直接影响到各部分收缩量的大小及方向性。另外，保持压力及时间对收缩也影响较大，压力大、时间长则收缩小，但方向性大。注塑压力高，熔融料粘度差小，层间剪切应力小，脱模后弹性回跳大，故收缩也可适量地减小，料温高、收缩大，但方向性小。因此在成型时调整模温、压力、注塑速度及冷却时间等诸因素也可适当地改变塑件收缩情况。

由上述可知，影响塑料收缩率变化的因素很多，而且相当复杂。模具设计时，应根据各种塑料说明书中所提供的收缩率范围，并按塑件形状、尺寸、壁厚、有无嵌件情况、分型面及加压成型方向、模具结构及进料口形式尺寸和位置、成型工艺等诸因素综合地考虑选取收缩率值。在注塑时，则需按塑件各部位的形状、尺寸、壁厚等特点选取不同的收缩率。对精度高的塑件应选取收缩率波动范围小的塑料，并留有试模后修整的余地。另外，成型收缩还受到各成型因素的影响，注塑时调整各项成型条件也能适当地改变塑件的收缩情况。

常用塑料的计算收缩率及其他性能如表 1-12 所示。

表 1-12　常用塑料的计算收缩率及其他性能

缩写	塑料或树脂全称	相对密度	模温/℃	料筒温度/℃	收缩率(%)	注塑压力/MPa
GPPS	通用级聚苯乙烯	1.04 ~ 1.09	40 ~ 60	180 ~ 280	0.2 ~ 0.8 (0.5)	35 ~ 140
HIPS	耐冲击聚苯乙烯(GPPS + 丁二烯)	1.14 ~ 1.10	40 ~ 60	190 ~ 260	0.2 ~ 0.8 (0.5)	70 ~ 140
ABS	丙烯腈 – 丁二烯 – 苯乙烯共聚物	1.01 ~ 1.08	50 ~ 80	180 ~ 260	0.4 ~ 0.9 (0.5)	56 ~ 176
AS（SAN）	丙烯腈 – 苯乙烯共聚物	1.06 ~ 1.10	40 ~ 70	180 ~ 250	0.2 ~ 0.7 (0.6)	35 ~ 140

（续）

缩写	塑料或树脂全称	相对密度	模温/℃	料筒温度/℃	收缩率(%)	注塑压力/MPa
LDPE	低密度聚乙烯	0.89～0.93	10～40	160～210	1.5～5.0（2.0）	35～105
HDPE	高密度聚乙烯	0.94～0.98	5～30	170～240	1.5～4.0（3.0）	84～105
PP	聚丙烯	0.85～0.92	20～50	160～230	1.0～2.5（2.0）	70～140
PVC	聚氯乙烯（约加质量分数为40%的增塑剂）	1.19～1.35	20～40	150～180	1.0～5.0（2.0）	70～176
PVC	聚氯乙烯	1.38～1.41	20～60	150～200	0.2～0.6（0.4）	70～280
PA6	聚酰胺6	1.12～1.15	20～120	200～320	0.3～1.5（1.0）	70～140
PA66	聚酰胺66	1.13～1.16	20～120	200～320	0.7～1.8（1.0）	70～176
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯	1.16～1.20	50～90	180～250	0.2～0.8（0.5）	35～140
PC	聚碳酸酯	1.20～1.22	80～120	275～320	0.5～0.8（0.5）	56～140
POM	聚甲醛	1.41～1.43	80～120	190～220	1.5～3.5（2.0）	56～140
PET	聚对苯二甲酸乙二醇酯	1.29～1.41	80～120	250～310	2.0～2.5	14～49
PBT	聚对苯二甲酸丁二醇酯	1.30～1.38	40～70	220～270	0.9～2.2（1.6）	28～70
PPO	聚苯醚	1.04～1.10	70～100	240～280	0.5～0.8	84～140
PPS	聚苯硫醚	1.28～1.32	120～150	300～340	0.6～0.8	35～105

注：括号内的收缩率为常用收缩率。

1.3.5　塑料的吸湿性

吸湿性是指塑料从空气中吸收水分的倾向。某些塑料由于树脂分子链含有亲水基团，因而具有明显的吸湿倾向，例如聚酰胺、酚醛塑料等。凡树脂分子链中含有极性基团的塑料，都会使材料产生吸湿性。塑料大致可分为吸湿、粘附水分及不吸水也不易粘附水分的几种。吸湿倾向大的塑料有 PA、PC、ABS、PPO、PSF 等，吸湿倾向小的塑料有 PE、PP 等。

塑料中的增强剂、填料等助剂若含有亲水基团、极性基团等，也会增大材料的吸湿性。塑料从空气中吸湿的速率与材料的比表面有关。塑料的供料状态大都是颗粒状（热塑性塑料）、细粉状（热固性塑料压塑粉、某些热塑性塑料树脂粉），具有较大比表面，从空气中吸湿速率较快。长期贮存的塑料很容易达到吸湿平衡，含有较多水分，成型前必须进行充分干燥。塑料的含水量必须控制在允许范围内，不然在高温、高压下，水分变成气体或发生水解作用，使树脂起泡、流动性下降、表面银丝及机电性能不良，而且吸湿明显的塑料对塑件尺寸也有影响。所以，吸湿性塑料必须按要求采用适当的加热方法及规范进行预热，在使用时还需用红外线照射以防止再吸湿。用于电绝缘和介电方面的塑料制品，应选用吸湿性小的塑料，吸湿倾向小的塑料成型前不用干燥处理。

1.3.6 水敏性

在高温下，熔体对水降解的敏感性称为水敏性。水敏性塑料如聚碳酸酯在成型过程中，即使含有少量水分，但在高温、高压下也会发生水解。因此这类塑料在成型前必须预先加热进行干燥处理。

1.3.7 热敏性

热敏性塑料系指某些塑料对热较为敏感，在高温下受热时间较长或进料口截面过小，剪切作用大时，料温增高易发生变色、降解和分解的倾向，具有这种特性的塑料称为热敏性塑料，如硬聚氯乙烯 PVC、聚偏氯乙烯、醋酸乙烯共聚物、聚甲醛及聚三氟氯乙烯等。

热敏性塑料在分解时产生单体、气体及固体等副产物，特别是有的分解气体对人体、设备、模具都有刺激、腐蚀作用或毒性。因此，在模具设计、注塑机选择及成型时都应注意。选用螺杆式注塑机，浇注系统截面宜大，料筒和模具应镀铬（或者模具的内模镶件用 S136H 或 NAK80 等耐蚀性的材料），不得有死角滞料，而且必须严格控制成型温度，并在塑料中加入稳定剂，以减弱热敏性能。

1.3.8 水分和挥发物的含量

各种塑料中都含有不同程度的水分和挥发物，适量的水分有增塑的作用。但含量过多时，流动性增大、易溢料、收缩增大，严重时还会产生气泡（银纹），表面粗糙，易发生降解、发雾、波纹及翘曲等缺陷，影响塑件力学性能；对于透明制品会引发透光性被破坏（浑浊不清）等不良现象；对精密塑件则很难保证其精度。但当塑料过于干燥时，也会导致流动性不良，使成型困难。所以不同塑料应按要求进行预热干燥，对吸湿性强的塑料，如果在潮湿季节，即使预热后也应防止再吸湿。

由于各种塑料中含有不同成分的水分及挥发物，同时在缩合反应时要发生缩合水分，这些成分都需在成型时变成气体排出模外，有的气体对模具有腐蚀作用，对人体也有刺激作用。为此在模具设计时应对各种塑料的此类特性有所了解，并采取相应措施，如预热、模具镀铬，开排气槽或成型时设排气工序。

引起塑料中水分和挥发物多的原因主要有以下三个方面。

1）树脂的平均相对分子质量低。

2）树脂在生产时没有得到充分的干燥。

3）吸水性大的塑料因存放不当而使之吸收了周围空气中的水分。不同的塑料有不同的干燥温度和干燥时间，其规定如表 1-13 所示。

表 1-13 常用塑料的含水量与干燥温度

塑料名称	允许含水量（质量分数,%）	干燥温度/℃	塑料名称	允许含水量（质量分数,%）	干燥温度/℃
聚乙烯	0.01	71	聚碳酸酯	最高 0.02	121
聚苯乙烯	0.05 ~ 0.1	71 ~ 79	聚丙烯	0.1	71 ~ 82
纤维素塑料	最高 0.4	65 ~ 87	酯类纤维塑料	0.1	76 ~ 87
聚氯乙烯	0.08	60 ~ 93	尼龙	0.04 ~ 0.08	71

1.3.9　塑料的硬化性

热塑性塑料制品的生产是在其处于熔融流动状态时，在外压力的作用下借助一定的模腔获得要求的形状和尺寸，再经冷却变硬（定型）使已获得的形状和尺寸永久保持，成为制品。在冷却定型过程中，材料经历了聚集态改变或相变。即无定型聚合物从粘流态变为高弹态，再变为玻璃态，结晶型聚合物从粘流态变为晶态等过程。热固性塑料则是在充满模腔后进一步受热产生交联反应，使之固化变硬定型成为制品。塑料制品的定型过程统称为硬化。

不同塑料具有不同的硬化特性。在热塑性塑料硬化时的聚集态或相变过程中，体积缩小，熔融剪切流动中（充模时）取向的分子链会产生松弛。如果材料的比热容较小，冷却变硬的速度就快，给分子链松弛所提供的时间较短；如果材料分子链刚性较大，取向分子链解取向（松弛）的速度就慢；这两种因素结合就很容易在制品内产生冻结应力。反之，如果材料比热容较大，冷却变硬的速度就慢，取向分子链就有较充分的松弛时间，兼之材料分子链如果较柔软，取向分子链的解取向速度快，使分子链得到充分松弛，就可消除或大大减小内应力。聚碳酸酯和聚乙烯可作为上述两种不同材料的典型代表。聚碳酸酯的比热容约为 1225J/(kg · K)，熔体冷却硬化较快，加之分子链刚性大，不易松弛，很容易产生内应力。聚乙烯的比热容约为 2301J/(kg · K)，熔体冷却硬化较慢，加之分子链柔软，容易松弛，制品产生的内应力就小得多。熔体冷却硬化的速率与模具温度亦有很大关系，也会影响到分子链的松弛情况。

热固性塑料成型时要求在最佳的塑化流动状态下充模，充模后又能以最快的速度交链固化。同样，不同热固性塑料的硬化特性也有很大差别，主要表现在固化反应速度的不同。由于提高温度一方面可以使物料的流动性增大，另一方面又能加速固化反应使流动性减小，因此恰当地调节模温和物料受热时间（包括注塑时在料筒内和充模过程中两段时间）就成为取得优质制品的关键。模温偏低时物料流动性欠佳，充模速度慢，难以充满复杂型腔；模温偏高时，又会使物料在尚未完成充模就过早产生固化反应，亦不能顺利充模并带来制品弊病。不同塑料品种的固化反应速率差别很大，酚醛塑料较慢，脲醛和三聚氰胺甲醛塑料就快得多。

1.3.10　塑料的开裂性

有的塑料对应力敏感，成型时易产生内应力，且质脆易裂，塑件在外力作用下或在溶剂作用下即发生开裂现象。质脆的塑料有聚苯乙烯、有机玻璃等。

防止塑料开裂的措施有：

1）在原料内加入添加剂提高抗裂性。

2）对原料应注意干燥。

3）合理地选择成型条件，以减少内应力和增加抗裂性。

4）选择合理的塑件形状，不宜设置嵌件等，尽量减少应力集中。

5）模具设计时应增大脱模斜度，选用合理的进料口及推出机构。

6）成型时，应适当地调节料温、模温、注塑压力及冷却时间，尽量避免塑件过于冷脆时脱模。

7）成型后塑件还宜进行后处理提高抗裂性，消除内应力并禁止与溶剂接触。

1.3.11　玻璃化温度

热塑性树脂随着温度的升高，其状态由坚硬的固体逐渐转变为橡皮状弹性体，并最终转化为粘流体。热塑性树脂开始转变为橡皮状弹性体的温度称为其玻璃化温度（T_g）。在玻璃化温度以下，其弹性模量高，形变能力很小，不宜大形变加工，只能进行机械加工，是大多聚合物加工的最低温度；是选择和合理应用材料的重要参数之一。如果想对制品进行改变形状加工处理等，可以在玻璃化温度以上实施。此外，希望提高制品的结晶度时，也可以在玻璃化温度以上进行处理。常用塑料的加工温度范围如表 1-14 所示。

表 1-14　常用塑料的加工温度范围

塑料名称	玻璃化温度/℃	熔点/℃	加工温度范围/℃	降解温度（空气中）/℃
聚苯乙烯	85～110	165	180～260	260
ABS	90～120	160	180～250	250
高压聚乙烯	－125	110	160～240	280
低压聚乙烯	－125	130	200～280	280
聚丙烯	－20	164	200～300	300
尼龙 66	50	225	260～290	300
尼龙 6	50	265	260～290	300
有机玻璃	90～105	180	180～250	260
聚碳酸酯	140～150	250	280～310	330

1.3.12　流长比和型腔压力

熔体流动长度与制品壁厚度的比值叫流长比。流长比和型腔压力是两个很重要的参数，前者可以考虑制品最多能做多宽多薄，后者为锁模力计算提供了参考。表 1-15 是几种常用塑料的流长比和型腔压力。

表 1-15　几种常用塑料的流长比和型腔压力

材料代号	流长比（平均）	型腔压力/MPa	材料代号	流长比（平均）	型腔压力/MPa
LDPE	270∶1（280∶1）	15～30	PA	170∶1（150∶1）	42
PP	250∶1	20	PoM	150∶1（145∶1）	45
HDPE	230∶1	23～39	PMMA	130∶1	30
PS	210∶1（200∶1）	25（54）	PC	90∶1	50
ABS	190∶1	40			

1.3.13　降解

高聚物成型塑件常常是在高温和应力作用下进行的。因此，高聚物分子可能由于受到热和应力的作用或由于高温下高聚物中微量水分、酸、碱等杂质及空气中氧的作用而导致其相对分子质量降低，使高聚物的大分子结构发生化学变化。通常把高聚物相对分子质量降低的现象称为高聚物的降解，也称裂解。

降解的实质表现为断链、分子链结构的改变、侧基的改变以及它们的综合作用。在成型

加工中，高聚物的降解一般都难以完全避免，而降解大多是有害的。轻度降解会使高聚物变色，进一步降解会使高聚物分解出低分子物质，导致相对分子质量降低，塑件出现气泡和流纹等弊病，并因此削弱塑件的各种物理、力学性能。而严重的降解会使高聚物焦化变黑，产生大量的分解物质。

对塑料的成型加工来说，在正常操作情况下，热降解是主要的，由力、氧气和水等引起的降解是次要的，但它们也都能通过温度对高聚物的降解起重要作用。所谓热降解是指高聚物在高温下受热时间过长，发生变色和分解等现象。

高聚物在成型过程中出现降解后，塑件外观变坏，内在质量降低，使用寿命缩短，因此在加工过程中应设法减少和避免高聚物降解。通常可采取的措施如下：

1）严格控制原材料的技术指标，使用合格的原材料。若原材料不合格，高聚物的稳定性和加工性变坏，所含杂质可对降解起催化作用。

2）使用前对高聚物进行严格干燥，特别是聚酯、聚醚和聚酰胺等吸湿性强的塑料，使用前通常应将水分的质量分数降低到 0.05% 以下。

3）确定合理的加工工艺和加工条件，使高聚物在不易产生降解的条件下加工成型，这对于那些热稳定性差、加工温度和分解温度非常接近的高聚物尤为重要。

4）采用结构良好的成型加工设备和模具。

5）当加工温度较高时，在配方中考虑使用抗氧化剂、稳定剂等，以加强高聚物对降解的抵抗能力。

1.3.14　交联

高聚物在加工过程中，形成立体网状分子结构的反应称为交联，通过交联反应可生成体型高聚物。和线型高聚物相比，体型高聚物的机械强度、耐热性、耐溶剂性、化学稳定性和塑件的形状稳定性均有所提高。所以在一些对强度、工作温度、蠕变等要求较高的场合，体型高聚物有着广泛的应用。交联反应主要发生在热固性聚合物的成型过程中，例如，采用压缩、压注和层压等成型方法来生产热固性塑料制品，就是典型的交联反应。在加工热塑性材料时，由于加工条件不当或原料不纯等，也可能在高聚物中引起交联反应，但这种交联是非正常的，会使高聚物的性能变坏，在加工中应尽量避免。

高聚物的交联反应很难完全进行。高聚物的交联度高，说明交联反应进行的程度深。在交联反应进行的同时，高聚物逐渐失去了可溶性和可熔性。交联度不宜过高或过低，过高的交联度会引起高聚物发脆、变色和起泡；交联度过低，高聚物的机械强度、耐热性等较差，塑件表面灰暗，易产生细微裂纹，吸水量也大。在塑料成型工业中，交联一词常常用硬化代替。交联度过低称为硬化不足，反之称为硬化过度。一般来说，加工温度高则交联速度快，硬化时间长则交联度高。加工过程中的流动、搅拌等都有利于交联反应速度的加快。但所谓硬化得好或硬化得完全并不意味着交联反应进行的完全，而是指交联作用发展到了一种最为适宜的程度，以至于塑料制件的物理性能、力学性能等达到最佳状况。显然，交联程度不会达到 100%，但硬化程度却可以。一般硬化程度大于 100% 的为过熟，反之则为欠熟。

1.3.15　相容性

塑料的相容性又称为塑料的共混性，主要是针对高聚物共混体系而言的。不同金属可以

做成金属合金，从而得到纯金属所不及的性能优良的新材料。同样，不同的塑料进行共混以后，也可以得到单一塑料所无法拥有的性质。这种塑料的共混材料通常称为塑料合金。该方法是改进塑料性能的重要途径之一，例如聚碳酸酯与 ABS 塑料共混，就能改善聚碳酸酯的工艺性（主要是流动性）。相容性是指两种或两种以上的塑料共混后得到的塑料合金，在熔融状态下各种参与共混的塑料组分之间不产生分离现象的能力。如果它们的相容性好，则可能形成均相体系；如果相容性不好，塑料共混体系可能会形成多相结构，严重则出现分层、脱皮等表面缺陷。当然，在一定条件下也可能形成均匀的分散体系。因此，相容性对塑料合金的结构影响很大，判断共混体系的相容性是研究高分子合金的一个非常重要的方面。

不同塑料的相容性与其分子结构有一定关系，分子结构相似者较易相容，例如高压聚乙烯、低压聚乙烯、聚丙烯彼此之间的混熔等；分子结构不同时较难相容，例如聚乙烯和聚苯乙烯之间的混熔。共注塑（又称夹芯注塑）就要求顺序注入模具的塑料熔体间要具有很好的相容性。

常见塑料的相容性如表 1-16 所示。

表 1-16　常见塑料的相容性

		ABS	ASA	CA	EVA	PA 6	PA 6.6	PBT	PC	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO mod.	PS	PSU	Plasticised	SAN	TPE–A	TPE–E	TPE–S	TPE–U	TPE–V	EPDM	NR/SBR	SBR	LSR
	ABS																					M						
	ABS/PC																					M						
	ASA																											
	CA																											
	EVA																											
	PA 6																					M						M
	PA 6(mod.+25%GF)																					M						
	PA 6.6																					M						M
	PA 6.6(mod.+25%GF)																					M						
	PA 6.12																											
	PA 12(mod.+25%GF)																					M						
	PBT																					M						M
	PC																					M						M
	PC/PBT																					M						M
	PE																					M						
	PET																					M						
	PMMA																					M						
	POM																											
	PP																											M
	PPO mod.																					M						
	PPE mod.																								P	S	S	
	PS																					M						
	PSU																											
	Rigid PVC																											
	SAN																					M						
TPE	TPE–E																											
TPE	TPE–U																											
D	BMC																											
	EPDM																											
	NR																											
	SBR																											
	LSR																											

优粘性　差粘性　无粘性

注：mod表示改性，百分含量是指质量分数。

1.4　常用塑料的简易鉴别方法

1.4.1　常用塑料的外观鉴别法

常用塑料的外观如表 1-17 所示。

表 1-17　常用塑料的外观

塑　料	外 观 特 征
聚氯乙烯	硬 PVC 塑料坚硬平滑，较沉，外观多为灰色或深色 软 PVC 塑料类似橡胶，表面光滑，有增塑剂味 纯 PVC 为无色透明粒料
聚乙烯	高压 PE（LDPE）未加色粉呈乳白色半透明状，质软而韧 低压 PE（HDPE）未加色粉呈乳白色，但不透明，质硬，不延伸
聚丙烯	乳白色半透明体，表面似蜡状，但硬度高，触摸有润滑感，质轻，能耐沸水蒸煮而不软化
ABS	微黄色不透明体，易着色，制品坚而韧，且表面有高度光泽
聚苯乙烯	纯聚苯乙烯是硬而脆的无色透明体，着色后色泽艳丽。敲击发声清脆，似金属撞击声 PS 与改性 PS（AS）和 ABS 的区别，前者性脆，后两者为韧性，弯折时前者易脆裂，后两者难断裂。多次弯折发出气味也不同
有机玻璃	无色透明体（有的为微蓝色），似无机玻璃，制品透明性最好，与 PS 相比韧而不易脆裂；但与 PC 相比，其韧性、强度都较低。着色后色彩艳丽，有光泽，质地坚而刚，但表面硬度低，易被硬物划伤
聚酰胺 PA	多为微黄色或乳白色半透明体，质地坚韧，外观比较粗糙（不光滑）
聚碳酸酯	微黄色透明体，质地刚硬而有韧性，敲击发声较清脆
聚甲醛 POM	白色不透明粒料
酚醛塑料	制品多为棕色或黑色，表面坚硬而质脆，易碎，打击时似木板撞击声
脲醛塑料	制品多为浅色，色彩鲜艳，有光泽，表面坚硬耐磨，似陶瓷

1.4.2　常用塑料的密度鉴别法

塑料的品种不同，其密度也不同，可利用测定密度的方法来鉴别塑料，但此时应将发泡制品分别出来，因为发泡沫塑料的密度不是材料的真正密度。在实际工业上，也有利用塑料的不同密度来分选塑料的。常用塑料的密度如表 1-18 所示。

表 1-18　常用塑料的密度

密度/(g/cm^3)	材　　料	密度/(g/cm^3)	材　　料
0.8	硅橡胶（可用二氧化硅填充到 1.25）	0.92 ~ 1.00	天然橡胶
		0.92 ~ 0.98	低压（高密度）聚乙烯
0.83	聚甲基戊烯	1.01 ~ 1.04	尼龙 12
0.85 ~ 0.91	聚丙烯	1.03 ~ 1.05	尼龙 11
0.89 ~ 0.93	高压（低密度）聚乙烯	1.04 ~ 1.06	丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯共聚物（ABS）
0.91 ~ 0.92	1 - 聚丁烯		
0.9 ~ 0.93	聚异丁烯	1.04 ~ 1.08	聚苯乙烯

（续）

密度/（g/cm³）	材　　料	密度/（g/cm³）	材　　料
1.05～1.07	聚苯醚	1.25～1.35	乙酸纤维素
1.06～1.10	苯乙烯－丙烯腈共聚物	1.30～1.41	苯酚甲醛树脂（填充有机材料：纸，织物）
1.07～1.09	尼龙610		
1.12～1.15	尼龙6	1.30～1.40	聚氟乙烯
1.13～1.16	尼龙66	1.34～1.40	赛璐珞
1.10～1.40	环氧树脂，不饱和聚酯树脂	1.38～1.41	聚对苯二甲酸乙二醇酯
1.14～1.17	聚丙烯腈	1.38～1.50	硬质PVC
1.15～1.25	乙酰丁酸纤维素	1.41～1.43	聚氧化甲烯（聚甲醛）
1.16～1.20	聚甲基丙烯酸甲酯	1.47～1.52	脲－三聚氰胺树脂（加有机填料）
1.17～1.20	聚乙酸乙烯酯	1.47～1.55	氯化聚氯乙烯
1.18～1.24	丙酸纤维素	1.50～2.00	酚醛塑料和氨基塑料（加有无机填料）
1.19～1.35	增塑聚氯乙烯（大约含有质量分数为40%增塑剂）		
		1.70～1.80	聚偏二氟乙烯
1.20～1.22	聚碳酸酯（双酚A型）	1.80～2.30	聚酯和环氧树脂（加有玻璃纤维）
1.20～1.26	交联聚氨酯	1.86～1.88	聚偏二氯乙烯
1.26～1.28	苯酚甲醛树脂（未填充）	2.10～2.20	聚三氟－氯乙烯
1.26～1.31	聚乙烯醇	2.10～2.30	聚四氟乙烯

常用于塑料密度鉴别的溶液如表1-19所示。

表1-19　常用于塑料密度鉴别的溶液

溶液的种类	密度（25℃）/（g/cm³）	配制方法	塑料（制品）种类	
			浮于溶液	沉入溶液
水	1		聚乙烯、聚丙烯	聚氯乙烯、聚苯乙烯
饱和食盐溶液	1.19	74mL水和26g食盐	聚苯乙烯、ABS	聚氯乙烯
58.4%的酒精溶液	0.91	100mL水和140mL 95%（质量分数）的酒精	聚丙烯	聚乙烯
55.4%的酒精溶液	0.925	100mL水和124mL 95%（质量分数）的酒精	高压聚乙烯	低压聚乙烯
氯化钙水溶液	1.27	100g的氯化钙（工业用）和150mL水	聚苯乙烯、有机玻璃、ABS、聚乙烯	聚氯乙烯、酚醛塑料

1.4.3　常用塑料的燃烧鉴别法

燃烧试验鉴别法是利用小火燃烧塑料试样，观察塑料在火中和火外的燃烧性，同时注意熄火后，熔融塑料的落滴形式及气味，从而鉴别塑料种类的方法，如表1-20所示。

热塑性塑料和热固性塑料的判别：所有热固性塑料受热或燃烧都是无发软熔融过程，只会变脆和焦化；所有热塑性塑料受热或燃烧都先经历发软熔融过程，但不同塑料的燃烧现象不同。

表 1-20　常用塑料的燃烧状况

名称	燃烧情况	燃烧火焰状态	离火后情况	气　味
聚丙烯 PP	容易	熔融滴落，上黄下蓝，少量黑烟	继续燃烧	特殊味（柴油味）
聚乙烯 PE	容易	熔融滴落，上黄下蓝	继续燃烧	石蜡燃烧气味
聚氯乙烯 PVC	难，软化	上黄下绿，白烟	离火熄灭	刺激性酸味，氯气味
聚甲醛 POM	容易，熔融滴落	上黄下蓝，无烟	继续燃烧	强烈刺激的甲醛气味
聚苯乙烯 PS	容易	软化起泡，橙黄色，浓黑烟，炭末	继续燃烧，表面油性光亮	特殊苯乙烯气味
尼龙 PA	慢燃	熔融滴落	起泡，慢灭	特殊羊毛、指甲气味
聚甲基丙烯酸甲酯（有机玻璃）PMMA	易燃	黄色，尾端青绿熔化起泡，质白，无烟	继续燃烧	强烈花果臭味，腐烂蔬菜味
聚碳酸酯 PC	慢燃，熔融起泡	黄色，少量黑烟炭末	慢灭	特殊气味，花果臭味
聚四氟乙烯 PTFE	不燃	长期高温呈透明状		在烈火中分解出刺鼻的氟化氢气味
聚对苯二甲酸乙二酯 PET	易燃，软化起泡	橙色，有小量黑烟	慢灭	酸味
ABS	慢燃，软化，烧焦，无滴落	黄色，黑烟	继续燃烧	橡胶味，辣味
聚酰胺 PA	慢燃	蓝色，上端黄色，熔融滴落，起泡	慢灭	羊毛、指甲烧焦气味
热塑性聚酯 TPES	容易	橘黄，有黑烟，起泡，伴有噼啪碎裂声	继续燃烧	刺激性芳香味
聚砜 PSF	难燃，熔融	黄褐色烟	熄灭	略有橡胶燃烧味
酚醛 PF	慢燃，膨胀开裂	黄色或少量黑烟	自燃或继续燃烧	木材、布或纸和酚醛味
脲甲醛树脂（尿素）UF	难，膨胀开裂，颜色白化	黄色，尾端青绿	熄灭	尿素味，甲醛味
蜜胺－甲醛树脂 MF	难，膨胀开裂，颜色白化	淡黄色	熄灭	尿素味，甲醛味，胺味
不饱和聚酯（达克龙）UP	易微膨胀，罅裂	黄色黑烟	不熄灭	苯乙烯气味
硝酸纤维素 CN	极易完全迅速燃烧	黄色	不熄灭	特殊味
醋酸纤维素 CA	易边滴边燃	暗黄色黑烟	不熄灭	特殊味

1.4.4　常用塑料的溶剂处理鉴别法

热塑性塑料在溶剂中会发生溶胀，但一般不溶于冷溶剂，在热溶剂中，有些热塑性塑料

会发生溶解，如聚乙烯溶于二甲苯中。热固性塑料在溶剂中不溶，一般也不发生溶胀或仅轻微溶胀，弹性体不溶于溶剂，但通常会发生溶胀。表 1-21 为常用塑料在不同溶剂中的溶解性。

表 1-21　常用塑料在不同溶剂中的溶解性

聚合物	塑料的溶解性	
	溶剂	非溶剂
聚乙烯	对二甲苯、三氯苯	丙酮、乙醚
聚 –1 – 丁烯	癸烷、十氢化萘	低级醇
无规聚丙烯	烃类、乙酸异戊酯	醋酸乙酯、丙醇
聚异丁烯	己烷、苯、四氧化碳、四氢呋喃	丙酮、甲醇、乙酸甲酯
聚丁二烯	脂肪族和芳香族烃类	
聚苯乙烯	苯、甲苯、三氯甲烷、环己酮、乙酸丁酯、二硫化碳	低级醇、乙醚（溶胀）
聚氯乙烯	四氢呋喃、环己酮、甲酮、二甲基甲酰胺	甲醇、丙酮、庚烷
聚氟乙烯	环己酮、二甲胺基甲酰胺	脂肪族烃类、甲醇
聚四氟乙烯	不可溶	
聚乙烯异烯酯	苯、三氯甲烷、甲醇、丙酮、乙酸丁酯	乙醚石油醚、丁醇
聚乙烯异丁醚	异丙醇、甲基乙烯酮、三氯甲烷、芳香族烃类	甲醇、丙酮
聚丙烯酸酯和聚甲基丙烯酸酯	三氯四烷、丙酮、乙酸乙酯、四氢呋喃、甲苯	甲醇、乙醚、石油醚
聚丙烯腈	二甲胺基甲酰胺、二甲亚砜、浓硫酸、水	醇类、乙醚、水、烃类
聚丙烯酰胺	水	甲醇、丙酮
聚丙烯酸	水、稀碱类、甲醇、二噁烷、二甲胺基甲酰胺	烃类、甲醇、丙酮、乙醚
聚乙烯醇	水、二甲基甲酰胺、二甲亚砜	烃类、甲醇、丙酮、乙醚
纤维素	含水氢氧化铜铵、含水氯化锌、含水硫氰酸钙	甲醇、丙酮
三醋酸纤维素	丙酮、三氯甲烷、二噁烷	甲醇、乙醚
甲基纤维素（三甲基）	三氯甲烷、苯	乙醇、乙醚、石油醚
羧甲基纤维素	水	甲醇
脂肪族聚脂类	三氯甲烷、甲酸、苯	甲醇、乙醚、脂肪族烃类
对苯二甲酸乙二醇酯	间甲酚、邻氯酚、硝基苯、三氯乙酸	甲醇、丙酮、脂肪族烃类
聚酰胺	甲酸、浓硫酸、二甲胺基甲酰胺、间甲酚	甲醇、乙醚、烃类
聚氨基甲酸酯类（不交联）	甲酸、γ – 丁内脂、二甲胺基甲酰胺、间甲酚	甲醇、乙醚、烃类
聚氧化甲烯	γ – 丁内酯、二甲基甲酰胺、苯甲醇	甲醇、乙醚、脂肪族烃类
聚氧化乙烯	水、苯、二甲基甲酰胺	脂肪族烃类、乙醚
聚二甲基硅氧化烷	三氯甲烷、庚烷、苯、乙醚	甲醇、乙醇

1.5　塑料熔体的流动特性

1.5.1　塑料的粘性流动行为

在塑料制品成型过程中，除极少数工艺外，均要求塑料处于粘流状态。因为在这种状态下，塑料不仅易于流动，而且易于形变。这给它的输送及其制品成型带来极大方便，使之采用大规模工业化生产也成为可能。

1. 流体分类

根据流体在流动过程中剪切应力和剪切速率之间的关系可将流体分为牛顿流体和非牛顿流体。根据应变中有无弹性效应和应变对时间的依赖关系又可将非牛顿流体分为粘性流体、粘弹性流体和有时间依赖性的流体，具体如表 1-22 所示。

表 1-22　流体的分类及特点

流体类型			表达式	特　　点
牛顿流体			$\tau=\mu\left(\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}r}\right)=\mu\dot{\gamma}$	剪切应力 τ 和剪切速率 $\dot{\gamma}$ 成正比关系 比例关系 μ 为常数，称为牛顿粘度，它是液体本身固有的性质，仅与流体分子的结构和温度有关，与剪切应力和剪切速率无关，表征抵抗外力引起流动变形的能力，单位 Pa · s 低分子流体多表现为牛顿流体特性
非牛顿流体	粘性流体	假塑性流体	$\tau=\eta_{\mathrm{a}}\dot{\gamma}$	表观粘度 η_{a} 随剪切应力的增加而减小（剪切变稀） 假塑性流体是非牛顿流体中最普通、最常见、也最重要的一种。几乎绝大多数聚合物熔体以及聚合物溶液，其流动行为都接近于假塑性流体
		膨胀性流体		表观粘度 η_{a} 随剪切应力的增加而上升（剪切变稠） 大多固体含量较大的悬浮液属于这一类
		宾汉流体	$(\tau-\tau_{\mathrm{y}})=\eta_{\mathrm{p}}\dot{\gamma}$	当应力超过某临界值（屈服应力）时，才开始像牛顿流体那样流动，其应变不可逆。通常认为这是由于流体静止时内部具有凝胶结构所致。η_{p} 称为宾汉粘度。聚合物浓溶液、凝胶性糊塑料、牙膏、油漆、润滑脂、泥浆等都属于或接近宾汉流体
	粘弹性流体		$\dot{\gamma}=f(\tau,\gamma)$	该类流体中，其粘性流动中弹性行为不能忽略。流动中是以粘性形变为主还是以弹性形变为主，取决于外力作用时间 t 和松弛时间 t^* 的关系。外力作用时间比松弛时间长得多时，流体的总形变中以粘性形变为主；反之以弹性形变为主 聚合物熔体一般为粘弹性流体，通常仍作粘性流体处理，考虑其弹性效应对分析和计算做必要的修正，简化计算
	有时间依赖性流体	触变性流体	$\dot{\gamma}=f(\tau,\gamma,t)$	表观粘度随剪切持续时间而降低，如涂料和油墨。因流体结构没发生永久性变化，粘度变化可逆
		震凝性流体		表观粘度随剪切持续时间而增大，如某些浆状物和石膏的水溶液。因流体结构没发生永久性变化，粘度变化可逆

牛顿流体、假塑性流体、膨胀性流体和理想宾汉流体的 $\tau-\dot{\gamma}$ 流变曲线和 $\eta_{\mathrm{a}}-\dot{\gamma}$ 曲线分别如图 1-4 和图 1-5 所示。

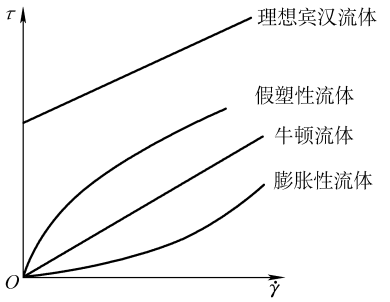


图 1-4　典型流体应变 – 应变速率流变曲线

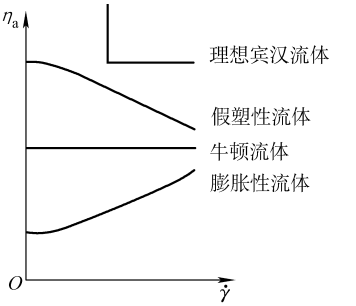


图 1-5　流体粘度 – 剪切速率曲线

2. 塑料熔体与指数定律

如前所述，塑料熔体本质为粘弹性流体，但通常仍作粘性流体处理，在需考虑其弹性效应时为简化计算才做必要的修正。因而研究粘性流体，尤其是其中的假塑性流体的流变行为对成型加工具有非常实际的意义。

描述假塑性流体的经验方程式中，具有实用价值的要数指数定律：聚合物粘性流体在给定温度和给定剪切速率的范围内流动时，剪切应力和剪切速率具有指数函数关系。

指数定律方程表示为

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \text{ 或 } \eta_a = K\dot{\gamma}^{n-1}$$

式中　K——粘度系数，流体越粘稠 K 值越大；

n——流动指数，表征流体偏离牛顿型流动的程度，$n=1$ 时为牛顿流体；$n>1$ 时为膨胀性流体；$n<1$ 时为假塑性流体；n 值偏离 1 越远，流体的非牛顿性越强。

指数定律方程的对数形式：

$$\log\tau = \log K + n\log\dot{\gamma}$$

在剪切应力 – 剪切速率的双对数坐标图（见图 1-6a）中，n 为直线斜率。

或

$$\log\eta_a = \log K + (n-1)\log\dot{\gamma}$$

在粘度 – 剪切速率的双对数坐标图（见图 1-6b）中，$n=1$ 时为水平直线，$n<1$ 和 $n>1$ 时为曲线。

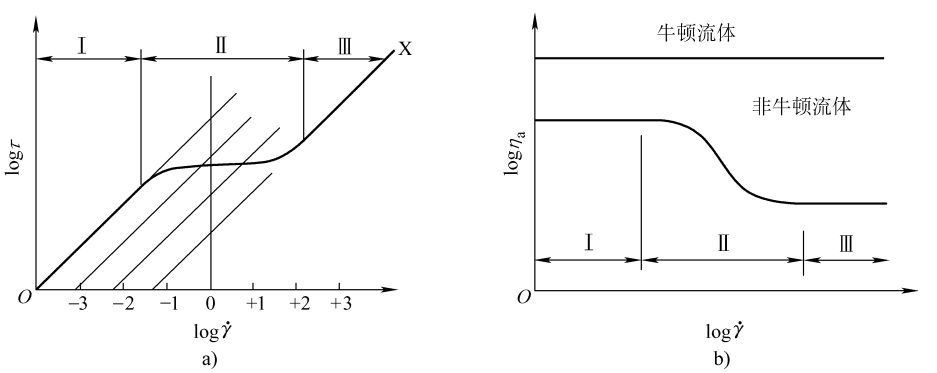


图 1-6　宽剪切速率范围聚合物熔体的剪切应力/粘度 – 剪切速率曲线

a）剪切应力 – 剪切速率的双对数坐标图　b）粘度 – 剪切速率的双对数坐标图

注：Ⅰ和Ⅲ为牛顿流动区，Ⅱ为非牛顿流动区，X 表示熔体破裂。

宽剪切速率范围聚合物熔体三个流动区的特点如表 1-23 所示。

表 1-23　宽剪切速率范围聚合物熔体三个流动区的特点

第一流动区 （第一牛顿流动区）	第二流动区 （非牛顿流动区）	第三流动区 （第二牛顿流动区）
低剪切速率范围	中等剪切应力/剪切速率范围 大多数聚合物成型加工的剪切速率范围	高剪切速率或剪切应力范围
零剪切粘度 η_0：切变速率为 0 时的粘度	结构粘度：流体的结构因剪切而发生变化，粘度对剪切速率有依赖性 假塑性流体（剪切变稀） 膨胀性流体（剪切变稠）	极限粘度 η_∞：粘度再次不依赖于剪切速率或剪切应力，为常数

1.5.2　影响塑料熔体流动的因素

粘度是描述塑料熔体流动行为的重要量度，是塑料模具设计不可缺少的工艺数据，因此分析了解其影响因素十分重要。

实际上，聚合物熔体的粘度由两个方面的因素决定：一是在聚合物熔体内的自由体积。自由体积是聚合物中未被聚合物占领的空隙，是大分子链段进行扩散运动的场所。凡能引起自由体积增加的因素均能活跃大分子的运动，并导致聚合物熔体粘度的降低；二是大分子之间的缠结使分子链的运动变得非常困难。因此凡是能减少这种缠结作用的因素，都能加速分子链的运动，并导致熔体粘度的降低。

具体来说，影响塑料熔体流动的因素有温度、压力、剪切速率或剪切应力以及聚合物结构因素和组成。

1. 温度对熔体粘度的影响

在高分子加工中，温度是进行粘度调节的重要手段。在塑料加工温度为 $T_f \sim T_d$ 时，一般温度升高，粘度下降。

在不同温度范围，粘度与温度的拟合关系（函数关系）也不同。

1）当聚合物处于粘流温度 T_m 以上不宽的温度范围内，粘度对温度的依赖关系可用 Andrade公式表示，即

$$\ln\eta = \ln A + E_\eta / RT$$

式中　E_η——聚合物粘流活化能（kcal/mol）；

A——粘度常数；

R——气体常数。

粘度仅与温度 T 有关。E_η 的大小反映出聚合物粘度对温度的依赖性，E_η 越大，熔体对温度越敏感（不同材料对温度的敏感性不一样）。对 E_η 较大（温敏性）的聚合物，只要不超过分解温度，提高加工温度都会降低粘度、增大流动性。表 1-24 中列有若干聚合物熔体的粘流活化能 E（$\dot{\gamma}$）。

2）在玻璃化温度 $T_g \sim T_g + 100$℃ 的温度范围内，粘度对温度的依赖关系可用 W. L. F. 方程表示：

表 1-24 若干聚合物熔体的粘流活化能

聚合物	商品名	温度/℃	剪切速率/s^{-1}	$E(\dot{\gamma})$/(kJ/mol)
聚甲醛（POM）	Dehrin 500×1050	190	$10^1 \sim 10^2$	26.4～28.5
尼龙（PA）		250	$10^1 \sim 10^2$	96.3～104.7
聚乙烯（M13.3）	Shole×600	190	$10^1 \sim 10^2$	25.1～28.5
聚乙烯（M12.1）		150	$10^2 \sim 10^3$	28.9～34.3
聚乙烯（M12.1）		200	$10^2 \sim 10^3$	23.9～29.3
聚乙烯（M10.74）	Hi－Zex 3000	190	$10^1 \sim 10^3$	28.9～30.1
聚丙烯（PP）	1014	250	$10^1 \sim 10^2$	41.8～60.1
聚丙烯（PP）		180～220	$10^1 \sim 10^2$	13.6～22.6
聚丙烯+40%滑石粉		180～220	$10^1 \sim 10^2$	15.1～21.8
聚苯乙烯（PS）	Diarex HF55	190	$10^1 \sim 10^2$	92.1～96.3
有机玻璃（PMMA）	Aerypet M	190	$10^1 \sim 10^2$	159～167
聚碳酸酯（PC）	Panlite K	250	$10^1 \sim 10^2$	167～188
聚氯乙烯（PVC）	JR800	160	$10^1 \sim 10^2$	250～270
聚丙烯（f1P）		180～220	$2\times10^{-2} \sim 3\times153$	34.8
聚丙烯+40%滑石粉		180～220	$2\times10^{-2} \sim 3\times153$	34.8
聚异丁烯		55～120	$10^2 \sim 10^3$	20.5～36.4

注：百分含量为质量分数。

$$\log\eta_T = \log\eta_g - \frac{17.44\times(T-T_g)}{51.6+(T-T_g)}$$

若选择 T_s（$T_s > T_g$，高 40～50℃的范围）为基准温度，对一般非晶态聚合物来说，W. L. F. 方程的一般式为：

$$\log\eta_T = \log\eta_s - \frac{8.86\times(T-T_s)}{101.6+(T-T_s)}$$

W. L. F. 方程是用一定温度下所测定的粘度数据来计算非晶态聚合物在其他温度时的粘度的方法，也可在粘度已确定的情况下用来计算所需的温度，但有适用范围。

2. 压力对熔体粘度的影响

压力增加，粘度增加。这是因为压力作用使得分子间隙减小，大分子间距离缩小，链段跃动范围减小，分子间作用力增加，引起流体粘度相应增大。不同聚合物的压缩率不同，粘度对压力的敏感性也不同。表 1-25 列出了若干聚合物在不同压力下的粘度比值。

表 1-25 聚合物在不同压力下的粘度比值

聚合物			熔体温度/℃	压力变化范围/MPa	粘度比值（增大倍数）
代号	密度/(g/cm^3)	熔融指数 MI/(g/min)			
PS			196	0～126.6	134.0
PS			180	14.0～175.8	10.0
PE			149	0～126.6	14.0
PE	0.960	5.0		14.0～175.8	4.1
PE	0.920	2.1		14.0～175.8	5.6
PE	0.920	0.3		14.0～175.8	9.7
PE	0.945	0.2		14.0～175.8	6.8
PP	0.907			14.0～175.8	7.3

增大压力引起粘度增大这一事实说明，单纯通过增大压力去提高聚合物熔体的流量是不恰当的。过大的压力不仅会造成功率的消耗，而且还会造成设备过度磨损。事实上，一种聚合物在正常的加工范围内，增大压力对粘度的影响和降低温度对粘度的影响具有相似性。例如，对很多聚合物而言，当压力从零增到 100MPa 时，其粘度的变化相当于降低温度 30 ~ 50℃的作用。这种在生产过程中通过改变压力或温度，都能获得相同的粘度变化效应，被称为压力 – 温度等效性。

表 1-26 列有若干聚合物熔体的温度与压力的等效值 $(\Delta T/\Delta p)_\eta$。在维持粘度不变的情况下，$(\Delta T/\Delta p)_\eta$ 值与相对分子质量无关。

表 1-26　若干聚合物熔体的温度与压力的等效值

聚合物	PVC	PA66	PMMA	PS	HDPE	共聚甲醛	LDPE	SI	PP
$(\Delta T/\Delta p)_\eta \times 10^{-1}$/（℃/MPa）	3.1	3.2	3.3	4.0	4.2	5.1	5.3	6.7	8.6

3. 剪切应力或剪切速率对熔体粘度的影响

在非牛顿型流动区的剪切速率范围，当剪切速率增加时，大多数聚合物熔体的粘度会下降（剪切变稀），改变剪切速率是进行粘度调节的一个重要手段。

不同聚合物对粘度的剪切敏感性不一样。对剪切速率敏感的聚合物包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯等；对剪切速率不敏感的聚合物包括聚苯乙烯、聚甲醛、聚碳酸酯、聚酰胺等。

对塑料模具设计来说，如果塑料熔体的粘度在很宽的剪切速率范围内都是可用的，则选择在粘度对剪切速率不敏感的范围内进行，以保证质量的稳定。

根据聚合物粘度对剪切速率、温度的敏感性差异来选择粘度改变方法，从而有效地改变其成型性。

4. 聚合物结构因素和组成对粘度的影响

（1）链结构和链的极性　长支链支化使熔体粘度显著提高，支化程度越大，粘度升高越高，流动性显著降低，长支链也增大了聚合物粘度的切敏性；链的极性越大，分子间作用力增大，粘度越高。刚硬性增加和分子间吸引力越大（极性聚合物和结晶聚合物），则粘度的温敏性增加。

（2）相对分子质量　相对分子质量越大，粘度越大。因为相对分子质量 M 越大，分子链越长，链段数越多，要这么多的链段协同起来朝一个方向运动相对来说要难些。此外，分子链越长，分子间发生缠结作用的几率越大，从而流动阻力增大，粘度增加。

临界相对分子质量 M_c（5000 ~ 15000）以下聚合物熔体表现为牛顿型流动；M_c 以上聚合物流动时的非牛顿行为随相对分子质量的增加而加强。

对过高相对分子质量的聚合物进行加工时，常加入低相对分子质量物质（溶剂或增塑剂）或采用降低相对分子质量的方法来降低粘度，改善其加工性。

（3）相对分子质量分布　在平均相对分子质量相同时，熔体的粘度随相对分子质量分布的增宽而迅速下降，表现出更多的非牛顿性。相对分子质量分布窄的聚合物温敏性大；相对分子质量分布宽的聚合物切敏性大。

（4）添加剂　固体物质的加入一般会增大体系的粘度，降低流动性；溶剂或增塑剂的

加入能够降低体系粘度，增大流动性，且非牛顿流动的临界剪切速率随溶剂含量的增加而增大。

1.5.3　塑料熔体状态方程

在塑料模具设计计算中，常要用聚合物熔体的密度ρ_m。聚合物熔体密度ρ_m是温度和压力的函数。它可由表示压力、温度和容积相互间关系的状态方程获得。其表达式为

$$(p+\pi)(N_m-\omega)=R'T$$

或

$$\rho_m=\frac{1}{V_m}=\frac{p+\pi}{R'T+\omega(p+\pi)}$$

式中　p——外加压力（N/cm^2）；

π——内压力（N/cm^2）；

V_m——熔体的质量体积（cm^3/g）；

T——热力学温度（K）；

ω——在热力学温度为零时熔体的质量体积（cm^3/g）；

R'——修正的气体常数 $cm^3 \cdot MPa/(K \cdot mol)$。

该状态方程可用于无定形聚合物，也可用于结晶型聚合物。若干聚合物的状态参数见表1-27。

表1-27　状态方程的 π、ω 和 R' 值

聚合物	π/(N/cm^2)	ω/(cm^3/g^2)	R'/[$cm^3 \cdot MPa/(K \cdot mol)$]
聚苯乙烯（PS）	19010	0.822	8.16
通用聚苯乙烯（GPS）	34840	0.807	18.90
有机玻璃（PMMA）	22040	0.734	8.49
乙基纤维素（EC）	24510	0.720	14.05
醋酸丁酸纤维素（GAB）	26080	0.688	15.62
低密度聚乙烯（LDPE）	33520	0.875	30.28
高密度聚乙烯（HDPE）	34770	0.956	27.10
聚丙烯（PP）	25300	0.922	22.90
聚甲醛（POM）	27550	0.633	10.60
尼龙610（PA610）	13510	0.860	18.50
尼龙66（PA66）	30450	0.914	7.38

1.5.4　塑料熔体的弹性表现

大多数聚合物在流动中除了表现出粘性行为外，还不同程度地表现出弹性行为。这种弹性对聚合物加工与成型有很大的影响。聚合物最常见的弹性行为是端末效应和不稳定流动。端末效应又分为入口压降效应和出口膨胀效应，熔体破裂是不稳定流动的一种极端现象。聚合物熔体在管子入口区域和出口区域的流动如图1-7所示。

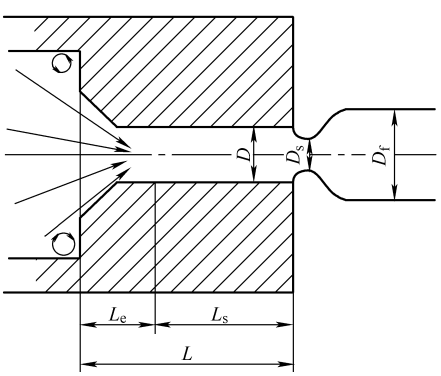


图1-7　聚合物熔体在管子入口区域和出口区域的流动

1. 入口压降效应

即使所挤出的聚合物熔体只通过一个极端的口

模，也会产生预想不到的大的压力降，此种现象称为入口压降效应。入口压降效应产生的主要原因有两方面：一是由于入口截面的减小，使熔体的流动速度增加，熔体动能增加；二是剪切速率的增加导致高弹形变增加，高弹形变使耗能增加。熔体动能的增加和高弹形变耗能的增加使熔体进入小管后的能量消耗增多，从而使熔体在入口端的一段距离内产生较大程度的压力降。

按照流率 – 压力降方程计算压力降时，考虑入口效应，就需要对该方程进行修正。一种简单可行的方法是将入口端的压力降看成与某一相当长度管子所引起的压力降相等，一般取 3 倍管径，即以（$L+6R$）或（$L+3D$）来代替流率 – 压力降公式中的 L，从而可以计算出包括入口效率在内的管子全长范围内的压力降。

2. 出口膨胀效应

出口膨胀定义为充分松弛的挤出物直径 D_f 与口模直径 D 之比。出口膨胀效应是液体流动过程中弹性行为的反映。如果剪切流动区 L_s 很长，应变弹性松弛（应变回复）时间短于流过管子 L_s 段所需时间时，L_s 段中流体的正应力差和剪切流动中贮存的弹性能是引起出口膨胀的主要原因；如果 L_s 很短，入口效应区 L_e 中剪切和拉伸作用所贮存的弹性能是引起膨胀的主要原因。

影响入口压降效应和出口膨胀效应的因素是相似的并且是相关的。导致流动中弹性成分增加的因素都会使端末效应更严重。这些影响因素主要有：

（1）聚合物性质　粘度大（即相对分子质量高）、相对分子质量分布窄和非牛顿性强的聚合物出口膨胀效应显著。通常，高弹性模量的聚合物出口膨胀程度降低。

（2）应力或应变速率　应力或应变速率的提高（低于临界值），均会使流动中的可逆弹性应变增大，入口效应区域越长，出口膨胀越严重。

（3）流体温度　低剪切速率（低于不稳定临界值）范围，减低温度，入口区弹性应变显著增加，出口膨胀效应加剧。

（4）管道几何形状　增大管径和长径比 L/D、减小入口端的收敛角都能减少流体中的可逆应变成分，从而降低膨胀比。截面几何形状不同的管道在不同方向上的膨胀也有差异。

端末效应对聚合物加工来说通常都是不利的，易导致产品变形和扭曲，降低制品尺寸稳定性；易在制品内引入内应力，降低产品的力学性能。可以通过增大管径、提高长径比 L/D、减小收敛角、适当降低加工时的应力、提高加工温度、对挤出物加以适当速度的牵引或拉伸等方法来减少或消除可逆弹性应变的不利影响。

3. 熔体破裂

熔体破裂是挤出物表面出现凹凸不平或外形发生畸变，以至于支离或断裂的总称。它不仅在挤出物表面出现疵端，而且还深入到挤出物（制品）的内部结构，因而具有更严重的破坏效果。这主要是因为挤出时剪切应力（临界应力以上）过高，熔体各点所表现的弹性应变不一，从而使挤出物弹性回复畸变。模具设计时应予以充分考虑，主要在工艺参数与制模材料的选择方面下功夫。

关于熔体的破裂，在以下诸方面已取得共识：

1）熔体破裂只能在模壁处剪切应力或剪切速率高至一定值后才发生。

2）临界剪切应力或剪切速率随口模长径比和挤出温度的升高而增大。

3）对大多数塑料来说，临界剪切应力约为 $10^5 \sim 10^6$Pa，在这一范围内的差别与塑料的

品种及牌号有关。

4）临界剪切应力随聚合物相对分子质量的降低和相对分子质量分布幅度的增大而增加。

5）熔体破裂与口模壁光滑程度的关系不大，但与制模材料的关系较大。

6）如果使口模的入口区呈流线型，常可使临界剪切速率或剪切应力增大 10 倍或更多。

7）某些聚合物，尤其是高密度聚乙烯，显示有超流动区，即超过正常的临界剪切速率时，也不会引起挤出物的畸变，因此可以推测，这类聚合物可实现超高速挤出。

为避免熔体破裂现象的出现，可采取如下措施：

1）限制剪切应力、剪切速率或流率不能过高。

2）适当提高挤出温度。

3）减小流道收敛角（通常在 4°左右），适当增大流道的长径比，并使流道表面流线型化。

4）适当降低相对分子质量，加宽相对分子质量的分布。

1.5.5 塑料熔体在圆管及狭缝中的流动分析

聚合物在圆管及狭缝中的流动分析是各种流道流动分析的基础，这是因为：

1）在形状简单的管道中，流动计算方法已成熟。

2）流道可看作圆管与狭缝的各种组合过渡。

3）在复杂形状管道中的流动计算，其计算方法实际上都是以圆形、狭缝形等简单形状管道的计算为基础修正发展而来的，仍属于半经验法。

由于塑料熔体的粘度都很高（一般在 101 ~ 105Pa · s），且多为假塑性流体。对通常情况为稳态层流、服从指数定律的塑料熔体，为简化分析和计算过程，可假设其流动符合以下条件：

1）不可压缩。

2）等温流动。

3）壁面无滑动（即壁面速度为零）。

4）性质稳定，与时间无关。

以上假设是对真实状况的近似，对分析和计算结果并不引起大的偏差，实践证明这些假设是可行的。

1. 塑料熔体在圆管中的流动

圆形管道形状简单，容易制造加工，应用最为广泛。如注塑喷嘴、浇口或流道，挤出机头通道或口模以及纤维纺丝的喷丝板孔道等。简单圆管中的流体在压力驱动下只产生一维剪切流动。

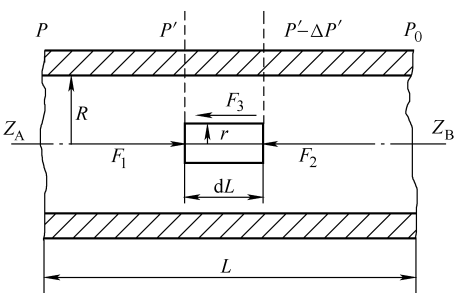


图 1-8 圆管中流体的受力分析

经过对简单圆管中的圆柱单元体流动模型（见图 1-8）的受力分析，并做推导（在此略），可得到牛顿流体和非牛顿流体在圆管中等温流动时的剪切应力、速度、流率和剪切速率的计算式及由此所得的规律，如表 1-28 所示。圆管中流体的速度及剪切应力分布如图 1-9 所示。牛顿流体为非牛顿流体的特例（$n=1$）。

表 1-28　牛顿流体和非牛顿流体的剪切应力、速度、流率和剪切速率的计算及规律

	牛顿流体	非牛顿流体
剪切应力	$\tau_r=\frac{1}{2}\frac{\Delta P}{L}r$ 与单位距离压力降 ΔP 成正比；与半径距离 r 成正比	
速度	$v_r=\frac{(R^2-r^2)}{4}\frac{1}{\mu}\frac{\Delta P}{L}$ 呈抛物线形分布，中心最大，管壁为 0；与单位距离的压力降 ΔP 成正比，与粘度 μ 成反比	$v_r=\left(\frac{n}{n+1}\right)\left(\frac{1}{2\eta}\frac{\Delta P}{L}\right)^{\frac{1}{n}}\left(R^{\frac{n+1}{n}}-r^{\frac{n+1}{n}}\right)$ 随单位距离压力降 ΔP 的增大而增加；随流体粘度 η 的增加而减小
流率	$Q=\frac{\pi R^4}{8}\frac{1}{\mu}\frac{\Delta P}{L}$ 流率与单位距离压力降 ΔP 成正比，与粘度 μ 成反比	$Q=\left(\frac{n\pi R^3}{3n+1}\right)\left(R\frac{1}{2\eta}\frac{\Delta P}{L}\right)^{\frac{1}{n}}$ 随单位距离压力降 ΔP 的增大而增大；随粘度 η 的增大而减小
剪切速率	$\dot{\gamma}_r=\dot{\gamma}_w\frac{r}{R}$ 与半径距离 r 成正比	$\dot{\gamma}_r=\dot{\gamma}_w\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}}$ 随半径距离 r 的增大而增大

除以上所述规律外，由以上非牛顿流体的流动模型还可得出以下几点结论：

1）流动速度的分布曲线随 n 值的不同而变化。根据圆管中某半径处的速度与平均速度的关系，即

$$\frac{v_r}{\bar{v}_r}=\left(\frac{3n+1}{n+1}\right)\left[1-\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{n+1}{n}}\right]$$

可作如图 1-10 所示的流动速度分布曲线图。由图 1-10 可知，$n=1$（牛顿流体）时，速度分布曲线为抛物线形；$n>1$（膨胀性非牛顿流体）时，速度分布曲线变得较为陡峭，n 值越大，越接近于锥形；$n<1$（假塑性非牛顿流体）时，分布曲线则较抛物线平坦，n 越小，管中心部分的速度分布越平坦，曲线形状类似于柱塞，这种流动也因此称为柱塞流动。

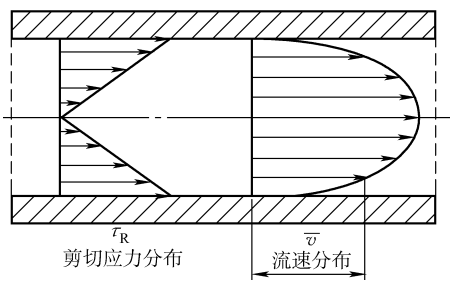


图 1-9　圆管中流体的速度及剪切应力分布

2）柱塞流动混合不良。可以看成是由两种流动成分组成，一是近模壁处的剪切流，一是近中心的类似固体移动，如图 1-11 所示。近中心的流体受到的剪切力很小，故流动过程中不易良好混合，均匀性差，制品性能降低。

3）熔体流动速率比计算值要大。因为流体在壁面存在滑移。此外，聚合物熔体中存在的润滑剂会在壁面形成低粘度流层，中心流速更高，且管壁与管中心剪切速率的显著差别会引起聚合物相对分子质量的分级效应，导致流体外稀内稠的程度加大，流速进一步增加。

实际上塑料熔体在模具通道中的流动很少是等温的。一方面，为避免材料长时间高温加热而分解，加热区采用分段温控；另一方面，流动过程中存在剪切（摩擦）生热以及设备散热等因素，因此塑料熔体在模具中的流动属于非等温流动。

熔体在流动中产生的摩擦热以及熔体因压力降低而膨胀所导致的冷却效应都会影响熔体的温度。摩擦热随剪切应力和剪切速率的增加而增大，而剪切应力和剪切速率在管壁处最大，中心最小；膨胀率是中心最大，管壁最小。摩擦和膨胀共同作用的结果是使流体中心区

域温度降低，管壁附近区域温度升高。假塑性越强的聚合物流体，冷却效应使中心区域的温度降低得更显著，在 $r=0.6\sim0.8R$ 的管壁区域，温度最高。不考虑膨胀导致的冷却效应时，温度在管中的分布表达式为

$$\frac{T-T_W}{T_0-T_W}=1-\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{3n+1}{n}}$$

式中，T_W 为管壁温度，T_0 为管中心温度，R 为管径。当 $n=1$ 时，该式即简化为牛顿流体的情况。

尽管熔体在管道中的流动是非等温的，不存在理想的等温流动。但实践证明，在管道的有限长度范围内将流体当成等温流动来处理，可简化计算过程，且不引起过大的偏差。

2. 塑料熔体在狭缝中的流动

所谓狭缝是指那些厚度远比宽度小得多的通道，典型代表是挤出板材或薄片的平直口模。圆周长比口模间隙（即厚度）尺寸大得多的环隙口模也属于狭缝通道，如吹塑管形薄膜和挤出大尺寸的口模、生产流涎薄膜的口模。

通过对狭缝通道中的流体单元进行受力分析（如图 1-12 所示），并做推导（在此略），可得到非牛顿流体在狭缝中等温流动时的剪切应力、速度、流率和剪切速率的计算式及由此所得的规律。表 1-29 为非牛顿流体在圆管和狭缝中等温流动时的切应力、速度、流率和剪切速率的计算及规律的对比，由此可见流体在圆管和狭缝中的流动规律基本相似。

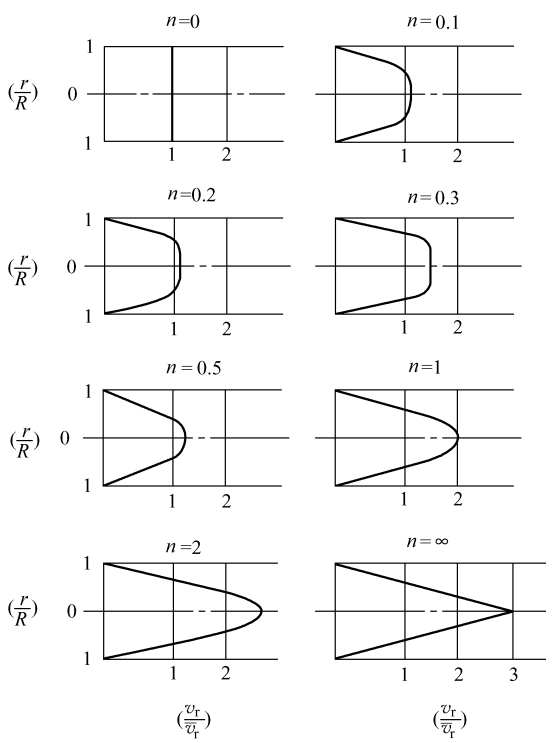


图 1-10　熔体随 n 值不同在圆管中的速度分布曲线

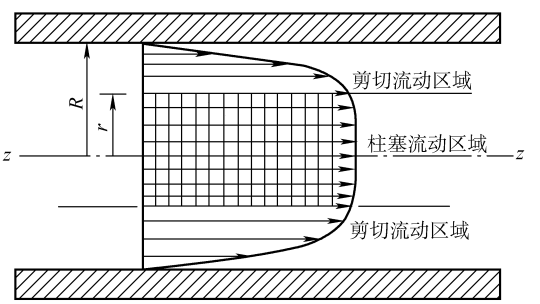


图 1-11　圆管中的柱塞流动速度分布

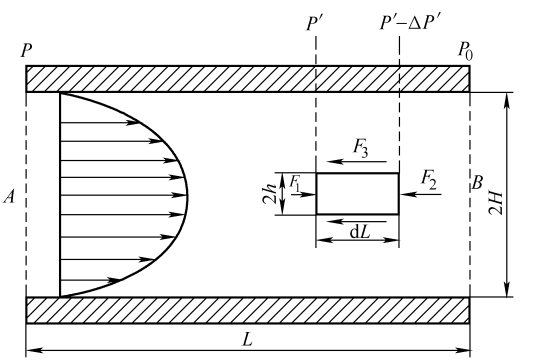


图 1-12　狭缝通道中流体的受力分析

注：dL、2h 分别为流体单元的长和高。

表 1-29　非牛顿流体在圆管和狭缝中等温流动时的切应力、速度、流率和剪切速率的计算及规律对比

	圆管流	狭缝流
切应力	$\tau_r=\frac{1}{2}\frac{\Delta P}{L}r$ 与单位距离压力降 ΔP 成正比；与半径距离 r 成正比	$\tau_h=h\left(\frac{\Delta P}{L}\right)$ 与单位距离压力降 ΔP 成正比；与距中面距离 h 呈线性关系
速度	$v_r=\left(\frac{n}{n+1}\right)\left(\frac{1}{2\eta}\frac{\Delta P}{L}\right)^{\frac{1}{n}}(R^{\frac{n+1}{n}}-r^{\frac{n+1}{n}})$ 分布曲线类似于抛物线形；随单位距离压力降 ΔP 的增大而增大，随粘度 η 的增大而减小	$v_r=\left(\frac{n}{n+1}\right)\left(\frac{\Delta P}{\eta L}\right)^{\frac{1}{n}}(H^{\frac{n+1}{n}}-h^{\frac{n+1}{n}})$ 分布曲线类似于抛物线形；随单位距离压力降 ΔP 的增大而增大，随粘度 η 的增大而减小
流率	$Q=\left(\frac{n\pi R^3}{3n+1}\right)\left(R\frac{1}{2\eta}\frac{\Delta P}{L}\right)^{\frac{1}{n}}$ 随通道尺寸、单位距离压力降 ΔP 的增大而增加，随粘度 η 的增大而减小	$Q=\left(\frac{2nH^2W}{2n+1}\right)\left(\frac{H}{\eta}\frac{\Delta P}{L}\right)^{\frac{1}{n}}$ 随通道尺寸、单位距离压力降 ΔP 的增大而增加，随粘度 η 的增大而减小
剪切速率	$\dot{\gamma}_r=\dot{\gamma}_w\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{n}}$ 随半径距离 r 的增大而增大	$\dot{\gamma}_r=\dot{\gamma}_w\left(\frac{h}{H}\right)^{\frac{1}{n}}$ 随距中面距离 h 的增大而增大

聚合物流体在环隙通道中的流动计算也可套用上述公式，只是狭缝厚度改为（R_o-R_i），狭缝宽度为 $2\pi R_i$（在此 $2\pi R_i \gg R_o-R_i$）。

第 2 章　塑料制件结构工艺

塑料制件的结构工艺性是指塑件结构对成型工艺方法的适应性。在塑件生产的过程中，一方面成型会对塑件的结构、形状、尺寸精度等诸方面提出要求，以便降低模具结构的复杂程度和制造难度；另一方面，模具设计者通过对给定塑件的结构工艺性进行分析，弄清塑件生产的难点，为模具设计和制造提供依据。

2.1　塑件几何形状设计

塑件主要是根据使用要求进行设计的，塑件的几何形状与成型方法、模具分型面的选择、塑件是否能顺利成型和出模等有直接关系。所以在设计塑件时应认真考虑，使塑件的几何形状能满足其成型工艺要求。在满足使用要求的前提下，注塑件的形状要尽可能做到简化模具结构，符合成型工艺特点。

2.1.1　脱模斜度

由于塑件成型时冷却过程中产生收缩，为了便于塑件从模具型腔中取出或从塑件中抽出型芯，在平行于脱模方向的塑件内、外表面上，必须设计一定的斜度，称为脱模斜度。

脱模斜度的大小随塑件的形状、塑料的种类、模具结构和模具表面粗糙度的不同而有所差异。一般情况下脱模斜度取 1° ~ 2°，最小可取到 0.5°。脱模斜度的选取，往往采用经验数据。一般在允许的情况下取较大值，使制品更容易顶出。

最小脱模斜度与塑料性能、收缩率的大小及塑件的几何形状有关。常用材料脱模斜度的推荐值，见表 2-1。

表 2-1　常用材料脱模斜度的推荐值

材　　料	脱模斜度
聚乙烯、聚丙烯、软聚氯乙烯	30′ ~ 1°
ABS、尼龙、聚甲醛、氯化聚醚、聚苯醚	40′ ~ 1°30′
硬聚氯乙烯、聚碳酸酯、聚砜、聚苯乙烯、有机玻璃	50′ ~ 2°
热固性塑料	20′ ~ 1°

由表 2-1 可知，脆、硬材料的脱模斜度要求大一些。但在具体选择时还应注意以下几点：

1）凡塑件精度要求高的，应采用较小的脱模斜度。

2）凡较高、较大的尺寸，应选用较小的脱模斜度。

3）塑件形状复杂的、不易脱模的，应该采用较大的脱模斜度。

4）塑件收缩率大的，应选用较大的脱模斜度。

5）塑件壁厚较厚时，会使成型收缩增大，脱模斜度应采用较大的数值。

6）如果要求脱模后塑件保持在型芯的一边，那么塑件内表面的脱模斜度可选得比外表面的小；反之，要求脱模后塑件留在型腔内时，则塑件外表面的脱模斜度应小于内表面的。但是，当内外表面要求的脱模斜度不一致时，往往不能保证壁厚均匀。

7）增强塑料宜取大的脱模斜度值，含自润滑剂等易脱模塑料可取小的脱模斜度。

8）在不影响塑件质量的情况下，宜取大的脱模斜度。

9）斜度的方向选取，一般内孔以小端为准、外形以大端为准作为尺寸检查的依据，如图 2-1 所示。脱模斜度 α 使孔的另一端尺寸增大或减小，如对增大或减小端的尺寸有公差要求时，需注明。在保证两端尺寸要求的前提下确定斜度的大小。

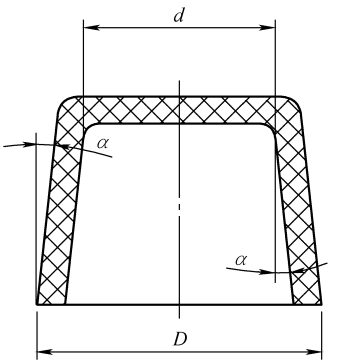


图 2-1　塑件的脱模斜度

2.1.2　塑件的壁厚

塑件的壁厚首先取决于塑件的使用要求，如强度结构、重量、电气性能、尺寸稳定性以及装配等各项要求。此外，还应尽量使各处壁厚均匀，避免太薄，否则会使塑件变形或产生气泡、凹陷等缺陷。

1. 壁厚推荐值

塑件壁厚一般在 1 ~ 6mm 的范围内，而最常用的数值为 2 ~ 3mm。大型塑件的壁厚也有比 6mm 大的，这都随塑料类型及塑件大小而定。根据塑件外形尺寸，一般热固性塑料制品的壁厚推荐值见表 2-2；热塑性塑料制品的最小壁厚及常用壁厚推荐值见表 2-3。

表 2-2　热固性塑料制品的壁厚推荐值　（单位：mm）

塑 件 材 料	塑件外形高度尺寸		
	<50	50 ~ 100	>100
粉状填料的酚醛塑料	7. 0 ~ 2	2. 0 ~ 3	5. 0 ~ 6. 5
纤维状填料的酚醛塑料	1. 5 ~ 2	2. 5 ~ 3. 5	6 ~ 8
氨基塑料	1	1. 3 ~ 2	3. 0 ~ 4
聚酯玻璃纤维填料的塑料	1 ~ 2	2. 4 ~ 3. 2	>4. 8
聚酯无机物填料的塑料	1 ~ 2	3. 2 ~ 4. 8	>4. 8

表 2-3　热塑性塑料制品的最小壁厚及常用壁厚推荐值　（单位：mm）

塑件材料	最小壁厚	小型塑件推荐壁厚	中型塑件推荐壁厚	大型塑件推荐壁厚
尼龙	0. 45	0. 75	1. 6	2. 4 ~ 3. 2
聚乙烯	0. 6	1. 25	1. 6	2. 4 ~ 3. 2
聚苯乙烯	0. 75	1. 25	1. 6	3. 2 ~ 4. 5
改性聚苯乙烯	0. 75	1. 25	1. 6	3. 2 ~ 5. 4
有机玻璃（372#）	0. 8	1. 5	2. 2	4 ~ 6. 5
硬聚氯乙烯	1. 15	1. 6	1. 8	3. 2 ~ 5. 8
聚丙烯	0. 85	1. 45	1. 75	2. 4 ~ 3. 2
氯化聚醚	0. 85	1. 35	1. 8	2. 5 ~ 3. 4

（续）

塑件材料	最小壁厚	小型塑件推荐壁厚	中型塑件推荐壁厚	大型塑件推荐壁厚
聚碳酸酯	0.95	1.8	2.3	3～4.5
聚苯醚	1.2	1.75	2.5	3.5～6.4
醋酸纤维素	0.7	1.25	1.9	3.2～4.8
乙基纤维素	0.9	1.25	1.6	2.4～3.2
丙烯酸类	0.7	0.9	2.4	3～6
聚甲醛	0.8	1.4	1.6	3.2～5.4
聚砜	0.95	1.8	2.3	3～4.5

注：最小壁厚可随成型条件而变。

图 2-2 为塑件壁厚为 2.5mm 时，在常规成型条件下 $t-L$ 的比例关系。

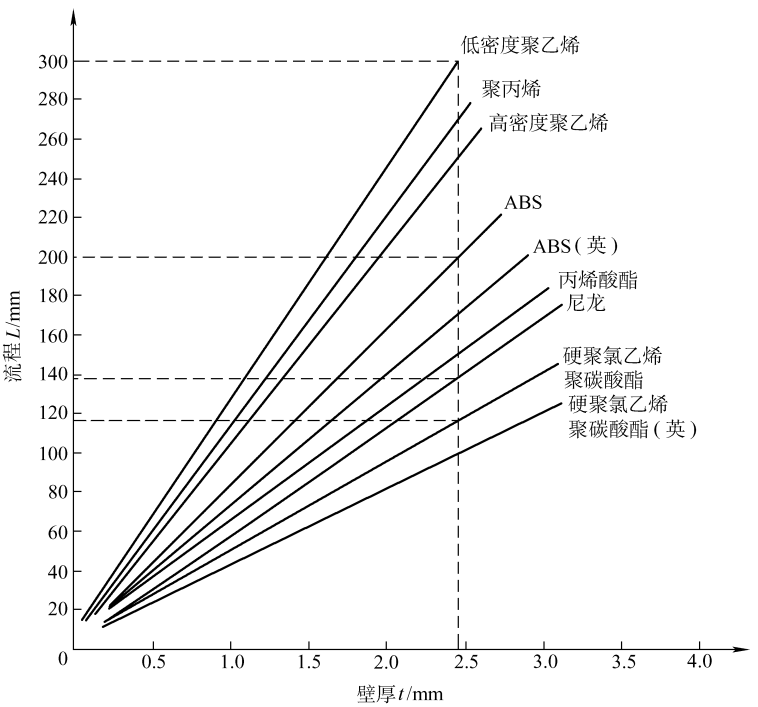


图 2-2　壁厚与流程的关系

壁厚与流程有密切关系，各种塑料在其常规工艺参数下，流程大小与塑件壁厚成比例。塑件壁厚越大，则最大流程越长。利用图 2-2 或表 2-4 可以计算塑件成型的可能性。如果不能满足线图或关系式者，则需增大塑件壁厚或增设进料口数量及改变进料口的位置，以缩短流程来满足成型要求。

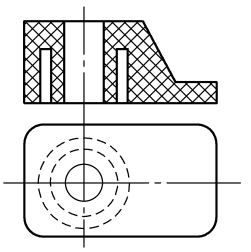
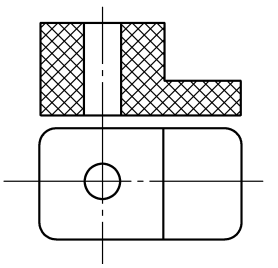
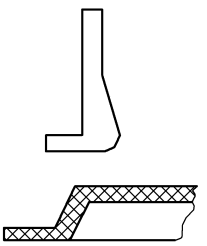
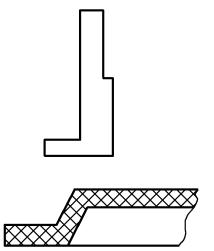
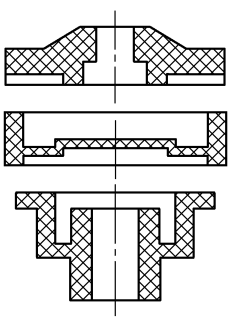
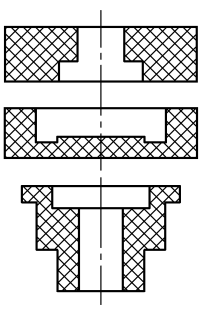
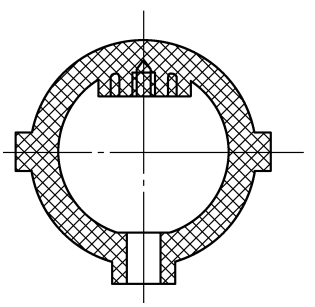
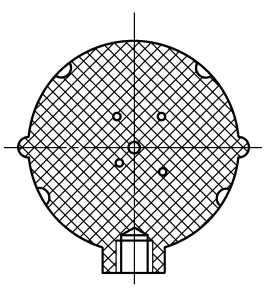
表 2-4　壁厚 t 与流程 L 的关系式

塑 料 品 种	$t-L$ 关系式
流动性好（如聚乙烯、尼龙等）	$t=(L/100+0.5)\times 0.6$
流动性中等（如有机玻璃、聚甲醛）	$t=(L/100+0.8)\times 0.7$
流动性差（如聚碳酸酯、聚砜等）	$t=(L/100+1.2)\times 0.9$

2. 壁厚设计比较

在设计中，常常要对塑件壁厚的不合理设计进行合理化的改进。常见塑件壁厚的设计比较，见表 2-5。

表 2-5　常见塑件壁厚的设计比较

良	不　良	说　明
		局部不可过厚，否则会产生缩陷或缩孔。热固性塑料则交联不完全，强度降低
		若制件要求不同壁厚时，应逐渐过渡，不可突然加厚。而且厚度变化不应大于 1:2。可以用增强筋代替壁厚部分
		若将金属制件改用塑料制件时，需注意将原来实体的结构改为薄壳结构，以保证成型后的外观质量
		如球类手柄不应做成实体，应改为相对的两件薄壳结构，最后组成一体

2.1.3　加强筋

塑料的强度并不随其壁厚的增大而增大。反而会因壁厚增大而导致收缩时产生内应力，降低其强度。塑料制件应采取薄壁的网络组合结构，在薄壁的相应部位设置加强筋，以提高

截面的惯性矩。

由于加强筋与本体垂直相贯，衔接处的厚度增大，以致该处收缩凹陷，影响强度及外观。加强筋的厚度，应小于其相邻的本体的壁厚。如图 2-3 所示为推荐的加强筋截面尺寸，设计加强筋的注意事项见表 2-6。

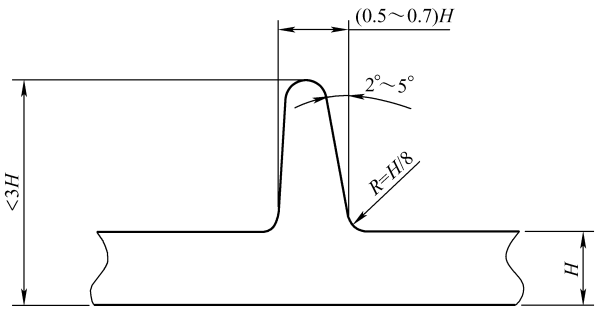
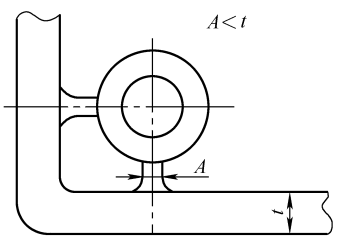
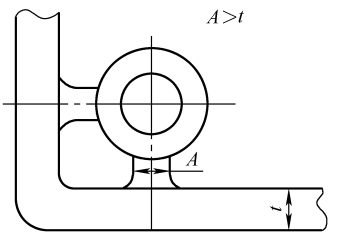
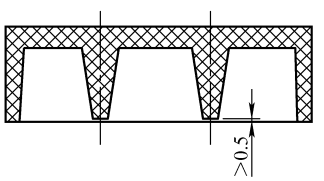
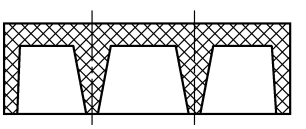
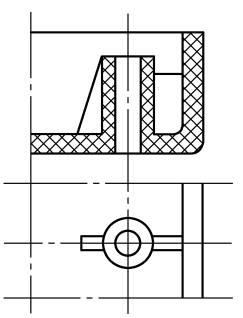
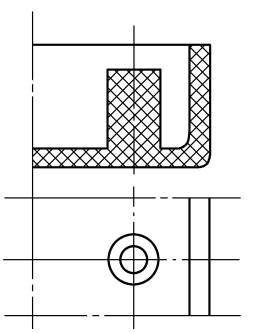


图 2-3　加强筋推荐的截面尺寸

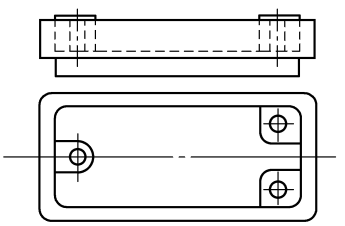
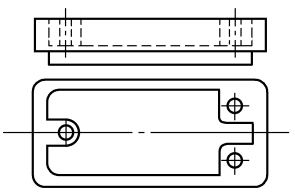
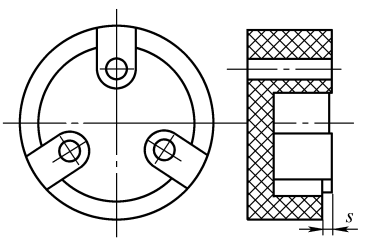
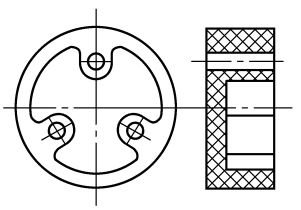
表 2-6　设计加强筋的注意事项

良	不　良	说　明
		加强筋的厚度必须小于与其连接的塑件壁厚
		当以加强筋构成网络结构，并作为支撑时，加强筋的高度应略低于四周的高度，以保证支撑面平齐
		当塑件内有突出部分时，如旋入螺钉的凸缘，必须用加强筋与本体连接，以增加强度

2.1.4　支撑面

用一个整面作为塑件的支撑面（或基准面）时，带有收缩和变形缺陷是难以满足要求的。此时，在设计塑件时应采用凸边或几个凸起的支脚作为支撑面。在设计塑件时如何考虑支撑面的几种情况，见表 2-7。

表 2-7　支撑面的结构

良	不　良	说　明
		支撑面不可以采用较大的面支撑，以防止成型后凹凸不平
		当用螺钉安装塑件时，应以穿螺钉的孔的部位作为支撑面，以保证安装牢固，强度好。$s \geqslant 0.2 \sim 0.5$mm

2.1.5　圆角

在塑件设计过程中，为了避免应力集中，提高塑件强度，改善塑件的流动情况以及便于脱模，在塑件的各面或内部连接处，常采用圆弧过渡。该措施不仅有利于增强塑料填充型腔的能力，还有利于模具制造和机械加工以及提高模具强度。当塑件结构无特殊要求时，塑件的各连接处应有半径不小于 0.5 ~ 1mm 的圆角。

内外表面拐角处，可采用如图 2-4 所示的圆角半径，以减少内应力，并能保证壁厚一致。

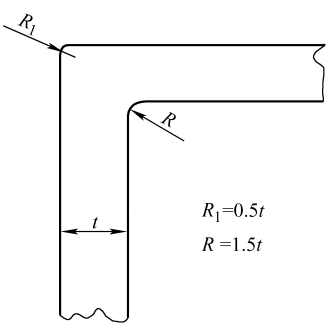


图 2-4　圆角半径

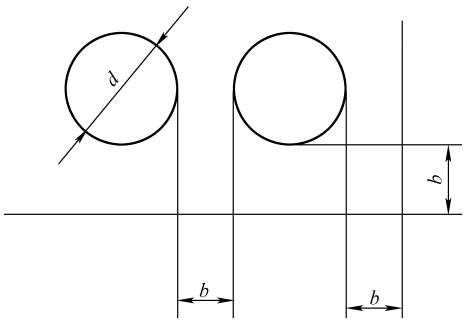
2.1.6　孔

塑件上各种孔的位置设计，应不影响塑件的强度，还要尽量不增加模具制造的复杂性。孔与孔之间、孔与边缘之间的距离不应太小，以确保在装配其他零件时孔的周围不易破裂。

1. 一般常见孔

孔间距、孔边距 b 与孔径 d 的关系，见表 2-8；一般塑件上直接成形的孔径与孔深的关系见表 2-9；在设计一般常见孔时应注意的事项见表 2-10。

表 2-8　孔间距、孔边距 *b* 与孔径 *d* 的关系　　（单位：mm）



孔径 *d*	<1.5	1.5~3	3~6	6~10	10~18	18~30
孔间距、孔边距 *b*	1~1.5	1.5~2	2~3	3~4	4~5	5~7

注：1. 热塑性塑料为热固性塑料的 75%。

2. 增强塑料宜取较大值。

3. 两孔径不一致时，则以大孔的孔径查表。

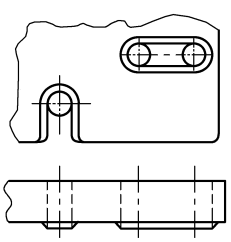
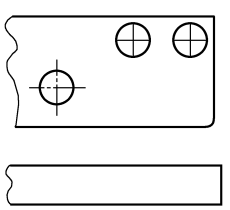
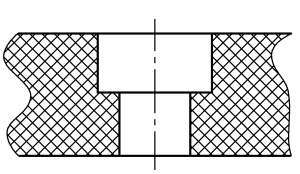
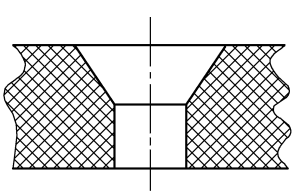
表 2-9　孔径与孔深的关系　　（单位：mm）

成型方法 \ 孔的形式		孔的深度	
		通孔	不通孔
压塑	横孔	2.5*d*	<1.5*d*
	竖孔	5*d*	<2.5*d*
挤塑或注塑		10*d*	4~5*d*

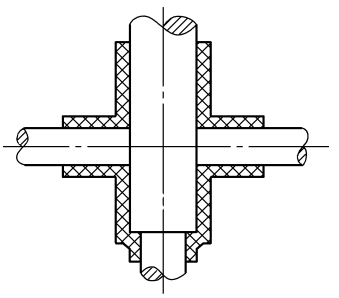
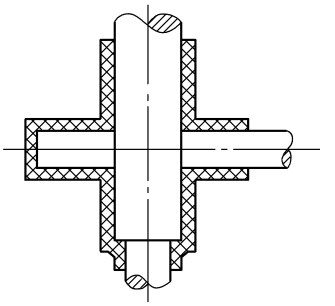
注：1. *d* 为孔的直径。

2. 采用纤维状塑料时，表中数值乘系数 0.75。

表 2-10　常见孔的设计注意事项

良	不　良	说　明
		当相邻两孔接近时，应设计成长孔，如该孔为固定用孔，孔周围应设凸台
		固定用螺钉孔，如不需要露出螺钉头时，应使用圆柱头螺钉，且孔做成沉头孔，而不用锥孔

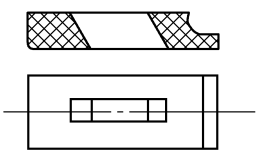
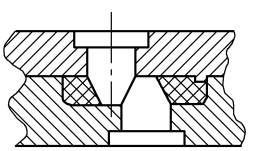
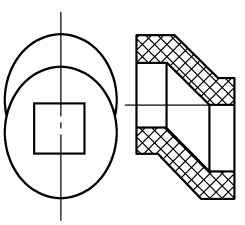
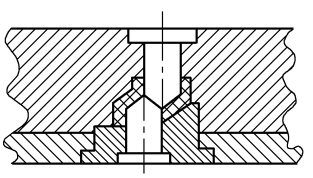
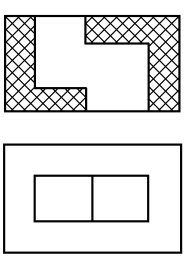
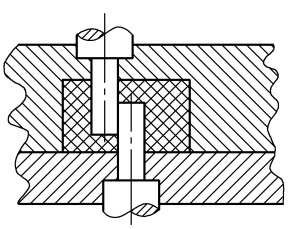
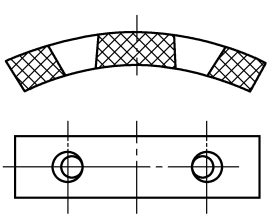
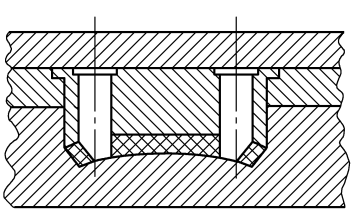
（续）

良	不　良	说　明
		对穿孔应注意设计成能设置型芯的结构

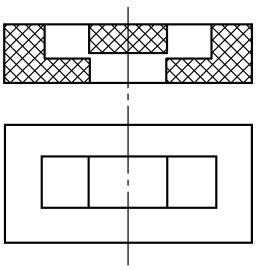
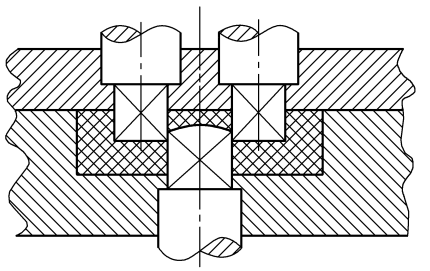
2. 形状比较复杂的孔

几种较复杂孔的成型方法，见表 2-11。

表 2-11　几种较复杂孔的成型方法

塑件上孔的形状	成 型 方 法
	
	
	
	

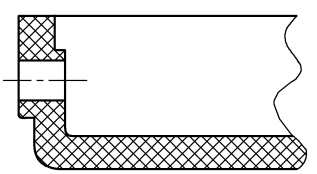
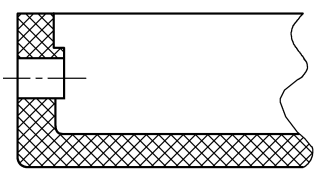
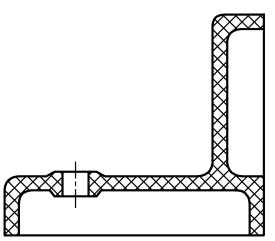
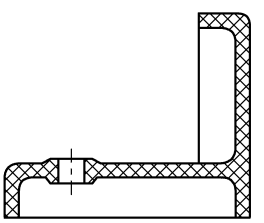
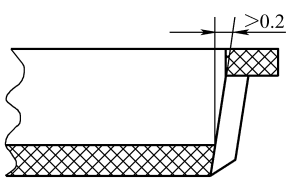
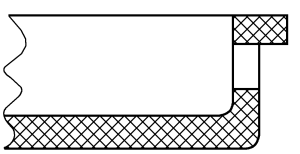
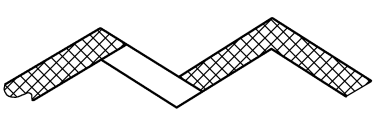
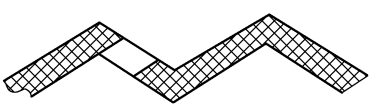
（续）

塑件上孔的形状	成 型 方 法
	

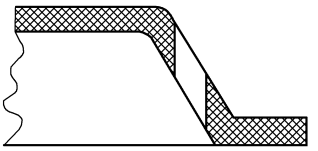
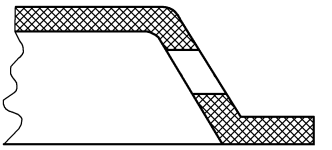
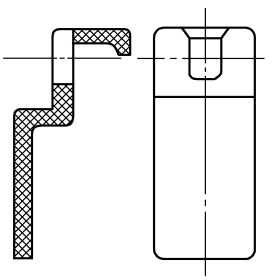
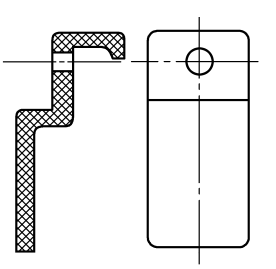
3. 侧面孔与侧面凸凹

当塑件有侧面孔及侧凹槽时，往往会使模具的设计、制造与使用复杂化。因此，在设计有侧面孔及侧凹槽塑件时，应考虑尽可能使模具结构简化，适于模具自动化，便于塑件从模具中取出，并能保证塑件的质量。塑件有侧面孔或侧凹槽时的设计示例，见表 2-12。

表 2-12　塑件上的侧孔设计方法

良	不　良	说　明
		当孔的周围需要加厚时，应考虑脱模的难易，尽量不出现侧凹槽
		当孔与侧凹槽同时存在且临近时，应考虑其抽芯及脱模的可能性，不使之发生矛盾
		尽可能不采用侧抽芯方式，由开模方向上形成孔
		

（续）

良	不　良	说　明
		
		尽可能不采用侧抽芯方式，由开模方向上形成孔

2.1.7　字、符号及花纹

在塑件上常需直接塑出文字、符号或装饰塑件表面的花纹，最好的办法是在塑件上采用凸起的文字、符号或花纹。如图 2-5 所示，塑件上的文字或花纹若为凹形，这样就使模具制造复杂化。如果塑件表面不允许有凸起，或在文字符号中需涂色时，可采用将凸起的文字或符号设在凹坑内，如图 2-6 所示，这样既便于制造，又能避免碰坏凸起的文字或符号。

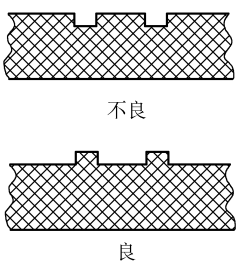


图 2-5　塑件上的文字或花纹

塑件上成型的文字符号，凸出的高度不小于 0.2mm，线条宽度不小于 0.3mm，而一般以 0.8mm 最适宜。两线条间距离不小于 0.4mm，边框可比字体高出 0.3mm 以上，字体或符号的脱模斜度大于 10°，如图 2-7 所示。

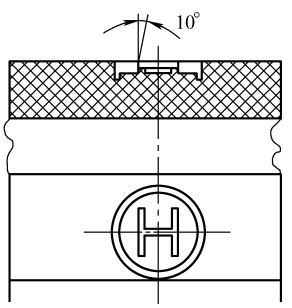


图 2-6　塑件上凸起的文字做法

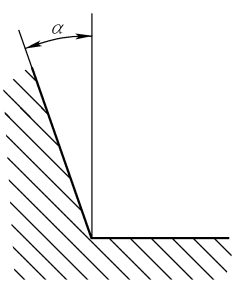


图 2-7　塑件侧壁花纹

2.1.8　塑料凸凹设计

塑料模塑制品壁面上局部凸起凹缺部分称为凸凹，凹凸分为内凸、外凸、环形凹模和侧

向凸凹等。图 2-8 所示为塑料模塑制品成型凸凹的形式。

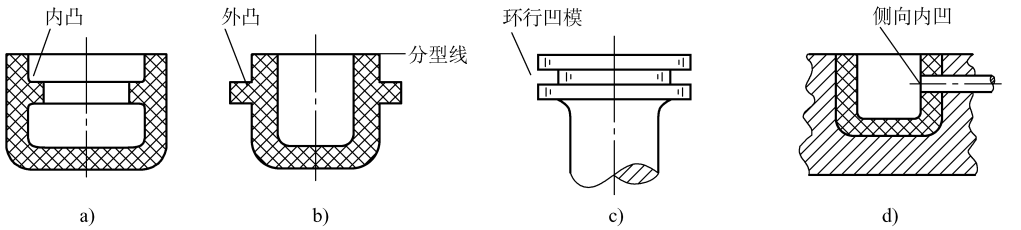


图 2-8　塑料模塑制品成型凸凹的形式

带凸凹的模塑制品的成型常常受到模具结构的制约，其制品设计是否合理，直接关系到模具的复杂程度和制造成本。因为带凸凹的制品的模具结构，通常采用对开式凹模、伸缩式凸模、侧向抽芯及侧向滑块等，因此在无特殊需要的情况下，设计制品应尽量避免凸凹，特别是侧向凸凹。

图 2-8a 所示为制品上环形内凸。环形内凸采用伸缩式凸模成型，模具结构复杂，操作麻烦。一般无特殊使用功能，应尽量避免。

图 2-8b 所示为制品上环形外凸。采用对开或凹模成型，模塑后分离凹模以取出制品。对开式凹模成型，增加了模具的分型线，由于分型线缝溢料，使制品产生飞边，制品的外观会因为分型线印迹受到影响。

图 2-8c 所示为模塑制品上环形凹模。环形凹模成型类似环形外凸。

图 2-8d 所示为模塑制品侧向内凹。侧向内凹相当于侧面非圆形孔，其成型方法类似于垂直孔的成型，使用模具侧向抽芯机构或滑块。

如图 2-9 所示为几种模塑制品上特殊形式凸凹的设计及模具结构。

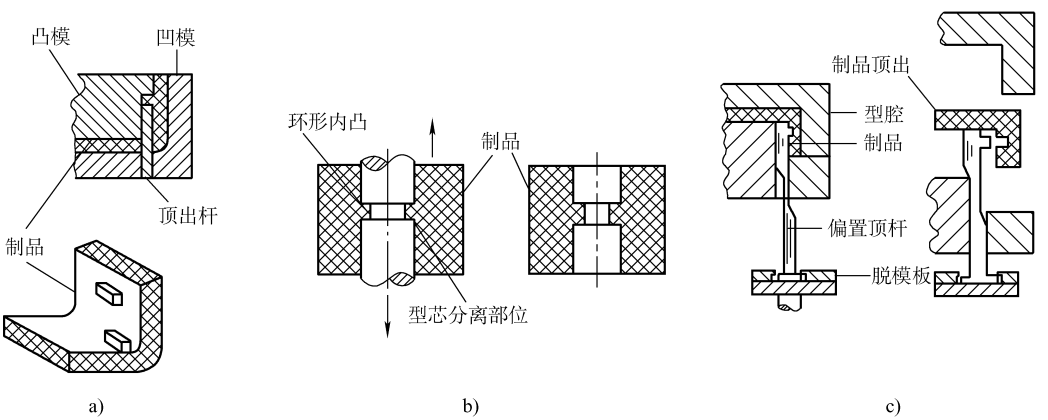


图 2-9　几种模塑制品上特殊形式凸凹的设计及模具结构

图 2-9a 所示为模塑制品侧壁上内凸，模具结构采用移动滑杆，滑杆沿模具启闭方向移动，滑杆是内凸型块又是制品脱模顶杆，凸模上开设滑槽，与滑杆相配。此结构设计简单巧妙，只是制品底面上要多一个与内凸相同尺寸的孔。

图 2-9b 所示为模塑制品上平行通孔中心的环形内凸，成型通孔型芯采用分离式，通过在凹模和凸模上各支撑固定的一根型芯，闭模时使两型芯拼合为一，开模时各自分离。这种

成型方法的特点是结构简单、操作方便。但在两根型芯的拼合缝隙处，由于熔体溢出而产生飞边，所产生的飞边去除是较困难的。

图 2-9c 所示为塑模制品侧面内凹，采用偏置顶杆成型，顶杆上部为内凸型块，顶杆下部与脱模板相连，顶杆上、下部轴线偏置一定距离，凸模上开有顶杆滑槽。分模时，凸模移动，制品留在凸模上，顶杆随凸模移动触碰顶出机构，顶杆上移并偏移，顶出制品脱离凸模并使内凸型块分离。

2.1.9　齿轮设计

塑料齿轮在电子、仪表等工业部门的应用越来越多。为使齿轮适应注塑成型工艺，对齿轮各部分尺寸做如下规定：如图 2-10 所示，轮缘宽度 t_1 最小为齿高 t 的 3 倍；辐板厚度 H_1 应等于或小于轮缘厚度 H。轮毂厚度 H_2 等于或大于轮缘厚度 H，近似等于轴径 D。轮毂外径 D_1 最小应为轴孔直径 D 的 1.5 ~ 3 倍。

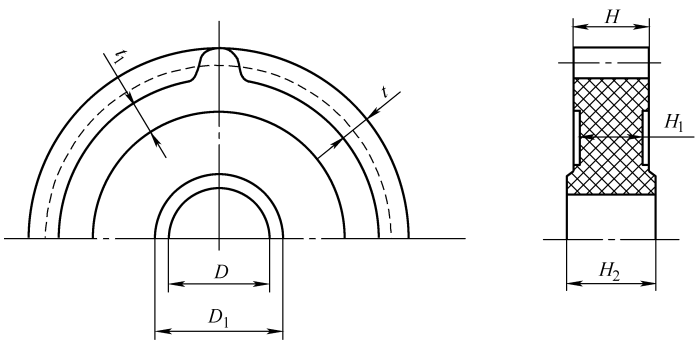


图 2-10　齿轮各部分尺寸

在设计塑料齿轮时，还应注意减小尖角处的应力集中，以及齿轮在成型时的模塑应力方向的影响，尽量避免截面的突然变化。对于圆角，弧度应尽可能加大。为了避免装配时产生应力，轴与孔应尽可能不采用过盈配合，而采用过渡配合。图 2-11 所示为轴与齿轮采用过渡配合的两种形式，图 2-11a 所示为轴与齿轮孔都采用月形孔配合；图 2-11b 所示为轴与齿轮用两个销钉固定。两者中，前者较为理想。

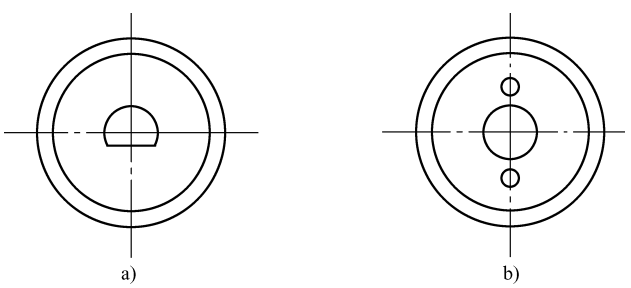


图 2-11　轴与齿轮的固定形式

a）月形孔配合固定　b）销钉固定

对于薄型齿轮，厚度不均匀会引起齿型歪斜。如果用无毂无轮缘的齿轮可以很好地改善这种情况。但如果在辐板上有孔时，因孔在成型时很少向中心收缩，则会使齿轮歪斜如图

2-12a 所示。采用如图 2-12b 所示的形式，即轮毂和轮缘之间采用薄筋时，则能保证轮缘向中心收缩。由于塑料的收缩关系，对一般相互啮合的齿轮应采用收缩率相同的塑料。

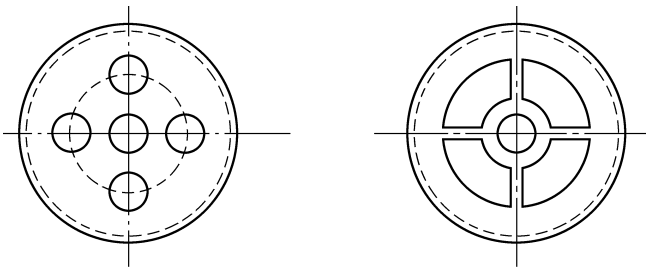


图 2-12　塑料齿轮辐板形式

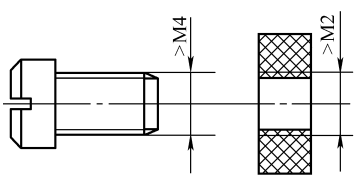
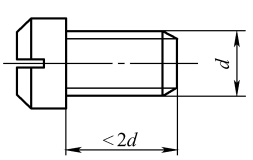
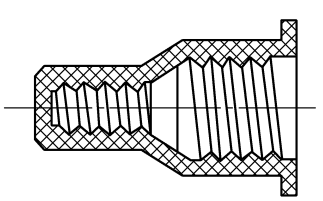
a）不良结构　b）良好结构

2.1.10　螺纹设计

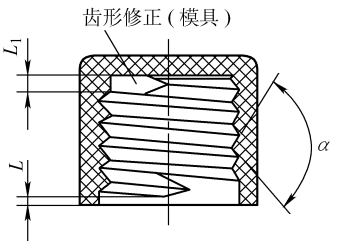
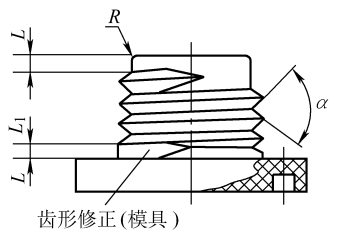
塑件上的螺纹可以直接注塑成型，也可以用后加工的方法进行机械切削。在经常装拆和受力较大的地方应该采用金属的螺纹嵌件。塑料螺纹的强度约为钢制螺纹强度的 1/10 ~ 1/5，而且螺牙的正确性较差。塑件上的螺纹应选用较大的螺牙尺寸，螺牙过细会影响使用强度。

当在塑件上直接成型螺纹时，其精度不能超过 3 级，否则不能满足要求。螺纹设计时的相关注意事项见表 2-13。

表 2-13　螺纹设计时的注意事项

简　图	说　明
	螺纹直径不应太小，外螺纹直径不宜小于 4mm，内螺纹直径不宜小于 2mm。螺距一般选用米制标准螺纹，M6 以上可选用 1 级细牙螺纹，M10 以上可选用 2 级细牙螺纹，M18 以上可选 3 级细牙螺纹，M30 以上可选 4 级细牙螺纹
	螺纹配合长度小于 2 倍的螺纹直径时，可不考虑收缩率
	在同一个塑件上有前后两段螺纹时，螺距应相等，螺纹方向应一致，这样易脱模，否则两段螺纹不能用同一型芯，使模具结构复杂

（续）

简　图	说　明
	成型内螺纹的型芯应修正端部，保证 L_1 值。L_1 一般取 1/4 ~ 1/3 个牙距
	若 R 为 0，模具可制成镶拼结构，螺纹部分为型环，此时 L 可达最小值。塑件螺纹根部应作修正，L_1 一般取 1/4 ~ 1/3 个牙距

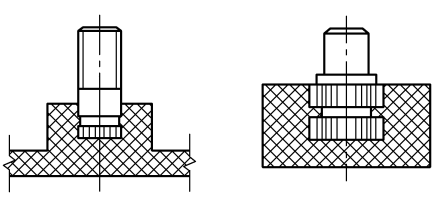
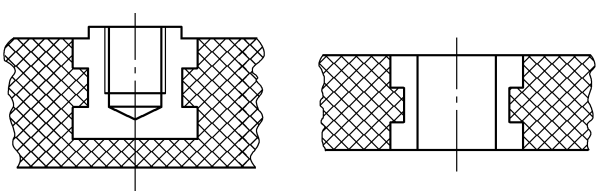
2.2　嵌件设计

在塑件内压入金属零件形成不可卸连接，此压入的零件称金属嵌件。各种塑料制品中嵌件的作用不尽相同，有的是为了增加塑料制品的局部强度、硬度和耐磨性；有的是为了保证制品的电性能；有的是为了增加制品形状和尺寸的稳定性，提高精度等。嵌件一般为金属材料，也有用非金属材料的。

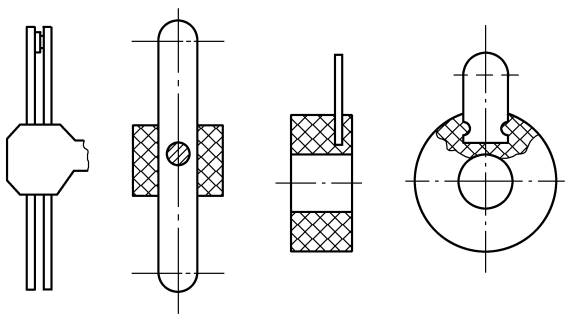
2.2.1　嵌件的类型

不同形状的金属嵌件及其作用，见表 2-14。

表 2-14　不同形状的金属嵌件及其作用

简　图		说　明
圆柱形		用于固定其相邻零件的螺栓或连接线柱等
套形及管形		用于轴承、螺母的连接

（续）

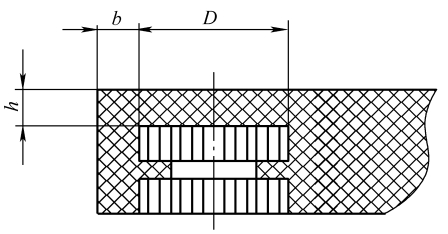
简　图		说　明
其他形状		用于固定导电片、接触端子、弹簧片等

2.2.2　设计注意事项

设计嵌件时要注意以下几点：

1）包裹金属嵌件的外围塑料必须保持一定的壁厚，因两者的收缩不同，见表 2-15。

表 2-15　金属嵌件外包塑件的厚度　（单位：mm）



D	<4	4～8	8～12	12～16	16～25
h	1	1.5	2	2.5	3
b	1.5	2	3	4	5

2）嵌件的截面形状以圆形为宜，以便收缩均匀。如果是非圆形，其相贯面上有锐角，宜用 R 不小于 0.5mm 的圆弧过渡。

3）圆柱形或套管形截面的金属嵌件，为了防止脱出及旋转，推荐采用如图 2-13 所示的形状。

4）板或片状嵌件、圆或扁形等嵌件在塑件内的固定方法及要点，见表 2-16。

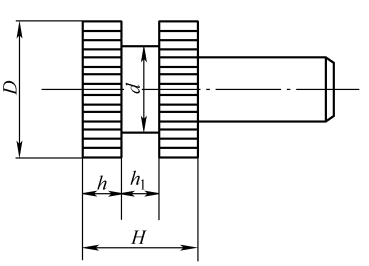
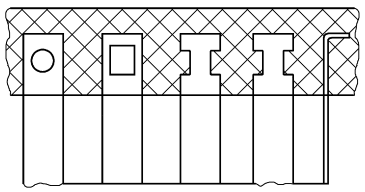
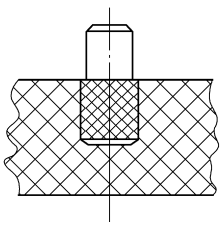
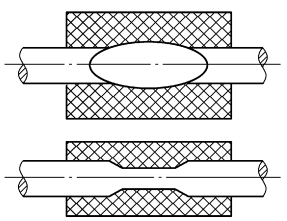
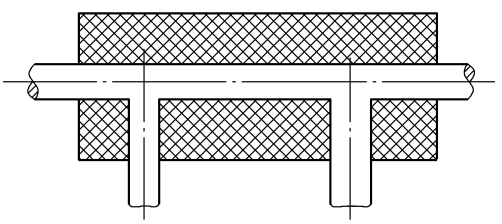
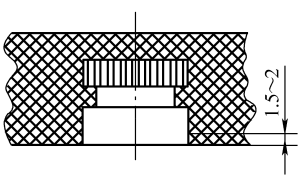
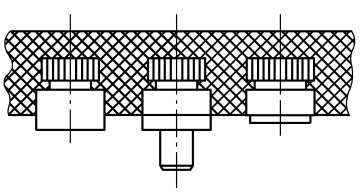


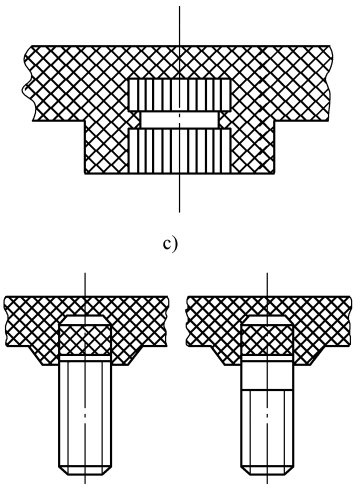
图 2-13　推荐的金属嵌件的嵌入部分

$H=D$；$h=0.3H$；$h_1=0.3H$；$d=0.75D$；$H_{max}\leqslant 2D$

表 2-16　板或片状嵌件、圆或扁形等嵌件在塑件内的固定方法及要点

简　图	说　明
	片状嵌件的固定，用孔、缺口或弯头嵌于塑件内
	小直径圆柱体用外周滚花固定于塑件内，防止旋转及脱出
	圆线或扁线以压扁一部分嵌入塑件内，防止旋转或脱出
	细长嵌件，在其中部应加支撑（型芯），嵌件脱模后，该处留有孔
 a)  b)	为防止成型时熔体冲击金属嵌件，可采取左图的措施： a）型芯上做出一凸台，台内有孔及嵌件杆 b）型芯上做出凹穴，台内有孔及嵌件杆 c）型芯上做出沉头孔，嵌件杆位于孔内 d）嵌件杆沉入型芯

（续）

简　图	说　明
 c) d)	为防止成型时熔体冲击金属嵌件，可采取左图的措施： a）型芯上做出一凸台，台内有孔及嵌件杆 b）型芯上做出凹穴，台内有孔及嵌件杆 c）型芯上做出沉头孔，嵌件杆位于孔内 d）嵌件杆沉入型芯

2.3　塑件的尺寸精度及表面质量

塑件尺寸的大小受材料流动性好坏的制约，塑件尺寸越大，要求材料的流动性越好。流动性差的材料在模具型腔未充满前就已经固化或熔接不牢，导致制件缺陷和强度下降。

由于材料和加工方法的差异，塑料制件的尺寸精度与金属制件有一定的区别。因此，选择塑料件的尺寸精度时，不能盲目套用金属件的精度等级和公差表。

2.3.1　影响塑件尺寸精度的因素

影响塑件尺寸精度的因素有多种，对于不同的塑件，其尺寸精度也有不同的要求。影响塑件尺寸精度的因素有以下几个方面。

（1）成型材料　塑料本身收缩范围大，由于原料含水分及挥发物的多少，以及原料的配置工艺、批量大小、保存方法和保存时间等的不同，都会造成收缩不稳定。

（2）成型条件　成型时的温度、压力和时间等成型条件，都直接影响成型收缩。

（3）塑件形状　塑件的壁厚、几何形状等都影响成型收缩。脱模斜度大小会直接影响尺寸的精度。

（4）塑模结构　在塑模结构中，影响尺寸精度的因素有如下几个：

1）进料口尺寸：进料口大时收缩率小，进料口小时收缩率大。

2）料流方向：与料流方向平行的尺寸收缩大，与料流方向垂直的尺寸收缩小。

3）分型面的选择决定了飞边产生的位置，飞边使垂直于分型面的尺寸产生误差。

4）塑模的型芯、顶杆等滑动部分的固定方法及塑模的拼合方式、加工方法等都直接影

响塑件的尺寸精度。

5）塑模磨损：使用过程中，塑模成型零件的磨损使塑件产生误差。

6）制造误差：塑模的制造误差会完全而且直接地反映在塑件上。

（5）成型后的条件　塑件成型后影响尺寸精度的因素有以下几个：

1）测量误差：主要是由测量工具、测量方法、测量时的温度及测量时条件的不稳定造成的。

2）成型后的存放条件：塑件成型后如果存放不当，可能会使塑件产生弯曲、扭曲等变形现象，存放和使用时的温度和湿度对塑件精度也有影响。

2.3.2　塑件的尺寸精度

塑件尺寸精度是决定塑件制造的首要标准。然而，在满足塑件使用要求的前提下，设计时总是尽量将其尺寸精度放得低一些，以便降低模具的加工难度和制造成本。在我国，最初被公认并广泛采用的塑件的尺寸公差标准是由原第四机械工业部制定的，如表 2-17 所示。该标准规定了 8 个精度等级，其中 1 和 2 两级属于精度技术级，只在特殊要求下使用。每种塑件可选用其中 3 个等级，即高精度、一般精度和低精度。

表 2-17　塑料制件尺寸公差　　（单位：mm）

公称尺寸	精度等级							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	公差数值							
~3	0.04	0.06	0.08	0.12	0.16	0.24	0.32	0.48
>3~6	0.05	0.07	0.08	0.14	0.18	0.28	0.36	0.56
>6~10	0.06	0.08	0.10	0.16	0.20	0.32	0.40	0.64
>10~14	0.07	0.09	0.12	0.18	0.22	0.36	0.44	0.72
>14~18	0.08	0.10	0.12	0.20	0.26	0.40	0.48	0.80
>18~24	0.09	0.11	0.14	0.22	0.28	0.44	0.56	0.88
>24~30	0.10	0.12	0.16	0.24	0.32	0.48	0.64	0.96
>30~40	0.11	0.13	0.18	0.26	0.36	0.52	0.72	1.00
>40~50	0.12	0.14	0.20	0.28	0.40	0.56	0.80	1.20
>50~65	0.13	0.16	0.22	0.32	0.46	0.64	0.92	1.40
>65~80	0.14	0.19	0.26	0.38	0.52	0.76	1.00	1.60
>80~100	0.16	0.22	0.30	0.44	0.60	0.88	1.20	1.80
>100~120	0.18	0.25	0.34	0.50	0.68	1.00	1.40	2.00
>120~140		0.28	0.38	0.56	0.76	1.10	1.50	2.20
>140~160		0.31	0.42	0.62	0.84	1.20	1.70	2.40
>160~180		0.34	0.46	0.68	0.92	1.40	1.80	2.70
>180~200		0.37	0.50	0.74	1.00	1.50	2.00	3.00
>200~225		0.41	0.56	0.82	1.10	1.60	2.20	3.30
>225~250		0.45	0.62	0.90	1.20	1.80	2.40	3.60

（续）

公称尺寸	精度等级							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	公差数值							
>250 ~280		0.50	0.68	1.00	1.30	2.00	2.60	4.00
>280 ~315		0.55	0.74	1.10	1.40	2.20	2.80	4.40
>315 ~355		0.60	0.82	1.20	1.60	2.40	3.20	4.80
>355 ~400		0.65	0.90	1.30	1.80	2.60	3.60	5.20
>400 ~450		0.70	1.00	1.40	2.00	2.80	4.00	5.60
>450 ~500		0.80	1.10	1.60	2.20	3.20	4.40	6.40

注：1. 表中公差数值用于基准孔取正（+）号，用于基准轴取负（-）号。表中公差数值用于非配合孔取正（+）号，用于非配合轴取负（-）号，用于非配合长度取正负（±）号。

2. 表中规定的数值以塑件成型后或经必要的后处理后，在相对湿度为65%、温度为20℃的环境中放置24h后，以塑件和量具温度为20℃时进行测量为准。

表2-17中只列出了公差值，而具体的上、下偏差可根据塑件的配合性质进行分配。对于受模具活动部分影响甚大的尺寸，如注塑件的高度尺寸，受水平分型面溢边厚薄的影响，其公差值取表中值再加上附加值。2级精度的附加值为0.05mm，3~5级精度的附加值为0.10mm，6~8级精度的附加值为0.2mm。

此外，对于塑件图上无公差要求的自由尺寸，建议采用标准中的8级精度。

由于塑件收缩偏差的存在，提高塑件公差，必然会使塑件的废品率增加，成本提高。一般较小的尺寸易达到高精度。

对塑件的精度要求要具体分析，根据装配情况来确定尺寸公差。一般配合部分的尺寸精度高于非配合部分的尺寸精度。产品质量第一，但不是所有零件或塑件上所有部分的尺寸精度都越高越好。对于塑件，当材料和工艺条件一定的情况下，精度很大程度上取决于模具的制造公差。而精度越高，模具制造工序就越多，加工时间越长，从而模具的制造成本增高。表2-18是通常选用精度等级的参考值。

表2-18　精度等级的选用的参考值

类别	塑料品种	建议采用的精度等级		
		高精度	一般精度	低精度
1	聚苯乙烯 苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚体（ABS） 聚甲基丙烯酸甲酯 聚碳酸酯 聚砜 聚苯醚 酚醛塑料 氨基塑料 30%玻璃纤维增强塑料	3	4	5

（续）

类别	塑料品种	建议采用的精度等级		
		高精度	一般精度	低精度
2	聚酰胺 6、66、610、9、1010 氯化聚醚 聚氯乙烯（硬）	4	5	6
3	聚甲醛 聚丙烯 聚乙烯（高密度）	5	6	7
4	聚氯乙烯（软） 聚乙烯（低密度）	6	7	8

注：1. 其他材料可按加工尺寸稳定性参照上表选择精度等级。

2. 1、2 级精度为精密技术级，只有在特殊条件下采用。

3. 选用精度等级时，应考虑脱模斜度对尺寸公差的影响。

目前，国际上尚无统一的塑料制件尺寸公差标准，但各国有自行制定的公差标准，如德国的标准为 DIN 16901，瑞士的标准为 VSM 77 012。表 2-19 和表 2-20 所示为我国颁布的 SJ/T 10628—1995 公差标准，可作为选用塑件精度等级和公差的主要依据。

表 2-19　不受模具活动部分影响的尺寸公差　（单位：mm）

基本尺寸	精 度 等 级						
	1	2	3	4	5	6	7
>0 ~ 3	0. 07	0. 10	0. 13	0. 16	0. 22	0. 28	0. 38
>3 ~ 6	0. 08	0. 12	0. 15	0. 20	0. 26	0. 34	0. 48
>6 ~ 13	0. 10	0. 14	0. 18	0. 23	0. 30	0. 40	0. 58
>13 ~ 14	0. 11	0. 16	0. 20	0. 27	0. 34	0. 48	0. 68
>14 ~ 18	0. 12	0. 18	0. 22	0. 31	0. 38	0. 54	0. 78
>18 ~ 24	0. 13	0. 22	0. 24	0. 34	0. 42	0. 60	0. 88
>24 ~ 30	0. 14	0. 24	0. 26	0. 38	0. 48	0. 72	1. 08
>30 ~ 40	0. 16	0. 25	0. 30	0. 42	0. 56	0. 80	1. 014
>40 ~ 50	0. 18	0. 26	0. 34	0. 48	0. 64	0. 94	1. 32
>50 ~ 65	0. 20	0. 30	0. 36	0. 54	0. 74	1. 10	1. 54
>65 ~ 80	0. 23	0. 34	0. 44	0. 62	0. 86	1. 28	1. 80
>80 ~ 100	0. 26	0. 36	0. 50	0. 72	1. 00	1. 48	2. 10
>100 ~ 120	0. 29	0. 42	0. 58	0. 82	1. 16	1. 72	2. 40
>120 ~ 140	0. 32	0. 46	0. 64	0. 92	1. 30	1. 96	2. 80
>140 ~ 160	0. 36	0. 50	0. 72	1. 04	1. 46	2. 20	3. 10
>160 ~ 180	0. 40	0. 54	0. 78	1. 14	1. 60	2. 40	3. 40
>180 ~ 200	0. 44	0. 60	0. 84	1. 24	1. 80	2. 60	3. 70
>200 ~ 220	0. 48	0. 66	0. 92	1. 36	2. 00	2. 94	4. 10
>220 ~ 250	0. 52	0. 72	1. 00	1. 48	2. 10	3. 20	4. 50

（续）

基本尺寸	精度等级						
	1	2	3	4	5	6	7
>250～280	0.56	0.78	1.10	1.60	2.30	3.50	4.90
>280～315	0.60	0.84	1.20	1.80	2.60	3.80	5.40
>315～355	0.66	0.92	1.30	2.00	2.8	4.30	6.00
>355～400	0.72	1.00	1.44	2.20	3.10	4.76	6.70
>400～450	0.78	1.13	1.60	2.40	3.50	5.30	7.40
>450～500	0.86	1.20	1.74	2.60	3.90	5.80	8.20

表 2-20　受模具活动部分影响的尺寸公差　（单位：mm）

基本尺寸	精度等级						
	1	2	3	4	5	6	7
>0～3	0.14	0.20	0.33	0.36	0.42	0.40	0.58
>3～6	0.16	0.22	0.35	0.40	0.46	0.54	0.68
>6～10	0.20	0.24	0.38	0.43	0.50	0.60	0.78
>10～14	0.21	0.26	0.40	0.47	0.54	0.68	0.88
>14～18	0.22	0.28	0.42	0.44	0.58	0.74	0.98
>18～24	0.23	0.30	0.44	0.50	0.62	0.80	1.08
>24～30	0.24	0.32	0.46	0.58	0.68	0.90	1.20
>30～40	0.26	0.34	0.50	0.62	0.76	1.00	1.34
>40～50	0.28	0.36	0.54	0.68	0.84	1.14	1.52
>50～65	0.30	0.40	0.58	0.74	0.94	1.30	1.74
>65～80	0.33	0.44	0.64	0.82	1.06	1.48	2.00
>80～100	0.36	0.48	0.70	0.92	1.20	1.68	2.30
>100～120	0.39	0.52	0.78	1.02	1.36	1.92	2.60
>120～140	0.42	0.56	0.84	1.12	1.50	2.16	3.00
>140～160	0.46	0.60	0.92	1.34	1.66	2.40	3.30
>160～180	0.50	0.64	0.98	1.34	1.80	2.60	3.60
>180～200	0.54	0.70	1.04	1.44	2.00	2.80	3.90
>200～225	0.58	0.76	1.12	1.56	2.20	3.14	4.30
>225～250	0.62	0.82	1.20	1.68	2.30	3.40	4.70
>250～280	0.66	0.88	1.30	1.80	2.50	3.70	5.10
>280～315	0.70	0.94	1.40	2.20	2.80	4.00	5.60
>315～355	0.76	1.02	1.50	2.80	3.00	4.50	6.20
>355～400	0.82	1.10	1.64	2.40	3.30	4.90	6.90
>400～450	0.88	1.20	1.80	2.60	3.70	5.50	7.60
>450～500	0.96	1.30	1.94	2.80	4.10	6.00	8.40

精密塑件公差数值，有资料建议应是基本尺寸的 0.1% ~0.5%。虽然，目前尚未制订标准，但可从日刊文献中得以佐证，大致与表 2-19 所列 1 级精度相当。表 2-21 列出了该文献提供的数据。

表 2-21　精密塑件公差数值　　（单位：mm）

基本尺寸	聚碳酸酯、ABS 等		聚酰胺、聚缩醛	
	最小限度	实用限度	最小限度	实用限度
<0.5	0.003	0.008	0.005	0.01
0.5 ~1.3	0.005	0.01	0.008	0.025
1.3 ~2.5	0.008	0.02	0.012	0.04
2.5 ~7.5	0.01	0.03	0.02	0.06
7.5 ~12.5	0.015	0.04	0.03	0.06
12.5 ~25.0	0.022	0.06	0.04	0.10
25.0 ~50.0	0.03	0.08	0.05	0.15
50.0 ~75.0	0.04	0.10	0.06	0.20
75.0 ~100.0	0.05	0.15	0.08	0.25

2.3.3　塑件的表面质量

表面质量是一个相当大的概念，包括微观的几何形状和表面层的物理 – 力学性质两方面技术指标，而不是单纯的表面粗糙度问题。塑件表面层的相变、残留应力都属于物理 – 力学性质范畴的指标。然而，一方面因为我国尚无统一的塑件表面质量的标准，另一方面塑件还会受到原材料、成型工艺和模具等因素的影响，故有资料建议用表面粗糙度和表观缺陷两个指标来评定塑件的表面质量。

一般来说，原材料的质量、成型工艺（各种参数的设定、控制等人为因素）和模具的表面粗糙度等都会影响到塑件的表面粗糙度，而尤其以模具腔壁上的表面粗糙度的影响最大。因此，模具腔壁表面的粗糙度实际上成为塑件表面粗糙度的决定性因素，通常要求比塑件高出一个等级。例如，塑件表面粗糙度 R_a 为 0.02 ~1.25μm，则模具腔壁的表面粗糙度 R_a 应为 0.01 ~0.63μm。对于透明塑件，特别是光学元件，与模具腔壁的要求应相一致。例如，塑件表面粗糙度 R_a 为 0.005μm，腔壁表面粗糙度 R_a 只能为极限值 0.005μm。这么高的表面粗糙度的获得是很不容易的，其中还需要精湛的手工技艺。表 2-22 列出了模具表面粗糙度对注射件表面粗糙度的影响情况。

表 2-22　模具表面粗糙度对注射件表面粗糙度的影响

注塑模工作表面			注塑件表面粗糙度 R_a/μm				
加工方法	纹路方向	表面粗糙度 R_a/μm	苯乙烯聚合物	丁二烯聚合物	低密度聚乙烯	高密度聚乙烯	聚丙烯
精磨	顺纹路	0.12	0.024	0.13	0.18	0.25	0.20
	垂直纹路	0.21	0.05	0.17	0.22	0.26	0.26
抛光	顺纹路	0.18	0.02	0.29	0.28	0.20	0.26
	垂直纹路	0.46	0.26	0.36	0.34	0.26	0.55

（续）

注塑模工作表面			注塑件表面粗糙度 R_a/μm				
加工方法	纹路方向	表面粗糙度 R_a/μm	苯乙烯聚合物	丁二烯聚合物	低密度聚乙烯	高密度聚乙烯	聚丙烯
铣	顺纹路	R_Z3.4	1.2	1.6	0.4	0.72	1.9
	垂直纹路	R_Z4.6	R_Z3.7	1.9	R_Z4.1	R_Z3.0	R_Z3.5
刨	顺纹路	R_Z4.2	1.5	0.85	1.1	1.6	1.35
	垂直纹路	R_Z8.0	R_Z6.2	R_Z7.2	R_Z5.0	R_Z7.4	R_Z7.4

塑件的表面缺陷是其特有的质量指标，包括缺料、溢料与飞边、凹陷与缩瘪、气孔、翘曲、熔接痕、变色、银（斑）纹、粘模、脆裂和降解等。

第 3 章　注塑模具结构与注塑机

3.1　注塑成型原理及工艺过程

3.1.1　注塑成型原理及其成型特点

注塑成型原理如图 3-1 所示（以螺杆式注塑机为例）。加入到料斗 4 中的颗粒状或粉状的塑料，被送至外侧安装有电加热圈的料筒中塑化。螺杆 7 每次前进注塑结束后便在料筒前端原地转动，被加热预塑的塑料在转动螺杆的作用下，通过螺旋槽输送至料筒前端的喷嘴附近，螺杆的转动使塑料进一步塑化，料温在剪切摩擦热的作用下进一步提高并得以均匀化。当料筒前端的熔料堆积对螺杆产生一定的压力时（称为螺杆的背压），螺杆就在转动中后退，直至与调整好的行程开关接触，单次注塑所需塑料的预塑和储料（即料筒前部熔融塑料的储量）结束。接着注塑液压缸开始工作，与液压缸活塞相连接的螺杆以一定的速度和压力将熔料通过料筒前端的喷嘴注入温度较低的闭合模具型腔中，保压一定时间，熔融塑料冷却固化即可保持模具型腔所赋予的形状和尺寸。开合模机构将模具打开，在推出机构的作用下，即可取出注塑成型的塑料制件。

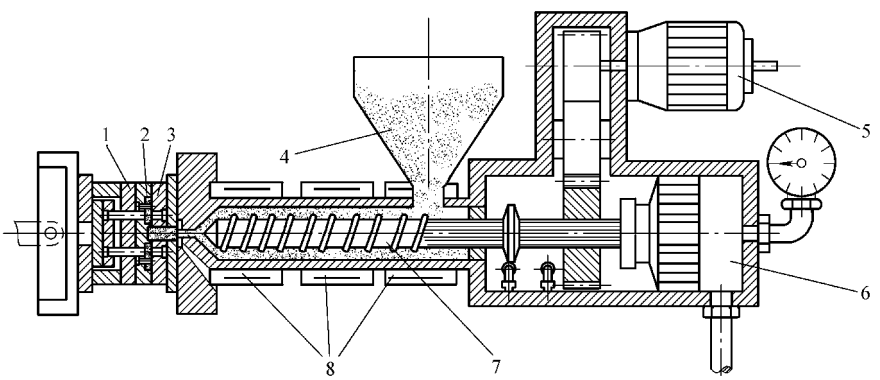


图 3-1　注塑成型原理

1—动模　2—塑件　3—定模　4—料斗　5—传动装置　6—液压缸　7—螺杆　8—加热器

注塑成型是热塑性塑料成型的一种重要方法，它具有成型周期短，能一次成型形状复杂、尺寸精确、带有金属或非金属嵌件的塑料制件。注塑成型的生产率高，易实现自动化生产。到目前为止，除氖塑料以外，几乎所有的热塑性塑料都可以用注塑成型的方法成型，因此注塑成型广泛地应用于各种塑料制件的生产。注塑成型的缺点是所用的注塑设备价格较高，注塑模具的结构复杂，生产成本高，生产周期长。不适合于单件小批量的塑件生产。除了热塑性塑料外，一些流动性好的热固性塑料也可用注塑的方法成型，其原因是这种方法生

产率高，产品质量稳定。

3.1.2 注塑成型工艺过程

注塑成型工艺过程包括成型前的准备、注塑过程和塑件的后处理三部分。

1. 成型前的准备

为了保证注塑成型的正常进行和塑件的质量，在注塑成型前应做一定的准备工作，如对塑料原料进行外观检验，即检查原料的色泽、细度及均匀度等，必要时还应对塑料的工艺性能进行测试。对于吸湿性强的塑料，如尼龙、聚碳酸酯等，成型前应进行充分的预热干燥，除去物料中过多的水分和挥发物，以防止成型后塑件出现气饱和银丝等缺陷。

生产中，如需改变塑料品种、调换颜色，或发现成型过程中出现了热分解或降解反应，则应对注塑机料筒进行清洗。通常，柱塞式注塑机料筒存量大，必须将料筒拆卸清洗。对于螺杆式料筒，可采用对空注塑法清洗。采用对空注塑法清洗螺杆式料筒时，若欲更换塑料的成型温度高于料筒内残料的成型温度，应将料筒和喷嘴的温度升高到欲更换塑料的最低成型温度，然后加入欲更换塑料或其回用料，并连续对空注塑，直到将全部残料排除为止；若欲更换塑料的成型温度低于料筒内残料的成型温度，应将料筒和喷嘴温度升高到欲更换塑料的最高成型温度，切断电源，加入欲更换塑料的回用料，并连续对空注塑，直到将全部残料排除为止。两种塑料的成型温度相差不大时，不必变更温度，先用回用料，然后用欲更换的塑料对空注塑即可。残料属热敏性塑料时，应从流动性好、热稳定性好的聚乙烯、聚苯乙烯等塑料中选择粘度较高的品级作为过渡料对空注塑。

对于有嵌件的塑料制件，由于金属与塑料的收缩率不同，嵌件周围的塑料容易出现收缩应力和裂纹，因此成型前可对嵌件进行预热，减小它在成型时与塑料熔体的温差，避免或抑制嵌件周围的塑料出现收缩应力和裂纹。在嵌件较小时，对分子链柔顺性大的塑料也可以不预热。为了使塑料制件容易从模具内脱出，有的模具型腔或模具型芯还需涂上脱膜剂。常用的脱模剂有液体石蜡和硅油等。在成型前，有时还需对模具进行预热。

2. 注塑过程

完整的注塑过程包括加料、塑化和注塑等几个阶段。

（1）加料　将粒状或粉状塑料加入注塑机料斗，由柱塞或螺杆带入料筒进行加热。

（2）塑化　塑化是成型塑料在注塑机料筒内经过加热、压实以及混料等作用以后，由松散的船状颗粒或粒状的固态转变成连续的均化熔体的过程。

（3）注塑　注塑过程实际又分为充模、保压、倒流、浇口冻结后的冷却和脱模等几个阶段。

1）充模。塑化好的塑料熔体在注塑机柱塞或螺杆的推进作用下，以一定的压力和速度经过喷嘴和模具的浇注系统进入并充满模具型腔，这一阶段称为充模。

2）保压。充模结束后，在注塑机柱塞或螺杆的推动下，熔体仍然保持压力进行补料，使料筒中的熔料继续进入型腔，以补充型腔中塑料的收缩需要。保压时间应适当，过长的保压时间容易使塑件产生应力，引起塑件翘曲或开裂。

3）倒流。保压结束后，柱塞或螺杆后退，型腔中的熔料压力解除，这时型腔中的熔料压力将比浇口前方的压力高。如果此时浇口尚未冻结，型腔中就会发生熔料通过浇注系统倒

流的现象，使塑料制件产生收缩、变形及质地疏松等缺陷。如果撤除注塑压力时，浇口已经冻结，则倒流现象就不会存在。由此可见，倒流是否发生或倒流的程度如何，均与保压时间有关。一般来讲，保压时间较长时，保压压力对模腔内熔体的作用时间也越长，倒流较小，塑件的收缩情况会有所减轻。而保压时间短时，情况则刚好相反。

4）浇口冻结后的冷却。塑件在模内的冷却过程是指从浇口处的塑料熔体完全冻结时起到塑件将从模腔内推出为止的全部过程。在此阶段，补缩或倒流均不再继续进行，型腔内的塑料继续冷却、硬化和定型。脱模时，塑料制件具有足够的刚度，不致产生弯曲和变形。随着冷却过程的进行，温度继续下降，型腔内塑料收缩，压力下降，到开模时，型腔内的压力下降到最低值，但不一定等于外界大气压。型腔内压力与外界大气压力之差值称为残留压力，而残留压力大小与塑件保压阶段的长短有关。残留压力为正值时，脱模较困难，塑件易刮伤或崩裂；残留压力为负值时，塑件表面有缺陷或内部有真空泡。所以，只有在残留压力接近零时，脱模才较便利，并能获得满意的塑件。塑件的冷却速度应适中。如果冷却过急，或模腔与塑料熔体接触的各部分温度不同，均会导致冷却不均和收缩率不一致，使塑件产生应力，产生翘曲变形。

5）脱模。塑件冷却后即可开模，在推出机构的作用下，将塑料制件推出模外。

3. 塑件的后处理

由于塑化不均匀或塑料在型腔内的结晶、取向和冷却不均匀以及金属嵌件的影响等原因，塑料件内部不可避免地存在一些应力，从而导致塑件在使用过程中产生变形或开裂。为了解决这些问题，可对塑件进行一些适当的后处理。常用的后处理方法有退火和调湿两种。

（1）退火处理　退火是将塑件放在定温的加热介质（如热水、热油、热空气和液体石蜡等）中保温一段时间的热处理过程。利用退火时的热量，能加速塑料中大分子松弛，从而消除塑件成型后的残留应力。退火温度一般在塑件使用温度以上 10 ~ 20℃至热变形温度以下 10 ~ 20℃之间进行选择和控制。保温时间与塑料品种和塑件的厚度有关，一般可按每毫米约半小时计算。冷却退火时，冷却速度不应过快，否则会产生应力。

（2）调湿处理　调湿处理是一种调整塑件含水量的后处理工序，主要用于吸湿性很强且又容易氧化的聚酰胺等塑料制件。调湿处理除了能在加热条件下消除残留应力外，还能使塑件在加热介质中达到吸湿平衡，以防止在使用过程中发生尺寸变化。调湿处理所用的介质一般为沸水或醋酸钾溶液（沸点为 121℃），加热温度为 100 ~ 121℃。热变形温度高时取上限，反之取下限。保温时间与塑件厚度有关，通常取 2 ~ 9h。

3.2　注塑模具结构

3.2.1　注塑模具分类

注塑模具的分类方法有很多，按所使用的注塑机的形式分为立式注塑模、卧式注塑模和角式注塑模；按成形材料分为热塑性塑料注塑模和热固性塑料注塑模，见表 3-1。但是，按注塑模的总体结构特征分类最为方便，可以分为单分型面模具、双分型面模具、侧向分型或抽芯的模具、带活动镶件的模具、模具内机自动脱螺纹模具以及无流道凝料的模具。

表 3-1　注塑模的一般分类

分类方法	模 具 类 型
按塑料材料类别分	热塑性塑料注塑模、热固性塑料注塑模
按模具型腔数目分	单型腔注塑模、多型腔注塑模
按模具安装方式分	移动式注塑模、固定式注塑模
按注塑机类型分	卧式注塑机用注塑模、立式注塑机用注塑模及角式注塑机用注塑模
按模具浇注系统分	冷流道模、绝热流道模、热流道模及温流道模

1. 单分型面模具

单分型面注塑模也可称为二板式注塑模，是注塑模中最基本的一种结构形式。模具上只有一个将动、定模分开的主分型面，成型零件分设在动、定模两部分，闭合后构成封闭的型腔。立式模具的主分型面以上部分为定模，以下部分为动模。卧式和直角式模具主分型面以右为定模，以左为动模。立、卧式模具主流道都在定模一侧，如图 3-2 所示。这种注塑模结构简单，成型塑件的适应性强，但塑件连同凝料在一起，需手工后处理。单分型面注塑模应用广泛。

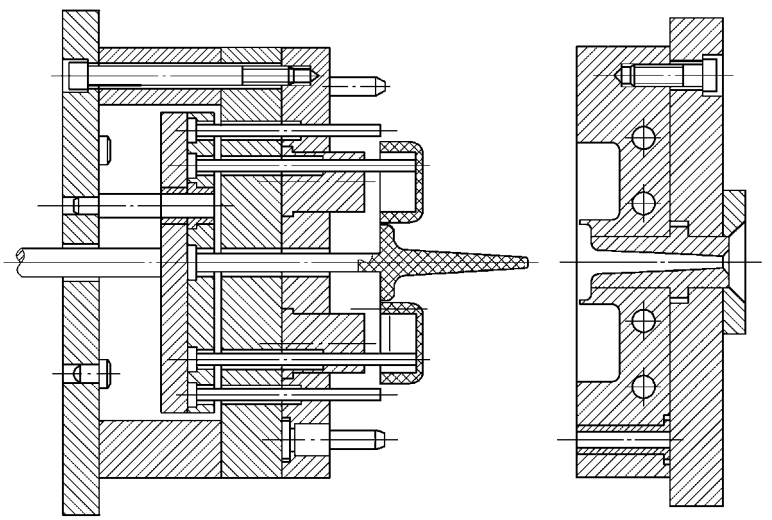


图 3-2　单分型面模具

2. 双分型面模具

双分型面模具除主分型面外，还增加了一个与主分型面平行的分型面，故又称三板模，如图 3-3 所示。这种注塑模具能在塑件中心设置点浇口，截面积较小，塑件的外观好，并且有利于自动化生产；但双分型面的注塑模结构复杂，成本较高，模具的质量增大，因此双分型面注塑模不常用于大型塑件或流动性较差的塑料成型。

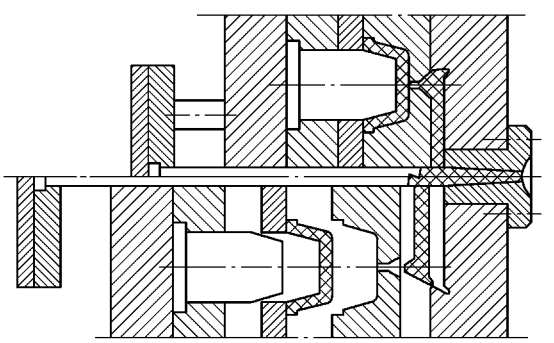


图 3-3　采用点浇口时的双分型面模具

3. 侧向分型或抽芯的模具

对于带有侧孔或侧凹的塑件，不能直接从模具内顶出，必须先将成型侧孔或侧凹的模具零件从塑件上侧向分开，为此模具必须增加抽芯机构或侧向分型（又称垂直分型）机构，如图 3-4a 所示。侧向分型的模具又称哈夫模。图 3-4b 所示为采用斜导柱的抽芯模具。

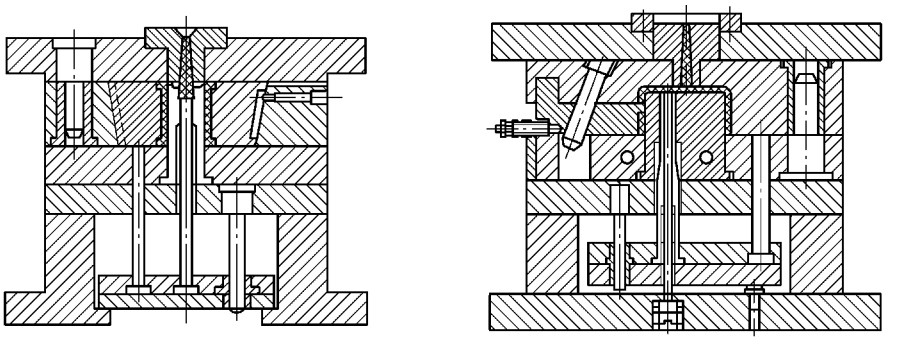


图 3-4　带侧向分型、侧向抽芯的塑料注塑模

a）侧向分型塑料注塑模　b）侧向抽芯塑料注塑模

4. 带活动镶件的模具

有些塑件，为简化模具设计和方便成型，常常在模具中设置活动镶件。这些活动镶件用于成型塑件的某一部分，开模后连同塑件一起从模具中顶出，再在模具外与塑件用手或专用工具分开。对于需要局部抽芯或需成型出螺纹的塑件，当生产批量小时，若采用模内机动抽芯或机动脱螺纹，模具复杂，生产成本高，采用活动镶件抽芯和脱螺纹比较适宜。带活动镶件的模具如图 3-5 所示。这种模具在工作过程中至少要备有 2 ~ 3 套活动镶件，以便交替使用。模具的这种活动镶件装入模具时，应可靠地定位，避免造成塑件报废或模具损坏事故。

5. 模具内机自动脱螺纹模具

对于生产批量大的螺纹塑件，采用活动螺纹成型镶件在机外卸下的方法效率低，应使用内有传动机构的模具，使螺纹型芯或型环自动从塑件上旋下，如图 3-6 所示。传动机构的工作，可以借助开模动作，也可以用电动机带动。

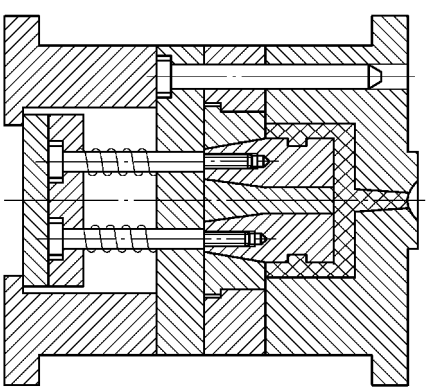


图 3-5　带活动镶件的模具

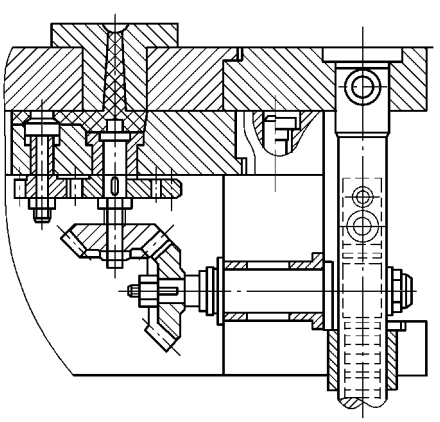
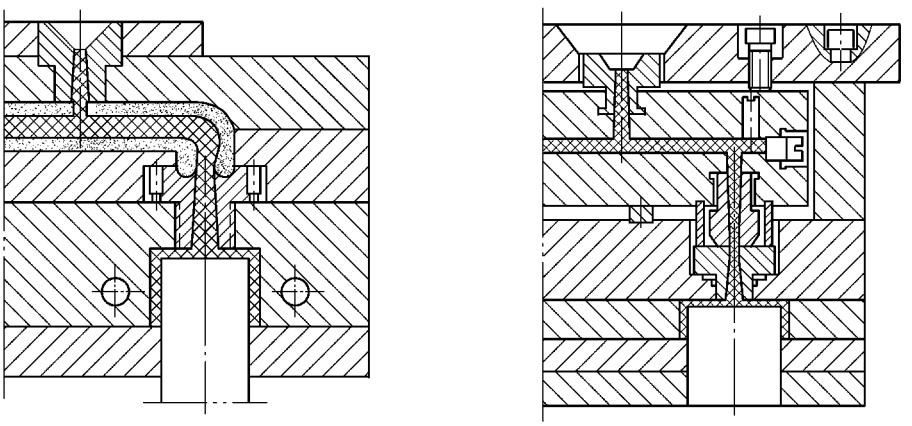


图 3-6　模内自动脱螺纹模具

6. 无流道凝料的模具

上述几种模具在成型过程中，在每个成型周期内都会有浇注塑料熔体冷却凝固并从模具中脱出，这些流道凝料如果要再次利用，必须粉碎并重新熔融，挤出并造板，耗费大量的能量和时间，并使性能降低，还增加了污染的可能性。无流道模具在正常工作中，流道内的塑料始终保持熔融状态，克服了上述缺点。保持流道内的塑料始终为熔融状态，可以采用绝热或加热的方法，分别称为绝热流道模具和加热流道模具，统称为无流道模具或热流道模具，如图 3-7 所示。



a)　　b)

图 3-7　无流道模具

a）绝热流道　b）加热流道

3.2.2　注塑模具基本结构及名称

注塑模具由动模和定模两部分组成，定模部分安装在注塑机的固定模板上，动模部分安装在注塑机的移动模板上。在注塑成型过程中，动模随注塑机上的合模系统运动，与定模部分由导柱导向而闭合构成浇注系统和型腔，塑料熔体从注塑机喷嘴流经模具浇注系统进入型腔。冷却后开模时动模与定模分离，取出塑件。

根据模具上各个部分所起的作用，塑料注塑模由以下几个部分组成，如图 3-8 所示。

（1）成型零件　成型部分由型芯、凹模以及嵌件和镶块等组成。型芯形成塑件的内表面形状，凹模形成塑件的外表面形状。合模后型芯和凹模便构成了模具的模腔。如在图 3-8 所示的模具中，模腔是由型芯 7、型芯固定板 8、凹模 11 和型腔固定板 12 等组成的。

（2）浇注系统　熔融塑料从注塑机喷嘴进入模具型腔所流经的通道称为浇注系统，普通浇注系统由主流道、分流道、浇口及冷料穴等组成。对于无流道浇注系统，它通常没有冷料穴，因为其主要原理就是保证熔料在冲模前不会有温度的下降。随着自动控制水平和机械加工水平的提高，热流道系统在模具设计中用得越来越多。

（3）导向机构　导向机构分为动模与定模之间的导向和推出机构的导向。为了确保动、定模之间的正确导向与定位，需要在动、定模部分采用导柱、导套（见图 3-8 的直导套 22 和带头导套 23）或在动、定模部分设置互相吻合的内外锥面导向。推出机构的导向通常由推板导柱和推板导套（见图 3-8 的推板导柱 38 和动模座板 39）组成。

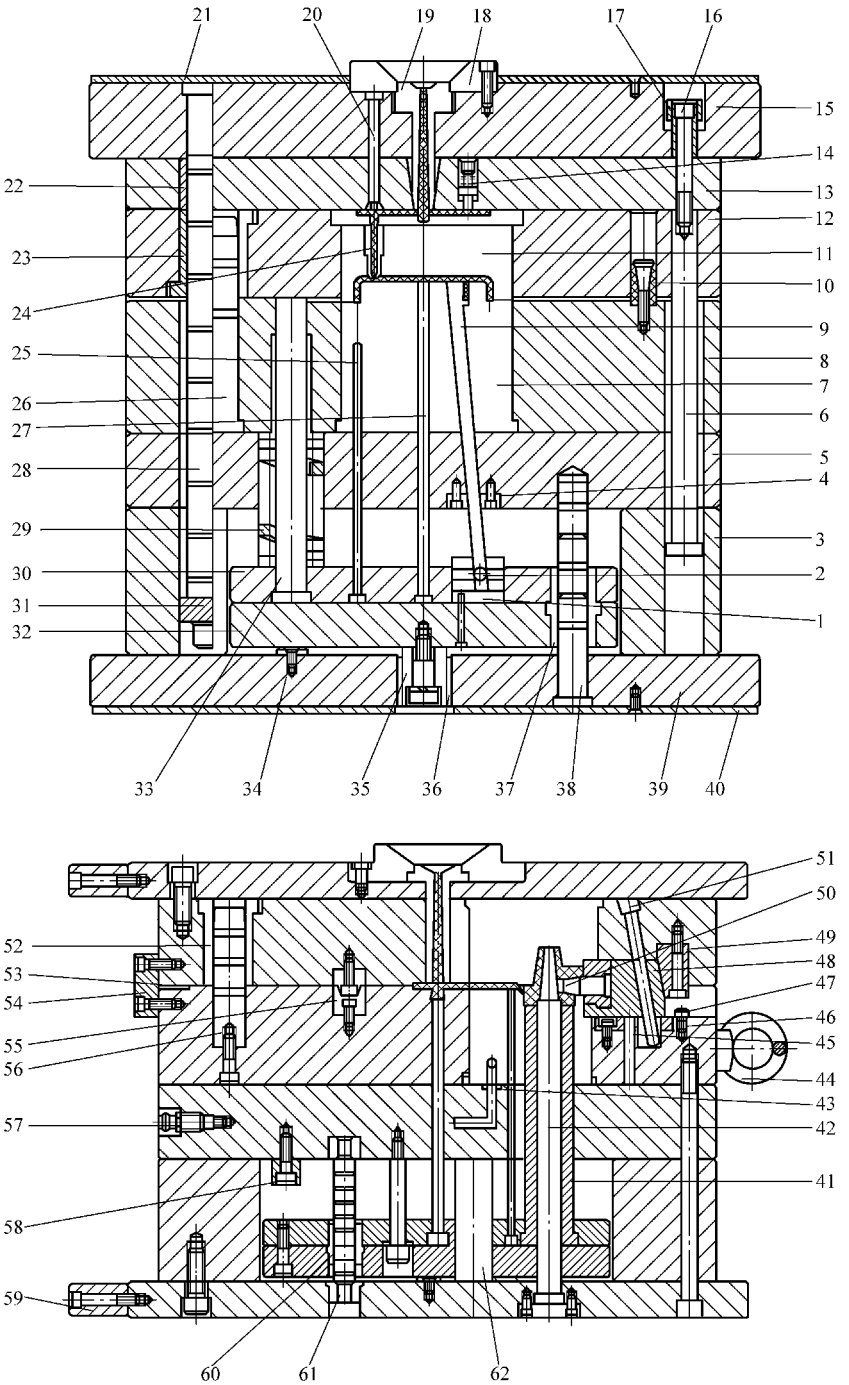


图 3-8　塑料注塑模

1—导滑槽　2—导滑销　3—垫块　4—导滑块　5—支撑板　6—定距拉杆　7、42—型芯　8—型芯固定板　9—斜顶　10—圆形拉模扣　11—凹模　12—型腔固定板　13—推料板　14—料头弹出器　15—定模座板　16—拉杆螺钉　17—拉杆套　18—定位圈　19—浇口套　20—拉料杆　21—隔热板　22—直导套　23—带头导套　24—点浇口套　25—扁推杆　26、56—导柱　27—推杆　28—拉杆导柱　29—弹簧　30—推板　31—垫片　32—推杆固定板　33—复位杆　34—限位钉　35—顶出块　36—密封圈　37、60—推板导套　38、61—推板导柱　39—动模座板　40—隔热板　41—推管　43—O 形密封圈　44—吊环　45—定位珠　46—限位螺钉　47—耐磨板　48—滑块　49—楔紧块　50—滑块镶件　51—斜导柱　52—导套　53—撬模角　54—锁模块　55—锥形定位元件　57—冷却水嘴　58—限位块　59—模具支撑脚　62—支撑柱

（4）侧向分型与抽芯机构　塑件的侧向如有凹凸形状及孔或凸台，就需要有侧向的凸模或成型块来成型。在塑件被推出之前，必须先抽出侧向凸模（侧向型芯）或侧向成型块，然后方能顺利脱模。带动侧向凸模或侧向成型块移动的机构称为侧向分型与抽芯机构。

（5）推出机构　推出机构是指模具分型后将塑件从模具中推出的装置。一般情况下，推出机构由推杆、复位杆、推杆固定板、推板、主流道拉料杆、推板导柱和推板导套等组成。

（6）温度调节系统　为了满足注塑工艺对模具的温度要求，必须对模具的温度进行控制，所以模具常常设有冷却或加热的温度调节系统。冷却系统一般在模具上开设冷却水道。加热系统则在模具内部或四周安装加热元件。

（7）排气系统　在注塑成型过程中，为了将型腔内的气体排出模外，常常需要开设排气系统。排气系统通常是在分型面上有目的地开设几条排气沟槽。另外，许多模具的推杆或活动型芯与模板之间的配合间隙可起排气作用。小型塑件的排气量不大，因此可直接利用分型面排气。

（8）其他零部件　包括支承、固定零件、定位和限位零件等。注塑模常用零件的名称及作用见表 3-2。

表 3-2　注塑模常用零件的名称及作用

零件类别	零件名称	作　　用
成型零件	凹模（型腔）	成型塑件外表面的凹状零件
	凹模板（型腔）	板状零件，其上有成型塑件外表面的凹状轮廓。置于定模的部分称作定模型腔板，置于动模的部分称作动模型腔板
	型芯	成型塑件内表面的凸状零件
	侧型芯	成型塑件侧孔、侧凹或侧凸台的零件，可手动或随滑块在模内做抽拔和复位运动的型芯
	镶件	凹模或型芯有容易损坏或难以整体加工的部位时，与主体分开制造，并嵌入主体的局部成型零件
	活动镶件	根据工艺和结构的要求，需随塑件一起出模，才能与塑件分离的成型零件
	拼件	用以拼成凹模或型芯的若干个分别制造的成型零件，可以分别称为凹模拼块和型芯拼块
	螺纹型芯	成型塑件内螺纹的零件，可以是活动的螺纹型芯，或在模内做旋转运动的螺纹型芯
	螺纹型环	成型塑件外螺纹的零件，可以是活动的螺纹型环或在模内作旋转的螺纹型环
导向零件	导柱	与安装在另一半模具上的导套（或孔）配合，用以保证动模和定模的相对位置，保证模具开合模运动导向精度的圆柱形零件。有带头和带肩导柱两种
	推板导柱	与推板导套（或孔）呈光滑配合，用于脱模机构运动导向的圆柱零件
	导套	与安装在另一半模具上的导柱配合，用以保证动模与定模的相对位置，保证模具开合模运动导向精度的圆套形零件，有直导套和带头导套两种
	推板导套	固定于推板上，与推板导柱呈动配合，用于脱模机构运动导向的圆套形零件

（续）

零件类别	零件名称	作　　用
推出零件	推杆	直接推出塑件或浇注系统凝料的杆件，如圆柱头推杆、带肩推杆和偏推杆等，圆柱头推杆可用来推顶推件板
	推管	直接推出塑件的管状零件
	推件板	直接推出塑件的板状零件
	推件环	局部或整体推出塑件的环状或盘形零件，亦称顶环
	推杆固定板	固定推出或复位零件以及推板导套的板状零件
	推板	支承推出和复位零件，直接传递机床推力的板件
	连接推杆	连接推件板与推杆固定板，传递推力的杆件
	拉料杆	设置在主流道的正对面，头部形状特殊，能拉出主流道凝料的杆件。头部形状有 Z 形、球头形和圆锥形
	推流道板	随着开模运动，推出浇注系统凝料的板件
抽芯零件	斜销（斜导柱）	倾斜于分型面装配。随着模具的开闭使滑块（或凹模拼块）在模具内产生往复运动的圆柱形零件
	滑块	沿导向结构运动，带动侧抽芯（或凹模拼块）完成抽芯和复位动作的零件
	侧型芯滑块	由整体材料制成的侧型芯或滑块。有时几个滑块构成凹模拼块，需先将其分开后，塑件才能顺利脱出
	滑块导板	与滑块的导滑面配合，起导滑作用的板件
	楔紧块	带有斜角，用于合模时锁紧滑块或侧型芯的零件
	弯销	随着模具的开闭，使滑块作抽芯和复位运动的矩形或方形截面的弯杆零件
	斜滑块	与模套配合产生滑动，兼有成型、推出和抽芯作用的凹模拼块
	斜槽导板	具有斜导槽，随着模具的开闭，使滑块随槽做抽芯和复位运动的板状零件
支承固定零件	定模座板	使定模固定在注塑机的固定工作台面上的板件
	动模座板	使动模固定在注塑机的移动工作台面上的板件
	凹模固定板	固定凹模（型腔）的板状零件，也可称型腔固定板
	型芯固定板	固定型芯的板状零件
	模套	使镶件或拼块定位并紧固在一起的框套形结构零件，或固定凹模或型芯的框套形零件
	支撑板	防止成型零件和导向零件轴向位移，并承受成型压力的板件
	垫块	调节模具闭合高度，形成脱模结构所需的推出行程空间的块状零件
	支架	调节模具闭合高度，形成脱模结构所需的推出行程空间，并使动模固定在注塑机上的 L 形块状零件，亦称模脚
	支承柱	为增强动模支承板的刚度而设置在动模支承板和动模座板之间，起支承作用的圆柱形状零件
冷却和加热零件	冷却水嘴	用于连接橡皮管，向模内通入冷却水的管件
	隔板	为改变冷却水的流向而设置在模具冷却水通道内的金属条或板
	加热板	由热水、蒸汽或电热元件等具有加热结构的板件，用以确保模具温度满足塑料成型工艺的要求
	隔热板	防止热量传递扩散的板件

（续）

零件类别	零件名称	作　　用
定位和限位零件	定位圈	使模具主流道与注塑机喷嘴对中，决定模具在注塑机上的安装位置的圆环形或圆板形零件
	锥形定位件	合模时，利用相应配合的锥面，使动、定模精确定位的零件
	复位杆	固定在推杆固定板上，借助模具的闭合动作，使推出机构复位的杆件
	限位钉	对推出机构起支承和调整作用，并防止其在复位时受异物障碍的零件，或限定滑块抽芯后最终位置的杆件
	定距拉板	在开模分型时，用来限制某一模板仅在限定的距离内做拉开或停止动作的板件
	定距拉杆	在开模分型时，用来限制某一模板仅在限定的距离内做拉开或停止动作的杆件
	定位销	使两个或几个模板相互位置固定，防止其产生位移的圆柱形杆件
其他	浇口套	直接与注塑机喷嘴接触，带有主流道的衬套零件
	浇口镶块	为提高浇口的使用寿命，而对浇口采用可更换的耐磨金属镶块
	流道板	为开设分流道而专门设置的板件，可分为热流道板和温流道板
	二级喷嘴	由热流道板向型腔直接或间接提供进料通道的喷嘴

3.3　注塑模具设计

3.3.1　注塑模具的设计与制造流程

塑料模具的制造过程包括以下内容：

1. 模具图样设计

模具图样设计是模具生产中最关键的工作，模具图样是模具制造的依据。模具图样设计包括以下内容：

（1）了解所要生产的制品　根据塑料制品图掌握制品的结构特点和制品的用途。不同用途的制品有不同的形状、尺寸公差以及不同的表面质量要求。是否能够通过塑料注塑模具生产出合格的产品是首先要考虑的问题，其次要掌握所用塑料的模塑特性，考虑会直接影响模具设计的特性，如塑料的收缩率、流动特性以及注塑成形时所需的温度条件。

（2）了解所要生产制品的批量　制品的生产批量对模具的设计有很大的影响，根据制品需求的数量，可以确定模具的使用寿命、模具的型腔数目（或模具的套数）以及模具所需的自动化程度和模具的生产成本。对于大量需求的制品应尽可能采用多型腔模具、热流道模具和适于全自动生产的模具结构；对于需求量较少的制品，在满足制品质量要求的前提下应尽量减少模具的成本。

（3）了解生产塑料制品所用设备　塑料注塑模具要安装到塑料注塑成形机上使用，因此注塑机的模具安装尺寸、顶出位置、注塑压力、合模力以及注塑量都会影响到模具的尺寸和结构。另外，注塑成形机的自动化程度也限制了模具的自动化程度，例如带有机械手的注塑机就可以自动取出注塑成形制品和浇注系统凝料，方便地完成自动化生产过程。

2. 确定模具设计方案

在清楚地了解了生产的塑料制品之后，即可开始模具方案的设计：

（1）设计前应确定的因素　设计前应确定的因素包括：所用塑料种类及成形收缩率；制品允许的公差范围和合适的脱模斜度；注塑成型机参数；模具所采用的模腔数以及模具的生产成本等。

（2）确定模具的基本结构　根据已知的因素确定所设计模具的外形尺寸；选择合理的制品分型面；确定模具所应采用的浇注系统类型；确定塑料制品由模具中的推出方式以及模腔的基本组成。在确定模具的基本结构时，还应考虑模腔是否采用侧向分型机构，是否采用组合模腔，以及模腔的冷却方式和模腔内气体的排出。

（3）确定模具中所使用的标准件　在模具设计中应尽可能多地选择标准件，包括标准模架、模板，标准的导柱、导套、浇口套及推杆等。采用标准件可以提高模具的制造精度，缩短模具生产周期，降低生产成本。

（4）确定模具中模腔的成形尺寸　根据塑件的基本尺寸，运用成形尺寸的计算公式，确定模具模腔各部分的成形尺寸。

（5）确定模具所使用的材料并进行必要的强度、刚度校核　根据强度、刚度校核公式可以对分型面、型腔、型芯和支承板等模具零件进行强度和刚度校核，以确保满足使用要求。

（6）完成模具图样的设计图　其中包括模具设计装配图和模具加工零件图。

在确定模具设计方案时，为提高效率可以采用类比的方法，即将以前设计制造过的类似制品的模具结构套用到新制品的模具结构上，这样可以简化设计过程，特别适于刚刚开始从事模具设计的技术人员。

3. 制定模具加工工艺规程

工艺规程是按照模具设计图样，由工艺人员制定出整个模具或各个零部件制造的工艺过程。模具加工工艺规程通常采用卡片的形式送到生产部门。一般模具的生产以单件加工为主，工艺规程卡片是以加工工序为单位，简要说明模具或零部件的加工工序名称、加工内容、加工设备以及必要的说明，它是组织生产的依据。

制定工艺规程的基本原则是：保证以最低的成本和最高的效率来达到设计图样上的全部技术要求，所以在制订工艺规程时应满足以下条件：

（1）设计图样要求　即工艺规程应全面可靠和稳定地保证达到设计图样上所要求的尺寸精度、形状精度、位置精度、表面质量和其他技术要求。

（2）最低成本要求　所制订的工艺规程应在保证质量和完成生产任务的条件下，使生产成本降到最低，以降低模具的整体价格。

（3）生产时间要求　工艺规程要在保证质量的前提下，以较少的工时来完成加工过程，以提高生产率。

（4）生产安全要求　工艺规程要保证操作工人有良好的安全劳动条件。

4. 组织模具零部件的生产

按照零部件的加工工艺卡片组织零部件的生产，一般可以采用机械加工、电加工、铸造、挤压等方法制造出符合设计要求的零部件。

零部件的生产加工质量直接影响到整个模具的使用性能和寿命。在实际生产中，零件加工质量包括机械加工精度和机械加工表面质量两部分内容。机械加工精度是指零部件经加工后的尺寸、几何形状及各表面相互位置等参数的实际值与设计图样规定的理想值之间相符合

（或相近似）的程度，而它们之间不相符合（或差别）的程度则称为加工误差。加工精度在数值上通过加工误差的大小来表示，即精度越高，加工误差越小。机械加工表面质量是指零部件经加工后的表面粗糙度、表面硬度和表面缺陷等物理－力学性能。

在零部件加工中，由于种种因素的影响，其加工质量必须允许有一定的变动范围（公差范围），只要实际的加工误差在允许的公差范围之内，该零部件就是合格的。

5. 塑料注塑模具的装配与调试

按规定的技术要求，将加工合格的零部件进行配合与连接，装配成符合模具设计图样装配图要求的模具。

塑料注塑模具的装配过程也会影响模具的质量和使用寿命。将装配好的模具固定在规定的注塑成形机上进行试模（也可以在专门的试模机上试模）。在试模过程中，边试边调整、校正，直到生产出合格的塑料制品为止。

6. 模具检验与包装

将试模合格的模具进行外观检验，打好标记，并将试出的合格的塑料制品随同模具进行包装，填好检验单及合格证，交付生产部门使用。

3.3.2 注塑模具的设计要点及注意事项

为保证模具的制造质量，就必须达到一定的制造技术要求。GB/T 4170—2006 规定了塑料注塑模零件的技术条件，GB/T 12554—2006 规定了塑料注塑模的技术条件。标准规定了塑料模具的零件加工和装配的技术要求，以及模具的材料、验收、包装、运输和保管的基本要求。

表 3-3 为部分塑料注塑模零件加工的技术要求；表 3-4 为塑料注塑模具模架装配后的精度要求。

表 3-3 部分塑料注塑模零件加工的技术要求

零件名称	加工部位	条　件	要　求
动定模板	厚度	平行度	300∶0.02 以内
	基准面	垂直度	300∶0.02 以内
	导柱孔	孔径公差	H7
	导柱孔	孔距公差	±0.02mm
		垂直度	100∶0.02 以内
导柱	压入部分直径	精磨	K6
	滑动部分直径	精磨	F7
	直线度	无弯曲变形	100∶0.02 以内
	硬度	淬火、回火	55HRC 以上
导套	外径	磨削加工	k6
	内径	磨削加工	H7
	内外径关系	同轴度	0.01mm
	硬度	淬火、回火	55HRC 以上

表 3-4　塑料注塑模具模架装配后的精度要求

模具组装后的精度	浇口板上平面对底板下平面的平行度	300∶0.05
	导柱导套轴线对模板的垂直度	100∶0.02
	固定结合面间隙	不允许有
	分型面闭合时的贴合间隙	< 0.03mm

设计注塑模时应该考虑以下几个方面的问题：

1. 塑件结构及其技术要求

塑件结构决定了模具结构的复杂程度，而塑件结构也取决于模具制造及成形工艺的难易，因此对于不符合塑料注塑成形特殊要求、不合理的结构形状等，均应提出改进塑件设计的建议，否则会增加模具设计、制造以及注塑成形工艺的难度。

2. 注塑机的技术规格

注塑机的技术规格制约了模具的尺寸和所能成形塑件的范围，因此应全面了解注塑机的技术规格。

3. 塑料的加工性能和工艺性能

1）塑料熔体的流动行为，能达到的最大流动距离。

2）分析流道和型腔各处的流动阻力，模腔内原有空气的导出。

3）塑料在模具内可能的结晶、取向及其导致的内应力。

4）塑料的冷却收缩和补缩。

5）塑料对模具温度的要求等。

4. 模具的结构与制造

1）正确选择分型面和进料点及型腔的布置。

2）模腔的组成及模具零件的强度、刚度和模腔尺寸精度。保证塑件的尺寸精度和外观质量。

3）采用何种脱模机构和抽芯或分型机构，将塑件取出模外。

4）模具总体结构和零件形状应力求简单合理，容易加工制造。

5）合理选择模具材料。

6）模具的热量损耗、冷却水用量以及塑件生产效率等。

3.4　注塑机的组成及分类

注塑机是将经过预塑熔融后的颗粒状高分子材料，由喷嘴高速射入模腔，经过冷却，成型塑料制品的设备，而且能够一次成型复杂制品，具有生产效率高、后加工量少、制品表面光洁程度好及废品率低等特点，并能够满足对注塑制品尺寸精度和质量精度的要求。因此，注塑机目前已成为一种生产塑料产品最具有代表性的设备。

3.4.1　注塑机的组成结构

现代注塑机一般由注塑装置、锁模装置、液压传动装置和电气控制系统等部分组成。

（1）注塑装置　主要作用是使塑料加热塑化和熔融，并能以足够的压力和速度将一定

量的熔料注入模具型腔。塑化注塑系统主要由塑化部件（螺杆、机筒、喷嘴等组成）、料斗、计量装置、传动装置、注塑液压缸和注塑座整体移动液压缸等组成。

（2）锁模装置　主要由动模板、定模板、拉杆、锁模机构（包括合模液压缸）、制品顶出装置和安全门等组成，是成型注塑制品的工作部件。由于高速注入模腔中的熔料具有一定的压力，只有在锁模装置给予模具足够锁模力的情况下，才能防止因熔料的压力作用致使模具被打开，造成制品出现飞边，精度下降等缺陷。因此，要求锁模装置必须能够保证模具可靠地闭合，并实现模具启闭和制品顶出等。

（3）液压传动装置　液压传动装置的主要作用是为注塑机按工艺过程所需要的动作提高动力，满足其工作时所需动力和速度的要求。液压传动装置主要由各种液压元件、液压基本回路和其他附属装置所组成。

（4）电气控制系统　其作用是与液压传动装置相配合，正确无误地实现注塑工艺过程要求的压力、速度、温度、时间和各程序动作。电气控制系统主要由各种电器元件、仪表、加热、测量、控制系统和微机控制系统组成。

液压传动装置和电器控制系统有机地结合在一起，对注塑机提供动力和实现控制。在进行注塑作业时，都是基于已经确定的制品。针对不同的制品及其模具，需要选择和调节的主要有塑化注塑系统和合模装置。

3.4.2　注塑机的工作过程

注塑机基本工序如图 3-9 所示，由合模、射台进、射料、保压、冷却、射台退、预塑、防涎、开模、顶针进和顶针退等基本过程组成，下面将逐一加以说明。

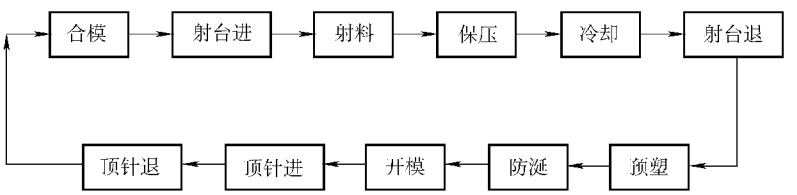


图 3-9　注塑机基本工序

（1）合模过程　合模液压缸中的压力油推动锁模机构动作，动模板移动使模具闭合。其中，模具首先以低压、高速闭合；当动模板即将接近定模板时，再切换成低速、低压闭合（即模具保护工况）；在确认模具内无异物存在时，再切换成高压（锁模力），并将模具锁紧。

（2）射台进和射料过程　模具以锁模力锁紧后，射台进工况使喷嘴与模具贴合，注塑电磁阀通电后，注塑液压缸充入压力油，推动与该液压缸活塞杆相连接的螺杆，并按照分等级的压力和速度将料筒内的熔料注入锁紧的模腔内。

（3）保压过程　熔料在充填型腔过程中直至充满后，要求螺杆仍对熔料保持一定的压力，以防止模具中的熔料回流；同时，施加保压压力，以便向模腔内补充因制品冷缩所需的物料，避免制品产生缩孔等缺陷。

（4）冷却和预塑过程　一旦浇口封死后，取消保压过程，制品在模具内自然冷却定型；同时，驱动预塑液压马达使螺杆转动，将来自料斗的粉状塑料向前输送，进行塑化。在原料塑化达到预定计量值后，为了防止已熔融的塑料溢出喷嘴，需要将螺杆向后移动一定距离，

即进行防涎处理。

（5）射台退、开模及制品顶出过程　预塑计量及防涎过程结束后，为了使喷嘴不至于因长时间和冷模接触而形成冷料等，通常需要将喷嘴撤离模具，即进入射台退工况。该动作是否执行，以及执行的先后程序，可供选择。一旦制品冷却定型后就开模，并自动顶出制品。

3.4.3　注塑机的类型

注塑机是生产热塑性塑料制件的主要设备，近年来在成型热固性塑料塑件中也得到应用。按外形注塑机可分为立式、卧式和角式三种，应用较多的是卧式注塑机，如图 3-10 所示。

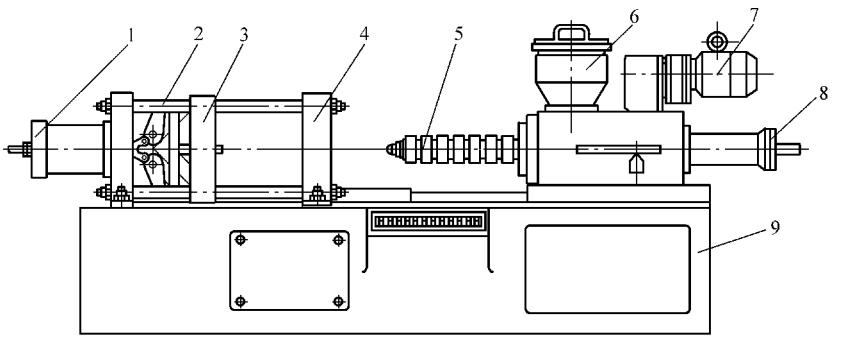


图 3-10　卧式注塑机

1—锁模液压缸　2—锁模机构　3—移动模板　4—定模板　5—螺杆　6—料斗
7—齿轮传动机　8—注塑液压缸　9—机身

各种注塑机尽管外形不同，但基本上都是由合模锁模系统与注塑系统组成。工作时，模具安装在移动模板及固定模板上，由合模系统合模并将模具锁紧，注塑系统将塑料原料送到料筒中加热到塑化温度，将熔融的塑料注入模具。注塑机没有电加热和水冷却系统调节模具温度。塑料在模具中成型后冷却到一定温度时开模，并由推出机构将塑件推出。较先进的注塑机用计算机控制，实现自动化操作。下面介绍注塑机的种类及型号。

1. 卧式注塑机

注塑系统与合模锁模系统的轴线都呈水平布置的注塑机。这类注塑机重心低，稳定，操作、维修方便，塑件推出后可自行下落，便于实现自动化生产。注塑系统有柱塞式和螺杆式两种结构，适合加工大、中型塑件。其主要缺点是模具安装较困难。常用的卧式注塑机型号有 XS—ZY—30、XS—ZY—60、X5—ZY—125、XS—ZY—500 和 XS—ZY—1000 等。其中，XS 表示塑料成型机，Z 表示注塑机，Y 表示螺杆式，30、125 等数字表示注塑机的最大注塑量（cm^3 或 g）。国外及部分国内注塑机生产厂家采用合模力来表示注塑机注塑能力的大小。

2. 立式注塑机

如图 3-11 所示，注塑系统与合模系统的轴线垂直于地面的注塑机。这类注塑机的优点是占地面积较小，模具装卸方便，动模侧安放嵌件便利；缺点是重心高、不稳定，加料较困难，推出的塑件要人工取出，不易实现自动化生产。注塑系统一般为柱塞结构，注塑量小于 60g。

3. 角式注塑机

如图 3-12 所示，注塑系统与合模系统的轴线为相互垂直布置的注塑机。常见的角式注塑机是沿水平方向合模，沿垂直方向注塑。这类注塑机结构简单，可利用开模时丝杠转动对有螺纹的塑件实现自动脱卸。注塑系统一般为柱塞结构，采用齿轮齿条传动或液压传动。角式注塑机的缺点是机械传动无法准确可靠地注塑和保持压力及锁模力，模具受冲击和振动较大。

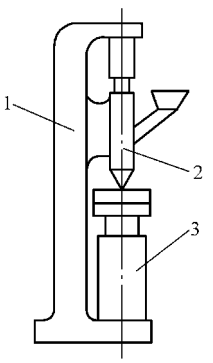


图 3-11　立式注塑成形机
1—机身　2—注塑装置　3—合模装置

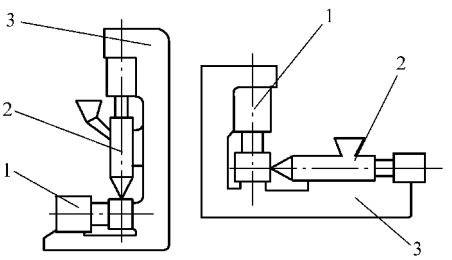


图 3-12　角式注塑成形机
1—合模装置　2—注塑装置　3—机身

3.4.4　注塑机的规格及其表示方法

1. 注塑机机型标准

注塑机机型标准是选用注塑机的重要依据。表 3-5 是现今世界上具有代表性的注塑机标准。

表 3-5　世界注塑机标准一览表

标 准 类 型	标 准 代 号
欧洲塑料橡胶机械制造者委员会	EUROMA2/3，4，5，6，7，8，10
美国国家标准	ANSI B151. 1—1976
日本国家标准	JIS B6701—1977，8650—1979
原德意志联邦共和国国家标准	DIN 16754
原德意志民主共和国国家标准	TGL 23915，25406
前苏联国家标准	TOCT 10767—1971；10768—1973
中国轻工行业标准	QB—SG318—1983
中国机械行业标准	JB/T 7267—1994
中华人民共和国国家标准	GB/T 12783—1991 等

2. 注塑机标准机型表示法

目前表示注塑机规格大小的方法有三种，即注塑量表示法、合模力表示法以及注塑量与合模力表示法。

我国以前采用注塑量表示法（用注塑容量 cm^3 表示）较多。如国产 XS—ZY—500 成形注塑机，该型号的含义是：公称注塑量为 500cm^3；XS—ZY 中 X 为成型、S 为塑料、Z 为注

塑、Y 为螺杆预塑式。用这种表示法不能全面反映注塑机规格大小，故现在许多生产厂已采用注塑量与合模力表示法。

合模力表示法是指注塑机的规格型号以该机的最大合模力来表示的方法。此法表示直观且简单，可直接反映注塑制件的面积大小。但合模力表示法并不能直接反映注塑制件体积的大小，因此使用起来也不够方便。

注塑量与合模力表示法在国际上得到普遍的采用，因为它能够比较全面地反映注塑机加工制件的能力。其规格型号表达为：注塑容量/合模力。为了对不同注塑机的注塑容量有一个共同的比较基准，特规定取注塑压力为 100MPa 下的理论注塑容量。

3.5　注塑机的基本参数

注塑机的基本参数是注塑机的性能指标。它是反映所能成形制品的大小、被加工塑料的种类以及评估所成型的制品质量等的重要指标，是设计与生产制品的依据，也是选择和使用注塑机以及研发注塑机的依据。通常注塑机的规格表示法除了机型代号外，其中的数字就是下列吉贝尔参数中的一个或多个，一般是体积注塑量或注塑压力。

3.5.1　注塑量

用来说明在对空注塑条件下，注塑螺杆在做一次最大注塑行程时，注塑装置能够达到的最大射出量。该参数在一定程度上反映了注塑机的加工能力，标志着单次生产塑料制品的最大质量和体积，是注塑机的一个重要参数。

注塑量一般有两种表示方法，一种以 PS 为标准（密度 = 1.05g/cm^3），用注塑出熔料的质量（g）表示；另一种是用注塑出熔料的体积（cm^3）表示。我国注塑机系列标准采用后一种表示方法，系列标准规定有：16、25、40、63、100、160、200、250、320、400、500、630、800、1000、1250、1600、2000、2500、3200、4000、5000、6300、8000、10000、16000、25000 及 40000 等。

根据对注塑机注塑量的定义，注塑螺杆一次所能注出的最大注塑容量的理论值为：螺杆头在其垂直于轴线方向的最大投影面积与注塑螺杆行程的乘积。

注塑机在实际工作过程中是达不到理论值的。因为塑料的密度随温度、压力的变化而变化，另外在注塑时，熔料在压力下会发生反流等。

3.5.2　注塑压力

注塑压力是指在注塑时，螺杆或柱塞对熔料施加的压力，注塑机的注塑压力指标往往指注塑机所能提供的最大注塑压力。注塑压力是为了克服熔料流经喷嘴、流道和型腔时的流动阻力以及提供压实制品所需要的外力，所以实际生产中的注塑压力是可调的。理论上，注塑压力就是指螺杆或柱塞端面处作用于熔料单位面积上的力。

为满足注塑精密制品或成型结构复杂的制品和工程结构零件的加工要求，使机器加工适应能力增强，缩短成型周期，提高产品质量，注塑压力有提高的趋势；同时，在压力控制方面，多级压力设置已经成为一个重要特征。

3.5.3 合模力与合模装置

熔料在流经料筒、喷嘴和模具的浇注系统后，注塑压力逐渐损失，最后余下的就是模腔压力。因此，在实际注塑时，为了避免模具被模腔压力形成的胀模力顶开，必须对模具施加足够大的夹紧力（即合模力）。合模力是保证制品质量的重要参数，直接影响注塑机的尺寸和重量，并在一定程度上反映注塑机加工制品的能力。因此，合模力经常用来作为表示注塑机规格大小的主要参数。

表 3-6 所列是成型不同制品时所选用的模腔的平均压力。注塑时在模腔内形成的熔料压力过大，可能会将模具顶开。为保证制品成型完全符合精度要求，合模机构必须有足够的锁模力来夹紧模具。

表 3-6 不同成型条件所选用的平均模腔压力

成型条件	模腔平均压力/MPa	举　例
易成型制品	25	PE、PP、PS 等壁较厚且均匀的制品
一般制品	30	模温较高的条件下成型薄壁容器类制品
材料粘度高及精度要求高的制品	35	ABS、POM 等精度要求较高的零件
粘度高、难充模及精度要求高的制品	40 ~ 45	高精度机械零件，如塑料齿轮等

合模装置的主要作用是实现模具的启闭动作，保证成型模具的可靠闭合，以及脱出制品。它主要由合模机构、顶出机构、调模尾板、固定模板、活动模板、液压缸、拉杆和安全保护机构组成。

合模装置的基本尺寸直接关系到所能加工制品的范围和模具的安装、定位等。主要包括模板尺寸与拉杆间距、模板间最大开距、动模板行程及模具厚度等。

（1）模板尺寸与拉杆间距　模板尺寸、拉杆间距均为表示模具安装面积的主要参数，它应能安装在制品质量不超过注塑机实际注塑量的一般制品的模具上。模板面积是注塑机最大成型面积的 4 ~ 10 倍，可以说模板尺寸限制了注塑机的最大成型面积，拉杆间距限制了模具的尺寸。

（2）模板间最大开距　它是用来表示注塑机所能加工制品最大高度的特征参数。它是指前固定模板与动模板之间，包括调模行程在内所能达到的最大距离。

为使成型后的制品能方便地取出，模板间最大开距一般为成型制品最大高度的 3 ~ 4 倍。

为了成型不同高度的制品，模板间距应能调节，调节的范围应是最大模具厚度的30% ~ 50% 。

（3）动模板行程　它是指动模板移动距离的最大值，对于肘杆式合模装置，动模板行程 s_{max} 是固定的；对于液压式合模装置，动模板行程随安装模具厚度的变化而变化。一般动模板行程要大于制品高度 2 倍。

（4）模具厚度　模具最大厚度 H_{max} 与最小厚度 H_{min} 是指动模板闭合后，达到规定锁模力时动模板与前固定板间的最大（小）距离。如果成型制品的模具厚度小于模具最小厚度，应加垫板，否则不能形成锁模力，使机器不能正常生产；反之，同样也不能形成锁模力，也

不能正常生产。H_{max}和 H_{min}之差 ΔH 为调模装置的最大可调行程。

在实际生产中，要尽量使用最短移动模板的行程，这样可以减少机械磨损和动力消耗。

3.5.4　开、合模速度

开、合模速度反映注塑机工作效率，直接影响成型周期的长短。为了使动模板开启和闭合平稳以及在顶出制品时不致使塑料制品顶坏，要求动模板慢速运行；为了提高生产能力，缩短成型周期，又要求动模板快速运行。因此，在整个成型过程中，动模板的速度是变化的，即闭模时先快后慢。开模时，由慢到快再慢。同时还要求速度变化的位置能够调节，以适应不同结构制品的生产需要。

目前，国产注塑机的开合模速度范围：快速为 12 ~ 22m/min、30 ~ 35m/min，也有的高达 60m/min 以上；慢速为 0.24 ~ 3m/min。

3.5.5　空循环时间

空循环次数表示在没有塑化、注塑保压、冷却与取出制品等动作的情况下，完成一次循环需要的时间。有时，也直接用开合模时间（或次数）来表示。空循环次数又分为理论空循环和实际空循环。前者是以液压泵提供最大流量、液压缸作最大行程时，经计算所需的周期时间；后者是指机器在无负荷条件下，以最高速度完成规定行程所需的周期时间。实际空循环与理论空循环时间相比，增加了动作之间的切换时间、行程末端的减速时间等。

空循环时间是表征注塑机综合性能的参数。它反映了机械、液压、电气三大部分的工作速度，也表示了注塑机的工作效率，是衡量注塑机生产能力的指标。近年来，由于采用计算机程序控制技术，使注塑机的性能更为可靠、准确，空循环时间有了较大的缩短。

3.6　注塑机的主要装置与机构

3.6.1　预塑装置

1. 螺杆

螺杆是在电动机或液压马达的驱动下转动，完成树脂的受热、受压和塑化，并在熔体的输送中充分混合、均匀塑化，完成将塑化好的熔料注入模具型腔的部件。

与挤出程序用螺杆相比，注塑用螺杆在结构上有以下特点：

1）注塑螺杆的长径比和压缩比都比较小。

2）注塑螺杆的均化螺槽较深。

3）注塑螺杆的加料段较长，均化段较短。

4）注塑螺杆的头部居于特殊形式。

螺杆根据压缩段长度的不同，分为渐变型螺杆、突变型螺杆（见图 3-13，其中 L_1、L_2、L_3 分别为进料段、熔融段、均化段）和通用型螺杆三种形式。

渐变型螺杆（见图 3-13a）是指由加料段较深螺槽向均化段较浅螺槽的过渡段较长，即长压缩段螺杆。其特点是塑化能量转换较缓和。主要用于加工具有较宽软化温度范围、高粘度的非结晶型塑料，如硬聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯及 ABS 等。

突变型螺杆（见图 3-13b）是指上述螺槽过渡段较短，即短压缩段螺杆。其特点是塑化能量转化较剧烈。主要用于加工粘度低、熔点明显的结晶型塑料，如聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛、尼龙及含氛塑料等。

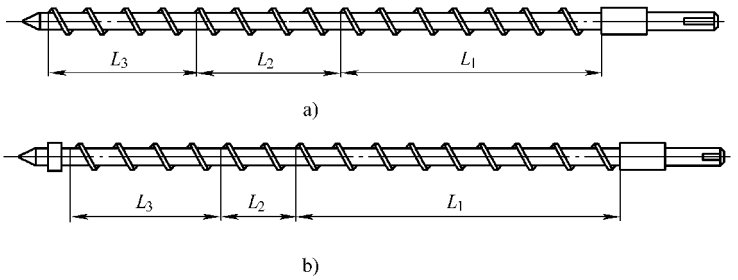


图 3-13　螺杆结构形式

a）渐变型　b）突变型

通用型螺杆（见图 3-14）的压缩段长度介于渐变和突变之间，约 3 ~5 个螺距。主要考虑到一些非结晶型塑料，经受不了突变型螺杆在压缩段高的剪切塑化作用；同时又考虑到一些结晶型塑料未经足够的预热不能软化熔融和难以压缩的特点。

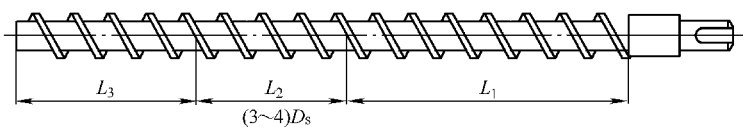


图 3-14　通用型螺杆

2. 螺杆头

为防止注塑螺杆注塑时，高压塑料熔体沿螺杆倒流的现象（特别是成型低粘度塑料及形状复杂的制品），以及加工高粘度和热敏性塑料时，因螺杆头部排料不净，余料过热分解等现象。螺杆头制成各种结构形式，以适应不同塑料的成型。常用的螺杆头结构如图 3-15 所示。

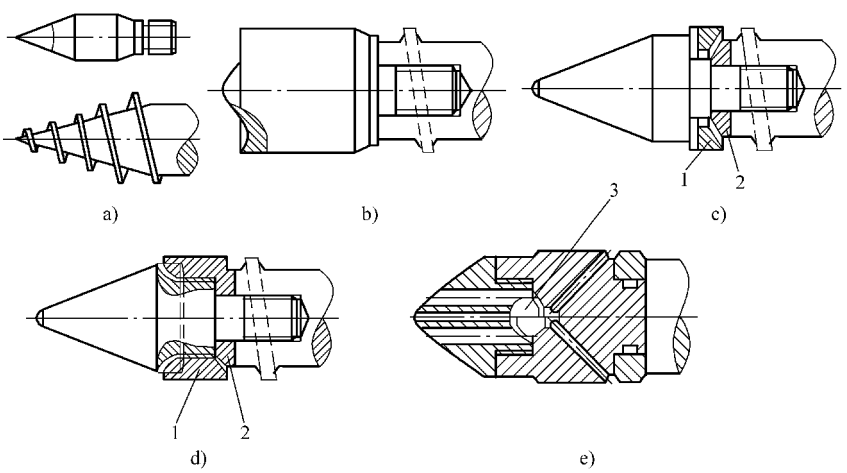


图 3-15　常用螺杆头的结构形式

a）锥形螺杆头　b）山形钝头螺杆头　c）止逆环式螺杆头　d）爪形止逆环结构　e）止逆球式螺杆头

1—止逆环　2—环座　3—止逆球

图 3-15a 为锥形螺杆头，不带止逆结构，其锥角 α 较小，一般为 20° ~ 30°，还可做成带有螺纹的结构，以减少熔料的倒流，主要用于高粘度或热敏性塑料的加工；图 3-15b 为头部为“山”字形曲面的钝头螺杆头，主要用于成型透明度要求高的 PC、AS、PMMA 等塑料。

带止逆结构的螺杆头，有图 3-15c 所示的止逆环式螺杆头，它由止逆环、环座和螺杆头主体组成。当螺杆转动塑化时，沿着螺槽前进的熔料将止逆环向前推移，熔料通过缝隙进入螺杆头前端聚集；注塑时，因螺杆头部的熔料处于高压，使止逆环后移而将流道关闭，阻止熔料的回流，该结构的止逆环与螺杆有相对转动。图 3-15d 为爪形止逆环结构，该结构的止逆环与螺杆无相对转动，可避免螺杆与环之间的熔料剪切过热分解。图 3-15e 为止逆球式螺杆头，它由密封钢球、球座和螺杆头主体组成。预塑时，熔料推开钢球流到螺杆头前部；注塑时钢球密封熔料回流通道。该结构止逆球无附加的剪切效果，起闭迅速。带有止逆结构的螺杆头适用于低、中粘度塑料的注塑成型。

近年来，普遍要求在不改变原机器合模力的情况下，提高螺杆的注塑量和塑化能力。因此通过对注塑螺杆的性能进行改进，出现了许多适合注塑工艺特点的高效能螺杆。新型螺杆针对原注塑螺杆的缺点，在螺杆适当部位（主要是均化段）设置多种多样的混炼元件，起到对未熔融塑料颗粒的过滤、粉碎、细化、剪切和混炼等作用，以加速熔融过程、提高制品质量、缩短成型周期和降低能耗。新型螺杆中常见的有销钉型和屏蔽型螺杆，如图 3-16 所示。

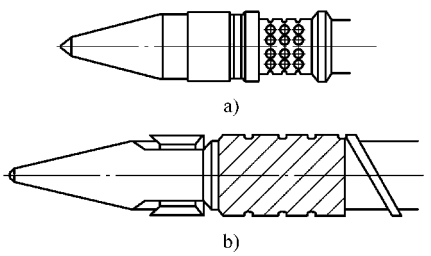


图 3-16　新型螺杆

a）销钉型注塑螺杆　b）屏蔽型注塑螺杆

3. 料筒

料筒内部比较光滑，外表面包有分段加热和控制的加热器。其主要作用是加热，使塑料塑化，并储存一定量的熔料。在成型时，料筒承受很高的注塑压力。因此，制造料筒时要选用耐磨、耐压、耐蚀的优质钢材料，如 38CrMoAl。

柱塞式注塑装置的料筒，根据其各部位的作用不同，分为加料室和加热室（即塑化室）两部分，如图 3-17 所示。

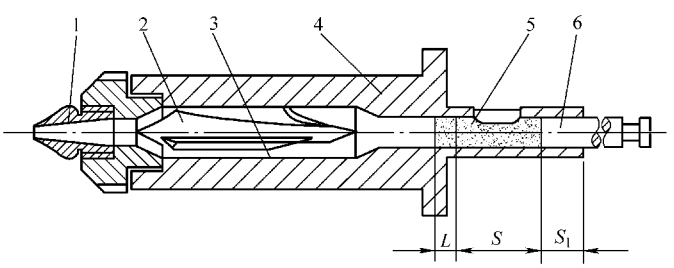


图 3-17　柱塞式注塑机料筒

1—喷嘴　2—分流梭　3—加热室　4—料筒　5—加料室　6—柱塞

（1）加料室　落入的塑料在此被柱塞压实并前移进入加热室塑化。加料室应有一定的空间容积，一般为熔料最大注塑容积的 2 ~ 2.2 倍。加料口为对称开设的长方形，其轴向长度约为柱塞直径的 1.5 倍，其宽度约为柱塞直径的 2/3。柱塞后退到终止位置时，与加料室

还应有一段配合距离。为了不使加料口处的塑料熔结，保持加料的顺畅，在加料口附近要设置冷却装置。

（2）加热室　加热室完成对塑料的加热塑化工作，由于加热塑化的时间通常比注塑成型的周期快好几倍，所以加热室的容积一般为一次注塑量的 4 ~ 6 倍，加热室的直径为柱塞直径的 1. 5 ~ 1. 8 倍，其长度约为柱塞直径的 5 倍。

料筒的加热目前多采用电阻加热圈。为准确方便控制料筒温度，通常根据料筒的长短分 2 ~ 6 段的加热，用热电偶及温度控制器对料筒温度进行分段控制。

4. 喷嘴

喷嘴是连接机筒与模具的过渡部件，安装在机筒的末端，其主要作用有以下几点：

1）预塑时，建立背压，驱除气体，防止熔料流涎，保证塑化能力和剂量精度。

2）注塑时，应保持喷嘴与主浇套良好接触，形成密闭流道，防止熔料外溢。

3）注塑时，建立熔体的压力，提高剪切应力，并将压力能转变成机械能，提高熔料温度，加强混炼效果和均化作用。

4）保压时，便于向模具内补料，而冷却定型时增加回流阻力，减少或防止模具中熔料回流。

5）喷嘴还承担着调温、保温和断料的作用。

6）改变喷嘴结构使之与模具和塑化装置相匹配，组成新的流道形式或注塑系统。

（1）喷嘴的基本形式与选用　喷嘴形式主要有 4 大类：敞开式、锁闭式、保温式和特殊形式。由于加工塑料的特性和用途不同，敞开式喷嘴又可分为通用型、PA 专用型、纤维素专用型和 PVC – U 专用型 4 种。锁闭式喷嘴和保温式喷嘴又可分为三种。

敞开式喷嘴结构简单，压力损失小，补缩作用大，不易产生滞料分解现象；但容易形成冷料和产生流涎现象。主要用来加工高粘度、热稳定性差点的塑料。

锁闭式喷嘴在预塑时能自动关闭喷嘴流道，防止熔料发生流涎现象，而在注塑时又能在注塑压力的作用下自动开启，使熔料注入模腔。对自锁式喷嘴的要求是：启闭灵活，流动阻力小，各零件配合精密，防止溢料，拆装方便，便于清理余料。

（2）喷嘴与模具的装配关系　喷嘴头部的形状多数为球形，注塑喷嘴与模具主流道浇口套的定位关系如图 3-18 所示。喷嘴与模具主流道浇口套必须同心，模具在前模板上由定位

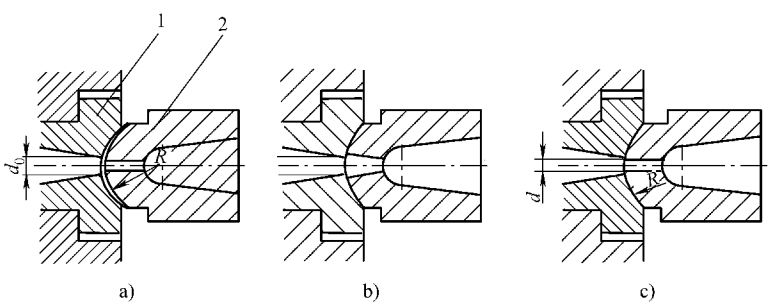


图 3-18　喷嘴与模具的装配关系

a）错误　b）错误　c）正确

1—模具主浇道浇口套　2—喷嘴

圈定位，注塑喷嘴的球面半径和主流道直径要小于主流道浇口套的球面半径和流道入口直径。

喷嘴口径应与螺杆直径成比例。根据实际经验，对于高粘度塑料，喷嘴口径约为螺杆直径的 1/15 ~ 1/10；而中、低粘度的塑料为 1/20 ~ 1/15。表 3-7 所列数值为国内喷嘴口径的使用情况，供参考。

表 3-7　国内喷嘴口径使用情况

注塑量/cm^3		30	60	125	250	500	1000	2000
喷嘴直径/mm	敞开式	2	3 ~ 4 4 ~ 5	3. 5 5 2	3. 5 ~ 4 6 ~ 8	5 ~ 6 8 ~ 9 3	7 9 ~ 12 4	7 ~ 8 9 ~ 12 4 ~ 6
	弹簧锁闭式		1. 5	2 ~ 3	2 ~ 3	3 ~ 5	3 ~ 5	3 ~ 5

3. 6. 2　注塑装置

注塑装置是注塑机上集加料、加热、塑化和注塑于一体的装置，是注塑机非常重要的组成部分。在注塑成型工艺过程中，注塑装置应满足下列基本要求：

1）在规定的时间内，将一定数量的塑料塑化成组分和温度均匀的熔料。

2）根据成型制品的要求，以一定的压力和速度将熔料注入模具型腔。

3）对注入模腔内的熔料进行保压和冷却补缩。

注塑机上所采用的注塑装置的主要形式有柱塞式、柱塞预塑式、螺杆预塑式和往复螺杆式。目前采用最多的是往复螺杆式，其次是柱塞式。

1. 注塑装置的类型

（1）柱塞式注塑装置　现以 XS—Z—60 注塑机（见图 3-19）为例，该机的柱塞式注塑装置是由定量加料装置、塑化部件（料筒、柱塞、分流梭和喷嘴）、注塑液压缸、注塑座移

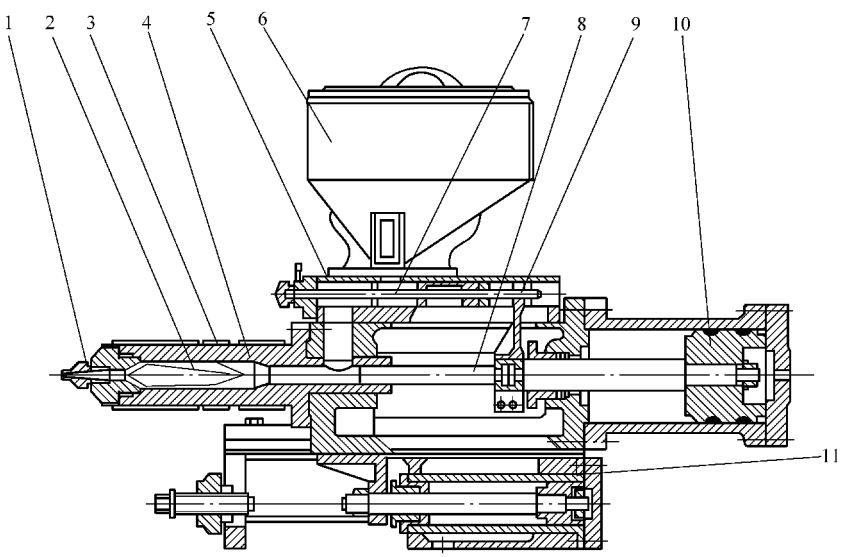


图 3-19　XS—Z—60 柱塞式注塑装置

1—喷嘴　2—分流梭　3—加热器　4—料筒　5—加料装置　6—料斗　7—计量室　8—注塑柱塞　9—传动臂　10—注塑活塞　11—注塑座移动液压缸

动液压缸等组成。其工作原理为：加入料斗 6 中的塑料粒料落入加料装置 5 的计量室 7 中，当注塑液压缸中的活塞 10 前进时，推动注塑柱塞 8 前移，与之相连的传动臂 9 带动计量室 7 同时前移，从而将粒料推入料筒 4 的加料口中，加料口内的塑料在注塑柱塞 8 的推力作用下依次进入料筒前端的塑化室。依靠料筒加热器 3 的加热，使塑料逐步实现由玻璃态到粘流态的物态变化。注塑柱塞将料筒前端已成粘流状的熔料，通过喷嘴 1 注入模具型腔内。

柱塞式注塑装置具有以下特点：

1）注塑压力损失大。由于注塑压力不能直接作用于熔料，需经未塑化的塑料传递，熔融塑料通过分流梭与料筒内壁的狭缝进入喷嘴，最后注入模腔，造成很大的压力损失。

2）塑化不均匀，提高料筒的塑化能力受到限制。由于料筒内塑料加热熔融塑化的热量来自于料筒的外部加热，且塑料导热性差，塑料在料筒内的运动呈层流状态，造成靠近料筒外壁的塑料温度高，塑化快；而料筒中心的塑料温度低，塑化慢；料筒直径越大，温差越大，塑化越不均匀，甚至出现内层塑料尚未塑化好，而表层塑料已过热分解变质的情况。对温度敏感的塑料更难于加工成型。

3）不易提供稳定的工艺条件。在注塑时，柱塞首先对加入料筒加料室中的塑料进行预压缩，然后才将压力传递到塑化室内的熔料上，并将头部熔料注入模腔中。这样就造成了熔料充模的速度不一，先慢后快，直接影响了熔料在模内的流动状态，使工艺过程不稳定，制品质量不稳定。

（2）柱塞预塑式注塑装置　柱塞预塑式注塑装置是采用两个柱塞式注塑装置并联在一起，一个用来完成塑料的加热塑化，另一个用来注塑保压。塑料在预塑料筒内熔融后经联结头转流入注塑料筒，由注塑料筒完成注塑和保压。这种形式虽然在移动程度上改善了原柱塞式注塑装置的性能，但在扩大设备加工能力等方面仍受限制，且结构较复杂。因此应用较少，主要用于小型或超小型高速注塑装置上。

（3）螺杆预塑式注塑装置　螺杆预塑式是利用螺杆挤出装置作为预塑装置。由于螺杆的旋转，将料斗中落下的粒料送往料筒中，并塑化成熔融状态送入注塑料筒 1 内（见图 3-20），注塑料筒中的注塑柱塞 4 在物料的压力作用下后移，柱塞后移的距离决定一次的注塑

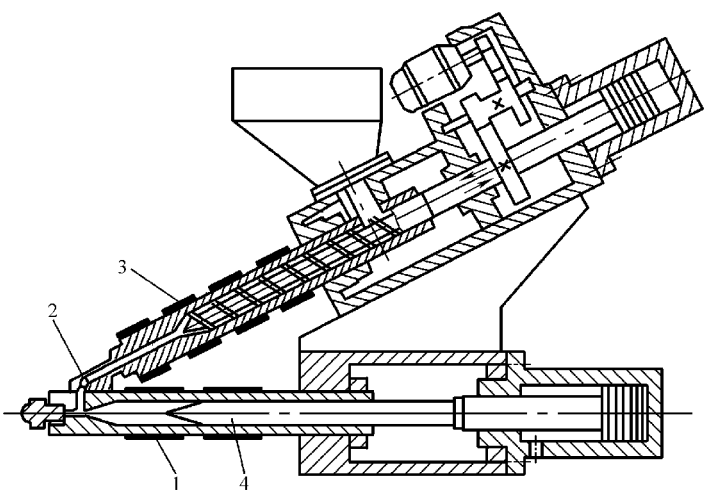


图 3-20　螺杆预塑式注塑装置

1—注塑料筒　2—单向阀　3—预塑料筒　4—注塑柱塞

量。当后退到规定的注塑量时，计量结束，螺杆塑化停止，柱塞便前移将融料注塑到模具中。由于这种形式采用无轴向移动的螺杆进行塑化，使塑料在沿螺杆螺槽向前输送的过程中产生剪切摩擦和搅拌混合作用，因此其塑化质量和塑化效率较柱塞式注塑装置有显著的提高。另外，由于不用分流梭，注塑时压力损失大大减小，注塑速率也比较稳定。目前这种形式的注塑装置较多地应用在连续注塑或大型注塑机上。

这种形式的注塑装置分别由螺杆和柱塞实现塑化和注塑两个功能。由于增加了一个料筒，结构比较复杂庞大，料筒清理不够方便，在预塑料筒和注塑料筒连接的单向阀 2 处易引起熔料滞留而分解。为防止熔料的漏流，柱塞和料筒的配合精度要求较高，这给机器的制造和使用都带来了一定的困难。

（4）螺杆式注塑装置　螺杆式注塑装置是目前最常用的一种，主要由配置、塑化部件（螺杆、料筒）、螺杆驱动装置、注塑液压缸、注塑座及其移动液压缸等组成。如图 3-21 所示，塑化部件和螺杆传动装置等安装在注塑座上，并借助于注塑座整体移动液压缸沿注塑座上的导轨（或导柱）往复运动使喷嘴撤离或贴近模具。同时，为了便于拆换螺杆和清洗筒料，在底座中设置回转机构，使注塑座能够绕其转轴旋转一个角度，如图 3-22 所示。

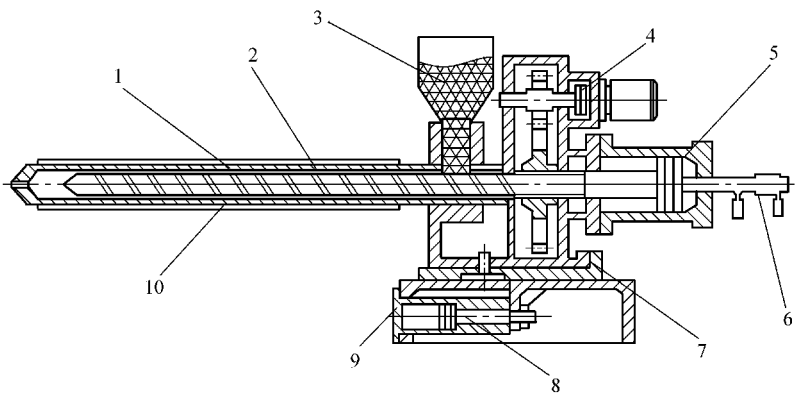


图 3-21　往复螺杆式注塑装置

1—料筒　2—螺杆　3—料斗　4—螺杆传动装置　5—注塑液压缸
6—计量装置　7—注塑座　8—转轴　9—注塑座移动液压缸　10—加热装置

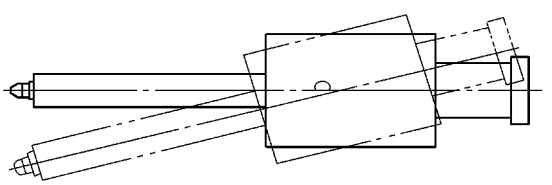


图 3-22　注塑座旋转示意图

螺杆式注塑装置的工作原理如下：塑料从料斗落入料筒加料口，由于螺杆的旋转，使其一边混炼，一边沿着螺槽向前输送。在料筒的加热和旋转螺杆的摩擦剪切作用下，逐步转变成熔融状态。随着螺杆的不断旋转，料筒前端贮积的熔料越积越多，压力越来越大。螺杆在熔料压力的作用下，边旋转边后退。当螺杆后退到一定距离即螺杆前端的熔料达到所需的注塑量时，撞击行程开关（计量装置），螺杆便停止旋转和后退。当确认模具闭合锁紧后，注塑液压缸动作，推动螺杆前移，以一定的速度和压力将熔料注入模腔内。由于这种注塑装置在加料塑化时，螺杆边旋转边后退，在注塑时又前移，所以称之为往复螺杆式注塑装置。

螺杆式注塑装置与柱塞式注塑装置相比，具有以下优点：

1）螺杆式注塑装置塑化时不仅依靠外部加热器供热，而且螺杆的旋转运动不断地对塑料进行剪切摩擦，产生的剪切摩擦热对塑料进行加热塑化，可适当降低加热器的加热温度。因而在塑化效率和塑化质量上都优于柱塞式注塑装置。

2）注塑压力损失少。因注塑时，螺杆头部的塑料是完全塑化的熔料，又没有分流梭造成的阻力，在其他条件相似的情况下，螺杆式注塑装置可采用较小的注塑压力。

3）塑化能力大，均匀性好，注塑机的生产率高。螺杆还兼有对料筒壁的刮料作用，可减少塑料滞流而产生过热分解。

4）螺杆式注塑装置可以对塑料直接进行染色加工，而且料筒清洗较方便。

但螺杆式注塑装置的结构比柱塞式复杂，螺杆的设计和制造比较困难。尽管如此，因其优点居多，所以应用十分广泛，特别是大中型注塑机基本上均采用螺杆式注塑装置。

2. 注塑装置的主要零部件

（1）注塑座　塑化部件和螺杆传动装置等安装在注塑座上，注塑座借助于注塑座整体移动液压缸沿注塑座上的导轨（或导柱）往复运动，从而使喷嘴撤离或贴紧模具。同时，为了便于拆换螺杆和清洗机筒，在底座中设置回转机构，使注塑座能绕其转轴转一个角度。

（2）注塑液压缸　注塑液压缸有左右两个，但也有采用单液压缸注塑的，其作用是提供推动螺杆的动力，进而将料筒内已塑化好的熔料快速推入模腔内。

（3）螺杆驱动装置　螺杆驱动装置是给螺杆在加料预塑时提高所需的转矩和可调整转速的工作部件。其特点是：螺杆加料预塑是间歇进行，并带有负载的频繁起动；对转速要求并不十分严格；螺杆传动要求平稳可靠、低噪声，并具有过载保护功能，驱动装置结构要求简单、紧凑；应有背压调整装置。

（4）注塑座移动液压缸　注塑座移动液压缸通常采用通用型液压缸，安装在注塑座与前模板之间，带动整个注塑座上的所有部件前进或后退。

3.6.3　合模装置

合模装置能够保证模具启闭快速、准确，操作安全，调整灵活及模具闭合时有足够的锁模力。合模装置分为全机械式、全液压式和液压－机械式三类。

液压式合模装置又分为直压式和程序式。直压式的特点是移模动作和合模力的产生与保持是在液压力的连续作用下完成的；程序式则是分段完成的，即在合模力建立之前附加一个移模的定位动作，当移模动作到位后才建立高压而产生合模力。

目前，在中、小型注塑机上多数使用的是液压－机械式合模装置。液压－机械式合模装置是由液压系统和机械系统两部分组成，是利用液压系统驱动曲肘，在合模时使合模系统产生内应力实现对模具的锁紧。

根据曲肘机构类型，可将常用的曲肘式合模装置分为单曲肘、双曲肘、曲肘撑板式及特殊形式。

1. 液压单曲肘合模装置

图 3-23 所示为 XS—ZY—125 注塑机的液压单曲肘合模装置，主要由前后固定模板、移动模板、肘杆、合模液压缸、调模装置和顶出装置等组成。合模液压缸可绕一支点摆动，其活塞杆和肘杆相铰接。当压力油进入合模液压缸的上腔时，活塞下行，带动连杆机构向右伸展，推动移动模板前移合模。模具刚接触时，二连杆尚未完全呈一直线，随着合模液压缸油

压的上升，迫使二连杆弹性变形后呈一直线排列，产生预应力锁紧模具。开模时，压力油从移模液压缸下腔进入，活塞上行使二连杆弯折呈小夹角状态，移动模板被拉回完成开模。

这种合模装置液压缸小，装在机身内部，使机身长度减小。由于是单臂，易使模板受力不均，只适于模板面积较小的小型注塑机，但模板距离的调整较容易。

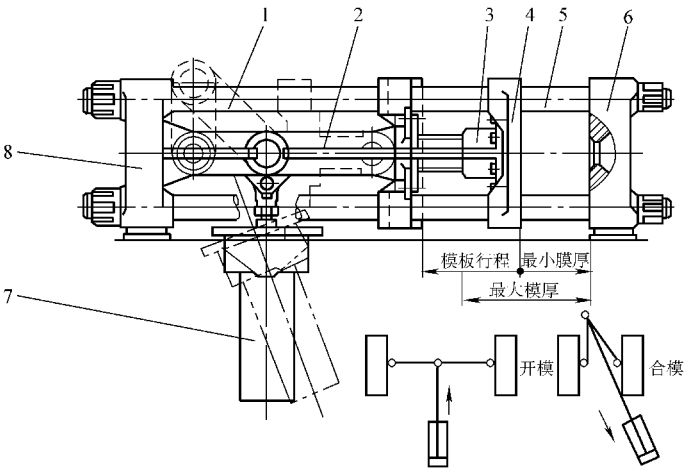


图 3-23　液压单曲肘合模装置

1—肘杆　2—顶出杆　3—调距螺母　4—移动模板　5—拉杆　6—前固定模板
7—合模液压缸　8—后固定模板

2. 液压双曲肘合模装置

液压双曲肘合模装置如图 3-24 所示，上半为闭模状态，下半为开模状态。开模时，肘杆收缩在机身后部时移动模板的行程较大。调整锁模力时，曲肘双臂必须一致，即使有微小的长度差别，也会造成模板受力不均，从而使模具偏斜。而且有的注塑机（如 XS－ZY－500 型）的移动模板厚度较大，如果双臂长度相差太大，会出现卡死，无法启闭。

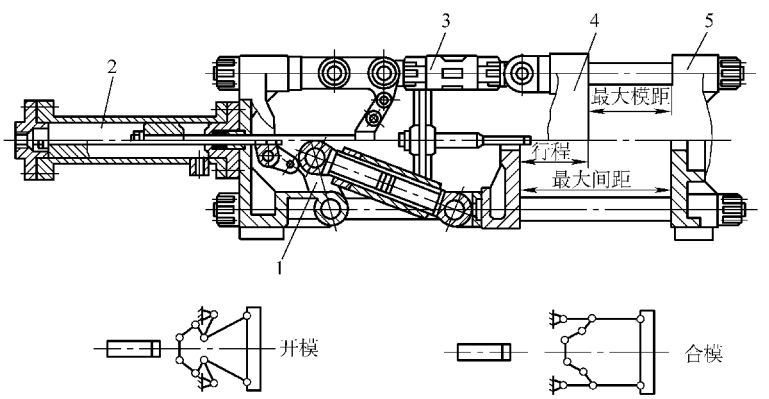


图 3-24　液压双曲肘合模装置

1—曲肘机构　2—合模液压缸　3—调节螺母　4—动模板前　5—固定模板

液压－曲肘合模装置的结构形式有很多，从上述几种合模装置的介绍中可知，这种形式的合模装置具有以下共同特点。

（1）机械增力作用　如 XS—ZY—125 型注塑机，其驱动肘杆的液压缸直径很小，若使

用 6.5MPa 油压，液压缸推力为 72kN，却能产生 900kN 合模力，增力倍数达 12.5。增力倍数的大小与肘杆机构的形式、各肘杆的尺寸以及相互位置等有关。

（2）自锁作用　合模机构进入锁模状态后，合模液压缸即使卸压，合模装置也处于锁紧状态。锁模可靠，也不受油压波动的影响。

（3）模板的运动速度　模板的运动速度从合模开始到终了是变化的。

（4）调模　模板间距、合模力和合模速度的调节比较困难，必须设置专门的调模装置，因此使用不方便；此外，肘杆机构容易磨损，加工精度要求高。

3.6.4　调模装置

调模装置是为实现不同的模具厚度而设置的，即通过调整模具行程，确定模具的最大厚度和最小厚度。此外，合模装置的合模力大小也靠对调模装置的精细调整来实现，所以调模装置也是调整合模力的装置。

对调模装置的要求是调整方便、便于操作；轴间位移准确、灵活，保证同步性，受力均匀，对合模系统应有防松和预紧作用，安全可靠，调节行程应有限位及过载保护。

目前常见的调模装置有以下几种形式。

（1）螺纹肘杆调距　有的合模装置的肘杆是用螺套与两端连杆组成的，如图 3-25 所示。螺套两端内螺纹方向相反，通过转动螺套来改变肘杆长度，以达到调节模板间距的目的。这种形式的调距机构制造容易，但肘杆刚度降低，需手动调节，因此多用于小型注塑机。

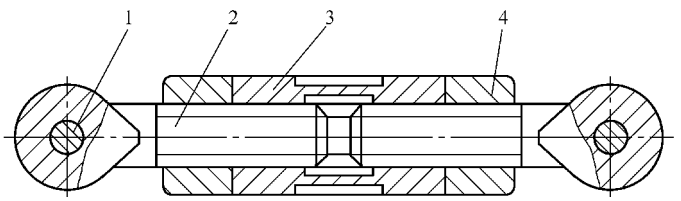


图 3-25　螺纹肘杆调距的调模装置

1—销轴　2—肘杆　3—螺套　4—固紧螺套

（2）合模液压缸位置可调式　如图 3-26 所示，此结构是通过改变合模液压缸的固定位置来进行调整的。使用时，扳动手柄从而旋动液压缸螺母，使合模液压缸产生轴向位移，模具高度和合模力也就得到相应的调整。此结构具有调整方便等类似于动模板厚度可调式的特点，主要用于中小型注塑机。

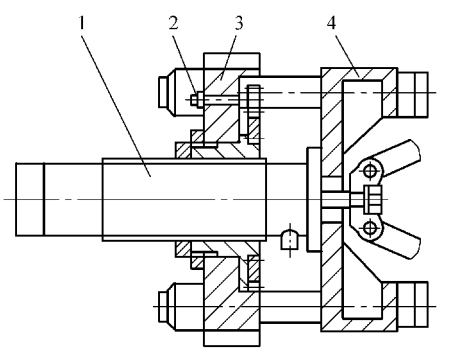


图 3-26　合模液压缸位置可调式调模装置

1—合模液压缸　2—手动调节传动轴

3—后固定模板　4—后模板

（3）动模板厚度可调式　如图 3-27 所示，它由左、右两块动模板组成，中间用螺纹的形式连接起来。通过调整调节螺母，使动模板厚度发生改变，从而达到模具厚度的调节和锁模力的调整。这种形式调节方便，但增加了一块动模板，使注

塑机移动部分的质量和长度相应增大，多用于中小型注塑机。

3.6.5　顶出装置

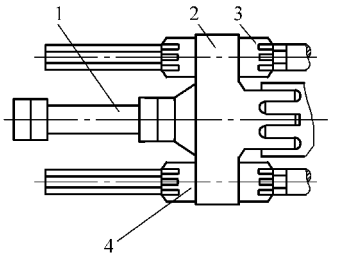


图 3-27　动模板厚度调模装置

1—合模液压缸　2—后模板

3、4—调节螺母

为了取出模内制品，在各类合模装置上均设有顶出装置。顶出装置应具有足够的顶出力和可控的顶出次数及顶出速度；应具有足够的顶出行程和行程限位的调节装置；顶出力要均匀而且顶出装置应便于调节；运行过程要安全可靠。顶出装置可分为机械顶出、液压顶出和气动顶出三种形式。

（1）机械顶出装置　机械顶出是利用固定在后固定模板上的顶杆，在开模过程中将顶出机构挡住，使其停止与活动模板一起运动，从而起到推出制品的作用。顶杆长度可根据模具厚度和顶出行程的要求进行调节，顶杆位置通常设在两侧。

机械顶出装置结构简单，顶出力大，工作可靠，但顶出动作是在开模后期进行的，对制品的冲击力大，且不能进行多次顶出，故只设机械顶出装置的注塑机不多，一般都同时配备液压顶出装置。

（2）液压顶出装置　液压顶出是用专门设置在动模板上的顶出液压缸来顶出制品的。由于液压顶出力、速度、行程、时间和顶出次数等都可方便地调节，并可自动复位，所以使用方便，适应性强，有利于缩短循环周期，简化模具结构设计，适应自动化生产的要求，因此使用较普遍。

（3）气动顶出装置　气动顶出装置是利用压缩空气，通过模具上的微小气孔，直接把制品从型腔内吹出。其结构简单，特别适用于不允许留有顶出痕迹的盆状制品。但这种方法需要增设气源和气路等，辅助结构比较复杂，除制品表面质量有特殊要求外一般较少使用。

3.6.6　加热/冷却装置

加热装置用于对料筒和喷嘴的加热。注塑机料筒一般都用电阻加热圈加热，并用热电偶分段进行温度检测和控制。通过料筒壁向内传热使塑料熔融塑化。冷却装置用于对加料口、模具及液压油冷却。冷却装置是一个虚幻系统，将冷却水分配到几个独立的回路上，并能对冷却介质的流量进行调节。先进注塑机的冷却装置通过对温度的检测，能对冷却介质的流量实行闭环自动反馈控制和调节。

3.6.7　其他机构

（1）机架　机架支撑合模系统和注塑系统，还有电气及液压回路的配件。

（2）料斗　料斗是供多次注塑周期用物料的储存器。如果物料具有吸湿性，可采用料斗干燥器实时干燥，不必增加工序。

（3）润滑装置　润滑系统对注塑机的动模板、调模装置和肘杆铰链等有相对运动的部位提供润滑，以减少能耗和延长零件的使用寿命。润滑油可以从液压系统的低压油路中引出，也可建立单独的液压泵润滑回路。

（4）计量装置　计量装置安装在注塑座上，靠感光反应装置控制，也有采用行程开关

控制的。

（5）传动装置　螺杆传动装置是当螺杆预塑时，提供所需的转速和转矩。螺杆传动装置的形式主要有液压马达驱动螺杆的无级变速和电动机经减速箱驱动螺杆的有级变速两种。目前，注塑机多数采用液压马达直接驱动螺杆形式。它具有体积小、质量轻、结构紧凑、调速方便、传动特性软及对螺杆有过载保护作用等优点。

（6）加料装置和混料装置　中小型注塑机一般采用人工上料，大型注塑机采用自动上料，还配有混料系统。

（7）安全门　安全门是注塑机上的安全防护装置，一台普通注塑机有 4 个安全门，即模具前后和肘杆前后各一个。一般所说的安全门是指模具正前面的安全门，其作用是防扎伤，防烫伤，控制开模或合模。

（8）安全保护与监测系统　安全装置是确保人身及设备安全用的。主要由安全检查门、行程阀、限位开关和光电检测元件等组成，可以实现电气 – 机械 – 液压的连锁保护。监测系统主要对注塑机的油温、料温、系统负载、工艺和设备状态进行监测，并对异常情况进行自动指示或报警。

现代注塑机通常配有计算机监控装置和各类数显仪表，还可以装设电阻函数分析仪、中央故障诊断装置、快速注塑用蓄能器控制装置、模具低压保护装置、制品脱模光电监测装置、自动上料装置和机械手取出制品装置等。

3.7　注塑模与注塑机的关系

设计注塑模时，必须了解模具与注塑机的基本关系，模具设计必须针对具体的注塑机。具体地说，应从如下几方面考虑。

3.7.1　注塑量的校核

注塑能力是指在一个成型周期中，注塑机对给定塑料的最大注塑容量或重量。柱塞式注塑机的注塑能力是以一次性注塑聚苯乙烯塑料的最大重量为准的。在注塑聚苯乙烯时，塑料的总重量与浇注系统的塑料重量之和一般不超过注塑机注塑能力的 80%。当注塑其他塑料时，注塑机的最大注塑重量应按下式换算，即

$$m_{\max} = m_{\mathrm{b}} \frac{\rho}{\rho_{\mathrm{b}}}$$

式中　$m_{\max}$——注塑机注塑其他塑料的最大重量（g）；

m_{b}——注塑机规定的最大注塑重量（g）；

ρ——注塑塑料在常温下的密度（g/cm^3）；

ρ_{b}——聚苯乙烯在常温下的密度（g/cm^3）。

例如，密度为 0.905g/cm^3 的聚丙烯，用最大注塑重量为 120g 的注塑机注塑时，聚丙烯的最大注塑重量为

$$m_{\max} = 120 \times \frac{0.905}{1.05}\mathrm{g} = 103\mathrm{g}$$

螺杆式注塑机的注塑能力是用螺杆在料筒内最大的推进容积来表示的。因此就是该容积

的熔融塑料在料筒内的温度和压力下的重量，故最大注塑重量为

$$m_{max} = \rho V_b$$

式中　V_b——注塑机规定的注塑容积（cm^3）；

ρ——在料筒温度和压力下熔融塑料的密度（g/cm^3）。

对于热敏性塑料，还应注意它的最小注塑重量，一般不应小于注塑机规定注塑能力的20%。因为注塑量太小，塑料长时间处于高温下会引起分解，使塑件的表面质量和性能下降。

3.7.2　锁模力的校核

锁模力就是在成型过程中，为保证动、定模相互紧密闭合而需施加在模具上的力。当熔融塑料充满型腔时，分型面上会产生很大的力，使模具沿分型面胀开，此力等于塑件和浇注系统在分型面上的总投影面积与型腔内塑料单位压力的乘积。此力只有小于注塑机的额定锁模力才能保证锁模可靠，防止溢边跑料现象。型腔内塑料的单位压力可按下式计算：

$$q = pk$$

式中　q——型腔内塑料的单位压力（MPa）；

p——料筒内注塑机柱塞或螺杆施于塑料的单位压力（MPa）；

k——损耗系数。其值在 1/3 ~ 2/3 内选取，螺杆式注塑机的 k 值比柱塞式大，直通式喷嘴的 k 值比弹簧喷嘴的大。

当采用一般塑料生产中小型塑件时，型腔内塑料的单位压力可取 20 ~ 40MPa，当型腔单位压力决定后，按下式校核注塑机的额定锁模力：

$$F_s \geqslant qA/1000$$

式中　F_s——注塑机的额定锁模力（kN）；

A——塑件与浇注系统在分型面上的总投影面积（m^2）。

3.7.3　最大注塑压力的校核

选用的注塑机的压力必须大于或等于成型时所需的压力，即

$$F_z > F_c$$

式中　F_z——所选注塑机的额定注塑压力（MPa）；

F_c——成型时所需的注塑压力（MPa）。

成型所需的注塑压力很难确定，因为它与塑料的种类、塑件的形状和尺寸、注塑条件、注塑机的喷嘴及模具浇注系统等有关。一般的成型注塑压力常在 70 ~ 150MPa 的范围内选取。

3.7.4　注塑机安装模具部分尺寸校核

为了使注塑模具能顺利地安装在注塑机上并生产出合格的塑件，在设计模具时必须校核注塑机与模具安装有关的尺寸。设计模具时，一般应校核的部分包括喷嘴尺寸、定位圈尺寸、模具的最大和最小厚度及模板上的安装螺孔尺寸等。

（1）喷嘴尺寸　注塑机喷嘴前端孔径 d 和球面半径 r 与模具主流道衬套的小端直径 D 和球面半径 R 一般应满足下列关系（见图 3-28a），即

$$R = r + (1 \sim 2)$$

$$D = d + (0.5 \sim 1)$$

保证注塑成型时在主流道衬套处不形成死角，无熔料积存，并便于主流道凝料的脱模。而图 3-28b 所示为配合不良的情况。

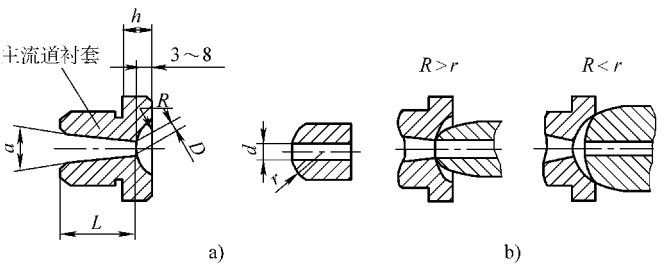


图 3-28　注塑机喷嘴与模具主流道衬套的关系

（2）注塑机固定模板定位孔与模具定位圈（或主流道衬套凸缘）的关系　两者按 H9/f9 配合，以保证模具主流道的轴线与注塑机喷嘴轴线重合，否则将产生溢料并造成流道凝料脱模困难，定位圈的高度 h，小型模具为 8 ~ 10mm，大型模具为 10 ~ 15mm。

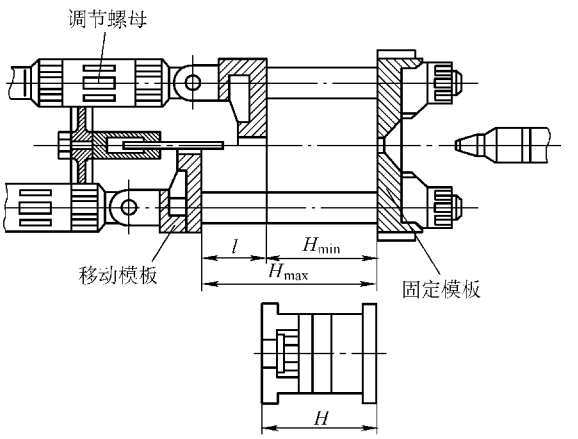


图 3-29　模具闭合厚度与注塑机装模空间的关系

（3）模具轮廓尺寸与注塑机装模空间的关系　各种规格的注塑机，可安装模具的最大厚度和最小厚度均有限制（国产机械合模的直角式注塑机的最小厚度无限制），所设计的模具闭合厚度必须在模具最大厚度和最小厚度之间，如图 3-29 所示，即应满足下列关系：

$$H_{max} = H_{min} + l$$

$$H_{min} \leqslant H \leqslant H_{max}$$

式中　H—— 模具闭合厚度；

H_{min}——注塑机允许的模具最小厚度；

H_{max}——注塑机允许的模具最大厚度；

l——注塑机调节螺母可调长度。

若 H 小于 H_{min}时，则可采用垫板来调整，以使模具闭合。若 H 大于 H_{max}时，则模具无法闭合，尤其是以液压肘杆式机构合模的注塑机，其肘杆无法撑直，这是不允许的。

同时，模具外形尺寸不应超过注塑机模板尺寸，并应小于注塑机拉杆的间距，以便模具的安装与调整。

（4）模具的安装紧固　模具的定模部分安装在注塑机的固定模板上，动模部分安装在注塑机的移动模板上。模具的安装固定形式有两种，如图 3-30 所示。其中，图 3-30a 表示用压板固定，图 3-30b 表示用螺钉直接固定，这时只要模具座板附近有螺孔（注塑机模板

上）就能固定，因而有较大的灵活性。当采用螺钉直接固定时，模具座板上孔的位置和尺寸应与注塑机模板上的安装螺孔完全吻合。螺钉和压板的数目，动、定模各用 2 ~ 4 个。

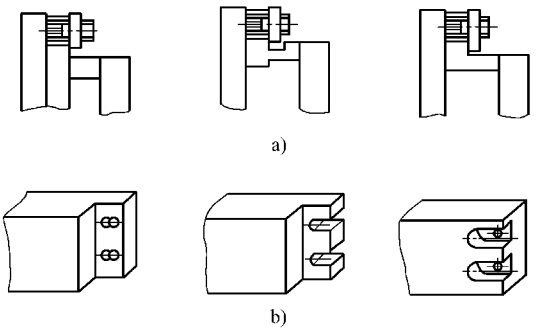


图 3-30　压板和螺钉固定模具的形式

3.7.5　开模行程的校核

开模行程就是分模后，取出塑件时，主、分流道凝料所需的距离。

1. 注塑机开模行程与模厚无关时的校核

主要是对采用液压、机械联合作用锁模机构的注塑机的校核。

（1）单分型面模具（见图 3-31）　开模行程按下式校核：

$$s \geqslant H_1 + H_2 + (5 \sim 10)$$

式中　s——注塑机的开模行程（mm）；

H_1——脱模时塑件移动距离（mm）；

H_2——浇注系统和塑件的总高度（mm）。

（2）双分型面模具（见图 3-32）　开模行程按下式校核：

$$s \geqslant H_1 + H_2 + a + (5 \sim 10)$$

式中　s——注塑机的开模行程（mm）；

a——定模座板与凹模的分离距离（mm）；

H_2——塑件高度（mm）。

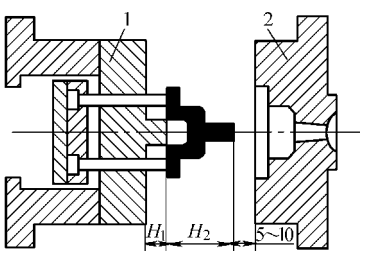


图 3-31　单分型面开模行程校核

1—动模　2—定模

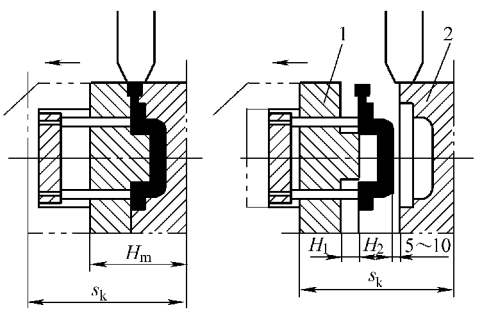


图 3-32　双分型面开模行程校核

1—动模　2—定模

2. 注塑机开模行程与模厚有关时的校核

主要是对角式注塑机的校核，它的开模行程等于注塑机的最大开距 s_k 减去模具闭合高度 H_m。

（1）单分型面模具（见图 3-33）　开模行程按下式校核：

$$s = s_k - H_m \geqslant H_1 + H_2 + (5 \sim 10)$$

式中　s_k——注塑机的最大开距（mm）；

H_m——模具闭合高度（mm）。

（2）双分型面模具　开模行程按下式校核：

$$s = s_k - H_m \geqslant H_1 + H_2 + a + (5 \sim 10)$$

3. 侧向分型或侧向抽芯模具开模行程的校核

模具侧向分型或侧向抽芯的动作是利用注塑机的开模动作，通过斜销装置或齿轮齿条机构完成的，如图 3-34 所示。开模行程按下式校核：

当 $H_c > H_1 + H_2$ 时，

$$s \geqslant H_c + (5 \sim 10)$$

式中　H_c——抽芯距离为 L 时的脱模行程（mm）。

当 $H_c \leqslant H_1 + H_2$ 时，

$$s \geqslant H_1 + H_2 + (5 \sim 10)$$

应注意的是，斜销装置方式改变后，脱模距的计算应根据具体情况决定。

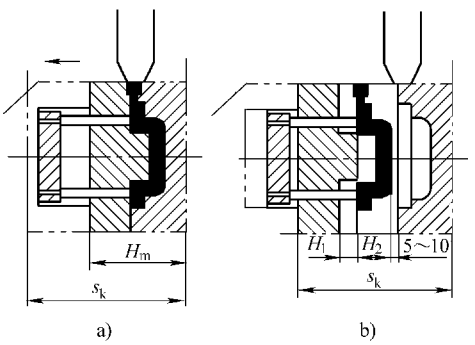


图 3-33　单分型面开模行程校核

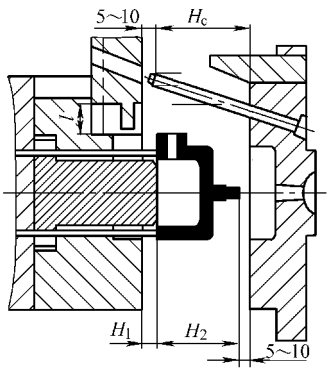


图 3-34　有侧向型芯的开模行程校核

4. 有螺纹塑件的模具开模行程的校核

注塑有螺纹塑件的模具，有时是通过专用机构将脱模的往复运动转变为旋转运动，旋出螺纹型芯或螺纹型环的。校核脱模距时，应考虑旋出螺纹型芯或螺纹型环需要多大的距离，再综合考虑塑件的厚度、脱模时塑件移动的距离等因素进行校核。如在 SYS—45 角式注塑机中注塑有螺纹的塑件时，注塑机的螺杆一面带动开模，一面带动螺纹型芯或螺纹型环旋出。以螺纹型芯或螺纹型环全部旋出，并能取出塑件所需的脱模距离为注塑机的脱模距。

3.7.6　顶出装置的校核

各种型号注塑机的顶出装置和最大顶出距离不尽相同，设计时应使模具的推出机构与注塑机相适应。通常是根据开合模系统推出装置的推出形式、推杆直径、推杆间距和推出距离等，校核模具内的推杆位置是否合理，推杆推出距离能否达到使塑件脱模的要求。国产注塑机的顶出装置大致可分为以下几类。

（1）中心顶杆机械顶出装置　如卧式 X5—Z—60、立式 SYS—30 和直角式 SY—45 注塑机等。

（2）两侧机械式双顶杆顶出装置　属于这种类型的注塑机有 X5—Z—30（两顶杆之间距离为 170mm）和 XS—ZY—125（两顶杆之间距离为 230mm）。

（3）中心顶杆液压顶出和两侧机械式顶杆联合作用的顶出装置　用于这种类型的注塑

机有 XS—ZY—250 和 XS—ZY—500，其中 XS—ZY—250 两侧顶杆的间距为 280mm，XS—ZY—500 两侧顶杆的间距为 530mm。

（4）中心顶杆液压顶出与开模辅助液压缸联合作用的顶出装置　属于这种顶出形式的是 XS—ZY—1000 型注塑机。

3.7.7　注塑机性能参数校核与型腔数量的确定

一次注塑只能生产一件塑料产品的模具称为单型腔模具。如果一副模具一次注塑能生产两件或两件以上的塑料产品，则称为多型腔模具。与多型腔模具相比，单型腔模具具有塑料制件的形状和尺寸一致性好、成型的工艺条件容易控制、模具结构简单紧凑、模具制造成本低和制造周期短等特点。但是，在大批量生产的情况下，多型腔模具应是更为合适的形式，它可以提高生产效率，降低塑件的整体成本。

在多型腔模具的实际设计中，一种方法是首先确定注塑机的型号，再根据注塑机的技术参数和塑件的技术经济要求，计算出要选取型腔的数目；另一种方法是先根据生产效率的要求和制件的精度要求确定型腔的数目，然后再选择注塑机或对现有的注塑机进行校核。一般可以按下面几点对型腔的数目进行确定。下面介绍根据注塑机性能参数确定型腔数量的几种方法，这些方法也可用来校核初选的型腔数量能否与注塑机规格相匹配。

1）按注塑机的额定塑化量进行校核：

$$nm + m_1 \leqslant \frac{KMt}{3600}$$

式中　K——注塑机最大注塑量的利用系数，一般取 0.8；

M——注塑机的额定塑化量（g/h）；

t——顶塑时间（s）；

m_1——浇注系统所需塑料质量（g）；

m——单个塑件的质量（g）；

n——型腔的数量。

M、m_1、m 也可为注塑机额定塑化体积（cm^3/h），浇注系统所需塑料体积（cm^3），单个塑件的体积（cm^3）。

2）按注塑机的额定锁模力进行校核

$$p(nA + A_1) \leqslant F_p$$

式中　F_p——注塑机的额定锁模力（N）；

A——单个塑件在模具分型面上的投影面积（mm^2）；

A_1——浇注系统在模具分型面上的投影面积（mm^2）；

p——塑料熔体对型腔的成型压力，其大小一般是注塑压力的 80%（MPa）。

按上述方法确定或校核型腔数量时，还必须考虑成型塑件的尺寸精度、生产的经济性及注塑机安装模板的大小。一般来说，型腔数量越多，塑件的精度越低（经验认为，每增加一个型腔，塑件的尺寸精度便降低 4% ~8%），模具的制造成本也越高，但生产效率会显著增加。

第 4 章　分型面设计原则与要点

合理选择分型面是设计注塑模的一个重要环节，不仅有利于浇注系统的布置，提高加工的工艺性，避免注塑机承受临界载荷，保证制品在开模后留在顶出系统一侧，而且有利于简化模具结构，提高制品尺寸精度以及表面质量。

4.1　分型面的定义

分型面是指模具上用以取出制品或者浇注系统凝料的可分离接触表面。通过分型面将模具分成两个或若干个部分，开模时，有序地完成制品脱模，再由顶出系统把制品及浇注系统凝料从模具中顶出（自动落下）或取出（机械手或者手工取出），之后将模具型腔内的杂物清除，或将嵌件安放于模具型腔内。

与分型面比较容易混淆的是开闭面。开闭面是根据模具结构动作的需要，在模具上可以打开的接触面，如图 4-1 所示。

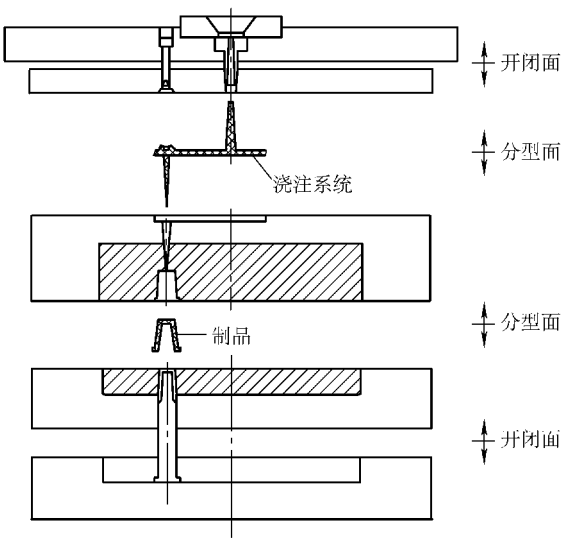


图 4-1　分型面与开闭面

4.2　分型面的基本形式

根据分型面的数目，可分为单分型面、双分型面及多分型面。

（1）单分型面　整个模具中只在动模和定模之间有一个分型面，这样的注塑模称之为单分型面注塑模。如图 4-2a 所示，开模时，模具从Ⅰ处分型，定模不动，动模后移分型。

（2）双分型面　整个模具中不只是在动模和定模之间有一个分型面，还有另外一个辅助分型面，我们称这样的注塑模为双分型面注塑模。如图 4-2b 所示，为了取出浇注系统凝料，模具首先从Ⅰ处分型，拉断浇注系统凝料并取出后，从Ⅱ处分型才能顶出并取出制品。图 4-2c 则是先从Ⅰ处分型，然后在顶杆作用下，瓣模从Ⅱ处侧面分型，取出制品。

（3）多分型面　整个模具中不只在动模和定模之间有一个分型面，还有两个或两个以上的辅助分型面，我们称这样的注塑模为多分型面注塑模。如图 4-2d 所示，为了取出浇注系统凝料，模具首先从Ⅰ处分型，拉断浇注系统凝料并取出，接着必须从Ⅱ处分型，使侧面成型型芯脱离制品，最后从Ⅲ处分型，这样才能顶出并取出制品。

根据分型的先后顺序，在分型面处分别用罗马数字Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ等标识。

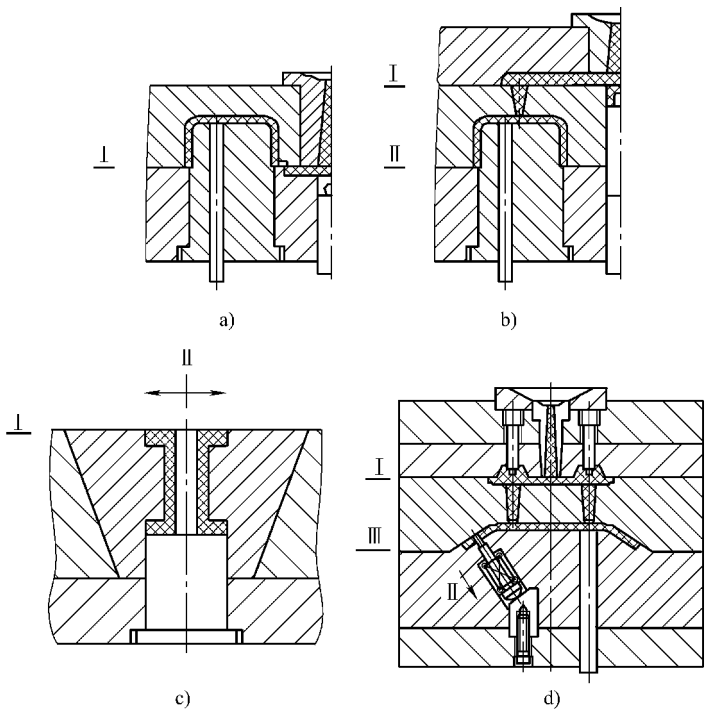


图 4-2　分型面基本形式

根据分型面的形状，有平面式分型面、台阶式分型面、曲面式分型面及综合式分型面。

（1）平面式分型面　平面式分型面又分为水平分型面（见图 4-3a）及垂直分型面（见图 4-3b），这种类型的分型面一般外形开粗后精磨分型面而成，加工简便。为了便于标识分型面，以下用字母 PL 来表示分型面。

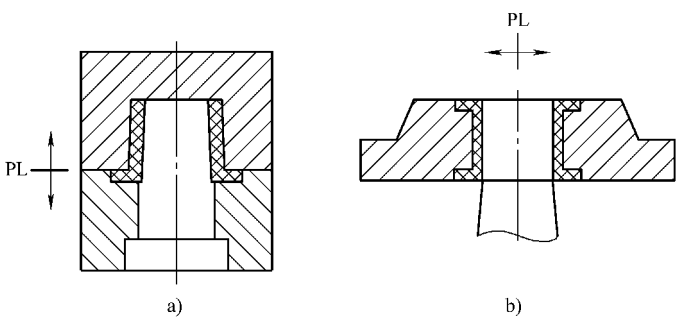


图 4-3　平面分型面

（2）台阶式分型面　这种类型的分型面一般可在线切割后，再经磨削加工而成。

如果台阶式分型面不对称，如图 4-4a 所示，就容易造成受力不平衡，导致定模与动模间有相对滑移的倾向。当不平衡力较小，一般可由导柱来支承（当然，一般导柱和导套是间隙配合，也会引起模具错位，影响制品的质量），但如果偏心力过大，则会引起导柱和导套过度的磨损而引起制品质量下降或使模具报废。为了弥补这个缺陷，可以采用以下几个办法：

1）在型腔的对称一侧设楔紧块，不仅提高了平衡性，又可以在磨损时便于更换，如图 4-4b 所示。

2）在型腔的对称一侧追加平衡台阶分型面，整体结构，强度较好，如图 4-4c 所示。

3）对于多型腔模具，尽量采用对称布置，使模具两侧所受到的注塑力平衡，同时使模具结构紧凑，如图 4-4d、e 所示。

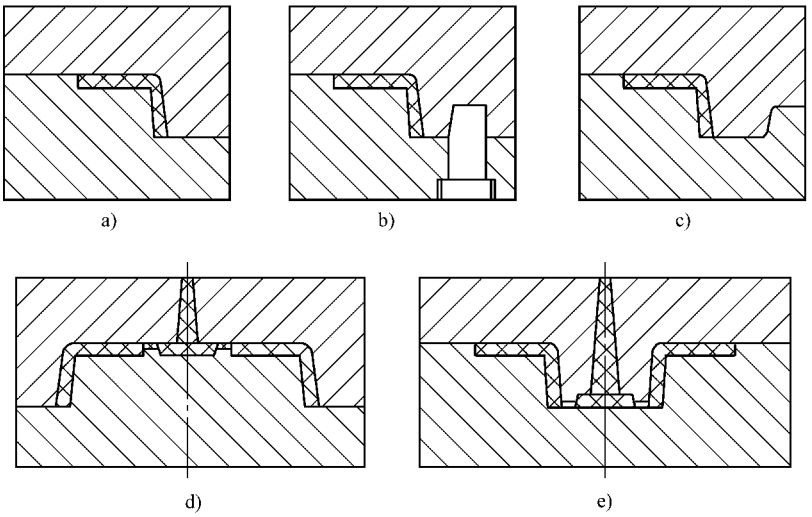


图 4-4　台阶式分型面

（3）曲面式分型面　一般是扫描曲面、混合曲面或者边界曲面等组成的分型面，如图 4-5 所示。这种类型的分型面一般比较复杂，需要 CNC 加工而成。

（4）综合式分型面　这种形式是根据制品结构的需要，将曲面式和平面式结合起来，或将曲面式与台阶式结合起来，称为综合式分型面。图 4-6 所示的分型面是由曲面和平面组合而成的分型面。

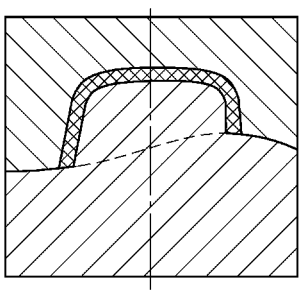


图 4-5　曲面式分型面

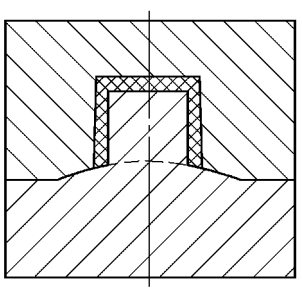


图 4-6　综合式分型面

根据分型面与开模方向的关系，又有垂直开模方向的分型面（见图 4-7a）、平行开模方向的分型面（见图 4-7b）及与开模方向成一定夹角的斜分型面（见图 4-7c）。

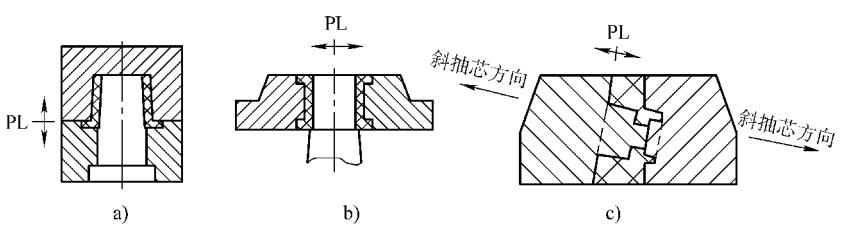


图 4-7　与开模方向呈不同角度的分型面

4.3　分型面设计原则

分型面除受排位的影响外，还受制品的形状、外观、精度、浇口位置、滑块、顶出及加工等多种因素的影响。合理的分型面是制品完好成型的先决条件，一般应遵循以下几个原则：

1. 利于脱模

有利于脱模包括以下几方面：

（1）最大轮廓　就是能使制品从模具内取出，分型面位置应设在制品脱模方向最大的投影边缘部位，便于脱模及加工型腔，这是分型面选择的首要原则，如图 4-8 所示。

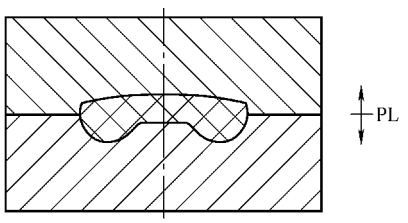


图 4-8　最大轮廓的分型面设计

（2）便于留在顶出侧　制品在开模后，必须留在有顶出系统的一侧，这也是最基本的要求。顶出机构一般设置在动模，特殊情况下，顶出机构也可设置在定模上。如图 4-9a 所示，型腔设计在定模，开模后，制品会粘在定模部分，而顶出机构在动模一侧，导致脱模困难。图 4-9b 所示，型腔设计在有顶出机构的动模，开模后，可由顶杆直接顶出。因此，图 4-9b 所示方案是合理的。

当制品内部带有嵌件时，由于嵌件不会收缩包紧动模，所以外形型腔应设计在动模侧，否则，开模后制品留在定模，会使脱模困难。如图 4-10a 所示，嵌件对型芯没有包紧力，开模后，制品粘在定模上，影响脱模。而图 4-10b 所示设计，开模后，利用外形对动模的包紧力，制品留在动模，不影响制品的顶出。因此，图 4-10b 所示方案是合理的。

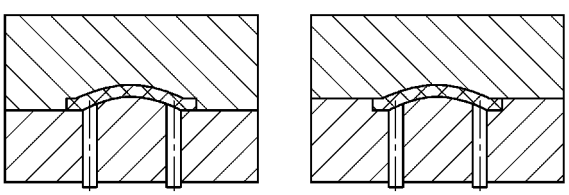


图 4-9　便于留在顶出侧的分型面设计

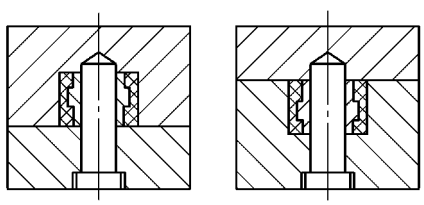


图 4-10　带嵌件的分型面设计

（3）便于顶出　当制品外形简单，而内形有较多的孔或复杂的结构时，由于收缩的关系，开模后，制品一般对内部形状会有较大的包紧力，从而会留在动模上。此时，选择分型面时，应尽量减少制品对动模的包紧力，便于顶出制品。如图 4-11a 所示，型腔全部留在动模上，由于包紧力较大，脱模性不好。而图 4-11b 所示，定模型腔成型制品外表面，动模成型内部结构，制品不会粘在定模上，对动模的包紧力也相对小。顶出时，不仅不会拉伤制品表面，而且也便于排气。因此，图 4-11b 所示方案是合理的。

2. 确保制品尺寸精度

（1）保证外形美观　分型面应尽量不破坏制品光滑的外观面。

（2）保证制品尺寸　当制品外形比较长，应考虑减小脱模斜度造成制品大小端尺寸的差异。如图 4-12a 所示的长筒制品，若型腔全部设在动模，会因脱模斜度造成制品大小端的

差异太大。如果制品外观无严格要求，不妨将分型面选在制品中间，不但可以提高制品精度，还可以采用较大的脱模斜度，有利于脱模，如图 4-12b 所示。因此，图 4-12b 所示方案是合理的。

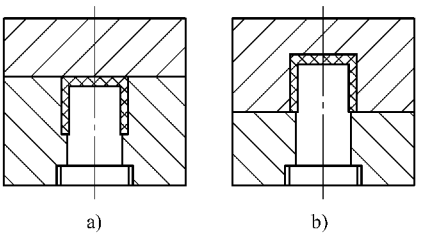


图 4-11　便于顶出的分型面设计

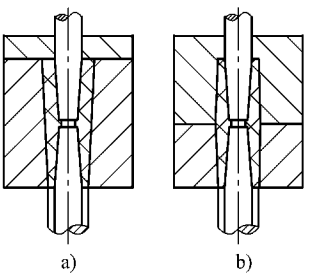


图 4-12　保证制品尺寸的分型面设计

（3）保证制品精度　将有同轴度要求或者台阶间具有尺寸精度要求的制品放到分型面的同一侧。如图 4-13a 所示，具有同轴度要求的制品放在动、定模两侧成型。由于制造误差和装配误差，难以保证同轴度的需求。如图 4-13b 所示，制品全部留在动模内，提高了制品的精度。因此，图 4-13b 所示的方案是合理的。

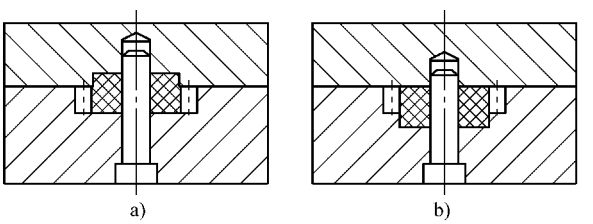


图 4-13　保证制品精度的分型面设计

3. 简化模具结构

（1）尽量避免定模侧向抽芯　分型面选择应尽量避免形成侧孔、侧凹，若需要滑块成型，力求滑块结构简单，尽量避免定模抽芯。如图 4-14a 所示，定模抽芯将会造成模具结构复杂（需要多次分型机构或者液压缸抽芯）。图 4-14b 所示为动模抽芯，开模的同时使滑块脱离制品的侧孔，最后由顶杆顶出。因此，图 4-14b 所示的方案更为合理。

（2）使侧向抽芯尽量短　若制品需要滑块成型，一般机械式抽芯机构侧向拔距都较小，因此应保证抽芯的长度尽量短，图 4-15b 所示方案更为合理。

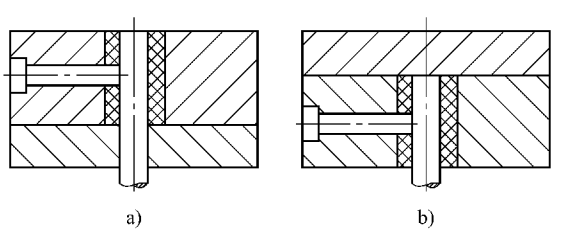


图 4-14　避免定模侧向抽芯的分型面设计

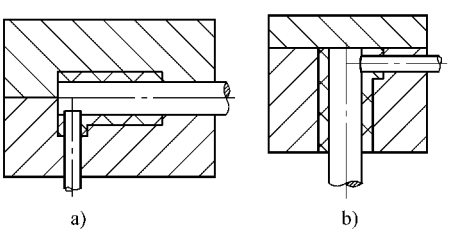


图 4-15　使侧向抽芯尽量短的分型面设计

（3）楔紧机构尽量小　对于投影面积较大的大型制品，一般将制品投影面积较大的分型面作为动、定模的分型面，而将投影面积较小的分型面作为侧向分型面，降低楔紧块所承受的侧向作用力，减小楔紧块的大小，避免锁模不紧造成飞边。

（4）便于排气　当分型面作为主要排气渠道时，应将分型面设计在熔体流料的末端，

如图 4-16a 所示的方案更为合理。

（5）合理安排浇注系统　浇注系统应尽量短，避免太大的压力损失，另外浇口位置也是决定分型面的一个重要因素。

4. 便于加工

（1）使分型面容易加工　分型面变化处应尽量采用圆弧过渡，确保分型面可以直接加工出来，如图 4-17 所示。

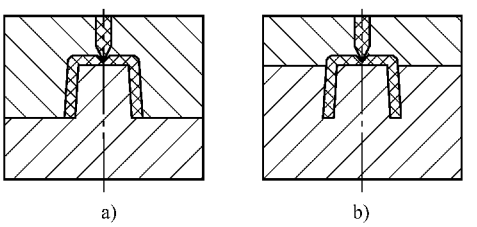


图 4-16　便于排气的分型面设计

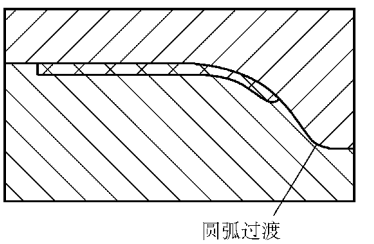


图 4-17　便于加工的分型面设计

（2）使分型面带有工艺平面　再复杂的分型面，进行延拓后都应保证有一段平面的分型面，作为加工的基准，如图 4-18 所示。

（3）使型腔深度最浅　在满足锁紧力要求的前提下，将制品投影面积大的方向，放在前、后模的合模方向上，而将投影面积小的方向作为侧向分型面。避免加工深腔模具时刀柄有效加工长度不够或者刀柄过长造成的弹刀现象。

5. 满足注塑机技术规格的要求

（1）锁模力最小　尽可能减少制品在分型面上的投影面积。当制品在分型面上的投影面积接近于注塑机的最大注塑面积时，有产生溢料的可能。模具的分型面尺寸在保证不溢料的情况下，应尽可能减少分型面接触面积，以增加分型面的接触压力，防止溢料，并简化模具分型面的加工。

（2）开模行程最短　对于长筒形的制品，注塑机的开模行程无法满足要求时，分型面的设计要确保动、定模开模行程最短。如图 4-19a 所示，模具的模厚超过了注塑机的最大合模高度。图 4-19b 采用侧抽芯，使模具厚度缩小很多。因此，图 4-19b 所示的方案在开模行程不够的情况下更为合理。

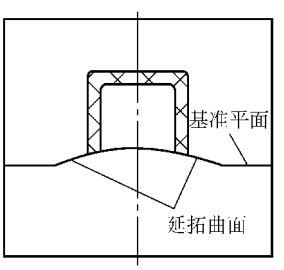


图 4-18　带工艺平面的分型面设计

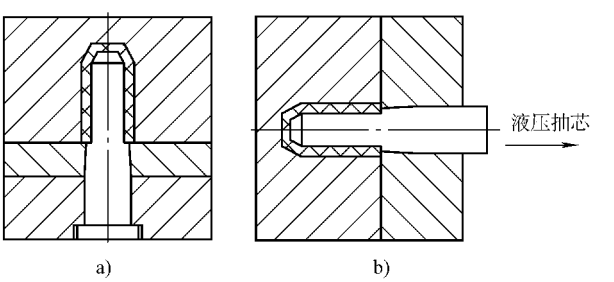


图 4-19　缩短开模行程的分型面设计

（3）注塑成本最低　注塑机吨位越大，制品的加工费用也就越高，因此要优先考虑能

满足较小吨位注塑机的模具结构。判断模具是否适合指定的吨位，需要考虑模具外形尺寸是否比 *A* 小，允许从天侧或者地侧装进注塑机，如果模具左右两侧有抽芯，同时也需要考虑抽芯机构的外形尺寸是否比 *B* 小，如图 4-20 所示。

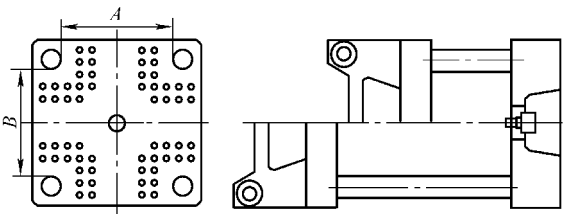


图 4-20　注塑机

实践中，分型面选择原则之间有时相悖，因此分型面的选择应综合考虑各种因素，权衡利弊，以取得最佳的效果。

4.4　分型面设计要点

4.4.1　碰穿、插穿及枕位分型面设计要点

分型面设计最重要的一点是：优先选择碰穿，尽量采用枕位，慎用插穿。

碰穿：从垂直开模方向的角度看，比较平缓的分型面（小于 45°）相互之间的靠破。由于是平缓的碰穿面，加工不容易过切，而且碰穿面也比较不容易磨损，即使磨损，通过稍微降面即可修模。

插穿：从垂直开模方向的角度看，比较陡峭的分型面（大于 45°）相互之间的靠破。由于是陡峭的插穿面，加工时容易过切，而且插穿面比较容易磨损，特别是小插穿面更容易磨损，批量生产就容易产生毛边，而且修模也不方便。

枕位：沿着侧面分型线做出的一段封胶立体靠破面，其实可以理解为综合式的靠破，不仅包含碰穿也包含插穿。枕位是局部的分型面。

1. 碰穿

碰穿常见的有两种形式：动定模分型面碰穿及滑块碰穿，如图 4-21 所示。

2. 插穿

由于陡峭的斜面在碰穿处会产生侧向分力，当碰穿孔较小时，在交变应力的作用下，碰穿孔处的钢易于断裂，影响模具寿命，故一般采用插穿，如图 4-22 所示。

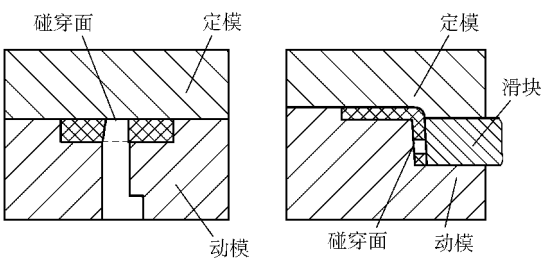


图 4-21　碰穿形式

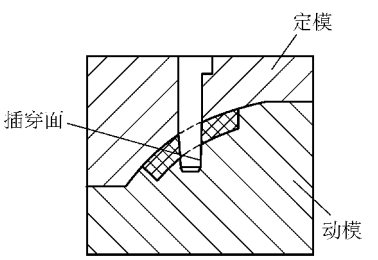


图 4-22　插穿形式

当制品分型面局部有突变时，且宽度较小时，一般也可以采用插穿面，如图 4-23 所示。

3. 枕位

适合于分型面有突变的制品，沿着侧面分型线做出的一段封胶靠破面，如图 4-24 所示。

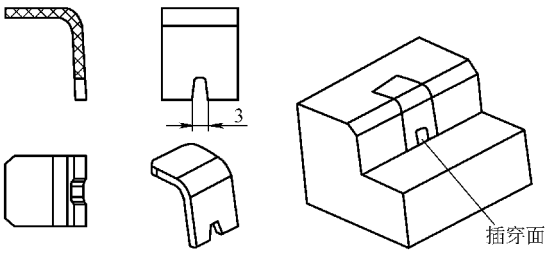


图 4-23　插穿形式

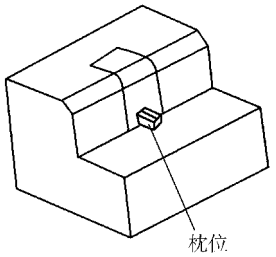


图 4-24　枕位形式

4.4.2　滑块分型面设计要点

1. 合理的加工工艺性

尽量避免出现滑块镶拼线。若不可避免，滑块镶拼线位置应位于制品不明显的位置，且镶拼线长度尽量短，同时应尽量采用组合结构，使滑块与型腔可一起加工。图 4-25a 所示滑块采用整体式，造成滑块上的成型部分不可以同前模一起加工，使得镶拼线部位不易接顺，影响模具质量。图 4-25b 所示结构，加工工艺性好，因为滑块上的成型部分（去掉镶针）可以同前模一起加工，镶拼线部位容易接顺，可提高模具质量。

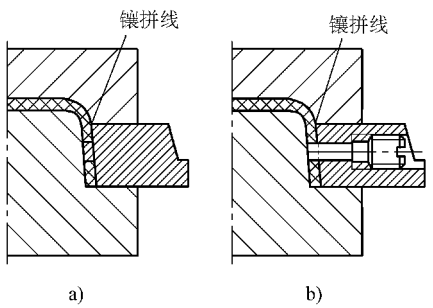


图 4-25　不同加工工艺性的分型面

2. 隧道式滑块

有些制品（见图 4-26a）的结构必须采用隧道式滑块成型（见图 4-26b），这种结构的加工工艺性比较差，封胶段一般随形设计，相对抽芯方向做脱模斜度，避免一直在镶件上导滑，造成磨损及引起毛刺等缺陷。由于导向段一般是不通孔，通常需要做电极加工，一般需要设计成圆形，如图 4-26c 所示。

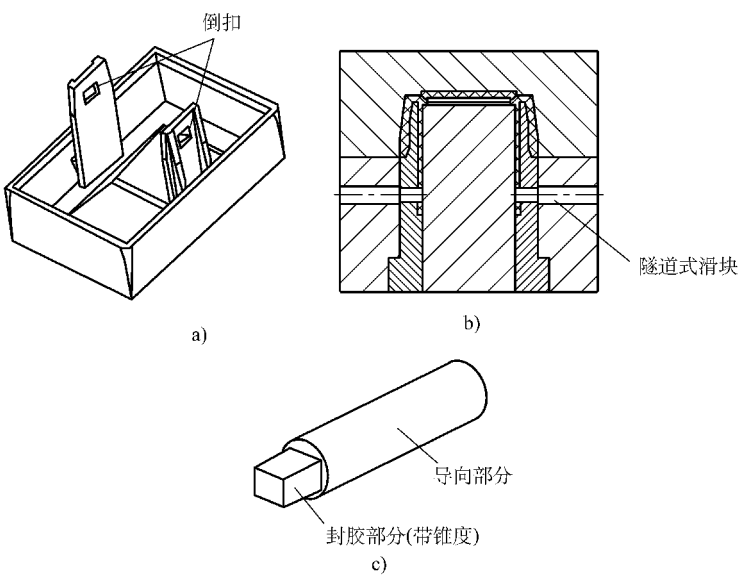


图 4-26　隧道式滑块的分型面

3. 瓣合模

对于瓣合模来说，一般分型设计需要注意以下三个要点：

（1）延迟抽芯，斜导柱跟滑块之间难以配合导向，为了防止加工误差，一般需要设计成单边间隙 $\delta = 0.5\text{mm}$ 的避空，开模时，定模部分先开模一段距离后，再进行滑块的抽芯动作。

（2）定模型芯跟滑块之间的管位分型面需要做锥度，只在合模状态起封胶作用，开模后，定模型芯跟滑块不配合，防止了产生毛刺的可能性，一般 $\alpha \geqslant 3°$。

（3）为了防止封胶位错位，两个滑块需要做管位分型面对插，一般 $\beta = 10°$，角度越大，其平衡效果越差，如图 4-27 所示。

对于比较大的制品，采用图 4-28a 所示的分型方案不好，容易引起涨边，应该采用图 4-28b 所示的分型面设计，这是因为滑块跟镶件之间采用管位封胶，预载作用力比较大。

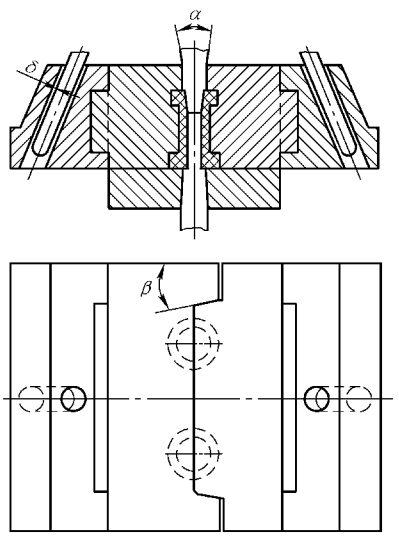


图 4-27　瓣合模的分型面

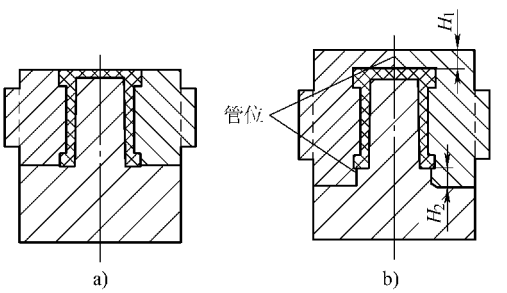


图 4-28　瓣合模的分型面

4. 细长滑块抽芯

图 4-29a 所示的悬臂式滑块镶针在注塑压力下发生弯曲变形，如图 4-29b 所示，采用两端支撑能改善注塑时的偏摆。因此，图 4-29b 所示的方案更为合理。

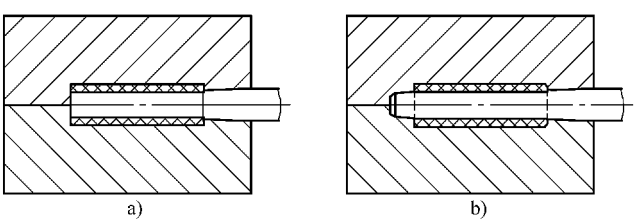


图 4-29　细长滑块抽芯的分型面

4.4.3　斜顶分型面设计要点

斜顶分型面大致可以分为 4 种：简单型、工艺型、定位型及导向型。

1. 简单型

如图 4-30 所示，简单型斜顶分型包络倒扣处的胶位。

（1）优点　加工简单。

（2）缺点　从加工角度看，成型胶位的加工一般可靠倒扣处的直段碰数加工。如果倒扣处没有直段，斜顶需要摆斜度才能加工。在注塑压力下，斜顶会后退，很容易产生毛边、断差和多胶等不良现象；从成型角度分析，由于胶位包络在斜顶上，而制品在倒扣处处于悬臂状态下，所具有的抗变形能力不足以抵抗型腔抱紧力，使倒扣容易产生翘曲变形（无法瞬间脱离型腔）。

（3）适用场合　制品空间狭小或者自带式斜顶，一般情况下较少使用。

2. 工艺型

如图 4-31 所示，工艺型斜顶的分型也包络倒扣处的胶位，相对简单型斜顶而言，增加了工艺面。

（1）优点　从加工角度看，成型胶位的加工可通过工艺面直段碰数加工。在注塑压力下，平行于开模方向的工艺面对斜顶进行限位，保证斜顶复位到预定的位置，斜顶不容易后退，保证扣位处不产生断差、毛边等缺陷。

（2）缺点　从成型角度分析，由于胶位包络在斜顶上，而制品在倒扣处处于悬臂状态下，所具有的抗变形能力不足以抵抗型腔抱紧力，使倒扣容易产生翘曲变形（无法瞬间脱离型腔）。

（3）适用场合　制品空间比较有限的场合，比较常见。

3. 定位型

如图 4-32 所示，定位型斜顶的分型不包络倒扣处的胶位或者包络部分胶位，相对工艺型斜顶而言，增加了定位面。

（1）优点　从加工角度看，成型胶位的加工可通过工艺面直段碰数加工。在注塑压力下，由于有定位面的定位，保证斜顶复位到预定的位置，斜顶不会后退，保证扣位处不产生断差、毛边等缺陷；从成型角度分析，由于倒扣处胶位部分或者全部成型在镶件上，倒扣胶位不会变形。

（2）缺点　加工相对比较复杂。

（3）适用场合　制品空间比较大或者制品扣位处的外形是圆弧形的或者胶位形状变化比较大的情况下，推荐使用。

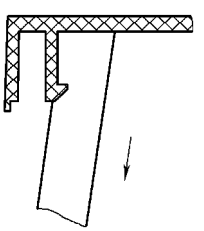


图 4-30　简单型斜顶

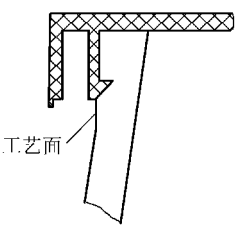


图 4-31　工艺型斜顶

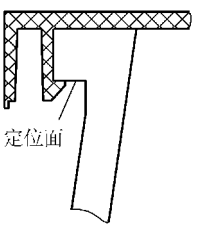


图 4-32　定位型斜顶

4. 导向型

如图 4-33 所示，导向型斜顶的分型是以上三种的变异形式，不过新增加了导向面。

其适用场合：斜顶处于分型面上，一侧没有导向，当 $H_1 \leqslant H_2/3$，顶出及复位过程中会出现偏摆，所以需要增加导向面进行导向。

4.4.4　直顶分型面设计要点

对于深腔且外形又比较大的制品，有时候顶杆或者扁顶比较长，顶出时容易折断或者顶出力不够。如果采用推板推出时，制品又不能从型腔自动脱落。这时，采用直顶是一种不错的选择，直顶是局部地方采用顶块顶出，如图 4-34 所示。需要注意的是，直顶周围的分型面与动模要有锥度配合，一般 $2° \leqslant \alpha \leqslant 5°$。

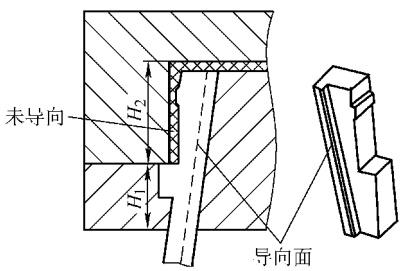


图 4-33　导向型斜顶

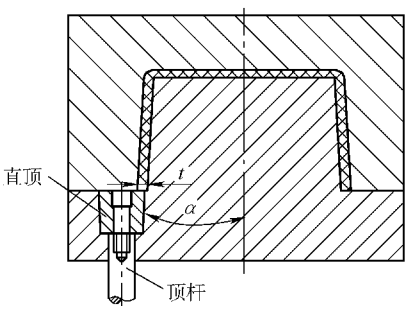


图 4-34　直顶分型面

第 5 章　成型零件设计要点

注塑模具的成型零件是指成型制品的型腔、型芯、成型滑块、成型斜顶和螺纹型芯等。一般型腔是用来成型制品外轮廓形状，而型芯则是用来成型制品内部形状，成型滑块及成型斜顶可用来成型制品侧面凹凸形状，螺纹型芯可以用来成型制品的内外螺纹。

这些成型零件根据加工的需要、成型条件及成本等因素，按结构形式可分为整体式和镶拼式两类。

5.1　整体结构设计要点

对外观要求较为严格（如有电镀要求的外观面）或制品形状较为简单的模具，由于整体结构型腔内部没有装配缝隙，表面光滑，可以满足高质量的外观要求，同时强度及刚度很高，可减小模具的大小，因此此类模具的型腔一般采用整体结构。

5.1.1　整体结构的优缺点

1. 整体结构的优点

1）成型零件的刚性好。

2）模具零件数量少。

3）模具装配及拆卸方便。

4）制品表面无分型痕迹。

5）模具外形尺寸可以缩小。

6）容易设置冷却方式。

2. 整体结构的缺点

1）排气困难。

2）加工困难，尤其是窄而深的成型部位。

3）维修麻烦，尤其是薄铁的位置，一旦成型零件有磨损，维修将会是大动作。

5.1.2　整体结构的结构形式

整体结构一般有以下两种基本类型。

1. 模板为成型零件的整体结构

此类模具的结构较为简单，整体强度和刚度很高，可减小模具的大小，一般模板不需要淬硬处理，选择较好的钢材作为模板材质，直接在模板上加工型腔，一般用于生产批量不高的较大模具；当注塑机吨位有限制时，选用模板整体结构可减小模具外形尺寸，如图 5-1 所示。

2. 镶件为成型零件的整体结构

其型腔在一块镶件上加工成型，镶件装入模板内固定或者由固定板固定，也有较高的强

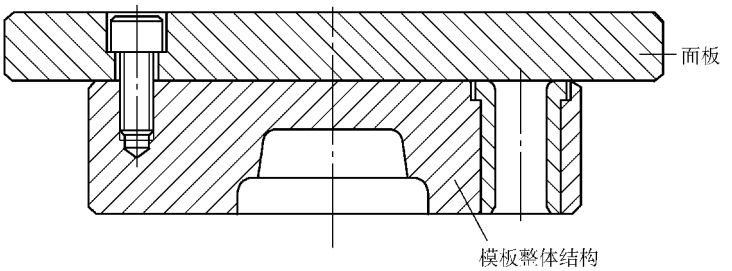


图 5-1　模板整体结构

度和刚性，制品成型后表面光滑平整，此类模具的成型零件一般都是在淬硬后再进行精加工。因此，镶件整体结构的模具采用电火花成型加工为主，铣削加工、磨削加工和线切割为辅的加工方法，如图 5-2 所示。

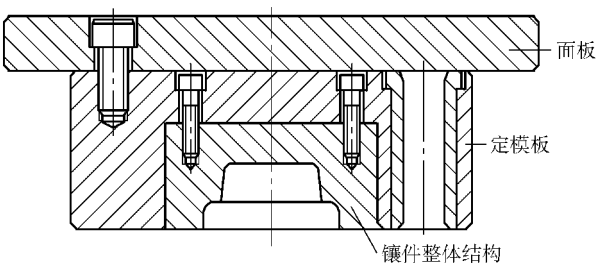


图 5-2　镶件整体结构

5.2　镶拼结构设计要点

当制品较为复杂、大型注塑模具一模多腔或型腔窄小且较深时，把镶件做成整体式结构是没办法加工的，此时必须采用镶拼式结构。

镶拼式结构与整体式结构相比，具有工艺性好、能够变内形加工为外形加工、能够降低对设备加工能力的要求、便于更换损坏的工作零件、方便加工以及节约模具材料等优点，所以将模具的结构形式设计成镶拼结构，不仅能缩短模具的生产周期、降低生产成本、提高经济效益，而且最重要的是能提高模具的制造精度，保证产品的质量。然而，镶拼也有其不足之处，需要对镶拼结构的优缺点进行综合评估，从而选择合适的结构形式。

5.2.1　镶拼结构的优点

1. 脱模需要

当制品有侧向成型部位，为制品脱模需要采用镶拼结构，如图 5-3 所示。通过镶拼将制品侧向成型部位分成几部分，常见的是瓣合结构（对称两部分），顶出制品前，将镶拼结构（滑块）沿型腔分型面进行开模，率先脱离制品侧向成型部位，最后顶出制品。

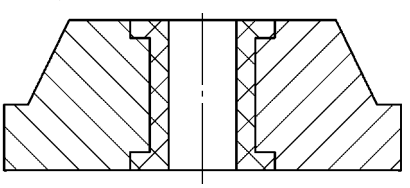


图 5-3　脱模需要的镶拼结构

2. 便于加工

精密制品往往有窄而深的筋条或柱子，为了便

于加工而采用镶拼结构，如图 5-4 所示，将型芯进行分割，然后再拼在一起。一般沿着型芯的边缘进行分割，分割后的镶件根据需要可以侧铣或者侧面打电极，提高了加工效率。

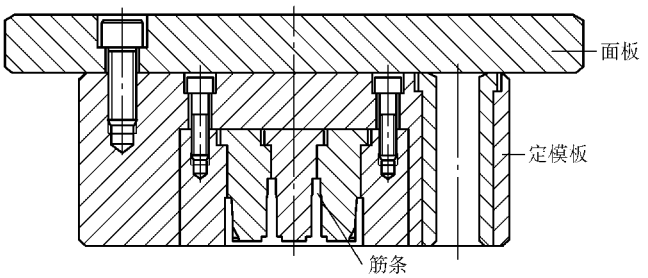


图 5-4　便于加工的镶拼结构

3. 便于排气

精密制品往往具备窄而深的筋条或柱子，这些部位处于填充的流动末端，成为树脂流动的“盲肠小道”，需要设置一些排气镶件或者镶针，避免薄壁的胶位烧焦，填充不饱，从而提高成型质量。

排气方式一般有以下几种：

1）利用型腔侧壁的镶件配合处。

2）部分设置螺旋槽。

3）分型面上开设排气槽。

4）开设假镶件孔。

图 5-5 所示为镶拼结构的排气方式，一般封胶段 A 控制在 2 ~ 3mm，防止型芯偏倒及跑飞边，排气槽的宽度 B 一般 2 ~ 3mm，深度 h 为 0. 5mm，后面开一条排气通道连接排气槽与外界进行气体交换。

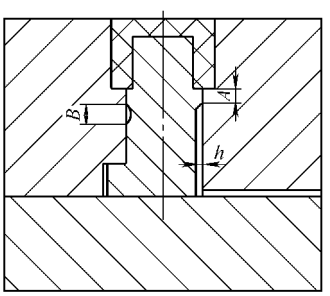


图 5-5　便于排气的镶拼结构

4. 便于磨削及抛光作业，提高制造精度

通过磨削及抛光作业，可以提高镶拼件的加工精度。如图 5-6 所示的模具零件，采用镶拼结构与整体结构的精度见表 5-1。从表 5-1 中可以看出，采用镶拼结构后其孔距、孔宽和隔筋的加工精度均得以提高。

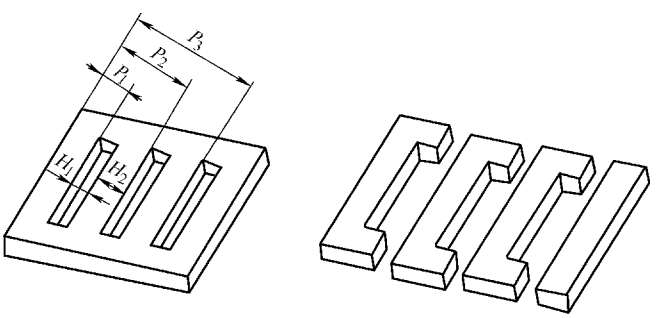


图 5-6　便于磨削及抛光作业的镶拼结构

表 5-1　不同结构模具的加工精度比较

模具结构	加工方法	*P* 向精度	*H* 向精度
整体结构	铣削加工	±0.05 ~ 0.2	±0.1
	放电加工	±0.02 ~ 0.1	±0.02 ~ 0.05
镶拼结构	铣削粗加工并磨削精加工	±0.01 ~ 0.05	±0.01 ~ 0.02
		±0.005 ~ 0.02	±0.005 ~ 0.01

5. 提高强度及耐磨性

插穿位置往往高低差比较大，同时比较狭小，如图 5-7 所示，比较容易磨损，一般需要采用镶拼，选择高硬度的钢材，或淬火后具有高硬度的钢材制作镶件。对于高硬度的镶拼件一般采用各种磨床进行加工，所以分割镶拼件的形状时，应考虑其是否可以采用磨床加工。

6. 便于维修

通用塑料（如 PP、PE、PS 等）和工程塑料（如 PC、PSU 等）并没有磨蚀性及腐蚀性，但是添加到塑料里的染色剂、填充剂、增强剂将改变塑料特性。根据添加剂的类型，可能使塑料具有磨蚀性和腐蚀性。从而使模具成型表面和浇口发生磨损。

当塑料流经模具成型表面时，特别是薄壁制品的模具需要快速填充时，塑料流经浇口的速度可能接近音速！这么高的填充速度流经小浇口也将产生高温，因此高温塑料与模具成型表面的高速摩擦，将使模具成型零件发生磨蚀。

有些塑料（典型的 PET 和 PVC）具有腐蚀性，注塑时，高温塑料将会散发出腐蚀性气体（一般是盐酸 HCl 气体），从而使模具成型零件发生侵蚀。

因此，对于薄铁位置及成型的“盲肠小道”更容易造成磨损，必须考虑便于更换维修的镶拼方案，如图 5-8 所示。

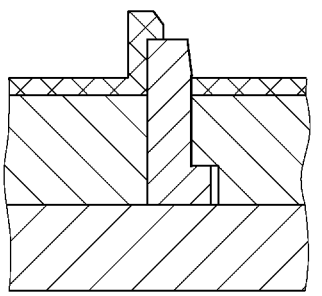


图 5-7　提高强度及耐磨性的镶拼结构

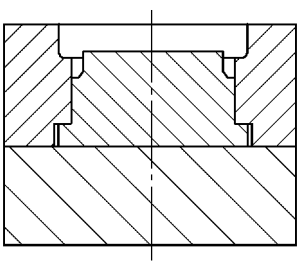


图 5-8　便于维修的镶拼方案

7. 便于设定热处理条件

对于有插穿、容易磨损的镶拼件，由于其便于维修及更换，镶拼件的热处理硬度应比大镶件的热处理硬度低 2 ~ 4HRC，如图 5-9 所示。

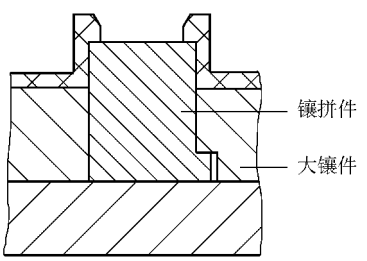


图 5-9　便于设定热处理条件的镶拼方案

5.2.2　镶拼结构的缺点

1. 制造成本

镶拼件数量越多，制造成本也越高。

2. 装配性

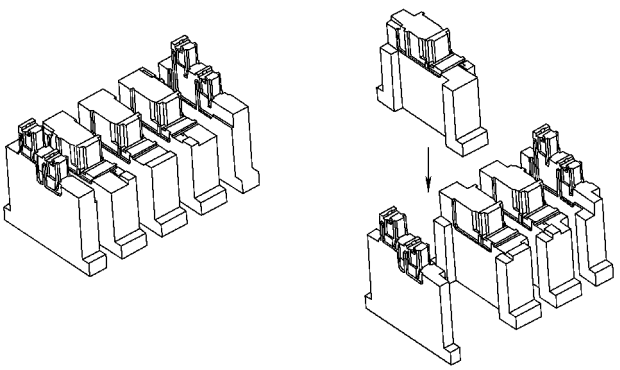
镶拼件数量越多，装配、拆卸作业越困难。

3. 平均加工精度

影响平均加工精度的因素有两个：零件加工方式及装配累积误差。

无论多复杂的型腔、型芯如果进行细分，基本上都可以转变为直线及圆形构成的形状。一般优先选择可以进行车削、磨削及抛光作业的形状，这些加工方式的加工精度较高，能方便地取得较为一致的零件。但过于细分的话，则会产生各种形状的零件。虽然可以通过慢走丝进行加工，精度也还可以，但加工费用较高，而且加工效率不高，因此需要根据加工部门的技术水平选择零件的加工方式。

装配累积误差主要取决于多件镶拼的形式，一般有两种装配形式：贴合式镶拼结构（如图 5-10a 所示）及嵌入式镶拼结构（如图 5-10b 所示）。贴合式镶拼结构是最普通的一种方式，多个零件贴合在一起，累积误差容易增大，因此必须提高镶拼件的加工精度；如果达不到所要求的加工精度，则可采用嵌入式镶拼结构，即制作一块整体的基础镶块，然后将磨削的板状零件嵌入基础镶块中，这种方法可减少累积误差，保证所要求的尺寸精度。



a)　　b)

图 5-10　贴合式镶拼结构及嵌入式镶拼结构

4. 冷却回路不容易设置

镶拼件一般较小，不容易设置冷却回路，导致成型周期较长。

5. 表面缺陷

镶拼结构会使制品的镶拼处产生表面缺陷（几微米的台阶断差，并容易产生毛刺），因此，镶拼一般设置在不影响外观的镶拼部位，避开具有特殊表面要求的制品部位（如电镀面）。

5.3　成型零件的固定形式与要求

镶件固定时必须保持与相连的构件有足够的强度和稳定性，并且便于加工和拆卸，绝大部分的镶件是安装在动、定模的模板内，有通框和不通框两种形式。不通框的模板结构简单，强度较高，用螺钉和模板直接紧固镶件；通框模板用台阶或螺钉紧固镶件。

1. 螺钉固定

对型腔较浅的模具，一般不通框设计，镶件一般采用螺钉紧固，如图 5-11 所示。而对

于深型腔，为了便于加工，需要采用通框设计，镶件亦可采用螺钉紧固。有时，点浇口进浇的模具，为了减小流道打开距离，减轻定模部分的重量，浅型腔也采用通框设计。

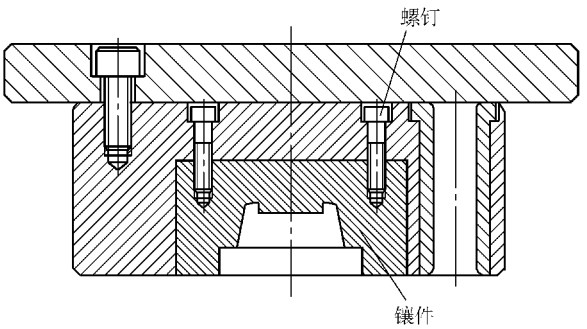


图 5-11　镶件的螺钉固定

固定型腔和型芯的螺钉大小和数量主要取决于两种类型的力：开模力和热膨胀造成的扭曲变形力。

开模时，将型腔和型芯拉开（特别是在填充压力过度时）的开模力可能相当大，这种情况最典型的是发生在成型深腔的制品上，比如脱模斜度很小的容器。

热膨胀造成的扭曲变形力往往发生在大模板以及大平整的型腔和型芯上，所以应该采用数量足够、布局合理的螺钉来防止（由于模板的扭曲变形而导致的）模板的分开以及由此而引起的冷却回路的渗漏。

2. 台肩固定

通框的镶件也可以采用台肩固定的方式。通常圆形镶针周圈均带有凸台，有方向要求时，需要设置防转措施；非圆形周圈只需设置部分凸台，大的镶件两面带凸台，小的镶件单面带凸台即可，如图 5-12 所示。这种固定方式一般适用于型腔较深或窄小的镶件不能使用螺钉紧固的模具。

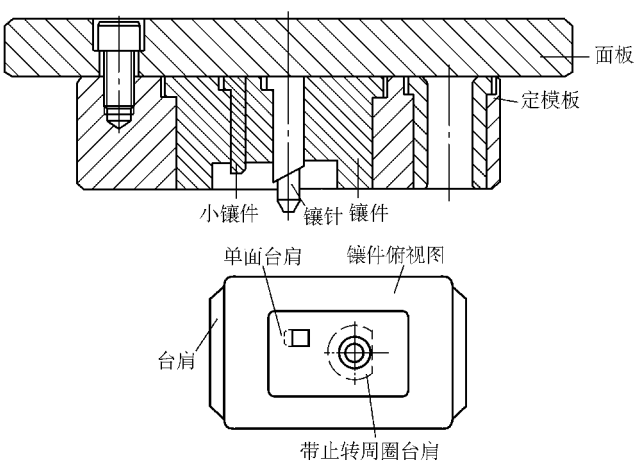


图 5-12　镶件的台肩固定

3. 楔形固定

楔形镶件通过锥度与相连构件形成预应力，能减小注塑时因为胀型产生的缝隙。同时，亦能缩小加工的配合间隙，外观质量较高，这种结构还便于易损镶件的拆装、更换和维修，如图 5-13 所示。

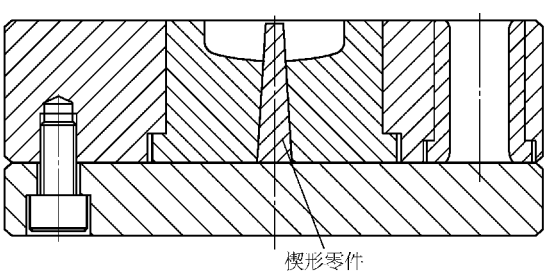


图 5-13　镶件的楔形固定

4. 圆柱销固定

当小镶件与相连构件的配合面都是曲面，且镶件窄小，不便用台肩及螺钉固定时，一般采用圆柱销固定，如图 5-14 所示。这种方式同样适合于镶件单薄且数量较多、贴合式配合在一起、加工凸台难度大的情况，此时只要将两外侧镶件加工成凸台，用圆柱销将所有小镶件串联起来，再将所有镶件一道压入模板内即可，如图 5-15 所示。

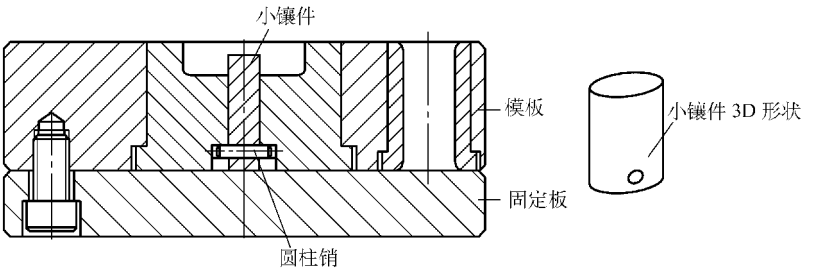


图 5-14　镶件的圆柱销固定

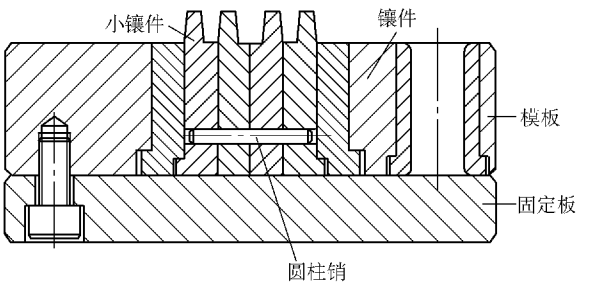


图 5-15　多镶件的圆柱销固定

5.4　圆形型芯的设计要点

型芯必须与相关构件之间有足够的固定强度和稳定性，并且要便于加工和拆卸；同时要在承受注塑压力冲击以及制品包紧力消除时，不发生位移、弹性变形和弯曲断裂等现象。

1. 圆形大型芯的结构及固定形式

大型芯的结构和固定形式如图 5-16 所示，图 5-16a 为整体式结构，大型芯与模板为整体，模具结构简单，但会造成模具材料的浪费，在处理时还容易变形，因此这种结构的使用较少；图 5-16b 为最常用的通框台阶式结构及固定形式，大型芯镶入镶件，再用模板压紧；图 5-16c 为通框无台阶结构及固定形式，主型芯嵌入镶件后用螺钉固定；图 5-16d 为不通框无台阶结构及固定形式，大型芯配合嵌入镶件后用螺钉固定，适用于镶件较厚的情况。

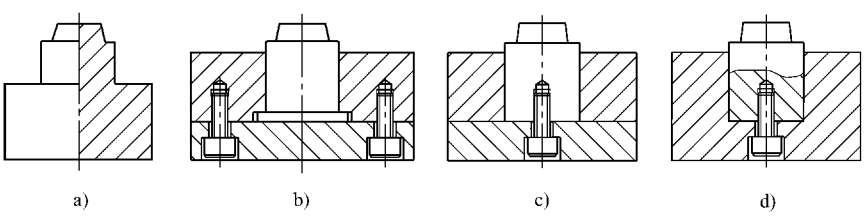


图 5-16　大型芯的结构及固定形式

2. 圆形小型芯的结构及固定形式

常用的圆形小型芯的结构及固定形式如图 5-17 所示。图 5-17a 为应用最广的台阶式固定形式，这种结构加工方便，稳定可靠；图 5-17b 为增强型，是把型芯的非成型部分的直径加大，适用于细长型芯；图 5-17c 为加长型，把配合段长度减小，更便于装配，适用于特厚镶件的小型芯固定；图 5-17d 为无模板压紧固定时的螺塞式固定；图 5-17e 为数量较多，距离较近的小型芯，采用板式固定方法；图 5-17f 为采用骑缝销直接固定的方法。

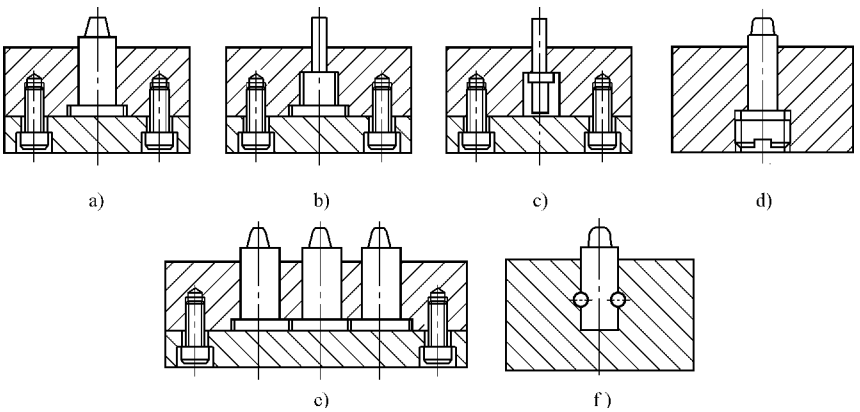


图 5-17　圆形小型芯的结构及固定形式

3. 圆形型芯止转形式

对圆形型芯而言，当成型部分为非回转体时，就有了位置或方向的要求，因此必须采用止转措施，常用的成型零件的止转形式如图 5-18 所示。

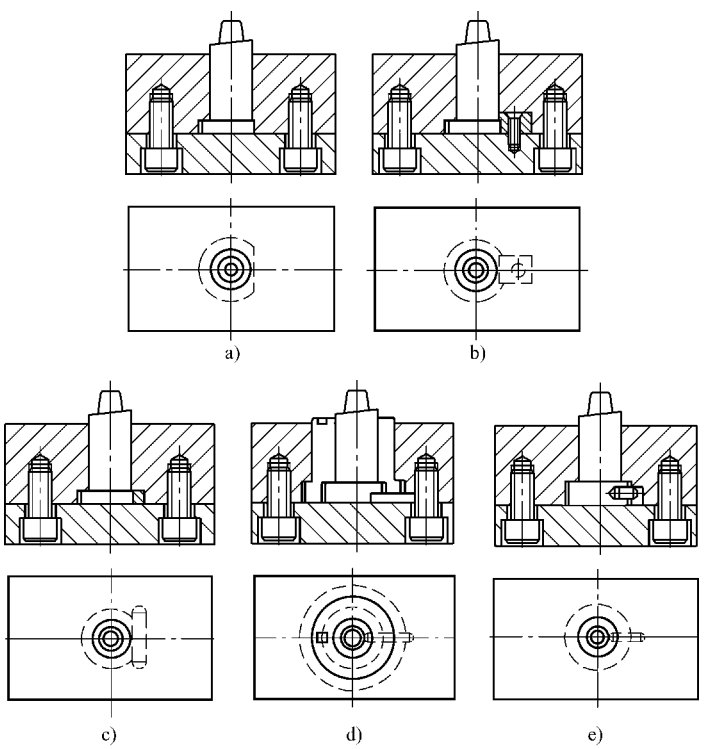


图 5-18　圆形型芯的止转形式

图 5-18a、b 为平面式，其中图 5-18a 定位稳定可靠，拆卸方便，缺点在于需要把模板定位面的台阶加工成非圆形，但随着技术的发展，一般可用数控机床进行加工；图 5-18f 可使非圆形沉孔加工方便，镶件台阶平面与定位块结合，易达到较高的精度，定位块用沉头螺钉固定。

图 5-18c、d 为平键式，其中图 5-18c 在镶件台阶上磨出直边，与模板内的圆头键定位，此形式接触面积较大，精度较高；图 5-18d 的组合镶件装在模板内，位置对准后再加工键槽，用圆头键固定，定位可靠，精度较高。

图 5-18e 为侧面销钉式，加工简便，但由于销钉的接触面小，多次拆卸后，容易磨损而影响装配精度。

5.5　成型零件固定尺寸的确定

1. 整体镶件的壁厚尺寸

如图 5-19 所示的注塑模具整体镶件，其壁厚尺寸可根据表 5-2 所示的经验数据进行选用，选用时需要注意以下几点：

1）L 和 H 指的是型腔内最大侧面的尺寸，局部小凹坑 A 可忽略。

2）侧面壁厚 W 与最大侧面积（$L \times H$）成正比，H 较大或形状复杂时，W 取大值。如果镶件中设有加热或冷却通道时，应根据冷却通道尺寸增加壁厚 W。

3）底面壁厚 h 与最大侧面积（$L \times H$）成正比，如果型腔短边 $B \leqslant L/3$ 时，可适当缩小 h 值。

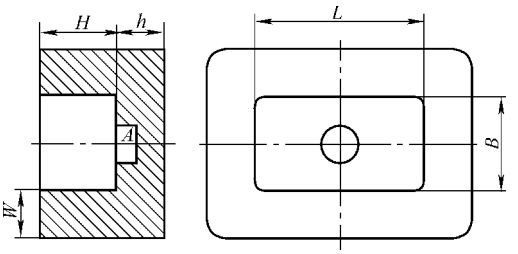


图 5-19　注塑模具整体镶件尺寸

表 5-2　镶件壁厚尺寸推荐值

型腔长边尺寸 L	型腔深度 H	镶件侧面壁厚 W	镶件底面壁厚 h
≤80	5 ~ 50	15 ~ 30	≥15
> 80 ~ 120	10 ~ 60	20 ~ 35	≥20
> 120 ~ 160	15 ~ 80	25 ~ 40	≥25
> 160 ~ 220	20 ~ 100	30 ~ 45	≥30
> 220 ~ 300	30 ~ 120	35 ~ 50	≥35
> 300 ~ 400	40 ~ 140	40 ~ 60	≥40
> 400 ~ 500	50 ~ 160	45 ~ 80	≥45

2. 整体镶件固定部位尺寸

当整体镶件采用台阶固定于模板时，整体镶件的台阶高度的选用需要注意以下几点：

1）组合镶件的台阶尺寸 H 没有特殊要求（见图 5-20），根据结构需要或选用表 5-3 所示的数据即可；对同一模板内的组合镶件，其基本尺寸 L 是指镶件组合的总尺寸。

2）对薄片状的组合镶件，为提高其强度，可取 $H \geqslant 15$mm，但不能大于镶件固定段的 1/3。

3）根据受力状态，台阶可设在四周或长边的两侧。

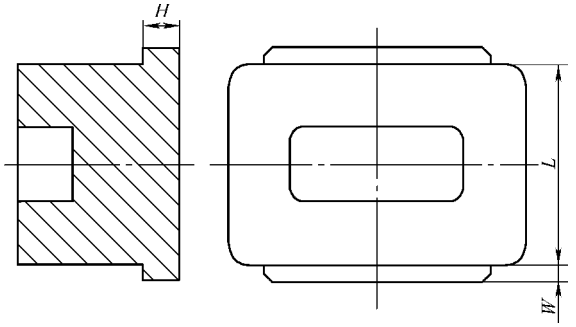


图 5-20　整体镶件台阶部位尺寸

表 5-3　整体镶件台阶尺寸推荐值

基本尺寸 L	台阶厚度 H	台阶宽度 W
≤60	8 ~ 10	3. 5
>60 ~ 150		
>150 ~ 250	12 ~ 15	4. 5
>250 ~ 350		
>350 ~ 500	18 ~ 20	6
>500 ~ 650	20 ~ 25	8

3. 镶拼镶件固定部位尺寸

镶拼镶件是将若干小镶件组合在一起，再装入模板内，如图 5-21 所示。镶拼镶件台阶尺寸与整体镶件相同，但需要注意与相连构件配合部位的高度值，推荐尺寸如表 5-4 所示。

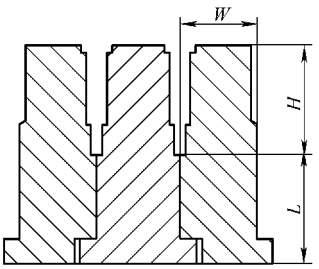


图 5-21　组合镶件的台阶尺寸

表 5-4　镶拼镶件配合部位的推荐尺寸

型腔深度 H	固定宽度 W	固定段高度 L
≤20	≤20	>15
	>20	>20

4. 型芯固定部位尺寸

型芯可分为圆形型芯和非圆形型芯两类，其中非圆形型芯可参照镶拼镶件的尺寸设计；而圆形型芯要尽量采用标准顶针进行加工，配合段直径应取整数，以便于配合孔用标准铰刀加工。较大圆形型芯台阶厚度可以参考镶拼镶件的台阶大小。

5.6　成型零件的设计实例

对注塑模具而言，考虑到成型零件的加工工艺、装配的可行性、整体的稳定性和耐用性等方面，在保证制品外观的前提下，一般都需要采用镶拼结构。对于不同的型腔结构应采用不同的镶拼结构，以下是成型零件的设计实例。

例 1：便于加工的成型零件的镶拼结构

如图 5-22a 所示的制品，为形成圆筒的斜端面，模具的成型零件有图 5-22b 和图 5-22c 两种方案。图 5-22b 将型芯与斜面镶套分别加工，经粗车、热处理、磨削精加工后装配在一起，机加工较方便，精度高；图 5-22c 为整体式，其斜面需要电火花加工来实现，不仅成本较高，而且型腔表面粗糙度也会过高，一般还需要抛光处理。因此，图 5-22b 方案是较为合理镶拼结构。

例 2：提高成型零件强度的镶拼结构

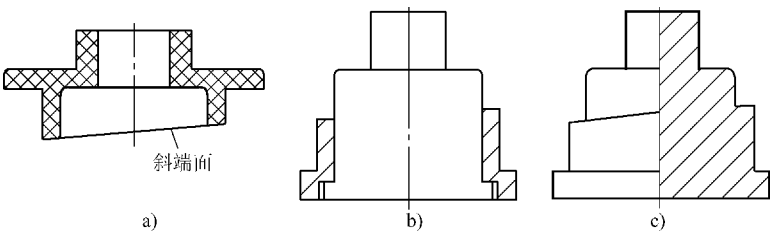


图 5-22　便于加工成型零件的镶拼结构

如图 5-23 所示为细长型芯模具。图 5-23a 所示镶拼结构在合模时把型芯插入另一半模内，这样可以极大地提高细长型芯的刚度，防止型芯受力、受热时的变形弯曲，缝隙还有利于排气。图 5-23b 的型芯为悬臂结构，受力、受热时容易变形弯曲，甚至断裂。因此，图 5-23a所示方案是较为合理的镶拼结构。

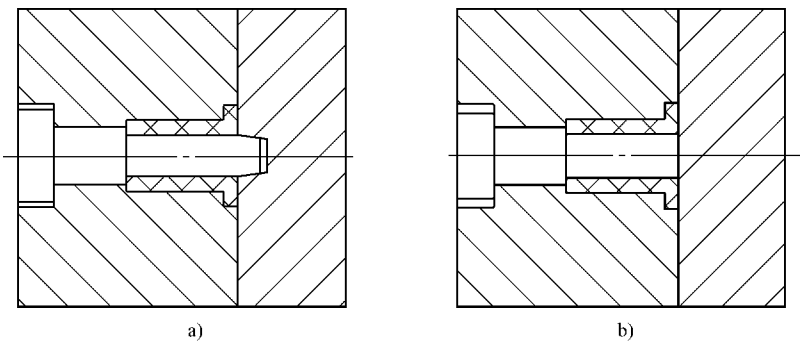


图 5-23　提高细长型芯刚度的镶拼结构

例 3：提高成型零件稳定性的镶拼结构

如图 5-24a 所示，镶拼件外形为非方圆形状，把嵌入大镶件的固定部分加工成方形，然后用螺钉固定，稳定可靠。图 5-24b 所示镶拼件虽然外形加工较为简单，但仅靠螺钉固定，受力、受热时螺钉变形，并且螺钉与镶件是间隙配合，容易导致镶拼件倾斜，接合面出现缝隙，注塑时，容易跑胶，引起脱模困难，一般不采用。因此，图 5-24a 所示方案是较为合理的镶拼结构。

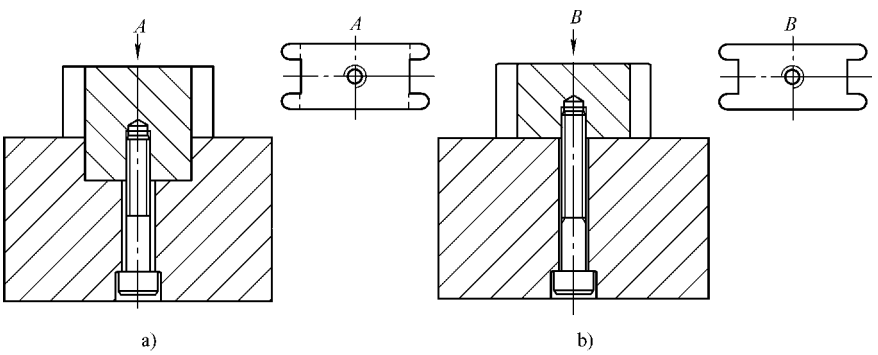


图 5-24　提高型芯稳定性的镶拼结构

例 4：避免成型零件出现尖角的镶拼结构

如图 5-25a 所示，滑块分型沿着抽芯方向直接水平拉出，在制品弧线交接处会出现尖

角，强度较弱，容易崩裂；如图 5-25b 所示，滑块分型沿着制品弧线交接处的法向做出分型面，强度较好。因此，图 5-25b 所示方案是合理的镶拼结构。

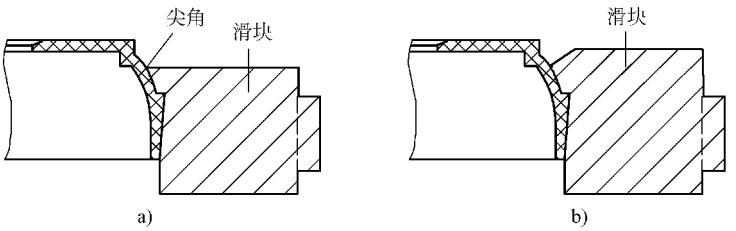


图 5-25　避免成型零件尖角的镶拼结构

例 5：提高密封圈寿命的镶拼结构

图 5-26a 所示密封圈直接做在型芯的直面上，由于密封圈需要有预压量才能密封，型芯嵌入镶件前，都要凸出型芯，装配时，上面的密封圈由于配合面太长，产生的剪切力容易磨损密封圈。图 5-26b 所示密封圈分别做在型芯两段直面上，虽然加工相对繁琐一点，但能提高密封圈的使用寿命。因此，图 5-26b 所示方案是合理的。

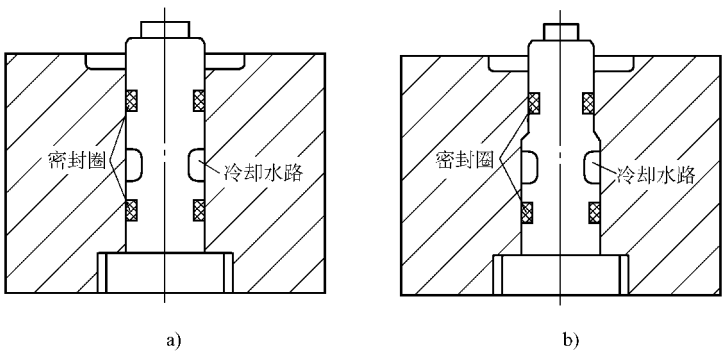


图 5-26　提高密封圈寿命的镶拼结构

例 6：保护成型胶位的镶拼结构

如图 5-27a 所示，型芯固定部分与胶位直径一致，装配时，容易磨损到精加工的成型表面，造成毛边。图 5-27b 所示，型芯固定部分在胶位处留有一小段平台（$t \geqslant 0.1\text{mm}$），能有效防止成型表面的损伤。因此，图 5-27b 所示方案是合理的。

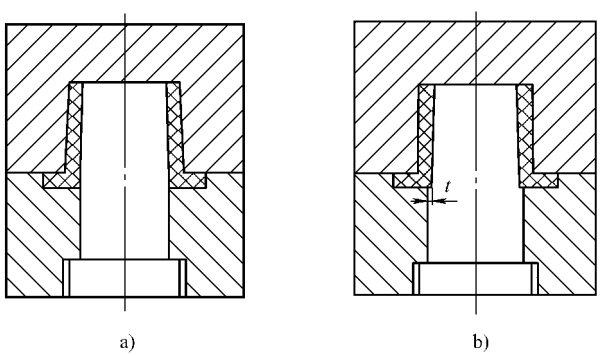
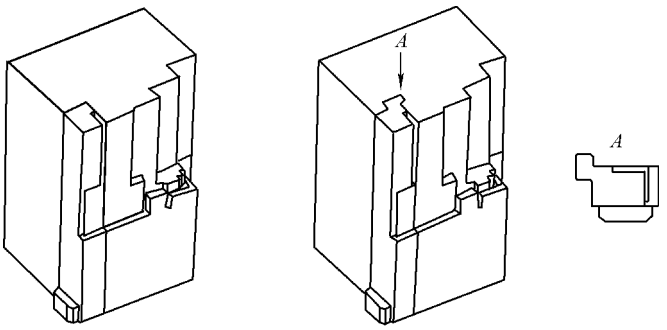


图 5-27　保护成型胶位的镶拼结构

例 7：防止细长镶件偏斜的镶拼结构

当细长镶拼件处于镶件的周边，如图 5-28a 所示，在注塑压力下，容易造成偏摆，产生飞边，从而影响精度。图 5-28b 所示，细长镶件增加一个侧面台阶，可提高细长镶件注塑时的稳定性，防止毛边。因此，图 5-27b 所示方案是合理的。



a)　　b)

图 5-28　防止细长镶件偏斜的镶拼结构

例 8：提高排气的镶拼结构

制品骨位的作用有增加强度、固定底面壳、支撑架和按键导向等。由于骨位与制品壳体在连接处易产生外观收缩凹陷，所以骨位宽度 $A \leqslant 2/3t$（t 为制品壁厚）。当骨深 $H < 10\text{mm}$，脱模斜度应在 0.5°以上，一般也可以不用镶拼；当骨深 $H \geqslant 10\text{mm}$，易产生注塑困难、困气，模具上一般需要制作镶拼件，也方便省模、排气，如图 5-29 所示。

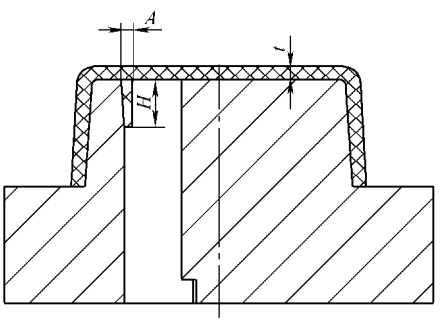


图 5-29　提高排气的镶拼结构

第 6 章　注塑模具浇注系统设计

6.1　概述

浇注系统是注塑机喷嘴到型腔之间的进料通道。通过注塑成型方法生产塑料制品时，注塑机喷嘴中熔融的塑料，经过主流道、分流道，最后通过浇口进入模具型腔，然后经过冷却固化，得到相应的制品。注塑模浇注系统是指模具中从注塑机喷嘴开始到制品型腔为止的塑料熔体的流动通道。浇注系统在模具中占有非常重要的地位，它的设计合理与否直接对制品的成型起到决定性的作用。所以要求模具设计者除了研究模具结构和加工技术之外，还必须对成型技术有较为深刻的理解。这样才能使模具制造技术与成型工艺有机地结合在一起，生产出既经济又高质量的产品。

6.1.1　浇注系统的组成及作用

1. 浇注系统的组成

浇注系统一般是由主流道、分流道、浇口和冷料穴等组成的，如图 6-1 所示。

（1）主流道　是使注塑机喷嘴与型腔（单型腔模）或分流道连接的一段进料通道。是熔融塑料进入模具时最先经过的部位。

（2）分流道　是连接主流道和浇口的进料通道。它是熔融塑料由主流道流入型腔的过渡段，能使塑料的流向得到平稳的转换。

（3）浇口　是熔融塑料经分流道注入型腔的进料口。它是分流道与型腔之间的狭窄部分，也是最短小的部分。它的作用有三点：

1）使分流道输送来的熔融塑料在进入型腔时产生加速度，从而能迅速充满型腔。

2）成型后浇口处塑料首先冷凝，以封闭型腔，防止塑料产生倒流，避免型腔压力下降过快，以致在塑件上出现缩孔和凹陷。

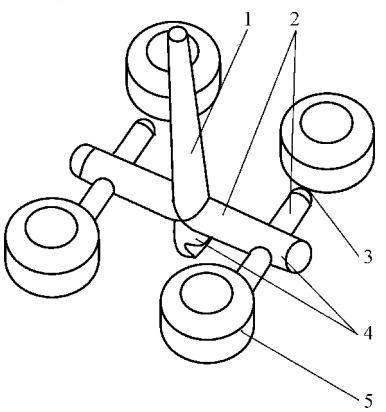


图 6-1　注塑模浇注系统

1—主流道　2—分流道　3—浇口

4—冷料穴　5—塑件

3）注塑成型后，便于使浇注系统凝料与塑件分离。

（4）冷料穴　是浇注系统中，用以在注塑过程中储存熔融塑料的前端冷料，直接对着主流道的孔或分流道延伸段的槽。其作用是储存两次注塑间隔中产生的冷料，以防止冷料进入型腔造成塑件熔接不牢，影响塑件质量，甚至发生冷料头堵塞住浇口，造成成型不满。冷料穴一般设在主流道末端，当分流道较长时，在它的末端也应开设冷料穴。

2. 浇注系统的作用

浇注系统在注塑成型过程中的作用主要体现在以下几个方面：

（1）输送物料　引导物料流动，使物料平稳地顺序充填模具型腔。

（2）传递压力　向型腔内物料传递注塑、保压压力，以获得适宜的模腔压力，保证型腔充满密实，获得外形轮廓清晰、内在质量优良的制件。

（3）交换热量　通过对流经的物料的加热（热流道）、保温（绝热流道）、冷却（普通浇注系统）或增温（阻流型普通浇注系统），控制进入型腔的物料的温度。

（4）适时封堵型腔　通过浇口的适时凝固（凝封），切断型腔与外界的传质、传压过程，控制补料时间，限制倒流。

6.1.2　浇注系统的设计原则

在设计注塑模具的浇注系统时，应考虑下列相关因素：

（1）塑料成型特性　应综合考虑所选用塑料的成型特性，特别是它的流动性能，以便在充模阶段能使熔融塑料以尽可能低的粘度和较快的速度充满整个型腔，而在保压阶段又能通过浇注系统，使压力充分地传递到型腔的各个部位，同时还能通过浇口的适时凝固来控制补料时间，以获得外形清晰、尺寸稳定、质量较好的塑件。

（2）制品的大小、形状和技术要求　根据制品的大小、形状、壁厚和技术要求等因素，并结合所选择的分型面，来选择浇注系统的形式、位置和进料口数量。

（3）模具成型的型腔数　根据所确定的模具型腔数，对浇注系统进行合理布局。

（4）制品外观　设置浇注系统时应考虑去除、修整进料口凝料的方便性，同时不影响制品的外表美观和使用。

（5）防止型芯和嵌件变形　应尽量避免熔融塑料正面冲击直径较小的型芯和金属嵌件，防止型芯弯曲变形或嵌件移位。

（6）排气良好　浇注系统应能顺利平稳地引导熔融塑料填充到型腔的各个角落，不产生涡流和紊流，并能使型腔内的气体顺利排出。

（7）减少热量及压力损失　浇注系统的流程应尽量短并减少折弯，以防止因过快的降温降压而影响塑件的成型质量。缩短流程，还可以缩短填充及冷却时间，提高成型效率。

（8）防止塑件翘曲变形　当浇注系统流程较长或需采用多浇口进料时，应考虑浇口收缩等原因引起塑件翘曲变形的问题，并需要采取必要的措施予以防止或消除。

（9）节省原材料　除满足以上各点外，浇注系统的容积尽量取小值，以减少其占用的塑料量，从而减少回收料。同时，浇注系统与型腔的布置应合理对称，以减少模具尺寸，节约模具材料。

6.2　主流道设计

注塑模的主流道是使注塑机喷嘴与型腔（单型腔模）或分流道连接的一段进料通道。主流道是熔融塑料由注塑机喷嘴注入模具时最先经过的部位，通常和注塑机的喷嘴在同一轴线上。由于主流道与熔融塑料以及注塑机喷嘴反复接触、碰撞，容易磨损，所以一般不直接开设在模板上，为了制造方便，往往制成方便拆卸更换的浇口套或流道镶件，固定在模板的相应位置上。按进料方向（主流道轴线）与开合模方向（模具轴线）的关系，主流道的结构形式可分为三种类型：直浇型主流道、斜浇型主流道和横浇型主流道。

6.2.1　直浇型主流道

1. 主流道设计

直浇型主流道的进料方向与开合模方向重合，适用于卧式和立式注塑模，其基本结构和安装形式如图 6-2 所示。

设计时应注意以下事项：

1）为了便于取出主流道凝料，主流道应呈圆锥形，锥角 $\alpha = 2° \sim 4°$。对于流动性较差的塑料可取 $\alpha = 6° \sim 10°$。锥角过大容易引起注塑速度缓慢，并容易形成涡流。

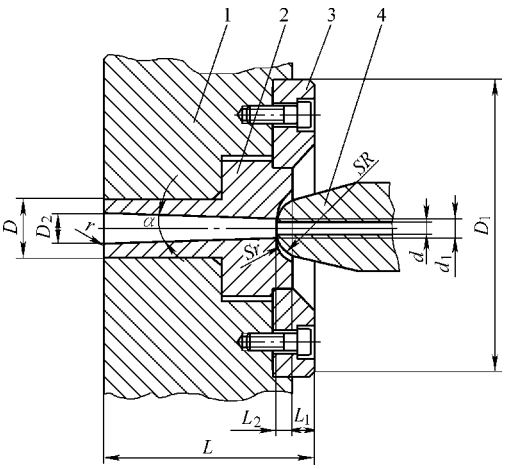


图 6-2　主流道的结构形式

1—定模座板　2—浇口套

3—定位圈　4—注塑机喷嘴

2）主流道截面积的大小影响到塑料熔体的流速和充模时间。如果截面直径过小，熔体在流动过程中的冷却面积相对增大，热量损失大，导致粘度升高，压力损失增大，流动性降低，成型困难；如果截面直径过大，则流道容积增大，塑料消耗增加，导致冷却固化时间延长，生产率下降。另外，如果主流道截面积过大，还容易使塑料熔体的流动产生絮流和涡流，导致制品内部产生气泡。因此，必须恰当地设计主流道截面直径。通常，主流道进口端的截面直径取为 4 ~ 8mm，若熔体流动性好且制品较小时，直径可设计得小一些；反之则要设计得大一些。

3）锥孔内壁粗糙度 R_a 为 0.4 ~ 0.63μm，圆锥孔大端处应有 $r = 1 \sim 3$mm 的圆角过渡，以减少熔料转向时的流动阻力。

4）主流道进口端与喷嘴头部接触部分一般做成下凹的球面，以便与喷嘴头部的球面半径相匹配。由于注塑机喷嘴头部的球面半径 SR 是固定的，为使熔融塑料从喷嘴完全进入主流道而不逸出，应使浇口套端面的凹球面与注塑机的喷嘴球面良好接触。一般取浇口套凹球面半径 $Sr = SR + (1 \sim 2)$，凹球面深度 $L_2 = 3 \sim 5$mm，浇口套圆锥孔的小端直径 d_1 应大于喷嘴的内孔直径 d，一般取 $d_1 = d + (0.5 \sim 1)$，球面与主流道孔应以清角连接，不应有倒拔的痕迹，保证主流道的凝料顺利脱模。

5）在保证制品成型的基础上，主流道长度应尽可能短，以减少压力损失和废料量，如果主流道过长，会使塑料熔体的温度下降而影响充模。通常主流道的长度 L 不大于 60mm。

6）主流道尽量不采用分级对接的形式。如果必须采用对接形式时，应采用如图 6-3 所示的方法，即所对接内锥孔的小直径 D 应大于原内锥孔的大直径 d。一般取 $D = d + (0.5 \sim 1)$，防止由于两锥孔对位不准而使主流道的凝料难以取出。

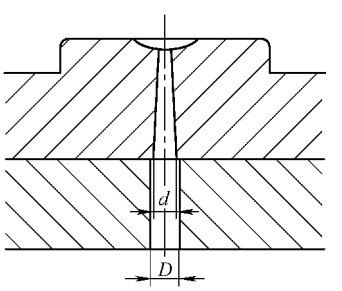


图 6-3　主流道连接形式

2. 浇口套设计

由于注塑成型时主流道要与高温塑料熔体和注塑机喷嘴反复接触和碰撞，所以一般都不将主流道直接开在定模上，而是将它单独地开设在一个嵌套中，然后将此套再嵌入定模内，该嵌套称为浇口套。采用浇口套以后，不仅给主流道的加工、热处理以及衬套本身的选材等工作带来很大方便，而且在主流道损坏后也便于修磨或更换。当主流道贯穿由多块模板叠合而成的定模时，做成浇口套，可以保证主流道内壁光滑，防止板缝间溢料形成横向飞边，便于浇道凝料脱出。

如图 6-4 所示，常用的主流道衬套有 A、B、C 三种类型，A 为普通型，B 为带肩型，C 为螺栓型。根据所用注塑机喷嘴头部形状的不同，每种类型又分为Ⅰ、Ⅱ两种形式，分别用于球头和平头形式的喷嘴。球头喷嘴的注塑机在国内比较常见，平头喷嘴的注塑机在国外使用较多。

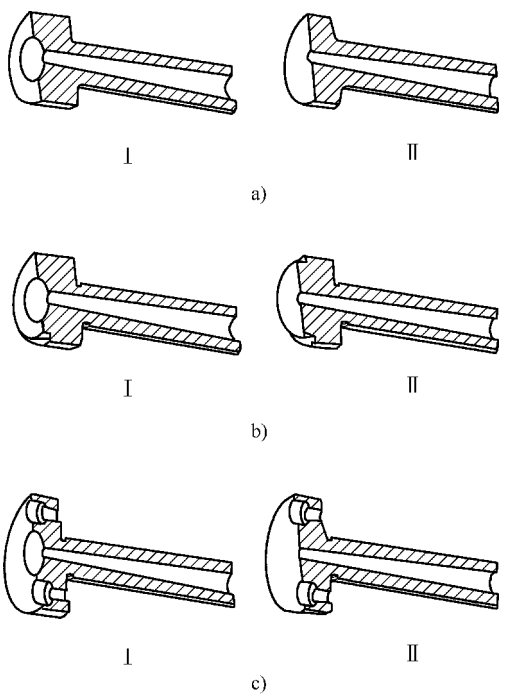


图 6-4　浇口套的结构形式

a）A 型　b）B 型　c）C 型

A 型和 B 型浇口套较为常用，使用时为了防止衬套在塑料熔体反压力作用下退出，需要通过定位圈将浇口套压住。浇口套头部外径与定位圈内孔配合设计，其他尺寸根据具体情况设计或使用标准件；C 型浇口套单独用螺钉固定，可以不通过定位圈压紧，常用于缩短流道的模具中。

设计浇口套时应注意以下事项：

1）浇口套材料根据使用要求选用，一般采用 T8A 或 T10A 钢，并进行淬火处理，球面硬度为 50 ~ 55HRC。为防止注塑机喷嘴被碰撞损坏，浇口套硬度应低于注塑机喷嘴硬度。

2）浇口套的长度应与定模配合部分的厚度一致，主流道出口处的端面不得突出在分型面上，否则不仅会造成溢料，而且还会压坏模具。

3）当浇口套上开设分流道通道时，要设置防转销防止浇口套转动；当浇口套接触的分型面是斜面或者是曲面时，也要设置防转措施，如图6-5 所示。

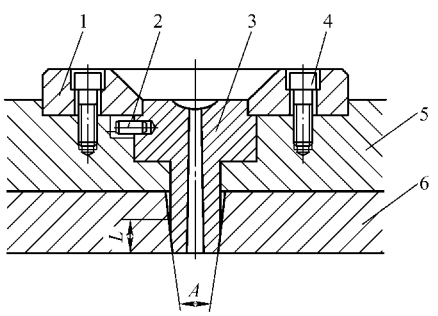


图 6-5　浇口套防转与锥度设计

1—定位圈　2—防转销　3—浇口套

4—螺钉　5—定模座板　6—推料板

4）当浇口套上装有流道凝料的推料板时，与推料板配合的部位要设计锥度，锥度 $A = 10° \sim 20°$，配合长度 L 要与推料板相适应，如图 6-5 所示。

5）衬套与定模之间的配合采用 H7/m6。配合面轴肩处设砂轮越程槽或过渡圆角。轴肩用圆角过渡时相应模板孔应有大于圆角半径的倒角，

如图 6-6 所示。

3. 定位圈设计

定位圈是确定模具在注塑机上的安装位置、保证注塑机喷嘴与模具浇口套对中的定位零件，定位圈与注塑机定模固定板中心的定位孔相配合。

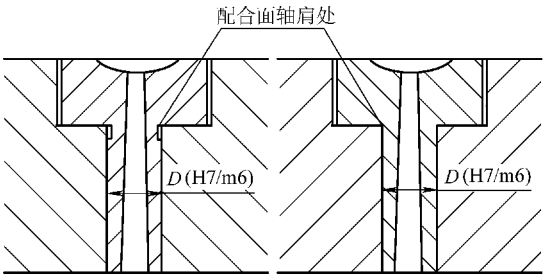


图 6-6　浇口套的配合

常用的定位圈可分为图 6-7 所示的 A、B 两种形式。有时候为了缩短主流道长度也可以设计成如图 6-8 所示的形式，可通过定模座板压住定位圈外缘，防止注塑反压力过大而使定位圈螺钉断裂。

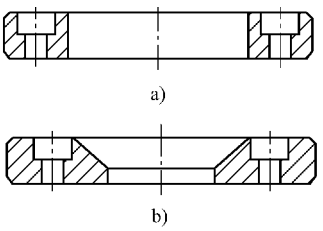


图 6-7　定位圈的形式

a）A 型定位圈　b）B 型定位圈

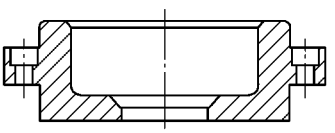


图 6-8　缩短主流道型定位圈

定位圈装配尺寸如图 6-9 所示。定位圈应与定模座板有 5mm 的配合深度，以防止模具安装时由于模具自重而切断定位圈螺钉；定位圈的外径 D 应与注塑机的定位孔间隙配合，配合间隙为 0.1～0.2mm；定位圈与注塑机定位孔的配合长度可取 8～10mm，即小于注塑机定位孔的深度，对于大型模具可取 10～15mm。

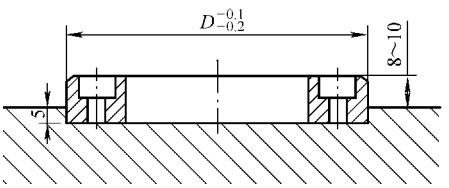


图 6-9　定位圈装配尺寸

定位圈和浇口套的应用实例可参见图 6-10。

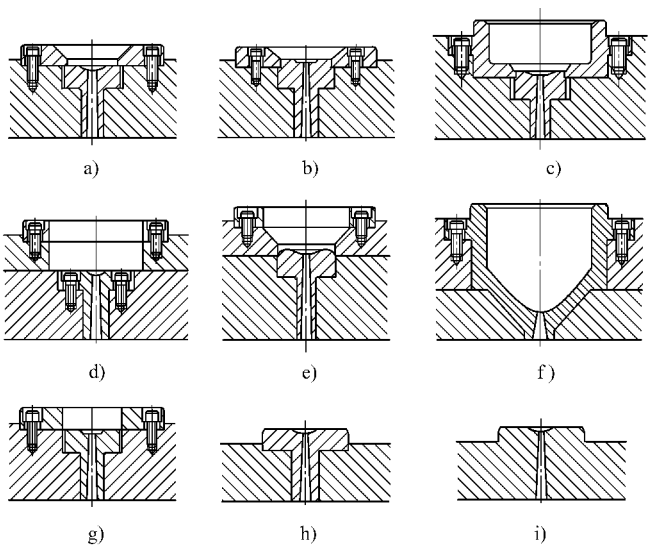


图 6-10　定位圈和浇口套的应用实例

图 6-10a、b、c 是通过定位圈将浇口套压紧，防止注塑压力使浇口套退出。

图 6-10c、d、e、f 是缩短主流道的应用方式，其中图 6-10c 是应用缩短流道型浇口套来缩短主流道；图 6-10d 是将定模座板开通，将浇口套直接固定在定模板上；图 6-10e 是通过定模座板压紧浇口套，以实现缩短主流道和防止浇口套后退的目的；图 6-10f 是做成整体形式的缩短流道型浇口套。

图 6-10g、h 是通过注塑机喷嘴来顶住浇口套，用于注塑反压力不大的情况。其中图 6-10h是将浇口套和定位环设计为一体，用于小型模具。

图 6-10i 是将主流道和定位圈直接开设在定模板上，用于小型且批量不大的模具。

定位圈和浇口套的应用形式有很多，设计时要尽可能选用标准件，这样可以节省时间和成本。若必须要自行设计时，需综合考虑安全、质量、经济、加工、装配、更换以及耐用度等因素。

6.2.2　斜浇型主流道

斜浇型主流道的进料方向与开合模方向呈一定的角度，包括倾斜形和圆弧形两种形式。

1. 倾斜形主流道

在设计模具时，往往由于受制品及模具结构的影响，或者由于浇注系统及型腔数的限制，使主流道偏离模具中心，有时偏距很大，造成模具在使用时出现很多问题。

第一，在顶出制品时，由于顶出重心不在模具中心，推板及推杆固定板容易顶偏，导致推杆、推管等运动不平稳，有时还会造成细小顶杆折断，使制品变形或损坏。

第二，由于主流道不在模具中心，会因锁模力不均，造成单边分型面缝隙过大而产生大面积溢料。

在上述情况下，采用斜浇型主流道的设计可以避免或改进其不足。虽然采用三板模结构也可以解决主流道偏离问题，但模具成本会大大提高。图 6-11 所示为斜浇型主流道的基本设计形式。主流道凝料在脱出过程中，受到的拉料杆拉力 F 可分解为两个力，一个是沿主流道斜度方向的 F_1，一个是垂直于主流道斜度方向的 F_2。其中 F_2 的值越大，斜主流道凝料在拉出过程中越容易折断。F_2 的大小与夹角 α 和主流道的摩擦系数有关，为保证主流道凝料的顺利脱出，α 角不宜太大，并且主流道内壁光滑（$R_a \geqslant 0.63\mu m$），斜流道转角处需要做成圆弧过渡。

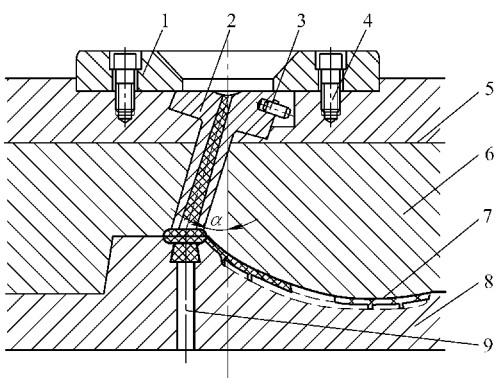


图 6-11　斜浇型主流道

1—定位圈　2—浇口套防转销　3—防转销　4—螺钉
5—定模座板　6—凹模　7—塑件　8—型芯　9—拉料杆

不同性能的塑料，倾斜角 α 可以设计的最大值也有所不同。对于弹性较好、抗冲击性能强的材料，如 PE、PP 和 PA 等塑料，倾斜角 α 最大可以达到 30°；对于 PS、SAN、ABS、PC、POM 及 PMMA 等塑料，倾斜角 α 最大可以达到 20°。

2. 圆弧形主流道

圆弧形主流道（也称蕉形主流道），是斜浇型主流道中一种特殊的形式，因其加工和修

配复杂，所以应用的场合较少，其结构如图 6-12 所示。在圆弧形主流道设计中，为使主流道凝料顺利脱出，其弧形半径不宜太小，一般 $R \geqslant 60\text{mm}$。由于加工困难，整个主流道需要做成两块镶件分别加工，然后组合在一起，进行修配安装，如图 6-13 所示。需要注意的是，主流道镶件与凹模连接时，凹模上主流道小端直径应比镶件主流道末端直径 d 大 1mm 左右，防止因为装配错位，而使主流道凝料无法脱出。

圆弧形主流道不适于成型脆性材料如 PS 等塑料，一般适用于 PE、PP、EVA、PVC 及 ABS 等类型的塑料。

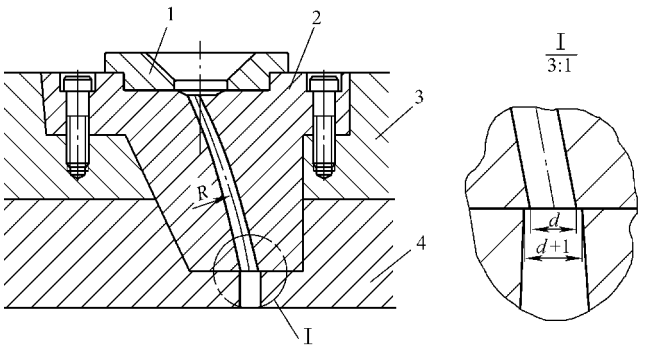


图 6-12　圆弧形主流道

1—定位圈　2—流道镶件　3—定模座板　4—凹模

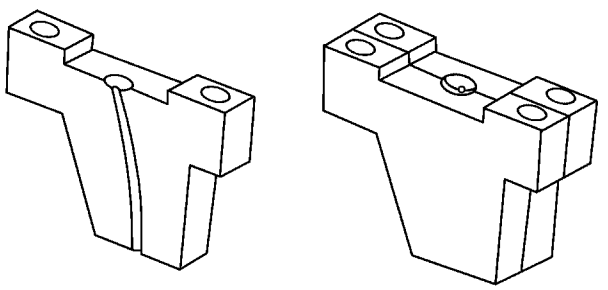


图 6-13　圆弧形主流道镶件

6.2.3　横浇型主流道

横浇型主流道的进料方向与开合模方向垂直，一般用于直角式注塑机。

如图 6-14 所示，对于横浇型模具，主流道设在分型面上，凝料在开模时可顺利取出，不存在轴向抽拔问题。所以主流道的截面形状可以根据需要设计为圆形、半圆形、椭圆形和梯形，圆形截面因为加工方便应用较为广泛。

横浇型主流道一般设计成轴线与分型面重合的圆柱形或圆锥形孔道，由分设在动定模上的两个半圆槽扣合而成。在入口处的动定模上分别镶上硬度较高的镶件，以减少使用中的磨损和变形，也便于损坏后更换。由两块镶件构成的浇道套与喷嘴接触面可做成球面凹坑或略高于（高出 0.03 ~ 0.05mm）模板的平面。

圆锥形主流道具有断料准确的优点，用于对塑件要求较高的模具。流道镶件的加工一般先磨配结合面，然后整体固定加工定位销孔，通过定位销定位装夹后，再整体加工出主流道。这样可以保证在加工和装配过程中，主流道的两个半圆槽合模准确。主流道镶件与凹模

连接时，凹模部分的主流道不必加工锥度。

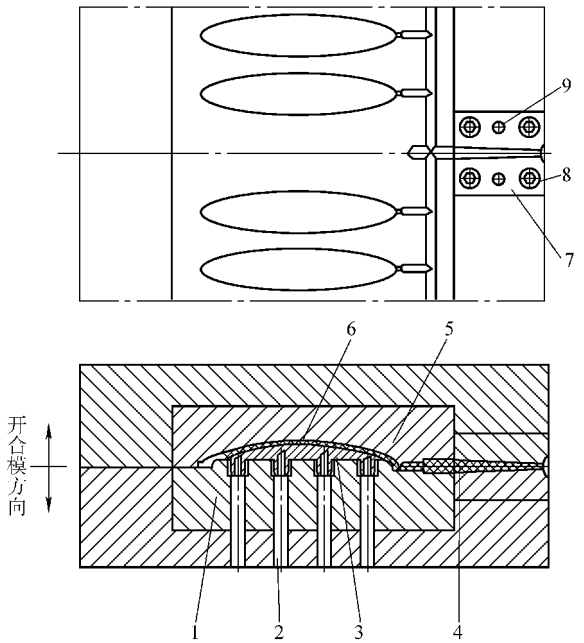


图 6-14　横浇型主流道

1—型芯　2—推杆　3—嵌件　4—主流道　5—凹模　6—塑件　7—主流道镶件　8—螺钉　9—定位销

6.3　分流道设计

分流道是连接主流道和浇口的进料通道。在一模成型多件制品的多腔模和生产大型制品的多点进浇单腔模中，为把来自主流道的物料分配到各个浇口，都必须设置分流道。分流道是多浇口模具浇注系统的重要组成部分，对充模保压过程影响很大。普通浇注系统的分流道一般都开设在分型面上，以便开模时脱出浇道凝料。

6.3.1　分流道的设计要点

由于分流道要将高温高压的塑料熔体流向从主流道转换到模腔，所以设计时不仅要求熔体通过分流道时的温度下降和压力损失都应尽可能小，而且还要求分流道能够平稳均衡地将熔体分配到各个模腔。因此，恰当合理的分流道形状和尺寸应根据制品的体积、壁厚、形状复杂程度、模腔的数量以及所用塑料的性能等因素综合考虑。分流道的设计要点总体归纳如下：

1）在满足注塑成型工艺的前提下，分流道的截面积应尽量小。但分流道截面积过小会降低注塑速度，使填充时间延长，同时可能出现缺料、焦烧、皱纹、缩孔等塑件缺陷，而分流道过大则增大冷凝料的回收量，并延长物料的冷却时间。一般来说，在注塑完成后，分流道的冷却时间应比型腔中塑件的冷却时间短，才不影响注塑时的效率。因此在设计时应采用较小的截面积，以便于在试模时为必要的修正留有余地。

分流道的截面积应为各浇口的截面积之和，同时多型腔分流道的截面积总和不能大于主

流道的截面积。

2）分流道分布要排列紧凑，间距合理，一般采用轴对称或中心对称，使其平衡，尽量缩小成型区域的总面积。最好使型腔和分流道在分型面上总投影面积的几何中心和锁紧力的中心重合。

3）分流道的形状要考虑分流道的截面积与其周边长度的比最大为好，这样可以减少熔料的散热面积和摩擦阻力，减少压力损失。

4）在可能的情况下，分流道的长度应尽可能短，以减少压力损失，避免模体过大影响成本。在多型腔模具中各型腔的分流道长度应尽可能相等，以达到注塑时压力传递的平衡，保证塑料尽可能同时均衡地充满各个型腔。在有些情况下分流道长度不能相等时，则应在浇口处做必要的补救措施。如果分流道较长时，应在其末端设置冷料穴，防止冷料和空气进入模腔。

5）在分流道上的转向次数尽量少。在转向处要有圆滑过渡，不能有尖角。这样有利于物料的流动和减少压力损失。

6）分流道的内表面不必要求很光，一般表面粗糙度 R_a 取 1.6μm 即可，这样可以在分流道的摩擦阻力下使料流外层的流动小些，使其分流道的冷却皮层固定，有利于对熔融塑料进行保温。

7）当分流道设在定模一侧或分流道延伸较长时，应在浇口附近或分流道的交叉处设置钩料杆。

8）在总体分布中，应综合考虑冷却系统的方式和布局，并留出冷却水路的空间。

6.3.2　分流道的截面形状

分流道的截面形状常用的有圆形、U 形、梯形、半圆形和矩形等。

为减少分流道内的压力损失和热损失，总希望分流道内的截面积最大，而散发热量的内表面积最小，也就是说，在额定的同一融料的流量来说，应该使流动阻力和热损失达到最小值，即分流道的效率用分流道的截面积 S 与其截面周长 L 的比来表示：

$$\eta = \frac{S}{L}$$

式中　η——分流道的效率；

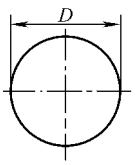
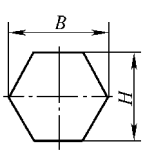
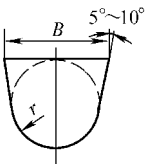
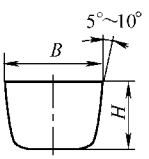
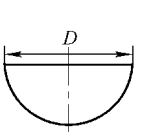
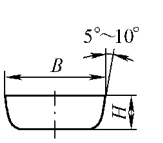
S——分流道的截面积（mm）；

L——分流道的截面周长（mm）。

因此在选用分流道的截面形状时，应考虑分流道的效率、成型区域的面积以及加工的难易程度。其分流道的效率及性能如表 6-1 所示。

圆形截面的效率最高。也就是说，分流道流过相同的塑料流量，其分流道的内表面积最小。这样可以减少注塑过程中的散热面积，即融料温度降低最小，同时使摩擦力变小，减少压力损失。但圆形截面分流道必须将分流道分设在模板两侧，在对合时容易产生错口现象，制造起来比较麻烦，一般多用于热流道模具中。六边形截面的特点与圆形截面类似，效率比圆形截面稍低，较少采用。U 形截面和梯形截面的分流道效率较高，容易制造，流道凝料脱模方便，所以在模具中最为常用。梯形截面的宽度 B 一般取 4 ~ 8mm，高度 $H = 0.66 \sim 0.85B$，单边斜度取 5° ~ 10°，底部加工出 1 ~ 2mm 圆角，以利于物料流动，方便凝料脱模。

表 6-1　不同截面形状的分流道效率及性能

流道截面形状								
效率 $\eta = S/L$	0.25D	0.217B	0.217B	0.195B	0.153D	H =	$B/4$	0.166D
							$B/2$	0.100D
							$B/6$	0.071D
与圆形截面效率比	1	0.952	0.92	0.887	0.864	H =	$B/4$	0.836
							$B/2$	0.709
							$B/6$	0.62
热量损失	最小	小	较小	较大	大	最大		
加工性能	难	难	易	易	易	易		

半圆形截面和浅矩形截面的分流道效率比较差，一般应用较少。浅矩性截面的宽深比 B/H 越大，效率越低，冷却越快。对于成型周期较短，要求流道快速冷却的模具，可以采用。由于流道凝料脱出困难、流动阻力大，一般做成扁梯形来加以改善，两侧面加工 5°～10°的单边斜度，底部加工 1～2mm 的圆角。

分浇道的截面尺寸应根据塑件的体积、形状、壁厚、所用塑料的工艺性能、注塑速率以及分浇道的长度等因素来确定。对于壁厚小于 3mm、质量在 200g 以下的塑件，可用以下经验公式确定分浇道的直径，即

$$D = 0.2654\sqrt{W}\sqrt[4]{L}$$

式中　D——分浇道直径（mm）；

W——流经分流道的塑料质量（g）；

L——分浇道长度（mm）。

此公式计算的分流道直径限于 3.2～9.5mm。对于 HPVC 和 PMMA，应将计算结果增加 25%。

图 6-15 所示为不同质量的塑件分流道长度与直径的关系。对于其他截面形状的分流道，可令其流道效率与圆形截面的分流道效率相等，从而求得相应的尺寸。

常用塑料的分流道直径的推荐尺寸列于表 6-2 中。由表 6-2 可见，对于流动性极好的塑料（如 PE、PA 等），当分流道很短时，其直径可小到 2mm 左右；对于流动性差的塑料（如 HPVC、

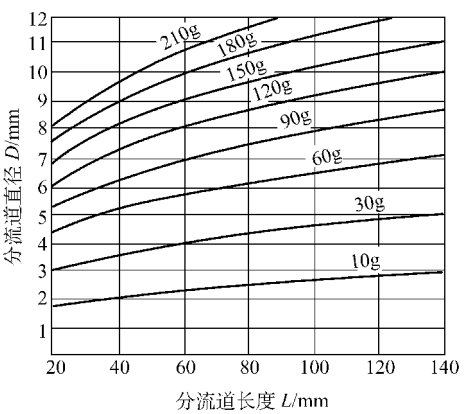


图 6-15　不同质量的塑件的分流道长度与直径的关系

PMMA 等），当分流道较长时，其直径可以大于 10mm。增大流道截面积有利于充模流动，但随着流道尺寸的增大影响越来越弱。对于大多数塑料，直径在 6mm 以下变化时，对充模流动的影响较大；直径在 8mm 以上变化时，对充模流动的影响明显减小。

表 6-2　常用塑料的分流道直径推荐值

材料名称	分流道直径/mm	材料名称	分流道直径/mm
ABS、SAN	4. 8 ~ 9. 5	PC	4. 8 ~ 9. 5
POM	3. 2 ~ 9. 5	PE	1. 6 ~ 9. 5
PMMA	8. 0 ~ 12. 5	PP	4. 8 ~ 9. 5
PA	1. 6 ~ 9. 5	PS	3. 2 ~ 9. 5
PPO	6. 4 ~ 9. 5	SPVC	3. 2 ~ 9. 5
PPS	6. 4 ~ 12. 8	HPVC	9. 5 ~ 13

6. 3. 3　分流道的平衡和模腔的布置

在多型腔的模具中，分流道的布局形式很多。分流道的布局形式与型腔的布局密不可分。分流道的布局是围绕型腔的布局而设置的，分流道的布局形式很大程度上取决于型腔的布局，两者应统一协调，相互制约。

1. 分流道的平衡布局

分流道的平衡就是保证流经多腔模具的每个分流道进入模腔的塑料流量相等，到达所有模腔的塑料具有相同的压力和温度，这样就可以保证模具生产的所有制品具有一致的性能。

但是，实际上很难达到理想的平衡流动状态。由于流道加工精度和粗糙度的影响、流道周围不均匀的加热和冷却、浇口的制造公差、各型腔排气的不均匀性以及塑料熔流在各流道分配点的方向变化产生的不均匀流动等诸多原因，使得完全平衡不可能实现。

为了尽可能做到流道的平衡，通常使主流道到各型腔的分流道的长度、断面尺寸以及形状都完全相同，尽可能保证各型腔同时均衡进料，同时注塑完毕。平衡布局大致分为以下几种形式。

（1）圆形　圆形布局是将型腔分布在以主流道为圆心的圆周上。比 2 大的任意合理的型腔数都可以采用圆形布局，其形式如图 6-16 所示。图 6-16a 中，塑件的外形特点采用圆形布局形式较为理想，型腔排列紧凑，分流道很短；图 6-16b 中，分流道未设置冷料穴，冷料有可能进入型腔；图 6-16c 的形式在分流道末端设置了冷料穴，设计较为合理；图 6-16d 的设计更为合理，可以克服分流道过密的缺点，减少流道凝料。圆形分布的分流道有时排列不够紧凑，分流道较长，分流道占用的区域较大，加工时需要采用极坐标加工。

（2）一字形　一字形布局是型腔排列成一条直线，其基本形式如图 6-17 所示。图 6-17a一般用于细长制品，图 6-17b 是两型腔模具的基本排列形式。

（3）X 形　X 形布局，是以 4 个型腔为 一组，分流道呈 X 形交叉状，如图 6-18 所示。X 形布局结构紧凑，是 4 的偶数倍型腔常采用布局方式。

（4）Y 形　Y 形布局，是以 3 个型腔为一组进行布局排列，常用于型腔数为 3 的偶数倍的模具，如图 6-19 所示。其中，图 6-19a 结构更为紧凑，有利于节省模具布局空间，图 6-19b 分流道加工较为方便。

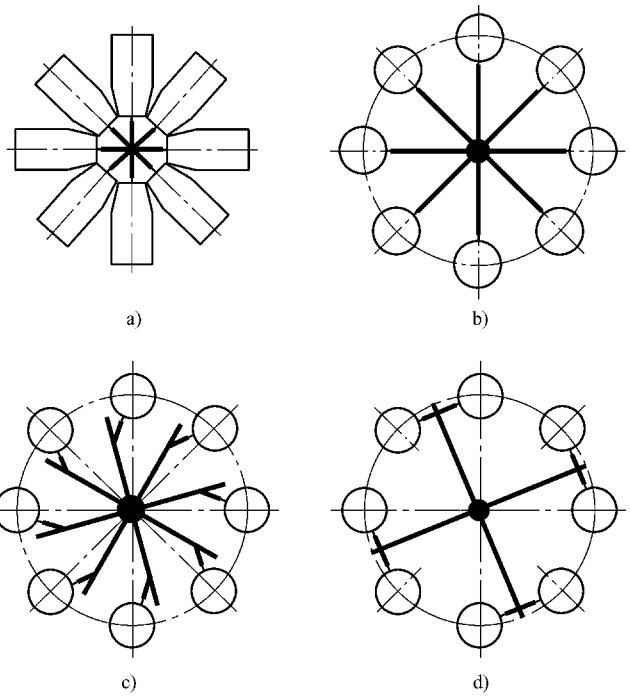


图 6-16　分流道圆形布局形式

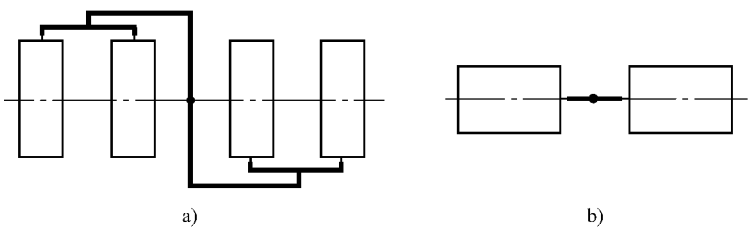


图 6-17　分流道一字形布局形式

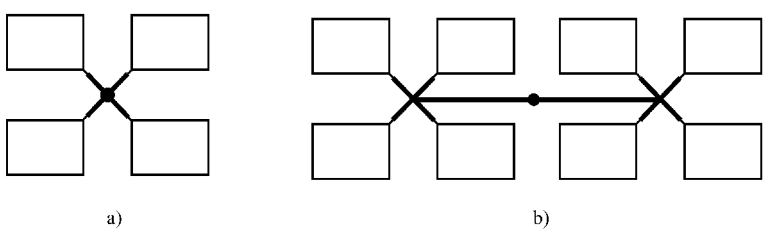


图 6-18　分流道 X 字形布局形式

（5）H 形　H 形布局的形式如图 6-20 所示。图 6-20a 是 H 形布局的基本形式，以 4 个型腔为一组按照 H 形排列。可扩展为其他 4 的偶数倍型腔数的模具布局，如图 6-20c 和图 6-20d。图 6-20b 是 H 形布局的一种特殊形式，在 6 型腔布局中经常用到。H 形分流道布局具有排列紧凑、对称平衡、加工方便等优点，在多型腔模具中应用广泛。

（6）综合形　综合形分流道的布局形式如图 6-21 所示。图 6-21a 采用的是 Y 形和 S 形综合的分流道，图 6-21b 是 Y 形和 H 形综合的分流道。这两种布局方案中，图 6-21a 的分流道长度短一些，图 6-21b 的塑料流动方向变化较少；图 6-21c、d 都是 X 形和 Y 形综合的

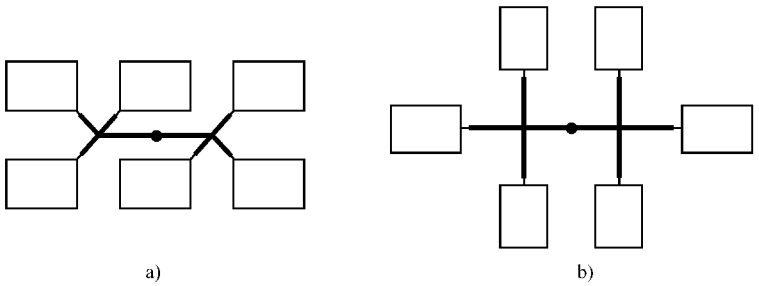


图 6-19　分流道 Y 形布局形式

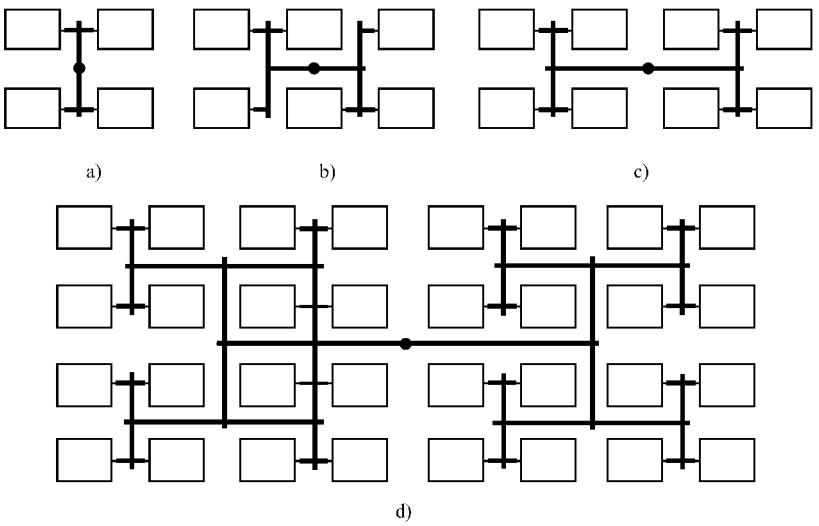


图 6-20　分流道 H 形布局形式

分流道，这两种分流道结构简单，塑料流动方向变化很少，缺点是型腔排列不够紧凑，占用较大的模具空间；图 6-21e 是 X 形和 H 形综合的分流道，广泛用于型腔数为 8 的偶数倍的模具布局；图 6-21f 是 Y 形和 H 形综合的分流道，常用于型腔数为 6 的偶数倍的模具布局，缺点是流道加工复杂，流动方向变化多。综合形分流道布局，可以根据具体的实际情况综合考虑，灵活应用。

在 X 形和 Y 形布局的最后分流道处，塑料流动会有一些差别。例如，对于 X 形布局，其中两个末端分流道与主流道成 135°流动，另外两个末端分流道与主流道成 45°流动，这些对塑料在流道中的流动情况有些影响，但这种差别通常都在容许的范围之内，可以忽略不计。对于 H 形布局，不存在这种差别。

2. 分流道的非平衡布局

分流道的非平衡布局形式如图 6-22 所示。与相应的平衡布局相比，非平衡布局具有方案简洁、流道短、流道投影面积小、流道方向变化少及加工方便等优点。但由于主流道到各型腔的分流道长度不同，需要对浇口或分流道的尺寸做些调整，在实践中一般先采用较小的浇口尺寸。在试模时，根据实际情况增大相应浇口的尺寸，直到各个型腔同时均匀进料，同时注塑完毕。由于注塑速度越快，流道距离差别的影响就越小，所以分流道的非平衡布局在高速、高压塑料注塑模具中的应用更为广泛。总的来说，要根据实际情况，尽可能将分流道

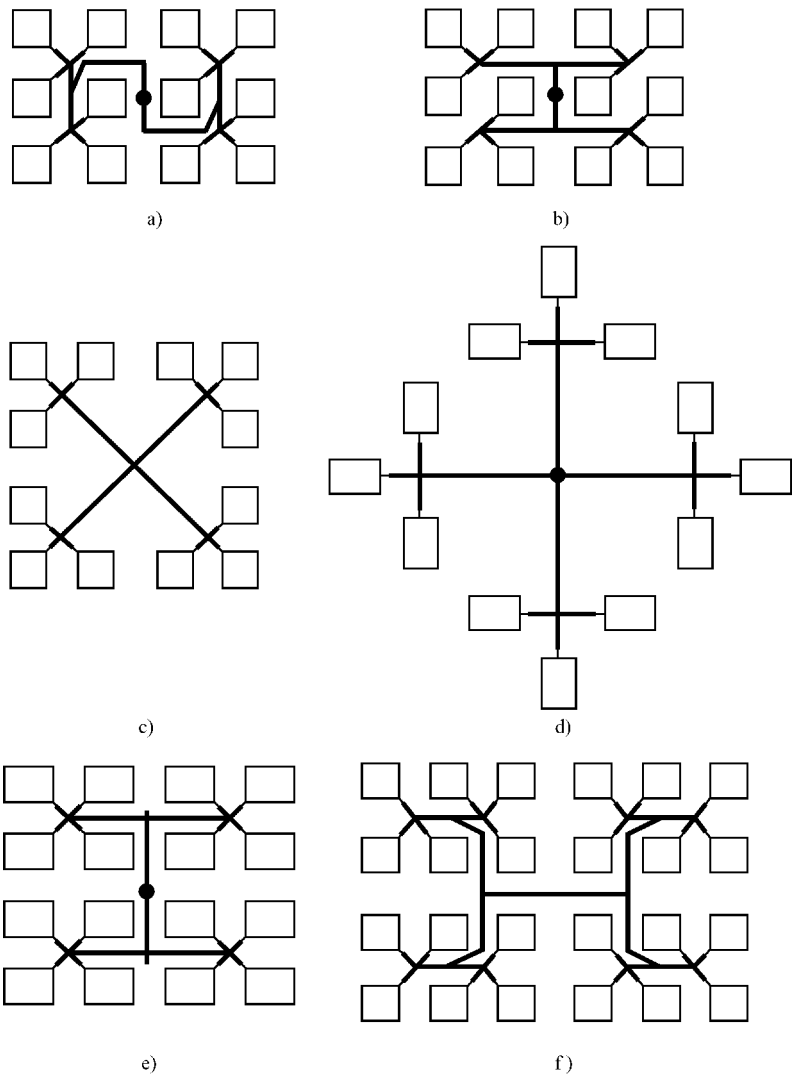


图 6-21　综合形分流道布局形式

对称布置。

3. 单型腔分流道

在单型腔模具中，如果塑件在分型面上的投影面积是连续的，可以采用中心进料的浇注方式，即不设置分流道，熔融塑料从主流道流经浇口直接进入型腔，如图 6-23 所示。这样会在塑件中心残留一个较大的浇口痕迹，塑件顶出之后，主流道凝料需要切除。

当塑件需要从侧面进料，而在产品试制阶段或产品批量不大，要求只开一个型腔时，需要将型腔安置在偏离模具中心的地方。此时需增加一个与型腔合模力相平衡的载荷（可使用相应的压力垫，与型腔对称放置），使合模机构不会偏心加载，如图 6-24 所示。当需要加大批量生产时，可在放置压力垫的位置再开型腔。

如果在塑件外形之间有一个足够大的空心空间时（如环形塑件、框形塑件、U 形塑件等），可以将浇注系统设计成由主流道抵达分型面，并通过分流道从内侧与浇口相连，这种形式可以在合适的位置上开设任意数量的浇口，如图 6-25 所示。

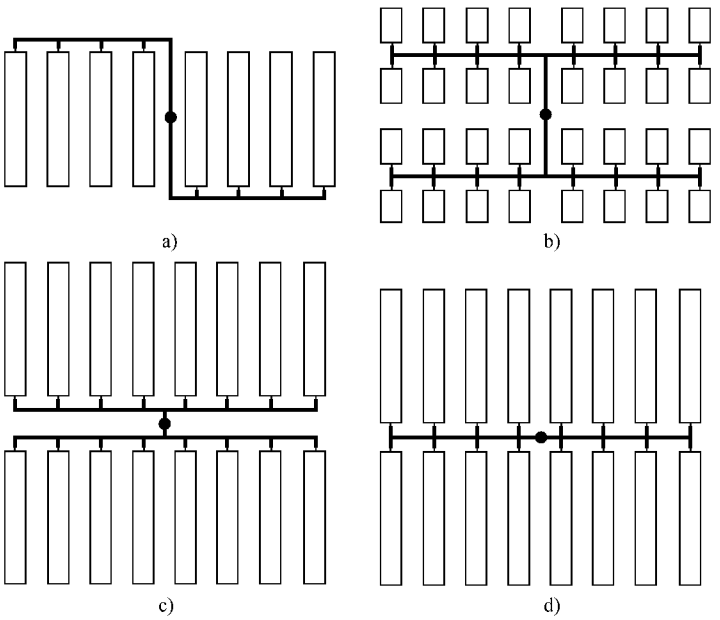


图 6-22　分流道的非平衡布局形式

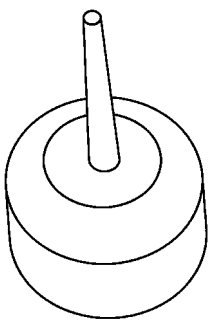


图 6-23　单型腔中心进料

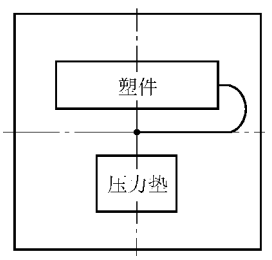


图 6-24　单型腔合模力平衡

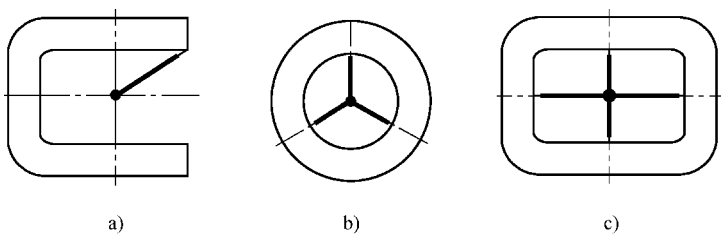


图 6-25　单型腔分流道进料

6.4　注塑模具浇口设计

6.4.1　浇口的作用

浇口是熔融塑料经分流道注入型腔的进料口，是主流道、分流道与型腔之间的连接部分。

一般这段很短的通道截面积很小，当熔融的塑料流在高压下通过浇口时，因为浇口的截面积很小，使塑料流速加快，加之摩擦作用，又使塑料流的温度升高，粘度降低，提高了塑料的流动性，有利于充满型腔。因此它是浇注系统的关键部位，而浇口的位置及其形状、尺寸的设计正确与否将直接决定着塑件质量、注塑效果和注塑效率。一般说来，注塑件出现的缺陷，如缺料、缩孔、熔接痕、翘曲变形等也往往是由于浇口的设计不当造成的。

它们的基本作用如下：

1）使熔融塑料快速进入并充满型腔，并在保压过程中进行补料。

2）塑件注塑成型后，熔体在浇口处首先凝结，防止其倒流。

3）使浇注系统凝料易于切除。

4）对于多型腔模具，可以平衡进料；对于多浇口单型腔模具可以控制熔接缝位置。

6.4.2　浇口的形式和特点

1. 直接浇口

直接浇口是熔融塑料从主流道直接注入型腔的浇口。由于熔融塑料经过浇口时不受任何限制，所以又称非限制性浇口，如图 6-26 所示。直接浇口大端直径要尽量小，一般情况下 $D \leqslant 2t$，端部圆角 $r = 1 \sim 3\text{mm}$，主流道锥角 $\alpha = 2° \sim 4°$。

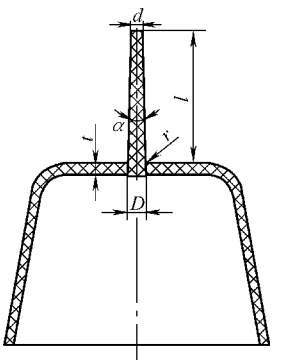


图 6-26　直接浇口

（1）优点　塑料熔体由主流道的大端直接进入型腔，因此具有流动阻力小、流程短及补给时间长等特点。这样的浇口有良好的熔体流动状态，塑料熔体从型腔底面中心部位流向分型面，有利于补缩和排气，并且浇注系统在分型面上的投影面积最小，模具结构紧凑，注塑机受力均匀。

（2）缺点　浇口附近热量集中，易产生较大的内应力，导致塑件翘曲变形，也易产生缩孔或表面凹陷。由于浇口处熔体固化慢，所以成形周期长，同时浇口较大去除较困难，而且痕迹较大，影响美观。

直接浇口多用于注塑成型大、中型长流程、深型腔的筒型塑件，尤其适合如聚碳酸脂、聚砜等高粘度塑料。另外，这种形式的浇口只适合于单型腔模具。

在设计浇口时，为了减小与塑件接触处的浇口面积，防止该处产生缩口、变形等缺陷，一方面应尽量选用较小锥度的主流道锥角 α，另一方面应尽量减小定模板和定模座板的厚度。

2. 侧浇口

侧浇口设置在模具的分型面处，从塑件的内侧或外侧进料，国外称为边缘浇口或标准浇口。广泛用于一模多腔的模具中，适用于成型各种形状的塑件，如图 6-27 所示。

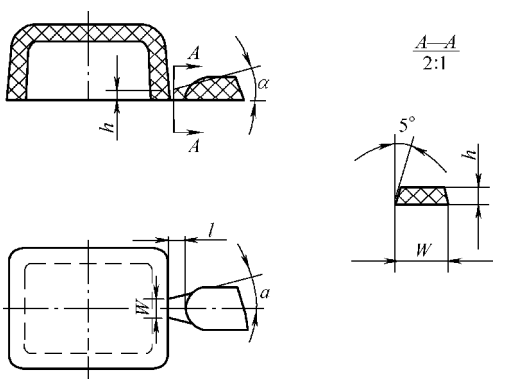


图 6-27　侧浇口

侧浇口的断面形状一般为矩形，为方便流道的顶出，浇口侧面可做成 5°左右的斜面；从分流道至塑件浇口段采用 $\alpha = 15° \sim 30°$ 的斜角，以利于塑料流动和保压，但在靠近塑件部

位，建议采用0.1～0.2mm的平直段，以方便保证各个浇口的平衡；浇口的长度一般取 l = 0.75～2mm，在强度允许的情况下，尽量采用较小数值；浇口宽度 W 和浇口高度 h 可以采用大约 $W=2\sim3h$ 数值，也可以采用如下经验公式：

$$h = nt \tag{6-1}$$

$$W = \frac{n\sqrt{A}}{30} \tag{6-2}$$

式中 h——侧浇口深度（mm），中小型制品常用 h = 0.5～2mm，约为制品最大壁厚的1/3～2/3；

t——制品壁厚（mm）；

n——塑料材料系数，见表6-3；

W——浇口宽度（mm）；

A——型腔表面积，即制品外表面面积（mm^2）。

经计算所得的侧浇口截面尺寸，可用 $\gamma = 6q/(Wh^2) \geqslant 10^4 s^{-1}$ 做初步校核。

表6-3 塑料材料系数 *n*

材料分类	材料名称	材料系数 n
Ⅰ	PE、PS	0.6
Ⅱ	POM、PC、PP	0.7
Ⅲ	CA、PMMA、PA	0.8
Ⅳ	PVC	0.9

（1）优点 浇口截面小，去除浇口容易，浇口痕迹不明显，浇注系统塑料的消耗量少；侧浇口多为扁平形状，可以大大缩短浇口的冷却时间，从而缩短成型周期；侧浇口可根据塑件的形状特点灵活多样地选择浇口位置；浇口截面形状简单，容易加工，并能随时调整浇口尺寸，较为方便地达到各型腔的浇口平衡，改善注塑条件。

（2）缺点 注塑压力损失较大，塑件和浇口不能自行分离，深型腔塑件的排气不好，容易形成熔接痕、缩孔及气泡等缺陷。

侧浇口适合于各种形状的塑件，但细长桶形塑件不宜采用。

3. 重叠式浇口

重叠式浇口又称搭接浇口，它基本上与侧浇口相同，但浇口不是在塑件的侧边，而是在塑件端面的边缘，如图6-28所示。它是典型的冲击型浇口，在成型平面形状制品时，可有效防止喷流现象。如果成形条件不当，会在浇口处产生表面凹坑，切除浇口比较困难，会在塑件表面留下明显的浇口痕迹。

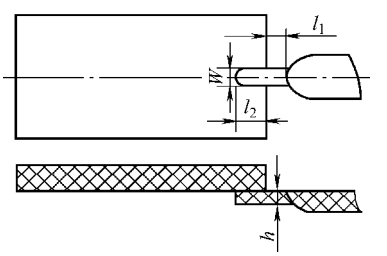


图6-28 重叠式浇口

重叠式浇口的深度 h、宽度 W 及长度 l_1，可按侧浇口的确定方法计算。重叠部分长度 l_2 可按照下面公式计算：

$$l_2 = h + W/2 \tag{6-3}$$

式中 l_2——重叠长度（mm）；

h——浇口深度（mm）；

W——浇口宽度（mm）。

4. 扇形浇口

扇形浇口是侧浇口的变异形式，是宽度从分流道往型腔方向逐渐增加呈扇形的侧浇口。这种浇口开设在分型面上，从型腔外侧进料，浇口沿进料方向逐渐加宽，厚度则逐渐减薄。

（1）优点　从浇口进入型腔的塑料熔体波前较为平直，可减少翘曲变形。

由于扇形浇口沿着进料方向逐渐变宽，厚度逐渐减至最薄，塑料熔体流经浇口时，在宽度方向得到均匀分配，可降低塑件内应力，减小其翘曲变形；可以有效避免包围空气，防止气泡的产生。

（2）缺点　去除浇口比较困难，痕迹比较明显。

扇形浇口如图 6-29 所示，浇口高度 $h=0.25\sim1.5$mm（不能大于塑件厚度的 1/2），长度 $l=0.7\sim1.5$mm，宽度一般可取 $B/4$（B 为浇口处的型腔宽度），不小于 8mm，浇口的总截面面积不能大于主流道的截面积。从分流道至塑件浇口段采用 $\alpha=15°\sim30°$的斜角，在靠近塑件部位，建议采用 0.1～0.2mm 的平直段，保证多型腔模具中浇口截面相同。

扇形浇口常用来成型宽度较大的板状塑件及浅壳形或盒形塑件，颇为适宜。

5. 平缝式浇口

平缝式浇口又称薄片式浇口，也是侧浇口的一种变异形式。浇口的分配流道与型腔侧边平行，其长度通常大于塑件宽度，如图 6-30 所示。

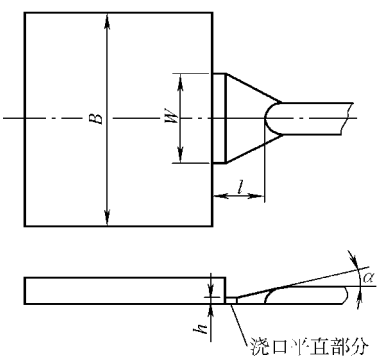


图 6-29　扇形浇口

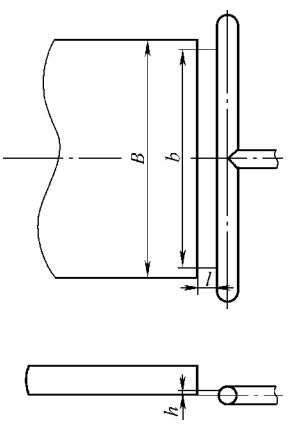


图 6-30　平缝式浇口

一般取浇口高度 $h=0.2\sim0.8$mm，也可按公式计算：

$$h=0.7nt \tag{6-4}$$

式中 n、t 的含义与式（6-1）相同。

浇口长度 $l\geqslant1.3$mm，以便于浇口切除，宽度 $b=(0.75\sim1)B$。

（1）优点　塑料熔体先在平行流道内得到均匀分配，再以较低的线速度呈平行流动，均匀地进入型腔，因而塑件内应力小，减少了因定向而产生的翘曲变形，且型腔排气良好。

（2）缺点　浇口切除加工量大，痕迹明显，去除浇口比较困难，必须用专用工具将其去除，从而增加了塑件的生产成本。

平缝式浇口常用来成型平直的大面积薄壁塑件。

6. 环形浇口

熔融塑料沿塑件的整个外圆周而扩展进料的浇口称为环形浇口，也称外环形浇口。环形浇口主要用于成型圆筒形制品或中间带孔的制品，如图 6-31 所示。

由于塑料熔体环绕型芯均匀地进入型腔，充模均匀，注塑时熔料的流程短，且料流变向小，减少了注塑压力损失，圆周上各处流速大致相同，流动状态好，型腔中的空气容易排除，熔接痕可以避免。但浇注系统耗料较多，浇口去除困难，浇口痕迹明显。

环形浇口的分流道呈环形布置，截面为圆形或矩形，浇口为环形平缝式，浇口高度 h 可参照平缝式浇口公式（6-4）设计，浇口长度一般取 $l=0.75\sim1.5$mm。

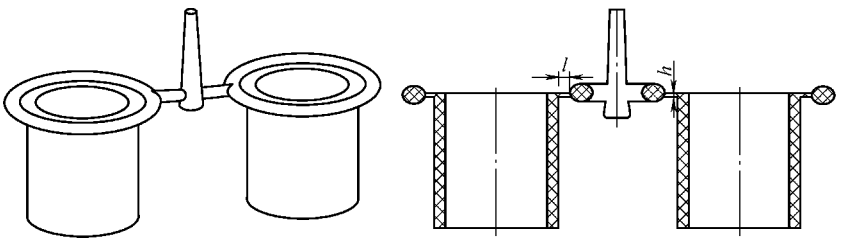


图 6-31　环形浇口

7. 盘形浇口

盘形浇口是熔融塑料沿塑件的内圆周而扩展进料的浇口，也成为内环形浇口。用于内孔较大的圆筒形制品，或具有较大长方形内孔的塑件，浇口在整个内孔周边上，如图 6-32 所示。

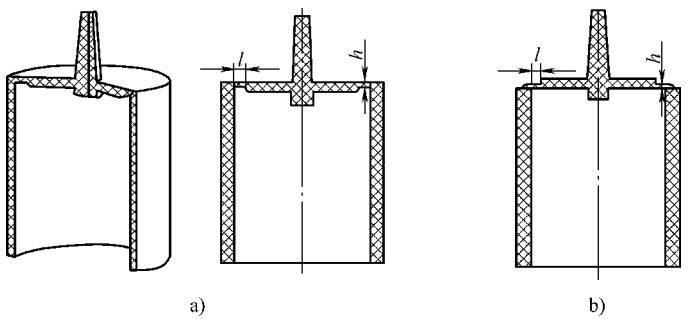


图 6-32　盘形浇口

盘形浇口具有进料点对称、充模均匀、能消除拼缝线、排气便利和型芯受力均匀等优点。盘形浇口与型腔形成密封空间，在塑件脱模时，内部会形成真空状态，阻碍脱模，浇口凝料切除加工量较大。盘形浇口的高度根据情况可取 $h=0.2\sim1.5$mm，也可参照平缝式浇口公式（6-4）设计，浇口长度一般取 $l=0.75\sim1.5$mm。图 6-32a 为内孔进料盘形浇口，图 6-32b 为端面进料盘形浇口，浇口与端面搭接长度参照公式（6-3）计算。

8. 伞形浇口

伞形浇口是盘形浇口的变异形式，也称分流式浇口。在动模型芯头部设有一圆锥体，起分流作用，如图 6-33 所示。

它的特点与盘形浇口相似，出于圆锥的分流作用，使流道的拐角变小，从而使料流更加通畅。为了保持塑件内孔的完整性，一般使型芯的直面高出塑件 0.5～1mm。盘形浇口塑料耗量较大，且浇口切除困难，而且浇口痕迹出现在塑件端面。为了便于消除凝料，浇口厚度取 0.5～0.8mm。

9. 轮辐浇口

轮辐浇口是分流道呈轮辐状分布在同一平面内，熔融塑料沿塑件的部分圆周而扩展进料的浇口。它是盘形浇口的变异，即将盘形浇口的整个圆周进料改为轮辐式几小段圆弧形进料，其结构形式如图 6-34 所示。它除了有盘形浇口的特点外，浇口较小，易于消除浇口凝料，特别是在大型塑件中比盘形浇口减少了塑料用量，同时，还克服了盘形浇口因形成真空，塑件难以脱模的问题。

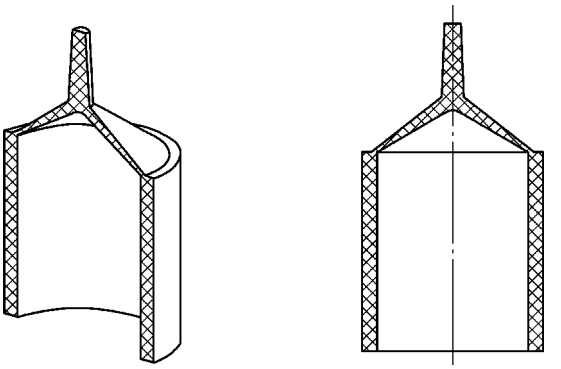


图 6-33　伞形浇口

但是，由于注塑时是沿着圆周上的几小段浇口进料，塑件上可能产生几条拼合缝，尤其是在注塑初期，模具温度偏低时，拼合缝尤其明显，从而影响塑件的强度。

轮辐浇口有如图 6-34a 所示的内孔进料和图 6-34b 所示的端面进料，其注塑效果大体相同，一般根据塑件的具体情况选用。浇口长度 l 可取 0.8 ~ 1.8mm，浇口深度 h 和宽度 w 可参照侧浇口公式（6-1）和（6-2）计算。端面进料重叠部分，可参照重叠式浇口公式(6-3)计算。

10. 爪形浇口

爪形浇口是伞形浇口和轮辐浇口的变异形式。它在型芯头部的圆锥体上或在主流道的内壁上均匀地外设几处浇口，具有伞形浇口和轮辐浇口共有的特点，浇口较小，易于清除浇口凝料。适用于内孔较小的管状制品以及同心度要求高的制品。由于型芯的顶端伸入定模中，起到定位和支承作用，可以避免型芯的偏移和弯曲。爪形浇口的结构形式如图 6-35 所示，它的进料方式也有图 6-35a 所示的端面进料和图 6-35b 所示的内孔进料。端面进料浇口长度可取 $l=(1/2\sim2/3)t$，内孔进料浇口高度可取 $h=(1/3\sim2/3)t$，其他尺寸可参照伞形浇口和轮辐浇口设计。

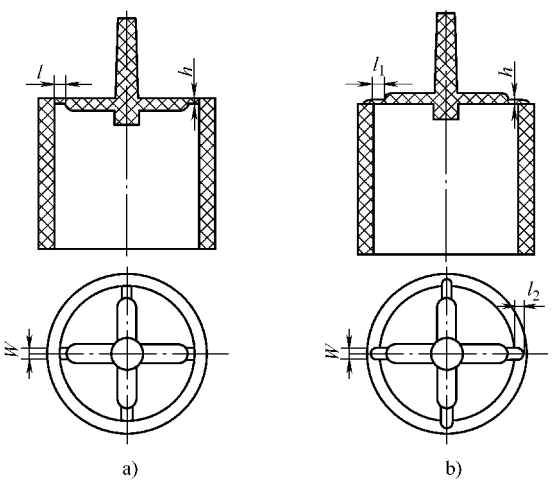


图 6-34　轮辐浇口

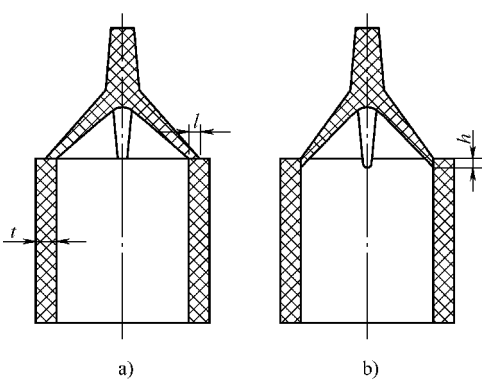


图 6-35　爪形浇口

11. 点浇口

点浇口是截面形状如针点的浇口，又称针状浇口。它是比较常用的浇口形式，应用范围十分广泛。

点浇口的优点是：

1）由于浇口的截面积尺寸较小，一般 $d=0.5\sim1.8$mm。当熔料通过浇口时，有很高的剪切速率和摩擦，产生热量，提高熔料的温度，降低熔料的粘度，有利于熔料的流动，从而能获得外形清晰、表面光泽的塑料制品。这对于 PE、PP 和 PS 等对剪切速率敏感的熔体尤为有效。

2）开模时浇口可自动拉断，便于实现制品生产过程的自动化。

3）去除浇口后残留痕迹小，不明显，能较自由地选择浇口位置，不影响塑件外观，容易修整。

4）在多型腔模中，容易实现各型腔的平衡进料。

5）对于投影面积大的制品或者易于变形的制品，采用多个点浇口，能够提高制品的成形质量。

6）点浇口一般开在塑件顶部，注塑流程短，拐角小，排气条件好，容易成型。

点浇口的结构形式如图 6-36 所示，图 6-36a 中，由于没有界限分明的切断点，浇口通常会留下一个较长的突起，成型后需修平；图 6-36b 是一种较为常用的形式，但难以修整加工和检测；图 6-36c 也是一种很常用的形式，在浇口的端部设计了一段平直部分（约 0.2mm），切断点明确，便于修整加工。点浇口的主要尺寸为：浇口直径 $d=0.5\sim1.5$mm，浇口长度 $l=0.5\sim2$mm，$SR=1\sim2.5$mm，$\alpha=2°\sim4°$，$\beta=20°\sim60°$。

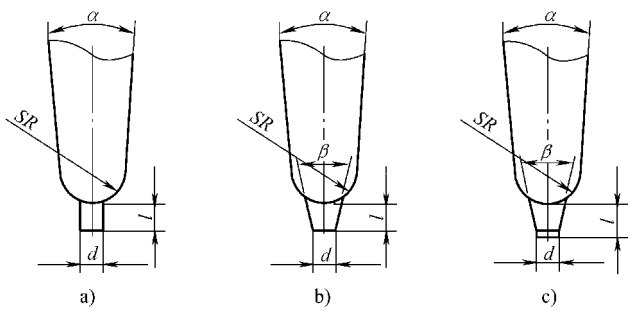


图 6-36　点浇口的结构形式

对于采用点浇口的模具，一般需要设置拉料杆，如图 6-37a 所示。单点浇口由于无法设置拉料杆，可利用浇口套加工出倒扣形式，如图 6-37b 所示。当分流道穿过两块模板而需要采用分级对接时，为保证顺利脱模，后一级分流道要比对接前一级分流道的单边直径减小 0.2～0.5mm。

点浇口的缺点是：

1）为了能取出流道凝料，必须另设一模板，即形成两个分型面的三板式模具结构或者单分型面热流道结构，费用较高。由于取出凝料耗费了时间，使成型周期加长，影响成型效率。必要时，应设置点浇口凝料自动脱落机构。

2）由于点浇口直径较小，所以注塑压力的损失较大，而引起的收缩率大。浇口附近会产生较大的内应力而引起翘曲、变形等缺陷，并在浇口附近形成脆弱点。为减少压力损失，

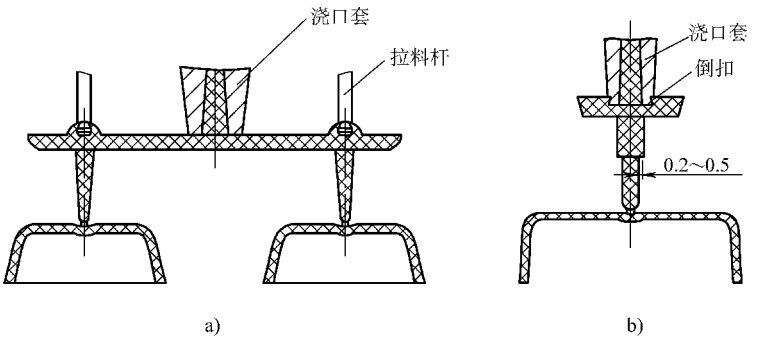


图 6-37　点浇口拉料杆

实践中往往将浇口长度做的尽量短些。

3）由于浇口附近熔料流速很高，造成分子高度定向，增加局部应力，对于壁薄的塑件容易发生开裂现象。薄壁件的点浇口可采用图 6-38 所示的结构形式。在不影响塑件使用性能的前提下，局部加大浇口对面塑件的壁厚，并使其呈圆弧过渡。

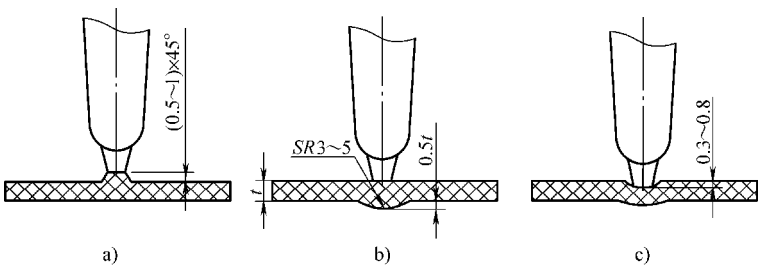


图 6-38　薄壁件的点浇口形式

4）不适合粘度高和对剪切速率不敏感的塑料熔体。

12. 潜伏浇口

潜伏浇口又称为隧道式浇口，是分流道的一部分呈倾斜状潜伏在分型面下方或上方，进料口设置于塑件内外侧面，脱模时便于流道凝料与塑件自动切断的点状浇口。

潜伏式浇口是点浇口在特殊场合下的一种应用形式，是通过点浇口演变而来的。它除了具有点浇口的特点外，还具有以下特点：

1）潜伏式浇口的位置选择范围更广。它既可以选在塑件的外表面、侧表面，又可选在端面和背面。由于点浇口的截面积较小，所以不会损伤塑件的外表面。

2）在开模时可实现自动切断浇口凝料，提高注塑效率，省去后加工工序带来的麻烦，容易实现自动化生产。

3）点浇口模具必须另加一模板二次开模才能取出凝料，而潜伏式浇口只用二板式一次开模即可，因而模具结构简单，造价降低。

4）由于潜伏式浇口凝料在脱模时必须有较大幅度的弹性变形，因此应选用较小的尺寸，以增强浇口的柔软性，不适于脆性材料，以免浇口断裂，堵塞浇注通道。

图 6-39 所示为潜伏浇口的几何形状及相应的设计参数。图 6-39a、b、c 为圆头潜伏浇口，保温性能好，浇口断面好，不易拖丝，浇口冷却时间长，对加工的要求高，其中图 6-39a较为常用；图 6-39d、e、f 为锥形潜伏浇口，浇口冷却速度快，生产周期短，易于加工，但浇口直径大时容易拖丝，其中图 6-39d 和图 6-39e 比较常用。

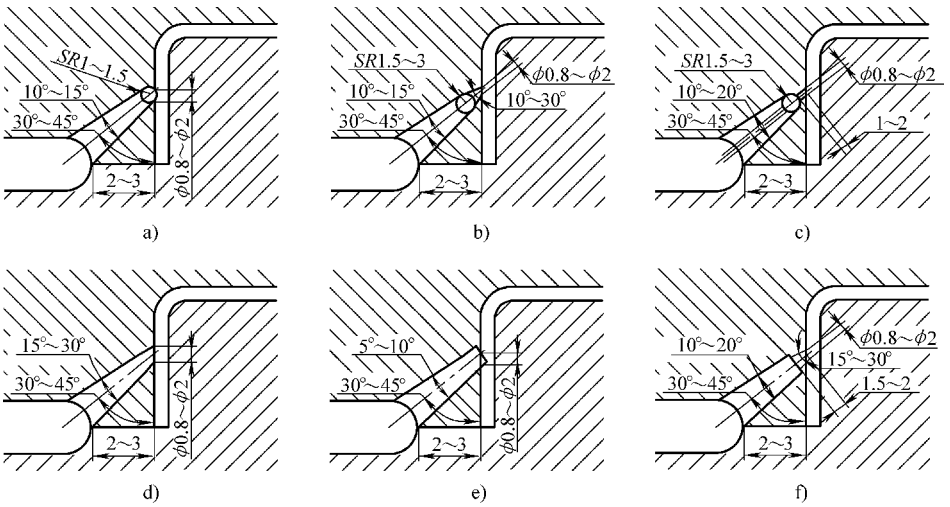


图 6-39　潜伏浇口的几何形状及设计参数

潜伏式浇口有如下几种结构形式。

（1）拉切式浇口　如图 6-40 所示，拉切式潜伏浇口是将分流道设在主分型面上，浇口潜入型腔板一侧，斜向进入型腔，浇口在塑件外侧表面进料。开模时，模具从主分型面分型，塑件留在动模一侧逐渐后移。在拉料杆的作用下，分流道和浇口凝料被迫随动模后移。这时，浇口进入型腔的尖角处起刀刃的作用，将浇口凝料切断，浇口又迫使凝料产生弹性变形，与分流道和塑件一起被拉出定模，如图 6-40b 所示。顶出过程中，顶杆和钩料杆同时将业已分离的浇口凝料与塑件一起分别顶出，如图 6-40c 所示。

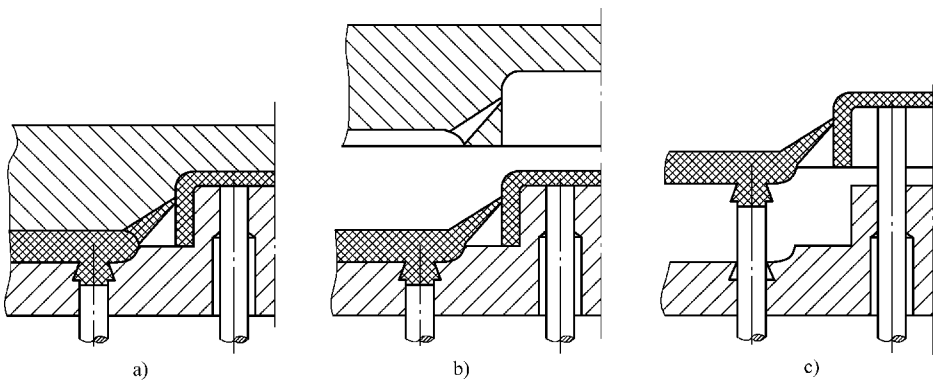


图 6-40　拉切式潜伏浇口

a）注塑　b）开模及切断浇口　c）顶出

（2）推切式浇口　如图 6-41 所示，推切式潜伏浇口是将浇口放在动模的一侧，开模后在顶杆顶出塑件的同时，分流道钩料杆在刃口的作用下强行将浇口凝料推断并顶出。

图 6-41a 是将浇口直接开设在制品外表面上。图 6-41b 是将浇口开设在推杆上，此时推杆必须设计防转，用于外部不允许有浇口瑕疵的产品。图 6-41c 是将浇口开设在制品内部的一个扁形特征上，此特征可以为产品的一部分，也可以是额外增加的一部分，顶出后再去除。为了使浇口顺利切断，需要顶杆低于分型面 L 距离，防止顶杆在浇口切断之前发生滑移或变形，一般可取 $L \geqslant L_1 + L_2$。

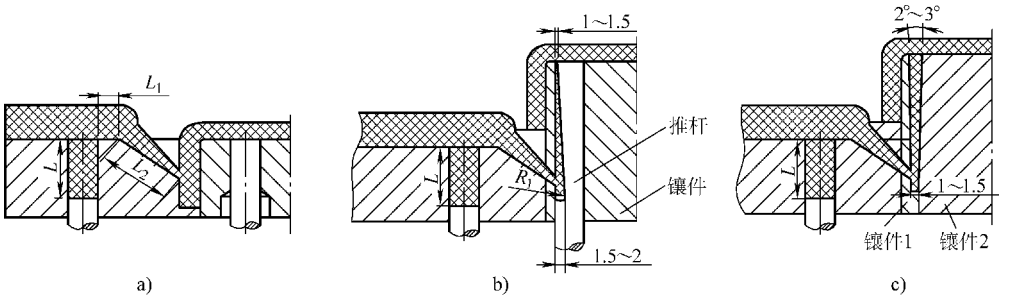


图 6-41　推切式潜伏浇口

（3）复式浇口　如图 6-42 所示，复式潜伏浇口多用于细长的塑料制品（例如注塑器的圆筒），是在细长塑件的外侧底部开设两个或多个均布的潜伏式浇口。从外侧两个浇口同时进料，减少了物料对型芯的冲击，保证了塑件的内外同心度。如果使各个浇口同方向偏离塑件轴线一个角度，可以使料流以螺旋的方式进入模腔融合，避免出现明显的熔接痕。有时，根据需要可开设 3 个甚至 4 个浇口。

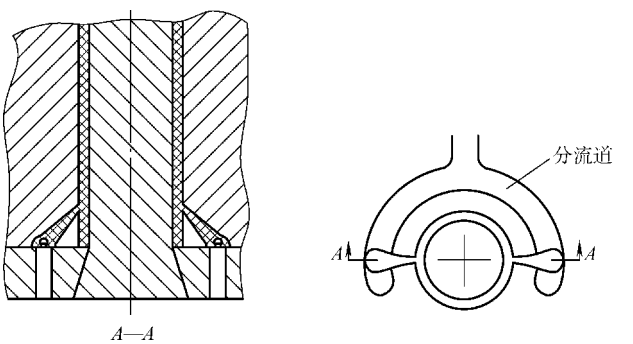


图 6-42　复式潜伏浇口

（4）弯曲式浇口　如图 6-43 所示，用于注塑成型不允许外表面有任何不良痕迹的制品，宜用于 ABS 等软性塑料，开模后通过顶杆顶出力拉断浇口，并顶出浇口凝料。图 6-43 中 A、B 视图为常见的两种浇口和制品的连接方式。弯曲式浇口的主要参考尺寸为：$D=4\sim6\text{mm}$，$d_1=0.8D$，$d_2\geqslant2.5\text{mm}$，$R=3d_1$ 或 $R=10\sim25\text{mm}$，d_1 过渡到 d_2 的角度为 3°～5°，$h=2\sim3\text{mm}$，$L=2.5D$ 或 $L>15\text{mm}$，S 数值需满足将弯曲式潜伏浇口顺利顶出，不产生滑移。

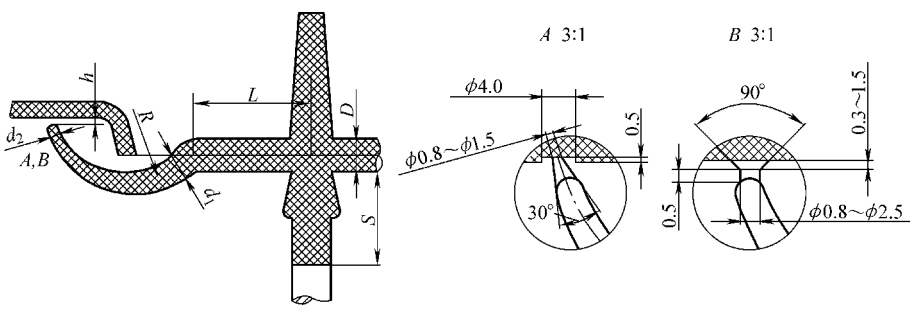


图 6-43　弯曲式浇口（A、B 为该处常见的两种结构形式）

13. 护耳浇口

护耳浇口是为了避免浇口附近的应力集中影响塑件质量，在浇口和型腔之间增设护耳式的小凹槽，使凹槽进入型腔处的槽口截面充分大于浇口截面，从而改变流向，实现均匀进料，其结构如图 6-44 所示。

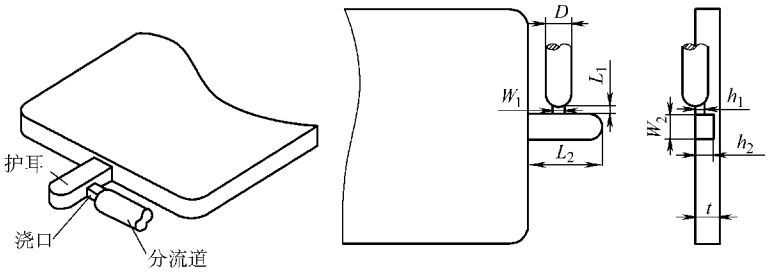


图 6-44　护耳式浇口

护耳浇口用于成型温度范围狭窄，流动性差的塑料，如硬聚氯乙烯、聚碳酸酯、丙烯酸酪等，以及要求塑件透明度高的聚甲基丙烯酸甲酪等制品。

护耳浇口在塑件的侧面的厚壁处，从分流道来的料流经过浇口，不是直接进入型腔，而是先进入耳式的小凹槽，然后进入型腔。料流经过浇口时因摩擦而使其料温升高，有利于物料的流动，料流再经过与浇口垂直的护耳，缓冲并降低了流速，改变了料流的流向，使料流平滑而均匀地流入型腔，因而可减小浇口附近的残余应力，并防止涡流的产生，提高塑件的外观质量。当塑件宽度较大时，可采用多个护耳。这种浇口凝料去除比较困难，痕迹大。

护耳浇口的基本尺寸：浇口宽度 $W_1 = 1.5 \sim 3\text{mm}$，浇口高度 $h_1 = 0.7t$，浇口长度 $L_1 \geqslant 1.5\text{mm}$，护耳宽度 $W_2 = D$，护耳高度 $h_2 = 0.9t$，护耳长度 $L_2 \geqslant 1.5D$。

其中 D 为分流道直径（mm），t 为制品壁厚（mm）。

6.4.3　浇口的设计要点

塑件上浇口开设部位的选择，应注意以下几点：

1. 熔体破裂

避免熔体破裂现象在塑件上产生缺陷。浇口的尺寸如果比较小，而且正对着一个宽度和厚度都比较大的型腔，则塑料熔体在高压下以很大的速度流过浇口时，由于受到过高的剪切应力，将产生喷射和蠕动（蛇形流）等熔体破裂现象。有时塑料熔体从型腔的一端直接喷射到另一端，造成折叠，使成型制品产生波纹状痕迹；或在高剪切速率下，喷出高度定向的细丝或断裂物很快冷却变硬，与而后进入型腔的塑料不能很好地熔合，从而造成制品缺陷或表面瑕疵，如图 6-45 所示。同时喷射还会使型腔内的空气难以顺序地排出，在塑件上形成气泡或焦痕。

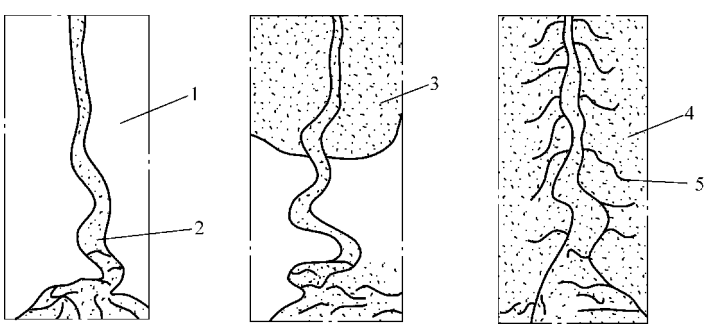


图 6-45　喷射造成的塑件缺陷

1—未填充部分　2—喷射流　3—填充部分　4—填充完成　5—喷射造成的缺陷

克服熔体破裂的办法有两种：一是加大浇口的断面尺寸，降低流速；二是采用冲击型浇口，即浇口开设方位正对着型腔壁或粗大型芯，如图 6-46 所示。图 6-46a、c、e 为非冲击型浇口，图 6-46b、d、f 为冲击型浇口。高速料流冲击在型腔壁或型芯上，从而改变流向，降低流速，均匀地填充型腔，使熔体破裂现象消失。这对提高塑件质量和避免表面缺陷是很有效的措施。

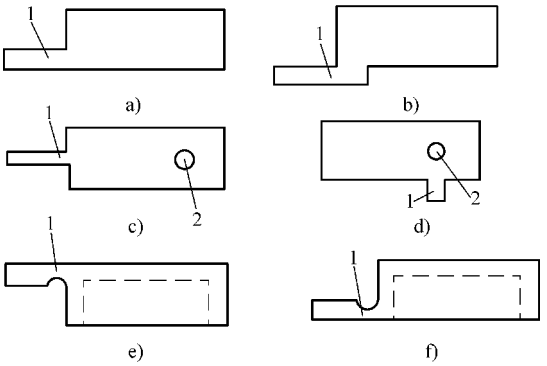


图 6-46　冲击型浇口与非冲击型浇口

1—浇口　2—型芯

2. 分子取向方位对塑件性能的影响

一般来说，希望塑料注塑制品具有各向同性，因此应尽量减少在流动方向上由于充模和补料而造成的分子取向作用，但要完全避免取向几乎是不可能的。对塑件来说，垂直于流向和平行于流向的强度、应力开裂倾向等都存在着差别。图 6-47 所示为一带有金属嵌件的聚苯乙烯塑件，由于收缩使嵌件周围的塑料层有很大的周向应力。当浇口开在图示 *A* 的位置时，分子取向方向与周向应力方向相垂直，此零件使用几个月后即产生开裂；若将浇口改在图示 *B* 的位置，分子取向沿着周向应力的方向，从而使应力开裂现象大为减少。

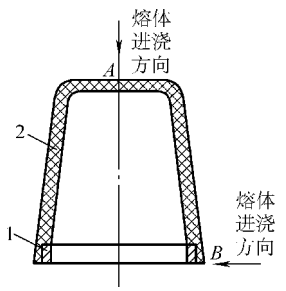


图 6-47　分子取向方位对塑件性能的影响

1—金属嵌件　2—塑件

流动距离越长，由于冷凝表面层与中心流动层之间的速度差越大，使分子取向程度增大，补料引起的内应力也越大；反之，流动距离短，分子取向引起的内应力也减小，翘曲变形也大为减少。如图 6-48 所示的大型平板形塑件，如果只用一个中心浇口，由于流动距离长，制品将出现翘曲变形，若改用 4 个或 5 个点浇口，则可有效地防止翘曲变形。

在特殊情况下，也可利用分子高度取向来改善塑件的某些性能。例如，聚丙烯铰链为达到几千万次弯折而不断裂，要求在铰链处分子高度取向。为此将两个点浇口开设在图 6-49

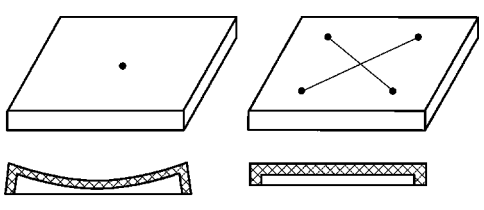


图 6-48　采用多点浇口以减小变形

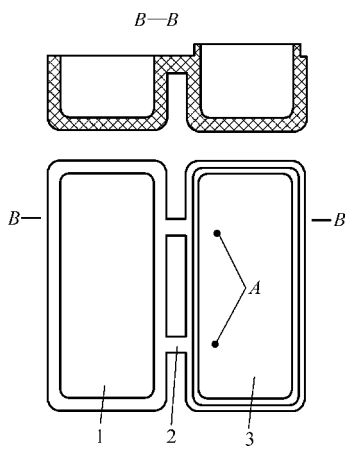


图 6-49　聚丙烯铰链处的分子取向

1—盖　2—铰链　3—底

中 *A* 的位置，熔融塑料通过很薄的铰链（约 0.25mm 厚）充满盒盖的型腔，在铰链处分子产生高度取向，脱模时又立即使它弯曲，以获得拉伸取向。

3. 流动、排气和补料

浇口部位要有利于流动、排气和补料。当塑件壁厚相差较大时，应在避免喷射的前提下，把浇口开在接近截面最厚处。反之，如果将浇口开在薄壁处，则熔融塑料进入型腔后，不但流动阻力大，而且很容易冷却，这都会影响物料的流动距离。

如图 6-50 所示的盒形制品，图 6-50a 中由于圆周壁比顶部壁厚大，当采用侧浇口进料时，熔融塑料首先充满圆周型腔，而在顶部形成封闭的气囊，使顶部型腔内的气体不能顺利排出，将造成制品中存在气泡、疏松、充模不满、熔接不牢或者在注塑时由于气体被压缩而产生的高温，将塑件局部烧焦碳化。因此，在远离浇口的部位，在型腔最后充满处，应设计排气槽，或利用顶出杆、活动型芯等处的间隙来排气。从排气角度出发，最好将浇口开在顶部，如图 6-50c 所示从中心进料，容易充满型腔并消除熔接痕。如从塑件外观质量要求出发不允许顶部中心进料时，则可增加顶部壁厚，如图 6-50b 所示，仍采用侧浇口，使顶部先充满，最后充填浇口对边的分型面处。

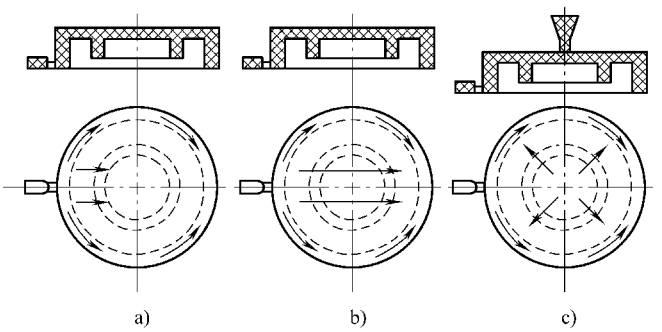


图 6-50　浇口位置对排气的影响

当塑件上带有加强筋时，可以利用加强筋作为改善塑料流动的通道。如图 6-51a 所示为侧面带有多个加强筋的塑件，也容易在顶部两端形成气囊，但如果在顶部开设一条纵向长筋，如图 6-51b 所示，将有助于物料的分配和排气。

从有利于补料的角度出发，厚截面处往往是塑件最后凝固的地方，极易因体积收缩而形成表面凹陷或真空泡，如将浇口开设在厚壁处则有利于补缩。

4. 熔接痕和熔接牢度

浇口设置要有利于减少熔接痕和增加熔接牢度。塑料熔体在型腔内的汇合处常会形成熔接痕，导致该处强度降低。浇口位置和数量决定着熔接痕的位置及数量，因此正确选择浇口的形式、位置及数量非常重要。浇口数量增多，熔接痕数量也增多。为减少塑件上熔接痕的数量，在流程不太长时，如无特殊需要，最好不要开设两个或更多的浇口，如图 6-52 所示。

对于圆环形塑件，为了减少熔接痕，浇口最好开在塑件的切线方向，如图 6-53a 所示。图 6-53b 是采用扇形浇口，浇口去除后，在塑件上留下较大的痕迹。对于较大型的圆环塑件，可采用图 6-53c、d 所示的浇口形式。为了增加熔接牢度，可在熔接部位外侧开设溢料穴，如图 6-53a、b 所示，使前锋冷料溢出。

对于体积较大的框形或箱形塑件，若只采用一个浇口，则流程较长，弯折亦较多，造成注塑压力损失较大，料流前端温度下降过多，以致熔接不牢，强度明显下降。因此在设计中应力求使各方向的流程较为接近，如图 6-54a 所示的浇口位置较好，而图 6-54b 中流程长，熔接点强度降低较多。

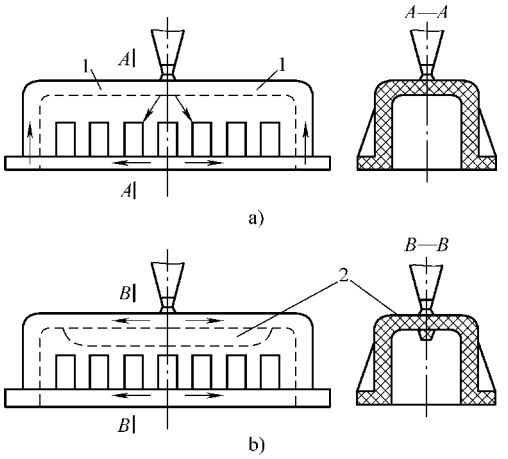


图 6-51　增设加强筋以利于塑料流动

1—气囊　2—长筋

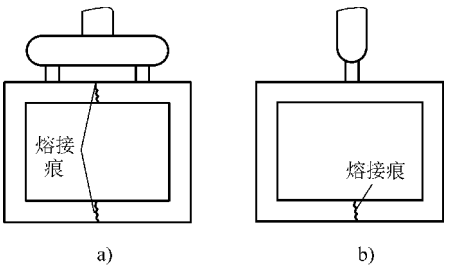


图 6-52　减少熔接痕的数量

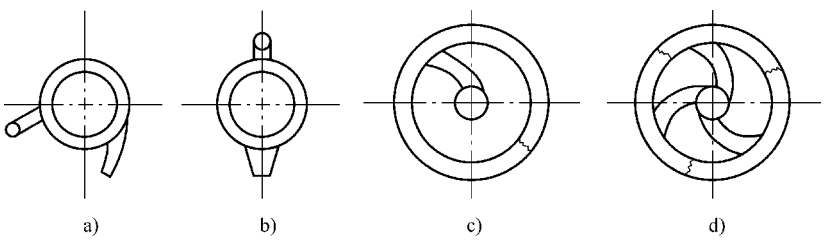


图 6-53　环形塑件的浇口设置

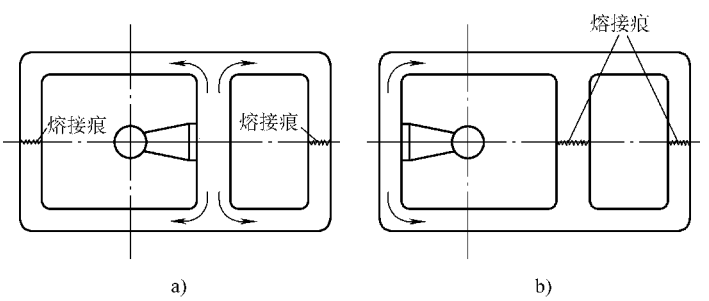


图 6-54　箱体塑件的浇口位置

对大型塑件，可以增加过渡浇口，如图 6-55b 中的 *A* 处，以缩短流程，提高熔接牢度。

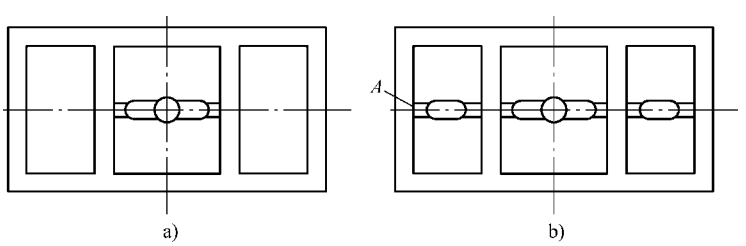


图 6-55　大型箱体需开设过渡浇口

还可采用多个点浇口来缩短流程，如图 6-56b 所示。对熔接痕的方位也应加以注意，如图 6-57 所示，有两个圆孔的平板塑件，其中图 6-57b 的浇口位置较为合理，熔接痕的方位对强度影响较小；图 6-57a 中的浇口位置在注塑成型后，熔接痕与小孔连成一线，使强度大大降低。

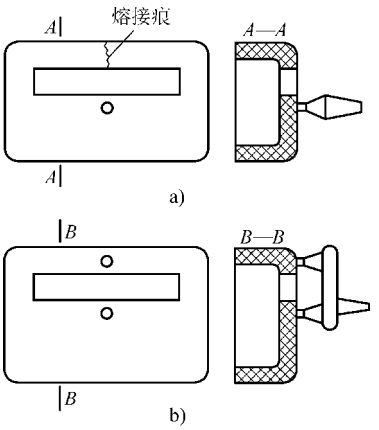


图 6-56　采用多个点浇口

5. 防止料流将型芯或嵌件挤歪变形

对于有细长型芯的圆筒形塑件，应避免偏心进料以防型芯产生弯曲变形，如图 6-58 所示。图 6-58a 所示浇口位置不够合理，图 6-58b 采用两侧对称进料虽可防止型芯弯曲，但增加了熔接痕，且易造成顶部排气不良。图 6-58c 采用了顶部中心进料，效果最好。

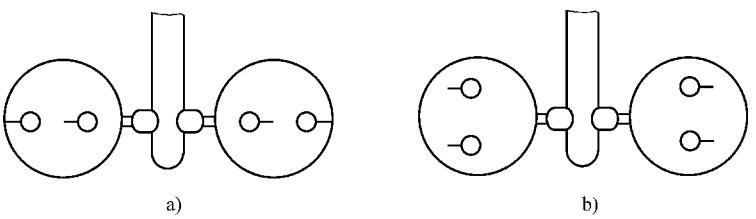


图 6-57　熔接痕方位对塑件性能的影响

图 6-59 所示为一聚碳酸酯矿灯壳体，图 6-59a 由顶部中心进料。由于浇口较小，中间型腔流速大于两边，使中间首先充满，而两侧尚未充满，于是产生了侧向力 P_1 和 P_2，加上型芯长达 150mm，以致充模时型芯产生了弹性变形，造成脱模困难，顶出时产品发生破裂。图 6-59b 将浇口加宽，使中心和两边进料速度趋于均匀，但去除浇口后残留痕迹大。图 6-59c 采用两个正对型芯的冲击型浇口，使中间和两侧能均匀地同时进料，而且浇口尺寸小。

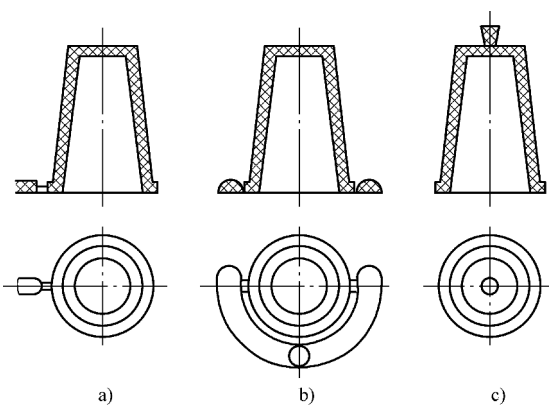


图 6-58　改变浇口位置防止型芯变形

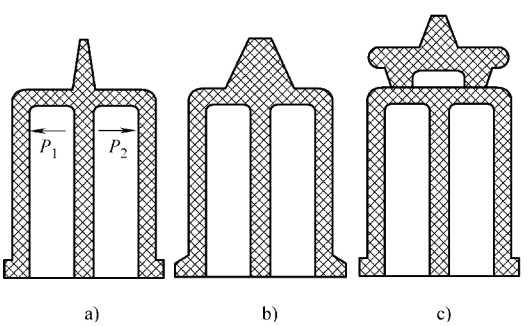


图 6-59　改变浇口形状和位置防止型芯变形

6.5　冷料穴和拉料杆

冷料穴是浇注系统中，用以在注塑过程中储存熔融塑料的前端冷料，直接对着主流道的孔或分流道延伸段的槽。

冷料穴一般设置在主流道的末端，即主流道正对面的动模板上或处于分流道的末端。它的作用是用来储存注塑间歇期间，喷嘴前端由于散热造成温度降低而产生的冷料。在注塑时，如果它们进入流道，将堵塞流道并减缓料流速度；进入型腔，将在塑件上出现冷疤或冷斑，影响塑件质量。在开模时，冷料又起到将主流道的凝料从浇口套中拉出的作用，冷料穴的直径应大于主流道的大端直径，其长度约为主流道的大端直径，这样有利于物料的流动。

6.5.1　底部带推杆的冷料穴

这类冷料穴的底部有一根推杆，结构如图 6-60 所示。图 6-60a 冷料穴的底部安装一根 Z 形拉料杆，拉料杆固定在动模一侧的推板上，拉料杆头部的侧凹能将主流道凝料钩住。开模时，主流道凝料将从定模中拉出。在其后的脱模过程中，再将凝料从动模中推出。开模后，将制品作稍许侧向移动，即可将制品连同凝料一起从拉料杆上取下，在采用 Z 形拉料杆时应特别注意手工定向取出凝料的可操作性。这种钩料顶出形式较为常用，但在凝料脱出时，需要一个侧向移动，不易实现凝料脱模自动化。有时受模具结构的限制，在凝料脱模时，不允许塑件侧向移动，如图 6-61 所示的结构，不宜采用这种钩料顶出形式。

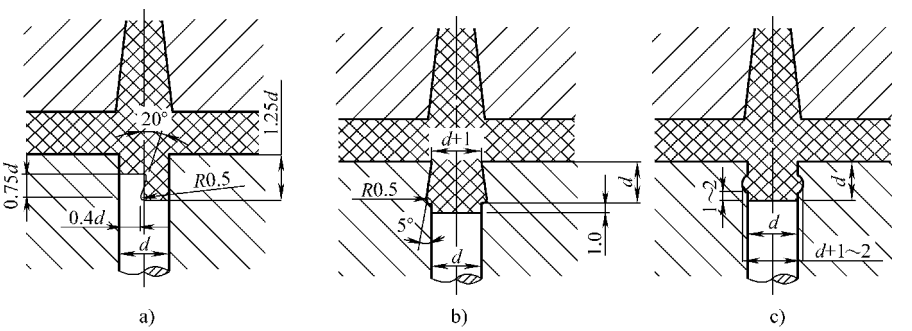


图 6-60　底部带有推杆的冷料穴

另一种形式是在冷料穴的内壁上，设置阻碍凝料被拔出的结构，如图 6-60b 所示的倒锥形式和图 6-60c 所示的圆环槽形式的冷料穴。在开模时靠冷料穴的倒锥或侧凹起拉料作用，使主流道凝料脱出浇口套并滞留在动模一侧，然后通过脱模机构强制推出凝料。这两种形式宜用于韧性较好的塑料制品。由于在取出凝料时无需作侧向移动，故采用倒锥和圆环槽形冷料穴易实现自动化操作。

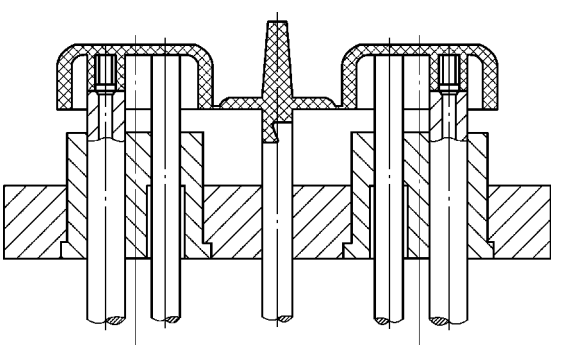


图 6-61　不宜采用 Z 形拉料杆的模具结构

还有简单易行的方法，就是将冷料穴内壁加工得粗糙些，利用粗糙面完成钩料

功能。或者将冷料穴的一端攻一段很浅的螺纹，使用效果也会比较理想。

6.5.2　底部带拉料杆的冷料穴

这类冷料穴的底部有一根拉料杆，拉料杆安装在型芯固定板上，不随脱模机构运动，其结构如图 6-62 所示。图 6-62a 所示为球头拉料杆，当前锋冷料进入冷料穴后，紧包在拉料杆的球头上，开模时可将凝料从主流道中拉出。球头拉料杆固定在动模一侧的型芯固定板上，不随脱模机构移动，当推件板从型芯上脱出制品时，也将主流道凝料从球头拉料杆强制推出。图 6-62b 所示为倒锥头拉料杆，它是球头拉料杆的变异形式。图 6-62c 所示为分流锥式拉料杆，它是利用小于 0.3mm 的侧凸环拉出凝料。分流锥式拉料杆结构简单，便于加工，并能起到分流的作用，常用于成型带有中心孔的制品。图 6-62d 所示为一种简单的拉料杆，它是在拉料杆的端部攻一段螺纹高度为 0.1 ~ 0.2mm 的非标准外螺纹。底部带有拉料杆的冷料穴适用于采用推板推出塑件的模具。

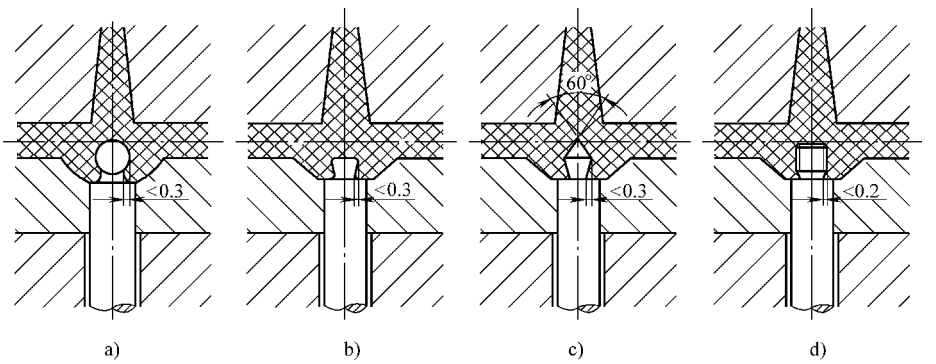


图 6-62　底部带有拉料杆的冷料穴

拉料杆的端面位置，应根据具体情况而定。图 6-63 是拉料杆的端平面与推件平齐。这种结构的好处是：当浇注凝料被推件板推出后，会连同制品完全被脱离出去，容易实现自动化操作，但在注塑时会对熔融塑料有一定的阻流作用。而图 6-62 所示的形式是其端平面缩进推件板一段距离，起到冷料穴的作用，但总会有一段凝料含在推件板上，影响制品的顺利脱模。为了使它较为容易地从推件板脱出，根据实际情况，可将缩入推件板的距离做得浅些，并在其端部做成大圆角或大角度脱模斜度，如图 6-62 所示，这样可给凝料的脱出提供方便。

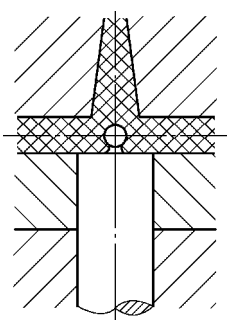


图 6-63　拉料杆端面位置

6.6　排气系统

6.6.1　概述

注塑模的排气是模具设计中不可忽视的一个问题，特别是快速注塑成型工艺对塑料注塑模排气的要求更加严格。

注塑模内积集的气体有以下几个来源：

1）浇注系统和型腔中存有的空气。

2）塑料含有的水分在注塑温度下蒸发形成的水蒸气。

3）塑料熔体在受热或凝固时，分解所产生的气体。

4）塑料中某些配合剂挥发或化学反应所生成的气体。

在排气不良的模具中，上述这些气体经受很大的压缩作用而产生反压力，这种反压力阻止熔融塑料的正常快速充模，而且气体压缩所产生的热也可能使塑料烧焦。滞留气体使制品产生银纹、剥层等表面质量缺陷并在制品上呈现明显可见的流动痕和熔接痕，使制品的力学性能降低。在充模速度大、温度高、物料粘度低、注塑压力大和塑件过厚的情况下，气体在一定的压缩程度下能渗入塑料内部，造成气孔、组织疏松及空洞等缺陷。因此，在注塑过程中，及时将这些气体有序地排出模外是十分必要的。

6.6.2　排气槽的设计要点

排气槽是为了使模具型腔内的气体排出模具外而在模具上开设的气流通槽或孔。排气槽位置和大小的选定，主要依靠经验。通常将排气槽先开设在可能出现问题的部位，经过试模后再修改或增加。其基本的设计要点可归纳如下：

1）排气要保证迅速、有序、完全，排气速度要与充模速度相适应。

2）排气槽尽量设在塑件较厚的成型部位。

3）排气槽应尽量设在分型面的凹模一侧，便于加工和修正。如果排气槽溢料产生飞边，比较容易脱模和去除。

4）排气槽应尽量设在料流的终点，如流道、冷料穴的终端。

5）排气槽的排气方向不应朝向操作面，防止注塑时漏料烫伤人。

6）排气槽应设置在便于清模的位置，防止积存冷料。

7）排气槽的深度与塑料品种的流动性以及注塑压力、注塑温度有关。常用塑料的排气槽深度见表 6-4，排气槽的宽度根据具体情况而定。

表 6-4　常用塑料的排气槽深度

塑料名称	排气槽厚度/mm	塑料名称	排气槽厚度/mm
PE	0.02	SB	0.03
PP	0.01 ~ 0.02	POM	0.01 ~ 0.02
PS	0.02	PA	0.01
ABS	0.03	PC	0.01 ~ 0.03
SAN	0.03	PETP	0.01 ~ 0.03
AS	0.03	PVC	0.01 ~ 0.03

塑料熔体充模过程时间很短，可以认为模内气体的物理性质符合绝热条件。因此所需排气槽的截面面积可用如下公式计算：

$$F = \frac{25 m_1 \sqrt{273 + T_1}}{t p_0} \tag{6-5}$$

式中　F——排气槽截面面积（mm^2）；

m_1——模具内气体质量（kg）；

p_0——模具内气体的初始压力，$p_0 = 0.1\text{MPa}$；

T_1——模具内被压缩气体的最终温度（℃）；

t——充模时间（s）。

模具内气体质量 m_1，按照常温下 20℃氮气的密度 $\rho_0 = 1.1\text{kg/m}^3$ 计算，则有

$$m_1 = \rho_0 V_0 \tag{6-6}$$

式中 V_0——模具型腔体积（m^3）。

应用气体状态方程，可求得上式中被压缩气体的最终温度为

$$T_1 = (273 + T_0)\left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{0.1304} - 273 \tag{6-7}$$

式中 T_0——模具内气体的初始温度（℃）；

P_1——被压缩气体最终排气压力（MPa）。

实际排气槽宽度应大于计算值，因为使用了一定期限的旧模具，由于挥发性气体的积垢会使排气有效截面减小。若排气槽总宽度较大时，可采用多个，甚至连续的排气槽排气。

以上阐述的是热塑性注塑模的排气系统。热固性塑料注塑模的排气系统更为重要，排出的气体质量 m_1 中需计入化学反应所产生的气体质量。

6.6.3 排气方式与设计方法

在许多情况下，可利用模具分型面之间的间隙自然排气。例如，小型制品的排气量不大，如果排气点正好在分型面上，就可利用分型面上的微小间隙排气，而不必再开设专门的排气槽。

正因为大多数模具可以从分型面处自然排气，因此排气问题往往被模具设计人员所忽视。当制品所用物料发气量较大，或者成型具有部分薄壁的制品，以及采用快速注塑工艺时，必须妥善地处理排气问题。一般有以下几种排气方式：

（1）分型面排气　对于小型模具，可以利用分型面间隙排气。但分型面需位于熔体流动末端，如图 6-64a 所示。

（2）推杆间隙排气　利用推杆与模板或型芯的配合间隙排气，或有意增加推杆与模板的间隙，如图 6-64b 所示。

（3）拼镶件缝隙排气　对于组合式的凹模或型芯，可利用其拼合的缝隙排气，如图 6-64c所示。

（4）滑块间隙排气　对于带有抽芯机构的模具，可利用滑块间隙进行排气，如图 6-64d 所示。

（5）粉末烧结合金块排气　粉末烧结合金是用球状颗粒合金烧结而成的材料，强度较差，但质地疏松，允许气体通过。在需排气的部位放置一块这样的合金即可达到排气的要求，但其底部通气孔直径不宜太大，以防止型腔压力将其挤压变形，如图 6-64e 所示。

（6）排气槽排气　对于成型大中型塑件的模具，需要排除的气体比较多，通常都应开设排气槽。排气槽尺寸以气体能顺利地排出而不溢料为原则。排气槽宽度 $b = 3 \sim 5\text{mm}$，深度 $h < 0.05\text{mm}$，长度 $L = 0.7 \sim 1.0\text{mm}$，此后可加深到 $H = 0.8 \sim 1.5\text{mm}$，如图 6-64f 所示。

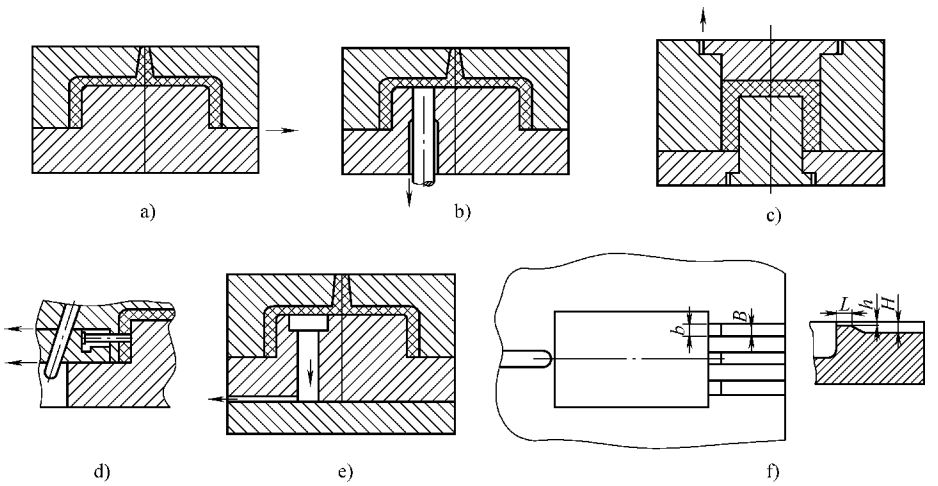


图 6-64　排气方式

第 7 章　注塑模导向、定位机构的设计

注塑模的导向机构用于动、定模之间的开合模导向和脱模机构的运动导向。定位机构分模外定位和模内定位。模外定位是通过定位圈使模具易于在注塑机上安装，并使模具的浇口套能与注塑机喷嘴精确定位；而模内定位则通过锥面定位机构用于动、定模之间的精密对中定位。

7.1　导向机构的作用

在注塑模中，引导动模和定模按一定方向闭合或开启的装置，称为导向机构。此外，用于卧式注塑机的塑料注塑模，其脱模机构也需设置导向机构。导向机构由导柱和导套组成，分别安装在动、定模两边。

导向机构的功能有如下几点：

（1）导向作用　在动模与定模闭合的进程中，导向机构应首先接触，引导动、定模准确配合，避免型芯与凹模发生碰撞。

（2）定位作用　保证动、定模按一定的方位合模，避免模具在装配时，因方向弄反而损坏成形零件，合模后要保持型腔的正确形状。

（3）承受一定侧压力　高压塑料熔体在充模过程中会产生单向侧压力，需由导向机构承担。当单向侧压力过大时，除导向机构承担外，还需增设锥面定位机构来承担。

（4）承载作用　当采用推件板脱模或双分型面模具结构时，导柱有承受推件板和型腔板重量的作用。

（5）保持机构运动平稳　对于大、中型模具的脱模机构，导向机构有使机构运动灵活平稳的作用。

7.2　导向机构设计

7.2.1　导柱设计

导柱是与安装在另一半模上的导套相配合的，用以确定动、定模的相对位置，保证模具运动导向精度的圆柱形零件。导柱可以安装在动模一侧，也可以安装在定模一侧，但更多的是安装在动模一侧。因为作为成型零件的主型芯多装在动模一侧，导柱与主型芯安装在同一侧，在合模时可起保护作用。

1. 导柱结构

导柱的基本结构形式有两种。一种是带有轴向定位台阶，固定段与导向段具有同一公称尺寸、不同公差带的导柱，称为带头导柱（GB/T 4169.4—2006），如图 7-1 所示；另一种是带有轴向定位台阶，固定段公称尺寸大于导向段的导柱，称为带肩导柱（GB/T 4169.5—

2006），如图 7-2 所示。

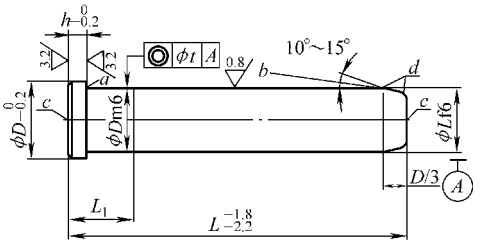


图 7-1　带头导柱

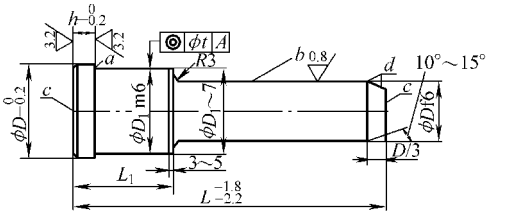


图 7-2　带肩导柱

带头导柱和带肩导柱的前端都设计为锥形，便于导向。两种导柱都可以在工作部分带有储油槽，带储油槽的导柱可以储存润滑油，延长润滑时间。当带头导柱用于塑件生产批量不大的模具时，可以不用导套。当带肩导柱用于塑件大批量生产的模具或导向精度要求高的模具时，必须采用有导套的模具。装在模具另一侧的导套安装孔可以和导柱安装孔采用同一尺寸，一次加工而成，保证了严格的同轴，如图 7-3 所示。带肩导柱的另一优点是：当导柱的工作部分因某种原因发生挠曲时，容易从模板中卸下更换，带头导柱则比较困难，如图 7-4 所示。

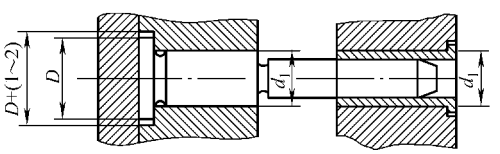


图 7-3　导柱和导套安装孔尺寸一致

图 7-4　带头导柱挠曲时不易取下

2. 导柱尺寸

导柱直径尺寸由模具分型面处模板的外形尺寸而定，模板尺寸越大，导柱间的中心距越大，所选导柱直径也越大。中、小型模具的导柱直径约为模板两直角边之和的 1/20 ~ 1/35，大型模具的导柱直径约为模板两直角边之和的 1/30 ~ 1/40。导柱直径与模板外形尺寸的关系，见表 7-1。

表 7-1　导柱直径 *d* 与模板外形尺寸关系　　（单位：mm）

模板外形尺寸	≤150	150 ~ 200	200 ~ 250	250 ~ 300	300 ~ 400
导柱直径 *d*	≤16	16 ~ 18	18 ~ 20	20 ~ 25	25 ~ 30
模板外形尺寸	400 ~ 500	500 ~ 600	600 ~ 800	800 ~ 1000	1000
导柱直径 *d*	30 ~ 35	35 ~ 40	40 ~ 50	60	≥60

对于大、中型模具，若导柱需要支承型腔板的重量，导柱直径可用下式校核：

$$d = 1.6\left(\frac{WL^3}{En\delta_p}\right)^{1/4}$$

式中　*d*——导柱导向段直径（mm）；

W——型腔板重量（N）；

L——导柱导向段长度（mm）；

n——导柱数目；

E——钢材的弹性模量，$E = 2.1 \times 10^5$ MPa；

δ_p——导柱允许的变形量，其值应以不影响顺利合模为准，建议用 f7 的公差（mm）。

导柱安装时，模板上与之配合的孔径公差按 H7 确定，安装沉孔直径视导柱直径可取 $D + (1 \sim 2)$。

导柱长度尺寸应能保证位于动、定模两侧的型腔和型芯开始闭合前导柱已经进入导孔的长度不小于导柱直径，如图 7-5 所示。

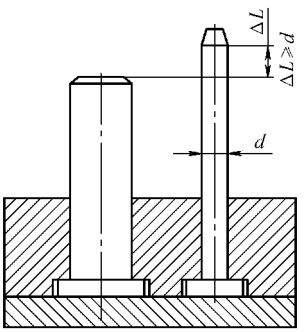


图 7-5　导柱长度

7.2.2　导套设计

导套是与安装在另一半模具上的导柱相配合的，用以确定动、定模的相对位置，保证模具运动导向精度的圆套形零件。

导向孔可带导套，也可以不带导套，带导套的导向孔用于生产批量大或导向精度高的模具。无论带导套或不带导套，导向孔都不应设计为盲孔，盲孔会增加模具闭合时的阻力，并使模具不能紧密闭合。

导套常用的结构形式有两种。一种是不带轴向定位台阶的导套，称为直导套（GB/T 4169.2—2006），如图 7-6 所示；另一种是带有轴向定位台阶的导套，称为带头导套（GB/T 4169.3—2006），如图 7-7 所示。直导套多用于较薄的模板，较厚的模板应采用带头导套。

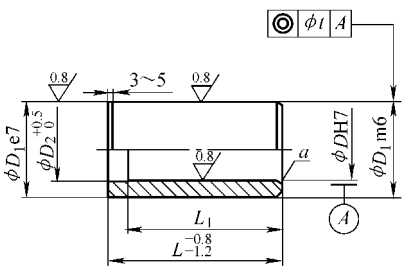


图 7-6　直导套

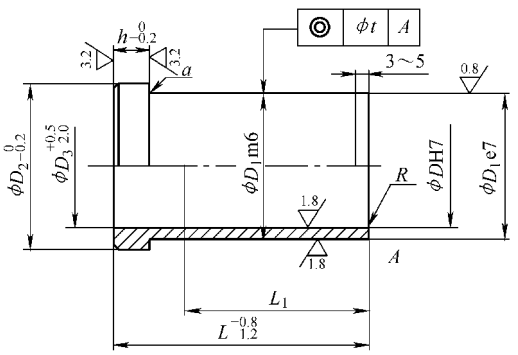


图 7-7　带头导套

7.2.3　安装方法

带头导套的安装需要垫板，装入模板后辅以垫板即可。直导套用于模板后面不带垫板的结构，可以采用如图 7-8 所示的几种方法固定到模板中。

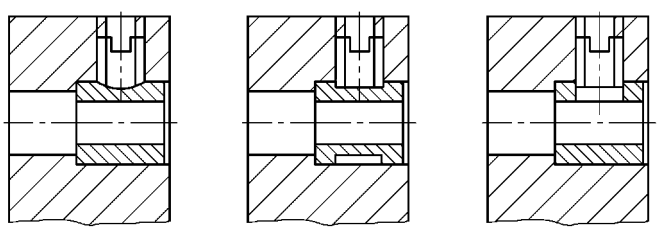


图 7-8　直导套的固定方法

1）导套外圆柱面加工出一凹槽，用螺钉固定，如图 7-8a 所示。

2）导套外圆柱面局部磨出一小平面，用螺钉固定，如图 7-8b 所示。

3）导套侧向开一小孔，用螺钉固定，如图 7-8c 所示。

导套安装时，模板上与之配合的孔径公差按 H7 确定。带头型导套安装沉孔视导套直径可取为 $D+(1\sim2)$。导套长度取决于含导套的模板厚度，其余尺寸随导套导向孔直径而定。

7.2.4　导柱布置

一副模具最少要用两根导柱，模板外形尺寸大的模具，最多可用 4 根导柱。为了使模具在使用、维修时的拆装过程中不会发生动、定模认错方向的情况，导柱的布置可采取如图 7-9 所示的几种方案：

1）两根直径相同的导柱不对称布置，如图 7-9a 所示。

2）两根直径不同的导柱对称布置，如图 7-9b 所示。

3）3 根直径相同的导柱不对称布置，如图 7-9c 所示。

4）4 根直径相同的导柱不对称布置，如图 7-9d 所示。

5）两组直径不同的导柱各两根，对称布置，如图 7-9e 所示。

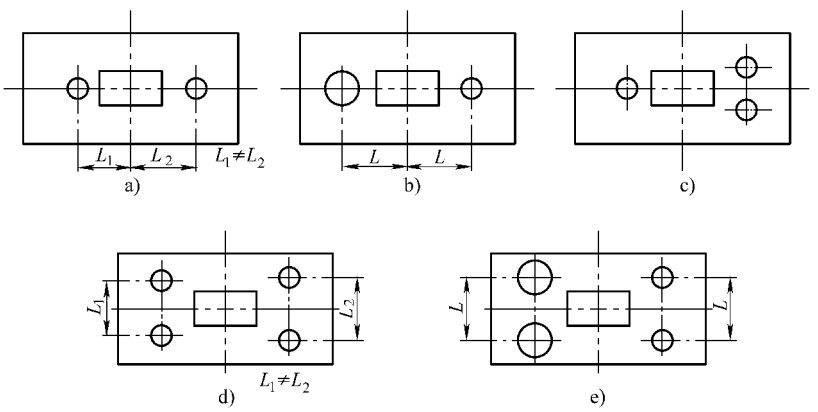


图 7-9　导柱的布置

7.2.5　导柱和导套的设计要点

在设计导柱和导套时应注意如下几点：

1）尽量选用标准模架，因为标准模架中的导柱、导套的设计和制作是有科学依据并经过实践考验的。

2）合理布置导柱位置，导柱中心至模具外缘至少应有一个导柱直径的厚度。导柱不应设在矩形模具 4 角的危险断面上。导柱布置方式常采用等直径不对称布置，或不等直径对称布置。

3）导柱工作部分的长度应比型芯端面高出 6mm 以上，以确保其导向与引导作用。

4）导柱工作部分的配合精度采用 H7/f7；导柱固定部分的配合精度采用 H7/K6；导套外径的配合精度采用 H7/K6；配合长度通常取配合直径的 1.5 ~ 2 倍，其余部分可以扩孔，以减小摩擦，并降低加工难度。

5）导柱与导套应有足够的耐磨性，多采用低碳钢经渗碳淬火处理，其硬度为 48 ~

55HRC；也可采用 T8 或 T10 碳素工具钢，经淬火处理。导柱工作部分的表面粗糙度值 R_a = 0.4μm，固定部分的表面粗糙度值 R_a = 0.8μm，导套内外圆柱面的表面粗糙度值 R_a = 0.8μm。

6）导柱头部应制成锥形或球头形，导套的前端也应倒角，一般倒角半径为 1 ~ 2mm。

7）导柱可以设置在动模一边或定模一边，设在动模一边可以保护型芯不受损坏，设在定模一边便于取出制品。一般情况下导柱多设在型芯一边。

7.3　定位机构设计

成形精度要求高的、薄壁、深腔制品时，型腔侧向压力较大，易引起型芯或凹模偏移，因此需增设定位装置。当模具比较小时，可以采用带锥面的导柱和导套，如图 7-10 所示。

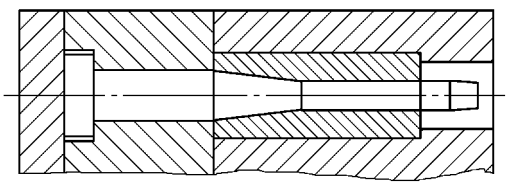


图 7-10　带锥面的导柱、导套

成形圆筒类制品的模具常采用圆锥面定位。图 7-11 所示为双锥面定位机构的模具，此类模具必须保留导柱导向机构。导柱前部的辅助长度以及定模板上的导销均在锥面接触定位前起导向作用。图 7-11a 所示方案是型腔模板环抱型芯模板的结构，成型时在型腔内塑料的压力下型腔侧壁向外张开会使对合锥面出现间隙。图 7-11b 所示方案是型芯模板环抱型腔模板的结构，成型时对合锥面会贴得更紧，是更理想的选择。锥面角度取较小值有利于对合定位，但会增大所需的开模阻力，锥面斜度一般取 10° ~ 20°，高度在 10mm 以上，两锥面都要淬火处理。

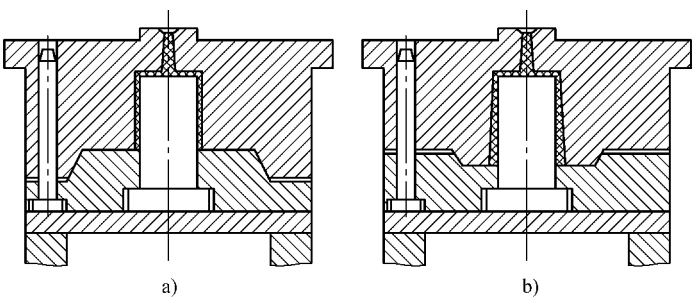


图 7-11　双锥面定位机构的模具

图 7-12 所示为成形矩形制品时采用的单锥面定位机构的模具。该模具采用 4 条淬硬的斜面镶条，安装在矩形型腔的 4 侧。这种结构加工简单，通过对镶条斜面的调整可对制品壁厚进行修正，磨损后的镶条又便于更换。

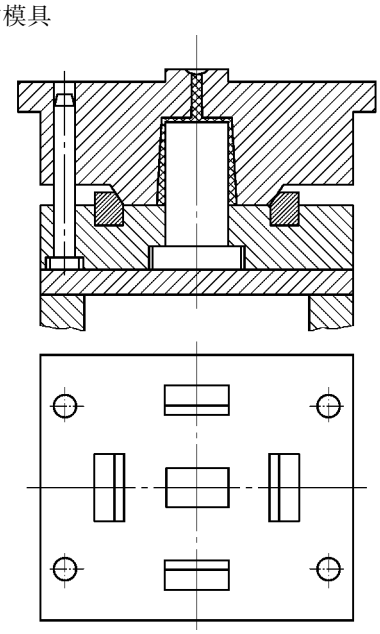


图 7-12　单锥面定位机构的模具

第 8 章　注塑模具标准化

8.1　模具标准化的意义

模具标准化是指在模具设计和制造中应遵循的技术规范、基准和准则。其意义主要体现在如下几个方面：

1）模具标准化的实施，有助于稳定、提高和保证模具的设计质量和制造中必须达到的质量规范，使工业产品零件的不合格率减少到最低程度。

2）模具标准化可以提高专业化协作生产水平、缩短模具生产周期、提高模具制造质量和使用性能。实现模具标准化后，模具标准件和标准模架可由专业厂大批量生产和供应。

3）模具标准化可使模具工作者摆脱大量重复的一般性设计，将主要精力用来改进模具设计、解决模具关键技术问题和进行创造性的劳动。

4）模具标准化是采用现代化模具生产技术和装备，是实现模具 CAD/CAM 技术的基础。

5）模具标准化有利于模具技术的国际交流和组织模具出口外销。

因此，模具标准化对于提高模具设计和制造水平、提高模具质量、缩短制模周期、降低成本、节约材料和采用高新技术，都具有十分重要的意义。

8.2　注塑模具目前实行的标准

我国模具标准化工作始于 20 世纪 70 年代。1983 年成立的全国模具标准化技术委员会是我国有关模具标准的归口单位。

目前，我国已建立了许多生产塑料模具标准件和标准模架的专业厂以及模具专用钢材的供应站，商品化程度有了很大的提高。有关注塑模的国家标准目前已发布和正在实施的如表 8-1 所示。

表 8-1　注塑模国家标准

序　　号	标 准 名 称	标 准 号
1	塑料注射模零件	GB/T 4169—2006
2	塑料注射模零件技术条件	GB/T 4170—2006
3	塑料成型模具术语	GB/T 8846—2005
4	塑料注射模技术条件	GB/T 12554—2006
5	塑料注射模模架	GB/T 12555—2006
6	塑料注射模模架技术条件	GB/T 12556—2006

GB/T 4169—2006《塑料注射模零件》共有 23 个零件，比 1984 年的标准增加了 12 个零件，其标准为：

GB/T 4169. 1—2006　　推杆

GB/T 4169. 2—2006　　直导套

GB/T 4169. 3—2006	带头导套
GB/T 4169. 4—2006	带头导柱
GB/T 4169. 5—2006	带肩导柱
GB/T 4169. 6—2006	垫块
GB/T 4169. 7—2006	推板
GB/T 4169. 8—2006	模板
GB/T 4169. 9—2006	限位钉
GB/T 4169. 10—2006	支承柱
GB/T 4169. 11—2006	圆形定位元件
GB/T 4169. 12—2006	推板导套
GB/T 4169. 13—2006	复位杆
GB/T 4169. 14—2006	推板导柱
GB/T 4169. 15—2006	扁推杆
GB/T 4169. 16—2006	带肩推杆
GB/T 4169. 17—2006	推管
GB/T 4169. 18—2006	定位圈
GB/T 4169. 19—2006	浇口套
GB/T 4169. 20—2006	拉杆导柱
GB/T 4169. 21—2006	矩形定位元件
GB/T 4169. 22—2006	圆形拉模扣
GB/T 4169. 23—2006	矩形拉模扣

8. 3　注塑模零件

注塑模共有 23 个通用标准零件。其标准号为 GB/T 4169. 1 ~ 4169. 23—2006。这些零件之间具有相互配置关系，可根据使用要求选择配套组装。

8. 3. 1　推杆（GB/T 4169. 1—2006）

标准推杆见表 8-2。

表 8-2　推杆（GB/T 4169. 1—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例：

D = 1mm、L = 80mm 的推杆：

推杆 1 × 80　GB/T 4169. 1—2006

（2）材料及硬度：

推荐采用 4Cr5MoSiV1、3Cr2W8V

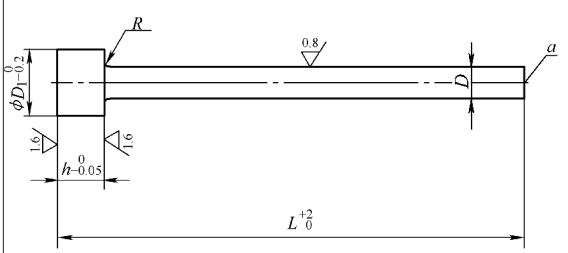
硬度为 50 ~ 55HRC，其中固定端 30mm 长度范围内硬度为 35 ~ 45HRC。淬火后表面可进行渗氮处理，渗氮层深度为 0. 08 ~ 0. 15mm，心部硬度为 40 ~ 44HKC，表面硬度≥900HV

（3）技术条件：

1）a 端面不允许留有中心孔

2）棱边不允许倒钝

3）其他按 GB/T 4170—2006



（续）

D	D_1	h	R	L												
				80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700	800
1	4	2	0.3	×	×	×	×	×								
1.2				×	×	×	×	×								
1.5				×	×	×	×	×								
2				×	×	×	×	×	×	×	×					
2.5	5			×	×	×	×	×	×	×	×	×				
3	6	3	0.5	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×			
4	8			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
5	10			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
6	12	5	0.8		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
7	12				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
8	14					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
12	18	7				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
14						×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
16	22					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
18	24	8					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	26						×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
25	32	10	1				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

8.3.2　直导套（GB/T 4169.2—2006）

标准直导套见表 8-3。

表 8-3　直导套（GB/T 4169.2—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例：

D = 12mm、L = 15mm 的直导套：

直导套 12 × 15　GB/T 4169.2—2006

（2）材料及硬度：

推荐采用 T10 A、GCr15、20Cr，

硬度为 52 ~ 56HRC。20Cr 渗碳 0.5 ~ 0.8mm，硬度为 56 ~ 60HRC

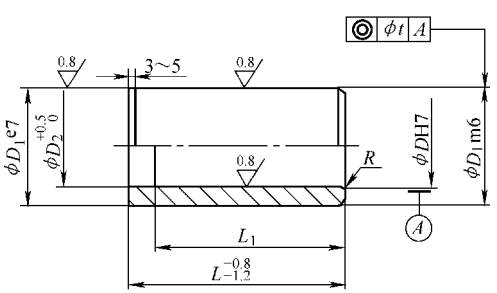
（3）技术条件：

1）未注表面粗糙度 R_a = 3.2μm

2）未注倒角 $C1$

3）图中标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t 为 6 级精度

4）其他按 GB/T 4170—2006



D	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
D_1	18	25	30	35	42	48	55	70	80	90	105	115	125
D_2	13	17	21	26	31	36	41	51	61	71	81	91	101
R	1.5 ~ 2	3 ~ 4				5 ~ 6				7 ~ 8			
L_1	24	32	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200

（续）

L	15	20	20	25	30	35	40	40	50	60	70	80	80
	20	25	25	30	35	40	50	50	60	70	80	100	100
	25	30	30	40	40	50	60	60	80	80	100	120	120
	30	40	40	50	50	60	80	80	100	100	120	150	200
	35	50	50	60	60	80	100	100	120	120	150	200	
	40	60	60	80	80	100	100	120	150	150	200		

注：当 $L_1 > L$ 时，取 $L_1 = L$。

8.3.3　带头导套（GB/T 4169.3—2006）

标准带头导套见表 8-4。

表 8-4　带头导套（GB/T 4169.3—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

D = 12mm、L = 20mm 的带头导套：

带头导套 12 × 20　GB/T 4169.3—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 T10 A、GCr15、20Cr

硬度为 52 ~ 56HRC。20Cr 渗碳 0.5 ~ 0.8mm，硬度为 56 ~ 60HRC

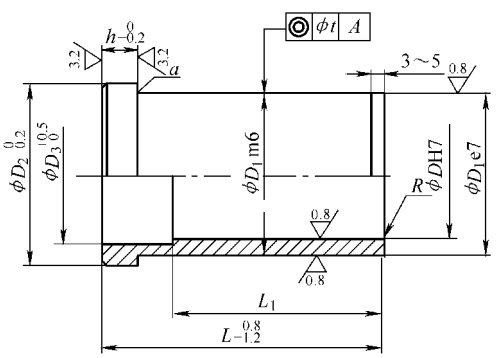
（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm，未注倒角 $C1$

2）可选砂轮越程槽或 $R0.5$ ~ $R1$mm 圆角

3）图中标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t 为 6 级精度

4）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D	12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
D_1	18	25	30	35	42	48	55	70	80	90	105	115	125
D_2	22	30	35	40	47	54	61	76	86	96	111	121	131
D_3	13	17	21	26	31	36	41	51	61	71	81	91	101
h	5	6	8		10			12	15			20	
R	1.5 ~ 2	3 ~ 4				5 ~ 6			7 ~ 8				
L_1	24	32	40	50	60	70	80	100	120	140	160	180	200

（续）

L	20	×	×	×										
	25	×	×	×	×									
	30	×	×	×	×	×								
	35	×	×	×	×	×	×							
	40	×	×	×	×	×	×	×						
	45	×	×	×	×	×	×	×						
	50	×	×	×	×	×	×	×	×					
	60		×	×	×	×	×	×	×	×				
	70			×	×	×	×	×	×	×	×			
	80			×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	90				×	×	×	×	×	×	×	×	×	
	100				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	110					×	×	×	×	×	×	×	×	×
	120					×	×	×	×	×	×	×	×	×
	130						×	×	×	×	×	×	×	×
	140						×	×	×	×	×	×	×	×
	150							×	×	×	×	×	×	×
	160							×	×	×	×	×	×	×
	180								×	×	×	×	×	×
	200								×	×	×	×	×	×

注：当 $L_1 > L$ 时，取 $L_1 = L$。

8.3.4　带头导柱（GB/T 4169.4—2006）

标准带头导柱见表 8-5。

表 8-5　带头导柱（GB/T 4169.4—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

D = 12mm，L = 50mm，L_1 = 20mm 的带头导柱：

带头导柱 12 × 50 × 20，GB/T 4169.4—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 T10A、GCr15、20Cr

硬度为 52 ~ 56HRC。20Cr 渗碳 0.5 ~ 0.8mm，硬度为 56 ~ 60HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角 *C*1

2）可选砂轮越程槽或 *R*0.5 ~ *R*1mm 圆角

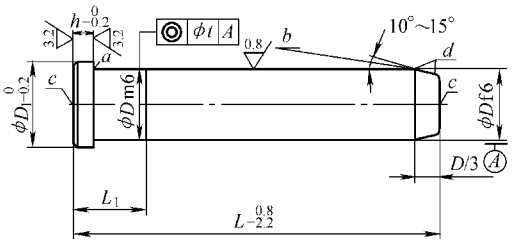
3）允许开油槽

4）允许保留两端的中心孔

5）圆弧连接，*R*2 ~ *R*5mm

6）图中标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，*t* 为 6 级精度

7）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



（续）

D		12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
D_1		17	21	25	30	35	40	45	56	66	76	86	96	106
h		5	6		8			10	12	15			20	
L	50	×	×	×	×	×								
	60	×	×	×	×	×								
	70	×	×	×	×	×	×	×						
	80	×	×	×	×	×	×	×						
	90	×	×	×	×	×	×	×						
	100	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
	110	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
	120	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
	130	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
	140	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
	150		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	160		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	180			×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	200			×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	220				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	250				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	280					×	×	×	×	×	×	×	×	×
	300					×	×	×	×	×	×	×	×	×
	320						×	×	×	×	×	×	×	×
	350						×	×	×	×	×	×	×	×
	380							×	×	×	×	×	×	×
	400							×	×	×	×	×	×	×
	450								×	×	×	×	×	×
	500								×	×	×	×	×	×
	550									×	×	×	×	×
	600									×	×	×	×	×
	650										×	×	×	×
	700										×	×	×	×
	750											×	×	×
	800											×	×	×
L_1		20，25，30，35，40，45，50，60，70，80，100，110，120，130，140，150，160，180，200												

8.3.5　带肩导柱（GB/T 4169.5—2006）

标准带肩导柱见表 8-6。

表 8-6　带肩导柱（GB/T 4169.5—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

$D=16$mm，$L=50$mm，$L_1=20$mm 的带肩导柱：

带肩导柱 16×50×20　GB/T 4169.5—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 T10A、GCr15、20Cr

硬度为 52～56HRC。20Cr 渗碳 0.5～0.8mm，硬度为 56～60HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 $R_a=6.3\mu$m；未注倒角 $C1$

2）可选砂轮越程槽或 $R0.5\sim R1$mm 圆角

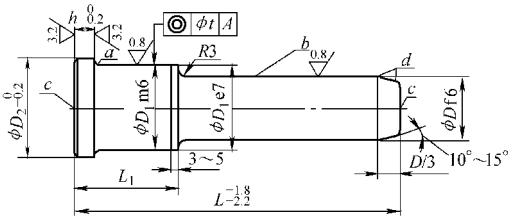
3）允许开油槽

4）允许保留两端的中心孔

5）圆弧连接，$R2\sim R5$mm

6）图中标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t 为 6 级精度

7）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D		12	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80
D_1		18	25	30	35	42	48	55	70	80	90	105
D_2		22	30	35	40	47	54	61	76	86	96	111
h		5	6	8		10			12	15		
L	50	×	×	×	×	×						
	60	×	×	×	×	×						
	70	×	×	×	×	×	×	×				
	80	×	×	×	×	×	×	×				
	90	×	×	×	×	×	×	×				
	100	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	110	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	120	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	130	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	140	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
	150		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	160		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
	180			×	×	×	×	×	×	×	×	×
	200			×	×	×	×	×	×	×	×	×
	220				×	×	×	×	×	×	×	×
	250				×	×	×	×	×	×	×	×
	280					×	×	×	×	×	×	×
	300					×	×	×	×	×	×	×
	320						×	×	×	×	×	×
	350						×	×	×	×	×	×
	380							×	×	×	×	×
	400							×	×	×	×	×
	450								×	×	×	×
	500								×	×	×	×
	550								×	×	×	×
	600								×	×	×	×
	650								×	×	×	×
	700									×	×	×
L_1		20，25，30，35，40，45，50，60，70，80，100，110，120，130，140，150，160，180，200										

8.3.6　垫块（GB/T 4169.6—2006）

标准垫块见表 8-7。

表 8-7　垫块（GB/T 4169.6—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

$W=8$mm、$L=150$mm、$H=50$mm 的垫块：

垫块 28 × 150 × 50　GB/T 4169.6—2006

（2）材料及硬度

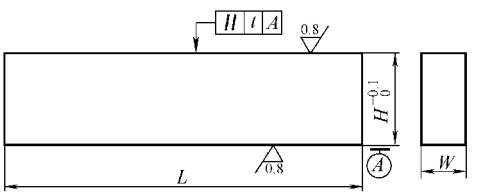
推荐采用 45 钢

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 $R_a=6.3\mu$m；未注倒角 $C2$

2）图中标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t 为 5 级精度

3）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



W	L							H												
								50	60	70	80	90	100	110	120	130	150	180	200	250	300
28	150	180	200	230	250			×	×	×											
33	180	200	230	250	300	350			×	×	×										
38	200	230	250	300	350	400			×	×	×										
43	230	250	270	300	350	400				×	×	×									
48	250	270	300	350	400	450	500			×	×	×									
53	270	300	350	400	450	50				×	×	×									
58	300	350	400	450	500	550	600				×	×	×								
63	350	400	450	600	660	600						×	×	×							
68	400	450	500	550	600								×	×	×	×					
78	450	500	550	600	700								×	×	×	×					
88	500	550	600	700	800								×	×	×	×					
100	550	600	700	800	900	1250								×	×	×	×	×			
120	650	700	800	900	1000	1250									×	×	×	×	×	×	
140	800	900	1000	1250													×	×	×	×	
160	900	1000	1250	1600														×	×	×	×
180	1000	1250	1600															×	×	×	×
220	1250	1600	2000															×	×	×	×

8.3.7　推板（GB/T 4169.7—2006）

标准推板见表 8-8。

表 8-8　推板（GB/T 4169.7—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

$W=90$mm，$L=150$mm，$H=13$mm 的推板：

推板 90×150×13　GB/T 4169.7—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 45 钢

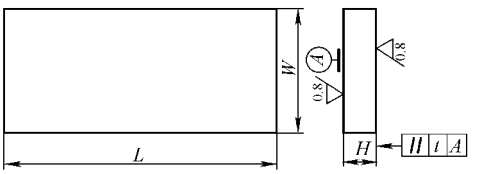
硬度为 28～2HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 $R_a=6.3\mu$m；未注倒角为 $C1$

2）基准面的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t 为 6 级精度

3）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



W	L							H							
								13	15	20	25	30	40	50	60
90	150	180	200	230	250			×	×						
110	180	200	230	250	300	350			×	×					
120	200	230	250	300	350	400			×	×	×				
140	230	250	270	300	350	400			×	×	×				
150	250	270	300	350	400	450	500		×	×	×				
160	270	300	350	400	450	500			×	×	×				
180	300	350	400	450	500	550	600			×	×	×			
220	350	400	450	500	550	600				×	×	×			
260	400	450	500	550	600	700					×	×	×		
290	450	500	550	600	700						×	×	×		
320	500	550	600	700	800						×	×	×	×	
340	550	600	700	800	900						×	×	×	×	
390	600	700	800	900	1000						×	×	×	×	
400	650	700	800	900	1000						×	×	×	×	
450	700	800	900	1000	1250						×	×	×	×	
510	800	900	1000	1250								×	×	×	×
560	900	1000	1250	1600								×	×	×	×
620	1000	1250	1600									×	×	×	×
790	1250	1500	2000									×	×	×	×

8.3.8　模板（GB/T 4169.8—2006）

标准模板见表 8-9 和表 8-10。

表 8-9　模板 A（GB/T 4169.8—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

$W=150$mm、$L=150$mm、$H=20$mm 的模板：

模板 A　150×150×20　GB/T 4169.8—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 45 钢，硬度为 C2 28～32HRC

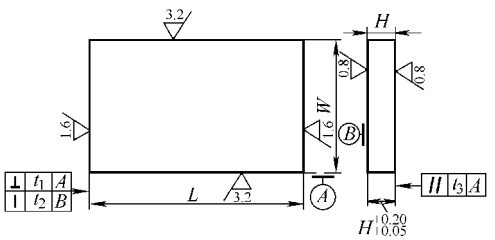
（3）技术条件

1）全部棱边倒角为 C2

2）图中未注尺寸公差等级应符合 GB/T 1801—1999 中 js13 级的规定

3）用作定模板、动模板、推件板、推料板、支承板时，图中未注形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t_1、t_3 为 5 级精度，t_2 为 7 级精度

4）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



W	L							H												
								20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110
150	150	180	200	230	250			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×			
180	180	200	230	250	300	350		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×			
200	200	230	250	300	350	400		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
230	230	250	270	300	350	400		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
250	250	270	300	350	400	450	500		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
270	270	300	350	400	450	500			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
300	300	350	400	450	500	550	600			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
350	350	400	450	500	550	600					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
400	400	450	500	550	600	700					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
450	450	500	550	600	700							×	×	×	×	×	×	×	×	×
500	500	550	600	700	800							×	×	×	×	×	×	×	×	×
550	550	600	700	800	900							×	×	×	×	×	×	×	×	×
600	600	700	800	900	1000									×	×	×	×	×	×	×
650	650	700	800	900	1000										×	×	×	×	×	×
700	700	800	900	1000	1250										×	×	×	×	×	×
800	800	900	1000	1250	1600											×	×	×	×	×
900	900	1000	1250	1600												×	×	×	×	×
1000	1000	1250	1600														×	×	×	×
1250	1250	1600	2000														×	×	×	×

（续）

W	L							H												
								120	130	140	150	160	180	200	220	250	280	300	350	400
150	150	180	200	230	250															
180	180	200	230	250	300	350														
200	200	230	250	300	350	400														
230	230	250	270	300	350	400														
250	250	270	300	350	400	450	500	×												
270	270	300	350	400	450	500		×												
300	300	350	400	450	500	550	600	×	×											
350	350	400	450	500	550	600		×	×											
400	400	450	500	550	600	700		×	×	×	×									
450	450	500	550	600	700			×	×	×	×	×	×							
500	500	550	600	700	800			×	×	×	×	×	×							
550	550	600	700	800	900			×	×	×	×	×	×	×						
600	600	700	800	900	1000			×	×	×	×	×	×	×						
650	650	700	800	900	1000			×	×	×	×	×	×	×	×					
700	700	800	900	1000	1250			×	×	×	×	×	×	×	×	×				
800	800	900	1000	1250	1600			×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		
900	900	1000	1250	1600				×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	
1000	1000	1250	1600					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1250	1250	1600	2000					×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

表 8-10　模板 B（GB/T 4169.8—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

$W=200$mm、$L=150$mm，$H=20$mm 的模板：

模板 B　$200\times150\times20$　GB/T 4169.8—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 45 钢

硬度为 28～32 HRC

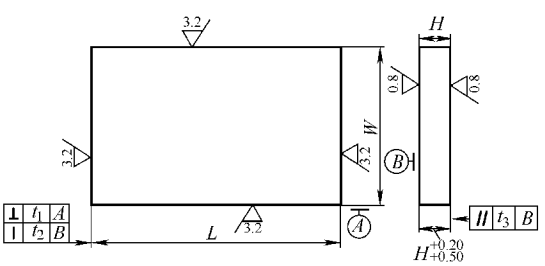
（3）技术条件

1）全部棱边倒角为 $C2$

2）图中未注尺寸公差等级应符合 GB/T 1801—1999 中 js13 级的规定

3）用作定模座板、动模座板时，图中未注形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t_1 为 7 级精度，t_2 为 9 级精度，t_3 为 5 级精度

4）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



（续）

W	L							H												
								20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	120
200	150	180	200	230	250			×	×											
230	180	200	230	250	300	350		×	×	×										
250	200	230	250	300	350	400		×	×	×										
280	230	250	270	300	350	400			×	×										
300	250	270	300	350	400	450	500		×	×	×									
320	270	300	350	400	450	500			×	×	×	×								
350	300	350	400	450	500	550	600		×	×	×	×	×							
400	350	400	450	500	550	600				×	×	×	×	×						
450	400	450	500	550	600	700				×	×	×	×	×						
550	450	500	550	600	700						×	×	×	×	×					
600	500	550	600	700	800						×	×	×	×	×					
650	550	600	700	800	900						×	×	×	×	×	×				
700	600	700	800	900	1000						×	×	×	×	×	×				
750	650	700	800	900	1000						×	×	×	×	×	×	×			
800	700	800	900	1000	1250							×	×	×	×	×	×	×		
900	800	900	1000	1250	1600							×	×	×	×	×	×	×	×	
1000	900	1000	1250	1600										×	×	×	×	×	×	
1200	1000	1250	1600												×	×	×	×	×	×
1250	1250	1600	2000													×	×	×	×	×

8.3.9　限位钉（GB/T 4169.9—2006）

标准限位钉见表 8-11。

表 8-11　限位钉（GB/T 4169.9—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

D = 16mm 的限位钉：

限位钉 16　GB/T 4169.9—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 45 钢

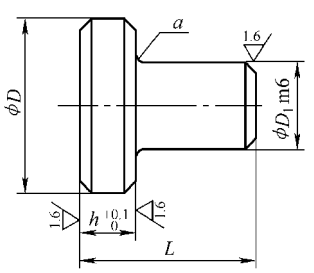
硬度为 40 ~ 45HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角为 $C1$

2）可选砂轮越程槽或 $R0.5 \sim R1$mm 的圆角

3）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D	D_1	h	L
16	8	5	16
25	16	10	25

8.3.10　支承柱（GB/T 4169.10—2006）

标准支承柱见表 8-12、表 8-13。

表 8-12　支承柱 A 型（GB/T 4169.10—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

$D=25$mm，$L=80$mm 的 A 型支承柱：

支承柱 A　25×80　GB/T 4169.10—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 45 钢

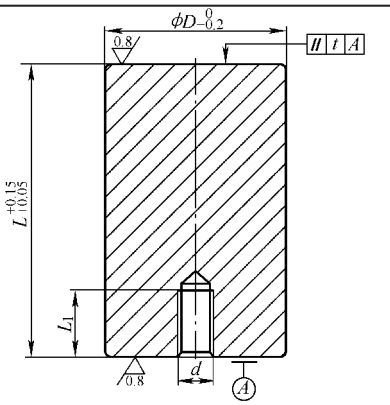
硬度 28～32HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 $R_a=6.3\mu m$；未注倒角为 $C1$

2）图中标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t 为 6 级精度

3）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D	L											d	L_1
	80	90	100	110	120	130	150	180	200	250	300		
25	×	×	×	×	×							M8	15
30	×	×	×	×	×								
35	×	×	×	×	×	×							
40	×	×	×	×	×	×	×					M10	18
50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×			
60	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	M12	20
80	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	M16	30
100	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		

表 8-13　支承柱 B 型（GB/T 4169.10—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

$D=25$mm，$L=80$mm 的 B 型支承柱：

支承柱 B　25×80　GB/T 4169.10—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 45 钢

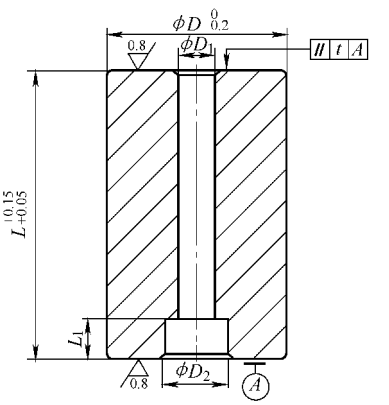
硬度为 28～32HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 $R_a=6.3\mu m$；未注倒角为 $C1$

2）图中标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t 为 6 级精度

3）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



（续）

D	L											D_1	D_2	L_1
	80	90	100	110	120	130	150	180	200	250	300			
25	×	×	×	×	×							9	15	9
30	×	×	×	×	×									
35	×	×	×	×	×	×								
40	×	×	×	×	×	×	×					11	18	11
50	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×				
60	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	13	20	13
80	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	17	26	17
100	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×			

8.3.11　圆形定位元件（GB/T 4169.11—2006）

标准圆形定位元件见表 8-14。

表 8-14　圆形定位元件（GB/T 4169.11—2006）

（1）标记示例

D = 12mm 的圆形定位元件：

圆形定位元件 12　GB/T 4169.11—2008

（2）材料及硬度

推荐采用 T10A，GCr15

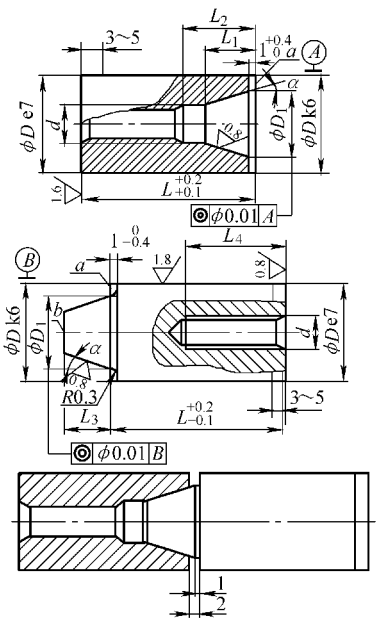
硬度为 58 ~ 62HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角为 $C1$

2）允许保留中心孔

3）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D/mm	D_1/mm	d/mm	L/mm	L_1/mm	L_2/mm	L_3/mm	L_4/mm	a/(°)
12	6	M4	20	7	9	5	11	5
16	10	M5	25	8	10	6	11	5 ~ 10
20	13	M6	30	11	13	9	13	
25	16	M8	30	12	14	10	15	
30	20	M10	40	16	18	14	18	
35	24	M12	50	22	24	20	24	

8.3.12　推板导套（GB/T 4169.12—2006）

标准推板导套见表 8-15。

表 8-15　推板导套（GB/T 4169.12—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例：

D = 20mm 的推板导套：

推板导套 20　GB/T 4169.12—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 T10A、GCr15、20Cr

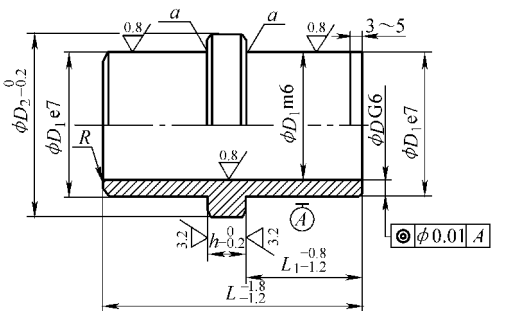
硬度为 52 ~ 56HRC。　20Cr 渗碳 0.5 ~ 0.8mm，硬度为 56 ~ 60HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角为 C1

2）可选砂轮越程槽或 R0.5 ~ R1mm 的圆角

3）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D	12	16	20	25	30	35	40	50
D_1	18	25	30	35	42	48	55	70
D_2	22	30	35	40	47	54	61	76
h	4					6		
R	3 ~ 4					5 ~ 6		
L	28		35		45	55	70	90
L_1	13		15		20	25	30	40

8.3.13　复位杆（GB/T 4169.13—2006）

标准复位杆见表 8-16。

表 8-16　复位杆（GB/T 4169.13—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例：

D = 10mm，L = 100mm 的复位杆：

复位杆 10 × 100　GB/T 4169.13—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 T10A、GCr15

硬度为 52 ~ 56HRC

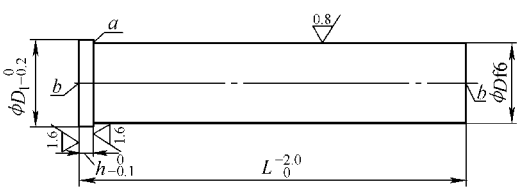
（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm

2）可选砂轮越程槽或 R0.5 ~ R1mm 的圆角

3）端面允许留有中心孔

4）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



（续）

D	D_1	h	L									
			100	125	150	200	250	300	350	400	500	600
10	15	4	×	×	×	×						
12	17		×	×	×	×	×					
15	20		×	×	×	×	×	×				
20	25			×	×	×	×	×	×	×		
25	30	8			×	×	×	×	×	×	×	
30	35				×	×	×	×	×	×	×	×
35	40					×	×	×	×	×	×	×
40	45	10					×	×	×	×	×	×
50	55						×	×	×	×	×	×

8.3.14　推板导柱（GB/T 4169.14—2006）

标准推板导柱见表 8-17。

表 8-17　推板导柱（GB/T 4169.14—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

D = 30mm，L = 100mm 的推板导柱：

推板导柱 30 × 100　GB/T 4169.14—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 T10A、GCr15、20Cr

硬度为 52 ~ 56HRC。20Cr 渗碳 0.5 ~ 0.8mm，硬度为 56 ~ 60HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角为 $C1$

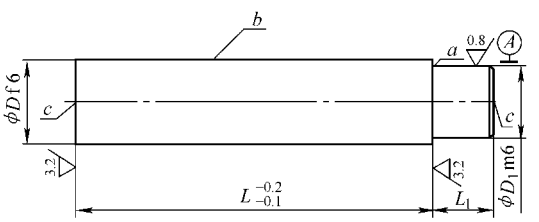
2）可选砂轮越程槽或 $R0.5 \sim R1$mm 的圆角

3）允许开油槽

4）允许保留两端的中心孔

5）图中标注的形位公差应符合 GB/T 1184—1996 的规定，t 为 6 级精度

6）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D		30	35	40	50
D_1		25	30	35	40
L_1		20	25	30	35
L	100	×			
	110	×	×		
	120	×	×		
	130	×	×		
	150	×	×	×	
	180		×	×	×
	200			×	×
	250			×	×
	300				×

8.3.15　扁推杆（GB/T 4169.15—2006）

标准扁推杆见表 8-18。

表 8-18　扁推杆（GB/T 4169.15—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

$a=1$mm，$b=4$mm，$L=80$mm 的扁推杆：

扁推杆 1×4×80 GB/T 4169.15—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 4Cr5MoSiV1、3Cr2W8

硬度为 45～50HRC 淬火后表面可进行渗氮处理，渗氮层深度为 0.08～0.15mm，心部硬度为 40～44HRC，表面硬度≥900HV

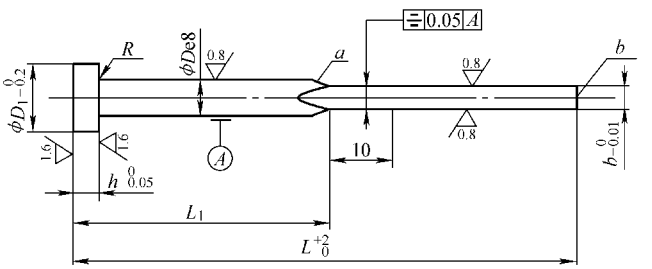
（3）技术条件

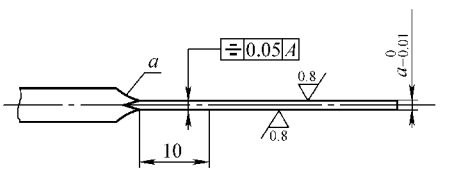
1）未注表面粗糙度 $R_a=6.3\mu m$

2）圆弧半径小于 10mm

3）端面不允许留有中心孔，棱边不允许倒钝

4）应符合 GB/T 4170—2006 的规定





D	D_1	a	b	h	R	L						
						80	100	125	160	200	250	300
						L_1						
						40	50	63	80	100	125	150
4	8	1	3	3	0.3	×	×	×	×	×		
		1.2				×	×	×	×	×		
5	10	1	4			×	×	×	×	×		
		1.2				×	×	×	×	×		
6	12	1.2	5	5	0.5		×	×	×	×	×	
		1.5					×	×	×	×	×	
		1.8					×	×	×	×	×	
8	14	1.5	6					×	×	×	×	
		1.8						×	×	×	×	
		2						×	×	×	×	
10	16	1.5	8						×	×	×	×
		1.8							×	×	×	×
		2							×	×	×	×

（续）

D	D_1	a	b	h	R	L						
						80	100	125	160	200	250	300
						L_1						
						40	50	63	80	100	125	150
12	18	1.5	10	7	0.8					×	×	×
		1.8								×	×	×
		2								×	×	×
16	22	2	14							×	×	×
		2.5								×	×	×

8.3.16　带肩推杆（GB/T 4169.16—2006）

标准带肩推杆见表 8-19。

表 8-19　带肩推杆（GB/T 4169.16—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例：

$D=1$mm，$L=80$mm 的带肩推杆：

带肩推杆 1 × 80　GB/T 4169.16—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 4Cr5MoSiV1、3Cr2W8V

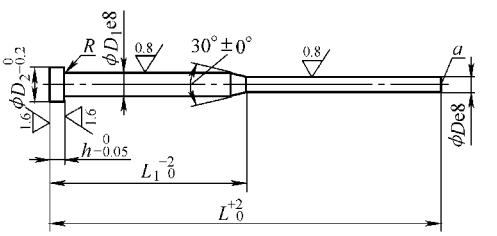
硬度为 45～50HRC。淬火后表面可进行渗氮处理，渗氮层深度为 0.08～0.15mm，心部硬度 40～44HRC，表面硬度≥900HV

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 $R_a=6.3\mu$m

2）端面不允许留有中心孔，棱边不允许倒钝

3）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D	D_1	D_2	h	R	L								
					80	100	125	150	200	250	300	350	400
					L_1								
					40	50	63	75	100	125	150	175	200
1	2	4	2	0.3	×	×	×	×	×				
1.5	3	6	3		×	×	×	×	×				
2					×	×	×	×	×				
2.5					×	×	×	×	×				
3	4	8				×	×	×	×	×			

（续）

D	D_1	D_2	h	R	L								
					80	100	125	150	200	250	300	350	400
					L_1								
					40	50	63	75	100	125	150	175	200
3.5	8	14	5	0.5		×	×	×	×	×			
4						×	×	×	×	×	×		
4.5	10	16		0.8		×	×	×	×	×	×		
5						×	×	×	×	×	×		
6	12	18	7				×	×	×	×	×	×	
8									×	×	×	×	
10	16	22								×	×	×	×

8.3.17　推管（GB/T 4169.17—2006）

标准推管见表 8-20。

表 8-20　推管（GB/T 4169.17—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例：

$D=2$mm，$L=80$mm 的推管：

推管 2×80　GB/T 4169.17—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 4Cr5MoSiV1、3Cr2W8V

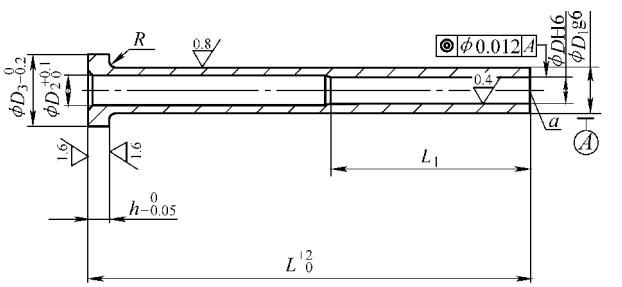
硬度 45～50HRC。淬火后表面可进行渗氮处理，渗氮层深度为 0.08～0.15mm，心部硬度 40～44HRC，表面硬度≥900HV

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 $R_a=6.3\mu$m；未注倒角为 $C1$

2）端面棱边不允许倒钝

3）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



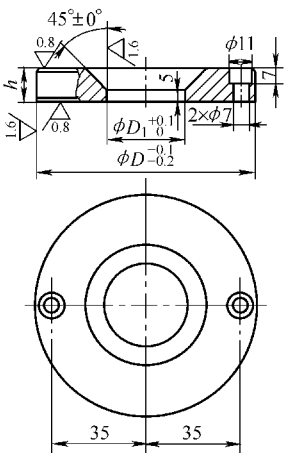
D	D_1	D_2	D_3	h	R	L_1	L/mm						
							80	100	125	150	175	200	250
2	4	2.5	8	3	0.3	35	×	×	×				
2.5	5	3	10				×	×	×				
3	5	3.5				45	×	×	×	×			
4	6	4.5	12	5	0.5		×	×	×	×	×	×	
5	8	5.5	14				×	×	×	×	×	×	
6	10	6.5	16					×	×	×	×	×	×
8	12	8.5	20	7	0.8			×	×	×	×	×	×
10	14	10.5	22					×	×	×	×	×	×
12	16	12.5	22						×	×	×	×	×

8.3.18　定位圈（GB/T 4169.18—2006）

标准定位圈见表 8-21。

表 8-21　定位圈（GB/T 4169.18—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例：
D = 100mm 的定位圈：
定位圈 100 GB/T 4169.18—2006
（2）材料及硬度
推荐采用 45 钢
硬度 28 ~ 32HRC
（3）技术条件
1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角为 $C1$
2）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



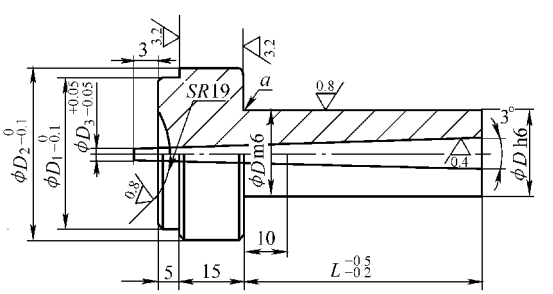
D	D_1	h
100	35	12
120		
150		

8.3.19　浇口套（GB/T 4169.19—2006）

标准浇口套见表 8-22。

表 8-22　浇口套（GB/T 4169.19—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例：
D = 12mm、L = 50mm 的浇口套：
浇口套 12 × 50　GB/T 4169.19—2006
（2）材料及硬度：
推荐采用 45 钢
局部热处理，SR19mm 球面硬度 38 ~ 45HRC
（3）技术条件：
1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角为 $C1$
2）可选砂轮越程槽或 R0.5 ~ 1mm 圆角
3）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



（续）

D	D_1	D_2	D_3	L		
				50	80	100
12	35	40	2.8	×		
16			2.8	×	×	
20			3.2	×	×	×
25			4.2	×	×	×

8.3.20　拉杆导柱（GB/T 4169.20—2006）

标准拉杆导柱见表 8-23。

表 8-23　拉杆导柱（GB/T 4169.20—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

D = 16mm，L = 100mm 的拉杆导柱：

拉杆导柱 16 × 100　GB/T 4169.20—2006

（2）材料及硬度

推荐采用 T10A、GCr15、20Cr

硬度为 56 ~ 60HRC，20Cr 渗碳 0.5 ~ 0.8mm，硬度为 56 ~ 60HRC

（3）技术条件

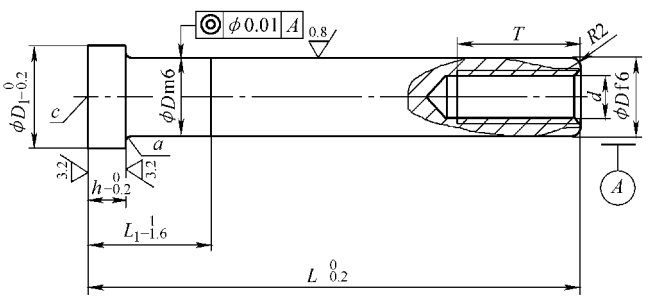
1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角为 $C1$

2）可选砂轮越程槽或 $R0.5$ ~ $R1$mm 圆角

3）允许开油槽

4）允许保留中心孔

5）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D	16	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100
D_1	21	25	30	35	40	45	55	66	76	86	96	106
h	8	10	12	14	16	18	20	25				
d	M10	M12	M14	M16				M20		M24		
T	25	30	35	40				50		60		
L_1	25	30	35	45	50	60	70 80	90	100	120	140	150

（续）

	100	×	×	×									
	110	×	×	×									
	120	×	×	×									
	130	×	×	×	×								
	140	×	×	×	×								
	150	×	×	×	×								
	160	×	×	×	×	×							
	170	×	×	×	×	×							
	180	×	×	×	×	×							
	190	×	×	×	×	×							
	200	×	×	×	×	×	×						
	210		×	×	×	×	×						
	220		×	×	×	×	×						
	230		×	×	×	×	×						
	240		×	×	×	×	×						
	250		×	×	×	×	×	×					
	260			×	×	×	×	×					
L	270			×	×	×	×	×					
	280			×	×	×	×	×	×				
	290			×	×	×	×	×	×				
	300			×	×	×	×	×	×	×			
	320				×	×	×	×	×	×			
	340					×	×	×	×	×	×		
	360					×	×	×	×	×	×		
	380						×	×	×	×	×		
	400						×	×	×	×	×	×	×
	450							×	×	×	×	×	×
	500							×	×	×	×	×	×
	550								×	×	×	×	×
	600								×	×	×	×	×
	650									×	×	×	×
	700									×	×	×	×
	750									×	×	×	×
	800									×	×	×	×

8.3.21　矩形定位元件（GB/T 4169.21—2006）

标准矩形定位元件见表 8-24。

表 8-24　矩形定位元件（GB/T 4169.21—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

L = 50mm 的矩形定位元件

矩形定位元件　50GB/T 4169.21—2006

（2）材料及硬度

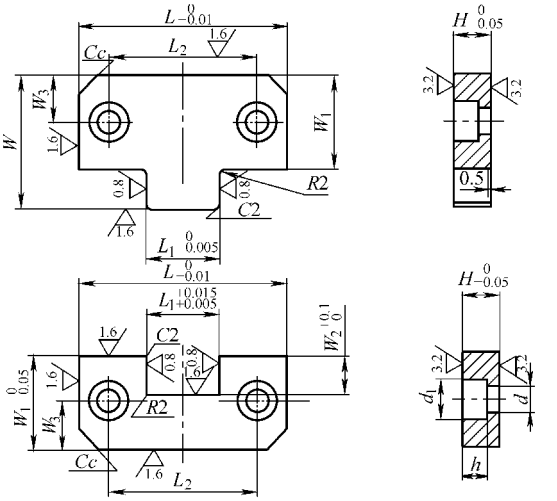
推荐采用 GCr15、9CrWMn

凸件硬度 50～54HRC，凹件硬度 56～60HRC

（3）技术条件

1）未注表面粗糙度 R_a = 6.3μm；未注倒角为 $C1$

2）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



L	L_1	L_2	W	W_1	W_2	W_3	c	d	d_1	H	h
50	17	34	30	21.5	8.5	11	5	7	11	16	8
75	25	50	50	36	15	18	8	11	17.5	19	12
100	35	70	65	45	21	22	10	11	17.5	19	12
125	45	84	65	45	21	22	10	11	17.5	25	12

8.3.22　圆形拉模扣（GB/T 4169.22—2006）

标准圆形拉模扣见表 8-25。

表 8-25　圆形拉模扣（GB/T 4169.22—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

D = 12mm 的圆形拉模扣：

圆形拉模扣 12　GB/T 4169.22—2006

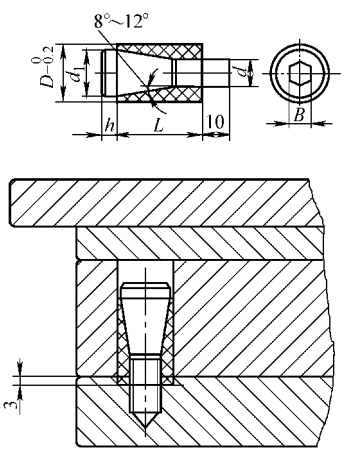
（2）材料及硬度

推荐采用尼龙 66；螺钉推荐采用 45 钢，硬度为 28～32HRC

（3）技术条件

1）未注倒角为 $C1$

2）应符合 GB/T 4170—2006 的规定



D	L	d	d_1	h	B
12	20	M6	10	4	5
16	25	M8	14	5	6
20	30	M10	18	5	8

8.3.23　矩形拉模扣（GB/T 4169.23—2006）

标准矩形拉模扣见表 8-26。

表 8-26　矩形拉模扣（GB/T 4169.23—2006）　　（单位：mm）

（1）标记示例

W = 52mm、L = 100mm 的矩形拉模扣：

矩形拉模扣 52 × 100　GB/T 4169.23—2006

（2）材料及硬度

本体与插件推荐采用 45 顶销推荐采用 GCr15

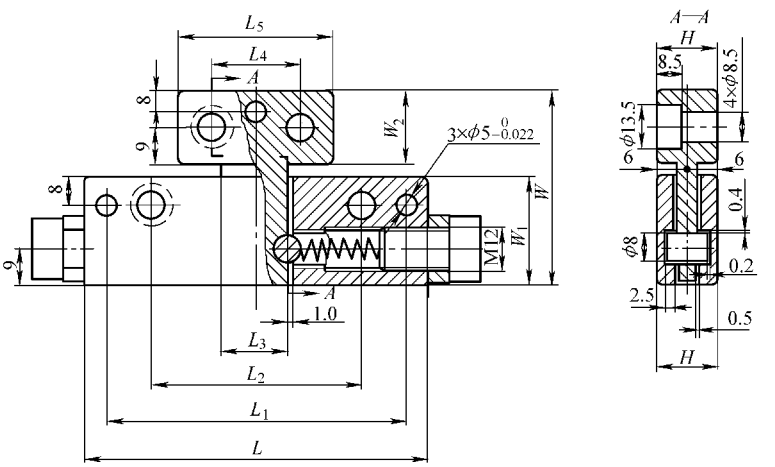
插件硬度 40 ~ 45HRC，顶销硬度 58 ~ 62HRC

（3）技术条件

1）未注倒角为 $C1$

2）最大使用负荷应达到：L = 100mm 为 10kN，L = 120mm 为 12kN

3）其余应符合 GB/T 4170—2006 的规定



W	W_1	W_2	L	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	H
52	30	20	100	85	60	20	25	45	22
80									
66	36	28	120	100	70	24	35	60	28
110									

8.4　注塑模模架（GB/T 12555—2006）

8.4.1　模架组成零件的名称

模架组成零件的名称如图 8-1、图 8-2 所示。

8.4.2　模架的主要结构形式和名称

8.4.2.1　模架的基本形式

按照在模具中的应用方式，模架分为直浇口与点浇口两种形式。直浇口模架基本型有 4 种，即 A、B、C、D 。A 型如图 8-3 所示，定模二模板，动模二模板；B 型如图 8-4 所示，定模二模板，动模二模板，加装推件板；C 型如图 8-5 所示，定模二模板，动模一模板；D 型如图 8-6 所示，定模二模板，动模一模板，加装推件板。

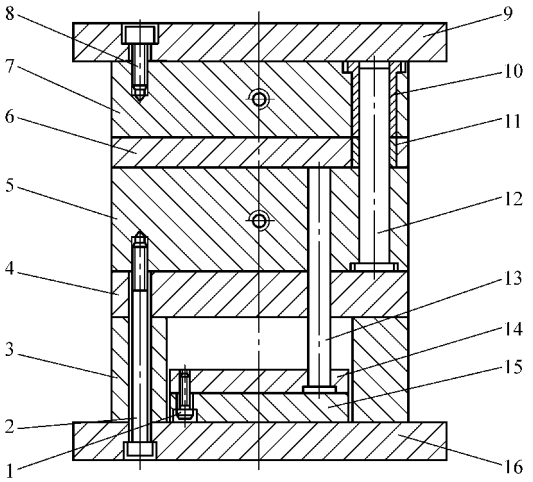


图 8-1　直浇口模架

1、2、8—内六角螺钉　3—垫块　4—支承板　5—动模板
6—推件板　7—定模板　9—定模座板　10—带头导套
11—直导套　12—带头导柱　13—复位杆
14—推杆固定板　15—推板　16—动模座板

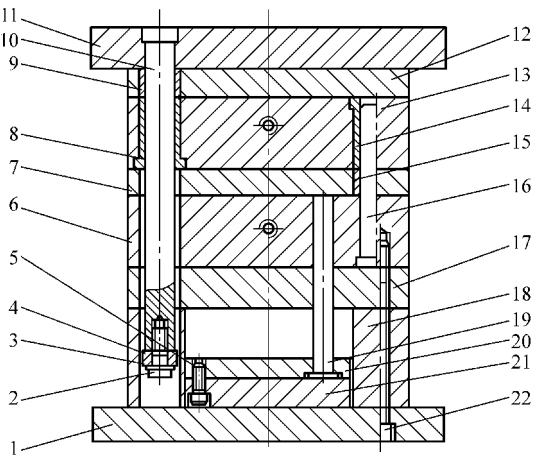


图 8-2　点浇口模架

1—动模座板　2、5、22—内六角螺钉　3—弹簧垫圈
4—挡环　6—动模板　7—推件板　8、14—带头导套
9、15—直导套　10—拉杆导柱　11—定模座板
12—推料板　13—定模板　16—带头导柱
17—支承板　18—垫块　19—复位杆
20—推杆固定板　21—推板

点浇口模架是在直浇口模架的基础上加装推料板和拉杆导柱，其基本型也分为 4 种，相应为 DA、DB、DC、DD，分别如图 8-7、图 8-8、图 8-9 和图 8-10 所示。

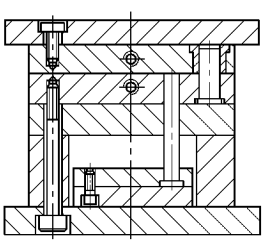


图 8-3　直浇口 A 型模架

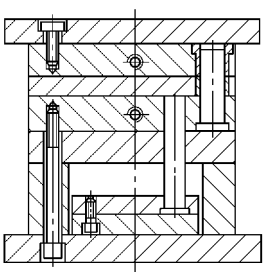


图 8-4　直浇口 B 型模架

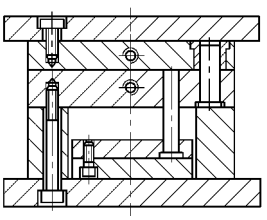


图 8-5　直浇口 C 型模架

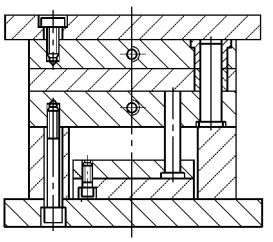


图 8-6　直浇口 D 型模架

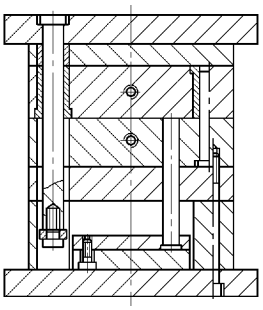


图 8-7　点浇口 DA 型模架

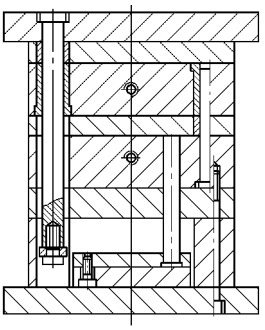


图 8-8　点浇口 DB 型模架

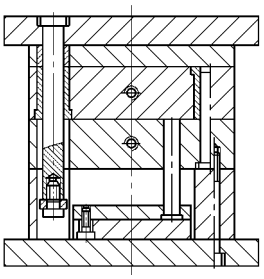


图 8-9　点浇口 DC 型模架

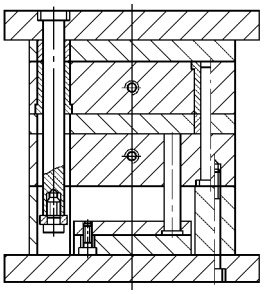


图 8-10　点浇口 DD 型模架

8.4.2.2　模架的类别及名称

模架按结构特征分为 36 种主要结构，其分类及名称如下：

1. 直浇口模架

（1）直浇口基本型

1）A 型见图 8-3。

2）B 型见图 8-4。

3）C 型见图 8-5。

4）D 型见图 8-6。

（2）直身基本型

1）ZA 型见图 8-11。

2）ZB 型见图 8-12。

3）ZC 型见图 8-13。

4）ZD 型见图 8-14。

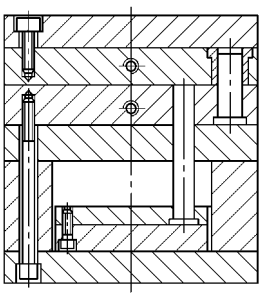


图 8-11　直浇口直身 ZA 型模架

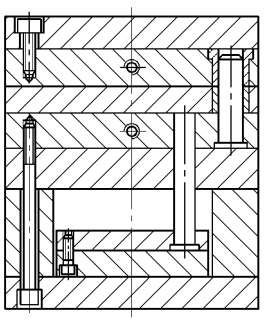


图 8-12　直浇口直身 ZB 型模架

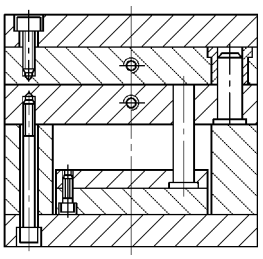


图 8-13　直浇口直身 ZC 型模架

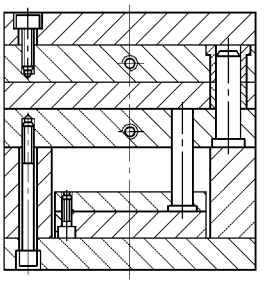


图 8-14　直浇口直身 ZD 型模架

（3）直身无定模座板型

1）ZAZ 型见图 8-15。

2）ZBZ 型见图 8-16。

3）ZCZ 型见图 8-17。

4）ZDZ 型见图 8-18。

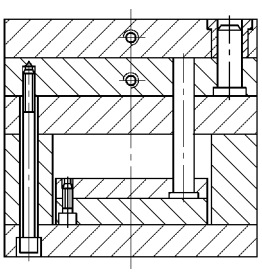


图 8-15　直浇口直身无定模座板 ZAZ 型模架

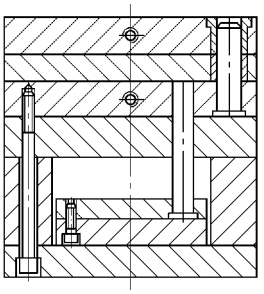


图 8-16　直浇口直身无定模座板 ZBZ 型模架

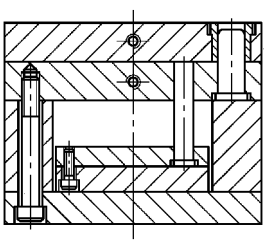


图 8-17　直浇口直身无定模座板 ZCZ 型模架

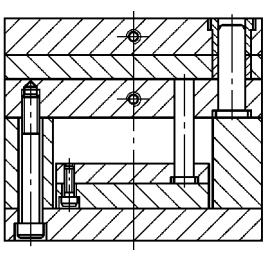


图 8-18　直浇口直身无定模座板 ZDZ 型模架

2. 点浇口模架

（1）点浇口基本型

1）DA 型见图 8-7。

2）DB 型见图 8-8。

3）DC 型见图 8-9。

4）DD 型见图 8-10。

（2）直身点浇口基本型

1）ZDA 型见图 8-19。

2）ZDB 型见图 8-20。

3）ZDC 型见图 8-21。

4）ZDD 型见图 8-22。

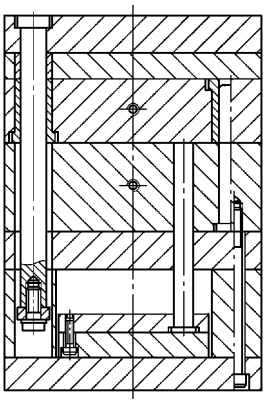


图 8-19　直身点浇口 ZDA 型模架

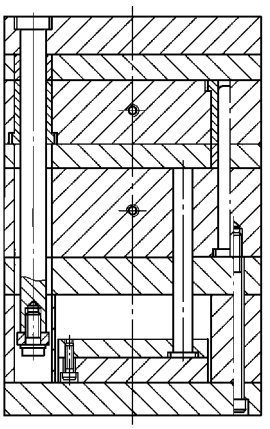


图 8-20　直身点浇口 ZDB 型模架

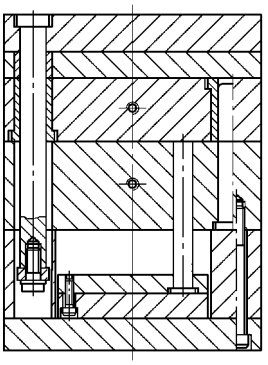


图 8-21　直身点浇口 ZDC 型模架

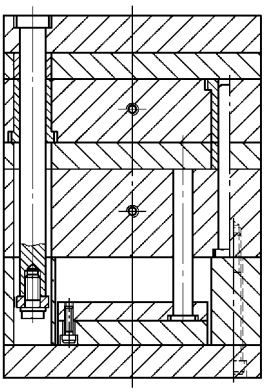


图 8-22　直身点浇口 ZDD 型模架

（3）点浇口无推料板型

1）DAT 见图 8-23。

2）DBT 见图 8-24。

3）DCT 见图 8-25。

4）DDT 见图 8-26。

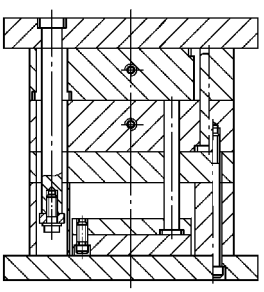


图 8-23　点浇口无推料板 DAT 型模架

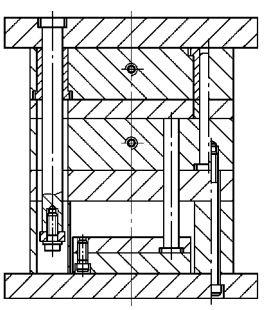


图 8-24　点浇口无推料板 DBT 型模架

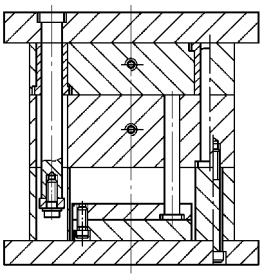


图 8-25　点浇口无推料板 DCT 型模架

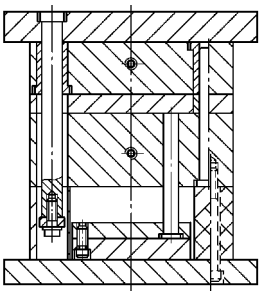


图 8-26　点浇口无推料板 DDT 型模架

（4）直身点浇口无推料板型

1）ZDAT 见图 8-27。

2）ZDBT 见图 8-28。

3）ZDCT 见图 8-29。

4）ZDDT 见图 8-30。

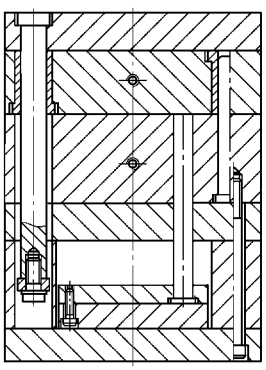


图 8-27　直身点浇口无推料板 ZDAT 型模架

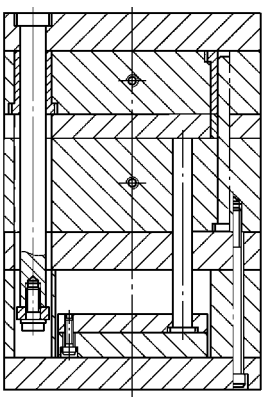


图 8-28　直身点浇口无推料板 ZDBT 型模架

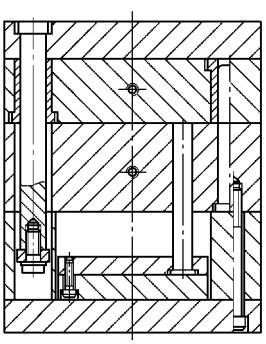


图 8-29　直身点浇口无推料板 ZDCT 型模架

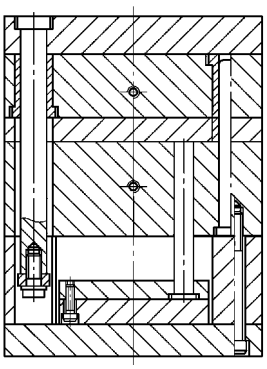


图 8-30　直身点浇口无推料板 ZDDT 型模架

3. 简化点浇口模架

（1）简化点浇口基本型

1）JA 见图 8-31。

2）JC 见图 8-32。

（2）直身简化点浇口型

1）ZJA 见图 8-33。

2）ZJC 见图 8-34。

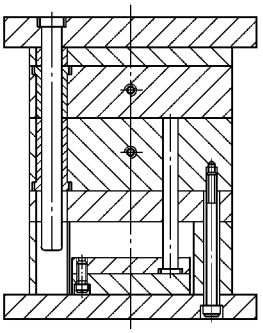


图 8-31　简化点浇口 JA 型模架

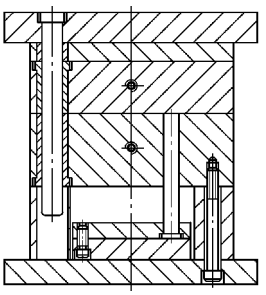


图 8-32　简化点浇口 JC 型模架

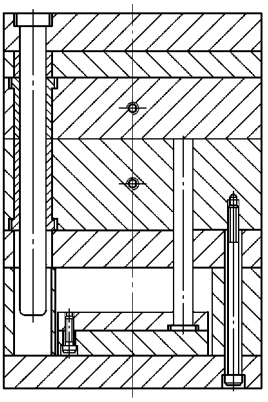


图 8-33　直身简化点浇口 ZJA 型模架

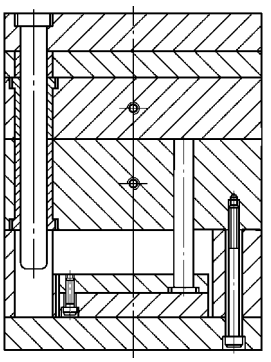


图 8-34　直身简化点浇口 ZJC 型模架

（3）简化点浇口无推料板型

1）JAT 见图 8-35。

2）JCT 见图 8-36。

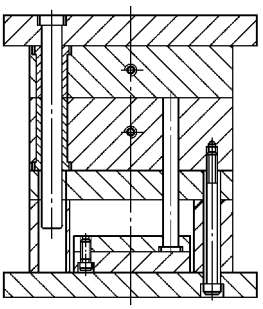


图 8-35　简化点浇口无推料板 JAT 型模架

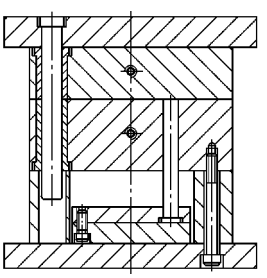


图 8-36　简化点浇口无推料板 JCT 型模架

（4）直身简化点浇口无推料板型

1）ZJAT 见图 8-37。

2）ZJCT 见图 8-38。

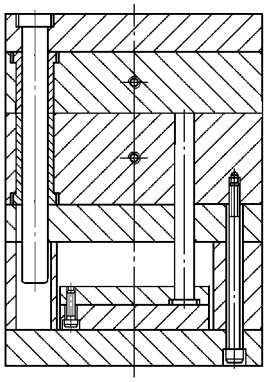


图 8-37　直身简化点浇口无推料板
ZJAT 型模板

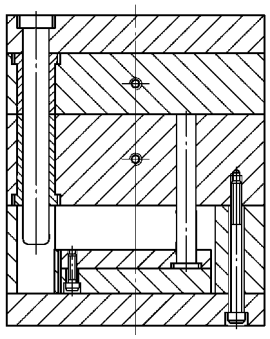


图 8-38　直身简化点浇口无推料板
ZJCT 型模板

8.4.3　基本型模架组合尺寸

模架的组合尺寸为模架零件的外形尺寸和孔径与孔位尺寸。组成模架的零件应符合 GB/T 4169.1～23—2006 的规定，基本型模架组合尺寸见图 8-39、图 8-40 和表 8-27。

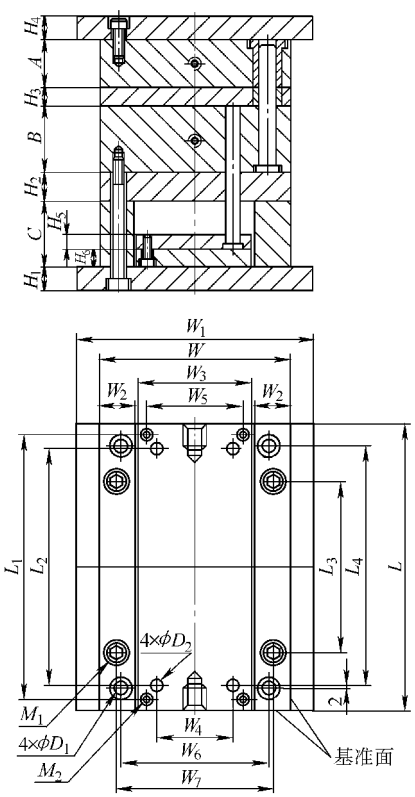


图 8-39　直浇口模架组合尺寸图示

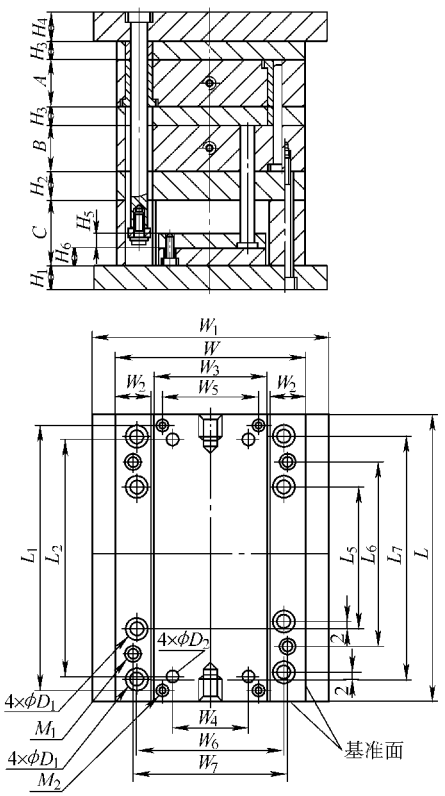


图 8-40　点浇口模架组合尺寸图示

表 8-27　基本型模架组合尺寸　　（单位：mm）

代号	系列										
	1515	1518	1520	1523	1525	1818	1820	1823	1825	1830	1835
W	150					180					
L	150	180	200	230	250	180	200	230	250	300	350
W_1	200					230					
W_2	28					33					
W_3	90					110					
A、B	20、25、30、35、40、45、50、60、70、80					25、30、35、40、50、60、70、80					
C	50、60、70					60、70、80					
H_1	20					20					
H_2	30					30					
H_3	20					20					
H_4	25					30					
H_5	13					15					
H_6	15					20					
W_4	48					68					
W_5	72					90					
W_6	114					134					
W_7	120					145					
L_1	132	162	182	212	232	160	180	210	230	280	330
L_2	114	144	164	194	214	138	158	188	208	258	308
L_3	56	86	106	136	156	64	84	114	124	174	224
L_4	114	144	164	194	214	134	154	184	204	254	304
L_5		52	72	102	122		46	76	96	146	196
L_6		96	116	146	166		98	128	148	198	248
L_7		144	164	194	214		154	184	204	254	304
D_1	16					20					
D_2	12					12					
M_1	4 × M10					4 × M12					6 × M12
M_2	4 × M6					4 × M8					

代号	系列											
	2020	2023	2025	2030	2035	2040	2323	2325	2327	2330	2335	2340
W	200						230					
L	200	230	250	300	350	400	230	250	270	300	350	400
W_1	250						280					
W_2	38						43					
W_3	120						140					

（续）

代号	系　列											
	2020	2023	2025	2030	2035	2040	2323	2325	2327	2330	2335	2340
A、B	25、30、35、40、45、50、60、70、80、90、100						25、30、35、40、45、60、70、80、90、100					
C	60、70、80						70、80、90					
H_1	25						25					
H_2	30						35					
H_3	20						20					
H_4	30						30					
H_5	15						15					
H_6	20						20					
W_4	84	80					106					
W_5	100						120					
W_6	154						184					
W_7	160						185					
L_1	180	210	230	280	330	380	210	230	250	280	330	380
L_2	150	180	200	250	300	350	180	200	220	250	300	350
L_3	80	110	130	180	230	280	106	126	144	174	224	274
L_4	154	184	204	254	304	354	184	204	224	254	304	354
L_5	46	76	96	146	196	246	74	94	112	142	192	242
L_6	98	128	148	198	248	298	128	148	166	196	246	296
L_7	154	184	204	254	304	354	184	204	224	254	304	354
D_1	20						20					
D_2	12	15					15					
M_1	4 × M12			6 × M12			4 × M12		4 × M14		6 × M14	
M_2	4 × M8						4 × M8					

代号	系　列												
	2525	2527	2530	2535	2540	2545	2550	2727	2730	2735	2740	2745	2750
W	250							270					
L	250	270	300	350	400	450	500	270	300	350	400	450	500
W_1	300							320					
W_2	48							53					
W_3	150							160					
A、B	30、35、40、45、50、60、70、80、90、100、110、120							30、35、40、45、50、60、70、80、90、100、110、120					
C	70、80、90							70、80、90					
H_1	25							25					
H_2	35							40					
H_3	35							25					

（续）

代号	系列												
	2525	2527	2530	2535	2540	2545	2550	2727	2730	2735	2740	2745	2750
H_4	35							35					
H_5	15							15					
H_6	20							20					
W_4	110							114					
W_5	130							136					
W_6	194							214					
W_7	200							215					
L_1	230	250	280	330	380	430	480	246	276	326	376	426	476
L_2	200	220	250	298	348	398	448	210	240	290	340	390	440
L_3	108	124	154	204	254	304	354	124	154	204	254	304	354
L_4	194	214	244	294	344	394	444	214	244	294	344	394	444
L_5	70	90	120	170	220	270	320	90	120	170	220	270	320
L_6	130	150	180	230	280	330	380	150	180	230	280	330	380
L_7	194	214	244	294	344	394	444	214	244	294	344	394	444
D_1	25							25					
D_2	15			20				20					
M_1	4 × M14			6 × M14				4 × M14			6 × M14		
M_2	4 × M8							4 × M10					

代号	系列												
	3030	3035	3040	3045	3050	3055	3060	3535	3540	3545	3550	3555	3560
W	300							350					
L	300	350	400	450	500	550	600	350	400	450	500	550	600
W_1	350							400					
W_2	58							63					
W_3	180							220					
A、B	35、40、45、50、60、70、80、90、100、110、120、130							40、45、50、60、70、80、90、100、110、120、130					
C	80、90、100							90、100、110					
H_1	25		30					30					
H_2	45							45					
H_3	30							35					
H_4	45							45			50		
H_5	20							20					
H_6	25							25					
W_4	134			128				164			152		
W_5	156							196					

（续）

代号	系　列												
	3030	3035	3040	3045	3050	3055	3060	3535	3540	3545	3550	3555	3560
W_6	234							284			274		
W_7	240							285					
L_1	276	326	376	426	476	526	576	326	376	426	476	526	576
L_2	240	290	340	390	440	490	540	290	340	390	440	490	540
L_3	138	188	238	288	338	388	438	178	224	274	308	358	408
L_4	234	284	334	384	434	484	534	284	334	384	424	474	524
L_5	98	148	198	244	294	344	394	144	194	244	268	318	368
L_6	164	214	264	312	362	412	462	212	262	312	344	394	444
L_7	234	284	334	384	434	484	534	284	334	384	424	474	524
D_1	30							30			35		
D_2	20			25				25					
M_1	4 × M14	6 × M14		6 × M16				4 × M16	6 × M16				
M_2	4 × M10							4 × M10					

代号	系　列										
	4040	4045	4050	4055	4060	4070	4545	4550	4555	4560	4570
W	400						450				
L	400	450	500	550	600	700	450	500	550	600	700
W_1	450						550				
W_2	68						78				
W_3	260						290				
A、B	40、45、50、60、70、80、90、100、110、120、130、140、150						45、50、60、70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180				
C	100、110、120、130						100、110、120、130				
H_1	30	35					35				
H_2	50						60				
H_3	35						40				
H_4	50						60				
H_5	25						25				
H_6	30						30				
W_4	198						226				
W_5	234						264				
W_6	324						364				
W_7	330						370				
L_1	374	424	474	524	574	674	424	474	524	574	674
L_2	340	390	440	490	540	640	384	434	484	534	634

（续）

代号	系列										
	4040	4045	4050	4055	4060	4070	4545	4550	4555	4560	4570
L_3	208	254	304	354	404	504	236	286	336	386	486
L_4	324	374	424	474	524	624	364	414	464	514	614
L_5	168	218	268	318	368	468	194	244	294	344	444
L_6	244	294	344	394	444	544	276	326	376	426	526
L_7	324	374	424	474	524	624	364	414	464	514	614
D_1	35						40				
D_2	25						30				
M_1	6 × M16						6 × M16				
M_2	4 × M12						4 × M12				

代号	系列									
	5050	5055	5060	5070	5080	5555	5560	5570	5580	5590
W	500					550				
L	500	550	600	700	800	550	600	700	800	900
W_1	600					650				
W_2	88					100				
W_3	320					340				
A、B	50、60、70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180					70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180、200				
C	100、110、120、130					110、120、130、150				
H_1	35					35				
H_2	60					70				
H_3	40					40				
H_4	60					70				
H_5	25					25				
H_6	30					30				
W_4	256					270				
W_5	294					310				
W_6	414					444				
W_7	410					450				
L_1	474	524	574	674	774	520	570	670	770	870
L_2	434	484	534	634	734	480	530	630	730	830
L_3	286	336	386	486	586	300	350	450	550	650
L_4	414	464	514	614	714	444	494	594	694	794
L_5	244	294	426	526	626	332	382	482	582	682
L_6	326	376	426	526	626	332	382	482	582	682

（续）

代号	系　列									
	5050	5055	5060	5070	5080	5555	5560	5570	5580	5590
L_7	414	464	514	614	714	444	494	594	694	794
D_1	40					50				
D_2	30					30				
M_1	6 × M16			8 × M16		6 × M20		8 × M20		
M_2	4 × M12			6 × M12		6 × M12		8 × M12		10 × M12

代号	系　列									
	6060	6070	6080	6090	60100	6565	6570	6580	6590	65100
W	600					650				
L	600	700	800	900	1000	650	700	800	900	1000
W_1	700					750				
W_2	100					120				
W_3	390					400				
A、B	70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180、200					70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180、200、220				
C	120、130、150、180					120、130、150、180				
H_1	35					35				
H_2	80					90				
H_3	50					60				
H_4	70					80				
H_5	25					25				
H_6	30					30				
W_4	320					330				
W_5	360					360				
W_6	494					544				
W_7	500					530				
L_1	570	670	770	870	970	620	670	770	870	970
L_2	530	630	730	830	930	580	630	730	830	930
L_3	350	450	550	650	750	400	450	550	650	750
L_4	494	594	694	794	894	544	594	694	794	894
L_5	270	370	470	570	670	320	370	470	570	670
L_6	382	482	582	682	782	434	482	582	682	782
L_7	494	594	694	794	894	544	594	694	794	894
D_1	50					50				
D_2	30					30				
M_1	6 × M20		8 × M20	10 × M20		6 × M20	8 × M20		10 × M20	
M_2	6 × M12		8 × M12	10 × M12		6 × M12	8 × M12		10 × M12	

（续）

代号	系列								
	7070	7080	7090	70100	70125	8080	8090	80100	80125
W	700					800			
L	700	800	900	1000	1250	800	900	1000	1250
W_1	800					900			
W_2	120					140			
W_3	450					510			
A、B	70、80、90、100、110、120、130、140、150、160、180、200、220、250					80、90、100、110、120、130、140、150、160、180、200、220、250、280、300			
C	150、180、200、250					150、180、200、250			
H_1	40					40			
H_2	100					120			
H_3	60					70			
H_4	90					100			
H_5	25					30			
H_6	30					40			
W_4	380					420			
W_5	420					470			
W_6	580					660			
W_7	580					660			
L_1	670	770	870	970	1220	760	860	960	1210
L_2	630	730	830	930	1180	710	810	910	1160
L_3	420	520	620	720	970	500	600	700	950
L_4	580	680	780	880	1130	660	760	860	1110
L_5	324	424	524	624	874	378	478	578	828
L_6	452	552	652	752	1002	516	616	716	966
L_7	580	680	780	880	1130	660	760	860	1110
D_1	60					70			
D_2	30					35			
M_1	8 × M20		10 × M20	12 × M20	14 × M20	8 × M24		10 × M24	12 × M24
M_2	6 × M12	8 × M12	10 × M12			8 × M16	10 × M16		

代号	系列									
	9090	90100	90125	90160	100100	100125	100160	125125	125160	125200
W	900				1000			1250		
L	900	1000	1250	1600	1000	1250	1600	1250	1600	2000
W_1	1000				1200			1500		
W_2	160				180			220		

（续）

代号	系　列									
	9090	90100	90125	90160	100100	100125	100160	125125	125160	125200
W_3	560				620			790		
A、B	90、100、110、120、130、140、150、160、180、200、220、280、300、350				100、110、120、130、140、150、160、180、200、220、250、280、300、350、400			100、110、120、130、140、150、160、180、200、220、250、280、300、350、400		
C	180、200、250、300				180、200、250、300			180、200、250、300		
H_1	50				60			70		
H_2	150				160			180		
H_3	70				80			80		
H_4	100				120			120		
H_5	30				30、40			40、50		
H_6	40				40、50			50、60		
W_4	470				580			750		
W_5	520				620			690		
W_6	760				840			1090		
W_7	740				820			1030		
L_1	860	960	1210	1560	960	1210	1560	1210	1560	1960
L_2	810	910	1160	1510	900	1150	1500	1150	1500	1900
L_3	600	700	950	1300	650	900	1250	900	1250	1650
L_4	760	860	1110	1460	840	1090	1440	1090	1440	1840
L_5	478	578	828	1178	508	758	1108	758	1108	1508
L_6	616	716	966	1316	674	924	1374	924	1274	1674
L_7	760	860	1110	1460	840	1090	1440	1090	1440	1840
D_1	70				80			80		
D_2	35				40			40		
M_1	10 × M24	12 × M24		14 × M24	12 × M24		14 × M24	12 × M30	14 × M30	16 × M30
M_2	10 × M16		12 × M16		10 × M16	12 × M16		12 × M16		

8.4.4　导向件与螺钉的安装形式

1）根据模具使用要求，模架中的导柱导套可以分为正装和反装两种形式（见图 8-41）。

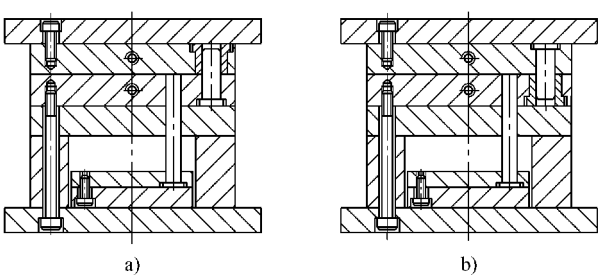


图 8-41　导柱导套正反装形式

a）导柱导套正装　b）导柱导套反装

2）根据模具使用要求，模架中的拉杆导柱可以分为装在内侧与装在外侧两种形式（见图 8-42）。

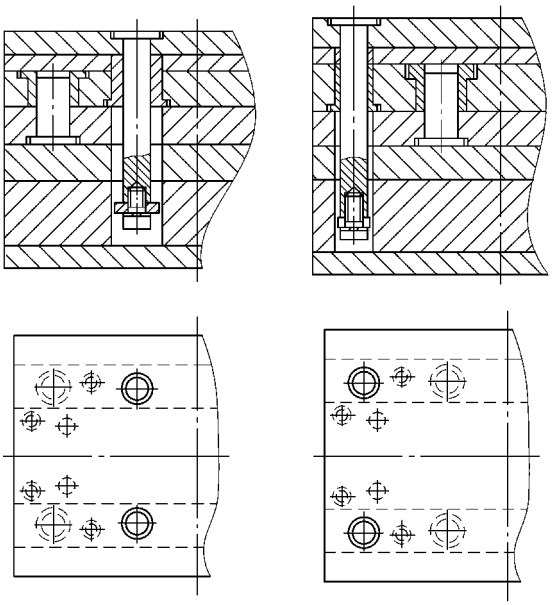


图 8-42　拉杆导柱安装形式

a）拉杆导柱在内　b）拉杆导柱在外

3）根据模具使用要求，模架中的垫块可以通过增加螺钉而单独固定在动模座板上（见图 8-43）。

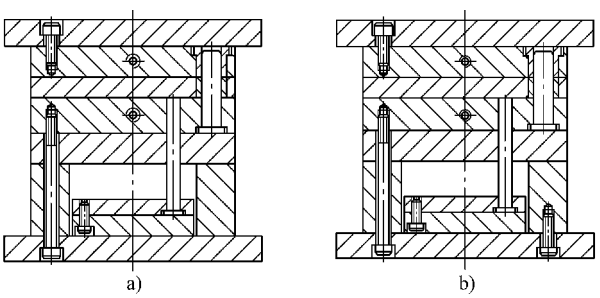


图 8-43　垫块与动模座板的安装形式

a）垫块与动模座板无固定螺钉　b）垫块与动模座板有固定螺钉

4）根据模具使用要求，模架中的推板可以加装推板导柱及限位钉（见图 8-44）。

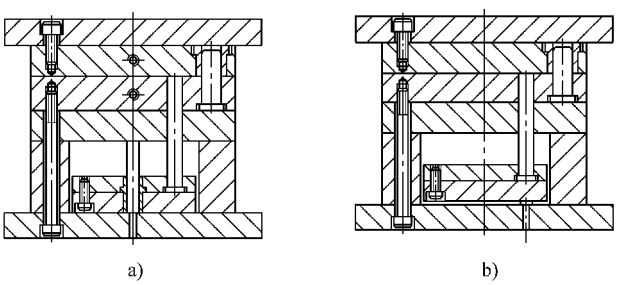


图 8-44　加装推板导柱及限位钉的形式

a）加装推板导柱　b）加装限位钉

5）根据模具使用要求，模架中的定模板厚度较大时，导套可以配装成图 8-45 所示结构。

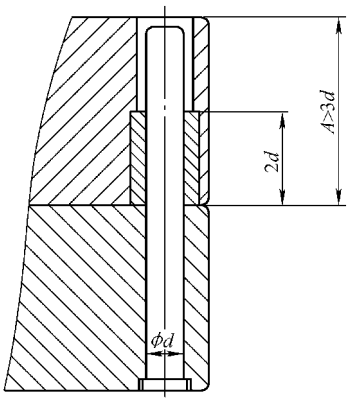
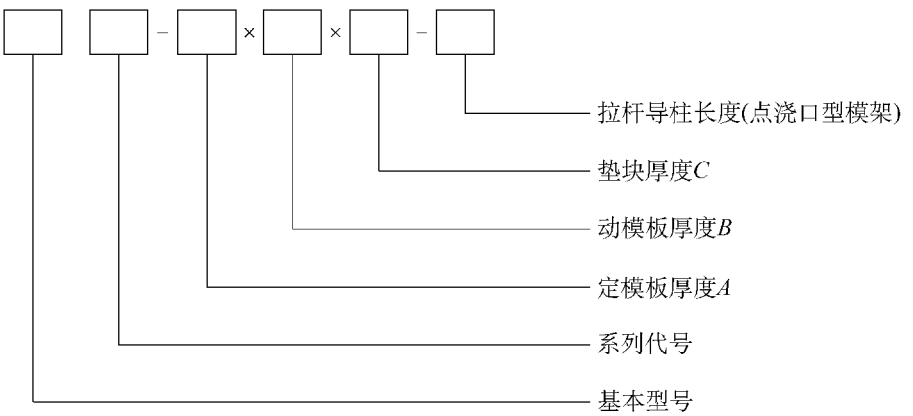


图 8-45　较厚定模板导套结构

8.4.5　模架的标记方法

注塑模模架规格的标记方法如下：



例 1：模板宽 200mm、长 250mm，$A=50$mm，$B=40$mm，$C=70$mm 的直浇口 A 型模架标记如下：

模架 A 2025—50×40×70　GB/T 12555—2006

例 2：模板宽 300mm、长 300mm，$A=50$mm，$B=60$mm，$C=90$mm，拉杆导柱长度 200mm 的点浇口 B 型模架标记如下：

模架 DB 3030—50×60×90—200　GB/T 12555—2006

第 9 章　顶 出 机 构

当模具开启后，要有特定的装置切实可靠地将制品从模具的一侧推顶出来，在这个过程中不能使制品发生顶白及卡滞等不良的成型现象，或者发生变形；当模具闭合时，要保证不会与模具的其他零部件发生干涉，并安全地复位到顶出前的初始位置，以便进行周期性地注塑，这种顶出装置称为顶出机构。制品的顶出是注塑成型过程中最后的一个环节，顶出质量的好坏将最后决定制品的质量。因此，制品的顶出位置是不可忽视的。

制品的顶出形式，归纳起来可分为机械顶出、液压顶出和气动顶出三大类。

9.1　顶出机构的设计原则

制品的顶出主要考虑两个重要环节，一是顶出位置，二是留模形式。

在设计顶出机构的顶出位置时，应遵守下列原则：

1）为使制品不至于因顶出产生变形，推力点应尽量靠近型芯或难于脱模的部位，如制品上细长的中空圆柱，多采用推管推出，推力点的布置尽量均匀。

2）推力点应作用在制品最大的承力部位，即刚性好的部位，如筋部、突缘、壳体形制品的壁缘等。

3）尽量避免推力点作用在制品的薄平面上，防止制品破裂、穿孔等。如壳体形制品及筒形制品多采用推板顶出。

4）为避免顶出痕迹影响外观，顶出装置应设在制品的隐藏面或非装饰表面。对于透明制品，尤其要注意顶出位置及顶出形式的选择。

5）为使制品在顶出时受力均匀，同时避免因真空吸附而使制品发生变形，往往采用复合顶出或特殊形式的顶出机构，如推杆推板或推杆推管复合顶出，或者采用进气式推管、推块等顶出装置，必要时还应设置进气阀。

另外，需要确定当模具开启后制品的留模形式（留在动模、定模或者滑块），顶出机构必须是建立在制品所滞留的模具部分中。由于注塑机的顶出机构设置在动模板一侧，因此大多数模具的顶出机构是安装在动模中的。当然也有制品在成型过程中要求模具开启后，滞留在定模中，此时必须采取特殊的顶出机构以使其从定模脱离出来。还有些特殊情况，滑块抽芯时会拉扯制品，从而使制品变形，此时也必须采取顶出机构迫使制品率先顶离滑块部分。为了提高生产效率，缩短成型周期和实现自动化，不仅制品需要顺利顶出，而且流道中的塑料也必须可靠地脱出。

9.2　顶出机构的设计要点

由于塑料制品的尺寸、形状各不相同，差距甚大，因而每副模具顶出机构的结构各异，但是对所有注塑模具顶出机构的要求均是相同的，即要求它在规定的时间内将制品不变形且

准确地进行顶出。在设计顶出机构时，应考虑以下因素：

（1）顶出行程　模具顶出行程并非是越大越好，在保证制品能安全脱离模具的前提下，减小顶出行程有利于减短顶出周期，同时也能提高顶出部件的寿命。由于标准模架顶出间距 H 一般都大于制品所需要的顶出行程 S，因此一般有两种方案：一是通过缩短模脚的高度，使得 $H=S$；二是通过设置限位柱，如图 9-1 所示。

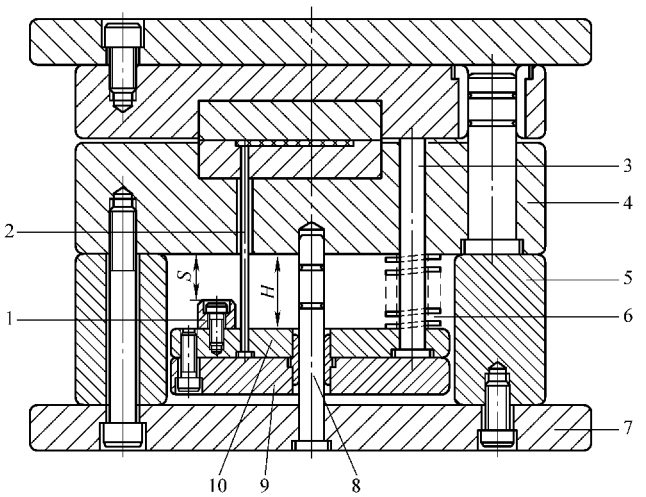


图 9-1　普通顶出机构

1—限位柱　2—顶杆　3—复位杆　4—动模模板　5—模脚　6—弹簧
7—动模固定板　8—中托司　9—顶杆底板　10—顶杆面板

大部分制品的顶出行程需要保证制品脱离模具 5～10mm 即可，如图 9-2a 所示，$S=5\sim10$mm。对于成型一些形状简单且顶出斜度较大的桶形制品，也可使顶出行程为制品深度的 2/3，如图 9-2b 所示，$S=2H/3$。

值得注意的是，有些制品空间有限，顶出制品的顶杆必须做得很细，顶出行程越大，就越容易损坏顶杆。因此，ϕ3mm 以下的顶杆必须做成双托形式，同时要尽量控制顶出行程。

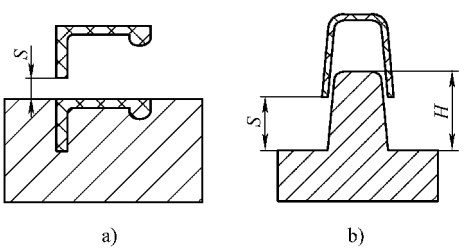


图 9-2　顶出距离

（2）复位杆　顶杆在将制品顶出后，其端面位置会高于型芯（型腔）表面许多，在下一次合模（模具合紧之前）时，必须使其退回到顶出前的初始位置，以免破坏型腔（或型芯），因此在顶出机构中必须设有复位杆帮助顶杆回位，如图 9-1 所示。

（3）定位与导向　当制品产量较大（一般超过 50000 件）或需要使用较细的顶杆，同时顶出行程较长以及使用顶管顶出并在动模固定板装有细长芯子时，为保护顶杆（或长芯子），使其运动平稳，顶出机构需要设置导向装置，即在动模模板、顶杆面板、顶杆底板及动模固定板之间装中托司，以保证其位置精度，如图 9-1 所示。

（4）顶杆端面与型芯（或型腔）平面的关系　顶杆端面与型芯（或型腔）平面在理论上应处于同一平面。但是为了模具制造与装配简便，在实际中，大多允许顶杆的端面超过型

芯（或型腔）*A* 或低于该平面 *B* 的尺寸 0.05～0.1mm，如图 9-3 所示。

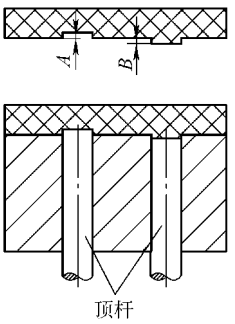


图 9-3　顶杆端面与型芯平面的关系

（5）顶出的形状　众所周知，圆柱形顶杆及其顶杆孔的加工比其他形状的顶杆和顶杆孔要容易得多，因此，在选择顶杆时，应尽量使用圆柱形顶杆。另外，除非制品形状限定必须使用外，应尽量避免采用直径小于 3mm 的细长顶杆。对于高度大于 8mm 的筋条，一般要设置扁顶杆顶出，一方面加强顶出，一方面便于排气。传统的加工方法是直接线割加工扁顶孔，由于加工会出现自然圆角，装配时需要修正扁顶的形状，因而就容易出现毛刺。比较可靠的加工方法是采用镶拼的方法来加工扁顶孔，如图 9-4 左图所示。

（6）支撑　在成型较大制品时，由于顶杆固定板和垫板尺寸较大，使得动模垫条之间的跨度随之增加，在较高的注塑压力下，动模垫板可能发生弯曲变形，从而导致顶杆运动不畅或卡死，如图 9-5 所示。解决这一问题最常用的办法，除了用增加动模垫板的厚度来增强其刚度外，还可以在动模垫板与动模固定板之间设置支撑柱来防止成型过程中动模垫板的变形。

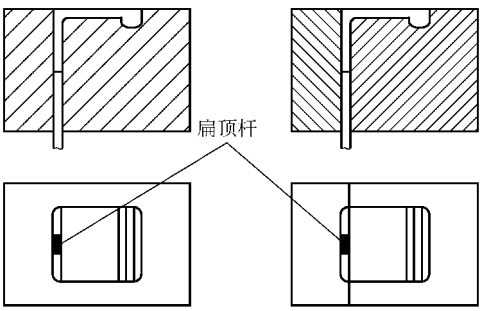


图 9-4　传统加工方法与镶拼加工

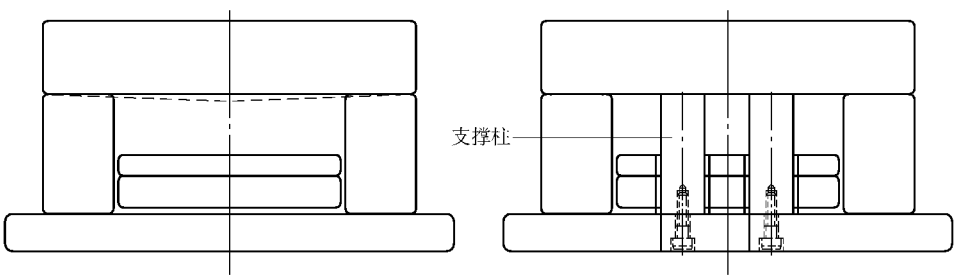


图 9-5　增设支撑柱减少模板变形

（7）顶出位置的设置　正确的顶出位置，应设在制品顶出有困难的地方。众所周知，制品除筋、柱子处有顶出困难外，凡是由塑料包围钢件的地方，顶出都会发生困难。这是由于塑料熔体冷却后的收缩应力对钢件产生的抱紧现象所导致的。因此，凡是在模具中塑料对钢件有抱紧现象的地方，都应作为设置顶出机构的地方而重点加以考虑。

如图 9-6 所示结构，由于制品形状简单，没有筋、柱子等，塑料冷却后，制品由模具型腔四边向中心收缩，因此塑料对钢件不存在抱紧现象。针对这种结构的模具，其顶杆不必设置过多。根据经验，顶杆间距（*A* 或 *B*）约在直径（ϕD）的 10 倍以内，就能平衡顶出。

如图 9-7 所示结构相对要复杂些，此时塑料对型芯有抱紧现象，因此顶杆数量应多加一些。对于具有抱紧作用的制品，一般顶杆间距约为顶杆直径的 5 倍左右为宜。

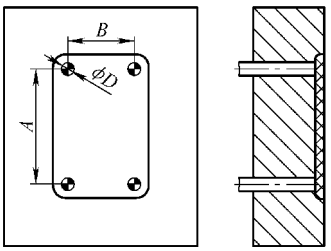


图 9-6　顶杆数量与制品的关系Ⅰ

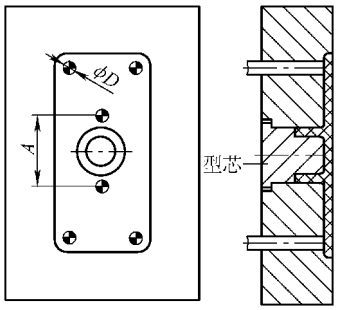


图 9-7　顶杆数量与制品的关系Ⅱ

9.3　机械顶出机构方式

9.3.1　动模一次顶出机构

1. 圆顶杆

如前所述，由于圆顶杆是最普通、最简单的顶出装置，圆顶杆及顶杆孔都易于加工，因此已被作为标准件而广泛使用。在加工尺寸较长的顶出孔时，可采用距型芯表面一段距离（一般配合段 H 约直径的 3 倍左右为宜）后，改为扩孔的方法来减少顶杆与模具的接触面，以避免发生咬蚀及简化模具制造，如图 9-8 所示。顶杆还需要进行淬火处理，使其具有足够的强度和耐磨性。

2. 扁顶杆

当制品内部有较深的筋、槽等结构时，由于空间限制而无法设置圆顶杆，在其底部设置扁顶杆是切实有效的方法；另一方面，还可以避免困气，改善制品填充。扁顶杆的缺点：加工比圆孔困难，另外，扁顶杆的强度相对圆顶杆较低。为克服扁顶杆这两项较为突出的缺点，在实际制造中，大多采用以下方法：首先，对于模具型芯可采用镶拼结构（见图 9-9），以解决扁顶杆加工困难的问题；其次，针对扁顶杆强度较低的问题，在要求顶出行程较大的模具中，顶出时易发生弯曲或折断。为保证其位置精度，需要装置中托司，如图 9-1 所示。

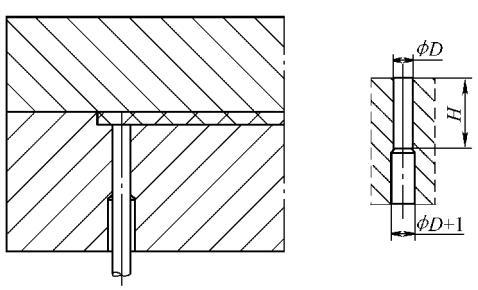


图 9-8　顶杆与模板的配合方式

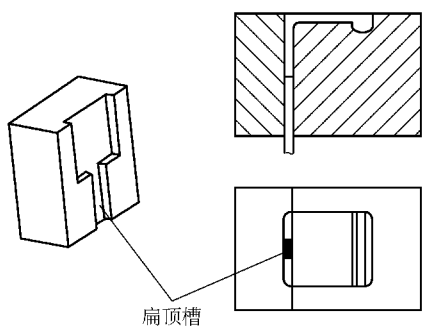


图 9-9　制作扁顶杆的镶拼方法

3. 顶管（司筒）

当制品柱子中心带有内孔时，采用顶管顶出方式是非常有效的。这种方式，在模具制造

中可以将制品圆柱内孔的脱模斜度减小为0.5°以下，一般也可以不做脱模斜度。值得注意的是，为使顶出运动平稳，在采用顶管顶出方式时，其顶出板、动模底板及动模板之间应设置导向机构；同时，为了防止在注塑压力下司筒针后退，一般要用压块压住，防止出现毛刺，如图9-10所示。另外，订购的司筒长度不宜过长，一般为设计尺寸再加上5～10mm。

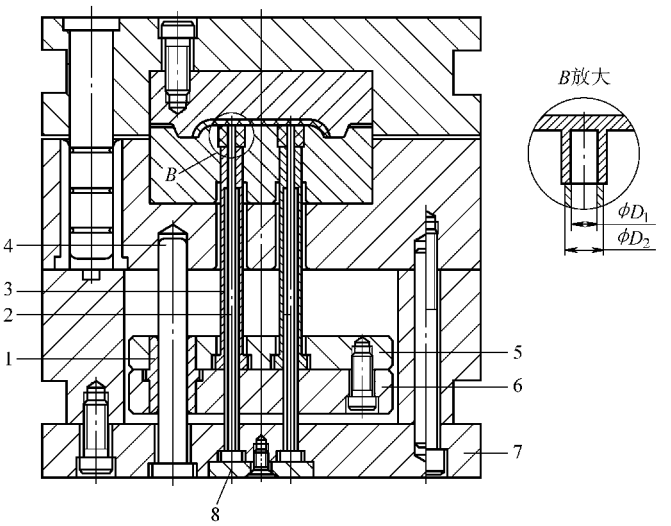


图9-10　顶管顶出机构

1—中托司　2—司筒针　3—司筒　4—推板导柱　5—顶杆面板
6—顶杆底板　7—动模底板　8—压块

4. 顶块

在大、中型制品中，为了使制品便于顶出，经常使用顶块配合顶杆的顶出结构；为了避免顶块在运动中与型芯发生碰撞和降低加工及组装的难度，制造时应使二者之间的最小距离为0.5mm。另外，当有侧滑块与顶出发生干涉时，顶块的端面应设有角度A，以防止顶块复位不彻底时影响侧滑块的运动（见图9-11）。此时在模具中还应设有顶出机构和复位机构。

与其他顶出方式一样，为保证其位置精度和运动平稳，在顶出行程较长的中、大型模具中，使用顶块结构需设有导向装置。

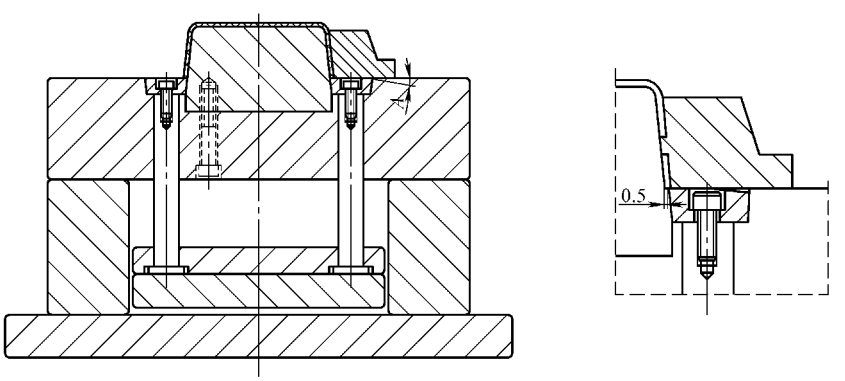


图9-11　顶块机构

5. 推板

当制品的内、外表面都不允许有顶杆痕迹或形状较深时（例如电唱机透明上罩、加湿器水箱壳体等），采用推板顶出制品是一种简单可靠的方法，如图9-12所示。

当模具精度较高或制品产量较大时，为防止推板与型芯因频繁摩擦而发生咬蚀，可在推板中与型芯接触处镶上一圈经过淬火处理的钢或黄铜材料的衬套（由于黄铜材料与钢材的比热容不同，因而采用黄铜衬套比采用经过淬火处理的钢衬套更不易发生咬蚀）。

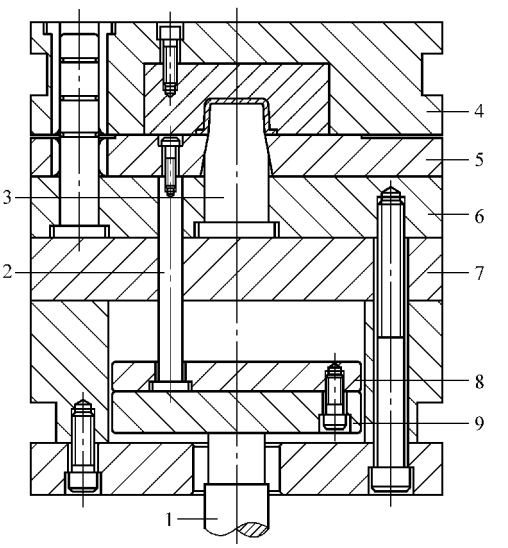


图9-12　推板顶出机构

1—顶棍　2—复位杆　3—型芯　4—定模模板　5—推板　6—型芯固定板　7—支承板　8—顶杆面板　9—顶杆底板

9.3.2　动模二次顶出机构

二次顶出通常用在两个方面：一次顶出容易翘曲的制品及强制脱模，即对于深腔薄壁的制品，如果采用一次顶出，容易把制品戳破，这时采用二次顶出能起到较好的效果；对于有些卡钩有倒扣，由于空间的限制，不宜采用斜顶或者滑块脱模，而且倒扣小于0.8mm的软料制品，常采用二次顶出强制脱模。

1. 浮动型芯式二次顶出机构

浮动型芯式二次顶出机构如图9-13所示。开模时，首先在Ⅰ－Ⅰ处分型，动模型芯5在处于压缩状态的弹簧8的弹力作用下，连同制品一起顶出一段距离S，消除对制品中心部位变形的外部阻碍后限位，继续开模，由于制品中心部位凹入形状的作用，型芯5对制品有很大的抱紧力，迫使制品脱离定模镶件4，最后由动模顶杆9将制品从型芯5上强制顶出。合模时，动模型芯5由其与定模镶件4的碰穿面复位。型芯浮动距离S与制品强脱距离H应满足以下关系：

$$S \geqslant H$$

关键点：适合内倒扣强制顶出，此二次顶出简单有效，但需要有碰穿面顶回复位。

2. 浮动司筒式二次顶出机构

浮动司筒式二次顶出机构的制品如图9-14所示，浮动司筒式二次顶出机构如图9-15所示。开模时，首先在Ⅰ－Ⅰ处分型，由于制品倒扣（$t \leqslant 0.8$mm）对司筒针12具有很大的抱紧力，司筒11在顶出制品的同时也带动司筒针移动。当顶出S_1距离后，司筒针限位，同时也消除了制品向外变形的阻碍；继续开模，最后由司筒11将制品从司筒针12上强制顶出，由限位柱10限位，停止顶出。

$$S_2 < S_3$$

关键点：适合内倒扣强制顶出，此二次顶出相对浮动型芯式二次顶出更为简单有效，制品倒扣底面有足够空间做司筒顶出，同样需要有碰穿面顶回复位。

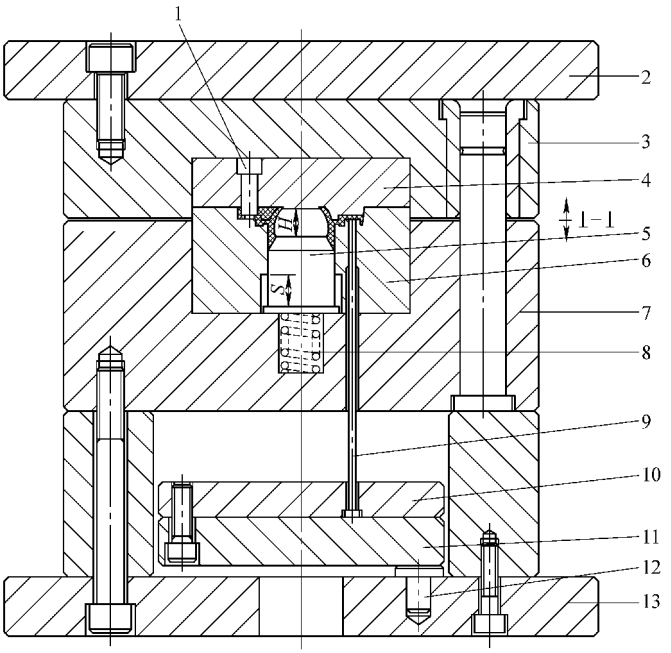


图 9-13　浮动型芯式二次顶出机构

1—定模型芯　2—定模固定板　3—定模板　4—定模镶件　5—动模型芯
6—动模镶件　7—动模模板　8—弹簧　9—动模顶杆　10—顶杆面板
11—顶杆底板　12—垃圾钉　13—动模固定板

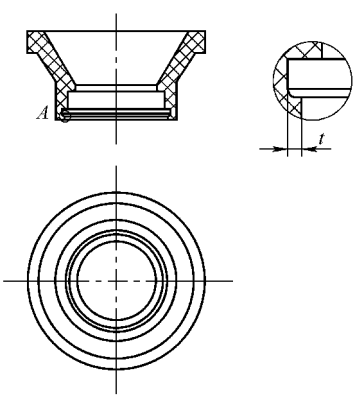


图 9-14　浮动司筒式二次顶出机构的制品

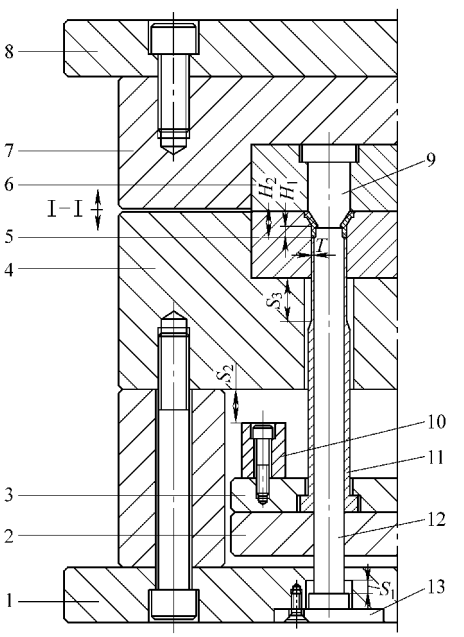


图 9-15　浮动司筒式二次顶出机构

1—动模固定板　2—顶杆底板　3—顶杆面板　4—动模板
5—动模镶件　6—定模镶件　7—定模板　8—定模固定板
9—定模型芯　10—限位柱　11—司筒　12—司筒针　13—压板

3. 浮动顶杆二次顶出机构

浮动顶杆二次顶出机构的制品如图 9-16 所示，浮动顶杆二次顶出机构如图 9-17 所示。开模时，首先在Ⅰ－Ⅰ处分型，由于制品倒扣（$t \leqslant 0.8\text{mm}$）对浮动顶杆 12 具有很大的抱紧力，顶杆 10 在顶出制品的同时也带动浮动顶杆 12 移动。当顶出 S_1 距离后，浮动顶杆限位，同时也消除了制品向外变形的阻碍；继续开模，最后由顶杆 10 将制品从浮动顶杆 12 上强制顶出。

$$S_1 < S_2,\ S_1 < S_3$$

关键点：适合内倒扣强制顶出，此二次顶出与浮动司筒式类似，但没有碰穿面可以顶回复位，借助顶杆面板 3 复位时顶回浮动顶杆 12。

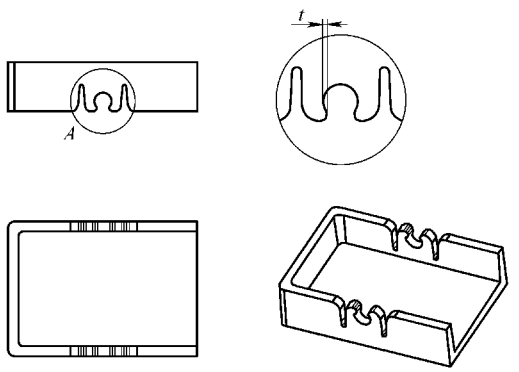


图 9-16　浮动顶杆二次顶出机构的制品

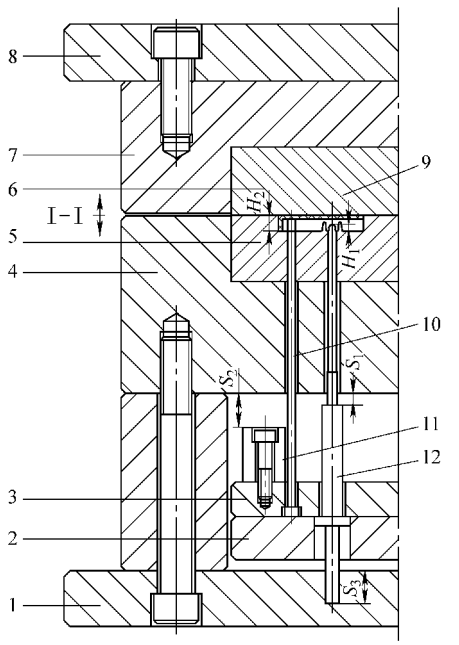


图 9-17　浮动顶杆二次顶出机构

1—动模固定板　2—顶杆底板　3—顶杆面板　4—动模板
5—动模镶件　6—定模镶件　7—定模板　8—定模固定板
9—定模型芯　10—顶杆　11—限位柱　12—浮动顶杆

4. 弹开式二次顶出机构

弹开式二次顶出机构如图 9-18 所示。由于制品外侧面有倒扣，开模后，在弹簧 5 的作用下，推板 6 推动制品脱开动模镶件 8。当推板 6 同制品一起顶出距离 S_1，消除制品向内变形的内部阻碍后由限位螺钉 7 限位，最后由顶杆 9 将制品从推板 6 上强制顶出。

利用弹簧完成二次顶出，在模具结构上是最简单的方法，但弹簧容易弹性疲乏，具有一定的局限性。

如果 S_1 顶出的行程不需要很长，利用优力胶代替弹簧也是一种可行的方法。

优力胶是一种人工橡胶发泡制成的材料，压缩比例不高，大约只有 1/3（弹簧的压缩比例可以达到 1/2）。在硬度上与气压弹簧有一点相似，就是越压到底越硬，但是它在更短的行程内会增加得更硬。其疲劳强度也不如线圈弹簧，但只要适度的润滑，仍然可以维持很久。

优力胶比较麻烦的问题是对温度非常的敏感，低温时会变硬，高温时会变软。使用时必

须特别注意其寿命，模具维护时记得检查并且更换有问题的材料。

关键点：适合外倒扣制品的强制顶出。

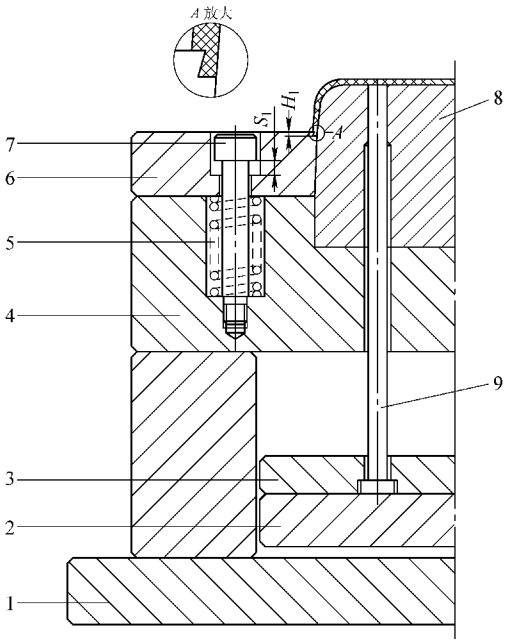


图 9-18　弹开式二次顶出机构

1—动模固定板　2—顶杆底板　3—顶杆面板　4—动模垫板　5—弹簧
6—推板　7—限位螺钉　8—动模镶件　9—顶杆

5. 拉开式二次顶出机构

虽然利用弹簧可以在开模后进行推板的顶出，但是对于大、中型模具来说，弹簧的力量是不够的，通常采用刚性机构来代替弹簧。

如图 9-19 所示的制品，该制品能用来布置顶杆的区域是非常有限的，$A \leqslant 1\text{mm}$，制品的高度 H 又相对比较深，如果采用图示的 4 根顶杆顶出，很容易出现顶白等不良缺陷，这时需要设置二次顶出机构。

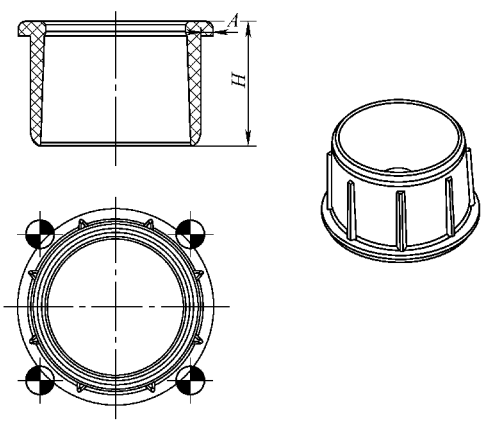


图 9-19　拉开式二次顶出机构的制品

如图 9-20 所示，开模时，首先从 Ⅰ－Ⅰ 处分型，由于抱紧力的关系，制品率先脱离定模型腔 1，防止粘定模，开锁杆 14 分开 L_1 距离后由钢珠锁住，接着拉动推板 11，从而使制品脱离动模型芯 4，接着由限位拉杆 3 进行限位 L_2 距离，最后由顶杆 6 顶出制品。

关键点：适合外倒扣制品的顶出方式或者辅助二次顶出（降低型芯的包紧力，避免顶出变形）。需要正确评估包紧力大小，防止分型顺序 Ⅰ－Ⅰ 及 Ⅱ－Ⅱ 顺序倒置。

6. 限位二次顶出机构

限位二次顶出机构如图 9-21 所示。顶杆 16、一级顶杆面板 6 及一级顶杆底板 5 组成第一级顶出机构，斜顶 17、二级顶杆面板 4 及二级顶杆底板 3 组成第二级顶出机构。

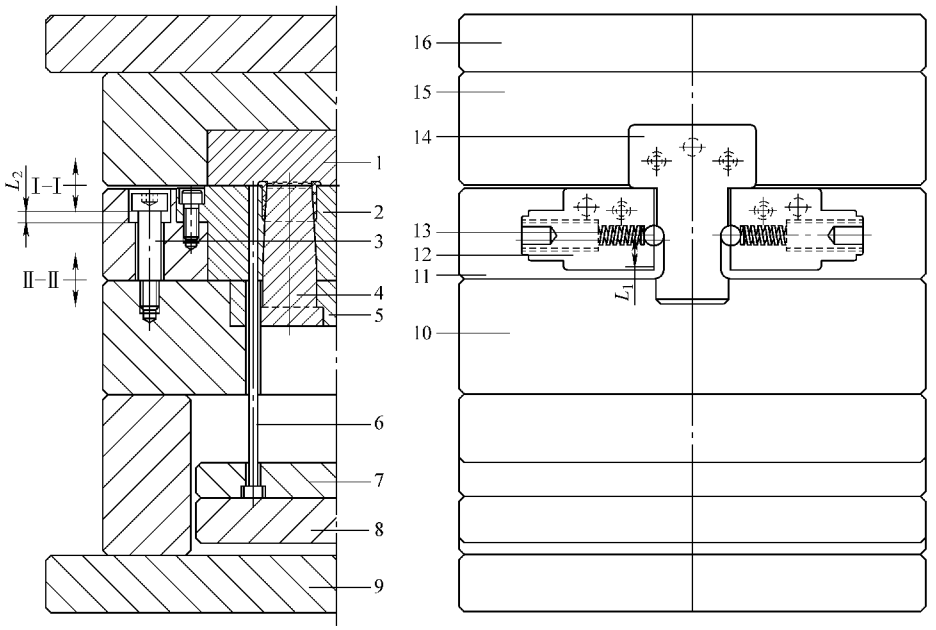


图 9-20　拉开式二次顶出机构

1—定模型腔　2—动模型腔　3—限位拉杆　4—动模型芯　5—动模型芯固定板　6—顶杆　7—顶杆面板
8—顶杆底板　9—动模固定板　10—动模垫板　11—推板　12—锁套　13—弹簧　14—开锁杆
15—定模模板　16—定模固定板

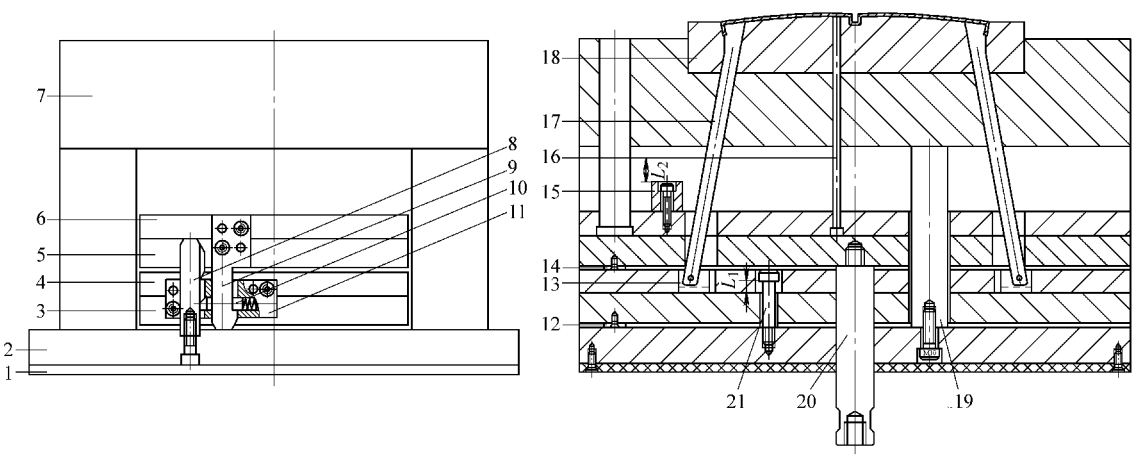


图 9-21　限位二次顶出机构

1—隔热板　2—动模固定板　3—二级顶杆底板　4—二级顶杆面板　5—一级顶杆底板
6—一级顶杆面板　7—动模模板　8—开锁杆　9—锁杆　10—锁键　11—底座
12、14—垃圾钉　13—斜顶滑座　15—限位柱　16—顶杆　17—斜顶
18—动模型腔　19—支撑柱　20—顶棍　21—限位螺钉

顶出时，注塑机顶棍 20 首先推动第一级顶出机构，由于锁杆 9 与锁键 10 锁住的作用，第一级顶出机构拉动第二级顶出机构同时移动。当制品从型腔 18 中脱开 L_1 距离，斜顶 17 脱离制品的倒扣，完成第一级顶出动作，限位螺钉 21 限位。以此同时，开锁杆斜面克服弹簧对锁键的弹力作用，使得锁杆脱开；注塑机顶棍 20 继续顶出时，第一级顶出机构继续顶出，从而将制品顶出。

7. 超前二次顶出机构

超前二次顶出机构如图 9-22 所示。顶杆 5、一级顶杆面板 7 及一级顶杆底板 8 组成第一级顶出机构，顶杆 6、二级顶杆面板 9 及二级顶杆底板 10 组成第二级顶出机构。顶出时，注塑机顶杆首先推动第二级顶出机构，同时，第二级顶出机构推动第一级顶出机构移动。当制品从型腔中脱开 L_1 距离，完成第一级顶出动作；此时，加速板开始接触模脚 2。继续顶出时，加速板绕着转动轴转动，第一级顶出机构由于加速板转动作用做超前顶出，从而将制品顶出。

$$L_1 < L_2$$

关键点：适合内倒扣较大的场合，没办法强制脱模。

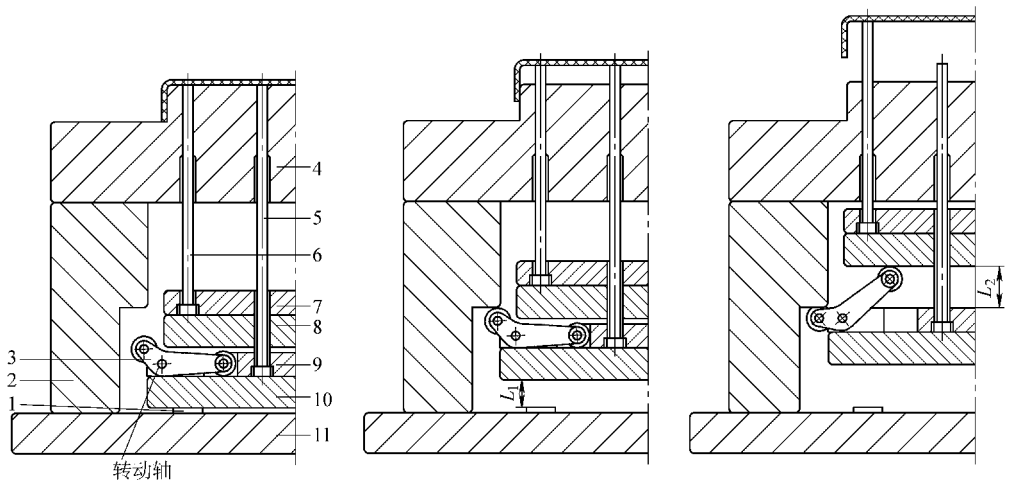


图 9-22　超前二次顶出机构

1—垃圾钉　2—模脚　3—加速板　4—动模模板　5、6—顶杆　7—一级顶杆面板
8—一级顶杆底板　9—二级顶杆面板　10—二级顶杆底板　11—动模固定板

8. 滞后二次顶出机构

滞后二次顶出机构如图 9-23 所示。顶棍 1 连接在注塑机上，顶出时，顶棍首先推动顶

$$L \geqslant L_1+L_2 \quad L_1+L_2 \geqslant H_1+H_2+S \quad S_1 \geqslant H_2 \quad S_1=L_2-S \quad S_1=S=L_2/2$$

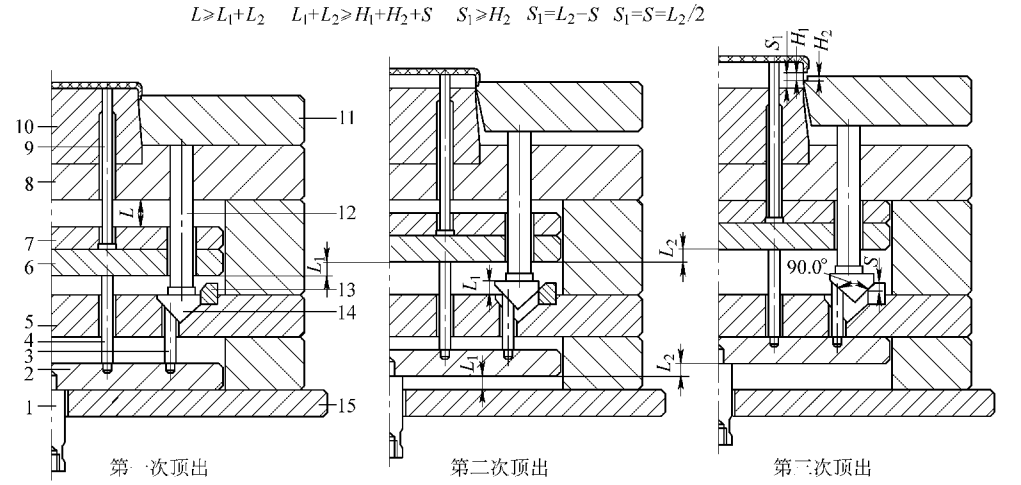


图 9-23　滞后二次顶出机构

1—顶棍　2—顶杆推板　3—斜面推杆　4—推杆　5—支承板　6—顶杆底板　7—顶杆面板　8—垫板
9—顶杆　10—型芯　11—推件板　12—复位杆　13—耐磨块　14—三角块　15—动模固定板

杆推板 2，推杆 4、斜面推杆 3、三角块 14、复位杆 12 及顶杆 9 同时移动，从而使推件板 11 及顶杆 9 同时顶出制品，使其脱离型芯 10，完成第一次顶出动作。此时三角块 14 的斜面移至口部，继续顶出时，由于三角块 14 在斜面上有横向滑动，使复位杆 12 滞后于顶杆 9，制品被顶出推件板 11 的型腔。

9.3.3　定模顶出机构

定模顶出机构按照顶出的作用可分为：辅助顶出机构及脱料顶出机构两种。

1. 辅助顶出机构

辅助顶出机构适用于制品定模一侧是外观面，但由于深腔或者筋、柱子等有较大的抱紧力，开模时，有粘定模的可能性，这时需要在抱紧力大的局部设置辅助顶出机构，让制品附着在动模侧，再由动模机构顶出制品。

如图 9-24 所示，由于制品外观面有一圆台，对定模型芯有较大的抱紧力，会粘定模，所以需在定模设置弹簧辅助顶出机构。开模时，定模型芯 3 在处于压缩状态的弹簧 4 的弹力作用下，使制品脱离定模型腔 2，滞留于动模部分。当定模型芯 3 弹开一段距离 S 后，继续开模，由动模的抱紧力促使制品脱离定模型芯 3，最后再由动模顶杆 1 顶出制品。合模时，定模型芯 3 靠跟动模的碰穿面使压缩弹簧 4 复位。

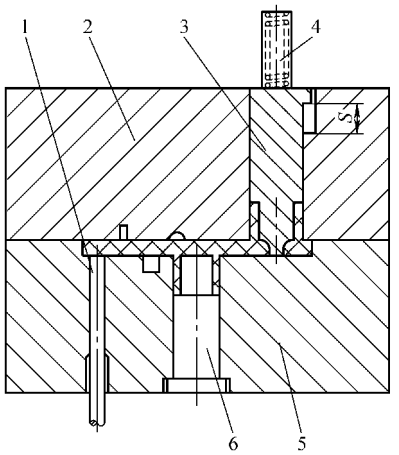


图 9-24　定模弹簧辅助顶出

1—动模顶杆　2—定模型腔　3—定模型芯

4—弹簧　5—动模型腔　6—动模型芯

2. 脱料顶出

有些制品不允许外表面有任何进浇口及顶杆的痕迹，只能将浇口及顶杆设置在内表面，或因制品结构的限制，在开模后，必须将制品滞留在定模型腔中(例如塑料刷子)。针对这些问题，顶出机构需要设置在定模一侧。

如图 9-25 所示，浇注系统及顶出机构都设置在定模部分，为了避免太大的压力损失，

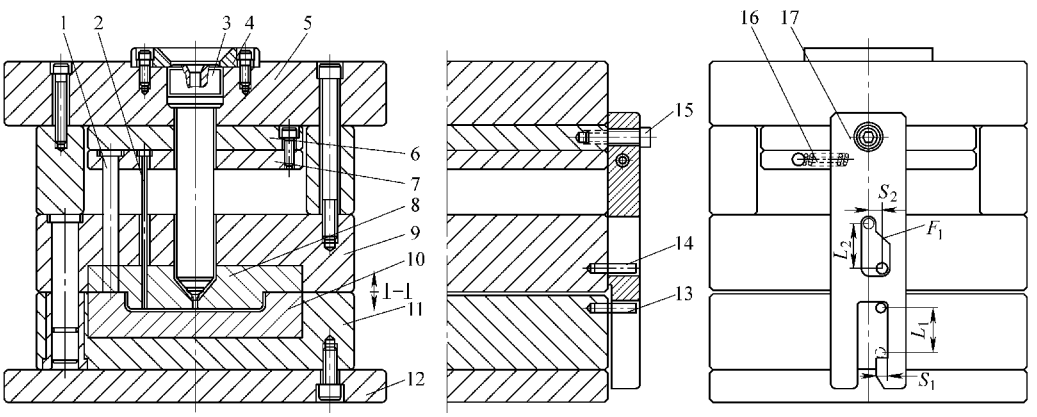


图 9-25　定模顶出机构

1—复位杆　2—定模顶杆　3—热嘴　4—定位圈　5—定模固定板　6—顶杆底板　7—顶杆面板

8—定模镶件　9—定模模板　10—动模镶件　11—动模模板　12—动模固定板

13、14—定位销　15—固定销　16—弹簧　17—拉板

本例采用热流道。开模时，首先在Ⅰ－Ⅰ处分型，定位销 13 随之移动，当动、定模之间分开 L_1 距离（必须大于塑件对型腔的抱紧高度）时，定位销 13 与拉板 17 限位，制品仍然粘在定模部分；继续开模，固定销 15 拉动定模顶出机构（由顶杆底板 6、顶杆面板 7 及定模顶杆 2 组成）动作，从而顶杆开始将制品从定模顶出。当定位销 14 与拉板 17 的斜面 F_1 接触，随着开模的进行，拉板 17 绕着固定销 15 转动，当 $S_2 > S_1$ 时，定位销 13 脱离拉板 17，动模继续分开，取出制品。合模时，依靠弹簧 16 的作用使拉板 17 复位，依靠复位杆 1 使顶出机构复位。

当采用定模顶出机构时，为避免由于主流道冷料过长所造成的废料比例增加的问题，以及减少在成型中的压力损失，有两种改善方法：其一可采用加长注塑机射嘴（加长射嘴一般小于 60mm 为宜）深入到模具中的办法，同时减少主流道（模具中的主流道长度一般小于 100mm 比较有效）。其二可如本例所采用的热流道技术来解决。

9.3.4　滑块顶出机构

当制品（见图 9-26）有大面积需要成型在滑块上，而且此胶位面是开放式的，基本上没有与此胶位面互拉的力，当滑块抽出时会拉扯制品。由于注塑机的顶出机构设置在动模板一侧，所以必须在滑块一侧设置顶出机构（见图 9-27）。为了能使顶出跟复位周期性地工作，开模时斜导柱（未画出）拨动滑块抽芯机构（滑块型腔 2、滑块固定板 3 及滑块 8 组成）抽芯，顶出机构（顶杆面板 4、顶杆底板 5、滑块顶杆 1 组成）在处于压缩状态的弹簧 9 的弹动作用下保持不动，滑块抽芯机构抽出一段距离 S 后，接着由滑块抽芯机构带动滑块顶

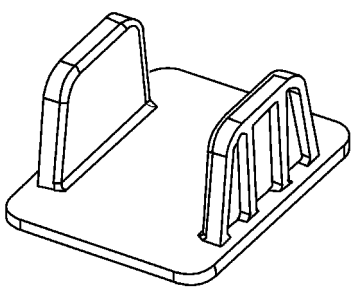


图 9-26　滑块抽芯制品

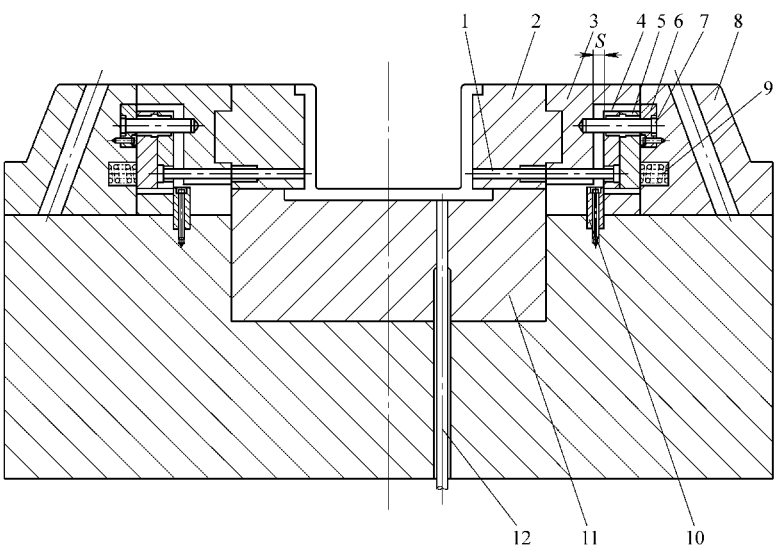


图 9-27　滑块顶出机构

1—滑块顶杆　2—滑块型腔　3—滑块固定板　4—滑块顶杆面板
5—滑块顶杆底板　6—中托司固定板　7—中托司　8—滑块
9—弹簧　10—限位挡板　11—动模镶件　12—动模顶杆

出机构抽芯，直到抽芯完毕；合模时，斜导柱（未画出）拨动滑块抽芯机构向内合模，顶出机构在限位挡板10的作用下复位。

9.3.5　制品留模不定时的顶出方式

如前所述，在设计顶出机构前，首先需要确定制品的留模方式（即确定在开模时，制品滞留在模具的哪一侧），但是在成型某些特殊结构的制品时，其留模方式在事先是不太容易确定的。例如，在模具结构中动、定模都有一些形状、尺寸相似的筋、槽或柱，甚至形状完全相似的镶件（见图9-28），或者成型外表面要求有较粗皮效果的盒状制品（见图9-29）。

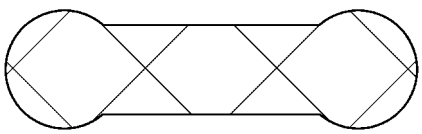


图9-28　动、定模对称制品

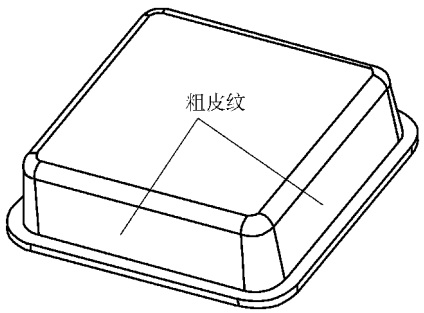


图9-29　粗皮纹制品

以上图例所示制品，在成型过程中当模具开启时，其留模情况都有很大的随机性（制品滞留动、定模的可能性都有）。针对这种情况，在设计成型时留模不定的制品模具时，应对其顶出机构采取下列措施加以控制：

1）对于图9-28所示制品，其模具的顶出机构可采用将顶杆顶端作成Z形头的方式，使顶杆同时具有拉料的作用，以便在开模时，利用顶杆Z形头的限制，将制品带到动模一侧（Z形头所形成的废料，可用后加工的方法除去）。在组装时应使Z形头的料头朝模具底部，以便开模时能自动脱落，如图9-30所示。

2）对于图9-29所示的制品的模具，可增加制品在动模位置所成型部位的粗糙度（或在局部加一些倒扣，一般倒扣 $S \leqslant 0.5\text{mm}$），以便在开模时，将制品从定模型腔中拉到动模上来（见图9-31）。值得注意的是，由于增加了制品在动模中成型局部部位的粗糙度，必定会使制品的脱模阻力增大。因此，当采用这种确定制品的留模位置的方法时，应尽可能地多设置顶出杆，增加顶出面积。

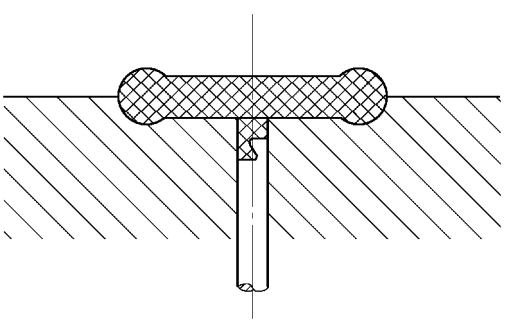


图9-30　拉料钩的设置方法

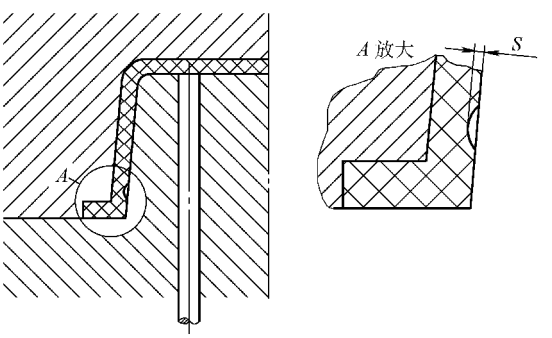


图9-31　确定留模的倒扣方法

9.3.6　流道顶出机构

1. 主流道中固化塑料的顶出机构

主流道的顶出机构共有两种作用：首先，把流道强拉到装置有顶出机构的一侧，接着把流道从顶出机构一侧顶出。

在模具制造中，常用的拉料有下列 4 种形式：

（1）锥形冷料井　一般在主流道末端开设一个呈锥形的冷料井，以便在开模时，利用该冷料井的倒锥度，将主流道拉到动模一侧，再由顶杆将其顶出，如图 9-32 所示。

（2）Z 形头冷料井　直接在顶杆上磨出 Z 形头当冷料井，开模时，直接利用顶杆的 Z 形倒扣把流道拉到设置顶出机构的一侧，再由顶杆将其顶出，如图 9-33 所示。为了能使主流道从 Z 形头上自动脱落，顶杆需要设置方向性，依靠重力作用，自行从顶杆脱落。

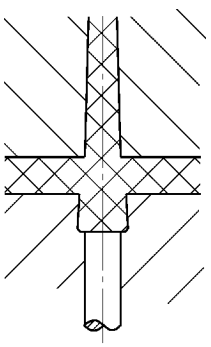


图 9-32　锥形冷料井顶出方式

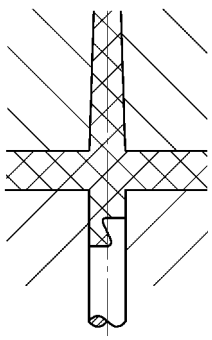


图 9-33　Z 形头冷料井顶出方式

（3）塔形冷料井　对于软料，上述两种方式都比较难把主流道拉到顶出机构一侧，而设置塔形冷料井是比较有效的，如图 9-34 所示。

（4）螺纹式冷料井　对于软料，设置螺纹式冷料井是比较简单而且有效的。直接在主流道末端攻牙，开模时，利用螺纹的倒扣拉到顶出机构一侧，顶杆再顶出，如图 9-35 所示。

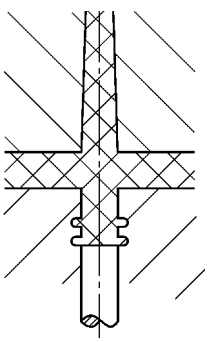


图 9-34　塔形冷料井顶出方式

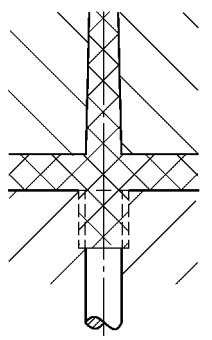


图 9-35　螺纹式冷料井顶出方式

2. 分流道中固化塑料的顶出机构

在大、中型和分流道较长的模具结构中，为使流道中固化了的塑料能够顺利地脱离模具，分流道中也必须设置顶出杆，如图 9-36 所示。

当浇注系统采用潜伏式浇口或者月亮形浇口时，在流道中确定顶出杆的位置是非常关键的。如果顶杆的位置设置得距浇口太近，在顶出过程中，由于浇口中塑料的变形受到限制，就会使其韧性不够而容易发生折断；如果顶出位置设置得距浇口太远，又会使其顶出行程加大，影响模具的尺寸及顶杆的强度。因此，在使用潜伏式浇口或者月亮形浇口时，一定要正确设置分流道中的顶杆位置，如图9-37、图9-38所示。顶杆距离月亮型浇口 X 应小于12mm，大于2mm以上，一般顶杆与潜伏式浇口的距离要小于12mm。

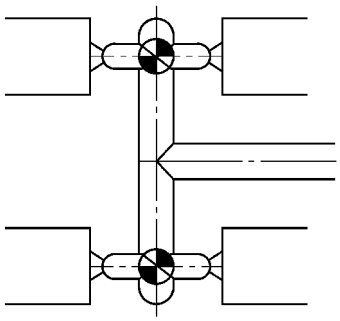


图9-36　分流道顶杆位置

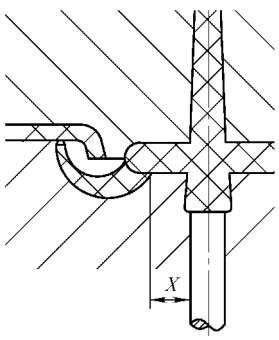


图9-37　月亮型浇口顶出方式

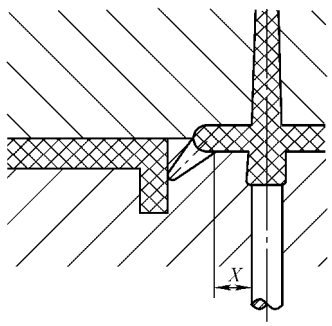


图9-38　潜伏式浇口顶出方法

9.4　液压顶出机构方式

一般，盖类、壳类等是对外观面要求比较高的制品，不允许有浇口及顶杆痕迹，进胶跟顶杆都设置在定模一侧，这种模具结构就是倒装模具。开模后，制品滞留在定模部分。由于注塑机的顶出机构是设置在动模板一侧，所以必须在定模一侧设置顶出机构。为了能使顶出跟复位周期性地工作，对于倒装模具采用液压顶出（见图9-39）是比较简便的方式。

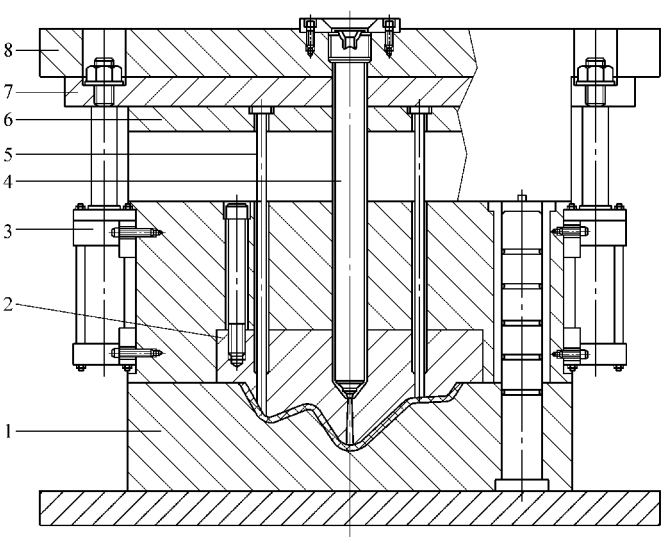


图9-39　液压顶出机构

1—动模型腔　2—定模型腔　3—液压缸　4—喷嘴　5—顶杆　6—顶杆面板　7—顶杆底板　8—面板

9.5　气压顶出机构方式

对于壁厚比较薄的杯形制品（比如一次性塑料杯，其壁厚是 0.05 ~ 0.15mm），由于其形状相对简单，抱紧力比较小，如果用顶杆等顶出方式，容易把制品顶穿，一般采用气动顶出是比较有效的。而对于厚壁的杯形制品，尤其是深腔的制品，抱紧力一般都比较大，顶出的瞬间，由于真空吸力的作用，很难顶出。像这种情况，一般采用气动配合其他顶出方式联合顶出。

气动顶出方式不论在动模部分、定模部分还是在滑块部分都很简便，并且不需要安装推板。另外，在顶出过程中，制品的整个底面均受到相同的压力，即使是较软的塑料，也可以在不发生变形的条件下脱离模具。

1. 圆形截面制品气压推出机构

对于圆形截面制品一般采用一个中心气动推杆顶出，见图 9-40。当 0.4 ~ 0.6MPa 的压缩空气吹入气室时，作为单向阀的气动推杆 2 被顶出，与此同时弹簧 3 被压缩，空气进入型芯 4 和制品 1 之间，此时在压缩空气的作用下制品 1 脱模。合模时，由压缩状态的弹簧弹动气动推杆 2，使气动推杆 2 复位。需要注意的是，气动推杆需要有一小直段 $H \geqslant 1$mm，角度 A 介于 60° ~ 90°。

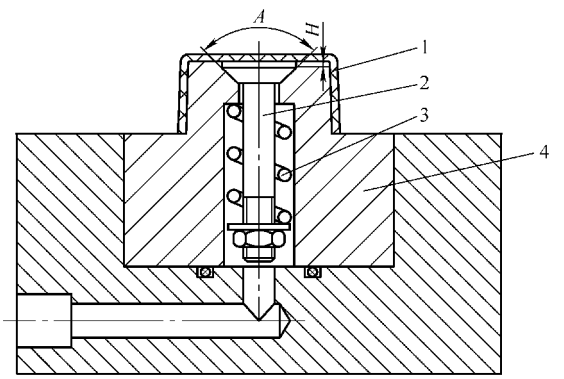


图 9-40　圆形截面制品气压推出机构

1—制品　2—气动推杆　3—弹簧　4—型芯

2. 矩形截面制品气压推出机构

对于矩形截面制品，用一个中心气动推杆顶出，受力不均衡，而用两个或多个气动推杆顶出，可以得到良好的效果（见图 9-41）。需要注意的是，由于进气是单向阀的作用，多组进气孔采用串联。

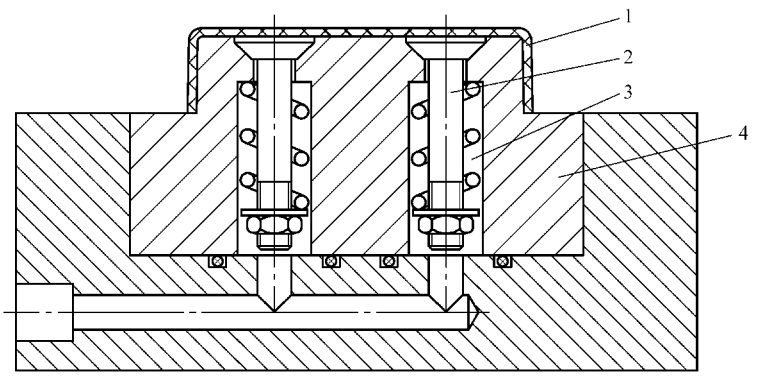


图 9-41　矩形截面制品气压推出机构

1—制品　2—气动推杆　3—弹簧　4—型芯

第 10 章　温度调节系统的设计原则与要点

许多生产同一制品的模具，无论从哪点来看，其生产的制品都很理想，看起来也都是很合理的设计。但让人吃惊的是各模具的产量却大不相同。例如，一副模具的成型周期一般要用到 10s，如果冷却效果再好些，可以缩短到 7s。尽管最初的模具价格要高一些，但可以使产量提高 30%。在长期的生产中，更好的冷却系统将能节约大量的资金，这是十分诱人的。因此在模具设计前，充分考虑模具温度调节系统是非常必要的。

不同的塑料具有不同的成型工艺性，并且各种制品的表面要求和结构不同。为了在最有效的时间内生产出符合质量要求的制品，就要求模具保持一定的温度，模温越稳定，生产出的制品在尺寸形状、制品外观质量等方面的要求就越一致。因此，除了模具制造方面的因素外，模温是控制制品质量高低的重要因素，模具设计时应充分考虑模温的控制方法。

模具温度调节基本上有冷却和加热两种方法。模具的冷却就是将注塑成型过程中熔体带来的剪切流动产生的热量，尽可能迅速并均匀地导出，使制品以较快的冷却速度固化。因此，冷却效果直接决定着制品的质量和注塑效率。模具的加热一般分为油温加热或者加热棒加热两种，通过加热模具控制结晶型塑料的结晶度和热应力，提高不定形塑料的流动性。

10.1　温度调节系统的重要性

为适应各种不同的塑料品种，需要维持型腔在某一适当温度，因此注塑模必须有良好的温度调节控制系统。模温调节对制品质量的影响主要体现在以下几个方面。

（1）改善树脂的成型性　每一种塑料都有适宜的成型模具温度，在生产过程中若能始终维持相适应的模具温度，成型性可以得到改善。

对于高粘度的无定形聚合物，由于其耐力开裂性与制品的内应力直接相关，因此提高模具温度和充模速度，减少补料时间是有利的。较高的模温，熔融塑料的流动性较好，有利于塑料充填型腔，获取高质量的制品外观表面，但会使塑料固化时间变长，顶出时易变形。而较低的模温会降低塑料熔体的流动性，使制品轮廓不清，甚至充模不满。

对结晶型塑料而言，较高的模温更有利于结晶过程的进行，避免制品尺寸在存放以及使用过程中发生变化。在较低的模温时，熔融塑料难以充满型腔，导致内应力增加，表面无光泽，产生银纹、熔接痕等缺陷。

（2）防止收缩凹陷　利用模温调节系统保持模温恒定，能有效减少制品成型收缩的波动，保证制品的尺寸精度，提高制品的合格率。同时，模具温度均匀、冷却时间短、注塑速度快可以减小制品的翘曲变形，采用允许的低模温，有利于减少制品的成型周期，提高生产率。

（3）防止翘曲　模具型芯与型腔温差过大，会使制品收缩不均，导致制品翘曲变形，

尤其是壁厚不均和形状复杂的制品。采用合适的冷却回路，确保模温均匀，可有效减少或消除制品翘曲变形。

（4）保持制品尺寸稳定性　对于结晶型聚合物，提高模具温度可使制品尺寸稳定，避免后结晶现象，但会导致成型周期延长和制品发脆的缺陷。

（5）改善力学性能　适当的模温可使塑料的力学性能大为改善。过低的模温会使制品内应力增大或产生明显的熔接痕。对于粘性大的刚性塑料，适当提高温模，可使其应力开裂大大降低。

（6）提高外观质量　适当提高模具温度能有效改善制品外观质量。过低的模温可能会产生明显的银纹、云纹等缺陷，使制品表面无光泽或粗糙度增加。

10.2　温度调节系统的设计原则

为了保证在最有效的时间内生产出高外观质量要求、尺寸稳定、变形小的制品，设计时应清楚地了解模具温度调节的设计原则。

1）树脂成型温度与模具温度。熔融的热塑性树脂，必须在模具内冷却固化后才能成为制品。因此，模具温度必须低于注入型腔的熔融树脂的成型温度。对于外观要求不严格的制品（如装配的内部件），为了提高冷却效率，一般是通过缩短冷却时间来缩短成型周期，模具温度越低，冷却时间也就越短。倘若需要获取优良的力学性能与光泽的表面，对于结晶型的塑料，必须提高模具温度，便于结晶充分地进行，提高结晶度，从而得到较好的外观面，但不可避免地会使冷却速度减慢，成型周期延长。

由于树脂的特性及制品的机能各不相同，所需要的模具温度也不相同。我们必须根据不同的要求，选择适当的温度。表 10-1 所示为各种树脂的成型温度与模具温度。

表 10-1　各种树脂成型温度与模具温度　　（单位：℃）

塑料类型	塑料名称	注塑温度	模具温度	塑料类型	塑料名称	注塑温度	模具温度
无定形塑料	ABS	195 ~ 240	38 ~ 93	无定形塑料	CAB	180 ~ 230	50 ~ 80
	PC	270 ~ 325	80 ~ 110				
	HIPS	180 ~ 280	10 ~ 85	结晶型塑料	PP	230 ~ 275	15 ~ 65
	PEI	340 ~ 425	65 ~ 175		PA6	260 ~ 310	20 ~ 100
	PES	340 ~ 380	140 ~ 160		PBT	240 ~ 270	50 ~ 100
	PMMA	200 ~ 260	38 ~ 60		LDPE	170 ~ 240	10 ~ 50
	PPO	250 ~ 315	82 ~ 110		HDPE	200 ~ 280	10 ~ 70
	PS	180 ~ 280	10 ~ 85		PEEK	370 ~ 400	160 ~ 220
	PSU	310 ~ 400	100 ~ 170		PET	260 ~ 300	7 ~ 80
	PVC	180 ~ 204	20 ~ 40		POM	180 ~ 230	80 ~ 100
	SAN	220 ~ 270	5 ~ 60		PPS	300 ~ 360	40 ~ 150
	TPU	190 ~ 220	30 ~ 65				

2）不同表面质量、不同结构的模具要求不同的模具温度，这就要求在设计温度调节系统时具有针对性。

3）定模的温度高于动模的温度，一般情况下温度差为 20°左右。

4）有火花纹要求的定模温度比一般光面要求的定模温度高。当定模需通热水或热油时，一般温度差为 40°左右。

5）当实际的模具温度不能达到要求的模温时，应对模具进行升温。因此模具设计时，应充分考虑塑料带入模具的热量能否满足模温要求。

6）由塑料带入模具的热量除通过热辐射、热传导的方式消耗外，绝大部分的热量需由循环的传热介质带出模外。铍铜等易传热件中的热量也不例外。

7）模温应均衡，不能有局部过热、过冷现象。

10.3　温度调节系统的设计要点

1. 模具温度调节方式

温度调节方式一般分为冷却及加热两种，主要取决于型腔的表面温度，如图 10-1 所示。

模具温度一般通过调节传热介质的温度，以及增设隔热板、加热棒的方法来控制。传热介质一般采用水、油等，其通道常被称作冷却通道。

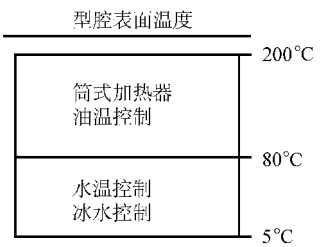


图 10-1　温度控制方式

降低模温，一般采用定模通常温水（20℃左右）、动模通“冻水”（5℃左右）来实现。当传热介质的通道即冷却通道无法通过某些部位时，应采用传热效率较高的材料（如铍铜等），将热量传递到传热介质中去，或者采用热管进行局部冷却。

升高模温，一般采用在冷却通道中通入热水、热油（热水机加热）的方法来实现。当模温要求较高时，为防止热传导对热量的损失，模具面板上应增加隔热板。

热流道模具中，流道板温度要求较高，需由加热棒加热。为避免流道板的热量传至定模，导致定模冷却困难，设计时应尽量减少其与定模的接触面。

2. 冷却效率

塑料熔体凝固时释放出的热量约有 5% 以辐射、对流等方式散发到大气中，余下的 95% 由模具冷却介质带走，如图 10-2 所示。

因此，模具的生产效率取决于冷却介质的热交换结果。效率好的冷却回路可以缩短冷却时间，增加生产效率。据统计，模具的冷却时间占整个周期的 2/3 以上，如图 10-3 所示。再者，均匀的冷却可以降低残余应力，维持制品尺寸的精度与稳定性，减少翘曲，进而改良制品品质，如图 10-4 所示。

3. 影响冷却效率的因素

（1）塑料的温度　塑料从冷的粒料加热到可以注塑的粘性流体，需要提供一定的能量。这一过程发生在注塑机的料筒中。能量主要由料筒外的加热圈提供，部分由螺杆所做的功来提供，它将机械能转化为热能。而在成型周期内必须将热量散发掉，才能将制品不变形的顶出。

在注塑周期内，冷却水不断地将热量带走，模具的温度仍会升高。注塑完成后，不再有其他热量输入模具。当冷却水在下次注塑开始之前，仍继续从模具上带走热量。有一点很重要，就是一旦模具开始循环运作，进入模具的热量应等于从模具上带走的热量。

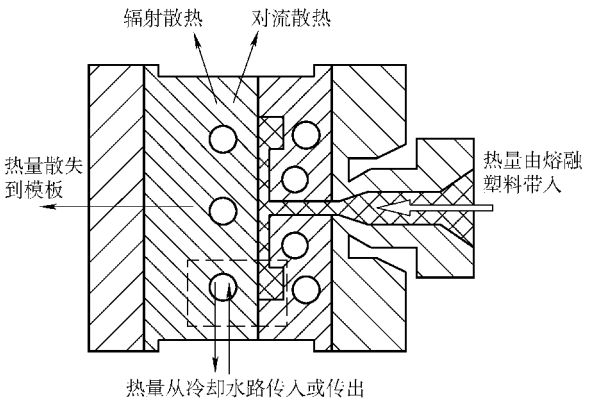


图 10-2　热量释放方式

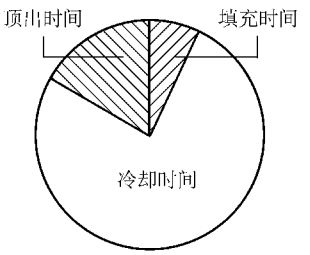


图 10-3　模具冷却占整个射出成型周期的 2/3 以上

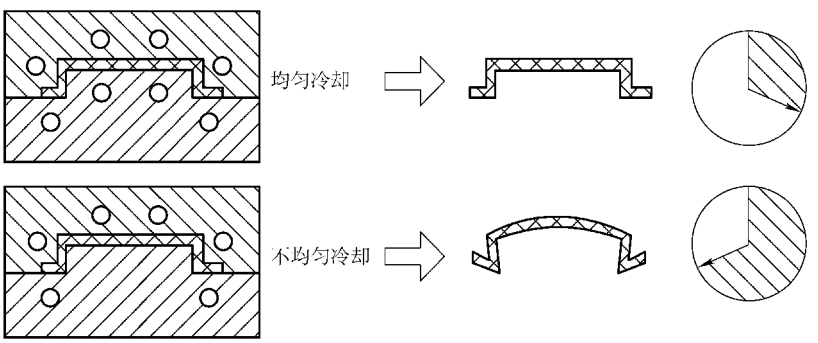


图 10-4　适当有效的冷却可以改善制品的品质和生产率

值得注意的是，热量不仅由冷却水带走，而且有一部分是由制品带走的。因为制品离开模具时，通常还是热的，因此它会带走一定的热量，这些热量会通过辐射或传导进入工厂周围的环境中去。同时，一小部分热量也会直接从模具表面辐射到工厂里。

如果循环时间太短而不能带走热量的话，模具的温度将会逐渐升高，最后变得过热，以致产生废品，通常需要增加冷却时间。反之，如果循环时间过长，将浪费时间并无效操作，应该减少冷却时间。

对于某些厚壁的制品，当制品壁外层已足够坚硬，而内部还比较软，还含有大量的热量时，已不影响顶出。把顶出后的制品直接投入到冷却水，从而缩短了成型周期，提高了生产效率。对于易翘曲变形的制品，把顶出后的制品用定位器控制其关键尺寸以保持其形状不变，直到它们能够被安全地移动、装运和包装。

（2）钢材导热性　塑料在模具注塑成型过程中，高导热率的钢材将会吸收大量的热量。当然，最初吸收的热量是一个关键的因素，而后期的散热主要依靠冷却系统。另外，不同种类的钢材其导热系数会有不同，这主要是由于钢材中的含碳量不同造成的，表 10-2 所示为典型模具钢材的导热特性。

表 10-2　典型模具钢材的导热特性

材　　料	热导率/(W/m·K)	比热容/(J/kg·℃)	密度/(kg/m³)
铝	221.9	920	2699
P20	29	460	7800
BeCu	130	420	8415
420ss	24.9	401.7	7750
H13	28.2	454.7	7750

（3）冷却介质　冷却介质一般是水，最好经过预处理，以便最大限度地减少碳酸钙沉淀在冷却系统中造成污染，以及减少水中的其他物质（这些物质可能会腐蚀冷却通道）的存在。这些污染还会在冷却管道壁上产生沉淀，从而降低热传导的能力，并会堵塞管道，减少流量，特别是小孔径的冷却通道最为明显。

冷却介质可由水塔或城市用水来提供，一般为 20～25℃，随季节变化。在冷却器里将水和防冻剂（一般是乙二醇）混合，一般可达到 5℃。对于某些塑料，如 POM，实际上是要把冷却水加热到所需的温度，而对于 PSU，需要较高的温度，常用油或不易燃的油类来代替水，加热器或循环器可将油加热到 80℃或以上。

（4）冷却流体紊乱程度　层流是流体的一种流动状态。当流速很小时，流体分层流动，互不混合。当流体在管内流动时，其质点沿着与管轴平行的方向作平滑直线运动，此种流动称为层流。流体的流速在管中心处最大，其近壁处最小。管内流体的平均流速与最大流速之比等于 0.5。根据雷诺实验，当雷诺数 $Re<2300$ 时，流体的流动状态为层流。

当逐渐增加流速，流体的流线开始出现波浪状的摆动，摆动的频率及振幅随流速的增加而增加。当流速增加到很大时，流线不再清楚可辨，流场中有许多小漩涡，称为紊流。根据雷诺实验，当雷诺数 $Re>2300$ 时，流体的流动状态为紊流。

如图 10-5 所示，可以看出层流中只有贴着冷却管壁的冷却介质可将热量带走，而其余的流体只是流过冷却通道。在紊流中，由于涡流作用使冷却介质都参与了冷却。型腔和型芯上的冷却管道都必须产生紊流状态。在大直径的冷却通道内，流动可能成为层流，但这些大

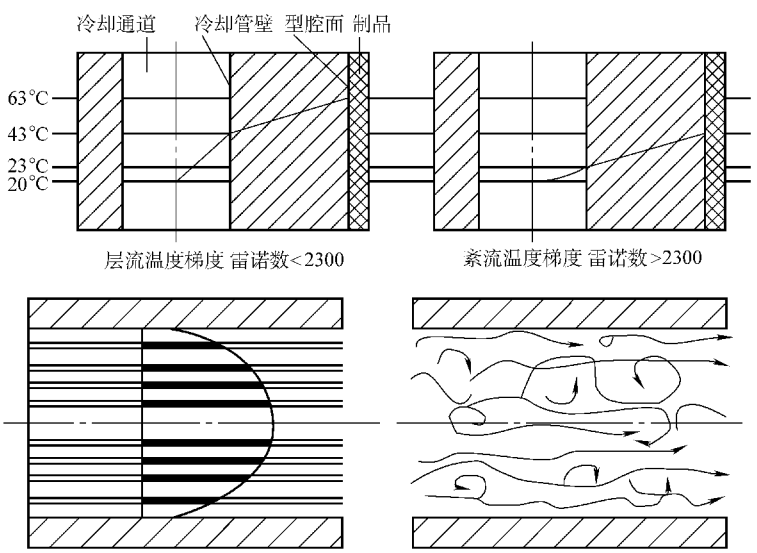


图 10-5　冷却紊流程度图

直径的冷却通道主要是用来为实际的冷却通道分配冷却介质的，实际冷却的通道小得多，可以提供所需的紊流。

（5）流道类型（热流道或者冷流道）　冷流道系统中，从注塑机注嘴到型腔的塑料，必须以类似于所成型制品的冷却方式进行冷却，以便冷流道可以随同制品一起顶出。因而，冷流道所在的模板必须进行冷却，以免过度延长冷却周期。当然也不能过度冷却，以免塑料还没充满型腔时冷流道就已经凝固了。

热流道系统中，从注塑机注嘴到浇口之间的塑料都保持熔融态。一般热流道系统都会采取一些措施使注塑温度保持在一定的温度下，但是由于热流道系统是由模板夹持住的，只要有一些热量跑到模板上，都会使模板升温。这样一来就使模板必须冷却，特别是热流道浇口附件需要冷却，防止流涎。

（6）散热效果　有效的散热应该控制水路的出水温度比入水温度高 2 ~3℃以内。水管壁温度比入水温度高 5℃以内。水路的布置应足够有效的控制，提高其散热效果，图 10-6 所示为不同流动方式的热交换能力。

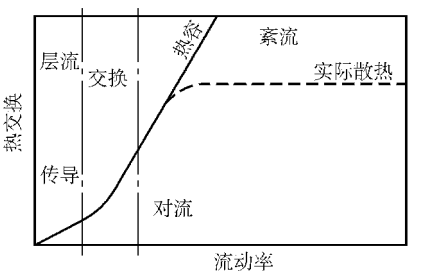


图 10-6　散热能力

10.4　冷却系统的设计

设计冷却系统需要考虑模具的结构、制品的尺寸和壁厚、镶块的位置、熔接痕的产生位置等。

1）冷却通道间的距离。冷却通道离型腔表面的距离和冷却通道彼此间的距离必须加以考虑，一般冷却通道彼此间的间距 $a \approx (2.5 \sim 3.5)D$，冷却通道与型腔表面的距离 $b \approx 10 \sim 15\text{mm}$，如图 10-7 所示。

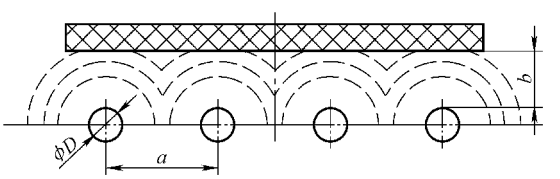


图 10-7　冷却通道的孔径与位置的关系

设计冷却通道时，建议以理论为基础，以产生最佳的近乎均匀的表面温度。虽然大多时候很难完全保证距离公式，但冷却通道离型腔表面越近，接近冷却通道的型腔表面的冷却效果越好，而冷却通道间的间距也要更小。如果冷却通道之间靠得很近，冷却就会更加均匀。

制品厚度均匀，冷却通道至型腔表面的距离相等，亦即冷却通道的排列与型腔的形状相吻合，但厚壁处要加强冷却，也就是说尽量靠近热量较多处，间距要小以加强冷却，如图 10-8 所示。

2）冷却通道与顶针或者镶件的距离。冷却通道越长，钻孔越容易偏斜。对于短孔（$L \leqslant 6D$）来说，通道与其他开口的距离一般不小于 3mm，而对于深孔，一般需要用枪钻加工，所钻的孔离其他开口至少应有 5mm 以上的间距。间距不宜太近，主要是出于强度上的考虑，特别是对于淬硬钢更是如此。如果间距太小，成型过程中所产生的应力可能会相当高。孔内的腐蚀可

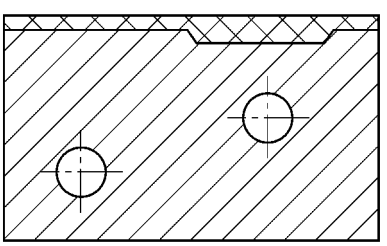


图 10-8　厚壁加强冷却方式

能会造成应力集中点和钢材裂纹。另外，在模具钢热处理的淬火过程中，在这些很薄的地方，热裂纹可能会发生扩展。

3）配件尺寸。对于连接水嘴的进、出水冷却通道距离还受水嘴配件大小的影响。由于水嘴类型较多，很难有一个固定的标准，对于 1/8“NPT 或者 1/4” NPT 的水嘴，一般 25 ~ 30mm 是足够的，如图 10-9 所示。

4）在模具结构允许的前提下，冷却通道的孔径应尽量大，冷却回路的数量应尽量多，以保证冷却均匀。

5）为防止漏水，镶块与镶块的拼接处不应设置冷却通道，并注意通道穿过型芯、型腔与模板接缝处的密封以及水管与水嘴连接处的密封，同时水管接头部位应设置在不影响操作的方向上，通常设置在操作者对面或模具朝地侧，有些注塑厂只允许水嘴设置在操作者对面。

6）浇口处应加强冷却。由于浇口附近温度最高，通常可使冷却水先流经浇口附近，再流向浇口远端。

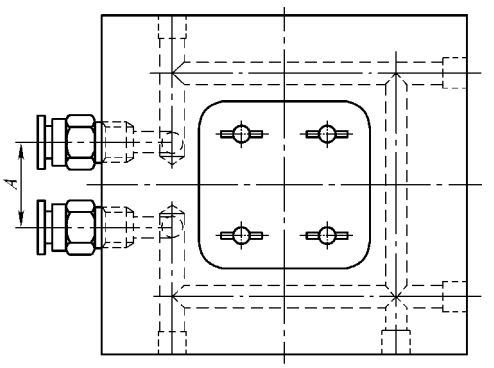


图 10-9　冷却通道与水嘴配件的对应图

7）降低入水与出水的温度差，避免模具表面冷却不均匀。

8）冷却通道要避免接近制品熔接痕的生产位置，以免降低制品的强度。

9）冷却通道内不应有死水和产生回流的部位，应避免过大的压力降。冷却通道直径的选择要易于加工清理，一般为 $\phi 6 \sim \phi 12$mm。

10）模具材料强度的影响。注塑模的压力一般可达 140MPa，这些力是周期性的，即在成型周期内，它们的变化是由 0→最大→0。在循环力的作用下，钢材的安全许用应力必须控制在模具材料屈服应力的 10% 以下。如图 10-10 所示，推荐尺寸为 $S \geqslant B$，且 $A \geqslant 0.67B$。

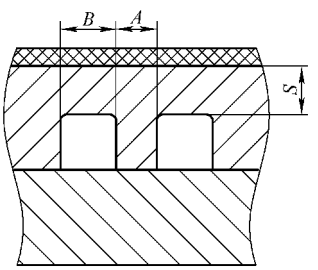


图 10-10　冷却通道的推荐尺寸

11）模板的冷却设计。模板冷却首先要考虑的实际问题就是模板是否真正需要单独冷却。如果型腔或型芯仅是通过相邻模板的接触面来冷却的话，模板需要单独冷却，并与型腔或型芯保持非常良好、紧密的接触。对于热流道系统，其连接的模板一般也需要单独冷却，冷流道系统浇口旁的模板，建议要有适当的冷却。但模板的冷却一般会受到比较多因素的制约，比如导柱导套、复位杆、模板螺钉、顶针过孔等。设计原则一般需要注意以下几点：

① 布局效率。

② 对称性。

③ 保证均匀冷却。

12）串联冷却和并联冷却。冷却介质像任何液体一样，总是沿阻力小的方向流动。串联冷却流动取决于进出口之间的压力差 ΔP 和通道的阻力。通道越长，阻力越大，通道直径越大，阻力越小。冷却介质流经通道时，从周围的金属中吸取热量，温度升高，一般控制出

水口的温度不能高于进水口 5℃。因此，串联冷却通道的长度不能太长。

对于并联的冷却通道，有一点很重要，就是进出通道的横截面要比并联的支路横截面的总和还要大，否则，冷却介质就会抄近路，从靠近进、出水口的支路进出，其余的支路就没有冷却效果了。

13）与制品外形相关的冷却设计。由于模具结构的种类是无限的，主要取决于制品的形状、尺寸、塑料及期望得到的生产率和自动化程度，这里考虑的是对所有模具都适用的冷却特性。

根据制品的形状，可将模具分成最基本的三组：

① 扁平制品。如图 10-11a 所示，动、定模制品形状近似，典型的有唱片、光碟及盖子等。

② 杯形制品。如图 10-11b 所示，这组代表了模具中的大多数，典型的有杯子、水桶、瓶盖和瓶坯等。

③ 扁平 – 杯形复合制品。如图 10-11c 所示，这组模具制品，结合了以上两组制品的特性，典型的有线圈轴及盒子等。

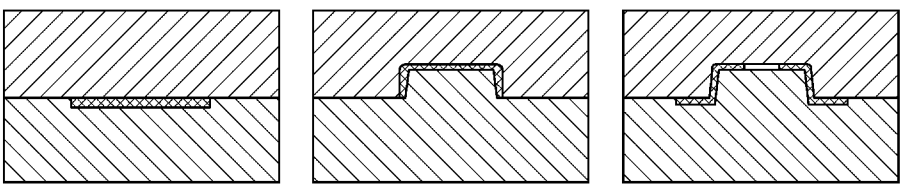


图 10-11　制品的典型形状

从图 10-11a 所示可以看出，扁平制品在各个方向均可自由收缩。如果制品厚度相当小，收缩对扁平表面的影响也会很小，冷却效果也就会趋于相同。但在收缩时，制品的长度将会减小。

扁平制品均匀冷却是很重要的，如图 10-12 所示，扁平制品一面冷却效果比较差。为了获得较短的循环周期，通常在制品的一面达到可以顶出的硬度就立即进行顶出。在这种情况下，冷却效果差的一面要比另外一面更热些，当制品在模具中冷却时，温度较高的一面继续进行收缩，使制品发生翘曲。

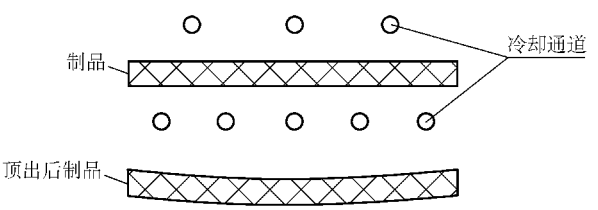


图 10-12　扁平制品不均匀冷却造成翘曲

扁平制品不均匀冷却的翘曲现象同样适用于图 10-11c 所示的扁平 – 杯形制品。

图 10-11b 所示的杯形制品，具有同样的收缩原则。可以看到，冷却时制品发生收缩，并紧贴在型芯上，同时脱离与型腔壁的接触。在提高型芯冷却效果的同时也就降低了型腔的冷却效果。结果型腔的冷却不能像型芯的冷却那样有效。

对于薄壁制品，型腔与型芯冷却效果的差异并不十分明显，因为冷却时间很短。制品收缩贴到型芯上保证了它在顶出时能停留在型芯上从而使型腔与型芯有同等良好的冷却效果。

对于厚壁制品，情况就不同了。制品在冷却时，脱离与型腔壁的接触，因而型腔冷却效果会

有所下降。这样成型周期将主要取决于型芯的冷却质量。可惜这里情况很不理想，因为比制品大的型腔可以很容易地找到空间布置冷却系统，而型芯则困难得多，型芯越小，冷却越困难。

10.5　冷却系统设计实例

10.5.1　与流道相关的冷却通道设计

当型腔充满后，浇口应能迅速冷却封闭，防止型腔中还未冷却的塑料回流。同时塑料熔体在填充过程中，一般在浇口附近的温度最高，应加强浇口附近的冷却。因此，为了达到模温平衡，冷却水应从浇口附近开始流向其他地方，即冷却通道应该从模温高的区域向模温低的区域流动，如图 10-13 所示。

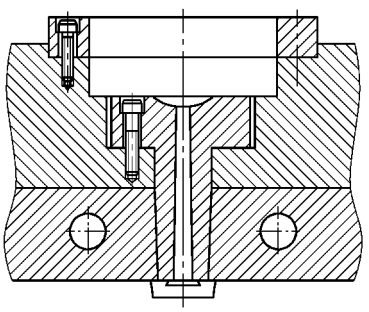


图 10-13　主流道冷却

图 10-14a 是侧浇口进胶的冷却方式，也是首先从浇口附近进水，循环之后，从料流方向的末端出水。

图 10-14b 是平缝式浇口进胶的冷却方式，冷却介质从浇口附近进水，按箭头方向流动并分别从料流末端排水。

图 10-14c 是多点式点浇口进胶的冷却方式，为了防止水流有较大的压力降，冷却介质从浇口两侧附近进水，从远离浇口的料流末端出水。

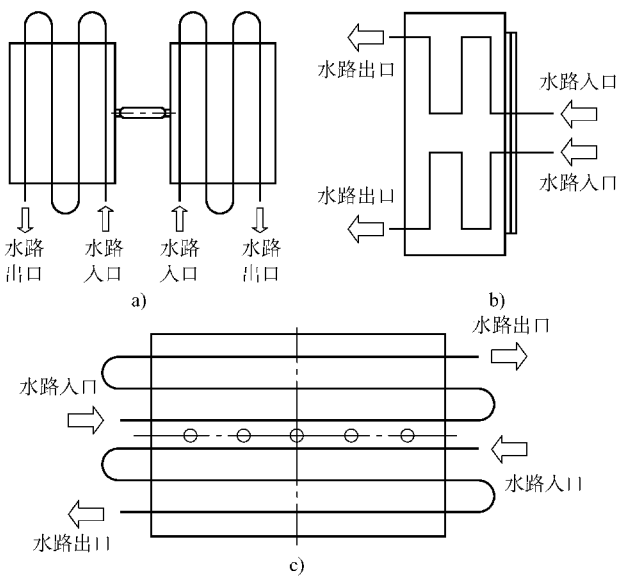


图 10-14　进胶的冷却方式

10.5.2　型腔、型芯的冷却通道设计

1. 直通式

冷却水道的布置要根据制品的形状而定，当制品壁厚基本均匀时，冷却通道离制品表面

的距离最好相等，分布与轮廓相吻合，如图 10-15 所示。

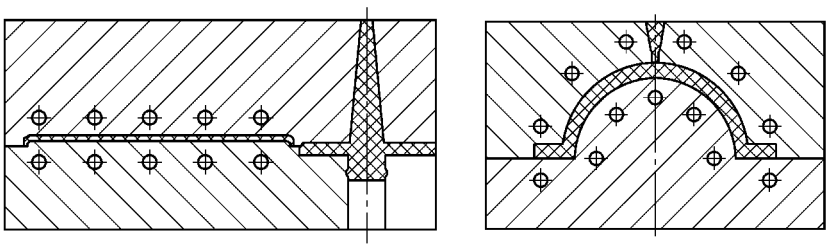


图 10-15　直通式冷却方式

2. 循环式

对于较小的制品，由于顶针等因素的影响，水路很难完全靠近制品，常见的是在型腔周边循环冷却，如图 10-16 所示。

3. 隔板式

当某些区域难冷却时，冷却通道离制品较远时，常常采用隔板式设计。隔板一般有塑料及铜片两种材质。

隔板式是利用一隔板将冷却管路分为两个半圆的管路，冷却介质从冷却通道流入隔板的一边，在顶部转弯至隔板的另一边，然后再流回到冷却通路，如图 10-17 所示。

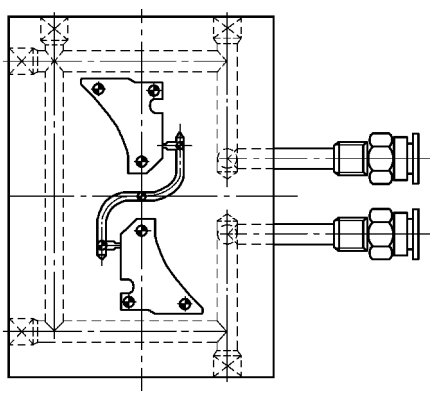


图 10-16　循环式冷却方式

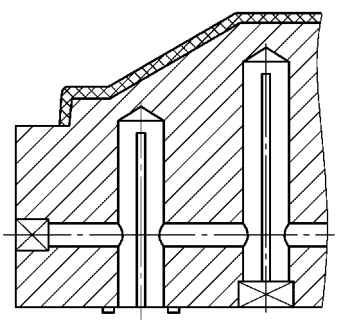


图 10-17　隔板式冷却方式

4. 喷流式

对于细长型芯，如不能开冷却井而采用隔板进行冷却时，最简单有效的冷却方式一般采用喷流管。

喷流管以小口径的筒管取代隔板，冷却剂从喷流管内孔流到顶端，再像喷泉般喷出，流向周围的冷却型芯侧壁，从外管回流到冷却通道。喷流式一般有两种形式，图 10-18a 所示喷流管与冷却管座可在模外紧配好后，再一起装入模板，由于冷却管座与模板一般采用间隙配合，拆卸方便，特别适合于进出水位置空间较薄的场合；图 10-18b 所示喷流管与模板直接配合，加工较为简单，但稳定性及拆卸性较差。由于进出水位置要错开，进出水的模板需要较厚。

5. 螺旋式

隔板虽然提供了冷却介质的最大接触面积，但是冷却介质如果通过较多的转弯，其流速将下降得很快，导致冷却介质紊流效果较差。为了较好的冷却效果，一般采用螺旋式挡板。如图 10-19 所示，冷却介质在螺旋式挡板中螺旋流动，紊流效果很好，可以最大限度地带走

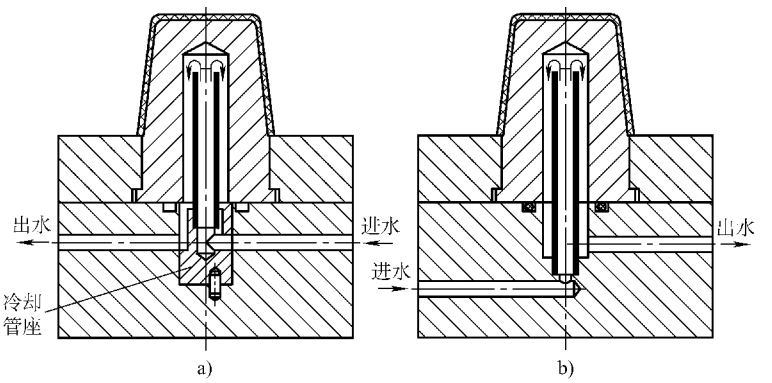


图 10-18　喷流式冷却方式

更多的热量。

对于比较大的型芯，有时也可采用螺旋式冷却型芯，一般分为单头螺纹及双头螺纹冷却方式，如图 10-20 所示。

如图 10-20a 所示，冷却介质从型芯外圆的单头螺纹冷却通道螺旋流到型芯中心的顶端，再从型芯中心孔流出。

如图 10-20b 所示，冷却介质从型芯外圆的双头螺纹中的一条冷却通道螺旋流到型芯的顶端，再从型芯另外一条冷却通道流下。

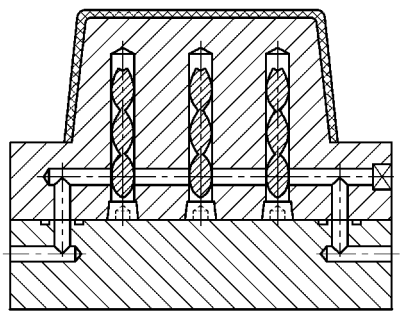


图 10-19　螺旋式冷却挡板

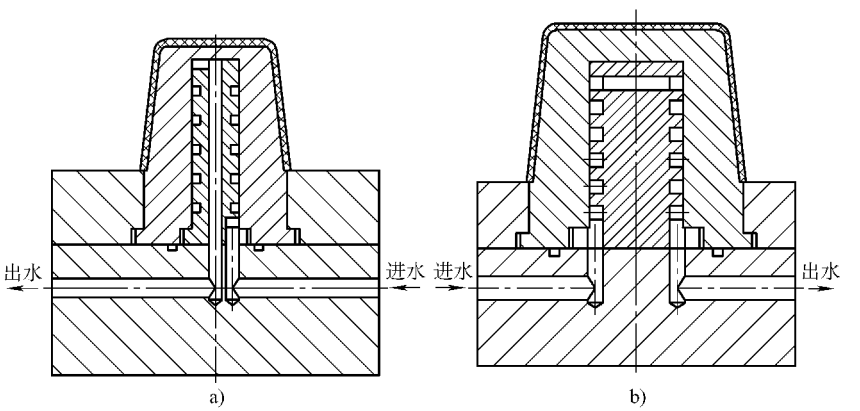


图 10-20　螺旋式冷却型芯

6. 铍铜冷却

细长型芯（小于 5mm）的较佳冷却方式是利用高传导性的材料，如铍铜型芯，而底部接冷却介质，同样能获得较好的冷却，但成本较高，如图 10-21 所示。

7. 热管

因隔板式及喷流式管路的流动面积较窄，会增加流动阻力，所以设计这些装置时必须注意尺寸。细长型芯的冷却通道不能做大，否则会影响强度，此时需要采用热管冷却方式。

热管的一端为蒸发段（加热段），另一端为冷凝段（冷却段）。当热管的一端受热时，毛细芯中的液体蒸发汽化，蒸汽在微小的压差下流向另一端放出热量凝结成液体，液体再沿多孔材料靠毛细力的作用流回蒸发段。如此循环不断，热量由热管的一端传至另一端。热管

的工作原理如图 10-22 所示，热管的热传导效率约为铜管的 10 倍。但使用热管时，需要避免与模具之间的气隙填入高导热性的密封剂，以确保良好的热传导。

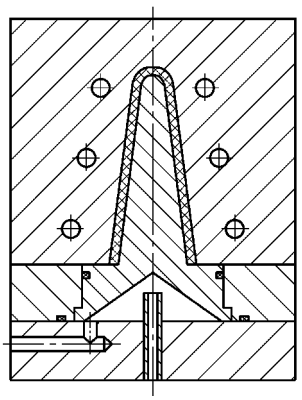


图 10-21　铍铜冷却方式

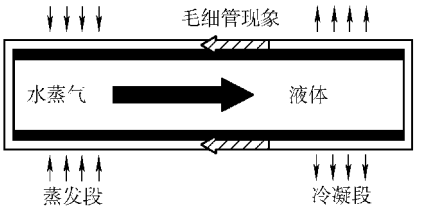


图 10-22　热管工作原理

由于热管的高传导性能，细长型芯有时需要用热管冷却，其缺点是成本较高。由于热管的管径一般较小（常用规格有 $\phi 2 \sim \phi 4$mm），需要两端固定，加热段与模具配合，冷却段连接冷却通道。为了防止水流太大，冲偏热管，一般冷却段需要配合，如图 10-23 所示。

10.5.3　滑块的冷却通道设计

由于滑块与型腔的接触面存在一定的间隙，而间隙内的空气是热的不良导体，会使成型时的热量无法顺利排出模具，因此在尺寸允许下，滑块都必须设置冷却系统，其冷却方式跟型腔、型芯的冷却方式是一致的，如图 10-24 所示。

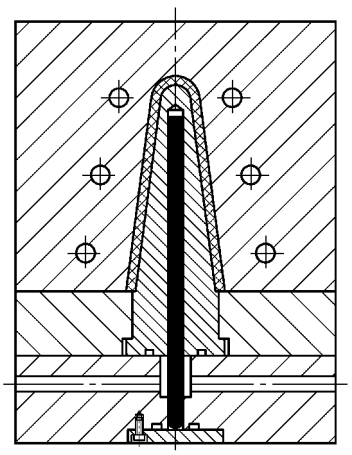


图 10-23　热管冷却方式

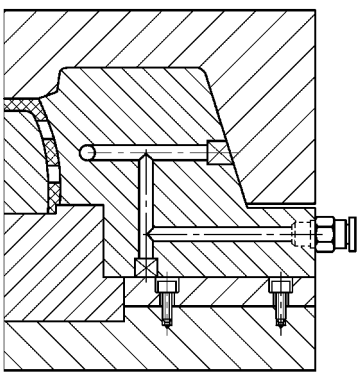


图 10-24　滑块的冷却方式

10.6　加热系统

1. 模具的加热

注塑模加热是模温调节的一个重要方面。在某些生产过程中需要向模具输入适当热量，才能维持生产过程中的正常运行，具体包括：

1）某些高粘性或结晶型塑料的注塑成型，需要维持较高的模温。若只靠塑料熔体在模内释放的热量来维持其较高的模温（如高粘性塑料聚苯醚等）是不可能的。

2）对于大型注塑模，在生产前，必须将模具预热到某一温度，以保证制品尺寸和性能的均匀性，提高制品的合格率。如果只靠注入塑料熔体升温既费时又费物，在经济上极不合算。因此大型注塑模具都应有加热系统。

3）热流道模具技术应用日益增加，为使塑料熔体在模具流道内始终保持熔融状态，必须考虑热流道系统的加热和温度控制。

4）热固性塑料的注塑成型，需要高温模具，以促使塑料在模内完成交联反应，要求对模具进行加热。

2. 加热装置的设计

当要求模具温度在 80℃以上时，就要设加热装置。模具的加热方法很多，可用热水、蒸汽、热空气、热油及电加热等。用热水、热油或水蒸气加热的装置与水冷却装置基本相同。对于有蒸汽、热水或热油来源的工厂，模具加热也可以利用这些热源。由于电加热清洁、结构简单，可调节的温度范围大，因此目前应用比较普遍。当型腔表面温度在 80 ~ 200℃时，一般通过筒式加热器或热油进行温度控制。

用热油进行温度控制有温度稳定的优势，但模具升温时间较长，且现场人员希望尽量避免这种带油操作环境。筒式加热器的温度控制比较简便，并能在短时间内升温，故被广泛采用。

如图 10-25 所示，在模具的适当部位钻孔，插入筒式加热器，加热器与模板孔的间隙推

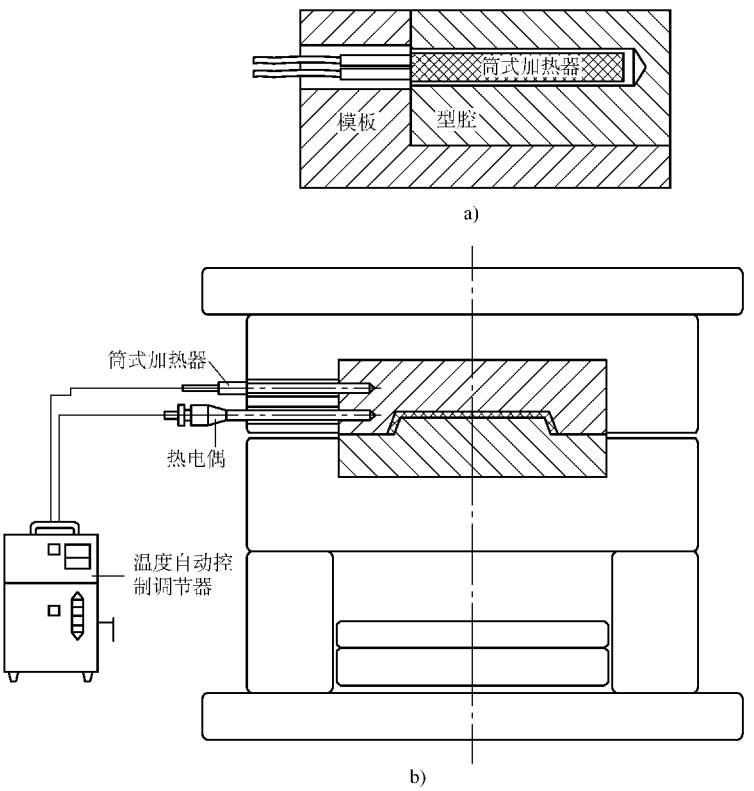


图 10-25　筒式加热器工作方式

荐单边小于0.05mm。如果加热器与模板孔的间隙过大时，可能会因加热器散热不均匀而引起异常发热，导致短路等故障。同时，为了保证均匀散热，推荐使用筒式加热器用润滑防烧结剂，最后接入温度自动控制调节器即可。这种加热形式结构简单，使用安装方便，清洁卫生，热损失较小，应用广泛，但使用时需注意局部过热现象。

均热型筒式加热器根据物体的形状、大小以及散热量，可将加热器的功率分为3个区域进行设定，如图10-26、图10-27所示。

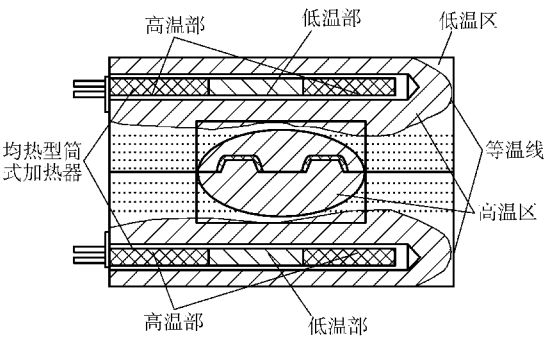


图10-26　均热型筒式加热器安装于模板中的等温线分布

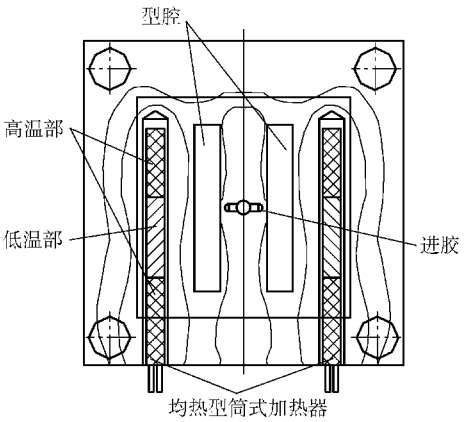


图10-27　均热型筒式加热器安装于型腔中的等温线分布

10.7　模具温度调节系统的外围设施

模具温度调节系统的外围设施主要是为了确保温度调节系统的正常运行。服务于模具的温度调节系统，可以认为是注塑机的一种附属装置。

（1）循环冷却水路　即把流过模具的冷却水循环到冷却水塔进行散热、降温，然后再循环到模具并对模具进行冷却，这对大型模具尤其重要。另外，也可节约用水，使一定量的冷却水反复使用。

（2）压缩空气系统　冷却介质为空气的冷却系统，需要空气压缩机和压缩空气的循环回路及附属设施，把压缩空气送入模具，并对模具进行冷却。

（3）模温控制器　对于高要求的模具，模具的温度必须严格控制，所以需要配备模温控制器，以便对模具温度进行精确控制。当模具温度超过规定的温度时，模温控制器就关闭加热系统，并打开冷却系统，或加大冷却力度，使模具温度下降到规定的温度值；当模具温度低于规定的温度时，模温控制器就打开加热系统，并关闭冷却系统，使模具温度上升到规定的温度值。

（4）模温速冷机　对于要求在注塑充模及保压结束后，快速冷却模具，使制品迅速冷却定型，满足制品性能要求、提高生产率及一些注塑成型方法对成型周期有严格要求（否则要影响料筒中物料的性能和下一次注塑成型质量等）的场合，可以采用专门的模具速冷机，加大冷却力度，在短时间内将制品冷却到规定的温度。

第 11 章　抽 芯 机 构

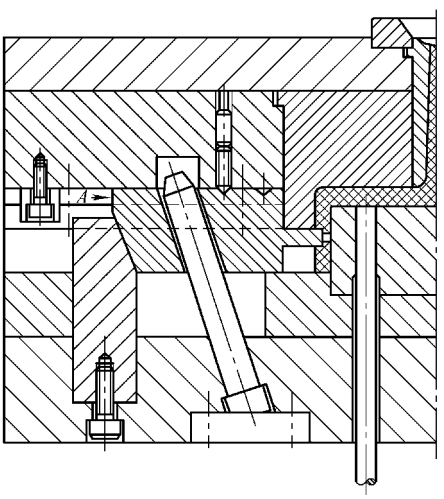
当制品具有与开模方向不同的内侧孔、外侧孔或侧凹时，除极少数情况可以强制脱模外，一般都必须将成型侧孔或侧凹的零件做成可移动的结构。在制品脱模前，先将其抽出，然后再从型腔中和型芯上脱出制品。完成侧向活动型芯抽出和复位的机构就叫侧向抽芯机构。从广义上讲，它也是实现制品脱模的装置。这类模具脱出制品的运动有两种情况：一是开模时优先完成侧向抽芯，然后推出制品；二是侧向抽芯分型与制品的推出同时进行。

11.1　抽芯机构的组成和分类

11.1.1　抽芯机构的组成

抽芯机构按功能划分，一般由成型组件、运动组件、传动组件、锁紧组件和限位组件 5 部分组成，见表 11-1。

表 11-1　抽芯机构的组成

组成名称	功　能	组　件	图　示
成型组件	形成制品上侧孔、凹凸台阶或曲面	型芯、型块等	
运动组件	连接并带动型芯或型块在模套导滑槽内运动	滑块、斜滑块	
传动组件	带动运动组件作抽芯和插芯动作	斜导柱、齿条、液压抽芯机构等	
锁紧组件	合模后锁紧运动组件，防止注塑时受到反压力而产生位移	楔紧块等	
限位组件	使运动组件在开模后，停留在所要求的位置上，保证合模时传动组件工作顺利	限位块、限位钉等	

11.1.2　侧向抽芯机构的分类及特点

侧向分型和抽芯机构按其动力源可分为手动、机动、气压或液压三类。

（1）手动侧向分型抽芯　模具结构比较简单，且生产效率低，劳动强度大，抽拔力有限。故在特殊场合才适用，如试制新制品、生产小批量制品等。

（2）机动侧向分型抽芯　开模时，依靠注塑机的开模动力，通过侧向抽芯机构改变运

动方向，将活动零件抽出。机动抽芯具有操作方便、生产效率高、便于实现自动化生产等优点，虽然模具结构复杂，但仍在生产中广为采用。机动抽芯按结构形式主要有：斜导柱分型抽芯、弯销分型抽芯、齿轮齿条分型抽芯、斜滑块分型抽芯等不同形式，其特点见表 11-2。

表 11-2　抽芯机构的特点

种　　类	特　　点	适用范围
斜导柱分型抽芯机构	1. 以注塑机的开模力作为抽拔力 2. 结构简单，对于中、小型芯的抽芯使用较为普遍 3. 用于抽出接近分型面抽拔力不太大的型芯 4. 抽芯距离等于抽芯行程乘以 tanα，抽芯所需开模距离较大 5. 抽出方向一般要求与分型面平行 6. 延时抽芯距离较短	抽芯距离小于 50mm
弯销分型抽芯机构	1. 用于抽出离分型面垂直距离较远的型芯 2. 与斜导柱相比较，相同截面的弯销所能承受的抽拔力较大 3. 延时抽芯距离大 4. 弯销可设在模具外侧，结构紧凑	开模行程短，抽芯距离大，抽芯阻力大，活动型芯离分型面较远
齿轮齿条分型抽芯机构	1. 抽出与分型面成任何角度且抽拔力不大的型芯 2. 抽芯行程等于抽芯距离，能抽出较长的型芯 3. 可实现长距离延时抽芯 4. 模具结构复杂	活动型芯与分型面成夹角，需要同时抽出几个不同方向的型芯
斜滑块分型抽芯机构	1. 适应抽出侧面成型深度较浅，面积较大的凹凸表面 2. 抽芯与推出的动作同时完成 3. 斜滑块分型处有利于改善溢流、排气条件 4. 斜滑块通过模套锁紧，锁紧力与锁模力有关	同时抽出几个型芯的特殊情况

（3）液压或气压侧向分型抽芯　系统以压力油或压缩空气作为抽芯动力，在模具上配置专门的液压缸或气缸，通过活塞的往复运动来进行侧向分型、抽芯及复位的机构。这类机构的主要特点是抽拔距长，抽拔力大，动作灵活，不受开模过程限制，常在大型注塑模中使用，尤其适用于备有液压缸的注塑机。

11.2　抽芯机构的设计要点

11.2.1　模具抽芯自锁

自锁：自由度 $F \geqslant 1$，由于摩擦力的存在以及驱动力方向问题，有时无论驱动力如何增大也无法使滑块运动的现象称为抽芯的自锁。在注塑成型中，对于机动抽芯机构，当抽芯角度处于自锁的摩擦角之内，即使增大驱动力，都不能使之运动，因此，模具设计时必须考虑避免在抽芯方向上发生自锁。

自锁的条件包括以下两点：

（1）移动副自锁　对于移动副，当驱动力作用在移动副的摩擦角之内时，将发生自锁。

如图 11-1 所示的移动副，驱动力 P 使滑块产生运动的有效分力为水平分力 P_t，即 P_t =

$P\sin\alpha = P_n\tan\alpha$，垂直分力 P_n 使滑块所受的最大摩擦阻力为 $F_{max} = P_n\tan\beta$。

当 $\alpha \leqslant \beta$ 时，则有 $P_t \leqslant F_{max}$，即不管驱动力 P 如何增大，驱动力的有效分力总是小于驱动力 P 本身所可能引起的最大摩擦力，因而滑块总不会发生运动，即发生了自锁现象。

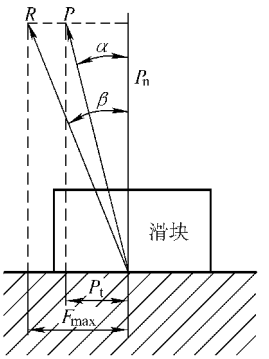


图 11-1　移动副自锁

（2）转动副自锁　对于转动副，当驱动力为单一作用力，并作用在摩擦圆之内时，将发生自锁。例：偏心夹具。

如图 11-2a 所示，作用在轴上的外载荷为 Q，摩擦力 F 对轴形成的摩擦力矩 M 为：

$$M = FR = \mu QR = \rho Q$$

摩擦圆 $\rho = \mu R$

如图 11-2b 所示，当作用在轴上的外载荷为 S，则当力 S 的作用线在摩擦圆之内时，即 $A < \rho$，因驱动力矩 $M_1 = SA$，始终小于它本身所能引起的最大摩擦力矩 $M = \rho Q$。所以力 S 任意增大，也不能驱使轴颈转动，亦即发生了自锁现象。

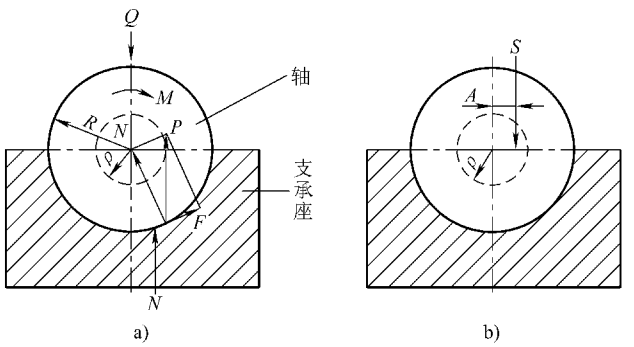


图 11-2　转动副自锁

11.2.2　抽拔力的计算

抽拔力是指制品处于脱模状态，需要从与开模方向有一交角的方位抽出型芯所需克服的阻力。这个力的大小随制品结构、几何尺寸、塑料原料的物理性能及模具结构而异。当原材料确定时，抽拔力与模具结构和制品形状密切相关，因此计算抽拔力的方法与计算脱模力的方法近似。但有些情况，需对脱模力计算公式做适当的修正和改进，方可用于抽拔力的计算。

抽拔力的计算公式：

$$F_c = Ap(\mu\cos\alpha - \sin\alpha)$$

式中　F_c——抽拔力（N）；

A——制品包络型芯的面积（m^2）；

p——制品对侧型芯的收缩力（包紧力），其值与制品的集合形状及制品的品种、成型工艺有关，一般取 $p = 1 \times 10^3$ Pa；

μ——制品在热状态时对钢的摩擦系数，取 $\mu = 0.2$；

α——侧型芯的脱模斜度，一般取 $\alpha = 30°$。

11.2.3　抽芯距离的计算

从成型位置侧抽至不妨碍制品顶出的位置时，侧型芯所移动的距离叫抽芯距。通常抽芯等于侧成型孔的深度或成型凸台的长度 $S_{移}$ 加上安全系数 K，抽芯距的计算如下：

$$S_{抽} = S_{移} + K$$

式中　$S_{抽}$——抽芯距（mm）；

$S_{移}$——滑块型芯脱离成型处，不妨碍顶出的移动距离（mm）；

K——抽芯安全系数（mm），按 $S_{移}$ 的大小及抽芯机构的类型选定（见表 11-3）。

表 11-3　抽芯安全系数 K　　（单位：mm）

$S_{移}$	抽芯机构			
	手动、弹簧、斜导柱、弯销	斜滑块	齿轮、齿条	液压、气压
≤30	2～3	3～5	5～8 齿	>8
>30～50	3～5			
>50	5～8			

注：同一抽芯滑块上有许多型芯时，安全值 K 应按型芯最大抽芯距查取。

一般抽芯距的计算有两种方法：公式计算法及作图法，由于科技的发展，CAD 等应用软件的普及，目前作图法得到普遍的应用。

1. 动模抽芯距离的计算

1）矩形制品抽芯距计算，如图 11-3 所示。

$$S_{抽} = S_{移} + K$$

式中　$S_{抽}$——抽芯距（mm）；

$S_{移}$——滑块型芯完全脱离成型处的移动距离（mm）；

K——抽芯安全系数（mm）。

2）圆形制品抽芯距计算，如图 11-4 所示。

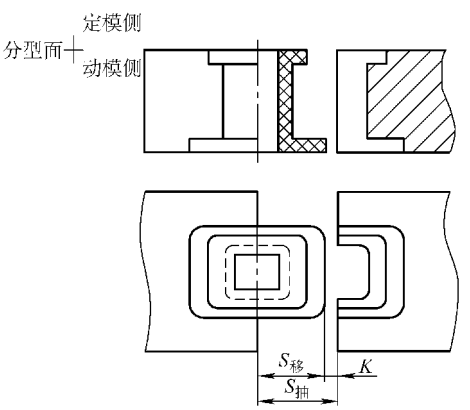


图 11-3　矩形制品抽芯距

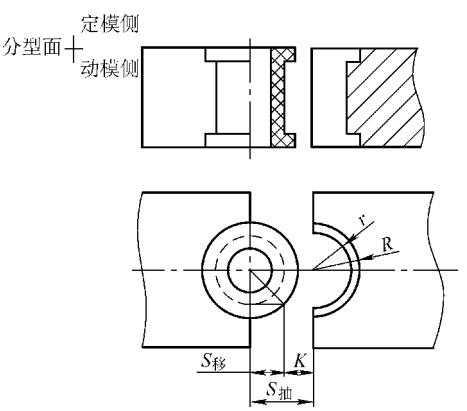


图 11-4　圆形制品抽芯距

$$S_{抽} = \sqrt{R^2 - r^2} + K$$

式中　$S_{抽}$——抽芯距（mm）；

R——圆形制品最大轮廓半径（mm）；

r——圆形制品芯轴半径（mm）；

K——抽芯安全系数（mm）。

3）多瓣滑块抽芯距计算，如图11-5所示。

$$S_{抽}=\frac{R\sin\alpha}{\sin(180^\circ-\beta)}+K=\frac{R\sin\alpha}{\sin\beta}+K$$

式中　$S_{抽}$——抽芯距（mm）；

R——圆形制品最大轮廓半径（mm）；

K——抽芯安全系数（mm）。

$\alpha=180^\circ-\beta-\gamma$，其中 $\gamma=\arcsin\dfrac{\gamma\sin(180^\circ-\beta)}{R}=\arcsin\dfrac{\gamma\sin\beta}{R}$；

$\beta=180^\circ-\left(\dfrac{360^\circ}{2n}\right)=180^\circ\left(1-\dfrac{1}{n}\right)$，$n$ 为圆形制品所等分的瓣数。

2. 定模抽芯距的计算

定模抽芯只要使抽芯从成型位置侧抽脱离侧向成型胶位时，由于抽芯完毕，分型面开模后会把滑块带到定模，一般情况下是不妨碍制品顶出的，因此，有时抽芯距会相对较小，如图11-6所示。

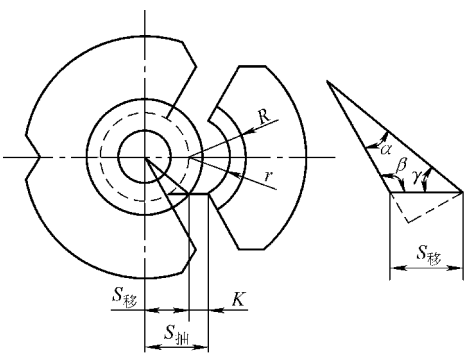


图11-5　圆形多瓣滑块抽芯距

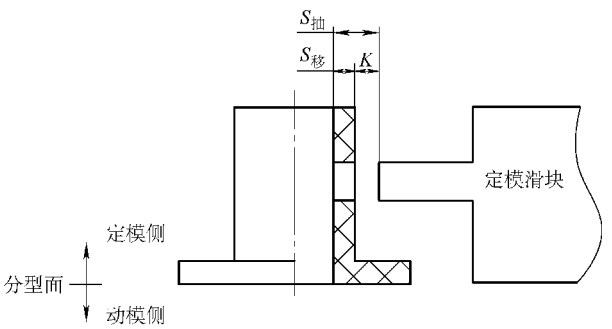


图11-6　定模抽芯距

11.3　手动抽芯机构

手动分型多用于型芯、螺纹型芯、成型缺口的抽出，可分为模内手动分型抽芯和模外手动分型抽芯两种。

11.3.1　模内手动抽芯机构

在开模前，人工直接抽拔或利用传动装置抽出型芯，然后开模，顶出制品。手动分型多用丝杆、斜槽抽芯装置。

1. 丝杆手动抽芯机构

利用丝杆和螺母的配合，使型芯退出，丝杆可以一边旋转一边抽出，也可以只作转动，由滑块实现抽芯动作，如图11-7所示。

如图 11-7a 所示，圆形侧型芯 3 由螺栓头部直接成型，开模时，随螺栓手动抽离制品；合模时，通过侧型芯上的螺杆台肩进行锁紧。

如图 11-7b 所示，由于方形侧型芯 3 在抽出过程中不允许旋转，所以将侧型芯 3 插入螺杆 6 的孔中，靠挡销 5 或卡簧挡住，开模前旋转螺杆 6 使侧型芯 3 不随螺杆旋转，只作平行后移，逐渐抽离制品。

如图 11-7c 所示的是矩形型芯，也不允许在抽芯过程中旋转，它是将螺杆 6 装夹在侧型芯 3 和压块 8 之间，可作自由旋转动作，开模后，旋转螺杆 6 只带动型芯平行后移抽出。

如图 11-7d 所示是当侧型芯受力较大时，用楔紧块 9 锁紧侧型芯 3，防止注塑压力过大，导致后退。将螺杆 6 固定在侧型芯 3 与压块 8 之间，楔紧块 9 必须率先脱离压块 8 的斜面时，方可开始手动抽芯动作。

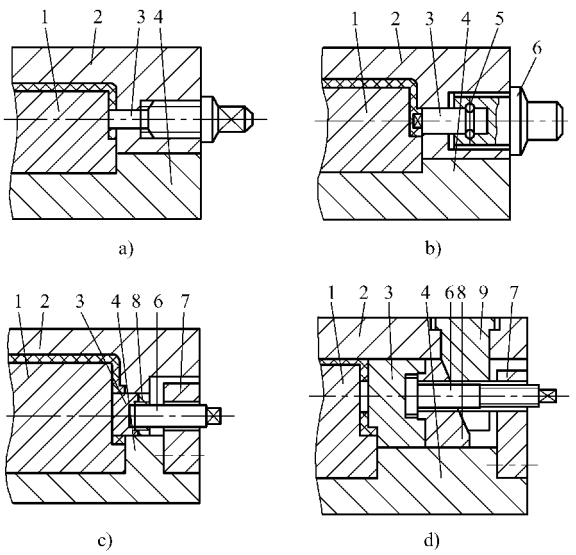


图 11-7　模内手动抽芯机构

1—型芯　2—定模　3—侧型芯　4—动模　5—挡销　6—螺杆　7—螺母　8—压块　9—楔紧块

2. 手动斜槽分型抽芯机构

斜槽抽芯机构具有偏心转盘，适用于制品的抽拔力不大、抽拔距小。当多个侧型芯均布时，多采用斜槽分型与抽芯机构。

如图 11-8 所示，制品周边有若干通孔，它的结构形式是转盘 5 上铣有腰形斜槽孔，插入斜槽孔的滑块 7 与侧型芯 10 由圆柱销 6 连接固定，转盘 5 可绕定模 9 上的芯轴旋转。开模前沿顺时针方向转动手柄 11，使转盘 5 在绕芯轴旋转时腰形斜槽孔带动滑块、型芯一起做平行后移的抽芯动作之后，从主分型面分型，将制品脱离型腔并顶出。

为了提高模具的使用寿命，在转盘和定模芯轴间设置淬硬的轴套 8，以便于维修或更换。

这种结构特点是通过转盘的转动，带动所有侧型芯做辐射状的抽芯，其结构简单，模具造价低，运动平稳可靠。但由于人工操作，只适宜抽拔力较小的场合。

11.3.2　模外手动抽芯机构

模外手动抽芯机构是在模具开模后，活动型芯随制品一起顶出模外，然后用人工或简单

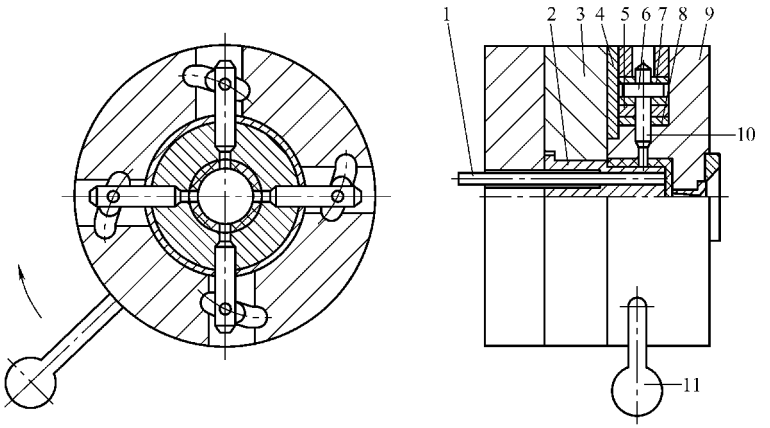


图 11-8　模内手动辐射抽芯机构

1—顶杆　2—型芯　3—动模　4—垫板　5—转盘　6—圆柱销　7—滑块
8—轴套　9—定模　10—侧型芯　11—手柄

的机械将活动型芯从制品上取下；合模时，再将活动型芯装入模内的抽芯形式。

当制品受到结构形状的限制或生产批量很小时，可以采用模外手动分型抽芯机构。同时，为了提高注塑效率，同时应备有几套备用的活动型芯，以便于循环交替使用。

如图 11-9a 所示，开模后，顶杆 5 将制品及活动型芯 2 一起顶出主型芯 4，用人工方式将活动型芯取下；合模时，顶杆 5 先复位便于活动型芯固定。活动型芯通过与分型面相平的台肩和侧面的斜面定位。

如图 11-9b 所示，活动型芯 2 则是靠主型芯 4 的内侧斜面定位。

如图 11-9c 所示，制品内侧带有螺纹，由螺纹嵌件 6 直接成型，开模后，顶杆 5 将制品和活动型芯 2 及螺纹嵌件 6 顶出主型芯 4 后，先卸掉螺纹嵌件 6，然后从制品中取出活动型芯 2。

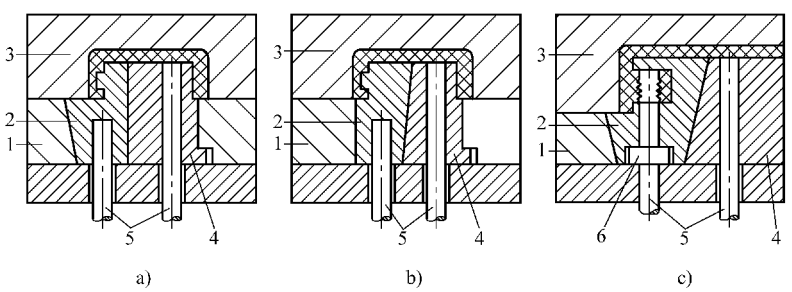


图 11-9　模外手动抽芯机构

1—动模　2—活动型芯　3—定模　4—主型芯　5—顶杆　6—螺纹嵌件

11.4　弹簧抽芯机构

弹簧抽芯机构是以弹簧的弹力作为抽拔力的一种抽芯机构，在小型模具中也有应用价值。它们的特点是造模成本低，运转周期短。但在采用弹簧抽芯机构时，应注意因弹簧的疲劳而失效，因而多用在抽拔力不大的场合。

例 1：弹簧内抽芯

如图 11-10 为弹簧内抽芯机构，开模时，楔紧块 7 在消除楔紧力后，内滑块 2 在弹簧 1 的作用下抽芯。合模时，依靠楔紧块 7 的斜面带动内滑块 2 复位。

应该注意的是，内滑块到主型芯的端面厚度 H 不能过小，应能承受注塑压力的冲击力，否则抽芯距的运动空间会引起主型芯 6 的塑性变形，从而引起制品表面缺陷。

例 2：弹簧外抽芯，挡销限位

如图 11-11 为弹簧外抽芯机构，开模时，楔紧块 5 在消除对侧滑块 2 的楔紧力后，侧滑块 2 在弹簧 3 的作用下抽芯。合模时，依靠楔紧块 5 的斜面带动外滑块复位。

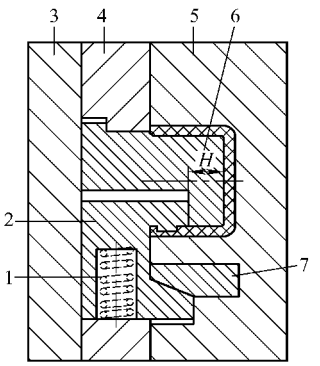


图 11-10　弹簧内抽芯

1—弹簧　2—内滑块　3—垫板　4—动模板
5—定模板　6—主型芯　7—楔紧块

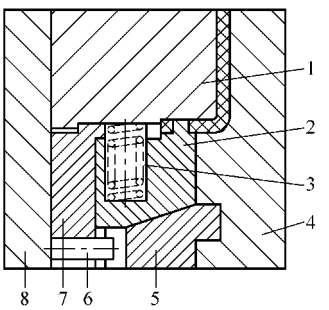


图 11-11　弹簧外抽芯，挡销限位

1—型芯　2—侧滑块　3—弹簧　4—定模板
5—楔紧块　6—挡销　7—动模板　8—垫板

例 3：弹簧外抽芯，端面限位

图 11-12 所示为弹簧外抽芯、端面限位机构，开模过程中，当固定在定模板 2 上的楔紧块 5 对装在动模板 3 上的型芯 4 消除限位时，在弹簧 1 作用下使型芯 4 移动完成抽芯。

合模时，在楔紧块 5 作用下，使型芯 4 进入闭模状态，并由端面限位。

$$S > h,\ S < S_1$$

例 4：弹簧外抽芯

图 11-13 所示为弹簧外抽芯机构，开模过程中，楔紧块 3 消除对滑块 4 的锁紧，压缩状态的弹簧 7 通过销 6 来推动滑块 4 完成抽芯。此滑块 4 可以是多个小滑块，用以多抽芯，制造简便。

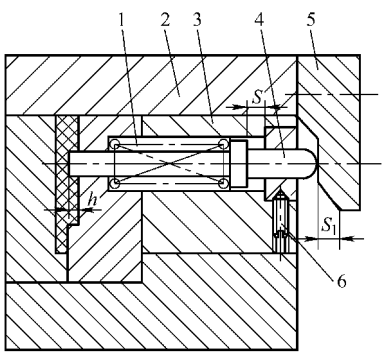


图 11-12　弹簧抽芯、端面限位机构

1—弹簧　2—定模板　3—动模板　4—型芯
5—楔紧块　6—定位珠

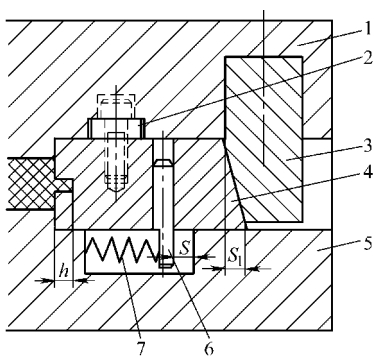


图 11-13　弹簧外抽芯

1—定模板　2—压板　3—楔紧块　4—滑块
5—动模板　6—销　7—弹簧

合模时，楔紧块 3 使滑块 4 复位并锁紧。

$$S > h,\ S < S_1$$

例 5：弹压式弹簧定模抽芯

实践中，在定模抽芯的模具中，往往设置顺序定距分型机构，使其结构复杂，给模具制作带来很大的麻烦，如图 11-14 所示是一种较为简单的弹压式弹簧定模抽芯，当抽拔力和抽芯距不大时，可以采用。

它的结构特点是将斜滑块 4 用斜导柱 3 安装在定模板 5 上，并与定模的斜面研合后锁紧。开模时，在制品脱离型腔的同时，斜滑块 4 在弹簧 2 的作用下，沿斜导柱 3 随制品移动，并开始抽芯动作。当抽芯完成后，斜导柱 3 的台肩使斜滑块限位，并停止移动，依附在定模板 5 上。合模时，动模板 7 压动斜滑块沿斜导柱方向复位。

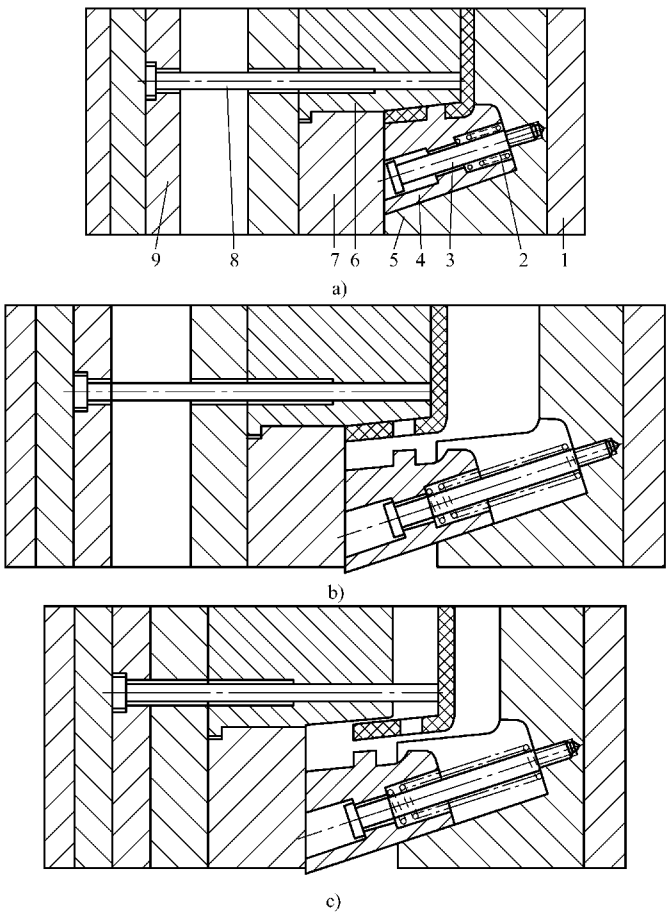


图 11-14　弹压式弹簧定模抽芯

a）合模状态　b）侧抽芯状态　c）顶出状态

1—面板　2—弹簧　3—斜导柱　4—斜滑块　5—定模板　6—主型芯　7—动模板　8—顶杆　9—顶板

例 6：弹压式弹簧动模斜抽芯

如图 11-15 所示是一种较为简单的弹压式弹簧动模斜抽芯，当抽拔力和抽芯距不大时，可以采用。开模后，动模板 3 在弹簧 7 的作用下与承板 1 分开距离 L，以此同时弹簧 4 完成

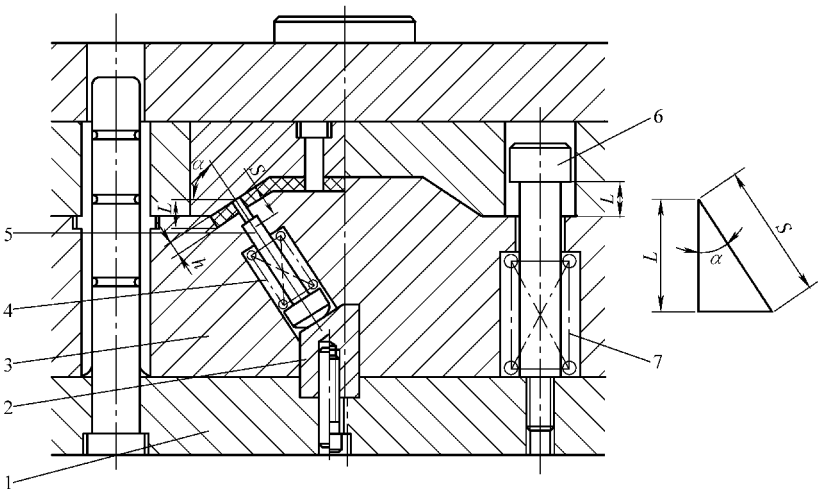


图 11-15　弹压式弹簧动模斜抽芯

1—承板　2—楔紧块　3—动模板　4、7—弹簧　5—型芯　6—限位钉

抽芯。合模时，楔紧块 2 使型芯 5 复位并锁紧。

$$S > h,\ S < \frac{L}{\sin a}$$

11.5　斜导柱抽芯机构

斜导柱抽芯机构是在实践中最常用的一种抽芯机构。

斜导柱抽芯的组合形式如图 11-16 所示，它主要由侧型芯、滑块、斜导柱、楔紧块和定位装置等零件组成。

当注塑成型冷却固化后，开模时，开模力使斜导柱 14 和滑块 13 的斜孔做相对运动，由于滑块 13 和动模板 7 的导滑槽精密滑动配合，因此，斜导柱 14 拨动滑块 13 向外侧移动。当完成抽芯和开模的动作后，这时在弹簧 9、限位螺钉 8 以及挡块 10 的作用下，滑块 13 始终定位在斜导柱抽出滑块时的终止位置上，以避免在下次合模时，斜导柱和斜孔的错位而发生碰撞事故。

合模时，斜导柱 14 准确地进入滑块 13 的斜孔，并带动它复位。事实上仅靠斜导柱的精确定位是很困难的，况且斜导柱的锁压很难承受注塑力的高压冲击而引起滑块的后退。因此需另设滑块的锁紧装置，即楔紧块 12 斜面研合接触，确保侧型芯的精确定位并锁紧滑块，防止它因受侧向注塑成型压力而产生位移。

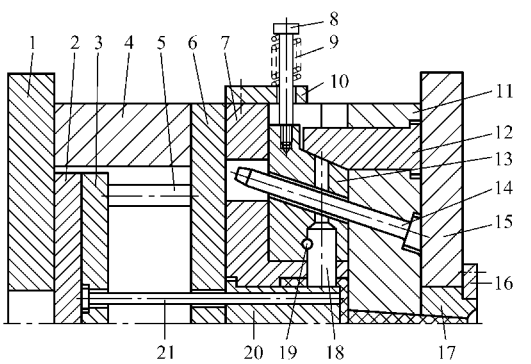


图 11-16　斜导柱抽芯机构的组合形式

1—动模面板　2—顶杆底板　3—顶杆面板　4—支板

5—复位杆　6—支承板　7—动模板　8—限位螺钉

9—弹簧　10—挡块　11—定模板　12—楔紧块

13—滑块　14—斜导柱　15—定模面板

16—定位圈　17—浇口套　18—侧型芯

19—固定销　20—主型芯　21—顶杆

11.5.1　斜导柱抽芯机构的设计要点

1. 斜导柱抽芯机构的动作原理

图11-17为斜导柱抽芯机构的动作原理图，设斜导柱与开模方向夹角为α（俗称抽拔角），当开模时，在开模力的作用下，斜导柱拨动滑块向外侧移动，从而使斜导柱对滑块产生一个法向力$F_{法}$，它分解为开模方向与抽芯方向的两个分力$F_{开}$和$F_{抽}$，$F_{开}$是促使滑块沿开模方向移动的力，由于滑块安装在模板的导滑槽中，在T型槽的制约下，滑块沿开模方向受力是平衡的，因此，滑块在$F_{抽}$分力的作用下，只能向外侧移动而达到抽芯的目的。合模时，斜导柱又带动滑块恢复原位（初复位），最后由楔紧块压紧滑块锁模。

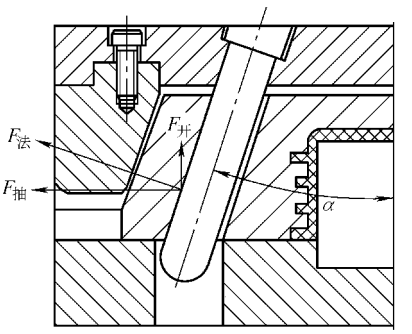


图11-17　斜导柱抽芯机构动作原理图

需要注意的是：斜导柱在拨动滑块抽芯的同时受到$F_{法}$的反向作用力，这个作用力使得斜导柱受到扭矩的作用，如果制品对滑块的包紧力比较大，斜导柱直径必须做大，防止弯曲变形。

2. 斜导柱抽芯机构的形式

斜导柱抽芯机构按滑块抽芯方向与分型面的夹角关系分为三类：平行分型面抽芯、沿动模方向倾斜抽芯、沿定模方向倾斜抽芯。

（1）平行分型面抽芯　这种方式是最简单最常用的一种形式，如图11-18所示，利用开模动作，使斜导柱拨动滑块，产生相对运动，使滑块逐渐脱离制品倒勾。在设计中要注意以下几点：

1）斜导柱的抽拔角α与脱模力及抽芯距有关，抽拔角α的角度越大，则斜导柱所受弯曲力要增大，所需开模力也越大，同时有自锁的可能性；反之，当抽芯距一定时，抽拔角α的角度小则使斜导柱工作部分的长度增大，降低了斜导柱的刚性。因此，斜导柱抽拔角的角度α要兼顾抽芯距及避免自锁两方面，一般抽拔角α值为15°～25°，但当抽芯距较大时，可适当增加抽拔角α值，以满足抽芯距的要求，但最大一般不能超过35°，否则，斜导柱容易弯曲变形及抽芯机构的自锁。

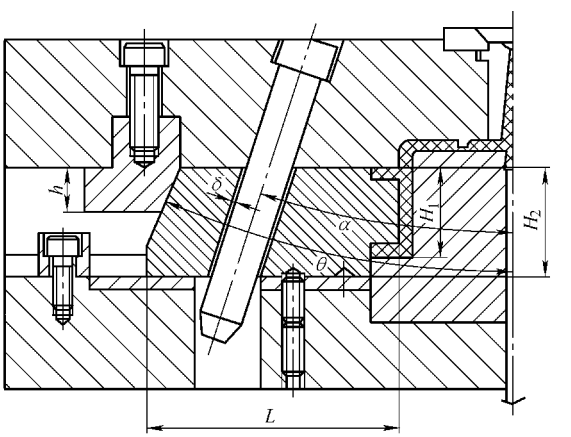


图11-18　斜导柱抽芯机构的一般形式

2）楔紧块的楔角θ应大于其抽拔角α，一般采用$\theta \geqslant \alpha + (2° \sim 3°)$，防止合模产生干涉以及开模减小摩擦，斜导柱与滑块的间隙$\delta = 0.5 \sim 1$mm，使得模具打开的瞬间，由于δ间隙的作用，斜导柱起着延迟抽芯的作用，楔紧块率先打开了滑块后移的空间，消除对滑块的锁紧作用。合模时，由于δ间隙，使得斜导柱更容易地插入滑块进行复位工作。

楔紧块与侧滑座的楔角应相互配合良好，定位准确，稳定可靠，所以在模具安装时应精细研合。为了便于研合，一般需要在楔紧块上安装耐磨块，交叉方向开有深度为 0.5mm 左右的储油槽，这可以减少研合的工作量，对锁紧力并没有影响，却提高了研合面的稳定性。

楔紧块对滑块的锁模高度 $h \geqslant \frac{2}{3}H_1$，避免楔紧块对滑块锁模力不够，造成飞边，同时 $\frac{L}{H_2} \geqslant 2$，使得滑块运动更加顺畅。

3）当滑块抽芯完毕后，留于滑块导轨内的配合长度必须满足 $L_1 \geqslant \frac{2}{3}L$，如图 11-19 所示，同时滑块应设置可靠的限位止动装置，特别是滑块处于模具的下方，务必要设置挡板。

4）当滑块或侧型芯沿开模方向的投影与顶杆端面重合时，会发生干涉碰撞，如图 11-19 所示，一般都需要设置先复位机构。

当滑块平行分型面抽芯时，滑块水平抽芯距离 S 如图 11-20 所示，即

$$S = H\tan\gamma$$

式中　H——开模距离（mm）。

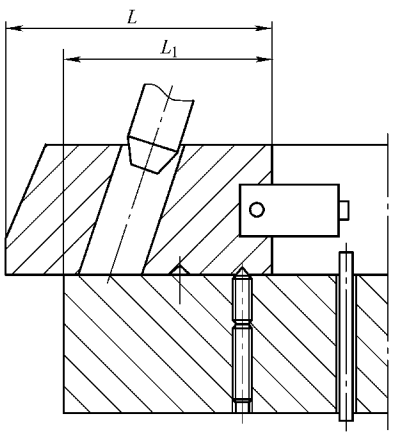


图 11-19　斜导柱抽芯机构的一般形式

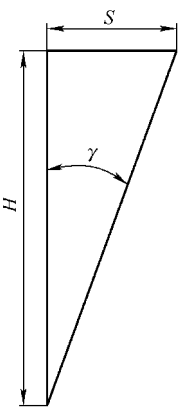


图 11-20　滑块平行分型面抽芯行程计算

（2）沿动模方向倾斜抽芯　如图 11-21 所示。

$$\text{抽拔角 } \alpha = \beta + \gamma \leqslant 35°$$

$$\theta = \gamma + (2° \sim 3°)$$

式中　β——滑块抽芯倾斜角；

γ——斜导柱与开模方向的夹角；

θ——楔紧块斜角。

当滑块斜向动模时，滑块水平抽芯距离 $S_1 = H\tan\gamma$，如图 11-22 所示。

$$\text{滑块下滑行程 } S = \frac{S_1}{\sin\beta} = \frac{H\tan\gamma}{\sin\beta}$$

式中　H——开模距离（mm）。

（3）沿定模方向倾斜抽芯　如图 11-23 所示。

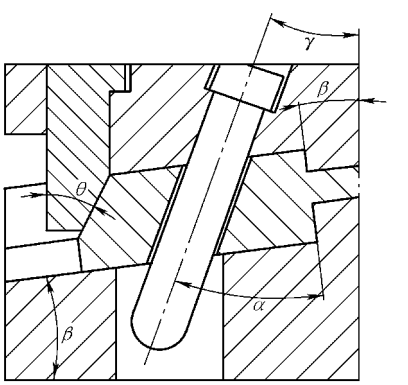


图 11-21　滑块斜向动模

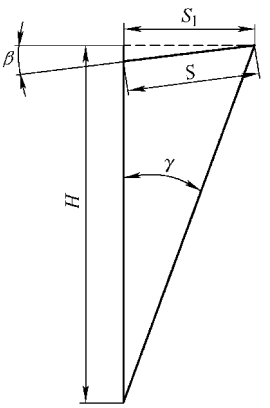


图 11-22　滑块斜向动模时抽芯行程计算

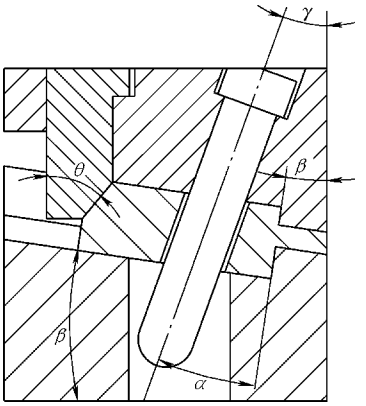


图 11-23　滑块斜向定模

$$\text{抽拔角 } \alpha = \gamma - \beta \leqslant 35°$$

$$\theta = \gamma + (2° \sim 3°)$$

式中　β——滑块抽芯倾斜角；

γ——斜导柱与开模方向的夹角；

θ——楔紧块斜角。

当滑块斜向动模时，滑块水平抽芯距离 $S_1 = H\tan\gamma$，如图 11-24 所示。

$$\text{滑块上滑行程 } S = \frac{S_1}{\sin\beta} = \frac{H\tan\gamma}{\sin\beta}$$

式中　H——开模距离（mm）。

从图中可以看出，在同样的开模距离下，滑块斜向定模的上滑抽芯行程比滑块斜向动模的下滑抽芯行程来得大。

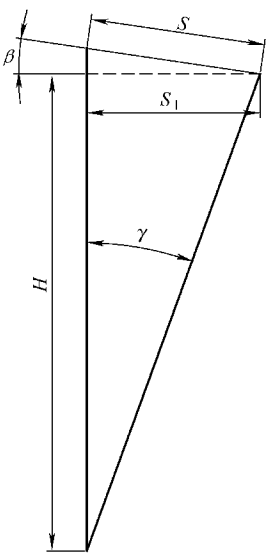


图 11-24　滑块斜向定模时抽芯行程计算

一般斜导柱与滑块之间的间隙 $\delta = (0.5 \sim 1)$ mm，则上述三种情况下所需最小开模行程还应减去开始抽芯前的一段空行程，其值为 $\delta\sin\alpha$，比如模具开模距离为 H，实际拨动滑块的距离为 $H - \delta\sin\alpha$。当抽拔角 α 角度加大时，所需开模行程 H 减少，但角度不能随意加大，抽拔角 α 最大不能超过 35°，否则容易自锁；抽拔角 α 角度越小，其开模行程越需要加大，工作效率低，同时，也会影响到模架导柱的长度。

3. 斜导柱的设计

设计斜导柱主要包括斜导柱的结构形式及安装形式、斜导柱的工作直径、抽拔角的选择、斜导柱长度的确定，以及斜导柱的加工精度、选用材质及热处理等。

（1）截面尺寸设计　常用的有圆形和矩形截面，如图 11-25 所示。圆形截面制造方便，装配容易，应用较普遍；矩形截面需要在圆形截面上磨削出两个平面，需要定位装配，但拨动滑块时，作用面加大，强度较高，能承受作用力大，还能较方便地达到较大距离延迟抽芯的目的，因此，

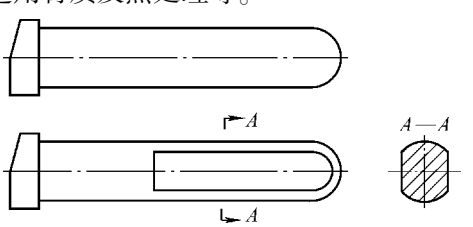


图 11-25　斜导柱的截面形状

在生产中仍然有使用。

从受力学的角度看，斜导柱截面的大小与斜导柱拨动滑块时的工作长度和所受的弯曲力有关，当斜导柱的工作长度越长，受到的弯曲力也越大，因此，截面亦需要越大。实践中，一般通过类比的办法来选择斜导柱的截面大小，对斜导柱不做计算，但如果没有类比对象或在一些特殊场合，需对斜导柱的受力进行分析，一般可通过查表法求得，在此不做进一步的论述。

（2）斜导柱的锁紧方式及其应用场合　图 11-26a 适宜用在定模板较薄且与固定模板不分开的情况下，配合面较长，稳定较好，配合面 $L \geqslant 1.5D$（D 为斜导柱直径）。

图 11-26b 适宜用在定模板较薄且与固定模板可分开的情况下，压块通过螺钉锁紧在定模板上起压住固定作用，配合面较长，稳定较好，配合面 $L \geqslant 1.5D$（D 为斜导柱直径）。

图 11-26c 适宜用在定模板较薄且没有固定模板压住，压块通过螺钉锁紧在定模板上起压住固定作用，配合面较长，稳定较好，配合面 $L \geqslant 1.5D$（D 为斜导柱直径）。

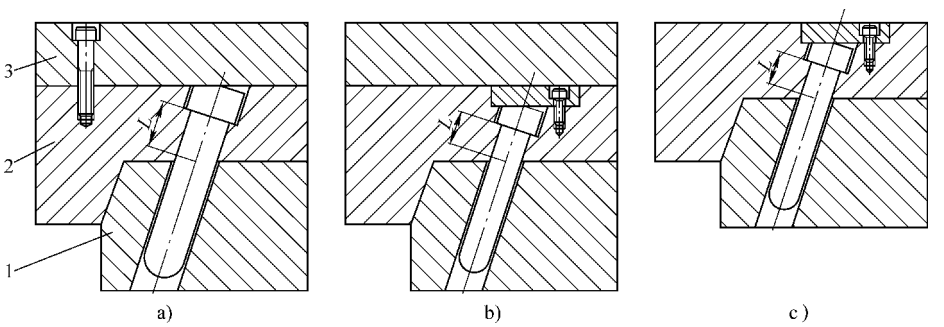


图 11-26　模板较薄时斜导柱固定方式

1—滑块　2—定模板　3—固定模板

图 11-27a 适宜用在定模板厚、模具空间大的情况下且两板模、三板模均可使用，配合面 $L \geqslant 1.5D$（D 为斜导柱直径）。

图 11-27b 适宜用在模板较厚的情况下且两板模、三板模均可使用，配合面 $L \geqslant 1.5D$（D 为斜导柱直径），稳定性不好，加工困难。

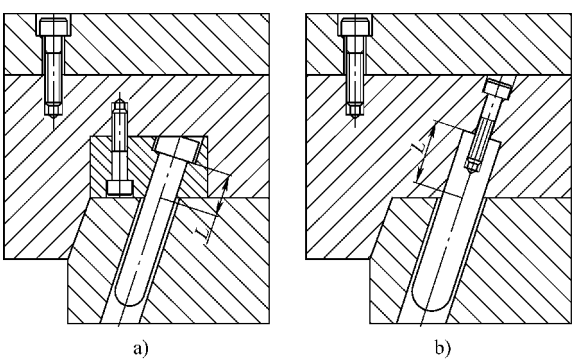


图 11-27　模板较厚时斜导柱固定方式

4. 滑块的设计

侧型芯机构包括侧滑块、导滑槽、定位装置、锁紧装置等几部分。

（1）侧型芯与滑块的连接形式　一般分为组合式和整体式两种。组合式的滑块是将侧型芯安装在滑块上，这样可以节省优质钢材，且加工方便，因而应用较广泛。整体式滑块主要应用在大滑块上，节省空间。

组合式的连接形式一般按形状分为圆形型芯连接形式及块状型芯连接形式。

对于圆形型芯且直径较小，可用无头螺钉顶紧的形式，如图 11-28a 所示。

对于圆形型芯且直径较小，为保证型芯强度，需要将圆形型芯嵌入滑块的部分加大，用中心销固定，如图 11-28b 所示。

或者不加粗型芯，对于直径稍大的，甚至可以嵌入滑块的部分减小，采用骑缝销固定，如图 11-28c、图 11-28d 所示。

对于多型芯，采用压板固定，如图 11-28e 所示。

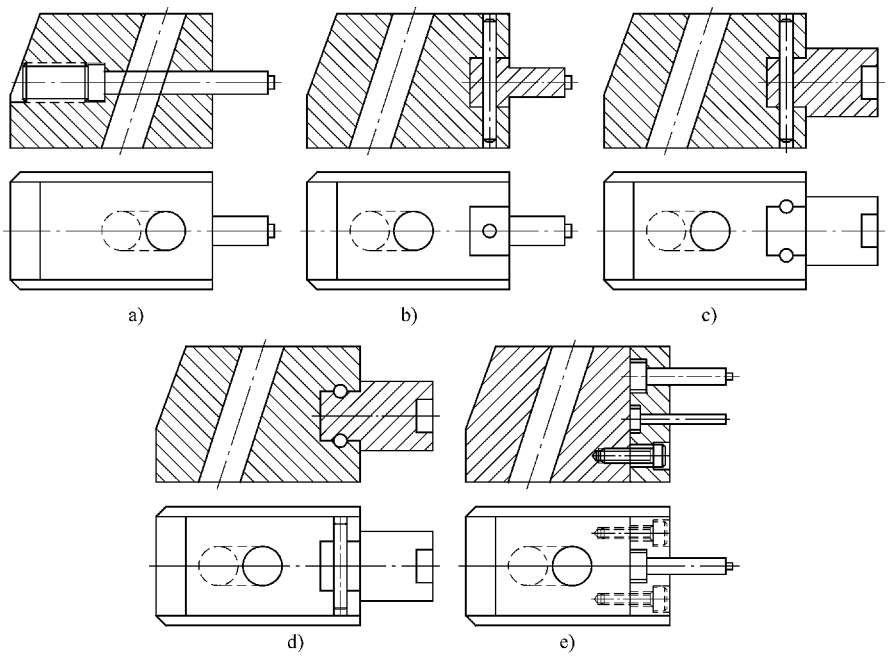


图 11-28　圆形型芯与滑块的连接形式

对于型芯为薄片状时，嵌入滑块的部分加大，为方便加工，滑块通槽，用销钉固定(见图 11-29a)。

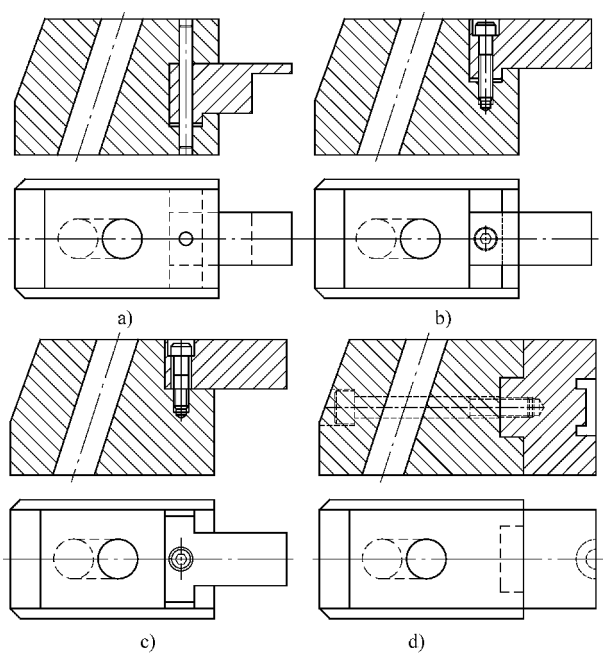


图 11-29　块状型芯与滑块的连接形式

对于型芯刚好处于滑块顶部，亦采用通槽设计，螺钉固定（见图 11-29b、c）。

对于型芯比较大，型芯采用冬菇头与滑块定位，背面螺钉固定（见图 11-29d）。

（2）侧滑座的导滑形式　为保证滑块机构平稳移动，可靠地抽出或复位，无上下窜动或卡死现象，侧滑座应在导滑槽的制约下做有序运动，这就要求侧滑座与导滑槽配合良好。在侧滑座和导滑槽的配合中，有两个尺寸较为重要：一是侧滑座的宽度 L，二是导滑槽的厚度 H。它们的配合均为基孔制的间隙配合，即 H7/f7。

侧滑座的导滑形式有整体式和镶嵌式两种。整体式直接在模板上加工出 T 型槽，一般加工比较困难；镶嵌式加工方便，调整方便，且容易淬硬处理等。

1）整体式。如图 11-30a 所示是侧滑座整体式导滑形式，它结构简单紧凑，但导滑槽设在模板上，只能用 T 字形铣刀加工，尺寸精度和表面光滑度都难保证。在实践中往往先加工导滑槽，经过手工修研后确定实际尺寸，再加工侧滑座与导滑槽配作，一般应用于模具空间狭小的场合。

如图 11-30b 所示是将导滑槽设在滑座的中部，它往往在侧滑座较高，而 T 字形铣刀柄部短，够不到底部时采用。它还有一个优点是，侧滑座的滑动部分距斜导柱的受力点较近，受斜导柱分力的影响较小，使侧滑座运动较为平稳。

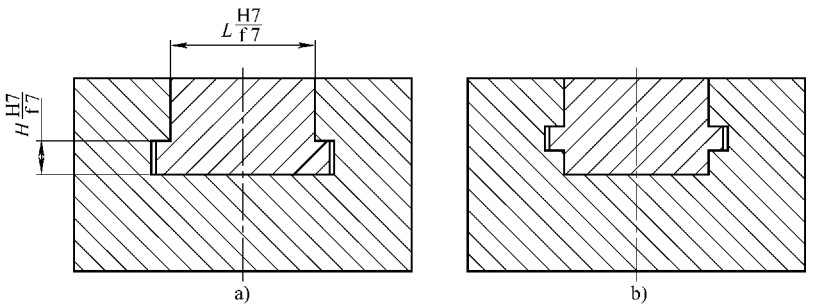


图 11-30　整体式滑块与导滑槽的配合形式

2）镶拼式。如图 11-31a 所示为侧滑座的导滑形式，用矩形的压板形式，加工简单，强度较好，应用广泛，导滑槽的厚度 H 可用侧滑座的耳部厚度配合加工，简化了研合和装配的难度，它多用于较大的模具中。

如图 11-31b 所示，当滑块较宽或者模温较高的场合下，除了采用压板外，还需增加中央导轨形式辅助导滑，防止偏摆。

如图 11-31c 所示采用 L 形压板，加工简单，强度较好，一般要加销孔定位，多用于较大的模具。

如图 11-31d 所示采用镶嵌式的 T 形槽，稳定性较好，但加工困难，一般适用于斜抽芯的模具。

如图 11-31e、f 所示采用内部“T”形槽，装在滑块内部，一般用于容间较小的场合，如跑内滑块。

需要注意的是，侧滑座斜孔的抽拔角 α 与斜导柱需要配作完成。侧滑座尾部的 β 楔紧面是作为锁紧用的，其锁紧楔角 $\beta=\alpha+(2°\sim3°)$，锁紧斜面与楔紧块研合，这是为了在开模的瞬间楔紧块首先脱离，打开侧滑座抽芯的空间，同时为了保证侧滑座的平稳移动，侧滑座导滑部分的长度 L_2 应大于它的宽度 W 的 1.5 倍，即 $L_2>1.5W$。在完成抽芯动作后，侧滑座

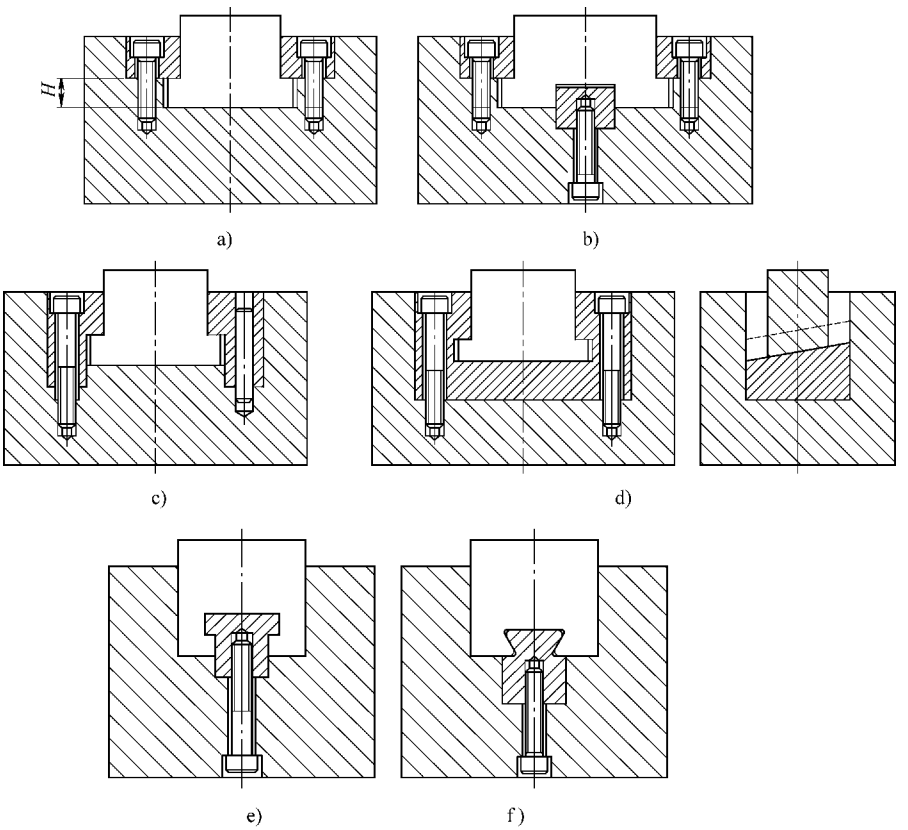


图 11-31　镶嵌式滑块与导滑槽的配合形式

留在导滑槽内的长度 L_1 不得小于总长度 L_2 的 2/3，否则在刚开始复位时，侧滑座很容易倾斜而遭到损坏，如图 11-32 所示。在实践中，由于条件的限制，其侧滑座的导滑部分的长度满足不了以上的条件时，可采用将其尾部加长的措施，同样得到满意的效果。

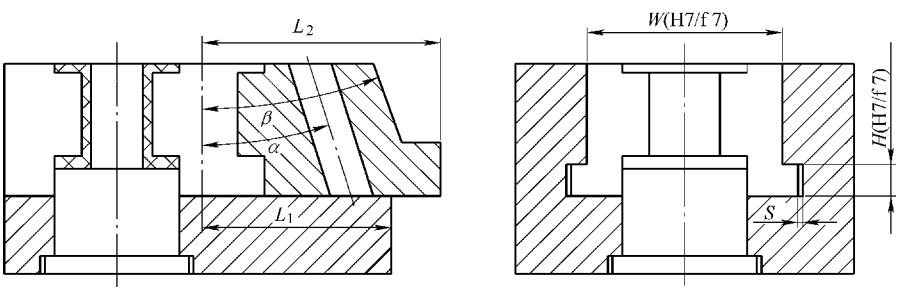


图 11-32　侧滑座的设计要求

（3）侧滑座的定位装置　开模后侧滑座后移抽芯距 S 后，斜导柱与侧滑座分离，侧滑座在其运动终点停止移动。这时必须使它停留在这个位置上，再次合模时，斜导柱的伸出端才能准确可靠地进入侧滑座的斜孔，继续循环工作。但由于重力、震动等原因必须设计侧滑座的定位装置，使其准确可靠地停留在运动终止的位置上。选用时可根据注塑机的形式、模具结构特点及大小加以确定。

侧滑座的定位装置大体有以下几种常用形式，如图 11-33 所示。

1）挡板式定位：利用侧滑座的自重，使用挡板或挡销定位，如图 11-33a 所示。它的结构简单，但只适用于侧型芯安放在模具下方的情况。

2）限位杆定位：利用挡块限位，并通过限位杆的拉力及弹簧的弹力拉动限位杆将侧型芯安放在模具上方，弹簧的弹力应大于侧型芯自重的 1.5 ~2 倍，以便于承受侧型芯的重力。它的优点是，应用较广，在模具的任意方向均可采用，运动平稳，定位可靠；缺点是加大了模具外廓尺寸，如图 11-33b 所示。

3）定位珠定位：依靠定位珠的内部弹簧的弹力作用与侧滑座底部成 90° 的凹窝定位，应用于滑块较小的场合下，只能用于侧向抽芯，如图 11-33c 所示。

4）弹簧螺钉定位：弹簧强度为滑块重量的 1.5 ~2 倍，常用于向上和侧向抽芯，如图 11-33d 所示。

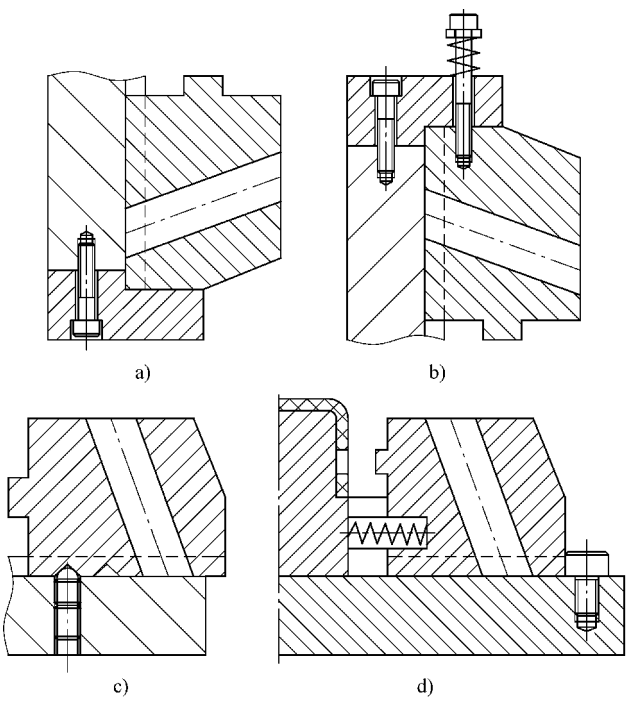


图 11-33　侧滑座的定位机构形式

（4）楔紧块的设计　侧滑座楔紧块的主要功能有两个：一是保证侧型芯准确复位，斜导柱的复位只能使其粗复位；二是承受注塑压力对侧型芯的冲击。在注塑成型时型腔内呈熔融状态的塑料对侧型芯有一个很大的压力，这个力通过侧型芯传递给斜导柱，致使细长的斜导柱因承受过大的压力而变形，甚至断裂。设置楔紧块就是承受压力的冲击，防止侧型芯的外移，避免影响到制品的尺寸及外观（如毛边），同时消除了斜导柱所受的弯曲力。

楔紧块的结构形式很多，在实践中将根据锁紧力的大小和工艺的简繁程度选取不同的结构形式。楔紧块一般也分为整体式和镶嵌式两种。

1）整体式。楔紧块采用整体式，因而结构牢靠，结构刚性好但加工不便，适用于锁紧力要求大的场合。

如图 11-34a 所示适用于滑块高度相对较小的场合。

如图 11-34b 所示适用于滑块高度相对较高且抽芯距又较小的场合，如果采用图 11-34a 的形式，由于抽芯距较小，斜导柱的工作长度很短，导致其受力中心处于滑块顶部，滑块受到翻转力矩的作用。

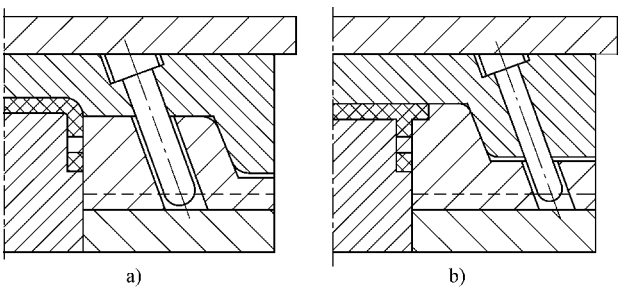


图 11-34　整体式楔紧块

2）镶嵌式。如图 11-35a、b 所示采用嵌入式锁紧方式，适用于较宽的滑块。

如图 11-35c 所示采用镶拼式锁紧方式，刚性较好，一般适用于空间较大的场合。

如图 11-35d 所示是外装式楔紧块，它用螺钉和圆柱销将楔块固定在模板的外侧，易于研合，加工和调整较为方便，但锁紧强度和刚性较差，容易松动，只适宜于滑块成型面较小、锁紧力要求较小的小型模具。

如图 11-35e 所示滑块采用镶拼式锁紧方式，结构强度好，适用于锁紧力要求较大的场合。

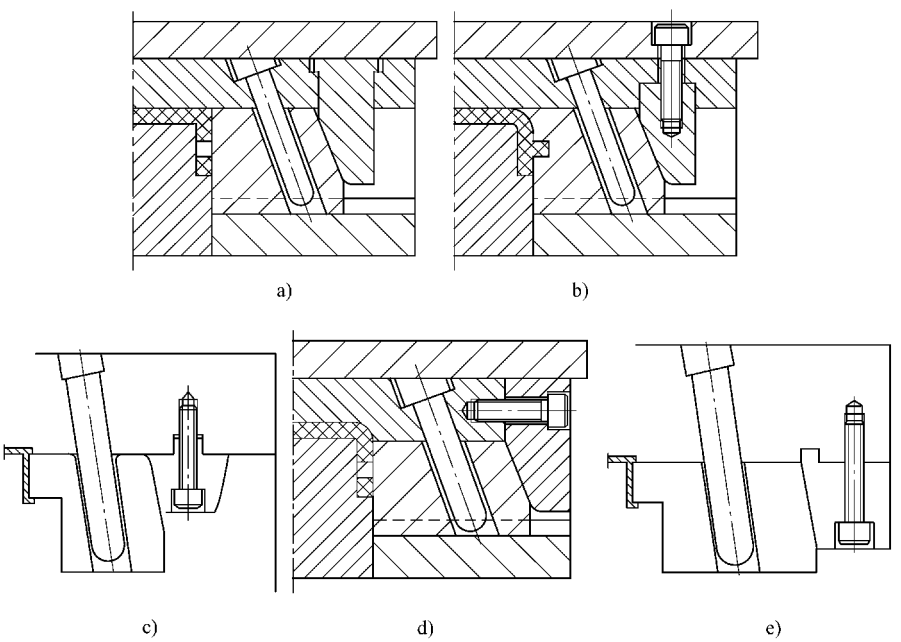


图 11-35　镶嵌式楔紧块

5. 设计斜导柱抽芯时应注意的问题

1）斜导柱着力点。斜导柱的着力点应在侧滑座的抽拔力中心。

当侧型芯较高时，斜导柱受力点的上移引起侧型芯在移动时发生翘曲而运动不畅，并容

易发生卡滞现象。解决的办法：一是增加斜导柱的工作长度 L，使受力点尽量靠近滑块的中心，这样导致抽芯距离加大，如图 11-36a 所示；二是降低斜导柱伸入滑块斜孔的高度 H，如图 11-36b 所示。

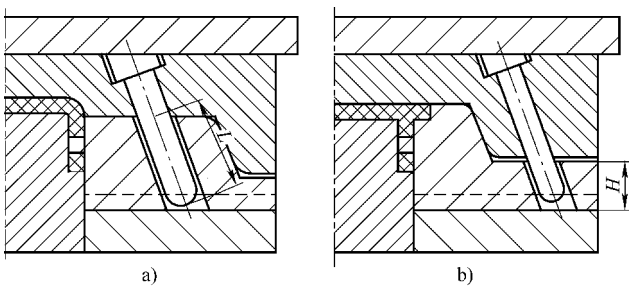


图 11-36　侧滑座太高时的解决措施

2）选择侧分型面时要考虑可能出现的制品毛边应与开模方向一致。

如图 11-37a 所示的侧滑座底面即是分型面又是滑动面，磨损后容易产生毛边，且毛边方向与开模垂直，有时会影响制品的顺利顶出，而且去除毛边比较麻烦。

如图 11-37b 的结构形式采用碰穿封胶形式，则避免了影响脱模毛边产生。

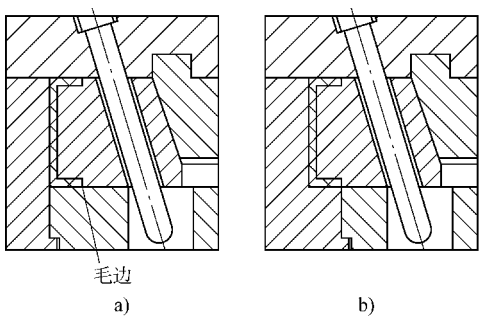


图 11-37　抽芯应注意制品毛边方向

3）设计抽芯时，应考虑保持制品外观整洁。

如图 11-38a 所示的结构，凸台端面容易出现飞边，而且在抽芯时凸台容易被拉长变形。

如图 11-38b 所示，制品底面的内外角很容易做成 R，同时也减少了注塑压力对侧型芯的冲击。

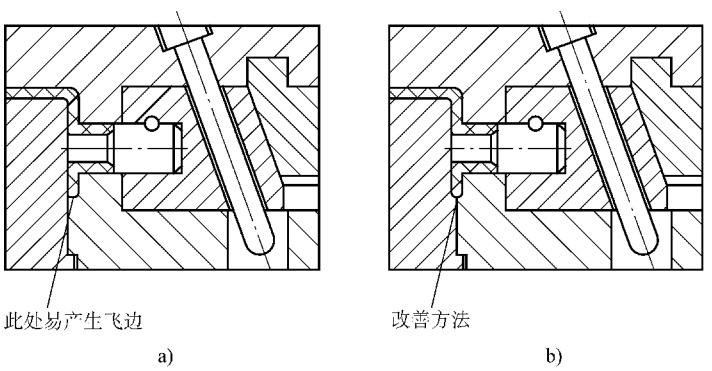


图 11-38　抽芯应保持制品外观整洁

4）保证运动顺畅性。一般情况下，一个抽芯系统只设一个斜导柱较好，且设在抽拔力的压力中心处，如果必须设两个以上的斜导柱时，除了保证斜导柱和侧型芯斜孔的配合精度外，一般需要设置中心导轨保证各斜导柱动作的协调一致，避免产生相互干扰和牵制而引起蹩劲和歪扭的现象发生。

5）干涉现象。防止顶出机构在复位前与侧型芯的干扰现象，应尽可能地不使顶杆和活

动型芯的水平投影相重合，或者使顶杆的顶出行程小于侧型芯抽出部分的最低面，否则应增设顶出系统先复位机构。

6）顺序分型机构。侧型芯设在定模一侧时，主分型面分型前必须先抽出侧型芯，这时必须采用顺序分型机构，以保证分型面分型时，制品能完整地留在动模型芯上。

11.5.2　斜导柱抽芯机构的实例解析

斜导柱抽芯的结构根据制品倒扣位置分为外侧抽芯机构及内侧抽芯机构。

例1：定模斜导柱，动模外侧抽芯机构

如图11-39所示，开模时，模具率先从分型面*PL*处开始开模，在斜导柱2作用下，拨动滑块5往外侧抽芯，当滑块移动*S*距离后足够脱离制品侧面倒扣部分时，滑块5由定位珠6及挡块4限位，最后由顶杆把制品从动模型芯8顶出。

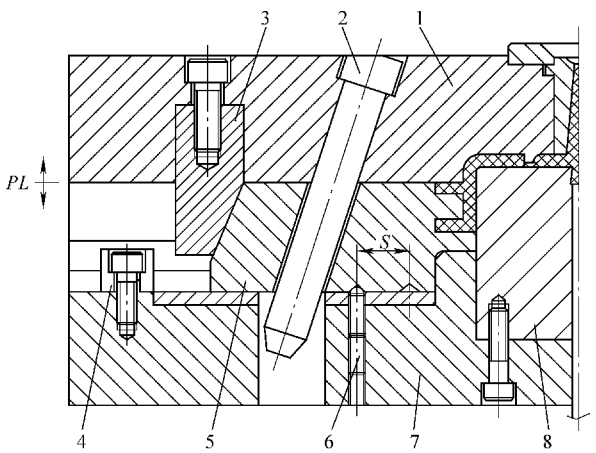


图11-39　定模斜导柱，动模外侧抽芯机构

1—面板　2—斜导柱　3—楔紧块　4—挡块　5—滑块　6—定位珠　7—动模板　8—动模型芯

例2：定模斜导柱，动模内侧抽芯机构

如图11-40所示，开模时，滑块3在斜导柱2作用下向内侧移动，完成对制品内侧凹的抽芯。当滑块3移动*S*距离完成抽芯后，在弹簧5的弹簧力作用下，使滑块3保持在抽芯的终止位置上，最后由顶杆9顶出制品。复位时，在定模板4斜面对滑块3对插作用下使滑块3复位。注意，*L*必须大于*S*。

例3：定模斜导柱，定模内侧抽芯机构

如图11-41所示，开模时，在弹簧7的作用下，模具率先从*PL*Ⅰ处开始开模，斜导柱3开模一段距离拨动定模滑块1完成制品内侧凹抽芯，最后由限位钉8限位。继续开模，模具从*PL*Ⅱ处开模，制品对动模型芯的抱紧作用下被带动动模，最后由顶杆11顶出制品。

这种机构也需要两种以上的分型机构，需要设置定距拉紧机构。

例4：定模斜导柱，定模外侧抽芯机构

当制品外观要求较严格，不允许有较明显的分型线，一般情况下采用暗抽机构。这种机构滑块、斜导柱均在定模，分型面打开前，必须先抽出倒扣部分，因此定模部分首先必须要

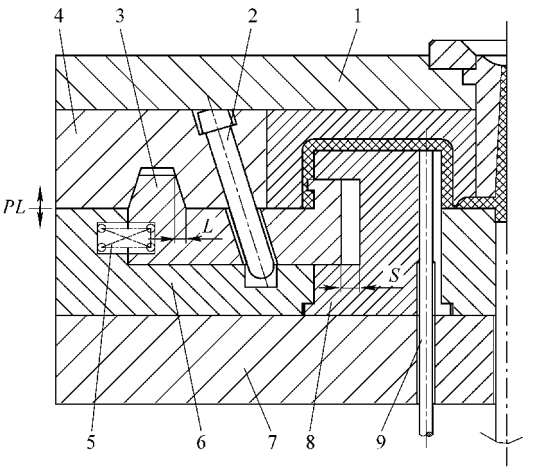


图 11-40　定模斜导柱，动模内侧抽芯机构
1—面板　2—斜导柱　3—滑块　4—定模板　5—弹簧
6—动模板　7—垫板　8—动模型芯　9—顶杆

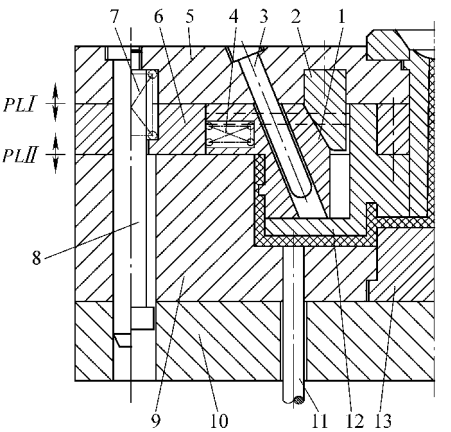


图 11-41　定模斜导柱，定模内侧抽芯机构
1—定模滑块　2—楔紧块　3—斜导柱　4—弹簧　5—面板
6—定模板　7—弹簧　8—限位钉　9—动模板　10—垫板
11—顶杆　12—定模型腔　13—动模型芯

有一个相对运动。

如图 11-42 所示，开模时，在弹簧 3 的强力作用下，首先从 *A* 处分型。斜导柱 10 驱动滑块 8 完成外抽芯，同时为取出浇口凝料打开空间，当限位钉 2 拉住面板 5 时从分型面 *B* 处分型，最后由顶杆 12 顶出制品。

另外一种做法，就是在分型面 *B* 处上设置拉紧机构，比如扣机或者尼龙扣等，使开模时也能率先从定模部分 *A* 处开模进行抽芯。

例 5：动模斜导柱，动模抽芯机构

这种机构一般用于动模部分带有推板的机构，当抽芯完毕，制品依靠自身的重力脱离推板。

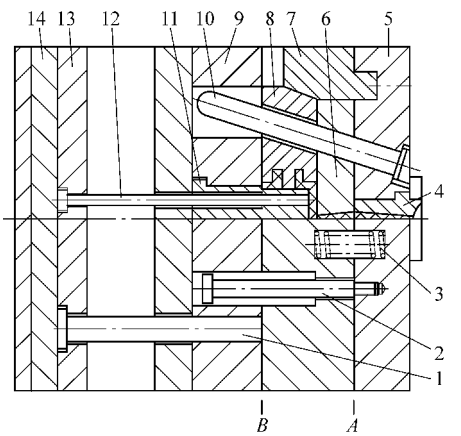


图 11-42　定模斜导柱，定模外侧抽芯机构
1—复位杆　2—限位钉　3—弹簧　4—浇口套
5—面板　6—定模板　7—楔紧块　8—滑块
9—动模板　10—斜导柱　11—主型芯
12—顶杆　13—顶杆面板　14—顶杆底板

如图 11-43a 所示滑块 5、斜导柱 6 均在动模，滑块 5 是带圆锥体的瓣式结构，安装在推板 7 的导槽内，与定模板 4 的圆锥孔研合起锁紧作用。

开模时，首先从 *A* 处分型，滑块 5 脱离定模板 4 的锁紧作用，主流道凝料也从浇口套 2 中脱出。当制品完全脱离定模型腔时，如图 11-43b 所示，推杆 10 顶动推板 7 从 *B* 处分型，在制品脱离主型芯 3 的同时，斜导柱 6 与滑块 5 做相对位移，从而驱动滑块 5 沿推板上 7 的导槽做抽芯外移，并由推板 7 将制品顶出主型芯 3，如图 11-43c 所示，由于这种结构的抽芯动力是由推杆驱动的，所以又称为顶出式动模斜抽芯机构。

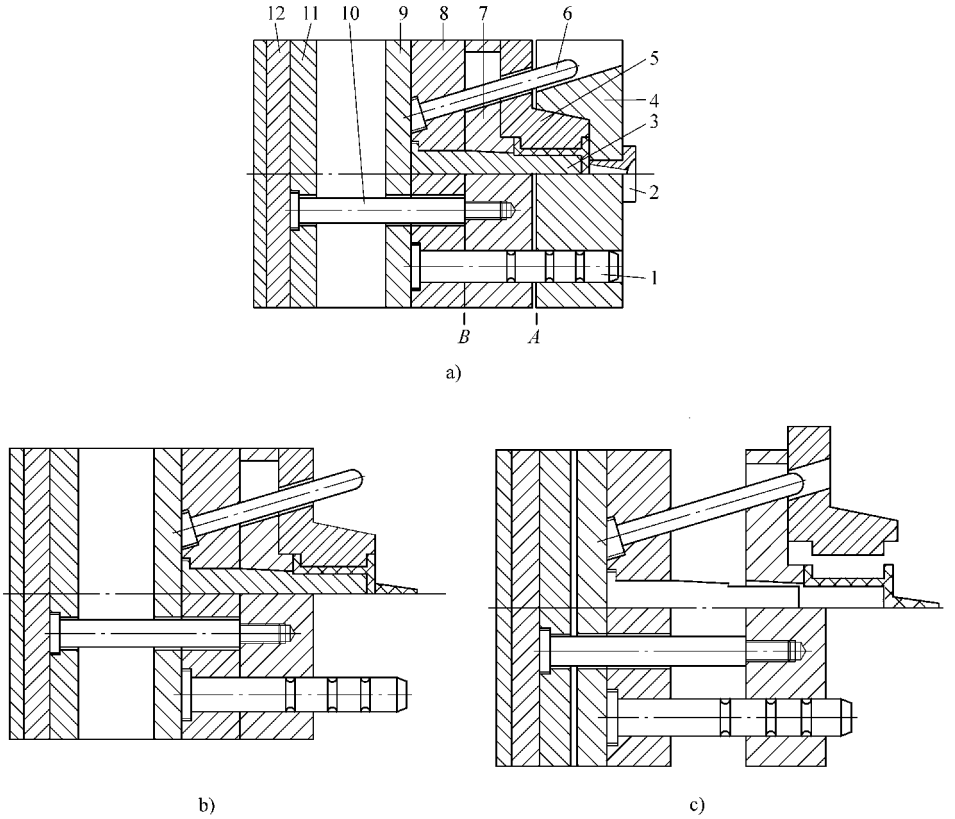


图 11-43　动模斜导柱，动模抽芯机构

a）合模状态　b）开模状态　c）顶出状态

1—导柱　2—浇口套　3—主型芯　4—定模板　5—滑块　6—斜导柱　7—推板

8—动模固定板　9—支承板　10—推杆　11—顶杆面板　12—顶杆底板

例 6：动模斜导柱，定模抽芯机构

这种机构一般用在制品外观要求较严格，不允许有较明显的分型线，一般情况下为暗抽机构。同时动模部分设置有推板机构，这种机构在分型面打开前，必须先抽出倒扣部分。

图 11-44 所示是动模斜导柱，定模抽芯机构。开模时，在弹簧 9 的作用下，模具首先从 *A* 面分型，动模与定板暂时不动，只是弹顶销驱动斜导柱固定板后退，从而形成斜导柱和侧型芯的相对位移，并驱动侧型芯做抽芯动作；当侧型芯完全脱离制品后，限位杆的台肩与动板相遇，并拉动动板沿主分型面 *B* 处分型，主型芯在制品的包紧力下一起脱出型腔，最后由顶杆将制品顶出。

例 7：倾斜角度的斜导柱抽芯机构

按抽芯方向与分型面的夹角分为平行分型面抽芯、沿动模方向倾斜抽芯及沿定模方向倾斜抽芯。平行分型面抽芯是最为常见的一种形式，一般抽拔角不超过 25°比较合适，对于沿动模方向倾斜抽芯及沿定模方向倾斜抽芯，其倾斜角一般不能超过 20°，否则，需要考虑用弯销等其他抽芯方式。

如图 11-45 所示，开模时，斜导柱 3 拨动滑块 6 完成对与分型面成 β 夹角的滑块型芯 1、2 的抽芯。在此机构中，滑块 6 在动模板 9 上的 T 型槽中滑动，T 型槽导滑方向同样应与分

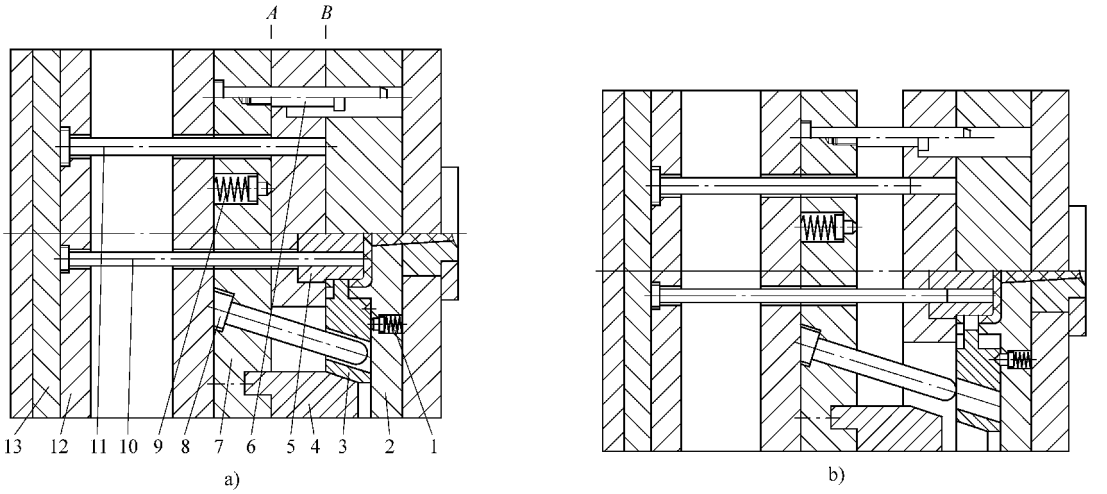


图 11-44　动模斜导柱，定模抽芯机构

a）合模状态　b）开模状态

1—定位珠　2—定模板　3—定模滑块　4—楔紧块　5—动模型芯　6—限位螺钉　7—动模板　8—斜导柱　9—弹簧　10—顶杆　11—复位杆　12—顶杆面板　13—顶杆底板

型面呈 β 角。合模时，滑块靠楔紧块 5 锁紧。

例 8：斜导柱脱外螺纹抽芯机构

外螺纹抽芯机构跟普通的抽芯机构是一样的原理，由于其制品的特殊性，滑块都是成对出现，一般螺纹的深度都不深，只要保证滑块脱离制品后不影响其顶出制品就可以。

如图 11-46 所示，开模时，斜导柱 3 拨动滑块 2 完成侧面抽芯。合模时，滑块靠楔紧块 4 锁紧。

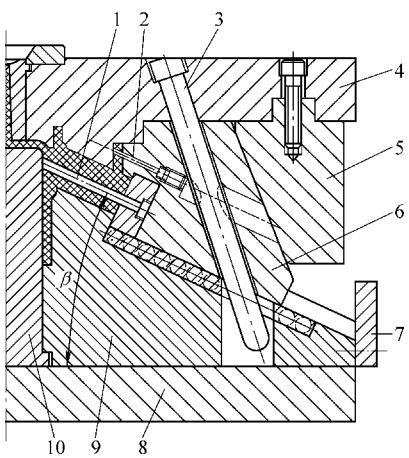


图 11-45　倾斜角度的斜导柱抽芯机构

1、2—滑块型芯　3—斜导柱　4—面板　5—楔紧块　6—滑块　7—挡块　8—垫板　9—动模板　10—动模型芯

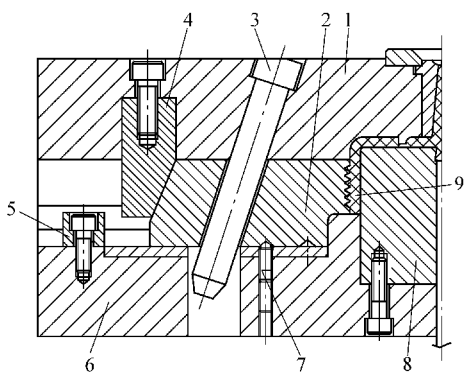


图 11-46　斜导柱脱外螺纹抽芯机构

1—面板　2—滑块　3—斜导柱　4—楔紧块　5—挡块　6—动模板　7—定位珠　8—动模型芯　9—外螺纹制品

例 9：斜导柱延迟抽芯

延迟抽芯一般有两种形式，独立滑块延迟抽芯及组合滑块延迟抽芯。独立滑块延迟抽芯主要是抽芯胶位沿抽芯方向有倒扣，需要先开模，预先打开制品的弹性变形空间，一般适用于软料或者具备弹性特性塑料的模具结构。组合滑块适合于制品沿抽芯方向有不同角度的抽芯，由于存在运动干涉，需要先抽某一方向上的抽芯，脱模后再抽另外一个角度上的抽芯。

1. 独立滑块斜导柱延迟抽芯

如图 11-47 所示，由于制品对定模型芯 1 有较大的包紧力，且制品内孔不允许有斜度，故采用斜导柱延迟抽芯机构。开模后，斜导柱 2 空行程一段距离 δ，以使制品在滑块 6 的夹持下基本脱开定模型芯 1。继续开模，斜导柱 2 拨动滑块 6 完成抽芯，最后由定位珠 8 进行限位。

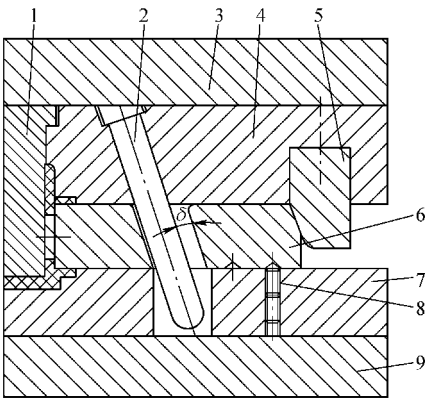


图 11-47　独立滑块斜导柱延迟抽芯

1—定模型芯　2—斜导柱　3—面板
4—定模板　5—楔紧块　6—滑块
7—动模板　8—定位珠　9—垫板

2. 组合滑块斜导柱延迟抽芯

由于制品侧面呈薄壁盒型，为防止抽芯时制品侧壁被夹变形或损坏，因此采用二级抽芯。如图 11-48a 所示，开模时，模具从 I－I 处分型，斜导柱 1 先带动内滑块 6 抽芯，斜导柱 1 与外滑块 8 存在 δ 间隙，将空行程一段距离，此时止动销 4 尚未脱离外滑块 8，从而限制外滑块 8 的抽芯动作。当抽至 S_1 距离后，内滑块 6 脱离制品一定距离，卸掉部分抱紧力，此时，止动销 4 脱离外滑块 8，同时，固定在外滑块 8 上的挡销 7 对内滑块 6 进行限位，如图 11-48b 所示；继续开模，斜导柱 1 开始带动外滑块对制品外形部分进行抽芯，由于挡销 7 的作用，内滑块跟外滑块同时抽芯，直至 S_2 距离，由定位珠 11 进行限位，如图 11-48c 所示。

例 10：浮动式斜导柱抽芯机构

这种机构一般可分为浮动式定模斜导柱抽芯机构及浮动式动模斜导柱抽芯机构。

定模斜导柱抽芯机构一般需要具备两个开模面才能进行完成抽芯及取出制品的动作。浮动式定模斜导柱抽芯机构是利用制品对动模型芯有较大的包紧力，开模时，定模滑块抽芯的同时，制品能停留在定模型腔，同时致使动模型芯浮动一段距离，当抽芯完毕后，再由动模型芯包紧制品带到动模，最后由顶出机构顶出制品。这种机构充分利用了包紧力的关系，简化了模具结构，一般只要两板模即可实现动作。

浮动式动模斜导柱抽芯机构原理是简化了顶出机构，当制品外观不允许有顶出痕迹时，采用此机构也是一种有效的手段，缺点在于，需要精密加工，防止毛边。

1. 浮动式动模斜导柱抽芯机构

如图 11-49 所示，开模时，楔紧块 7 脱离滑块 4，卸除对滑块 4 的锁紧作用，由于制品对动模型芯 11 具有足够的抱紧力，致使动模型芯 11 浮动一段距离 H，同时动模斜导柱 9 拨动滑块 4 使其往外侧抽芯。当滑块 4 完成抽芯时，由定位珠 3 进行限位，同时动模型芯 11 仍未脱离制品，制品对其还有较大的抱紧力，继续开模，制品随动模型芯 11 带到动模，最后由动模顶杆顶出。

注意，此种机构只有在制品对型芯具有足够抱紧力时才能使用。

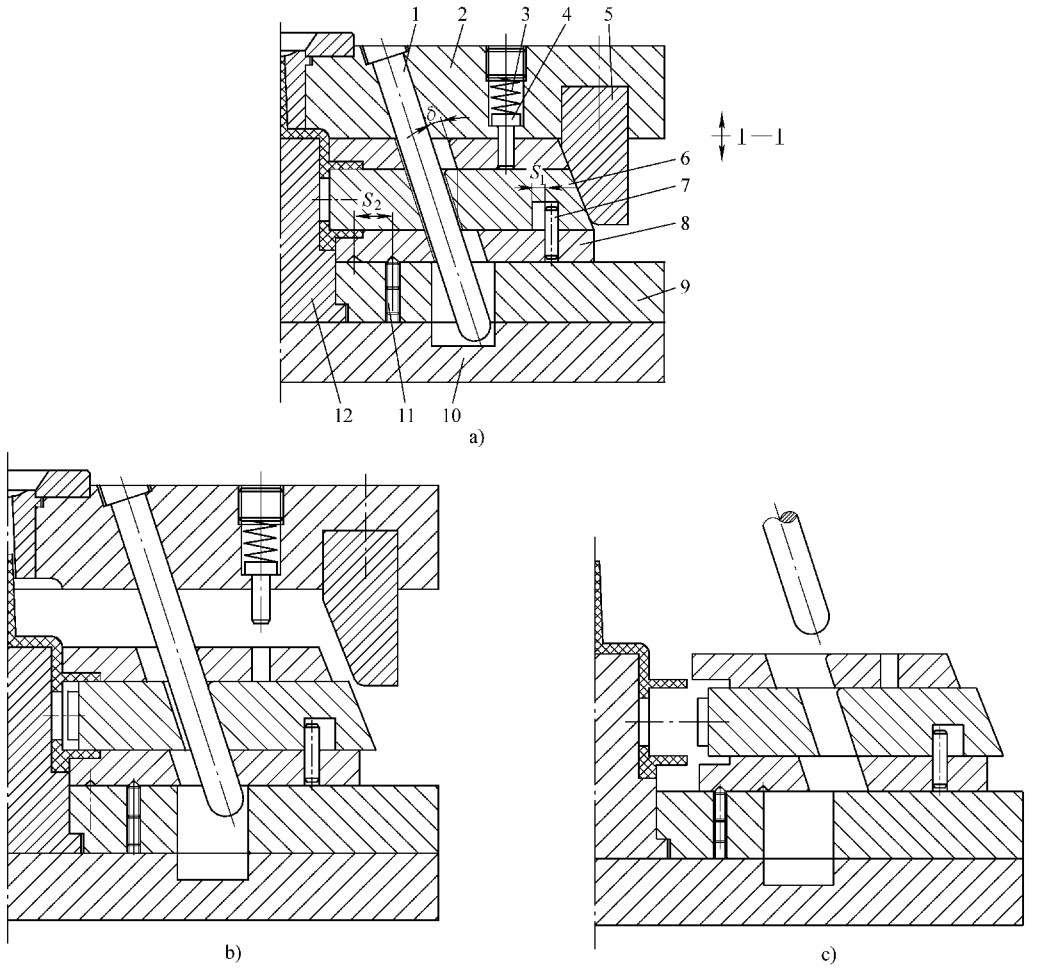


图 11-48　组合滑块斜导柱延迟抽芯

a）合模状态　b）内滑块抽芯状态　c）外滑块抽芯状态

1—斜导柱　2—面板　3—弹簧　4—止动销　5—楔紧块　6—内滑块　7—挡销　8—外滑块　9—动模板　10—垫板　11—定位珠　12—动模型芯

2. 浮动式定模斜导柱抽芯机构

如图 11-50 所示，滑块 5 在滑块座 7 中滑动，并可沿开模方向浮动。开模时，模具从 *PL* 分型面开始分型，斜导柱 3 在完成 δ 间隙的空行程接触滑块 5 时，并未开始抽芯动作，而是将滑块 5 拔起浮动，从而使制品脱离动模型腔 11。当浮动 H_1 距离后，由限位螺钉 6 对滑块座起限位作用，继续开模，斜导柱 3 拨动滑块 5 在滑块座 7 中滑动抽芯。由于 $H_2 > H_1$，挡块 8 不脱离动模板 9，从而顶住制品，使制品不会因为与型芯 2 的抱紧力而随滑块 5 抽芯，直至使型芯 2 脱离制品，使其自动落下。

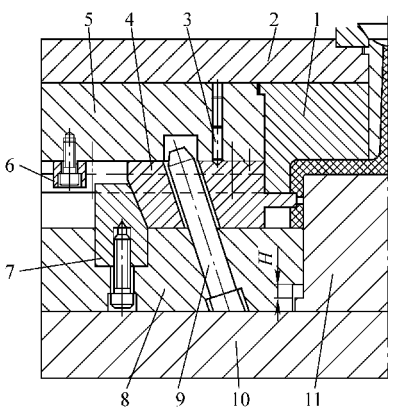


图 11-49　浮动式动模斜导柱抽芯机构

1—定模型芯　2—面板　3—定位珠　4—滑块　5—定模板　6—挡块　7—楔紧块　8—动模板　9—动模斜导柱　10—垫板　11—动模型芯

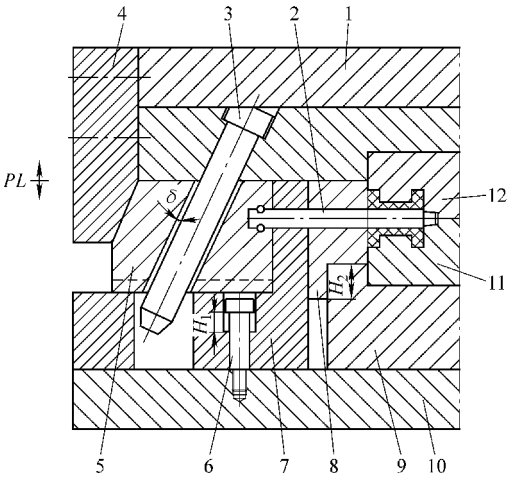


图 11-50　浮动式定模斜导柱抽芯

1—面板　2—滑块型芯　3—斜导柱　4—楔紧块　5—滑块　6—限位螺钉　7—滑块座　8—挡块
9—动模板　10—垫板　11—动模型腔　12—定模型腔

11.6　弯销抽芯机构

注塑模具的弯销抽芯机构和斜导柱抽芯机构的工作原理基本相同，只是用弯销代替驱动滑块的斜导柱，类似的地方就不再阐述。

11.6.1　弯销抽芯机构的设计要点

1. 弯销抽芯机构与斜导柱抽芯机构的性能比较

用弯销抽芯比斜导柱有如下特点：

1）弯销抽芯的矩形斜孔（或者T型槽、燕尾槽）加工比较不便，斜导柱的斜孔通过钻镗即可完成，而弯销一般情况下还需用人工修整。在大型模具中，其滑块的斜孔采用镶拼的方式，将斜孔的三面铣完修整后，将另一侧牢固镶入。同时，弯销抽芯比较难配，当弯销脱离滑块复位时，比较容易拐，因此，弯销抽芯时，一般不脱离滑块为好。

2）弯销抽芯机构与滑块只有平面的接触，所以其当量摩擦因素较小，减少了侧抽时的摩擦阻力，使其自锁的危险性下降。

3）在相同的设计空间的情况下，弯销的抗弯截面模量大于斜导柱，即它可以承受较大的弯曲力，这样在一定的抽拔力的情况下，可选用较小的弯销。

4）在抽拔力和抽芯都很大时，可以将弯销做成变角形式。在初始抽拔时，由于抽拔力较大，先选用较小的抽拔角，之后为满足较长的抽芯距，再将抽拔角变大。

5）当抽拔力需要很大而滑块狭窄，斜导柱无法安装时，采用弯销较好，通过将弯销的侧面做得很窄，而将受力面的厚度 h 做得很大，即可以满足需要。

6）弯销抽芯适合内抽芯及延迟抽芯

2. 弯销的设计

（1）弯销的基本形式　如图11-51a所示，通常弯销的一端插入固定板上，背面用螺栓

固定在面板上。弯销受力面厚度 h 由抽拔力的大小确定，其余两个侧面的宽度 b 一般情况下选 h 的 2/3，即 $b=2/3h$，为了增强弯销的强度和顺利切入，应将切入端及其四周均做成圆角。

如图 11-51b 所示固定部分的根部有一个 L 长的直面，可用作延迟抽芯。

如图 11-51c 所示是一个变角的弯销，这在抽芯的抽拔力和抽芯距都很大时采用。

如图 11-51d 所示是动模的一种形式，动模弯销抽芯或者滑块弯销抽芯跟定模弯销抽芯的形式是一致的。

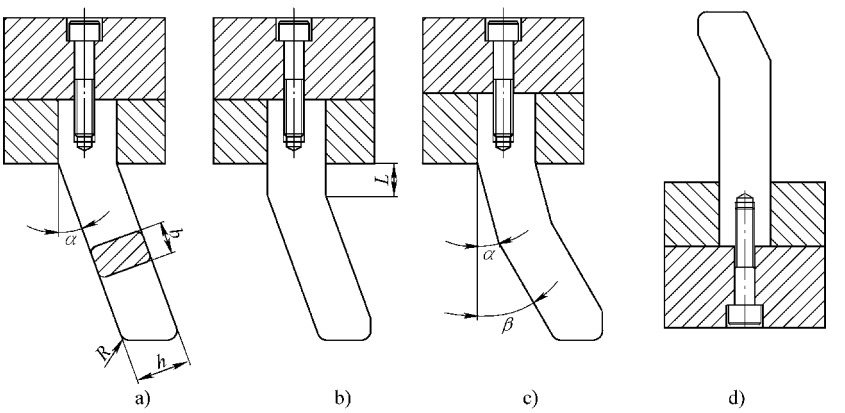


图 11-51　弯销形式

（2）弯销抽拔角　弯销抽拔角 α 越大，抽芯距离 $S_{抽}$ 则越大，但增加了弯销所承受的弯曲力。抽芯距离短、抽拔力大时，抽拔角 α 取小值；抽芯距离长、抽拔力小时，抽拔角 α 取大值。抽拔角 α 一般取 5°～25°，最大不能超过 35°。

3. 延时抽芯行程

1）当交叉型芯抽芯时，按第一级抽芯所需抽芯行程算出第二级所需延时行程。

2）定模型芯包紧力大时，需要开模一段距离后，先消除定模型芯的包紧力，再抽出动模型芯，则：

$$S_{抽}=\left(\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2}\right)h$$

式中　$S_{抽}$——延时抽芯行程（mm）；

h——定模型芯成型高度（mm）。

11.6.2　弯销抽芯机构的实例解析

例 1：弯销动模抽芯

弯销抽芯机构的基本形式如图 11-52 所示，它主要由滑块型芯 12、弯销 3、楔紧块 5 以及定位装置等部分组成。

设计弯销抽芯机构时，为使移动平稳、顺畅，应使弯销与侧型芯斜孔的配合间隙大一些，通常 $\delta=0.5$mm 左右。

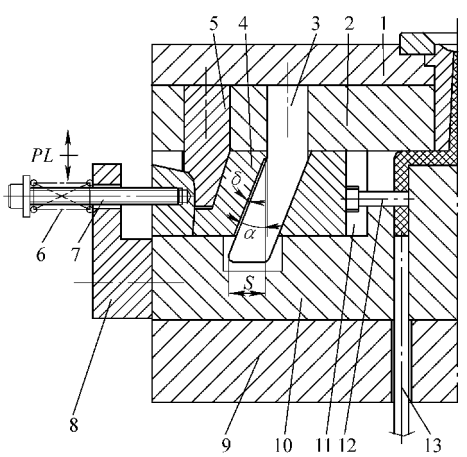


图 11-52　弯销动模抽芯

1—面板　2—定模板　3—弯销　4—滑块
5—楔紧块　6—弹簧　7—限位螺钉　8—挡块
9—垫板　10—动模板　11—型芯压板
12—滑块型芯　13—顶杆

开模时，模具从主分型面 *PL* 处分型，由于间隙 δ 的原因，延迟开模距离为 $M=\dfrac{\delta}{\sin\alpha}$ 后，由弯销 3 拨动滑块 4 进行抽芯，从而带动滑块 4 移动 *S* 距离，并完成抽芯动作，在弹簧 6 及限位螺钉 7 的作用下，滑块 4 将停止在抽芯的终止位置上，由挡块 8 进行限位。

合模时，弯销带动滑块 4 复位，再由楔紧块 5 锁紧。

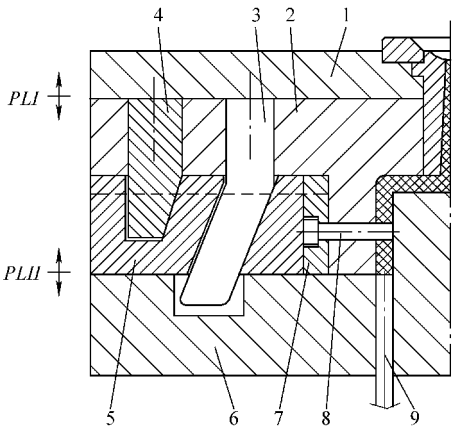


图 11-53　弯销定模抽芯

1—面板　2—定模板　3—弯销　4—楔紧块
5—定模滑块　6—动模板　7—型芯压板
8—滑块型芯　9—顶杆

例 2：弯销定模抽芯

当制品外观要求较严格，不允许有较明显的分型线时，一般情况下为暗抽机构，滑块型芯、弯销均在定模内。这种机构在分型面打开前，必须先抽出倒扣部分，因此定模部分首先必须要有一个相对运动。

如图 11-53 所示，开模时，模具首先从 *PL* Ⅰ处分型（必须设置分型定距限位机构，图中未画处，可参考图 11-41 所示的机构），弯销 3 驱动定模滑块 5，使滑块型芯 8 脱离制品的倒扣部分完成外抽芯，同时为取出浇口凝料打开空间；继续开模，模具从分型面 *PL* Ⅱ处分型，制品脱离定模板 2，卸除对定模板的抱紧力，制品被带到动模部分，最后由顶杆 9 顶出制品。

例 3：变角度弯销抽芯

一般抽芯方向与分型面的夹角超过 20°，为满足所需抽芯距必须采用长弯销，但模具尺寸将增大，同时长弯销的刚度、强度和运动平稳性欠佳。因此需要采用变角度弯销抽芯，即弯销的两段有不同的抽拔角，使抽芯运动分解为两个阶段，先由小抽拔角作起始抽芯以承受较大的起始抽拔力，然后由大抽拔角作长距离抽芯。

如图 11-54 所示，开模时，制品对斜滑块 6 有较大的静摩擦力，与动摩擦力相比，静摩擦力更大，故此阶段弯销的抽拔角 α 不超过 20°，当斜滑块 6 脱离制品一段距离后，只需要克服型芯对制品的动摩擦力，为获得较长距离抽芯，此段弯销抽拔角 β 需要做大，一般可以做到 35°。

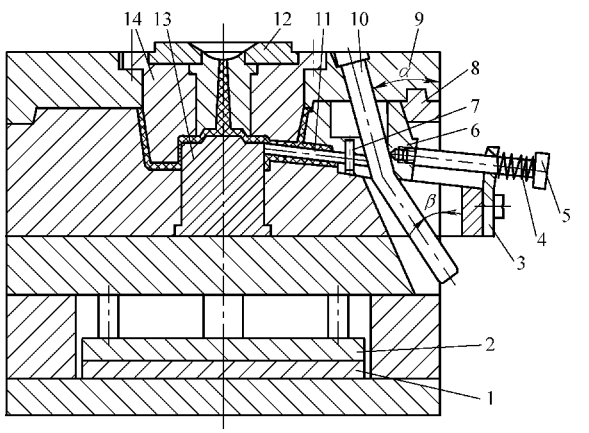


图 11-54　变角度斜销抽芯机构

1—顶杆底板　2—顶杆面板　3—挡板　4—弹簧
5—限位螺钉　6—斜滑块　7—销　8—楔紧块
9—上模座固定板　10—弯销　11—侧型芯
12—定位圈　13—动模型芯　14—定模型芯

例 4：弯销内抽芯

如图 11-55a 所示，开模时，由于定距分型机构 5 的作用，模具率先从 *PL* Ⅰ处开模，弯销 9 先动作 *H* 距离，完成对

滑块型芯 1 的抽芯，同时由限位螺钉 11 进行限位；继续开模，模具从 $PL\text{Ⅱ}$ 处开模，由推板 3 顶出制品，如图 11-55b 所示。

注意，此形式由于滑块不易设最终限位装置。因此考虑采用此机构时，应使弯销抽芯完成后不脱离滑块，$H \leqslant 2/3L$，同时弯销兼起锁紧作用。

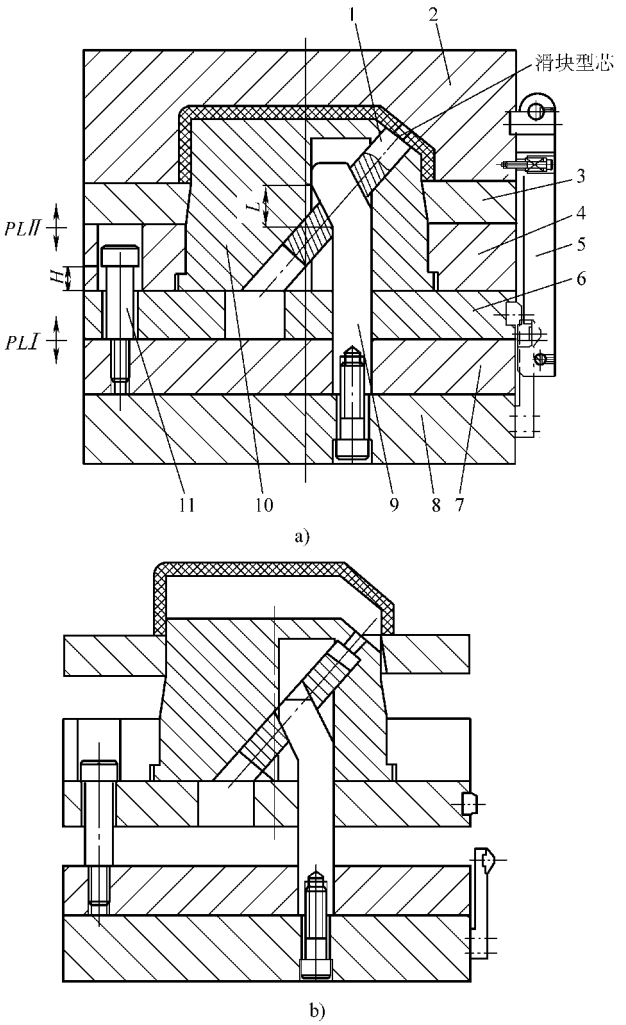


图 11-55　弯销内抽芯

a）合模状态　b）开模状态

1—滑块型芯　2—定模板　3—推板　4—型芯压板　5—定距分型机构　6—动模板　7—动模板　8—垫板　9—弯销　10—动模型芯　11—限位螺钉

例 5：弯销二级抽芯

如图 11-56a 所示，由于制品内圈较薄，为防止该处被拉坏，采取了二级抽芯。开模时，由于止动销 2 的作用，弯销 3 先带动外滑块 7，滑块型芯 12 由接头 10 与外滑块 7 连接，从而使滑块型芯 12 抽动，消除制品对其抱紧力。继续抽拔至 S_1 距离时，止动销 2 已脱开内滑

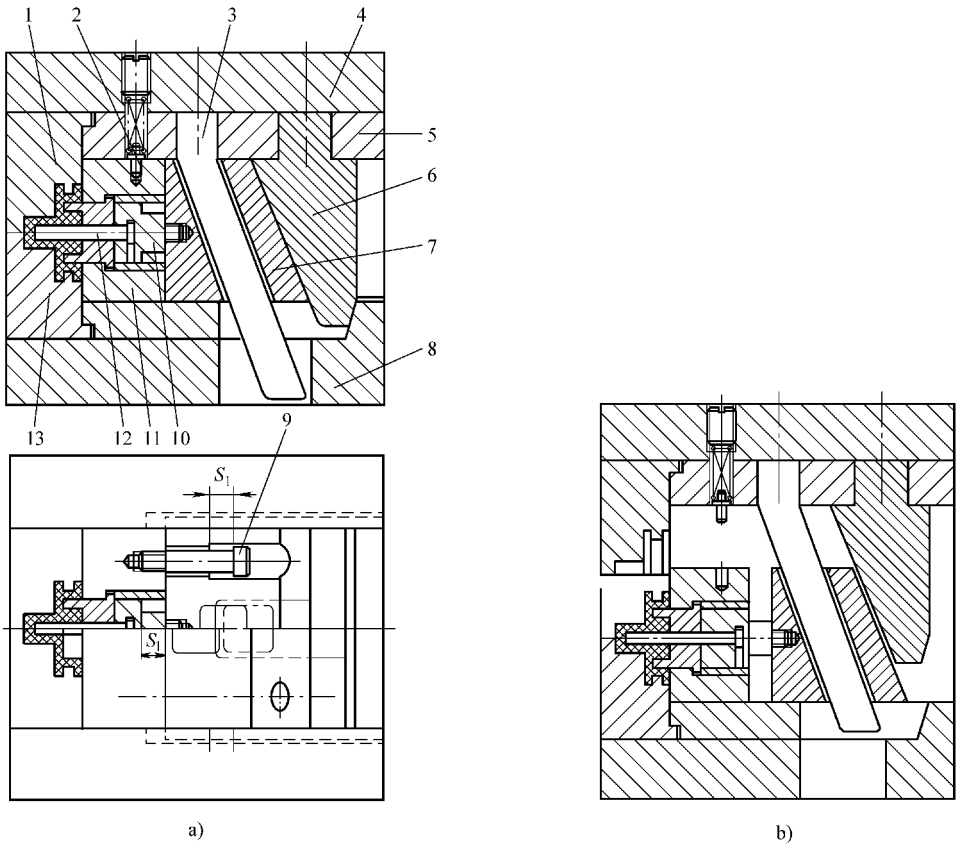


图 11-56　弯销二级抽芯

a）合模状态　b）开模状态

1—定模型芯　2—止动销　3—弯销　4—面板　5—定模板　6—楔紧块　7—外滑块　8—动模板　9—限位螺钉
10—接头　11—内滑块　12—滑块型芯　13—动模型芯

块 11，通过限位螺钉 9 开始第二级抽芯，此时内滑块被带动，从而带动型芯完成整个抽芯过程。

例 6：弯销延迟抽芯

如图 11-57 所示，由于制品对定模型芯 4 有较大的抱紧力，且制品内孔不允许有斜度，故采用弯销延迟抽芯机构。开模后，由于 δ 间隙的作用，弯销 2 将空行程一段距离，以使制品在滑块 5 的夹持下基本脱开定模型芯 4。继续开模，弯销 2 拨动滑块 5 完成抽芯，最后由顶杆 8 顶出制品。

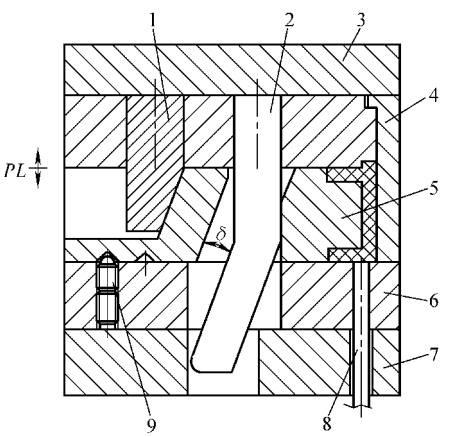


图 11-57　弯销延迟抽芯

1—楔紧块　2—弯销　3—面板　4—定模型芯　5—滑块
6—动模板　7—垫板　8—顶杆　9—定位珠

11.7　斜滑块抽芯机构

斜滑块抽芯机构适用于侧成型面积较大，所需的脱模力较大，但制品侧孔或侧凹较浅且抽拔距较小的制品。由于斜滑块抽芯机构结构紧凑，定位准确，模具的强度和刚性较好，能承受较大的抽拔力，所以它也是一种常用的抽芯机构。

11.7.1　斜滑块抽芯机构的设计要点

1. 斜滑块抽芯机构的基本形式

按导滑部分的形状，斜滑块的导滑形式可分为 T 型导滑、燕尾槽导滑、楔紧块导滑和斜导柱导滑等几种。按结构形式分类有整体式和镶拼式两种。

图 11-58a 是整体 T 型槽，图 11-58b 为整体燕尾槽。它们的特点是，结构紧凑，模体面积较小，此种导向形式牢固可靠，但加工工艺复杂，其配合精度很高，因此需要较高的模具钳工方可胜任，适用于抽芯和导向斜角较大的场合。

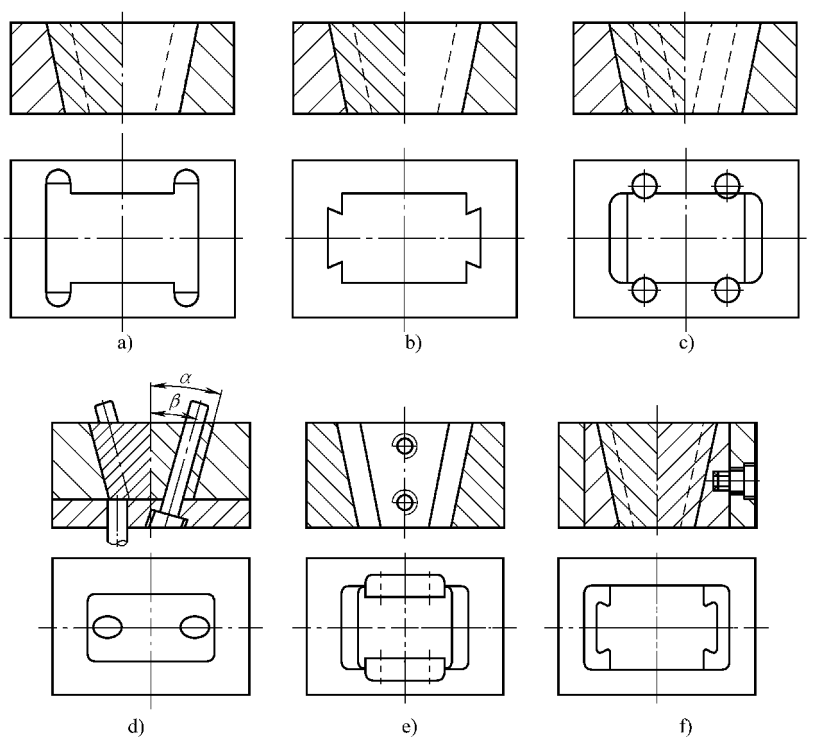


图 11-58　斜滑块的导滑形式

图 11-58c 和图 11-58d 用导柱进行导滑，所不同的是，图 11-58c 将导柱斜镶拼固定在模套的内侧面作为轨道导滑，而图 11-58d 则将导柱斜镶在动模板上。它们的共同特点是结构简单，制造方便。由于其斜孔可在斜滑块与模套研合后组合加工，所以容易保证质量。导柱斜孔的角度应小于或等于斜滑块导向角，即 $\beta \leqslant \alpha$，以避免在抽芯过程中斜滑块与模套产生移动干扰。适用于抽拔力较小，导向斜角较大的场合，如制品侧面要求无斜度或倒斜度的模具型块。

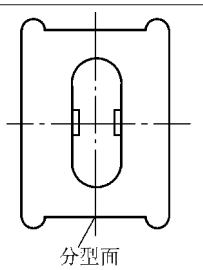
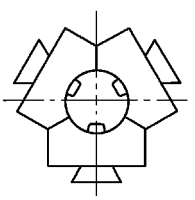
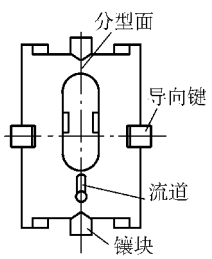
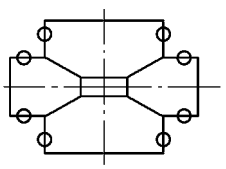
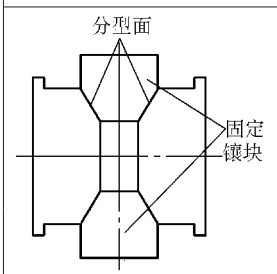
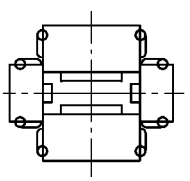
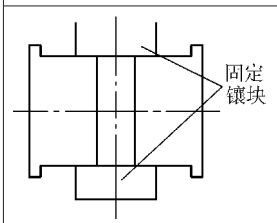
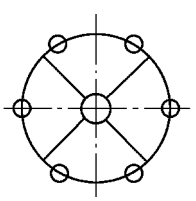
图 11-58e 是镶拼 T 型槽的导滑形式，是将模套两端的导向斜角加工好，并与斜滑块研合后，在模套的两端另加两块模楔研合后固定在模内。

图 11-58f 是镶拼燕尾槽的导滑形式，先铣出模框，再将模套两侧端导滑镶块的斜燕尾部与斜滑块研合后固定在模体内。镶拼式导滑形式的导向零件都是分拆加工的，可以提高机床的利用率，减少了人工工时，并可做淬硬处理，从而提高了斜滑块抽芯机构的配合精度和耐磨性，延长了模具的使用寿命。

2. 斜滑块的组合形式

斜滑块的组合，应考虑抽芯方向，并尽量保持制品的外观要求，不能使制品表面留有明显的痕迹，同时还要考虑斜滑块的组合部分有足够的强度。斜滑块的各拼合面间应有可靠的密封性，以防止注塑时跑飞边。具体说明见表 11-4。

表 11-4　斜滑块拼合密封形式及特点

滑块数	简　图	说　明	滑块数	简　图	说　明
双滑块		拼合面在制品的圆弧面处，利用锁紧力及斜滑块斜面，使分型面严密封闭，适应于小型或中心浇口的模具	三滑块		利用锁模力使各滑块的侧面相互锁紧，各密封面有良好的密封性
		拼合情况同上，由于侧浇口设在下方，导滑部分较近，在上下方向设置带斜面的固定镶块，以加强分型面的密封性能。由于斜滑块宽度大，两侧设有导向键，以平衡滑块上下的间隙量	四滑块		四块滑块在各斜面间相互密合，形成良好的密封面，可降低导滑部分的配合要求
		拼合面在制品的转角处，斜滑块设有斜边，合模时，与固定镶块的斜边密合，形成密封面，以加强密封性			合模时，左右滑块对上、下滑块产生阻碍，影响上下滑块的滑移，在配合面容易产生拉伤现象
		斜滑块的导滑面在制品轮廓的延长线上，用滑块的配合间隙达到密封。滑块的间隙因随模温度而异，故容易跑飞边	多滑块		适用于多滑块形式，各滑块的斜边相互密合，形成良好密封面

3. 斜滑块的基本参数

斜滑块的基本参数如图 11-59 所示。

（1）抽芯距离 $S_{抽}$　抽芯距离 $S_{抽}$ 按下式确定。

$$S_{抽} = S + K$$

式中　S ——外形内凹成型深度（mm）；

K ——安全值。

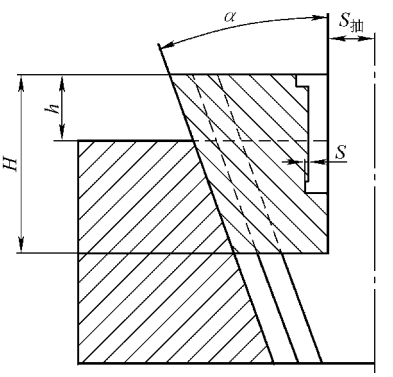


图 11-59　斜滑块基本参数

（2）顶出高度 H 的确定　顶出高度是斜滑块在顶出时，轴向运动的全行程，即抽芯行程或顶出行程。确定顶出高度的原则：

1）当斜滑块处在顶出的终止位置上后，应以充分消除制品对型芯的包紧力为原则，同时必须完成所需的抽芯距离，以便顺利取下制品。

2）斜滑块顶出高度与斜滑块的导向斜角有关。导向斜角越小，留在套板内导滑长度可减少，而顶出高度可增加。常用的可顶出高度见表 11-5，为保证斜滑块运动平稳，斜滑块的顶出高度 h 应小于斜滑块高度的 2/3，即 $h \leqslant 2/3H$，如图 11-59 所示，当必须要求有更大的推出距离即 $h > 2/3H$ 时，则采用斜顶机构。

表 11-5　斜滑块可顶出高度

导向抽拔角/(°)	可顶出高度 h/mm	留在套板内高度 h_1/mm
5 ~ 10	≤0.60L	≥30
10 ~ 20	≤0.55L	≥30
20 ~ 30	≤0.50L	≥30

（3）抽拔角 α 的确定　抽拔角需在确定顶出高度 h 及抽芯距离 $S_{抽}$ 后按下式计算：

$$\alpha = \arctan \frac{S_{抽}}{h}$$

按此式计算的 α 值一般较小，应取整数后再按推荐值选用，抽拔角 α 值与制品承受顶出的支承面强度有关，推荐的抽拔角 α 值见表 11-6。斜滑块抽芯机构的抽拔角 α 值一般在 5° ~ 30°之间选取。如果斜滑块抽芯机构强度较好，必要时抽拔角 α 值可适当加大，但最大不应超过 35°，切不宜过小，当 $\alpha < 5°$时会在斜面上产生自锁影响脱模。

表 11-6　推荐抽拔角

抽拔角 α 值/(°)	适　用　范　围
5 ~ 10	侧面抽芯距离小，顶出高度大。适用于抽拔力小，制品结构强度不高，顶出承力面较窄的深腔薄壁制品
10 ~ 20	抽芯距离及顶出高度处于中等程度，制品具有一定的结构强度
20 ~ 30	侧面抽芯距离大，顶出高度小，适用于制品结构强度高，且具有较高的顶出承力面

4. 斜滑块抽芯机构的细节要点

（1）防止粘滑块　当斜滑块为型腔拼合形式时，为了避免制品顶出时留在斜滑块某一拼合块一侧，中心型芯应设在动模一侧，起制品的导向作用，如图 11-60 所示。

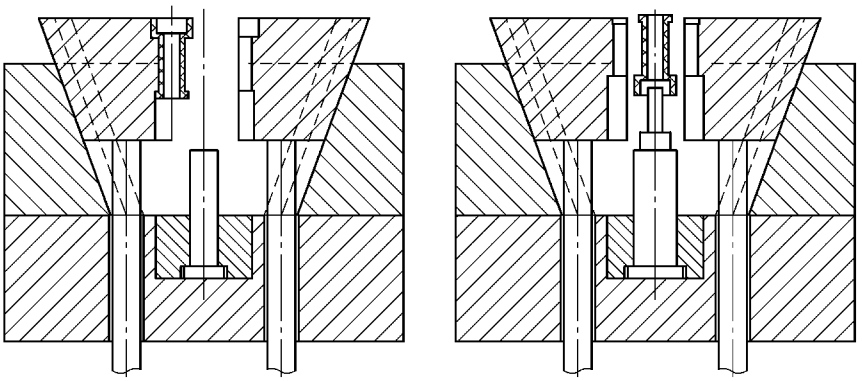


图 11-60　斜滑块抽芯的制品导向

（2）分型面的选择　斜滑块抽芯的分型面选择是否合理，对制品能否顺利脱模关系很大，因此在选择制品底部分型面时就应特别注意如图 11-61a 所示，底部的间隙会产生明显的侧向跑料，产生飞边等情况，从而影响制品的顶出。而如图 11-61b 所示的结构形式，即使底面有间隙，也不会影响制品的质量。

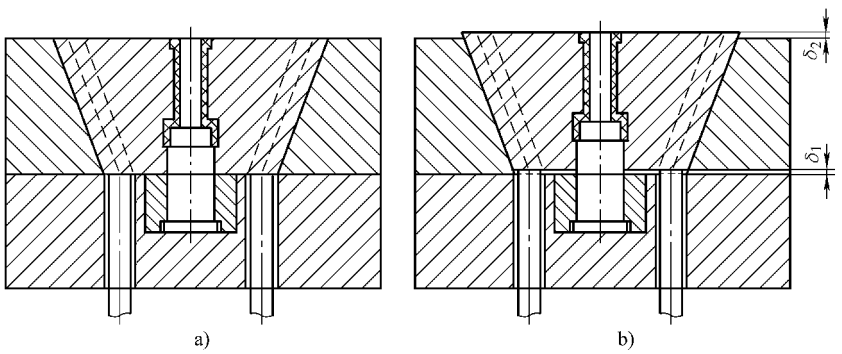


图 11-61　斜滑块抽芯分型面的选择

（3）分型面配合良好　为使斜滑块的分型面保持紧密配合，成型时不发生溢料，斜滑块底部与模套之间应有 $\delta_1 = 0.2 \sim 0.5$mm 的间隙，斜滑块顶面也应高出模套 $\delta_2 = 0.4 \sim 1$mm，如图 11-61b 所示，但是必须是 $\delta_1 < \delta_2$，方起紧密配合的作用。

（4）斜滑块需要定位准确　斜滑块抽拔角 α 应研合良好，即定位准确，合缝痕迹不影响制品的使用和外观。必要时，可采用在斜滑块的拼缝处加设导向销的结构形式。

（5）防止粘定模　斜滑块一般都设计在动模一侧，为了制品脱模方便，也要求在开模后制品留在动模一侧，因此在设计时，就应考虑制品对动模部分的抱紧力应大于定模的抱紧力。

当定模型芯抱紧力较大而又无法避免，或者在特殊情况下，事先无法判定哪一侧抱紧力大时，为了避免开模时斜滑块留在定模一侧，一般应设有制动装置。图 11-62 所示就是在开模的瞬间，

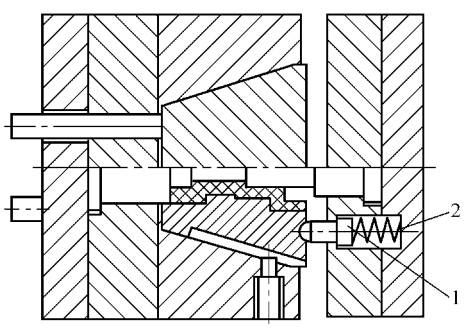


图 11-62　斜滑块的制动设置

1—止动销　2—弹簧

止动销在弹簧的作用下使斜滑块先弹开。要达到这个效果，必须严格计算弹簧的弹力，使弹力必须大于定模型芯的抱紧力。

11.7.2　斜滑块抽芯机构的实例解析

例 1：定模顶出斜滑块抽芯机构

如图 11-63 所示，开模时，斜滑块 1 在弹簧 2 的弹力作用下，沿着定模板 4 的 T 型槽（未画出）做抽芯动作，其中导向针 3 起到弹簧 2 的扶正作用。同时，为了避免弹簧疲劳损害导致开模瞬间的不作用，必须设置拉钩 6、7。拉钩分别固定在斜滑块 1 及动模板 8 上，开模力能使滑块平稳的抽芯。当斜滑块 1 在完成侧抽芯动作后，由限位块 9 进行限位，最后制品依靠重力作用自由落下。

它的特点是省去了动模部分的顶出机构，减少了模具的闭合高度，一般可在模具闭合高度不适合现有注塑机的情况下采用，缩短模具高度。

例 2：动模顶出斜滑块抽芯机构

如图 11-64 所示，由于制品对定模型芯 4 有较大的抱紧力，为避免制品包在定模型芯 4 上，从而粘在定模上，采用止动销 2 及弹簧 3，使开模时，斜滑块 7 暂不向两侧分开，从而确保制品留在动模一侧。

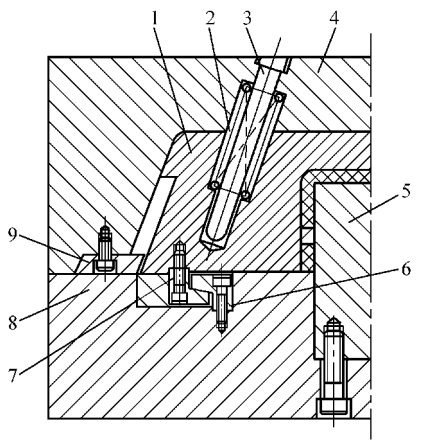


图 11-63　定模顶出斜滑块抽芯机构

1—斜滑块　2—弹簧　3—导向针　4—定模板　5—动模型芯　6、7—拉钩　8—动模板　9—限位块

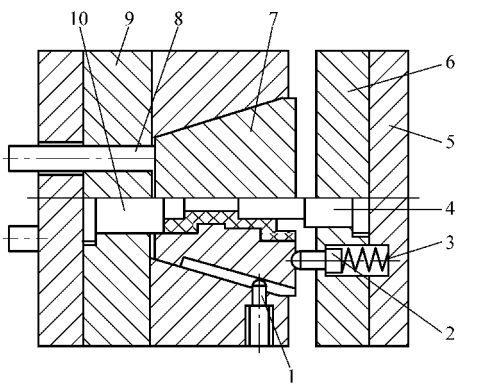


图 11-64　动模顶出斜滑块抽芯机构

1—限位钉　2—止动销　3—弹簧　4—定模型芯　5—面板　6—定模板　7—斜滑块　8—顶杆　9—动模板　10—动模型芯

11.8　齿轮齿条抽芯机构

当制品上的抽芯距较长、抽拔力较大或斜向抽芯时，斜导柱、斜滑块抽芯比较困难，而采用齿轮、齿条就非常方便。

11.8.1　齿轮齿条抽芯机构的设计要点

1. 齿轮齿条抽芯机构的基本形式

齿轮齿条抽芯机构，是借助开模力或顶出力通过齿轮、齿条的啮合传动，使侧型芯抽

芯的。

2. 齿轮齿条抽芯机构的主要参数

1）传动齿条的齿形，从加工方便和具备较高的传动强度方面来考虑，采用渐开线短齿。并从设计角度考虑，为了达到传动平稳，齿轮、齿条较好地啮合等因素，采用下列几何参数：模数 $m=3$，齿轴齿数 $z=12$，压力角 $\alpha=20°$。以下有关计算皆采用这些参数。

2）传动齿条的截面形状常用的有以下两种：圆形截面及矩形截面。圆形截面一般应用于模体内的啮合传动机构，在装固部分应有止转销定位。矩形截面一般应用于模体外的啮合传动机构，受力端应采用滚轮压紧。

3. 齿轮与传动齿条脱模时的定位

（1）齿条固定在定模一侧，为使齿轮与传动齿条在合模时在规定的位置上啮合，必须设计齿轮脱离传动齿条时的定位装置，定位装置可设置在齿条型芯上，也可以设置在齿轮轴上，如图11-65所示。当传动齿条脱离齿轮时，在弹簧4的作用下，顶销3进入齿轮轴2上的凹穴内而实施定位。

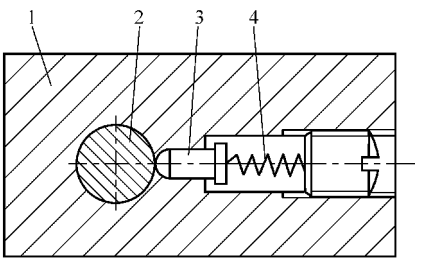


图11-65　齿轮定位机构

1—动模板　2—齿轮轴　3—顶销　4—弹簧

（2）齿条固定在动模一侧。由于传动齿条与齿轮始终保持着啮合关系，不需要设置齿轮或齿条型芯的定位机构。

4. 齿条型芯的锁紧

无论传动齿条固定在定模一侧还是在动模一侧，由于注塑时的压力，为避免齿条型芯移动，必须设置齿条型芯的锁紧。锁紧机构既可以楔紧块的形式直接压紧在齿条型芯上，如图11-66a所示，也可设置在齿轮轴上，如图11-66b所示。

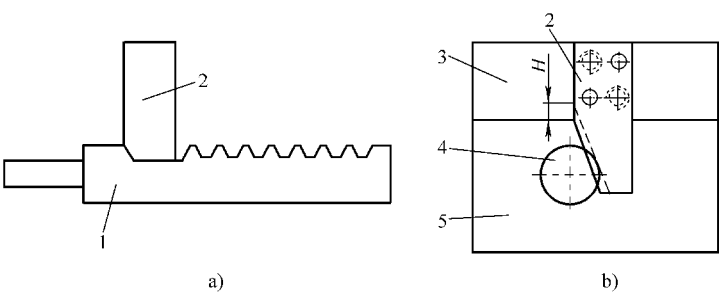


图11-66　齿条型芯的锁紧机构

1—齿条型芯　2—楔紧块　3—定模板　4—齿轮轴　5—动模板

5. 传动齿条延时抽芯的设置

开模时，如果传动齿条立即带动齿轮转动，由于齿轮速度大于开模分型速度，所以齿轮与楔紧块有撞击的可能。必须在开模时传动齿条与齿轮不啮合，不起抽芯的作用，如图11-66所示，只有当开模行程大于 H 时传动齿条才能与齿轮啮合，从而开始抽芯。

11.8.2　齿轮齿条抽芯机构的实例解析

例 1：齿轮、齿条的水平抽芯机构

如图 11-67 所示，制品上的侧孔由型芯 2 成型。开模时，楔紧块 7 脱开齿条 4，由固定在定模上的齿条 5 与齿轮 6 啮合，带动齿条 4 及型芯 2 完成抽芯。齿条 5 与齿轮 6 啮合前，楔紧块 7 必须抽出齿条 4，因此齿条 5 必须有一段的空行程。

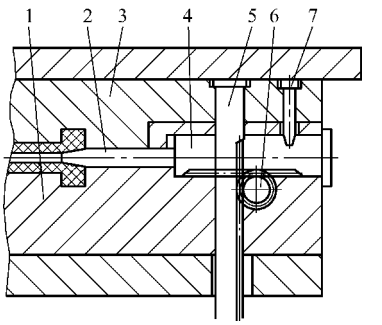


图 11-67　齿轮、齿条的水平抽芯机构
1—动模　2—型芯　3—定模
4、5—齿条　6—齿轮　7—楔紧块

例 2：传动齿条固定在动模一侧

如图 11-68 所示，传动齿条 8 固定在传动齿条固定板 12、13 上，开模时，模具从分型面 *PL* 处开模，由于制品包在齿条型芯 3 上，制品脱离定模部分，主流道凝料在拉料杆 1 的作用下与制品连在一起被带离动模。

顶出过程中，连接注塑机的顶棍 14 推出齿条固定板 12、13，传动齿条 8 带动齿轴 4，齿轴 4 再带动齿条型芯 3，从而使齿条型芯 3 做斜下方向抽芯。当抽芯完毕时，继续顶出，由顶杆 2 顶出制品。

合模时，压杆 5 迫使传动齿条 8 后退并带动齿轴 4 和齿条型芯 3 复位，并起锁紧作用。

例 3：齿条斜向抽芯

如图 11-69 所示，传动齿条 5 固定在定模板 1 上，齿轴 4 和齿条型芯 3 固定在动模板 2 内。开模时，模具率先从分型面 *PL* 处开始开模，齿轴 4 在传动齿条 5 的作用下做逆时针方向转动，从而使与之啮合的齿条型芯 3 向右下方向运动而抽出制品。当齿条型芯 3 全部从制品中抽出后，此时，齿轴 4 的定位装置发生作用而使其停止。最后，推出机构开始工作，顶杆 8 将制品从动模板 2 上顶出。

合模时，传动齿条 5 带动齿轴 4 和齿条型芯 3 复位，并起锁紧作用。

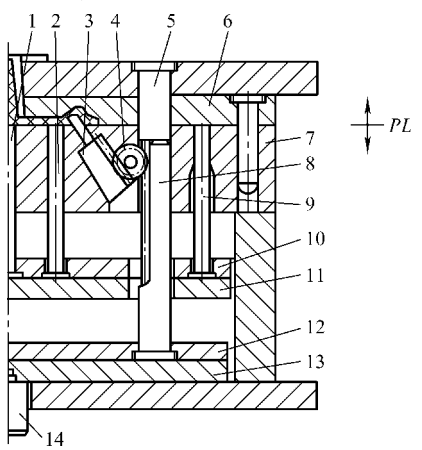


图 11-68　传动齿条固定在动模一侧
1—拉料杆　2—顶杆　3—齿条型芯　4—齿轴　5—压杆
6—定模板　7—动模板　8—传动齿条　9—复位杆
10—顶杆面板　11—顶杆底板
12、13—传动齿条固定板　14—顶棍

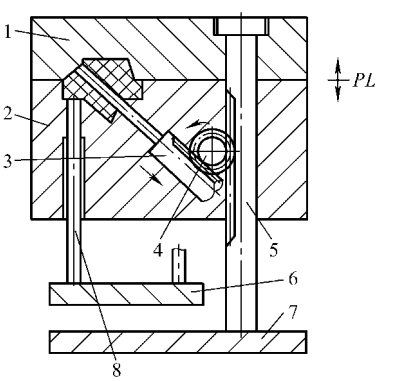


图 11-69　齿条斜向抽芯
1—定模板　2—动模板　3—齿条型芯
4—齿轴　5—传动齿条　6—顶杆固定板
7—底板　8—顶杆

11.9　液压抽芯机构

液压抽芯机构的抽拔力是靠油液的压力推动活塞面实现的。液压抽芯的特点是：由于抽芯的受力点均设在侧抽拔力的中心，又是直线平移运动，所以在抽芯时运动平稳，不容易产生扭曲和上翘等运动障碍。同时抽拔力和抽芯距可以设得很大，而且模具结构较为简单，便于制造，在大型模具，特别是抽芯距很大的长塑料管状制品的抽芯中均得到应用。其缺点是需要有整套液压装置，模具占有空间也较大，因其工作控制繁琐，故在应用时受到了限制。

11.9.1　液压抽芯机构的设计要点

1. 液压抽芯机构的组成及其动作原理

液压抽芯机构的组成如图11-70所示，液压抽芯机构借助于支架7固定在模具上，连接器6将滑块型芯4与液压缸8连成一体。

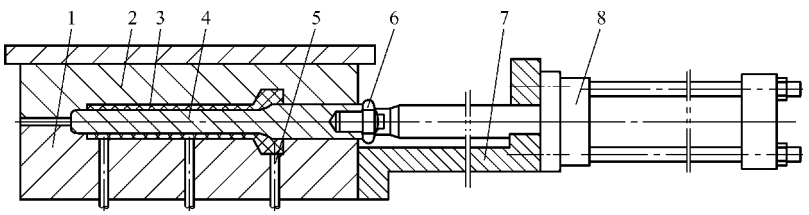


图11-70　液压抽芯机构的组成

1—动模板　2—定模板　3—制品　4—滑块型芯　5—顶杆　6—连接器　7—支架　8—液压缸

开模时，高压液由液压缸8前腔进入，开始抽出滑块型芯4，抽芯完毕，然后开模，由顶杆5顶出制品。抽芯器的动作在调试时可以手动操作，试模到正常后，即可按行程开关的信号进行程序控制。

合模时，高压液从液压缸8后腔进入，推动活塞，将滑块型芯4插入型腔。由定模楔紧块（未画处）锁紧滑块型芯4，模具处于注塑状态。

2. 液压缸抽芯机构的适用场合

（1）定模抽芯　定模抽芯用液压缸驱动，可简化模具结构，但需要注意动作顺序的控制和滑块的锁紧，以免动作错乱损坏模具，或者液压缸锁紧力不足而无法封胶，抽拔力不足而抽不动滑块。

如图11-71所示，由于制品外观不允许有分型线，需要采用定模抽芯。由于滑块型芯较小，所需要的锁模力较小，也可以采用液压缸直接抽芯，避免二次分型，简化模具结构。开模前，先起动液压缸5对滑块3进行抽芯，由滑块3再带动滑块型芯2完成抽芯，抽芯完毕再开模，最后由动模顶出机构顶出制品。

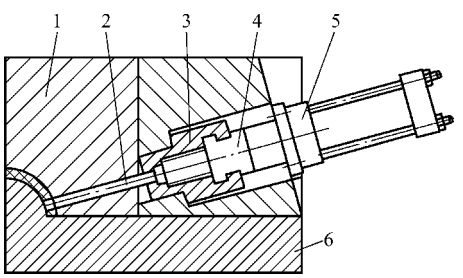


图11-71　定模抽芯

1—定模板　2—滑块型芯　3—滑块
4—连接器　5—液压缸　6—动模板

（2）大行程或大角度滑块抽芯　当滑块行程较大或动模滑块向动模方向倾斜较大时，如用斜

导柱抽芯，势必要增加斜导柱的长度，受力较差，降低斜导柱的强度，容易变形或者损坏，同时，抽芯长度还受到注塑机开模行程的限制，另外对于抽拔力较大的侧抽芯，斜导柱机构很难提供足够大的抽拔力，采用液压缸抽芯机构，行程容易调节，与注塑机的开模行程没有关联，抽拔力的大小通过选择合适的液压缸即可满足。

无特殊要求时，不宜将抽芯器的抽拔力作为锁紧力，需另设楔紧块。

3. 液压缸驱动力的计算

一般情况下在模具设计时，设计师通过类比的办法来选择液压缸，对液压缸抽芯动力不做计算。

但如果没有类比对象或在一些不常见的场合，必须对液压缸驱动力进行正确的计算，才能选择合适大小的液压缸。力学模型如图 11-72 所示。

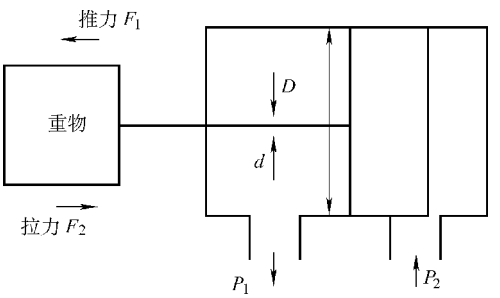


图 11-72　液压缸力学模型

$$F = PS$$

式中　P——压强；

S——受压面积。

由于液压缸在作推动和拉动时受压面积不同，从上面公式可以看出，其所产生的力也是不同，即

$$\text{推力 } F_1 = P \times \pi (D/2)^2 = P \times \pi D^2/4$$

$$\text{拉力 } F_2 = P \times \pi [(D/2)^2 - (d/2)^2] = P \times \pi (D^2 - d^2)/4$$

式中　D——液压缸内径；

d——活塞杆直径。

而在实际应用中，还需加上一个负荷率 β。因为液压缸所产生的力不会 100% 用于推或拉，负荷率 β 常选 0.8，故公式变为

$$\text{推力 } F_1 = 0.8 \times P \times \pi D^2/4$$

$$\text{拉力 } F_2 = 0.8 \times P \times \pi (D^2 - d^2)/4$$

从以上公式可以看出，只要知道液压缸内径 D 和活塞直径 d 以及压强 P（一般为常数）就可以算出该型号液压缸所能产生的力。

例如：标准液压缸型液压缸的 P 值均可耐压至 14MPa，液压缸型号为 FA－30。

查资料得知：液压缸内径 $D = 100\text{mm}$，活塞杆直径 $d = 56\text{mm}$。注意直径的单位计算时需化为 cm。

则

$$\text{推力 } F_1 = 0.8 \times P \times \pi D^2/4 = 140 \times \pi \times 10^2/4 \times 0.8\text{kgf} \approx 8796\text{kgf} \approx 87.960\text{kN}$$

$$\text{拉力 } F_2 = 0.8 \times P \times \pi (D^2 - d^2)/4 = 140 \times \pi (10^2 - 5.6^2) \times 0.8\text{kgf} \approx 6037\text{kgf} \approx 60.370\text{kN}$$

4. 液压缸行程的确定

液压缸行程是根据运动部件的抽芯距离来确定的，确定液压缸行程时还须考虑液压缸的活塞端隙。活塞端隙的作用是使液压缸在起动时有足够的油压面积，使液压缸能顺利起动，避免因起动油压面积不够而无法起动液压缸，此外，减少活塞与液压缸的冲击。

为了保证制品完全脱出，出于安全考虑，要多抽一段距离，当需手工在抽芯上安放嵌件

时，此距离要更大些，在液压缸起动合模或开始抽芯脱模时能有足够大的驱动力实现运动，活塞与端盖之间应留有间隙，取5mm以上，如图11-73所示。

$$L = S + S_1 + A + B$$

式中　L——液压缸的行程（mm）；

S——侧抽芯的总长（mm）；

S_1——安全距离，一般取2～3mm；

A、B——活塞与端盖的间隙（mm）。

要选取标准的液压缸还要对L进行取整，使之成为标准行程的液压缸。

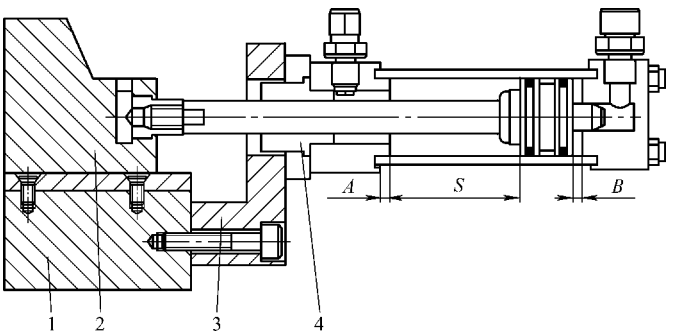


图11-73　液压缸行程的确定

1—动模板　2—滑块　3—支撑座　4—液压缸

5. 液压缸行程控制

液压缸抽芯动作与模具的开合模、顶出机构或多个侧抽芯之间有着一定的动作顺序，对于动作顺序要求严格的模具，如果违反了这个顺序，就可能造成制品粘在定模，侧抽芯与模芯、顶出机构或其他侧抽芯之间发生碰撞，而造成模具损坏。

液压缸行程控制主要有三种方式：手动控制、时间控制及信号控制。

（1）手动控制　抽芯动作和时间依靠手动控制，主要用于模具调试或半自动生产，动作过程靠人为控制，生产效率低，易产生误操作。

（2）时间控制　抽芯与开合模、顶出机构、其他液压抽芯的动作先后顺序由系统设定的时间来定，当某一动作设定的时间到达时，不管动作是否到位，注塑机都将执行下一个动作。对于模具动作顺序要求不是很高时，可以采用此方式，可将设定的时间比抽芯实际需要的时间稍长一些，可确保抽芯动作到位。

（3）信号控制　抽芯与开合模、顶出机构、其他液压抽芯的动作先后顺序由模具设定的行程开关进行信号控制，当某一动作压到行程开关时，注塑机才执行下一个动作，否则注塑机将停止动作，对于模具动作顺序要求很高时，可以采用此方式。

在模具结构中，液压缸应有行程限位开关，确保活塞端隙；同时应具备模具生产时自动控制所必需的信号源。当顶出零件与滑块抽芯机构有干涉时，液压缸抽芯的进出位置都必须设置可调节行程开关。

11.9.2　液压缸抽芯的应用实例

例1：动模抽芯机构

图 11-74 为比较常见的动模液压缸抽芯实例，抽芯距离 S 通过液压缸的行程和支架的长度来调节，模具结构简单，制造容易，所以应用广泛。但液压缸太长对模具在注塑机上的安装带来困难，也会与注塑机的格林柱等设备产生干涉。

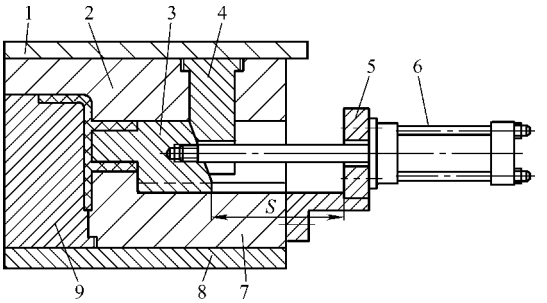


图 11-74　动模抽芯机构

1—面板　2—定模板　3—滑块　4—楔紧块　5—支架
6—液压缸　7—动模板　8—底板　9—动模型芯

开模时，楔紧块 4 脱离滑块 3，卸除对其的锁紧作用。当制品脱离定模部分一段距离后（不影响顶出空间），起动液压缸 6 对滑块 3 进行抽芯，最后，由动模顶出机构顶出制品。

复位时，先起动液压缸 6 使滑块 3 复位，接着分型面合模，最后由楔紧块 4 锁紧滑块，防止注塑时压力过大，使滑块后退，从而产生飞边。

例 2：定模抽芯机构

图 11-75 为抽芯滑块处于定模的结构形式，为了避免拉坏制品，必须在分型面开模前，先进行抽芯动作。如果采用斜导柱抽芯，一般采用面板 3 跟定模板 4 可以分开的模架结构形式，模具结构较为复杂。本例采用液压缸抽芯，简化了开模动作。

开模时，起动液压缸 8 对滑块 6 进行抽芯，最后，由动模顶出机构顶出制品。

复位时，分型面先合模，再起动液压缸 8 使滑块 6 复位。

例 3：大角度斜抽芯机构

图 11-76 所示大角度斜抽芯机构，其抽芯运动方向与模具开模方向具有较大的倾斜角度，采用机械抽芯和锁模都比较困难。若采用液压缸抽芯机构，抽芯工作由液压缸产生的压力推动活塞产生，靠液压缸的压力来锁模，抽芯和锁模都由液压抽芯系统单独控制。

开模后，起动液压缸 1 对斜滑块 6 进行抽芯，抽芯完毕后，由脱料板 4 顶出制品 5。

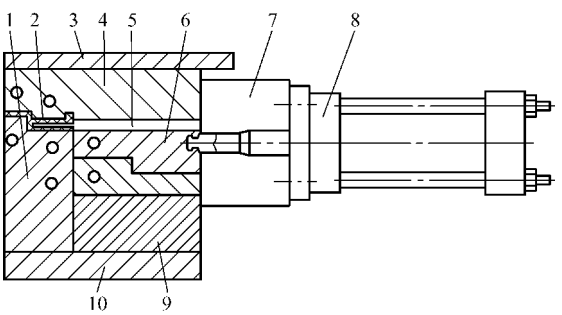


图 11-75　定模抽芯机构

1—动模型芯　2—制品　3—面板　4—定模板
5—小型芯　6—滑块　7—支架
8—液压缸　9—动模板　10—垫板

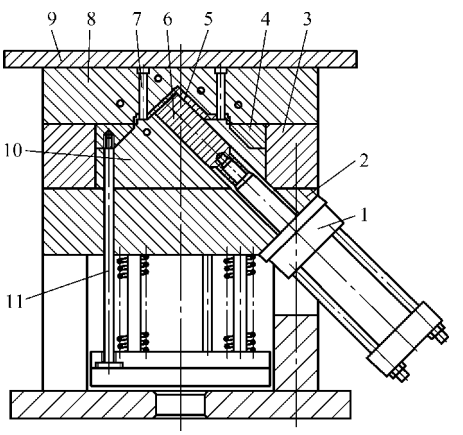


图 11-76　大角度斜抽芯机构

1—液压缸　2—垫板（所有支撑板全部统一成垫板）
3—动模板　4—脱料板　5—制品　6—斜滑块
7—小型芯　8—定模板　9—面板
10—动模型芯　11—顶杆

复位时，先起动液压缸 1 使斜滑块 6 复位，接着分型面合模。由于缺乏楔紧块的锁紧作用，在较大注塑压力作用下有可能会后退，从而产生飞边，需要慎重评估注塑压力对斜滑块作用力的大小。

例 4：脱螺纹液压抽芯机构

图 11-77 所示为利用液压缸、齿条、螺纹型芯抽芯机构进行脱螺纹的机构。

开模前，液压缸 11 通过齿条 1 带动与齿条 1 相啮合的齿轮 5，再通过齿轮 5 带动螺纹型芯轴 6 以螺纹套 7 上的螺纹作为导向旋转（螺纹套上的螺纹螺距必须与螺纹型芯的螺纹螺距相同）。当内螺纹脱出制品后，模具开模，最后由动模顶出机构顶出制品。

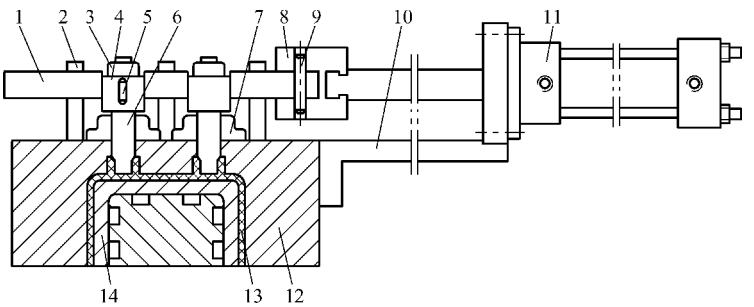


图 11-77　脱螺纹液压抽芯机构

1—齿条　2—支撑柱　3—螺母　4—键　5—齿轮　6—螺纹型芯轴　7—螺纹套　8—连接器
9—销钉　10—支架　11—液压缸　12—动模板　13—制品　14—动模型芯

11.10　圆弧抽芯机构的实例解析

对于弯管之类的圆弧状制品，如图 11-78 所示，如果采用直抽芯脱模，很容易造成制品变形、断裂或模具损坏，最好采用与制品半径一致的圆弧轨迹抽芯，由曲柄、连杆机构将液压缸活塞的直线运动转化为圆弧型芯的圆周运动。抽芯的行程较长，且抽拔力较大，采用液压缸抽芯较可靠。

抽芯原理：抽芯滑块 4 是用斜导柱抽芯，楔紧块锁模的，液压缸 13 的活塞杆与滑块 11 通过螺纹连接，连杆 1 通过连接芯轴 10 和连接芯轴 8 分别与滑块 11、圆弧型芯 6 连接，且两连接处均可自由旋转，连杆 1 的作用是将液压缸的推力和拉力传递到圆弧型芯 6 上，曲柄 3 的一端被连接芯轴 2 固定于动模板内，而另外一端在圆弧内起导向作用。

开模过程中，液压缸 13 带动连杆 1、圆弧型芯 6 围绕以连接芯轴 2 位置为圆心，曲柄 3 的长度为半径作圆弧方向抽芯，抽芯完毕，由动模顶出机构顶出制品。

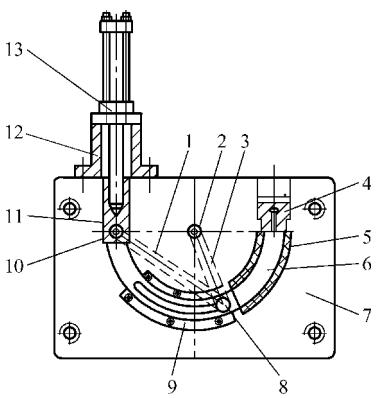


图 11-78　圆弧抽芯机构

1—连杆　2、8、10—连接芯轴　3—曲柄
4—抽芯滑块　5—制品　6—圆弧型芯
7—动模板　9—梯形槽压板　11—滑块
12—支架　13—液压缸

轴向多型芯圆弧抽芯如图 11-79 所示，根据制品的形状特点，考虑模具空间及整体性，抽芯机构由圆

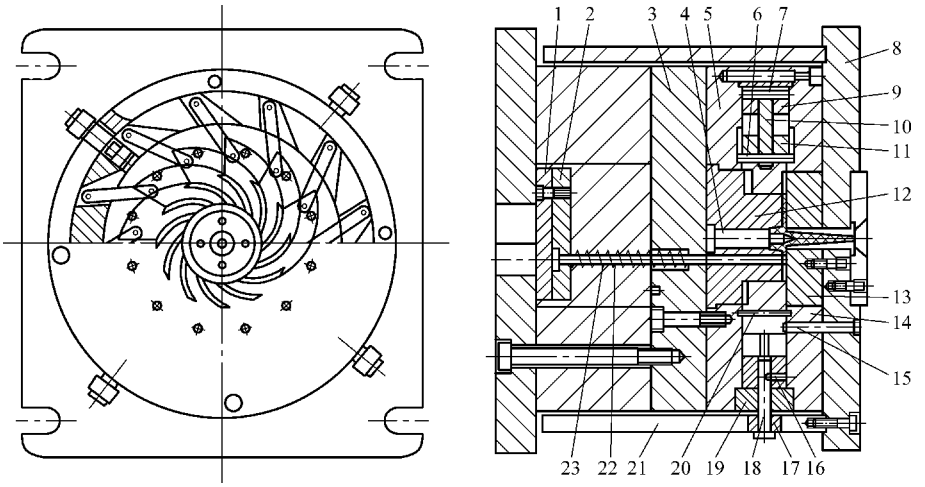


图 11-79　轴向多型芯圆弧抽芯

1—顶杆底板　2—顶杆面板　3—垫板　4—拉料针　5—动模板　6—拉杆长销　7—拉杆短销　8—面板
9—旋转环　10—拉杆　11—圆弧型芯　12—动模型芯　13—定模型腔　14—定模板　15—导柱销
16—紧定螺钉　17—滚针轴承　18—轴销　19—定位环　20—滑销　21—导槽套　22—弹簧　23—顶杆

弧型芯 11、拉杆 10、拉杆长销 6、拉杆短销 7、12 个滑销 20、4 个轴销 18、旋转环 9 以及导槽套 21 组成，以圆弧轨迹抽芯。

4 个轴销 18 在旋转环 9 上周向均布，两者过渡配合 H8/m7，由紧定螺钉 16 紧定在一起。定位环 19 有 4 个周向均布长孔，允许轴销 18 在长孔内与旋转环 9 一起绕其中心旋转 42°。

为减小抽芯时导槽套 21 与轴销 18 的摩擦阻力，轴销 18 上装有滚针轴承 17。为了既满足抽芯力和抽芯行程要求，又避免因导槽套 21 过长而导致模具整体尺寸太大，导槽套 21 上的螺旋导槽采取变角度曲线，先由小导角导槽抽动圆弧型芯 11，克服制品对圆弧型芯抱紧产生的静摩擦力，然后用大角度导槽抽拔。

导柱销 15 除了在动模和定模合模时起导向作用、合模后起定位作用外，还在合模后对圆弧型芯 11 起楔紧作用。因模具周向均布 12 个圆弧型芯 11 及相应的抽芯机构，不便设置复位杆，故采用弹簧 22 使顶杆 23 复位。

11.11　带顶出系统的抽芯机构

如图 11-80 所示，当制品对抽芯滑块的抱紧力过大，制品粘住抽芯滑块，导致制品产生变形或损伤等现象，通过抽芯上布置顶出机构可以解决该问题。

合模状态时，弹簧 4 有 5mm 的压缩量，其产生的弹力欲使顶杆 5 脱离制品，由于顶杆 6 与楔紧块 7 直身段的压紧作用，因此顶杆 5 不会被弹簧 4 的弹力弹开。

开模时，斜导柱（未画出）拨动侧滑块 3 进行抽芯，定模型腔 2 脱离制品，当顶杆 6 未脱离楔紧块 7 的直身段时，顶杆 5、6 始终不动，从而顶住制品，防止随滑块一起移动。当顶杆 6 脱离楔紧块 7 的直身段时，顶杆 6 随侧滑块一起移动，脱离制品。

结构分析：顶杆不能凸出抽芯滑块斜面太多，防止合模时，楔紧块压断顶杆，一般顶杆

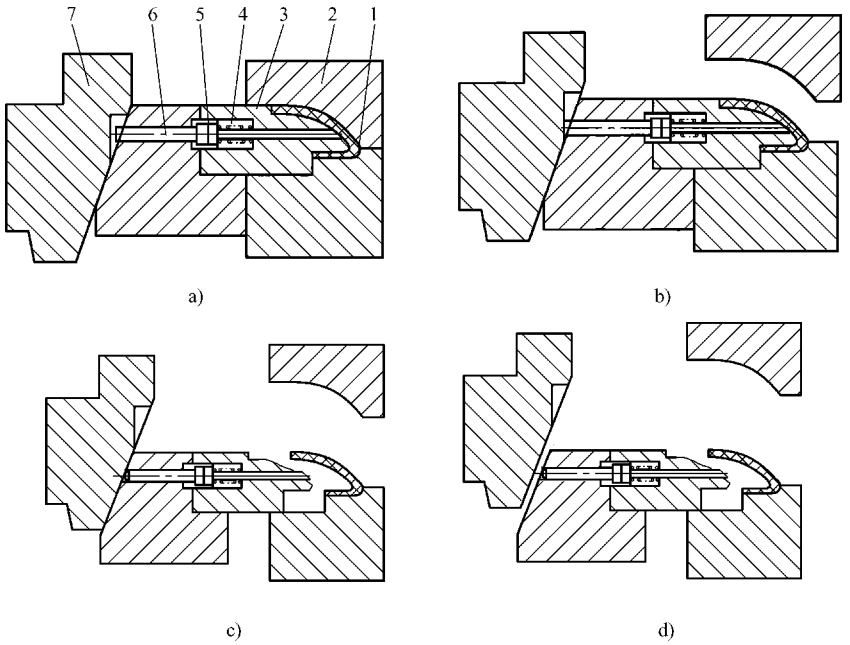


图 11-80　带顶出系统的抽芯机构

a）合模状态　b）开模过程Ⅰ　c）开模过程Ⅱ　d）抽芯滑块完全脱离制品

1—动模型腔　2—定模型腔　3—侧滑块　4—弹簧　5、6—顶杆　7—楔紧块

凸出抽芯滑块的那一端一般设计成球面，顶杆需要设计粗点。

$$抽芯行程\ S = L \times \tan\theta$$

式中　L ——开模行程；

　　θ ——抽拔角度。

11.12　转换抽芯机构

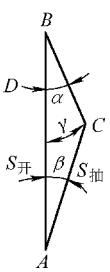
当抽芯方向与分型面呈某一定角度，考虑到加工的便利性及装配容易程度，有时需要通过转换抽芯，使抽芯方向改变为平行于分型面或者开模方向，但需要考虑是否会自锁。

11.12.1　转换抽芯机构的设计要点

如图 11-81 所示，A 为抽芯起始点，斜芯抽拔行程为 $S_{抽}$，运动轨迹为 AC，开模距离为 $S_{开}$，运动轨迹为 AB，B、C 之间的距离为侧型芯与抽芯导滑块之间的相对距离。从 A、B、C 三点构成的三角形具有如下规律：

$$S_{开} = S_{抽}\cos\beta + S_{抽}\sin\beta \times \tan(90° - \alpha)$$

式中　β ——型芯抽拔方向与抽芯导滑块抽拔方向之间的夹角；



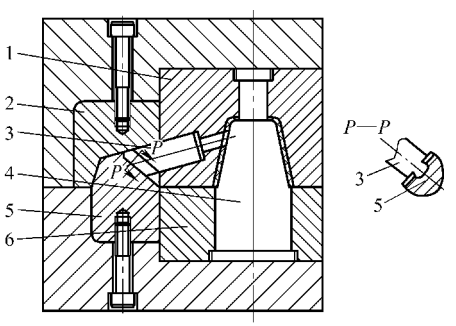


图 11-81　转换抽芯机构之一

1—定模型腔　2—耐磨块　3—侧型芯

4—动模型芯　5—抽芯导滑块　6—动模型腔

α——拉杆抽拔方向与斜面导滑燕尾槽之间的夹角。

当确定了拉杆的抽拔方向后β即为定值。在$S_{抽}$一定的情况下，改变α为γ，即B点变为D点，就会缩短液压缸的抽拔距离；反之，会增大液压缸的抽拔距离。应该注意的是，α角的增大，会增加拉杆的抽拔力，降低斜面运动的灵活性；继续增大α角，甚至会出现自锁现象，所以只要模具空间位置允许，应设计比较小的α，以提高运动机构的灵活性。

11.12.2　转换抽芯机构的实例解析

如图11-82所示，开模瞬间，由于尼龙扣23与定模板4摩擦产生阻塞作用，动、定模在$PL\text{Ⅱ}$处暂不分开。同时，弹簧26对面板3有弹力作用，模具首先从$PL\text{Ⅰ}$处分型，面板3在弹簧力作用下脱离定模板4，促使弯销5拨动滑块7向外移动，滑块型芯6在滑块7的驱动下沿着斜孔运动。当完成侧向抽芯时，由限位拉杆25进行限位。

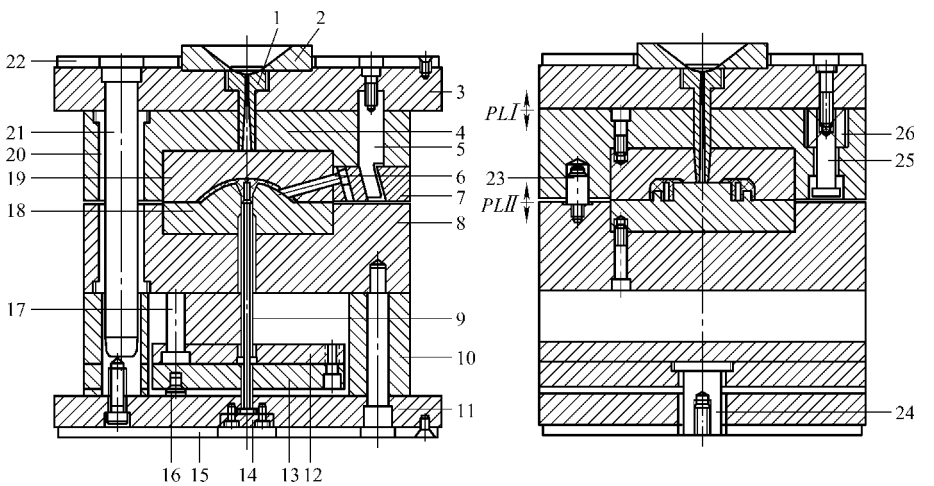


图11-82　转换抽芯机构之二

1—浇口套　2—定位圈　3—面板　4—定模板　5—弯销　6—滑块型芯　7—滑块　8—动模板　9—司筒　10—模脚　11—底板　12—顶杆面板　13—顶杆底板　14—司筒针固定块　15—隔热板　16—垃圾钉　17—复位杆　18—动模型腔　19—定模型腔　20—导套　21—导柱　22—隔热板　23—尼龙扣　24—顶棍　25—限位拉杆　26—弹簧

继续开模，注塑机的作用力克服了尼龙扣23与定模板4的摩擦作用力，模具开始从$PL\text{Ⅱ}$处打开，动模型腔18与定模型腔19分开。

最后注塑机通过顶棍24推动顶杆底板13，由顶杆（未画出）及司筒9顶出制品。

复位时，注塑机首先通过顶棍24拉动顶杆底板13，强制使顶杆及司筒9等顶出机构先复位。接着，合模开始时，注塑机先接触动模部分，$PL\text{Ⅱ}$分型处开始关闭，同样的道理，由于存在尼龙扣23与定模板4的阻力，动模部分跟定模部分不能完全关闭。继续合模时，摩擦力推动定模板4跟面板3的合模，弯销5通过滑块7拨动滑块型芯6沿着斜孔恢复原位；最后，在注塑机的强力下克服摩擦力，动、定模完全关闭，进行下次注塑成型。

11.13　延迟抽芯机构

组合滑块的延迟抽芯机构根据延迟的形式分为三种：弯销延迟，楔紧块延迟及止动销

延迟。

1. 弯销延迟抽芯机构

如图 11-83 所示，由于制品对定模型芯 4 有较大的抱紧力，且制品内孔不允许有斜度，故采用弯销延迟抽芯机构。开模后，由于 δ 间隙的作用，弯销 2 将空行程一段距离，以使制品在滑块 5 的夹持下基本脱开定模型芯 4。继续开模，弯销 2 拨动滑块 5 完成抽芯，最后由顶杆 8 顶出制品。

2. 楔紧块延迟抽芯机构

如图 11-84 所示，由于楔紧块 5 直身段的作用，开模时，滑块型芯 4 暂时不抽芯，等定模打开一段距离后，滑块型芯 4 尾端脱离楔紧块 5 的直身段，在弹簧 1 的作用下做抽芯动作。

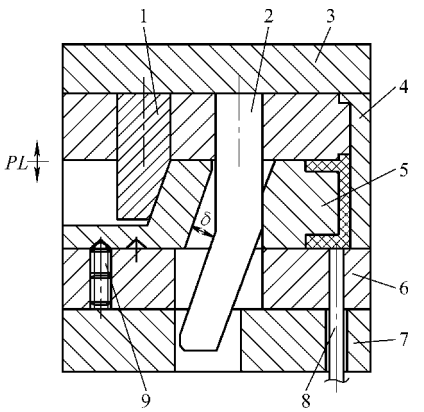


图 11-83　弯销延迟抽芯机构

1—楔紧块　2—弯销　3—面板　4—定模型芯　5—滑块
6—动模板　7—垫板　8—顶杆　9—定位珠

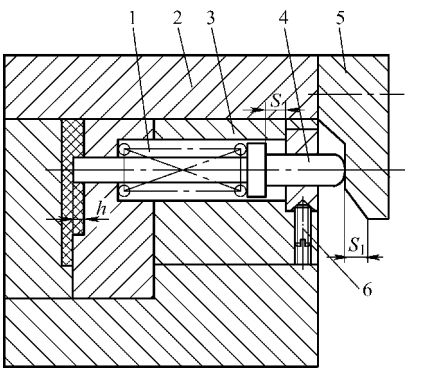


图 11-84　楔紧块延迟抽芯机构

1—弹簧　2—定模板　3—动模板　4—滑块型芯
5—楔紧块　6—定位珠

合模时，在楔紧块 5 作用下，使滑块型芯 4 进入闭模状态，并由端面限位。

注意：$S > h$，$S < S_1$

3. 止动销延迟抽芯机构

如图 11-85 所示，开模时，斜导柱 5 拨动内滑块 6 外抽芯，外滑块 9 在定模止动销 3 的管柱作用下，暂时不抽芯，等内滑块 6 抽芯完毕后，止动销 3 由于开模一段距离，脱离外滑块 9，外滑块 9 在斜导柱 5 的拨动下开始抽芯。

S_1——内滑块抽芯行程；

S_2——外滑块抽芯行程。

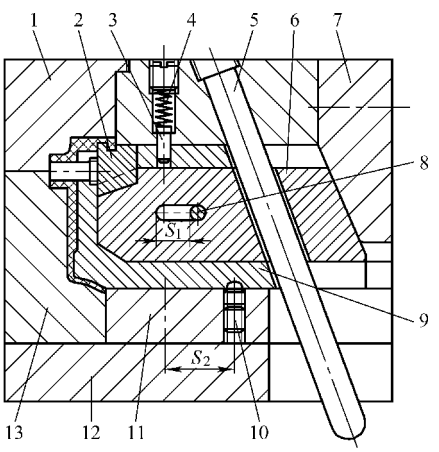


图 11-85　止动销延迟抽芯机构

1—定模板　2—小滑块　3—止动销　4—弹簧
5—斜导柱　6—内滑块　7—楔紧块　8—轴销
9—外滑块　10—定位珠　11—动模板
12—垫板　13—动模型芯

11.14　联合抽芯机构

联合抽芯机构是指由于塑料结构限制，仅采用一种分型抽芯机构不能完成抽芯动作，需采用两种或两种以上的抽芯机构联合作用完成抽芯动作的机构。

如图 11-85 所示，小滑块 2 后端制成斜面，并以 T 型槽或燕尾槽的形式与内滑块 6 相配合，轴销 8 贯穿内、外滑块。由于小滑块 2 沿着抽芯方向有倒扣，外滑块开始抽芯前，必须使小滑块先脱离制品倒扣部位，方能顺利地完成抽芯。

开模过程中，斜导柱 5 首先带动内滑块 6 移动 S_1 距离，这一过程中小滑块 2 被抽动，完成制品小侧凹处的抽芯（S_3），同时止动销 3 从外滑块 9 中抽出，如图 11-86a 所示；此后在轴销 8 的作用下，带动外滑块 9 开始抽芯，如图 11-86b 所示；当外滑块完成抽芯动作时，小滑块 2 不能脱离内滑块 6，为了安全起见，小滑块应 2/3 留在内滑块 6 内部，防止翻转，如图 11-86c 所示。

合模时，外滑块 9 及内滑块 6 由斜导柱复位，楔紧块 7 锁紧。

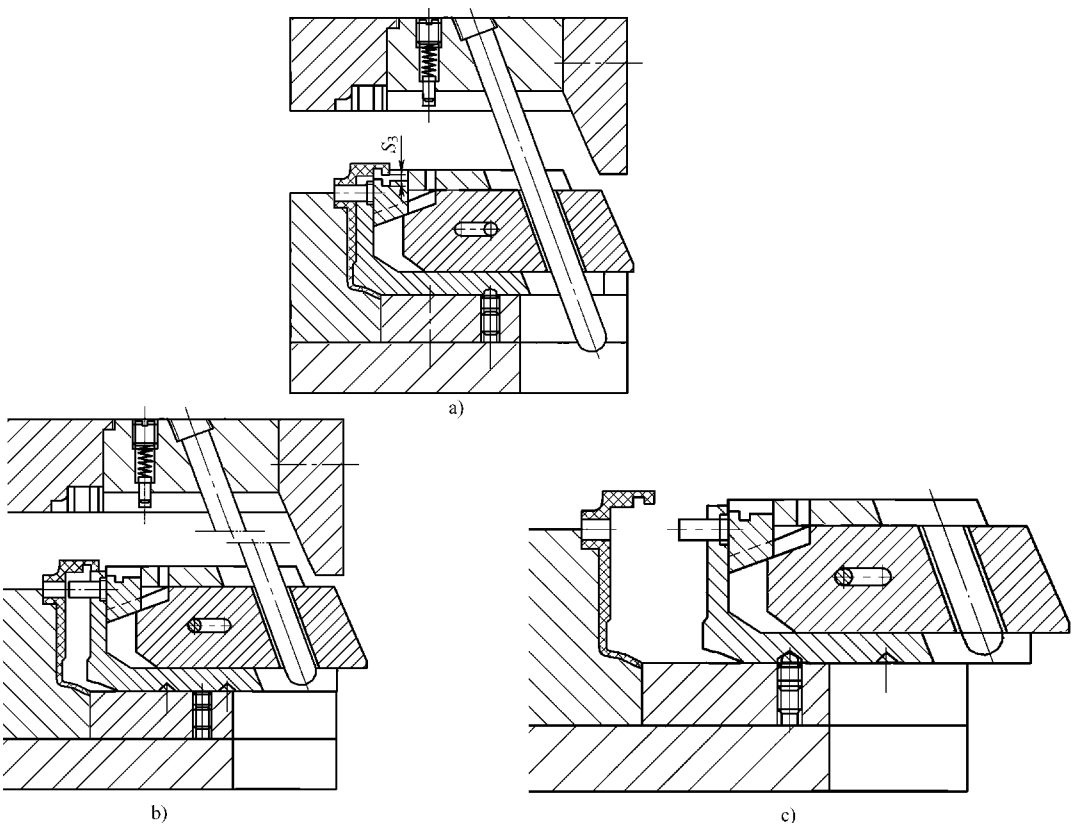


图 11-86　联合抽芯机构

a）内滑块抽芯状态　b）外滑块抽芯状态　c）完全抽芯状态

11.15　内缩式抽芯机构

在注塑成型内侧带有凸起或凹槽的制品时，一般采用斜顶或者内侧抽芯机构进行脱模。

但对于内侧周圈带有侧凸或侧凹的制品，例如各种塑料盖、水管接头和其他结构制品等，如果制品是软料或者弹性体（如 PP、PE、TPE、TPU 等）且倒扣量比较小（一般需要小于 0.8mm），通过合理设计模具的分型顺序，利用制品的弹性变形强制脱模，不失为一种简单易行的有效方法。但对于硬料或者倒扣量大的制品，采用传统的斜顶、侧向抽芯机构或强制脱模都很难实现脱模。如果内螺纹质量要求不是很高，内缩式抽芯机构也是一种很不错的脱模方式。实践证明，该模具内缩脱模机构动作准确、可靠，对同类制品具有很好的参考价值。

11.15.1　内缩机构的设计要点

差动式内缩机构由芯轴（1 件）、超前斜滑块（3 件），滞后斜滑块（3 件）构成。超前斜滑块、滞后斜滑块与芯轴采用燕尾槽连接，二者可在燕尾槽方向产生位移，如图 11-87a 所示。超前斜滑块与芯轴的抽拔角为 16°，滞后斜滑块与芯轴的抽拔角为 8°，当芯轴与超前斜滑块、滞后斜滑块之间进行开模时，芯轴通过燕尾槽拨动超前斜滑块及滞后斜滑块内缩，由于超前斜滑块比滞后斜滑块的抽拔角大（一般需要大一倍），在相同的开模距离下，超前斜滑块内缩的速度较快，从而为滞后斜滑块的内缩创造了空间，避免了空间不足导致自锁。

该差动式内缩机构的设计关键就在于超前斜滑块与滞后斜滑块之间的时间差动作，创造空间避位，避免自锁，其开模状态如图 11-87b 所示。

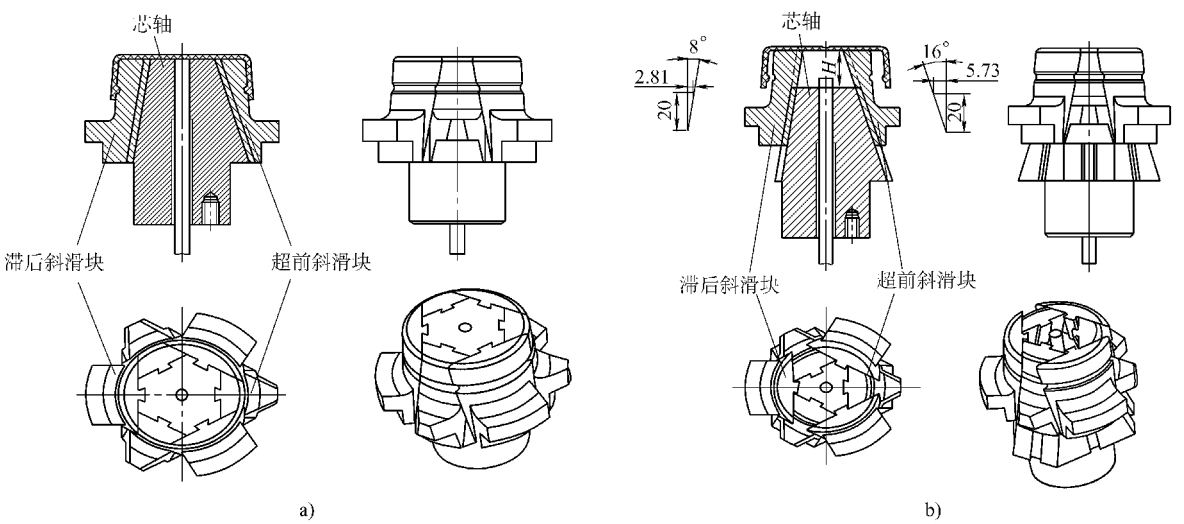


图 11-87　内缩机构原理图

a）合模状态　b）开模状态

11.15.2　内缩机构的模具设计

按照上述差动式内缩机构原理设计的注塑模具结构图如图 11-88 所示。该注塑模使用普通带推板的细水口模架。

对于圆形制品采用点浇口更容易填充平衡，便于排气，点浇口制品表面浇口痕迹小，脱模时能自动切断浇注系统的凝料，因此，本实例采用点浇口进胶。

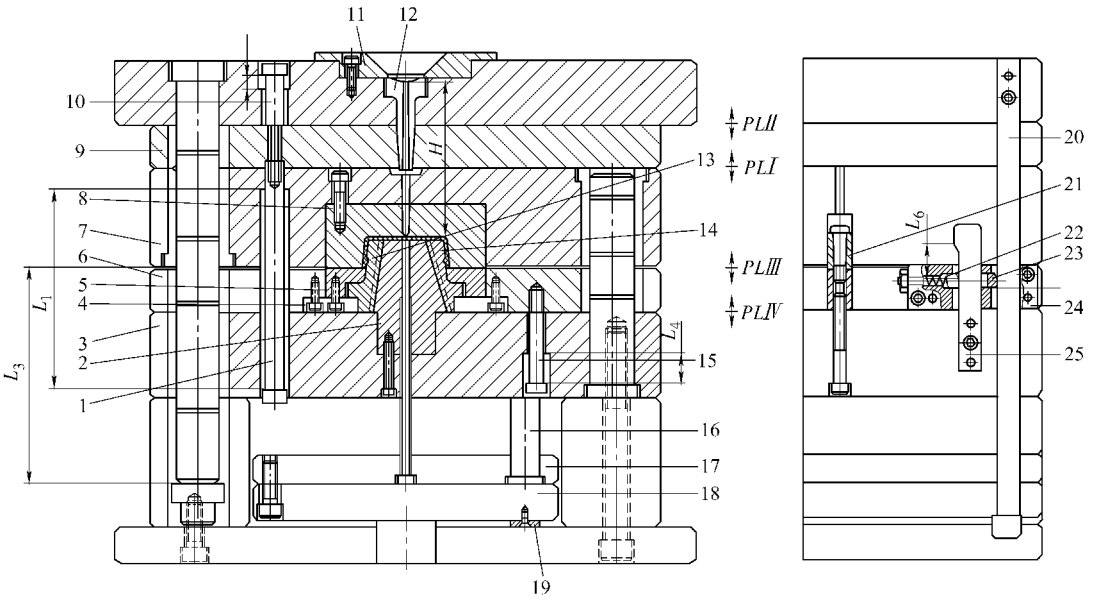


图 11-88　注塑模具结构

1—限位拉杆　2—芯轴　3—动模板　4—压板　5—导滑板　6—推板　7—定模板　8—定模型腔　9—水口推板　10—限位钉　11—定位圈　12—浇口套　13—滞后斜滑块　14—超前斜滑块　15—限位螺钉　16—复位杆　17—顶杆面板　18—顶杆底板　19—限位钉　20—定距拉杆　21—尼龙扣　22—弹簧　23—锁扣　24—扣机座　25—延迟开锁杆

开模时，由于尼龙扣 21 锁住定模板 7、推板 6 及动模板 3，模具率先从定模板 7 及水口推板 9 之间 *PL* Ⅰ处开模，浇口套 12 的端部设计成倒扣状，为了便于拉断点浇口，一般点浇口不能设计太大，否则容易失去剪切速率，且 *POM* 塑料的粘度较高，制品更不容易充填饱满，甚至在保压时出现倒流，使得浇口断料痕迹大。本实例设计的点浇口直径为 0.9mm，保证容易填充的同时也很容易由浇口套倒扣直接拉断。当有足够的空间取出流道时（一般限位拉杆 1 的定距为 $L_1 = H + (20 \sim 30)\,\text{mm}$），由限位拉杆 1 与定模板 7 进行限位，*PL* Ⅰ开模面停止开模，利用开模力推出挂在浇口套 12 上的流道，当 *PL* Ⅱ处开模 L_2 距离（一般为 5 ~ 10mm）后由限位钉 10 限位。

继续开模，开模力克服尼龙扣的摩擦力，由于 *PL* Ⅲ抱紧力相对 *PL* Ⅳ开模面的抱紧力小很多，*PL* Ⅲ率先开模 10mm 后（$L_5 > L_1 + L_2 + 10$），制品脱离定模型腔 8，接着定距拉杆 20 通过直面扣住锁扣 23，*PL* Ⅲ开模暂时停止。当继续开模时，定距拉杆 20 拉动推板 6 继续开模，*PL* Ⅳ开模面分开，根据上述差动式内缩原理，超前斜滑块和滞后斜滑块先后内缩，当打开一定距离后（L_4 距离保证制品内圈倒扣能全部脱离），依靠限位螺钉 15 的限位作用，分型面 *PL* Ⅳ结束开模动作，此时倒扣位已全部脱出斜滑块。以此同时，延迟开锁杆 25 的斜面拨动锁扣 23 的斜面，压缩弹簧 22，使得定距拉杆 20 脱离锁扣 23，消除了定模板 7、推板 6 的锁模状态，模具接着从 *PL* Ⅲ继续开模，由注塑机的指令控制分型面 *PL* Ⅲ的打开距离，确保顶出及取出制品没有空间限制。最后，顶杆面板 17、顶杆底板 18 带动顶杆将制品彻底从动模顶出，从而完成整个内缩、顶出过程。

第 12 章　斜 顶 机 构

12.1　概述

1. 斜顶机构的定义

当制品侧面（相对开模方向而言）带有凹、凸形状等倒扣结构时，在成型后凹穴和凸台的模具零件将会阻碍制品从模内顶出，除了弹性制品且倒扣量较小时（一般小于 0.8mm），可以用强制脱模外，大部分必须在顶出前将凹穴和凸台的成型零件先行退出，这些成型零件一般做成可以移动的组件，开模时先将成型侧面的组件有序地抽出，制品顶出后再将组件恢复原位，这种借助顶出力与合模力进行模具抽芯及其复位动作的机构称为斜顶机构，如图 12-1 所示。

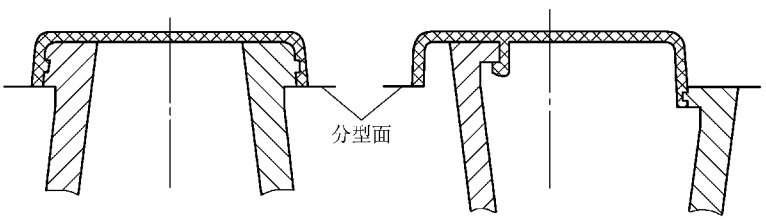
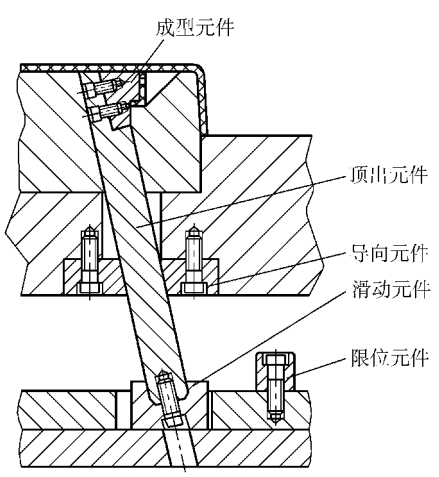


图 12-1　斜顶机构

2. 斜顶机构的组成

斜顶机构按功能划分，一般由成型元件、顶出元件、滑动元件、导向元件及限位元件五部分组成，见表 12-1。

表 12-1　斜顶机构的组成

组成名称	功　能	组　件	图　示
成型元件	成型制品上侧孔、凹凸台阶胶位，一般与顶出元件做成整体	型块	
顶出元件	连接并带动型块并在斜顶槽内运动	斜顶	
滑动元件	使顶出元件超前、同步或者滞后注塑机顶出动作	斜顶滑块、滑座等	
导向元件	主要起导向作用，应具有耐磨性	导向块	
限位元件	使顶出元件在顶出后，停留在所要求的位置上	限位块	

3. 斜顶工作原理

由斜顶的定义来看，斜顶是一种抽芯机构，只是它的动作完成是由模具的顶出系统来完成的。一般来说，在产品的内表面有倒扣结构，产品周围用于抽芯机构的空间比较小时可优先考虑采用斜顶来完成。根据斜顶所处的模具位置，划分为动模斜顶、定模斜顶及滑块斜顶三类，尤其以动模斜顶最为常见。

动模斜顶的工作原理：顶出时，在注塑机顶棍 8 的作用下，推动顶针推板 7，带动斜顶 2 斜向上顶出。由于动模镶件 1 及导向块 3 的斜向导向槽作用，斜顶 2 在顶出制品的同时作横向移动，从而使制品脱离斜顶 2 的成型部分，最后由限位柱 4 限位完成顶出动作，如图 12-2 所示。

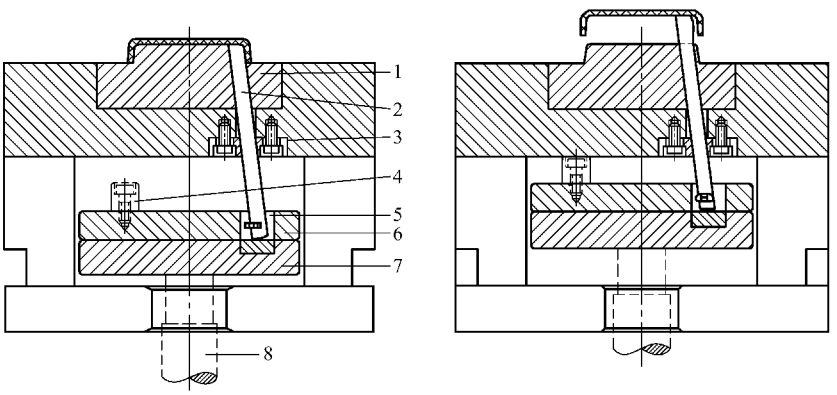


图 12-2　斜顶工作原理图

1—动模镶件　2—斜顶　3—导向块　4—限位柱　5—斜顶滑块
6—推杆固定板　7—推板　8—注塑机顶棍

定模斜顶的工作原理：与动模斜顶的工作原理类似，只不过顶出侧在定模一侧，一般定模斜顶需要采用弹簧作为替代注塑机的顶出力。

滑块斜顶的工作原理：与动模斜顶的工作原理类似，只不过顶出侧在滑块一侧，一般滑块斜顶也需要采用弹簧作为替代注塑机的顶出力。

4. 斜顶受力分析

大部分的斜顶一般没有设置冷却水路，在稳定模压状态期间，其预计温度可比周围的镶件平均高出 50℃。该值随材料、模压及工艺的不同而不同。

下面以 L 形斜顶的热膨胀为例，如图 12-3 所示。

$110\text{mm} \times 50℃ \times 0.000011 = 0.06\text{mm}$

$80\text{mm} \times 50℃ \times 0.000011 = 0.044\text{mm}$

$60\text{mm} \times 50℃ \times 0.000011 = 0.033\text{mm}$

当热膨胀达到某配合的干涉部位时，可形成强大的顶针阻力，从而妨碍斜顶正常运行。如图 12-4 所示是大角度、大行程斜顶存在的缺点，所以一般斜顶的角度不能超过 12°，顶出行程越小越平稳。

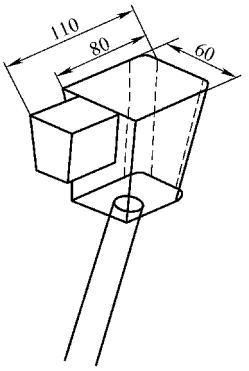


图 12-3　热膨胀原理图

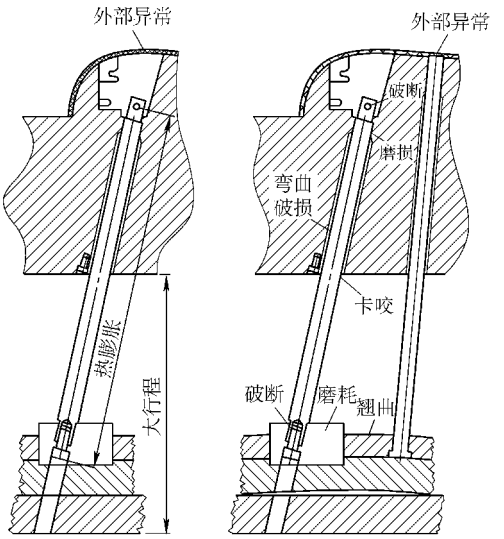


图 12-4　斜顶状况图

12.2　斜顶的设计要点

1. 斜顶行程的确定

如图 12-5 所示，斜顶行程的计算公式如下：

$$S_{顶} = S + K$$

式中　$S_{顶}$——斜顶行程；

S——倒扣深度；

K——安全值，一般取 1 ~ 2mm。

需要注意的是，斜顶实际可以移动的空间 L 需要大于 $S_{顶}$。

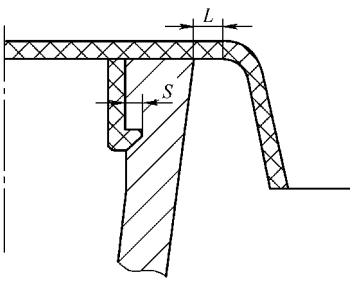


图 12-5　斜顶行程确定

2. 斜顶角度的确定

为避免成型斜顶在运动时由于受翻转力矩的作用而发生的烧坏，甚至卡死的问题，传统设计的斜顶角度 α 不能做的太大，一般不大于 12°，通常采用 $3° < \alpha < 8°$，采用特殊设计时，最大不超过 30°。

如图 12-6 所示，斜顶角度在确定斜顶行程及顶出行程后按下式求出：

$$\alpha = \arctan \frac{斜顶行程}{顶出行程}$$

按此式求得的 α 值一般比较小，应进位取整数值。

3. 斜顶的截面

如图 12-7 所示，斜顶的截面尺寸（$A \times B$）应满足斜顶的强度要求。一般来说斜顶长度大于 100mm，截面不能小于 3mm × 3mm；长度大于 200mm，截面不小于 6mm × 6mm；长度大于 300mm，截面不小于 9mm × 9mm。

4. 斜顶材料

截面小的斜顶要选择比较有韧性的材料，一般选择弹簧钢，同时为保证成型斜顶的强度

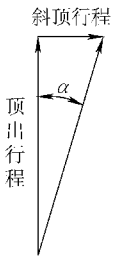


图 12-6　斜顶角度计算

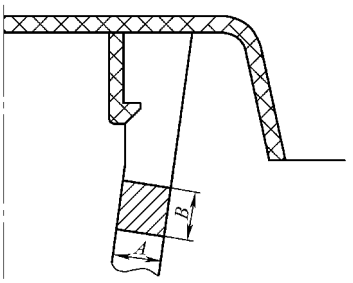


图 12-7　斜顶的截面

与耐磨性，应进行表面淬火处理（50HRC 以上）。截面大的斜顶材料可以选择 638，表面进行氮化处理（50HRC 以上）。

5. 斜顶的冷却

一般情况下如果斜顶的截面小于 80mm × 80mm，斜顶上可以不单独加开冷却水路，设计中有些斜顶截面较大，应单独加开冷却水路。

6. 保证斜顶运动顺畅

为了保证斜顶运动顺畅，通常斜顶滑动部分应加有油槽，如图 12-8 所示。

7. 避免制品滑伤

为使斜顶在顶出过程中，横向移动顺畅，避免制品表面划伤，在组装时，应使斜顶顶端最少低于型芯（或模板）表面 0. 05mm，如图 12-9 所示。

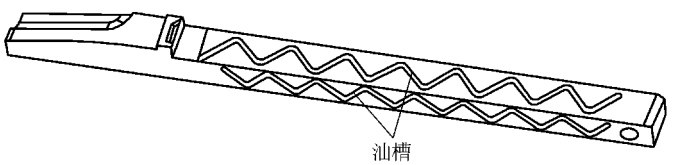


图 12-8　斜顶的油槽

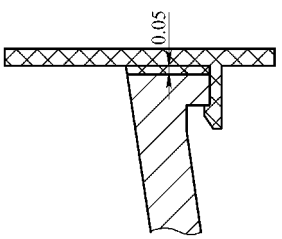


图 12-9　斜顶

12. 3　动模斜顶

12. 3. 1　同步顶出斜顶

同步顶出斜顶是指斜顶的顶出动作与注塑机的顶出动作是同步进行的。

1. 斜推杆平移式斜顶

斜推杆平移式斜顶是一种最为常见的机械顶出机构，一般分为单段式斜顶及两段式斜顶。

当斜顶截面尺寸比较小，为了防止太长造成的变形，或斜顶运动空间不够的场合，一般要做成两段式斜顶，可简化动模顶出机构。如图 12-10 所示的斜顶 5 属于单段式斜顶，斜顶 8 及顶杆 10 组成的两段式斜顶，顶出过程中，顶针面板 2 推动斜顶 5 及顶杆 10，同时顶杆 10 又作用于斜顶 8，促使斜顶 5、8 沿着动模镶件 7 的导向斜孔移动，这样斜顶 5、8 在沿顶

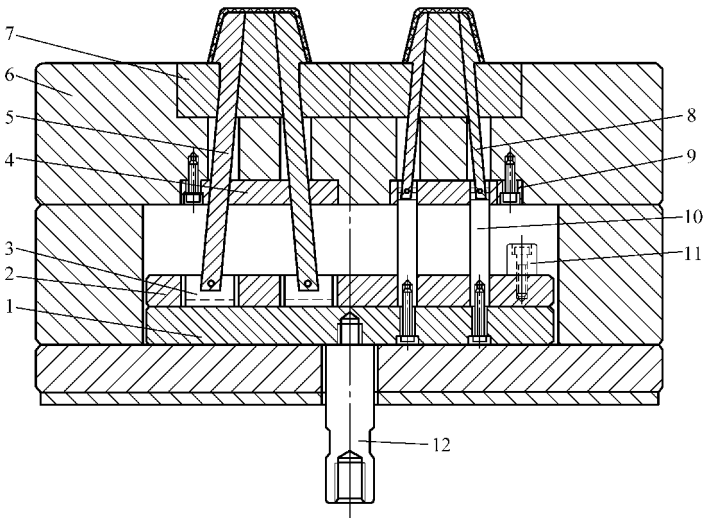


图 12-10　斜推杆平移式斜顶

1—顶针底板　2—顶针面板　3—斜顶滑块　4—导向块　5、8—斜顶　6—动模模板
7—动模镶件　9—导向块　10—顶杆　11—限位块　12—拉杆

出方向运动的时候，同时也向内侧运动，从而实现内侧抽芯。

合模时，由于注塑机拉杆 12 对顶针底板 1 的强拉作用，带动斜顶 5、顶杆 10 及斜顶 8 完成复位。

2. 直推杆平移式斜顶

当斜顶运动空间不够的场合，采用直推杆平移式斜顶，亦可简化动模顶出机构。如图 12-11 所示，顶出过程中，当斜顶 2 移动 L 距离后，斜顶 2 的斜面 A 已脱开动模镶件 4 的端面，继续顶出，斜顶 2 的斜面 B 与动模镶件 4 接触，并迫使斜顶 2 向抽芯方向移动，从而在顶出制品的同时，完成内侧抽芯。

合模时，由斜顶 2 的斜面 A 使其复位。

需要注意的是：$L > L_1 \quad S > h \quad S_1 > S$

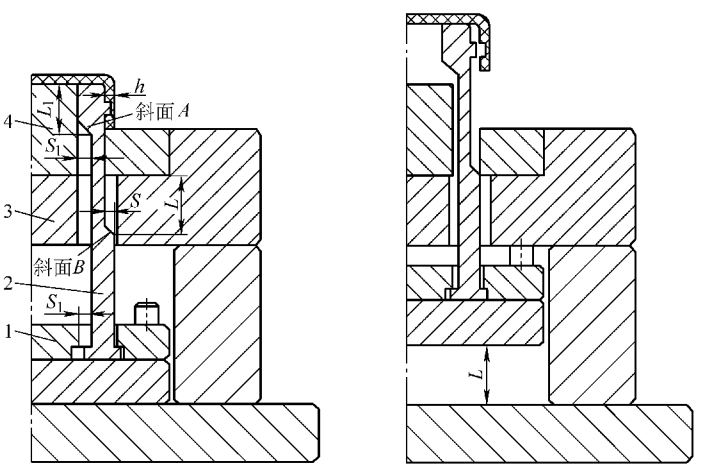


图 12-11　直推杆平移式斜顶

1—顶针面板　2—斜顶　3—动模板　4—动模镶件

3. 摆杆式斜顶

如图 12-12 所示，此机构适用于所需抽芯距较短的场合。

摆杆式斜顶 4 由轴 3 安装于顶针面板中。顶出过程中，摆杆式斜顶 4 移动 L 距离时，摆杆式斜顶 4 的斜面 A 已脱开动模镶件 6 的端面，继续顶出，则摆杆式斜顶 4 的斜面 B 与动模镶件 6 接触并使其摆动，从而完成抽芯。

合模时，由摆杆式斜顶 4 的斜面 A 使其复位。

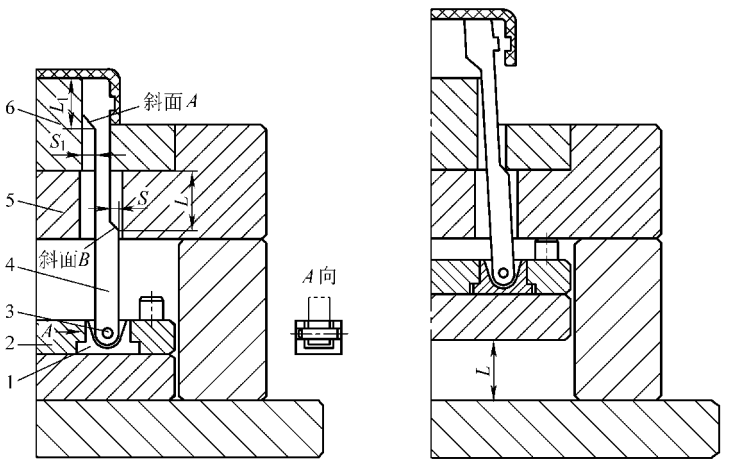


图 12-12　摆杆式斜顶

1—斜顶固定座　2—顶针面板　3—轴　4—摆动式斜顶　5—动模板　6—动模镶件

4. 弹性斜顶

如图 12-13 所示，此机构适用于所需抽芯距较短且成型面比较小的场合。

弹性斜顶 4 由螺钉固定在顶杆底板中。顶出过程中，弹性斜顶 4 移动 L_3 距离时，当弹性斜顶 4 的支撑面逐渐脱开动模板 6 的作用面，由于弹性斜顶 4 一般由弹簧钢制造，顶出时，将释放弹性，从而逐渐脱离制品的倒扣部位而完成抽芯动作。

合模时，由弹性斜顶 4 的支撑面使其复位。

需要注意的是：$L_1 \geqslant \frac{1}{3}L_2$　$L_3 \leqslant L_2$　$L_4 \geqslant 15\text{mm}$。

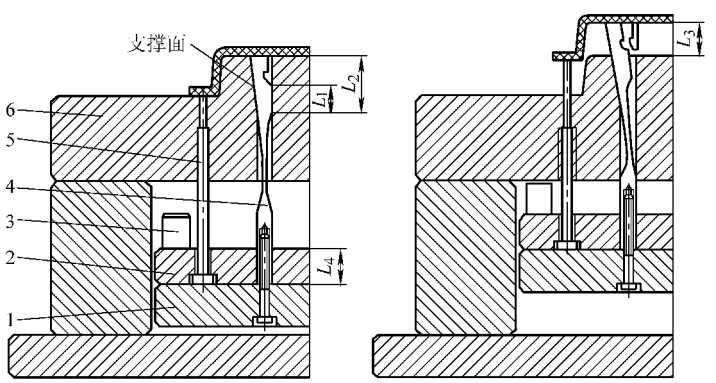


图 12-13　弹性斜顶

1—顶杆底板　2—顶杆面板　3—限位柱　4—弹性斜顶　5—顶杆　6—动模板

5. 自带式斜顶

如图 12-14 所示，此机构适用于所需抽芯距较短的狭小斜顶场合。

顶出过程中，顶杆 3 推出制品，制品依靠顶出力的作用带动斜顶 6 沿着斜面导向 T 槽移动，顶出制品的同时也脱离倒扣部位，这种方式结构简单，但安全距离比较小，如果制品变形，脱模比较困难。

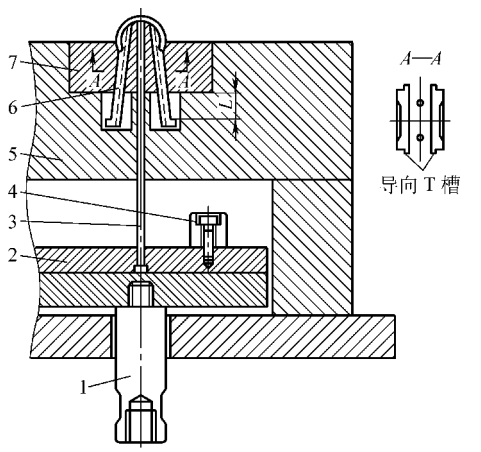


图 12-14　自带式斜顶

1—拉杆　2—顶杆面板　3—顶杆　4—限位柱
5—动模板　6—斜顶　7—动模镶件

6. 斜顶内布置顶针

由于制品对斜顶的抱紧力作用，容易粘斜顶，导致变形、拉伤不良情况。比较有效的防止措施，可以在斜顶内设置顶针，如图 12-15 所示。

顶针 2 由压板 3 固定在斜顶 4 中。顶出过程中，顶针板 7 推动滚轮 6 及斜顶 4，使其沿着动模镶件 10 的斜孔运动，当顶出 L_1 距离时，由于顶针 2 受到动模镶件 10 直段的顶住作用，顶针始终顶住制品，斜顶逐渐脱离制品。继续顶出，顶针 2 脱离动模镶件后，由压缩状态的弹簧 1 推动顶针，使得顶针同斜顶一起完全脱离制品。

合模时，由动模镶件 10 的圆弧面使其复位。

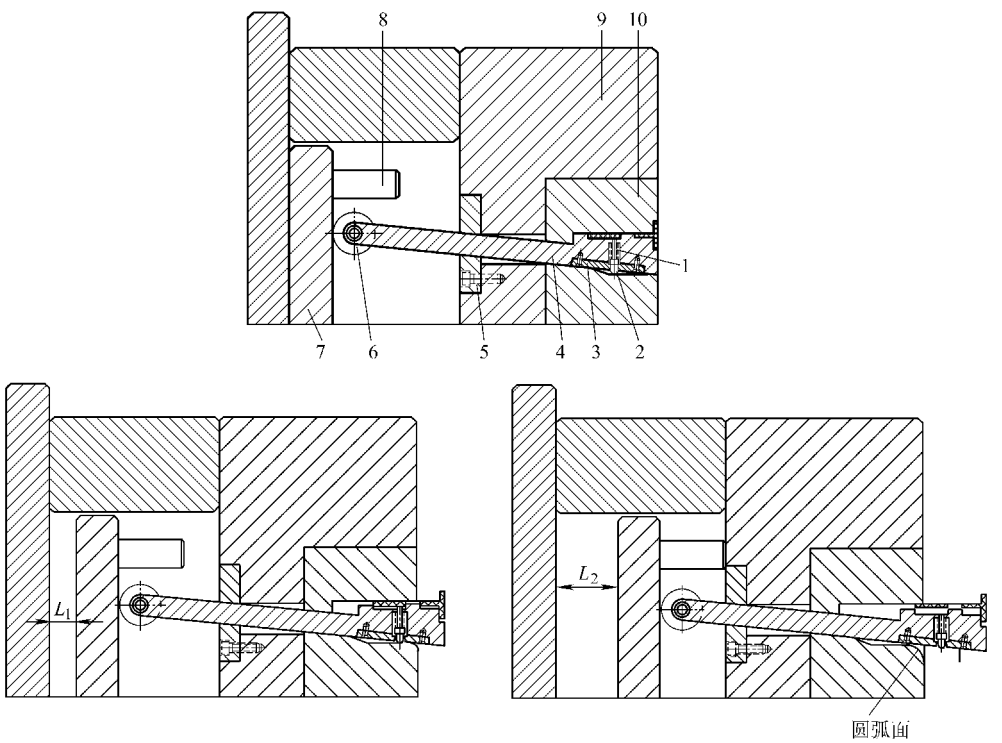


图 12-15　斜顶内布置顶针

1—弹簧　2—顶针　3—压板　4—斜顶　5—导向块　6—滚轮　7—顶针板　8—限位柱　9—动模板　10—动模镶件

12.3.2　超前顶出斜顶

当制品倒扣方向与水平方向呈上升角度，如图 12-16 所示，斜顶的顶出动作需要比注塑机的顶出动作来得超前，才能安全脱出，如图 12-17 所示。

斜顶座 8 固定在顶针面板 6 中。顶出过程中，注塑机推动顶针板移动，斜顶滑块 5 一边沿着斜顶孔移动，一边沿着斜顶座 8 的 T 形槽做上升移动，使得斜顶 3 的顶出速度超前于注塑机的顶出动作。当顶出 H 距离时，斜顶平移 S 距离脱离制品倒扣，从而完成抽芯动作。

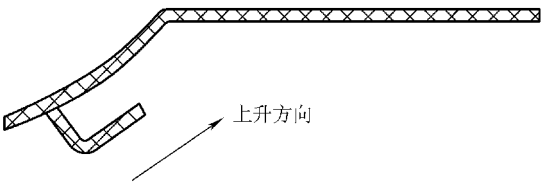


图 12-16　超前顶出制品图

合模时，由注塑机拉动顶针板，由固定在顶针面板 6 上的斜顶座强拉使得斜顶复位。

设计要点：

1）斜顶下落角度必须大于等于制品上升方向角度，避免斜顶沿斜顶座导向 T 形槽滑动时有倒扣，导致卡死现象。

2）斜顶行程 S 必须要大于实际倒扣量 2mm（安全量）以上。

3）$L \geqslant S_1 + 3$，避免斜顶滑块 5 在滑动过程中与顶针面板 6 干涉。

4）$H_1 \geqslant H + 5$，避免斜顶滑块与动模板干涉。

超前斜顶的几何模型如图 12-18 所示，则

斜顶上升行程：

$$S_1 = \frac{S}{\sin B}$$

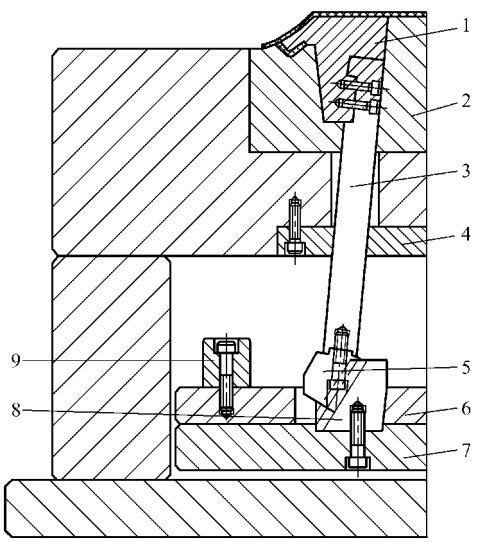


图 12-17　超前顶出斜顶机构

1—斜顶型芯　2—动模镶件　3—斜顶　4—导向块
5—斜顶滑块　6—顶针面板　7—顶针底板
8—斜顶座　9—限位块

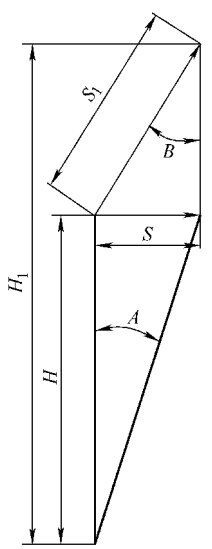


图 12-18　超前斜顶几何模型

注塑机顶出行程：

$$H = \frac{S}{\tan A}$$

斜顶顶出行程：

$$H_1 = S_1 \times \cos B + \frac{S}{\tan A}$$

式中　S——斜顶水平方向行程；

S_1——斜顶上升行程；

A——斜顶角度；

B——斜顶上升角度；

H_1——斜顶顶出行程；

H——注塑机顶出行程。

12.3.3　滞后顶出斜顶

当制品倒扣方向与水平方向呈下落角度，如图 12-19 所示，斜顶的顶出动作需要比注塑机的顶出动作来得滞后，才能安全脱出，如图 12-20 所示。

斜顶座 8 固定在顶针面板 6 中。顶出过程中，注塑机推动顶针板移动，斜顶滑块 5 一边沿着斜顶孔移动，一边沿着斜顶座 8 的 T 形槽做下落移动，如图 12-21 所示，使得斜顶 3 的顶出速度滞后于注塑机的顶出动作。当顶出 H 距离时，斜顶平移 S 距离脱离制品倒扣，从而完成抽芯动作。

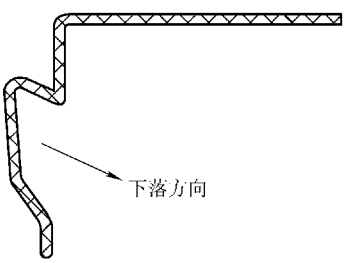


图 12-19　滞后顶出制品图

合模时，由注塑机拉动顶针板，由固定在顶针面板 6 上的斜顶座强拉使得斜顶复位。

设计要点：

1）斜顶下落角度必须大于等于制品下落方向角度，避免斜顶沿斜顶座导向 T 槽滑动时有倒扣，导致卡死现象。

2）斜顶行程 S 必须要大于实际倒扣量 2mm（安全量）以上。

3）$L \geqslant S_1 + 3$，避免斜顶滑块 5 在滑动过程中与顶针面板 6 干涉。

4）$H \geqslant H_1 + 5$，避免斜顶滑块与动模板干涉。

滞后斜顶的几何模型如图 12-21 所示，则

斜顶下滑行程：

$$S_1 = \frac{S}{\sin B}$$

注塑机顶出行程：

$$H = S_1 \times \cos B + \frac{S}{\tan A}$$

斜顶顶出行程：

$$H_1 = \frac{S}{\tan A}$$

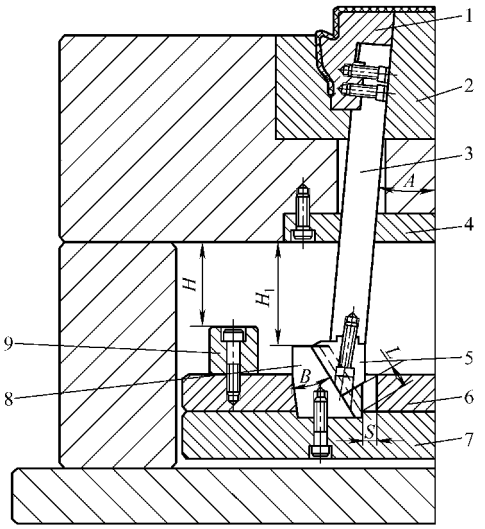


图 12-20　滞后顶出斜顶机构

1—斜顶型芯　2—动模镶件　3—斜顶　4—导向块
5—斜顶滑块　6—顶针面板　7—顶针底板
8—斜顶座　9—限位块

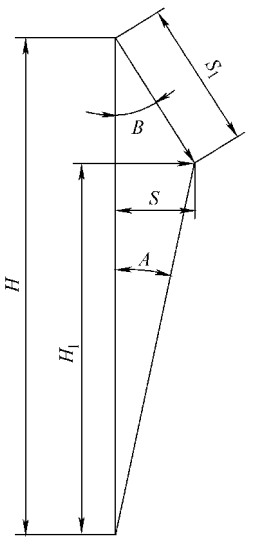


图 12-21　滞后斜顶几何模型

式中　S——斜顶水平方向行程；

S_1——斜顶下滑行程；

A——斜顶角度；

B——斜顶下滑角度；

H_1——斜顶顶出行程；

H——注塑机顶出行程。

12.4　定模斜顶

1. 靠破复位

如图 12-22 所示，开模时，定模斜顶 6 由处于压缩状态的弹簧 2 弹开，使得定模斜顶 6 沿着定模镶件 5 中的斜孔移动，这样定模斜顶 6 在沿顶出方向运动的时候，同时也向内侧运动，从而实现内侧抽芯。

合模时，由定模斜顶 6 与动模镶件的靠破面使其复位。

2. 复位杆复位

如图 12-23 所示，定模斜顶 8 由轴 7 安装于顶针面板 4 中。开模时，定模斜顶 8 由处于压缩状态的弹簧 2 弹开，使得定模斜顶 8 沿着定模镶件 9 中的斜孔移动，这样定模斜顶 8 在沿顶出方向运动的时候，同时也向内侧运动，从而实现内侧抽芯。

合模时，由复位杆 5 与动模分型面对碰使其复位。

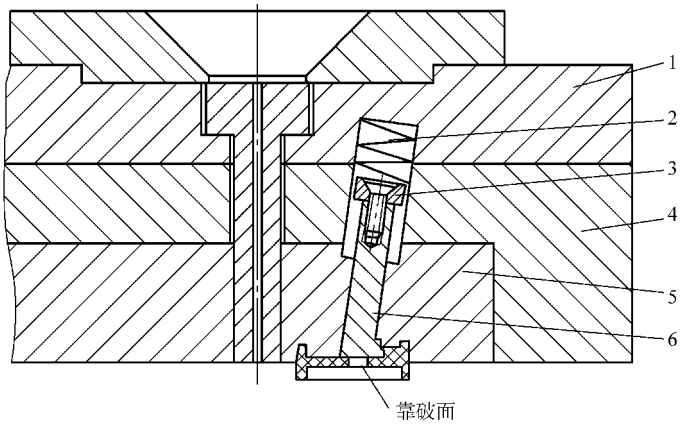


图 12-22　靠破复位

1—面板　2—弹簧　3—限位块　4—定模板　5—定模镶件　6—定模斜顶

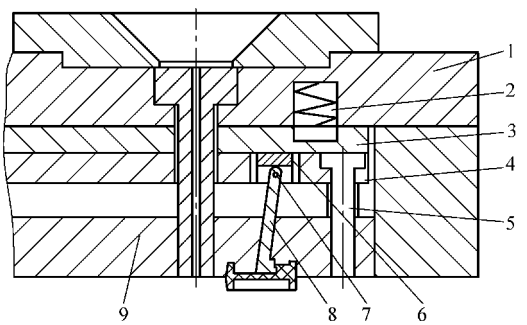


图 12-23　复位杆复位

1—面板　2—弹簧　3—顶针底板　4—顶针面板　5—复位杆
6—斜顶滑块　7—轴　8—定模斜顶　9—定模镶件

12.5　滑块斜顶

与抽芯方向存在某一定角度的凹、凸形状等倒扣时，在成型后凹穴和凸台的形状将会阻碍抽芯动作，需要将这些倒扣形状做成可以移动的组件，抽芯时先将成型凹、凸形状的组件有序地顶出，脱离倒扣后，再由滑块机构带动可移动组件一起抽芯，把这种机构称为滑块斜顶机构。

如图 12-24 所示，合模状态时，由于两组斜顶 4 的合模面相互作用，斜顶 4 固定在滑块 5 中。抽芯时，滑块 5 沿着抽芯方向移动，合模面分开，由压缩状态的弹簧 2 弹开斜顶 4，使得斜顶 4 沿着滑块 5 中的斜孔移动，这样斜顶 4 在沿顶出方向运动的时候，同时也向顶侧运动，从而率先实现内侧抽芯，由限位块 3 限位。最后，由滑块 5 带动斜顶 4 一起抽芯。

合模时，由斜顶 4 的合模面使其复位。

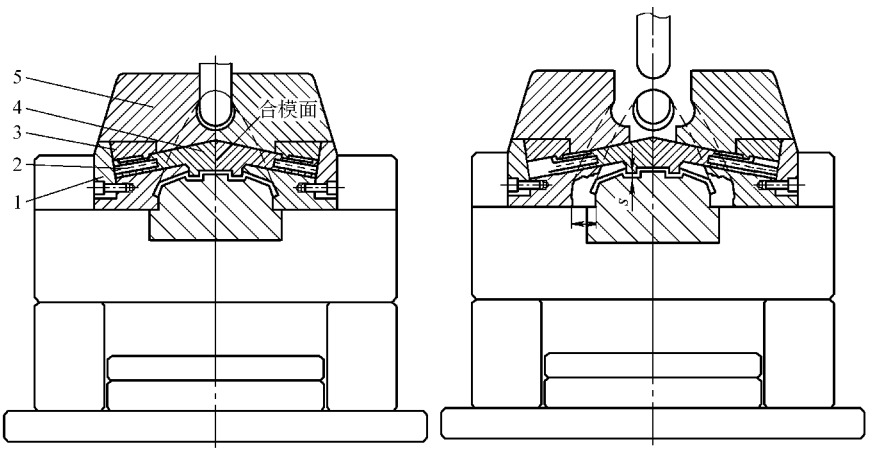


图 12-24　滑块斜顶

1—压块　2—弹簧　3—限位块　4—斜顶　5—滑块

第 13 章　脱螺纹机构

13.1　脱螺纹机构的分类

1. 外螺纹脱出机构

制品的外螺纹脱出机构可分为两类方法：侧抽芯机构及螺纹型环脱螺纹机构。

（1）侧抽芯机构　适合于制品外螺纹允许有拼缝或夹痕，模具精度较差，还可能带有不易去除的飞边，但结构简单，工效高，是常用的一种机构。

（2）螺纹型环脱螺纹机构　适用于制品同轴度要求比较严格，外螺纹由螺纹型环脱螺纹机构成型的。螺纹型环脱螺纹质量高，但模具相对复杂，跟内螺纹的脱螺纹机构一致。

2. 内螺纹脱出机构

制品的内螺纹脱出机构也可分为三类方法：强制脱模、旋转脱螺纹机构及顶出脱螺纹机构。

（1）强制脱模　在制品的树脂塑性变形允许的情况下，采用强行脱出的方法。

（2）旋转脱螺纹机构　螺纹较深、树脂强度高、螺纹精度要求高的制品，必须采用旋转脱出的方法。在旋转脱螺纹结构中又分为手动脱出和自动脱出两种机构。手动脱螺纹生产效率低，但模具结构简单，适应小批量生产；自动脱螺纹效率高，质量稳定，适应大批量及自动化生产。在自动旋转脱螺纹模具结构中，必须解决结构设计的可靠性、稳定性及实用性等问题。

（3）顶出脱螺纹机构　当螺纹制品的导程很大，螺纹不自锁，在受到外力作用下，将产生一个回转扭力，使制品脱离螺纹型芯。

13.2　脱螺纹的原理

螺纹的自锁：与外力大小无关而与螺纹摩擦角有关的平衡条件称为自锁条件，制品在这种条件下的平衡现象称之自锁现象。

如图 13-1 所示为螺纹力学自锁模型，螺纹的自锁条件相当于斜面的自锁条件，因为螺纹可以看成为绕在一圆柱体上的斜面，导程角就是斜面的倾角 α（$\tan\alpha$ = 导程 ÷（公称直径 × π））。螺纹制品相当于斜面上的滑块 A，螺纹制品受到轴向载荷 G（重力，竖直向下）、斜面法向反力 N（垂直斜面向上）及摩擦力 f 的作用（沿着斜面向上）。

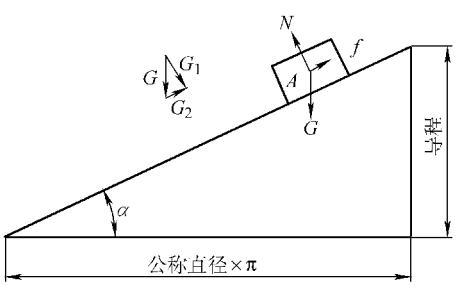


图 13-1　自锁模型

当摩擦力 f 达到最大值 f_{max} 时，这时的夹角 α

也达到最大值，夹角 α 称为摩擦角。当物体处于摩擦角范围内，作用于物体的分力 G_2 小于或等于摩擦力 f，则无论 G 怎样大，摩擦力可在零与最大值之间变化，总能与分力 G_2 平衡，物体保持静止；反之，当摩擦角大于其临界值，作用于物体的分力 G_2 大于摩擦力 f，则无论这个力多么小，物体也不可能保持平衡。这种与力大小无关而与摩擦角有关的平衡条件称为自锁条件。物体在这种条件下的平衡现象称之自锁现象。从以上分析，螺纹的自锁现象取决于螺纹的公称直径及导程的大小。一般情况下，导程角 <35°，螺纹具备自锁的功能。

脱螺纹的情况可分为两种：当螺纹处于自锁时，对于具有弹性的塑料，螺纹较浅，在不破坏其树脂强度的前提下，对制品施加一个跟重力相反的轴向推力，亦能脱螺纹。对于螺纹较深、树脂强度高、螺纹精度要求高的制品，需要施加旋转力才能使制品沿着螺旋轨迹进行旋转，从而克服自锁的作用脱螺纹；当螺纹不具备自锁功能，直接施加轴向推力，就能使制品自行旋转的同时进行轴向移动，从而脱螺纹。

13.3　脱螺纹机构的基础知识

13.3.1　螺纹的要素

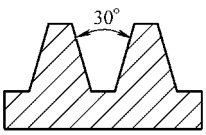
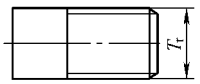
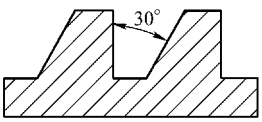
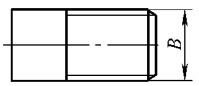
1. 牙型

螺纹的牙型是指沿螺纹轴线剖开螺纹后所得到的轮廓形状。常见的有三角形（60°、55°）、梯形、锯齿形和矩形等，参看表 13-1。

表 13-1　常用螺纹的种类和标注

类型		牙型放大图	特征代号	标注示例	用途及说明
普通螺纹	粗牙	60°	M	M	最常用的一种连接螺纹，直径相同时，细牙螺纹的螺距比粗牙螺纹的螺距小，粗牙螺纹不标注螺距
	细牙			M	
管螺纹	非螺纹密封	55°	G	G	管道连接中的常用螺纹，螺距及牙型均较小，其尺寸代号以英寸为单位。螺纹的大径应从有关标准中查出，代号 R 表示圆锥外螺纹，R_c 表示圆锥内螺纹，R_p 表示圆柱内螺纹
	螺纹密封	55°	R_c R_p R	R_c	

（续）

类型	牙型放大图	特征代号	标注示例	用途及说明
梯形螺纹		T_r		常用的两种传动螺纹，用于传递运动和动力，梯形螺纹可传递双向动力，锯齿形螺纹用来传递单向动力
锯齿形螺纹		B		

2. 公称直径

螺纹的直径有小径（d_1、D_1）、中径（d、D）和大径（d_2、D_2），如图 13-2 所示。

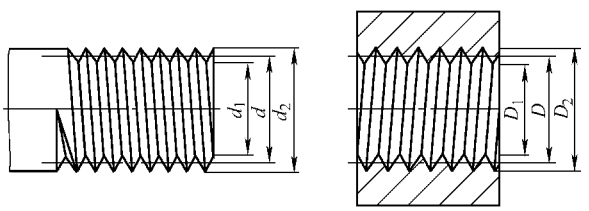


图 13-2　螺纹公称直径

大径是指与外螺纹牙顶或内螺纹牙底相切的假想圆柱或圆锥的直径。

小径是指与外螺纹牙底或内螺纹牙顶相切的假想圆柱或圆锥的直径。

中径是指假想圆柱或圆锥的母线通过牙型上沟槽和凸起宽度相等的假想圆柱或圆锥的直径。

公称直径是代表螺纹尺寸的直径，又称平均直径，一般指中径。

3. 线数 *n*

（1）单线螺纹　沿一条螺旋线所形成的螺纹称为单线螺纹。紧固用途多使用单头螺纹（自锁性好）。

（2）多线螺纹　沿两条或两条以上螺旋线所形成的螺纹称为多线螺纹。公称直径、螺距一样的螺纹，头数越多升角越大，旋进越快，但是自锁性能越差。传动用途多用多头螺纹（效率高），如图 13-3 所示。

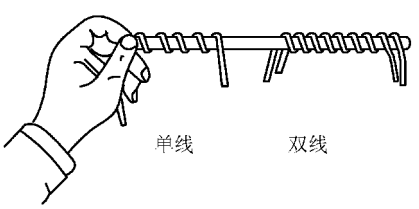


图 13-3　螺纹的线数

4. 螺距 *P* 和导程 *S*

（1）螺距　螺纹相邻两牙对应点之间的轴向距离称为螺距，用 P 表示。

（2）导程　同一条螺纹上的两对应点间的轴间距离称为导程，用 P_n 表示。

导程与螺距的关系是：导程 P_n = 螺距 P × 线数 n。若是单线螺纹，则导程 P_n = 螺距 P，如图 13-4 所示。

（3）导程角　也叫螺纹升角，是螺纹的中径展开的圆周线与螺旋线的夹角。$\tan\alpha$ = 导程 ÷（公称直径 × 3.14）。

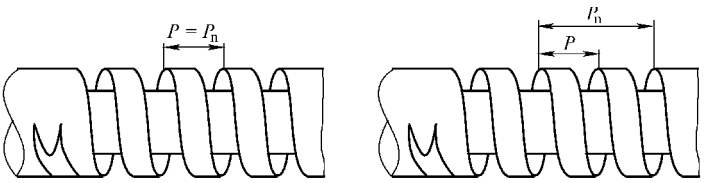


图 13-4　螺纹的螺距与导程

5. 旋向

顺时针旋转时旋入的螺纹，称右旋螺纹；逆时针旋转时旋入的螺纹，称左旋螺纹，如图 13-5 所示。在生产实际中右旋螺纹用得较多。

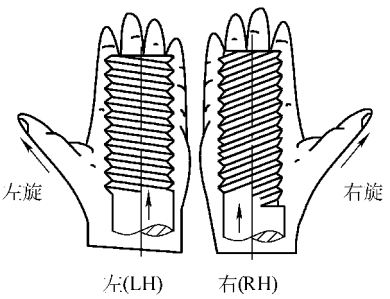


图 13-5　螺纹的旋向

13.3.2　齿轮

齿轮在机器中用来传递动力和运动，改变转速和运动方向，是机械中应用最为广泛的传动件。齿轮的性能参数中，只有模数和压力角已标准化，故它属于常用件。

1. 脱螺纹机构常见齿轮传动形式

（1）圆柱齿轮　用于平行两轴之间的传动。

（2）锥齿轮　用于相交两轴之间的传动。

（3）蜗杆与蜗轮　主要用于垂直交叉两轴之间的传动。

（4）齿条传动　主要用于垂直交叉两轴之间的传动。

2. 齿轮的参数

模具的卸螺纹机构中大多应用的是直齿圆柱齿轮，而且一般都是渐开线直齿圆柱齿轮，因此下面就以渐开线直齿圆柱齿轮为研究对象。

（1）齿轮传动的基本要求

1）要求瞬时传动比恒定不变。

2）要求有足够的承载能力和较长的使用寿命。

（2）直齿圆柱齿轮啮合基本定律

两齿轮廓不论在何处接触，过接触点所作的两啮合齿轮的公法线，必须与两轮连心线相交于一点“C”，这样才能保证齿轮的瞬时传动比不变。将所有“C”点连起来就成了 2 个外切圆，称之为分度圆，分度圆圆心距即齿轮圆心距，如图 13-6 所示。

（3）渐开线直齿圆柱齿轮参数，如图 13-7 所示。

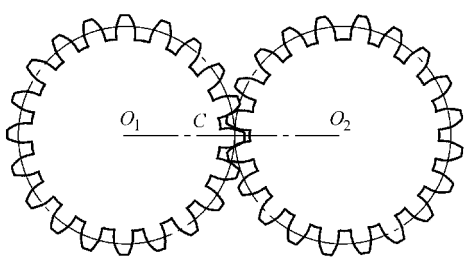


图 13-6　直齿圆柱齿轮啮合

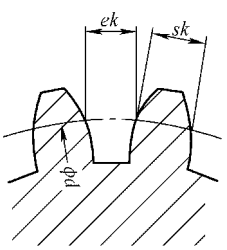


图 13-7　渐开线直齿圆柱齿轮参数

分度圆直径—“d”表示
分度圆周长—“S”表示
齿轮齿距—“p”表示
齿轮齿厚—“sk”表示
齿轮齿槽宽—“ek”表示
齿轮齿数—“z”表示
齿轮模数—“m”表示
齿轮压力角—“α”表示
齿轮传动比—“i”表示
齿轮中心距—“l”表示

（4）计算公式　齿轮参数的计算公式如下。

1）节圆直径 d'和分度圆直径 d。在两啮合齿轮中，连心线 O_1O_2 上两相切的圆称为节圆，代号为 d_1'和 d_2'。在单个齿轮中，在齿顶圆与齿根圆之间，使齿厚 sk 与槽宽 ek 的弧长相等的圆称为分度圆，其直径以 d 表示。两标准齿轮正确啮合时，节圆直径 d'和分度圆直径 d 相重合，即 $d'=d$。

2）齿距 p 和齿厚 s。分度圆上相邻两齿对应点之间的弧长，称为分度圆齿距，以 p 表示。两啮合齿轮的齿距应相等。每个轮齿齿廓在分度圆上的弧长，称为分度圆齿厚，以 sk 表示。一个齿槽间在分度圆上的弧长称槽宽，以 ek 表示。在标准齿轮中，$sk=ek$，$p=sk+ek$。

3）齿数 z 和模数 m。用 z 表示齿轮的齿数，则分度圆周长：$L=zp=\pi d$，$d=zp/\pi$。取 $m=p/\pi$，则 $d=mz$。式中 m 称为齿轮的模数。两啮合齿轮的齿距必须相同，即模数 m 必须相同。模数 m 增大，则齿距 p 也大，随之齿厚 sk 也大，因而齿轮的承载能力也增大。

当传动中心距一定时，齿数越多，传动越平稳，噪声越低。但齿数多，模数就小，齿厚也小，致使其弯曲强度降低，因此在满足齿轮弯曲强度条件下，尽量取较多的齿数和较小的模数。为避免干涉，齿数一般取 $z\geqslant17$，螺纹型芯的齿数尽可能少，但最少不少于 14 齿，且最好取偶数。

制造齿轮时，齿轮刀具是根据模数而定的。为了便于设计和加工，模数的数值已系列化（标准化），其数值如表 13-2 所示。

表 13-2　齿轮模数系列

第一系列	1　1.25　1.5　2　2.5　3　4　5　6　8　10　12　16　20　25　32　40　50
第二系列	1.75　2.25　2.75（3.25）　3.5（3.75）　4.5　5.5（6.5）　7　9（11）　14　18　22　28　36　45

注：优先选用第一系列；其次选用第二系列，括号内的尽量不用。

4）压力角。两齿轮圆心连线的节点 C 处，齿廓曲线的公法线与两节圆的内公切线之间的夹角，称为压力角。我国标准齿轮的压力角为 20°。

5）传动比。当模数一定时，传动比为主动齿轮转速 n_1 与从动齿轮转速之比 n_2，或从动齿轮齿数 z_2 与主动齿轮齿数 z_1，即 $i=\dfrac{z_2}{z_1}$。

传动比在高速重载或开式传动情况下推荐选择质数，目的为避免失效集中在几个齿上。传动比还与选择哪种驱动方式有关系，比如用齿条＋锥度齿或来福线螺母这两种驱动时，因传动受行程限制，需大一点，一般取 $1\leqslant i\leqslant5$；当选择用液压缸或电动机时，因传动无限制，

既可以结构紧凑点节省空间，又有利于降低电动机的瞬间起动力，还可以减慢螺纹型芯旋转速度，一般取 $0.25 \leqslant i \leqslant 1$。

6）中心距。当齿数确定时，中心距 $I = \frac{z_1 + z_2}{2} \times m + \delta$。其中 δ 为间隙值，其作用是为了防止两齿轮之间咬死，一般 $\delta \geqslant 0.1\text{mm}$。

3. 齿轮啮合条件

模数和压力角相同的齿轮都可以正确啮合。

13.3.3　链轮

链传动是应用较广的一种机械传动。它是由链条和主、从动链轮所组成，如图 13-8 所示。链轮上制有特殊齿形的齿，依靠链轮轮齿与链节的啮合来传递运动和动力。

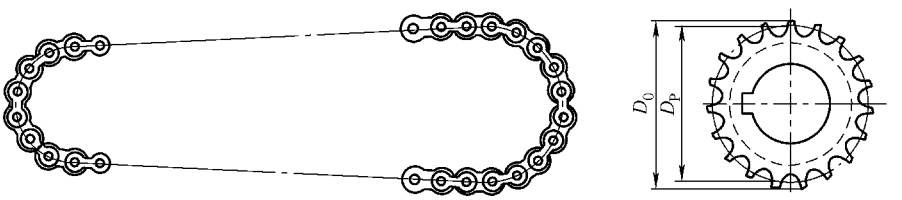


图 13-8　链条与链轮

a）链条　b）链轮

链传动主要用在工作要求可靠，且两轴相距较远，以及其他不宜采用齿轮传动的场合。与齿轮传动相比，链传动的制造与安装精度要求较低，成本低廉；在远距离传动（中心距离最大可达十多米）时，其结构比齿轮传动轻便得多。链传动的主要缺点是：在两根平行轴间只能用于同向回转的传动；运转时不能保持恒定的瞬时传动比；磨损后易发生跳齿；工作时有噪声；不宜在载荷变化很大和急速反向的传动中应用。

链轮参数有：p——节距

d——分度圆直径

Z——链轮齿数

链轮分度圆计算公式：$d = \dfrac{P}{\sin\left(\dfrac{180^\circ}{Z}\right)}$

节距为标准值：8，9.525，12.7，15.875，19.05，25.4，31.75，38.1，44.45，50.8…

13.3.4　键

键是用来连接主轴与装在轴上的转动零件（齿轮、链轮），起传递转矩作用。它的一部分被安装在轴的键槽内，另一凸起部分则嵌入轮毂槽内，使两个零件一起转动，如图 13-9 所示。

脱螺纹机构应用较广的键是普通平键，按形状可分为圆头平键、方头平键及单圆头平键，如图 13-10 所示。

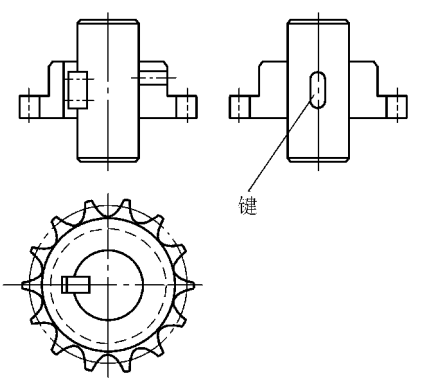


图 13-9　键

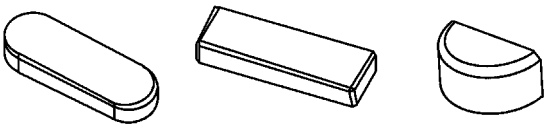


图 13-10　平键形状

a）圆头平键　b）方头平键　c）单圆头平键

13.3.5　轴承

滚动轴承是用来支承轴的部件，它具有摩擦阻力小，结构紧凑，旋转精度高等特点，是应用极为广泛的标准件。

滚动轴承的种类很多，但它们的结构大致相同，一般由外圈、内圈、滚动体及隔离圈组成，在一般情况下，外圈的外表面与机座的孔相配合，固定不动，而内圈的内孔与轴颈相配合，随轴转动。

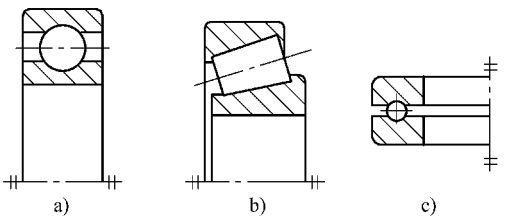


图 13-11　滚动轴承

a）深沟球轴承　b）圆锥滚子轴承　c）推力球轴承

按承受载荷的性质，滚动轴承可分为三类（如图 13-11 所示）。

（1）向心轴承　主要承受径向载荷，也可承受一定轴向负荷，如深沟球轴承。

（2）向心推力轴承　同时承受径向及轴向载荷，如圆锥滚子轴承。

（3）推力轴承　只能承受轴向载荷，如推力球轴承。

13.3.6　轴向定位和固定零件

为了防止主轴或者轴承在轴上发生不必要的轴向移动，应作轴向紧固作用。轴向紧固包括轴向定位和轴向固定。

1. 轴向定位

镶件 2 与镶件 4 的接触面是可分离的，为了防止轴承发生轴向移动，一般靠主轴 1 的挡肩定位，如图 13-12 所示。

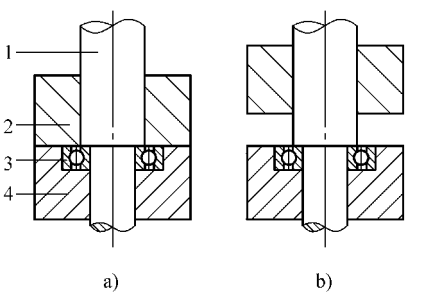


图 13-12　挡肩定位

a）合模状态　b）开模状态

1—主轴　2—镶件 *a*　3—轴承　4—镶件 *b*

2. 轴向固定

为了使主轴或轴承始终处于定位面所限定的位置上。两端固定的支承结构中，每个支承端只受单向轴向载荷，故只需从一个方向加以轴向固定。固定 – 游动支承中，固定端承受双向轴向载荷，故需双向轴向固定。游动端应根据轴承类型和游动方式采用不同的固定结构。

由于脱螺纹机构转速很低，所受的轴向载荷较小，内圈多采用弹性挡圈、锁紧螺母等；外圈多采用孔用弹性挡圈、止动环等。其中轴用弹性挡圈与孔弹性挡圈在脱螺纹机构中最为常见，如图 13-13 所示。

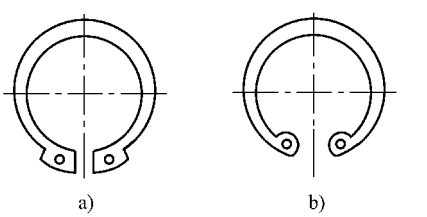


图 13-13　弹性挡圈

a）轴向弹性挡圈　b）孔用弹性挡圈

13.3.7　弹簧

弹簧是一种标准件，可用来减震、夹紧、复位及测力等。其特点是在外力去掉后能立即恢复原状。在脱螺纹机构中常用作顶出动力源。

13.4　螺纹制品设计

1. 螺纹尺寸精度

制品上的螺纹可以在注塑时直接成型，也可以用后加工的办法机械切削，在经常装拆和受力较大的地方则应该采用金属的螺纹嵌件。

原则上螺纹尺寸应选较大者，螺纹直径较小时就不宜采用细牙螺纹，特别是用纤维或布基作填料的塑料成型的螺纹，其螺牙尖端部分常被强度不高的纯树脂所充填，如螺牙过细将会影响使用强度。制品上的螺纹的选用可参考表 13-3 所示。

表 13-3　制品上螺纹的选用范围

螺纹公称直径 /mm	螺　纹　种　类				
	公制标准螺纹	1 级细牙螺纹	2 级细牙螺纹	3 级细牙螺纹	4 级细牙螺纹
3 以下	+	–	–	–	–
3 ~ 6	+	–	–	–	–
6 ~ 10	+	+	–	–	–
10 ~ 18	+	+	+	–	–
18 ~ 30	+	+	+	+	–
30 ~ 50	+	+	+	+	+

注：“ – ”为建议不采用的范围

注塑的螺纹达不到高精度，一般低于 GB3 级，螺纹大径不能小于 2mm。如果模具的螺纹牙距未加上收缩值，则塑料螺纹与金属螺纹的配合长度就不能太长，一般不大于螺纹直径的 1.5 倍，否则会因收缩值不同而互相干涉造成附加内应力，使连接强度降低。

2. 止转花纹设计

螺纹型芯或型环要脱离制品，必须相对制品作回转运动，如果螺纹型芯或型环在转动时制品跟着一起转动，则螺纹型芯或型环是脱不出制品的，因此制品必须止转，即不随螺纹型芯或型环一起转动。为了达到这个要求，制品的外形或端面上需带有防止转动的花纹或图案，如图 13-14 所示。

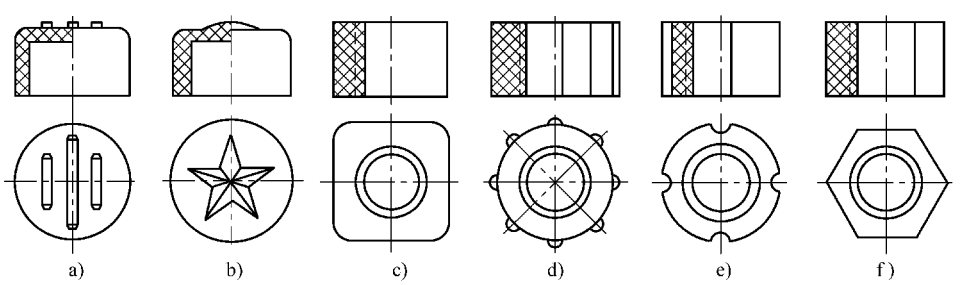


图 13-14　制品防转动的花纹

3. 对模具要求

模具要有相应止转机构来防止制品跟着螺纹型芯转动，一般制品的止转机构与螺纹型芯设计在模具的同一侧。

比如当制品的止转机构的型腔与螺纹型芯同时设计在动模上时，型腔就可以保证不使制品转动。但是当型腔不可能与螺纹型芯同时设计在动模上时，如型腔在定模，螺纹型芯在动模，动、定模一分型，制品就脱离定模型腔，即使制品外形有防转的花纹，这时也不起作用了，制品留在螺纹型芯上和它一起转动，不能脱模，因此在设计模具时要考虑止转机构。

4. 螺纹制品配合

塑料螺纹强度约为钢制螺纹强度的 1/10 ~ 1/5，而且螺牙的正确性较差。如果两个互相配合的螺纹制品的材料，成型方法相同，则问题一般不大。如果是塑料螺纹与钢制螺纹配合，则螺纹的配合长度应不大于螺纹直径的 1.5 倍。螺纹配合长度长、螺距方向的收缩量大，就有影响螺纹制品使用的危险。螺纹制品的收缩率的取值需要考虑以下几个因素：

1）当制品外螺纹与制品内螺纹相配合，二者收缩率相同（例如内外螺纹由同种塑料制造）或相近，为了加工的简便，这时收缩率也可以不用考虑。

2）当制品螺纹与金属螺纹相配合，但是配合长度很短（一般不超过 7 ~ 8 牙），成型模具也可不考虑螺距收缩率，通过增大中径间隙来弥补，计算公式为 $P_2 = P_1 + \dfrac{t}{n-1}$，如图 13-15所示。

式中　P_1——螺纹制品螺距的尺寸；

P_2——金属螺纹的尺寸；

t——最大的牙间隙；

n——消除间隙的齿数。

3）当制品螺纹与金属螺纹相配合，配合牙数比较多时，模具的螺纹除了在直径方向必须考虑收缩率外，还应该考虑螺距上的收缩，这样一来螺距的数值便成为不规则的小数，可在车床上配置特殊齿数的变速挂轮来解决，也可以偏移车床的尾座，加上使刀具斜向运动的靠模板来解决，如图 13-16 所示。刀具由车床导向丝杆驱动并沿靠模与工件轴线作平行运动，尾座所需偏移量可由下式计算：

$$X = (1 + Szp)\sin A$$

式中　X——单位螺纹长度所需尾座偏置量（mm/mm）；

Szp——制品单位长度的收缩率；

A——偏置角，可由下式计算：

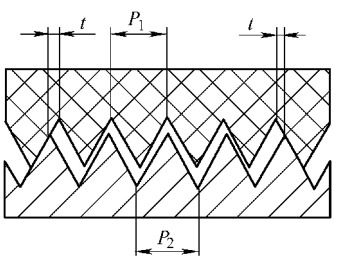


图 13-15　制品螺纹与金属螺纹配合情况

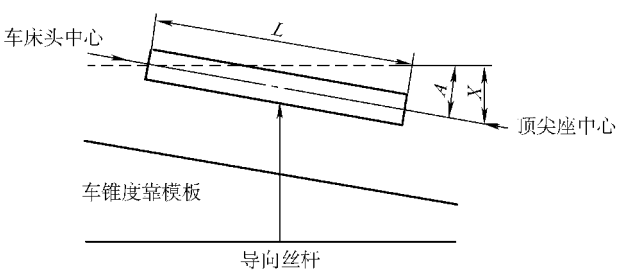


图 13-16　偏置车床尾座放大螺距收缩量

$$\cos A = 1/(1 + Szp)$$

尾座总偏置量　　$l = XL$

式中　l——尾座总偏置量（mm）；

L——螺纹总长度（mm）。

从以上分析，制品螺纹与金属螺纹配合长度比较大时，加工是比较困难的，但也是必须的，成型模具的螺纹部分必须考虑螺距的收缩率。

13.5　螺纹抽芯机构的实例解析

1. 外螺纹抽芯机构

瓣合模抽芯机构模具精度较差，还可能带有不易去除的飞边，但结构简单，工效高，是常用的一种机构，如图 13-17 所示，开模时，动、定模Ⅰ—Ⅰ处先开模，定模型芯 4 与定模型腔 5 逐渐脱离制品，同时，由固定在定模侧的斜销 1 拨动滑块座 3，使得外螺纹滑块向外抽芯。当抽芯完毕，复位杆 9 推动推板 8，由固定在推板侧的动模型腔 6 推出制品。需要注意的是：为了防止飞边影响装配，有时也可以在外螺纹设计两小段平面。

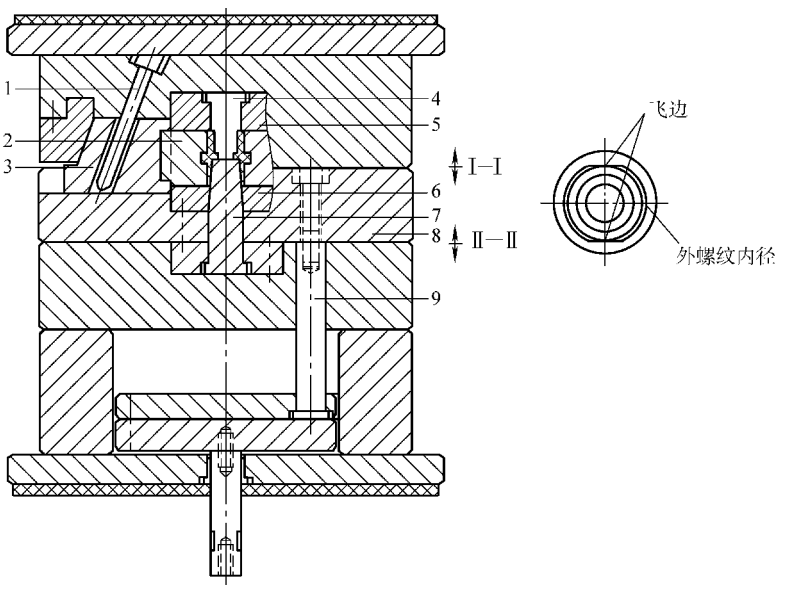


图 13-17　外螺纹抽芯机构

1—斜销　2—外螺纹滑块　3—滑块座　4—定模型芯　5—定模型腔
6—动模型腔　7—动模芯子　8—推板　9—复位杆

2. 间断内螺纹抽芯机构

如图 13-18 所示，制品的内螺纹在圆周面上为三个局部段，对应在模具上制成三个内抽滑块。如图 13-19 所示，在动、定模Ⅰ—Ⅰ处分型后，制品脱离定模型腔板 1，接着推板 3 与支承板 5 的Ⅱ—Ⅱ处再开模，主型芯 6 的 T 形槽迫使螺纹滑块 2 向心移动从而逐渐脱离制品倒扣，最后由推板推

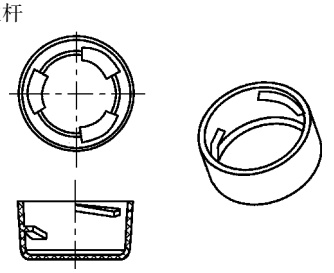


图 13-18　间断内螺纹制品

出制品。需要注意的是：这些螺纹滑块 2 始终不脱离主型芯 6，限位行程 $H_1 \leqslant \frac{2}{3} H_2$，同时该主型芯要有足够大的直径，以容纳螺纹滑块。

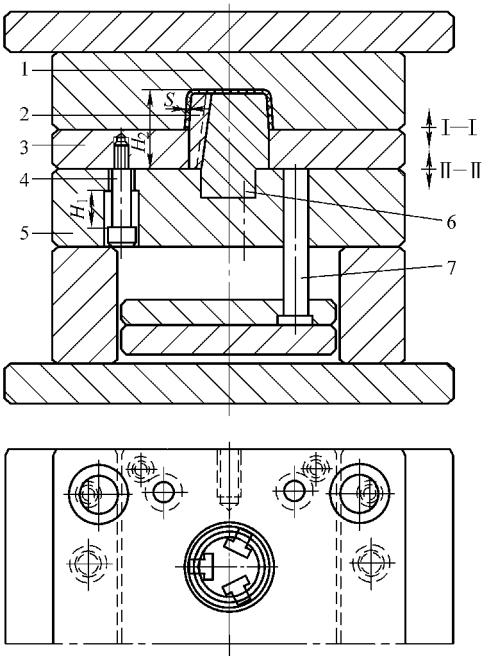


图 13-19　间断内螺纹抽芯机构

1—定模型腔板　2—螺纹滑块　3—推板　4—限位钉　5—支承板　6—主型芯　7—复位杆

3. 径向内缩式内螺纹抽芯机构

对连续内螺纹也可采用抽芯机构来成型，常用的是径向内缩式的内螺纹抽芯机构，如图 13-20 所示。伸缩套的成型部分被切成纵向条片，富有弹性而能自行收缩。当中心芯棒充塞时，张开的钢套成型完整的内螺纹。中心芯棒退出后，伸缩套收缩，而后用推板顶出制品及浇注系统。

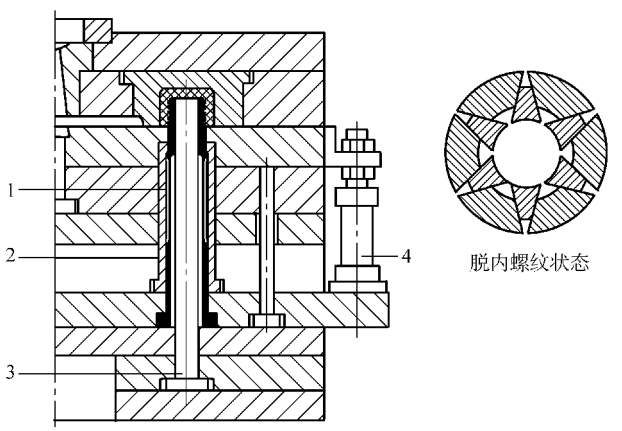


图 13-20　径向内缩式内螺纹抽芯机构

1—伸缩芯　2—伸缩套　3—中心芯棒　4—液压缸

13.6　强制脱螺纹机构的实例解析

强制脱螺纹这种模具结构比较简单，用于精度不高的制品。一般有两种方式，一是利用塑料塑性变形强制脱模，二是利用橡胶弹性变形强制脱模。

塑料与橡胶最本质的区别在于塑料的形变是塑性变形，而橡胶是弹性变形。换句话说，塑料变形后不容易恢复原状态，而橡胶相对来说就容易得多。塑料的弹性是很小的，通常小于100%，而橡胶可以达到1000%甚至更多。

1. 利用塑料的弹性强制脱模

适用于聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）等具有弹性塑料的制品，一般其倒扣 $H \leqslant 0.8$mm，采用推板将制品从螺纹型芯上强制脱模，尽量采用如图13-21a所示的平面作为顶出面，同时顶出段 $S \geqslant 0.8$mm，尽量避免如图13-21b所示的圆弧形端面作为制品的顶出面，因为这种顶出容易打滑，造成脱模困难。

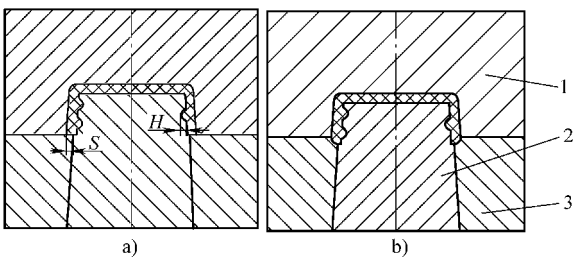


图13-21　利用制品的弹性强制脱模

1—型腔　2—螺纹型芯　3—推板

2. 利用硅橡胶螺纹型芯强制脱模

这种结构是利用具有弹性的硅橡胶来制造螺纹型芯。如图13-22所示，开模时，动、定模分型Ⅰ—Ⅰ处先开模，防止粘定模，开模一段距离后，Ⅱ—Ⅱ处接着开模，芯杆8逐渐退出硅橡胶螺纹型芯6，使得硅橡胶螺纹型芯有空间收缩，最后由顶杆将制品强行顶出。此种模具结构简单，但硅橡胶螺纹型芯寿命低，适用于小批量生产的制品。

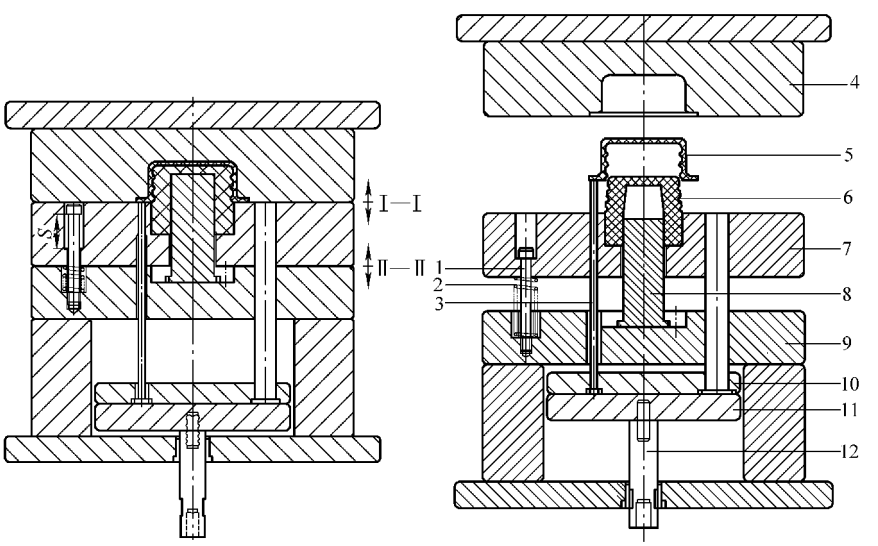


图13-22　利用硅橡胶螺纹型芯的弹性强制脱螺纹

1—限位螺钉　2—弹簧　3—顶杆　4—定模型腔　5—制品　6—硅橡胶螺纹型芯　7—推板　8—芯杆　9—垫板　10—顶杆面板　11—顶杆底板　12—顶棍

13.7　回转式脱螺纹机构的实例解析

回转式脱螺纹机构要求不管制品或模具哪一方既有回转运动又有轴向运动，或者仅一方回转而另一方轴向运动均可实现制品自行脱螺纹。

回转机构可设置在定模、动模或者滑块部分，一般的模具回转机构设在动模一侧的比较多。

13.7.1　手动脱螺纹机构

手动脱螺纹生产效率低，但模具结构简单，适应小批量生产，一般也分为两种形式。模内手动脱螺纹及模外手动脱螺纹。

1. 手动模内脱螺纹

图 13-23 为模内手动脱出螺纹型芯的形式，开模后，当人工摇动转动主轴 6 时，通过斜齿轮 4、9、11 的传动，使螺纹型芯 2 旋转的同时并做轴向移动退出制品。这时，制品紧压轴套 1 的端面，同时依靠侧浇口，以防止制品随螺纹型芯 2 转动。同时，拉料杆 8 在斜齿轮 9 的带动下后移，从而使螺纹型芯 2 及拉料杆同时脱出制品。

设计时必须注意螺纹型芯 2 的非成型的螺距及旋出方向与成型端的螺距及旋出方向要一致，否则将使制品损坏。

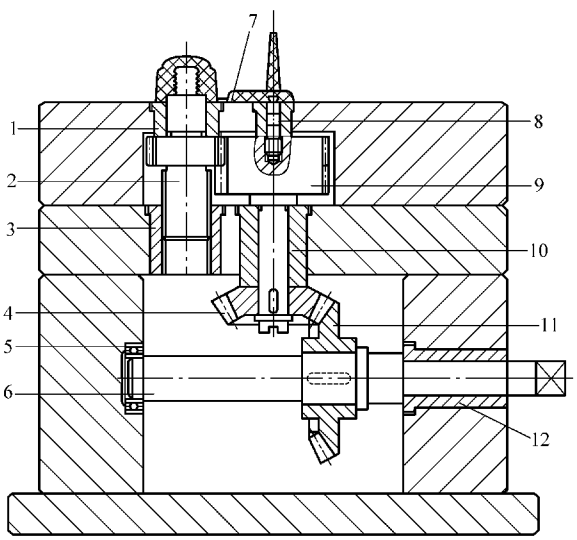


图 13-23　手动模内脱螺纹机构

1、10、12—轴套　2—螺纹型芯　3—牙套

4、9、11—斜齿轮　5—轴承

6—主轴　7—流道　8—拉料杆

2. 手动模外脱螺纹

图 13-24 所示为模外手动脱出螺纹型芯的形式，顶出时，顶杆 2 顶出活动螺纹型芯 1，连同制品一起顶出。需要注意的是：为了把活动螺纹型芯 1 从制品上脱下，一般需要在活动螺纹型芯 1 下加工出内六角，利用扳手直接旋出。

13.7.2　动模脱螺纹机构

1. 制品端面有止转的情况

图 13-25 所示是制品端面有止转的示例，模具率先从动、定模Ⅰ—Ⅰ分型处分开，制品脱离定模型腔，接着通过动力源带动链轮 12，从而带动齿轮 11、5 转动，使螺纹型芯 3 回转，同时，推板 9 在弹簧 2 的弹力作用下，分型面Ⅱ—Ⅱ处分开，推动制品沿轴向移动，使制品脱离螺纹型芯 3，由于止转部分比较浅，制品依靠重力作用即可自动脱离推板。

对于小型制品亦可采用侧浇口进行止转，即使制品的外形不设止转，把浇口适当增大也能起止转作用，但是对于软性塑料，若浇口不够大，则有切断的危险。当螺纹部分脱模后，

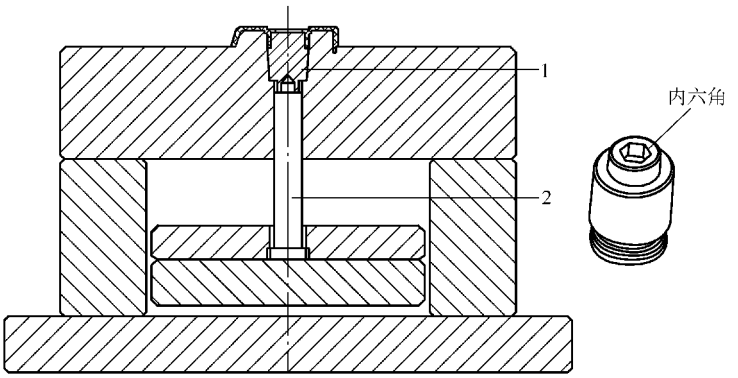


图 13-24　手动模外脱螺纹机构

1—活动螺纹型芯　2—顶杆

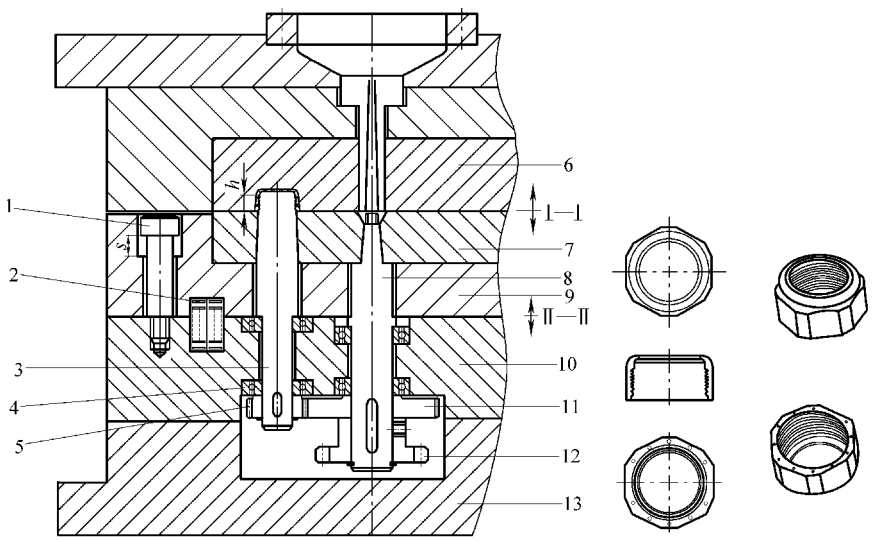


图 13-25　端面止转脱螺纹机构

1—限位螺钉　2—弹簧　3—螺纹型芯　4—轴承　5、11—齿轮　6—定模型腔　7—动模型腔

8—主轴　9—推板　10—固定板　12—链轮　13—动模固定板

如果不顶出制品只顶出浇注系统，也能使之完全脱离型腔。

端面脱螺纹机构的特点：止转机构设置在推板上，由于止转的高度小于螺纹的高度，在脱出螺纹型芯前，必须使制品紧压在推板的端面，这样就必须有动力促使螺纹型芯与推板脱开，简单的动力源就是弹簧。但对弹簧力的大小要比较好的控制，如果脱螺纹的瞬间，弹簧力还很大，有造成尾牙拉伤的可能性，如果弹簧力太小，又不足以脱开螺纹芯子。

2. 制品内部有止转的情况

图 13-26 所示是内螺纹制品在内部顶面有止转的情况，由于尼龙扣 9 的作用，同时拉料杆 1 拉住流道，迫使模具率先从Ⅰ—Ⅰ分型处分开，固化的流道与制品分离，当有足够的空间取出流道时，通过限位杆（未画出）限位。当模具继续开启时，Ⅱ—Ⅱ处开始打开，水口推板 2 将弹开一定的距离将流道从拉料杆 1 上强行脱下。接着，开模力足以克服尼龙扣 9

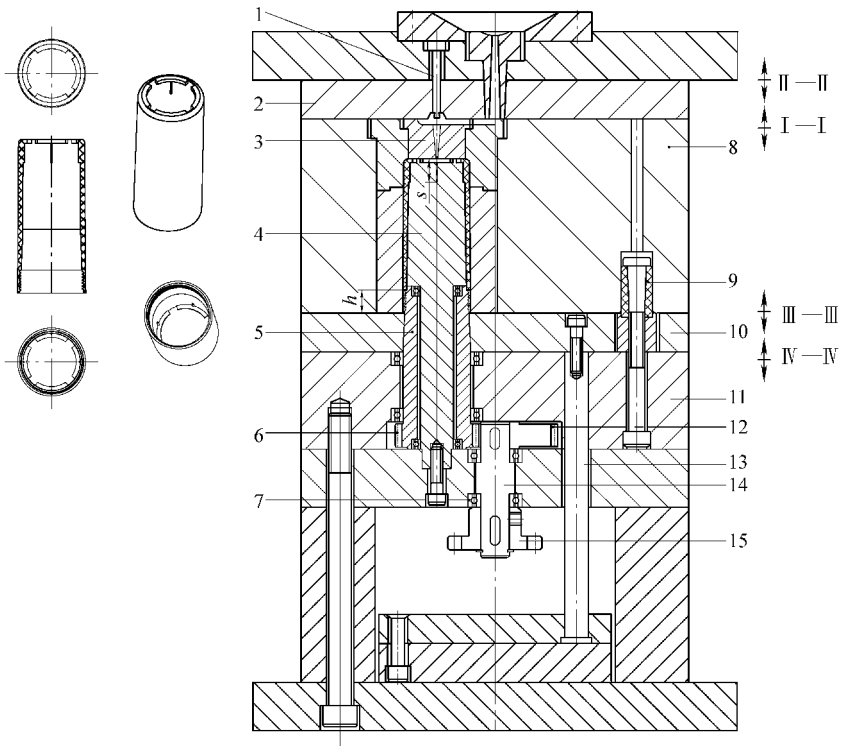


图 13-26　内部止转脱螺纹机构

1—拉料杆　2—水口推板　3—定模型腔　4—止转型芯　5—螺纹型芯　6、12—直齿轮　7—深沟球轴承　8—定模模板　9—尼龙扣　10—推板　11—动模固定板　13—复位杆　14—主轴　15—链轮

的锁紧作用，模具从Ⅲ—Ⅲ处分开，制品脱离定模型腔，开启一段距离后，通过动力源带动链轮 15 转动，接着通过直齿轮 12、6 的转动，使得螺纹型芯 5 转动，依靠止转型芯 4 对制品的止转，制品逐渐脱离推板，从而脱离螺纹型芯 5。由于制品型腔较深，脱出螺纹后，制品仍然挂在止转型芯 4 上，最后由推板 10 推出制品，模具Ⅳ—Ⅳ处分开足以顶落制品。

内部止转脱螺纹机构的特点：螺纹型芯与止转型芯是不脱离的，所以一般是要求止转胶位的深度与螺纹的长度一致。

3. 制品外部有止转的情况

图 13-27 所示是制品外部有止转，内部有螺纹的情况。模具率先从动、定模Ⅰ—Ⅰ分型处分开，制品脱离定模型腔，接着通过动力源带动链轮 12，从而带动齿轮 10、5 转动，使螺纹型芯 3 回转，同时，推板 6 在弹簧 8 的弹力作用下，分型面Ⅱ—Ⅱ处分开，推动制品沿轴向移动，使制品脱离螺纹型芯 3，当止转花纹的深度 $H=L$，制品即可自动脱离螺纹型芯。

外部止转脱螺纹机构的特点：当止转部分长度 $H>$螺纹长度 h 时，则需要采用顶出机构将制品顶出型腔；当 $H=h$ 时，回转终了即使没有顶出装置，制品也能落下；当 $H<h$ 时，螺纹型芯回转的同时，需要使止转型芯沿轴向移动 $H-h$，保证制品和止转型芯连接着，类似于端面止转机构。

图 13-28 所示也是制品外部有止转，内部有螺纹的情况，利用开模力脱螺纹。开模时，模具首先从Ⅰ—Ⅰ分型处开模，由装在定模模板 2 上的来福线杆 1 带动来福线套 7 转动，来

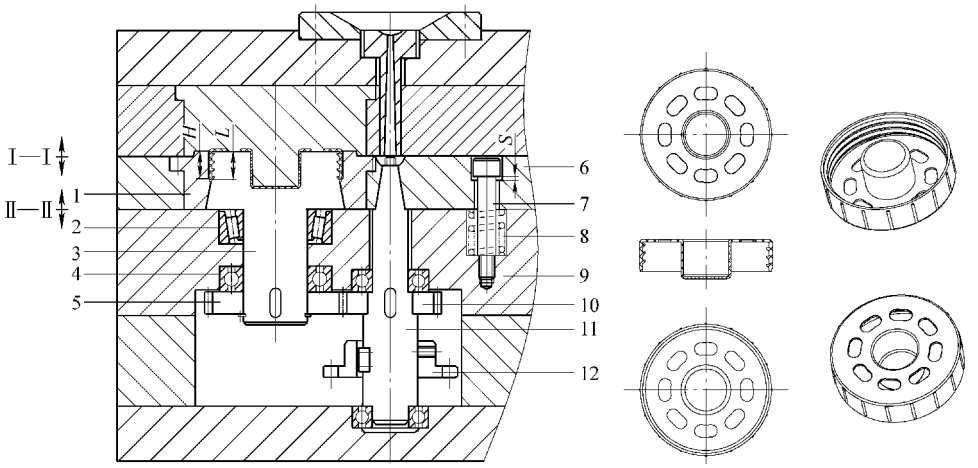


图 13-27　外部止转脱螺纹机构

1—止转型芯　2—轴承　3—螺纹型芯　4—深沟球轴承　5、10—齿轮　6—推板　7—限位螺钉
8—弹簧　9—固定板　11—主轴　12—链轮

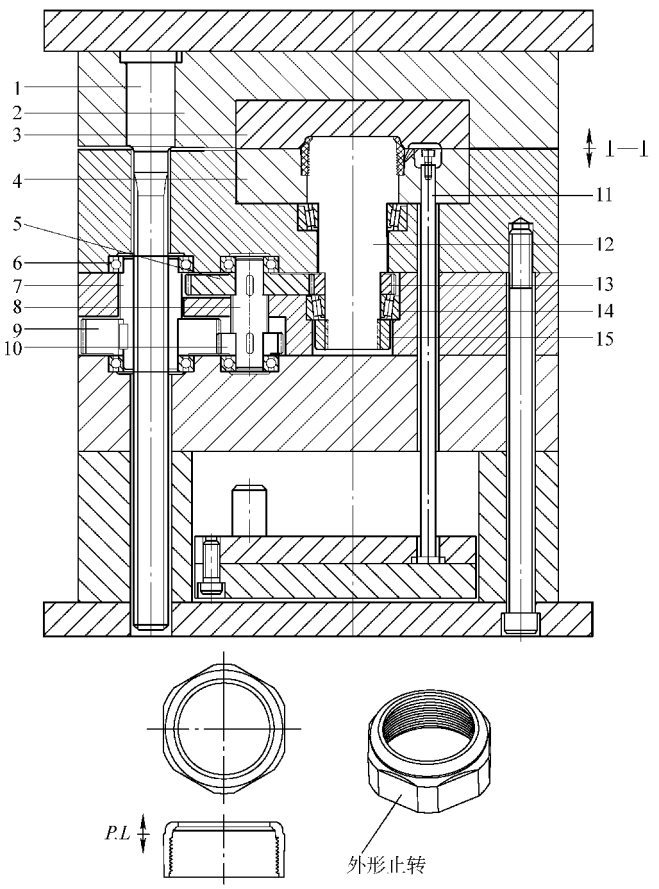


图 13-28　来福线螺母脱螺纹机构

1—来福线杆　2—定模模板　3—定模型腔　4—动模型腔　5、9、10、13—齿轮　6—深沟球轴承
7—来福线套　8—主轴　11—顶杆　12—螺纹型芯　14—圆锥滚子轴承　15—螺母

福线套通过键依次使齿轮 9、10，主轴 8，以及齿轮 5、13 转动，从而带动螺纹型芯 12 按旋出方向旋转，制品依靠外形止转，从而制品逐渐脱出螺纹型芯 12。当脱螺纹完毕后，最后由顶杆 11 推出流道。

13.7.3　定模脱螺纹机构

图 13-29 所示是定模脱螺纹机构，开模前，由液压缸 16 抽动齿条 7，接着依次带动齿轮 5、9 及螺纹型芯 1 转动，由于螺纹型芯 1 的非成型段在牙套 3 内旋转并做轴向移动，逐渐脱离制品的螺纹。脱螺纹完毕后，模具从分型面 Ⅰ—Ⅰ 处开模，开始抽芯。抽芯完毕后，由顶杆 14、15 顶出流道及制品。

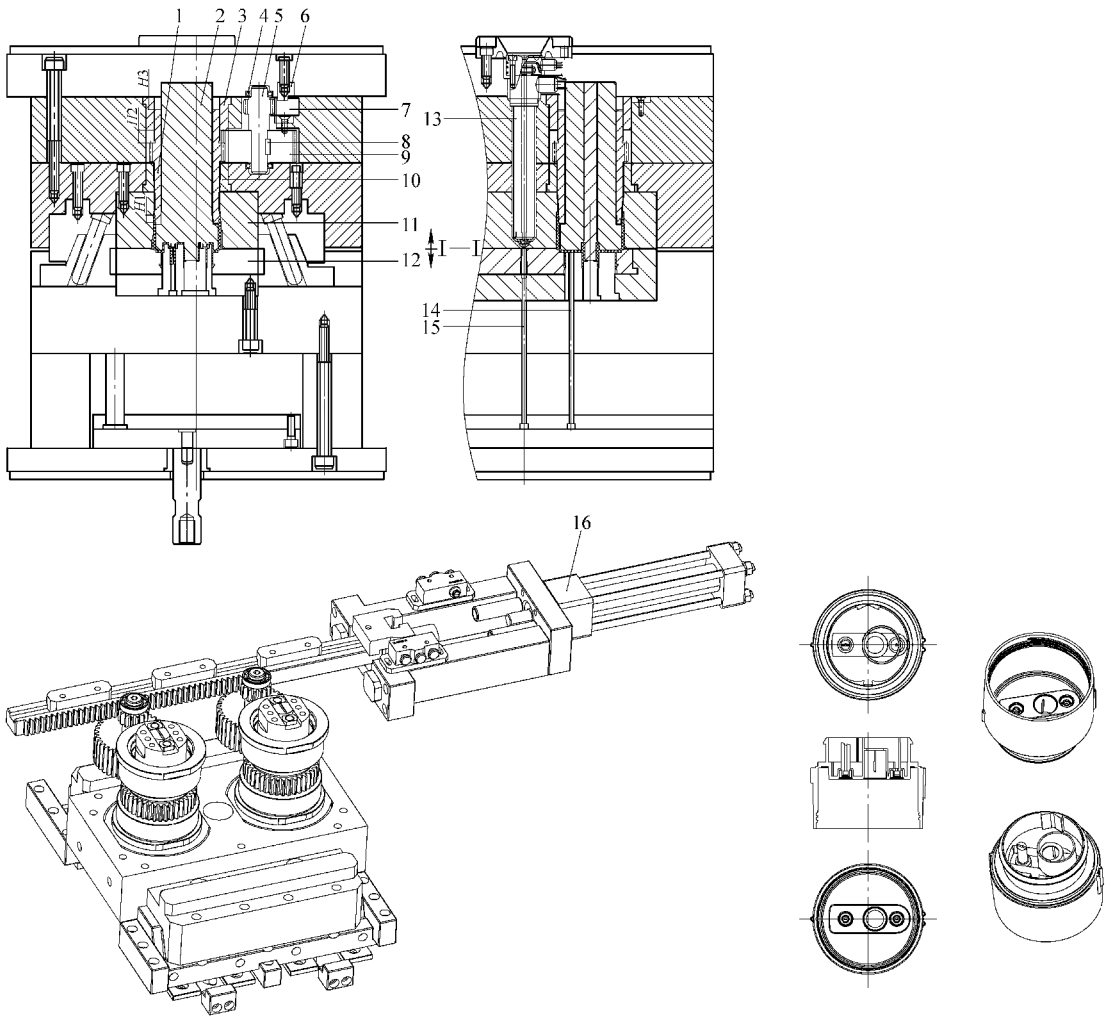


图 13-29　定模脱螺纹机构

1—螺纹型芯　2—定模型芯　3—牙套　4—轴承　5、9—齿轮　6—耐磨块　7—齿条　8—键
10—轴套　11—定模型腔　12—滑块　13—热嘴　14、15—顶杆　16—液压缸

定模脱螺纹机构的特点：由于定模脱螺纹机构导致定模比较厚，且流道长度（一般推荐小于 100mm）比较长，容易引起较大的压力损失，所以一般需要采用热流道系统。由于

螺纹型芯回转的同时需在牙套的作用下沿轴向移动，所以牙套螺纹的螺距和制品上的螺距必须一致，否则，将会损坏制品。

13.7.4　滑块脱螺纹机构

图 13-30 所示是滑块脱螺纹机构，开模前，由电动机 10 带动齿轮 13 旋转，接着依次带动齿轮 7 及螺纹型芯 3 转动，由于螺纹型芯 3 的非成型段在牙套 8 内旋转并做轴向移动，逐渐脱离制品的螺纹。脱螺纹完毕后，模具从分型面Ⅰ—Ⅰ处开模，最后由顶杆 16、17 顶出流道及制品。

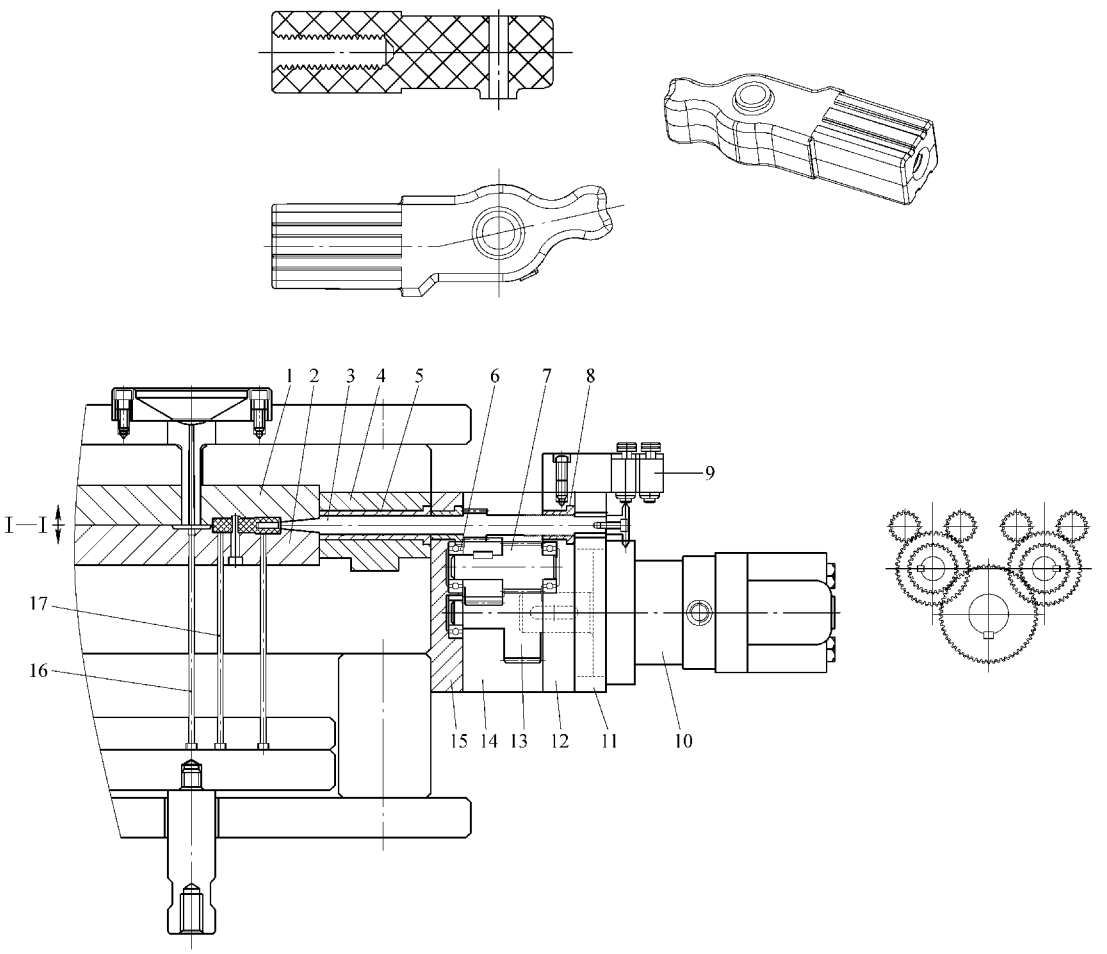


图 13-30　滑块脱螺纹机构

1—定模型腔　2—动模型腔　3—螺纹型芯　4—固定套　5—轴套　6—轴承　7、13—齿轮　8—牙套
9—行程开关　10—电动机　11—马达固定板　12、14、15—齿轮固定板　16、17—顶杆

滑块脱螺纹机构的特点：动、定模开模完毕后再进行脱螺纹动作，由于止转部分在动模，螺纹型芯在滑块，螺纹型芯回转，同时在牙套的作用下沿轴向移动，设计时需要注意，牙套螺纹的螺距和制品上的螺距必须一致，并且制品脱离螺纹型芯后，制品仍然滞留于动模部分，脱螺纹完毕后，最后由动模顶出机构顶出制品。

13.8　大导程脱螺纹机构

大导程脱螺纹机构是指螺纹没有自锁制品的脱螺纹机构，当推板推出制品时，将产生一个回转扭力，使制品回转运动，这种机构简单有效。

图 13-31 所示为大导程螺纹机构，模具首先从Ⅰ—Ⅰ分型处开模，制品逐渐脱离定模型腔 7，同时由固定在定模模板 6 上的斜导柱 1 拨动滑块 2，抽芯完毕后，制品仍然挂在螺纹型芯 9 上，接着注塑机推动顶棍 15，由复位杆 11 推动推板 10，制品受到轴向推力，一边脱离螺纹型芯 9 一边做小角度的转动，从而脱离制品。

大导程脱螺纹机构的特点：由于制品不具备自锁的功能，推出制品就能使螺纹型芯做小角度的旋转，所以，采用此机构能使模具结构简单实用。

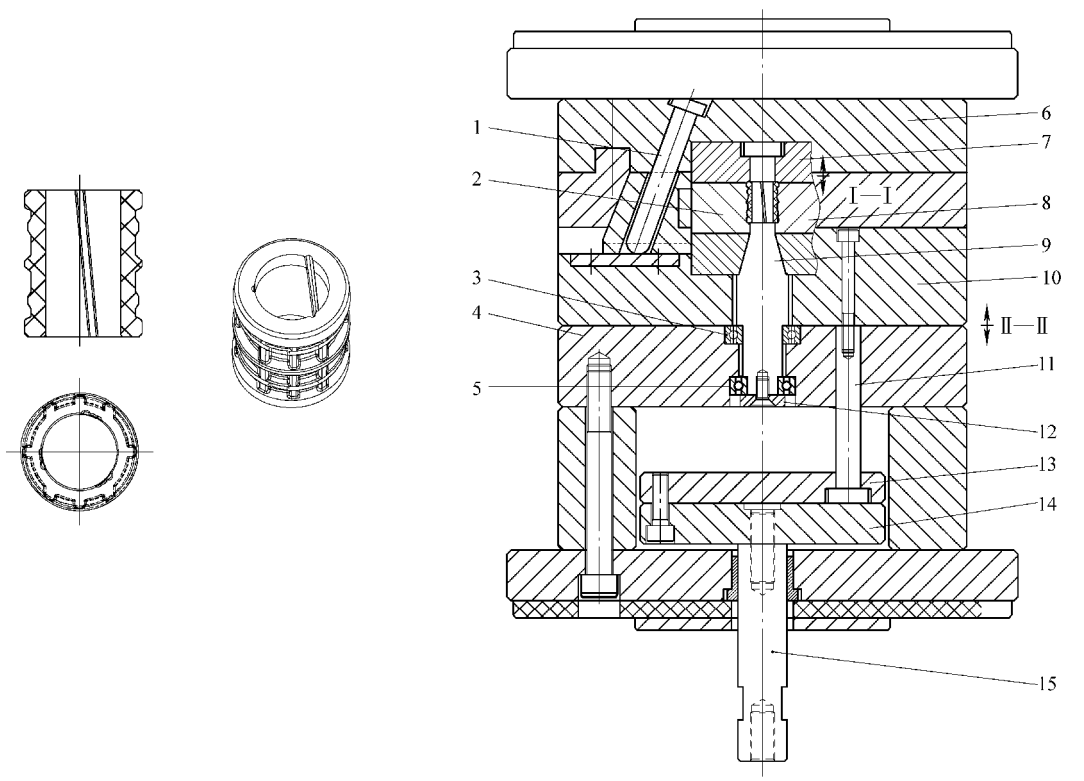


图 13-31　大导程脱螺纹机构

1—斜导柱　2、8—滑块　3、5—轴承　4—垫板　6—定模模板　7—定模型腔　9—螺纹型芯　10—推板　11—复位杆　12—螺纹型芯锁紧块　13—顶杆面板　14—顶杆底板　15—顶棍

13.9　脱螺纹机构排布

脱螺纹机构的布置，按形状可以分为三种：Ⅰ形排列、辐射形排列及矩形排列。

图 13-32 所示是脱螺纹机构的Ⅰ形排列，是比较常见的排列形式，允许大齿轮带动小齿轮或者小齿轮带动大齿轮，但其传动比一般不大于 4。

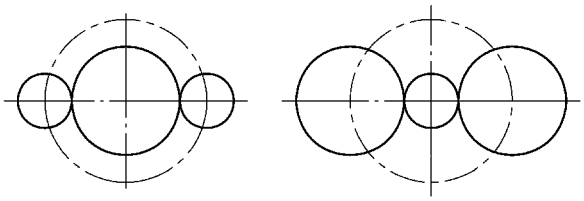


图 13-32　Ⅰ形排列

图 13-33 所示是脱螺纹机构的辐射形排列，其优点是型腔排列紧凑，一般要求逐级的传动比变化不能太快。

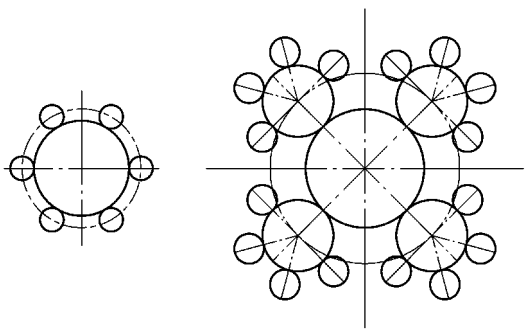


图 13-33　辐射形排列

图 13-34 所示是脱螺纹机构的矩形排列，由中间的主动齿轮带动中间 4 个型腔齿轮，再传递到从动齿轮，再由从动齿轮带动外面 4 个齿轮，属于非平衡传递。

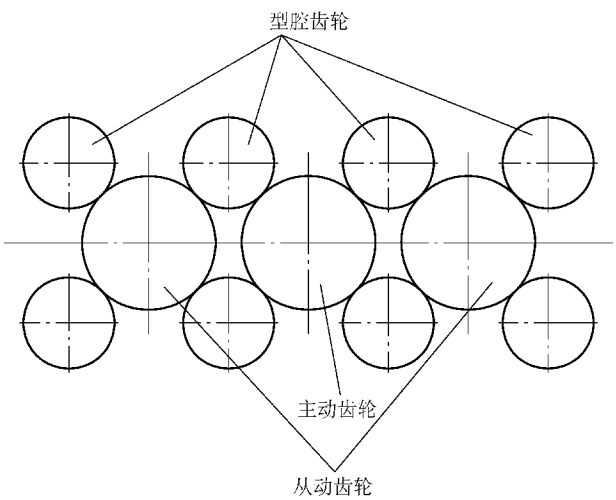


图 13-34　矩形排列

13.10　脱螺纹机构动力源

按驱动的动力分为人工驱动、开模运动、电驱动、液压缸或气缸驱动、液压马达驱动等多种方式。

1. 人工驱动

手动脱螺纹机构的模具结构简单，适应小批量生产，如图 13-25 所示是机内手动脱螺纹型芯的结构，此种形式在设计时必须注意螺纹型芯的非成型端的螺距要与成型端的螺距相等，如果不等，则在脱出螺纹型芯时会将制品损坏，这种螺纹型芯脱出形式生产率低。

2. 开模运动

利用开模力和开模方向的直线运动实现螺纹制品的旋退，模内结构虽然复杂，但效率高，并可实现自动化生产，应用较普遍。如来福线螺母脱螺纹机构。

虽然利用开模运动进行脱螺纹，经济有效，但需要保证螺纹展开后的长度要小于开模行程。

3. 电驱动

以电动机作为动力源的脱模方式，分别通过齿轮、链条及链轮传动，从而带动螺纹型芯成型零件旋转实现螺纹制品脱模的，但此种机构不易限位，而且很难跟注塑机的指令配合使用，一般用在对开模时间没有特别的要求。如图 13-25、图 13-26、图 13-27 所示动模回转脱螺纹机构就可以使用电动机驱动。

4. 液压缸或气缸驱动

液压缸（如图 13-35 所示）必须配套齿条使用，开模时，拉动齿条驱动齿轮旋转，从而带动螺纹型芯旋转脱模，依靠机械式限位；合模时，齿条推动齿轮带动螺纹型芯复位，也就是靠机械式限位，如图 13-29 所示定模脱螺纹机构。

5. 液压马达驱动

BM 系列摆线液压马达（如图 13-36 所示）是一种低速大转矩马达，具有输出转矩大，起动特性好，转速范围宽，调速平稳，低速稳定，过载保护简单，效率高，寿命长，体积小，重量轻，布置灵活，以及可以直接与注塑机工作机构相接等特点。BM 系列摆线液压马达适用于各种低速重载的转动装置，常用作脱螺纹机构的动力输出装置，如图 13-30 所示滑块脱螺纹机构。

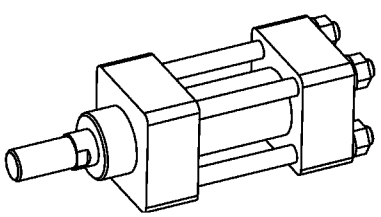


图 13-35　液压缸

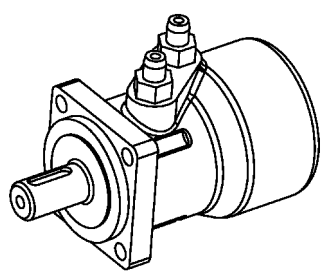


图 13-36　液压马达

第 14 章　多板式开模控制机构

14.1　概述

由于注塑制品的品种繁多，形状复杂多样，因此作为成型注塑制品的注塑模具，其结构形式亦多种多样，导致很多模具不能仅通过一次开模就能实现制品的脱模、取出流道或者抽芯动作等，往往需要设置两个或两个以上的开模面，开模时，需要依据预定的顺序逐渐打开模具，先在某一开模面开模至一定距离，接着第二开模面、第三开模面甚至第四、第五开模面等按一定顺序依次开模，我们把成型或者结构的需要，通过 n 次开模，从而把模具分成 $n+1$ 个可活动板块，同时为了实现预定的开模顺序，需要设置开模机构控制其开模动作，称之为多板式开模控制机构。

一般按开模数量和方向可分为二板式注塑模、三板式注塑模、四板式注塑模及五板式注塑模等多板式注塑模。

14.2　二板式注塑模

凡具有一个与注塑机工作台移动平行的分型面，且一次开模就能顺利地从型腔中取出制品，从流道中取出冷凝料，就称为二板式注塑模。

如图 14-1 所示为典型的大水口的二板式注塑模基本结构，它只有一次开模。当制品在型腔中成型后，开模时，制品和主流道冷凝料对动模一侧有较大的抱紧力，随着动模型腔 5 一起后退，脱离定模型腔 4，经顶杆 6 顶出脱模，就能取出制品和冷流道。

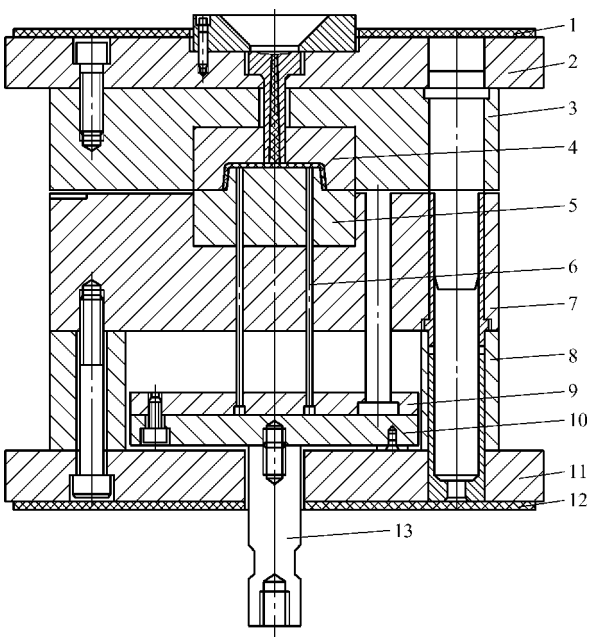


图 14-1　二板式注塑模具结构之一

1、12—隔热板　2—面板　3—定模板　4—定模型腔　5—动模型腔　6—顶杆　7—动模板　8—垫脚　9—顶杆面板　10—顶杆底板　11—底板　13—顶棍

如图 14-2 所示为侧面进胶、一模两穴的二板式注塑模基本结构，它也只有一次开模。当制品在型腔中成型后，开模时，制品和主流道冷凝料对动模一侧有较大的抱紧力，随着动模型腔 5 一起后退，脱离定模型腔 4，经顶杆 6 顶出脱模，就能取出制品和冷流道。

如图 14-3 所示为偏心进胶、潜伏式浇口的二板式注塑模基本结构，它也只有一次开模。

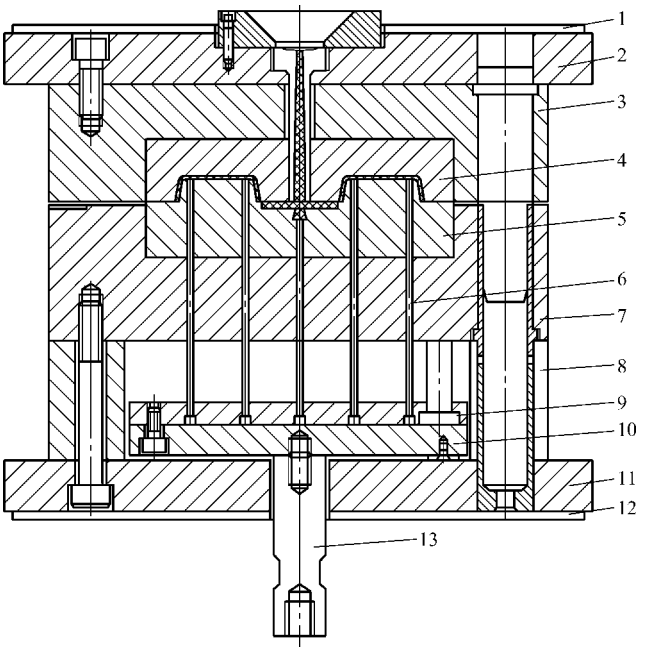


图 14-2　二板式注塑模具结构之二

1、12—隔热板　2—面板　3—定模板　4—定模型腔　5—动模型腔
6—顶杆　7—动模板　8—垫脚　9—顶杆面板　10—顶杆底板　11—底板　13—顶棍

当制品在型腔中成型后，开模时，制品和主流道冷凝料对动模一侧有较大的抱紧力，随着动模型腔 5 一起后退，脱离定模型腔 4，经顶杆 6 顶出脱模，就能取出制品和冷流道。

从以上三个图例中不难看出，二板式注塑模动作很简单，应用很广泛，主要由动模和定模两大部分组成，当制品在型腔成型后，只要通过一次开模，就能打开动、定模相互接触面，制品和主流道冷凝料留在动模，由顶杆顶出，就能从分型面上取出制品和料头，所以二板式注塑模不必设置开模控制机构。

“二板式”注塑模一般有三个基本特点：

1）在浇注系统方面，可以采用大水口、潜伏式浇口、侧面浇口等多种方式。

2）在脱模机构方面，它们都采

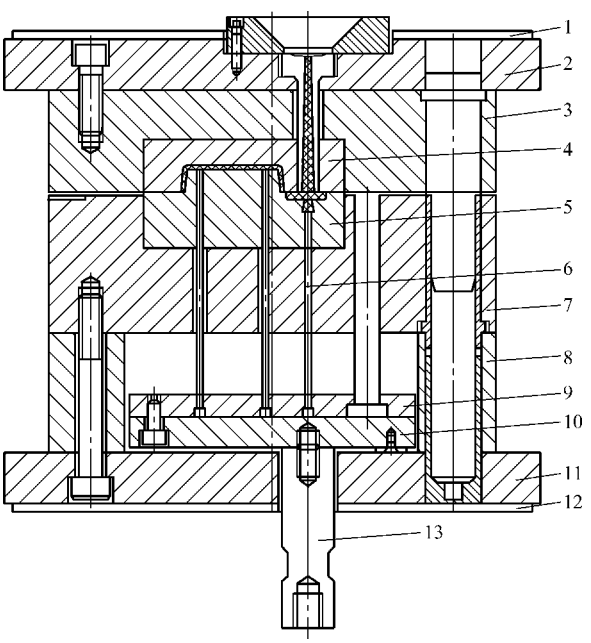


图 14-3　二板式注塑模具结构之三

1、12—隔热板　2—面板　3—定模板　4—定模型腔　5—动模型腔
6—顶杆　7—动模板　8—垫脚　9—顶杆面板
10—顶杆底板　11—底板　13—顶棍

用顶杆直接顶出制品脱模。

3）二板式注塑模只要通过定模部分和动模部分的分界面一次开模，就能完成动作。

14.3　三板式注塑模

三板式注塑模一般有两种形式：浮动定模三板式注塑模及带推板三板式注塑模。

1. 浮动定模板注塑模

浮动定模三板式注塑模有两个开模面，一般应用于定模由于抽芯等结构需要，必须先开模，抽芯完毕后主分型面再进行开模，制品和主流道冷凝料留在动模，由顶杆顶出，从主分型面上取出制品和料头。为了避免主分型面先开模导致制品倒扣被拉坏，浮动定模三板式注塑模需要设置开模控制机构控制开模的顺序。

图 14-4 所示为浮动定模三板式注塑模具结构，开模时，由于定模板 15 及动模板 11、尼龙扣 2 的锁紧作用，模具首先从 Ⅰ—Ⅰ 处开模，由固定在面板 17 上的弯销拨动滑块座 14、滑块镶针 12 进行抽芯动作，抽芯完毕，由定位珠进行限位滑块后退，同时，面板 17 与定模板 15 由限位钉 19 进行限位，继续开模时，注塑机克服尼龙扣 2 的锁紧作用，模具从 Ⅱ－Ⅱ 进行开模，由于制品对动模型腔 3 有较大的抱紧力，随着动模部分后退，脱离定模型腔 1，最后由顶杆 4 顶出制品和流道。

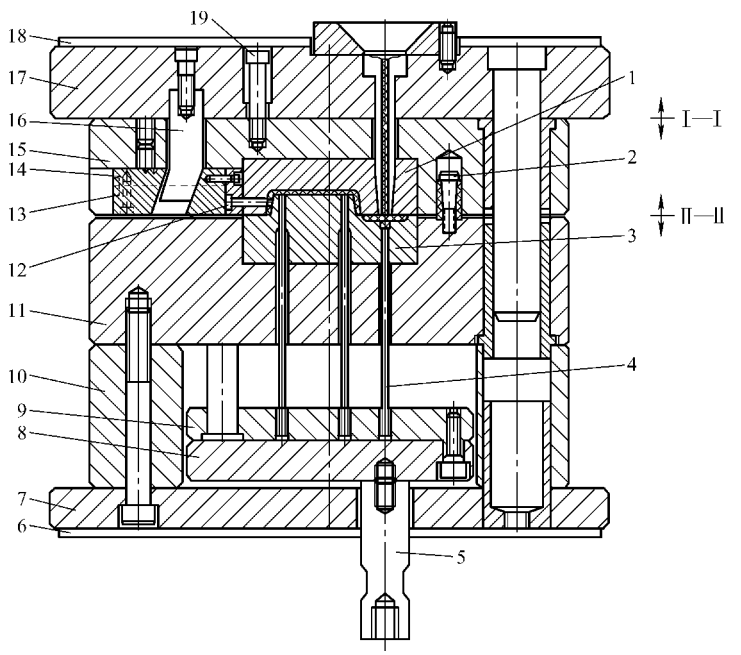


图 14-4　浮动定模三板式注塑模

1—定模型腔　2—尼龙扣　3—动模型腔　4—顶杆　5—顶棍　6—隔热板　7—底板　8—顶杆底板　9—顶杆面板　10—垫脚　11—动模板　12—滑块镶针　13—滑块压条　14—滑块座　15—定模板　16—弯销　17—面板　18—隔热板　19—限位钉

2. 推板三板式注塑模

推板三板式注塑模式由二板式注塑模增加一块推板而成，根据结构需要，一般有两种开

模方式。

图 14-5 所示为推板三板式注塑模具结构，开模时，从主分型面Ⅰ—Ⅰ首先开模，制品从定模型腔 18 中脱出，浇注系统凝料在拉料针 7 的作用下，从浇口套 1 中拉出，动模部分继续开模，注塑机顶棍 14 推动顶杆底板 11、顶杆面板 10 及推板 6，从而驱动推板 6 将制品脱开动模型芯 17，浇注系统凝料则被强制脱离拉料针 7，与制品一起脱落。复位时，通过与注塑机连接的顶棍 14 的先复位作用，由锁在复位杆 15 上的螺钉拉回推板 6，Ⅱ—Ⅱ先合模后，通过注塑机的合模作用，使主分型面Ⅰ—Ⅰ合模。

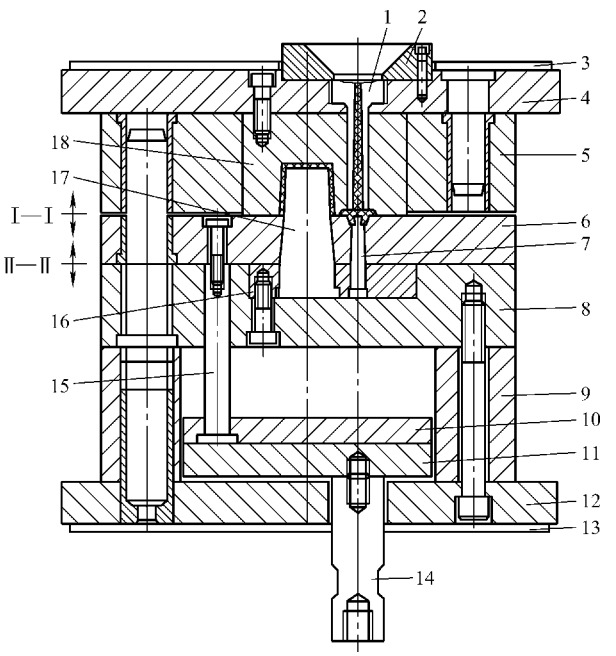


图 14-5　推板三板式注塑模之一

1—浇口套　2—定位圈　3—隔热板　4—面板　5—定模板　6—推板　7—拉料针　8—动模板　9—垫脚　10—顶杆面板　11—顶杆底板　12—底板　13—隔热板　14—顶棍　15—复位杆　16—压块　17—动模型芯　18—定模型腔

由于推板 6 通过复位杆上的螺钉与动模板 8 及连接注塑机的顶棍 14 连接在一起，开模时，Ⅱ—Ⅱ处的开模阻力是相当大的，迫使开模阻力相对小很多的Ⅰ—Ⅰ处开模，制品脱离定模型腔 18 后，再由推板 6 推出制品和冷凝料。所以推板三板式注塑模不必设置开模控制机构控制开模的顺序。

图 14-6 所示为推板三板式注塑模具结构，开模时，由于扣机 1 对定模板 10 与推板 14 的锁紧作用，模具首先从Ⅰ—Ⅰ处开模，滑块 23 开始向外抽芯，逐渐脱离制品的倒扣，当抽芯完毕后由限位钉 5 进行限位，注塑机开模力克服扣机的作用力，使模具从Ⅱ—Ⅱ处开模，制品脱离定模型腔 11，最后由顶杆 22 顶出制品。复位时，通过注塑机的合模力，使主分型面Ⅰ—Ⅰ合模。

需要注意的是，这种形式的推板三板式注塑模由于制品的倒扣作用，需要从Ⅰ—Ⅰ处开模，率先实现抽芯，当抽芯完毕限位后，推板 14 与动模板 15 是不能再打开的，为了避免顶

出时，复位杆 2 与推板 14 干涉，复位杆 2 是需要穿过推板的，复位时，不靠复位杆拉回推板，是靠合模力使开模面逐渐复位，所以推板三板式注塑模需要设置开模控制机构控制开模的顺序。

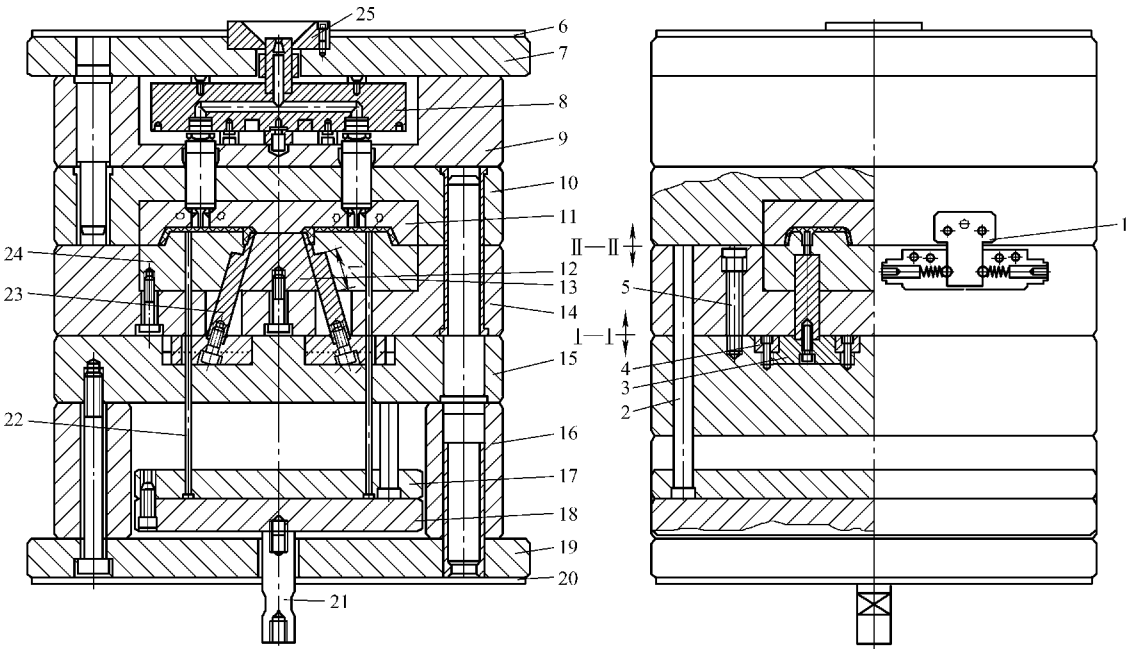


图 14-6　推板三板式注塑模之二

1—扣机　2—复位杆　3—滑块座　4—滑块压块　5—限位钉　6—隔热板　7—面板　8—热流道系统　9—热流道固定板　10—定模板　11—定模型腔　12—动模型芯　13、24—动模型腔　14—推板　15—动模板　16—垫脚　17—顶杆面板　18—顶杆底板　19—底板　20—隔热板　21—顶棍　22—顶杆　23—滑块　25—定位圈

14.4　四板式注塑模

四板式注塑模一般也有两种形式：点浇口注塑模及浮动定模板加推板注塑模。

1. 点浇口四板式注塑模

图 14-7 所示为点浇口四板式注塑模，当模具开启后，定模板 9 与动模板 12 之间的Ⅲ—Ⅲ开模面由于受到扣机锁杆 3 的机械锁紧作用，暂时不能打开，同时，凝固的主流道受到拉料针 21 的拉紧作用，其受到的开模阻力也比较大，所以，模具从Ⅰ—Ⅰ处率先开模，拉断点浇口，脱离定模型腔 10。当Ⅰ—Ⅰ开模到足够取出主流道的空间时，由限位拉杆 19 限制开模；模具继续开启，带动限位拉杆 19 运动，在限位拉杆 19 的作用下，水口推板 8 被弹开一定的距离将流道从拉料针 21 上强行脱下，同时，开锁杆 4 的斜面与扣机限位块 1 的斜面接触，并使其克服弹簧 5 的作用力压缩，从而使锁杆 3 脱离扣机限位块 1，模具从Ⅲ—Ⅲ处开模，由于制品对动模型腔 11 有较大的抱紧力，随其后退，最后由顶杆 13 顶出制品。

在注塑过程中，当采用半自动成型方法时，图 14-7 所示的结构可以适合全部点浇口四板式注塑模。但是该结构的主流道较长，模具需要开启较长距离，才能避免主流道中的凝固塑料挂在模具主流道内。因此有时需要采用加长浇口套的方式减短主流道的长度，避免定模板太厚太笨重。

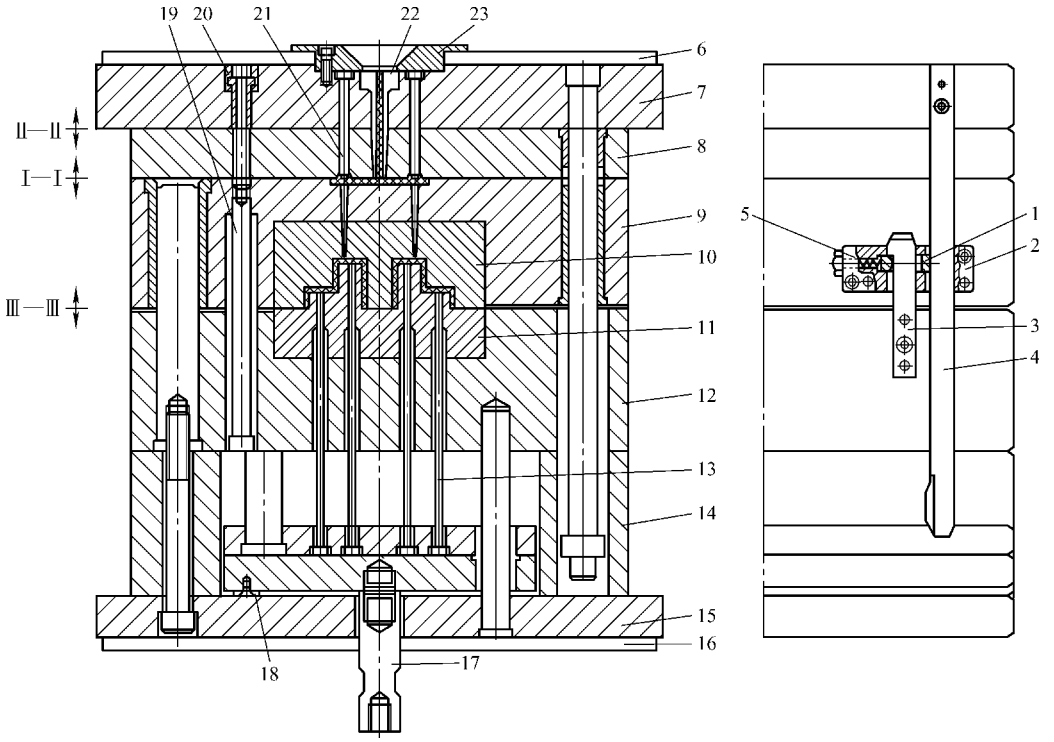


图 14-7　点浇口四板式注塑模

1—扣机限位块　2—扣机底座　3—扣机锁杆　4—扣机开锁杆　5—弹簧　6—隔热板　7—面板　8—水口推板　9—定模板　10—定模型腔　11—动模型腔　12—动模板　13—顶杆　14—垫脚　15—底板　16—隔热板　17—顶棍　18—垃圾钉　19—限位拉杆　20—限位钉　21—拉料针　22—浇口套　23—定位圈

点浇口四板式注塑模主要应用在以下几种情况：

1）单型腔的中、大型制品不适合侧面进胶的，如图 14-5 所示。

模具注塑中心一般不能偏离模具中心太远，一般以不超过 40mm 为宜，避免偏心注塑时，由于模板受力不平衡而造成“飞边”的现象。对于一模一腔的小型制品，采用偏心二板式结构对成型影响不大，而且通过偏心方式可使模具结构简单紧凑；但对于中、大型制品，如果采用侧面进胶的二板式结构，由于注塑中心不能没有限制地远离模具中心，势必使得模具体积庞大，显得太过臃肿，并且所使用的注塑机规格也需要加大，造成模具材料及成型的浪费。

2）单型腔点进胶的制品，若成型面积较大，为进料平衡而采用多点进浇的模具。

3）多型腔点浇口进胶的制品，如图 14-7 所示。

三板式模具虽然可以成型二板式模具无法成型的制品，但也存在一些缺点：首先，因为三板式模具的结构较二板式模具结构复杂，所以其制造难度及费用都要高于同样规格的二板式模具；其次，三板式模具结构的流道较长，开模距离要加大，致使定模型腔板在导柱上滑行较长距离，容易造成导柱变形偏摆，同时也会造成制品废料比例增大；第三，在成型过程中，压力损失较大。

4）抽芯机构的需要，动、定模分型前需要将定模滑块完成抽芯动作，率先脱离制品的倒扣部分，这就需要增加一次开模动作，这结构最常用于点浇口进浇的三板式注塑模。开模

时，中间板在定模的导柱上与定模板作定距离分离，以便实现抽芯及在两板之间取出浇注系统凝料。

2. 浮动定模板加推板注塑模

图 14-8 所示为浮动定模板加推板四板式注塑模，当模具开启后，定模板 8 与推板 10 之间的Ⅱ—Ⅱ开模面由于受到扣机的机械锁紧作用，暂时不能打开，模具从Ⅰ—Ⅰ处率先开模，带动滑块 4 向内侧移动，当抽芯完毕后，限位钉 21 进行限位，同时，开模力促使扣机限位块 23 进入扣机开锁座 22 的凹槽，扣机锁杆凹槽脱离限位块，从而使模具从Ⅱ—Ⅱ打开，由于制品对动模部分的抱紧力比较大，随着动模型芯 12 后退，最后由推板 10 推出制品。

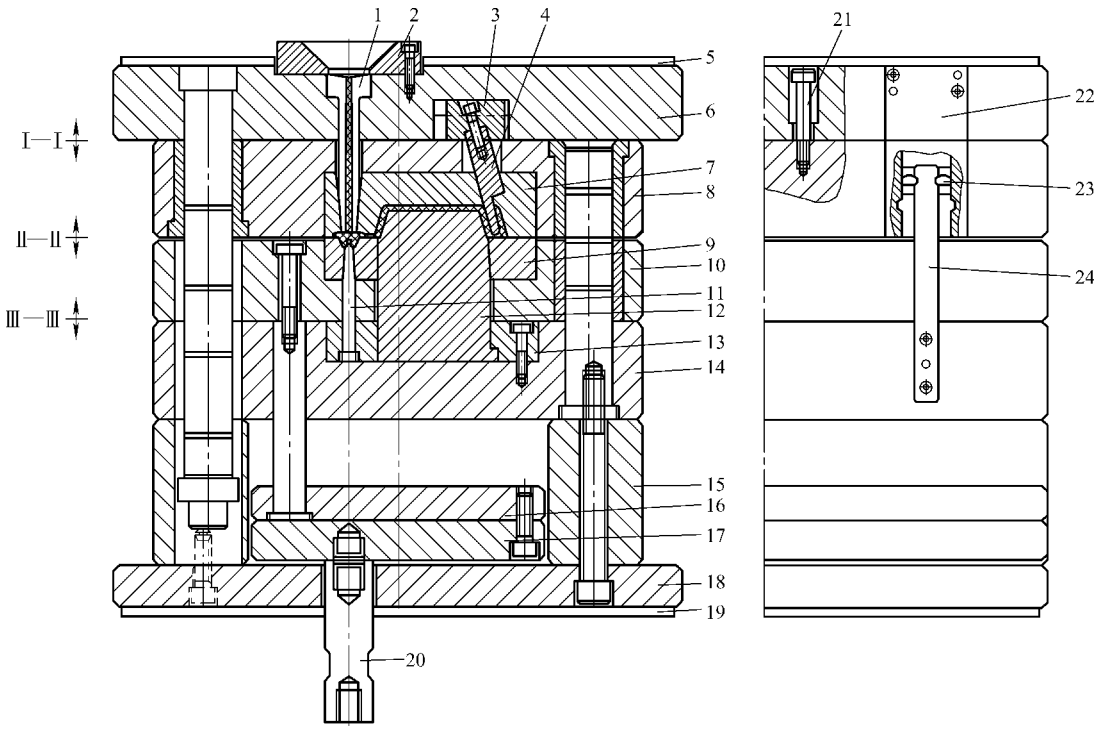


图 14-8　浮动定模板加推板四板式注塑模

1—浇口套　2—定位圈　3—滑块座　4—滑块　5—隔热板　6—面板　7—定模型腔　8—定模板　9—动模型腔　10—推板　11—拉料针　12—动模型芯　13—压块　14—动模板　15—垫脚　16—顶杆面板　17—顶杆底板　18—底板　19—隔热板　20—顶棍　21—限位钉　22—扣机开锁座　23—扣机限位块　24—扣机锁紧杆

14.5　五板式注塑模

五板式注塑模是四板式注塑模中再加一块脱料板而成，它既是点浇口进料，又采用推板顶出。

图 14-9 所示为五板式注塑模，当模具开启后，定模板 9 与动模板 14 之间的Ⅲ—Ⅲ及Ⅳ—Ⅳ开模面由于受到扣机锁杆 3 的机械锁紧作用，暂时不能打开，同时，凝固的主流道受到拉料针 22 的拉紧作用，其受到的开模阻力也比较大，所以，模具从Ⅰ—Ⅰ处率先开模，

拉断点浇口，脱离定模型腔 10。当Ⅰ—Ⅰ开模到足够取出主流道的空间时，由限位拉杆 20 限制开模；模具继续开启，带动限位拉杆 20 运动，在拉杆的作用下，水口推板 8 弹开一定的距离将流道从拉料针 22 上强行脱下，同时，开锁杆 4 的斜面与扣机限位块 1 的斜面接触，并使其克服弹簧 5 的作用力压缩，从而使锁杆 3 脱离扣机限位块 1，模具从Ⅲ—Ⅲ处开模，由于制品对动模型芯 11 有较大的抱紧力，随其后退，最后由推板 12 顶出制品。

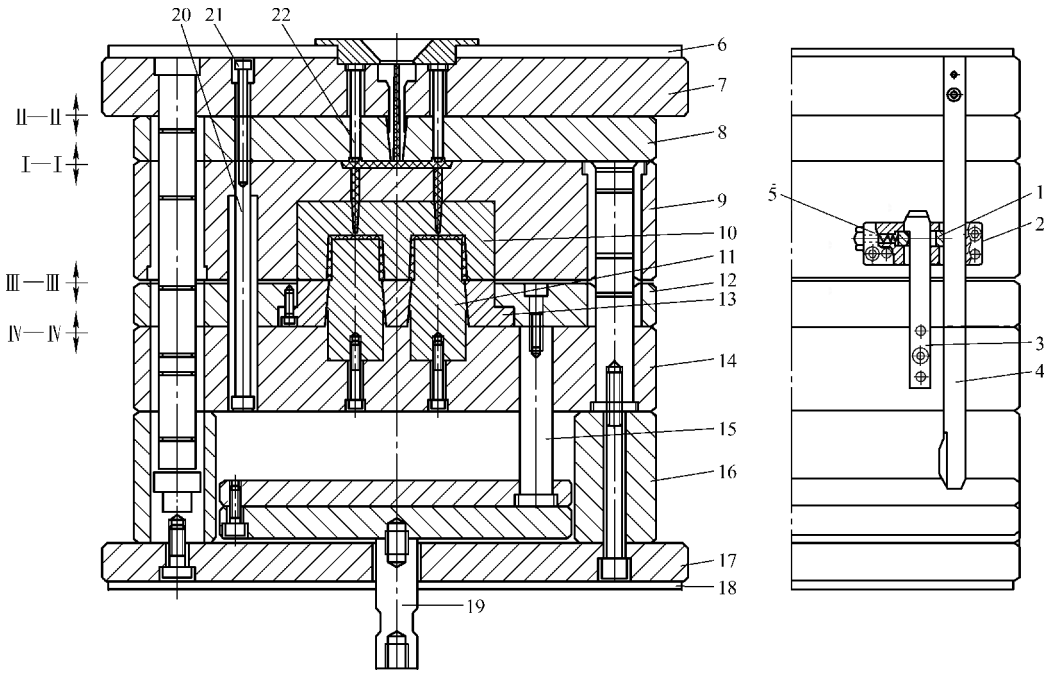


图 14-9　五板式注塑模

1—扣机限位块　2—扣机座　3—扣机锁杆　4—扣机开锁杆　5—弹簧　6—隔热板　7—面板　8—水口推板　9—定模板　10—定模型腔　11—动模型芯　12—推板　13—动模型腔　14—动模板　15—复位杆　16—垫脚　17—底板　18—隔热板　19—顶棍　20—限位拉杆　21—限位钉　22—拉料针

以上几种形式的注塑模具结构是最常见、最普遍、最典型的注塑模具基本结构。一般情况下，开模面越多，模具结构越复杂，但制品生产自动化程度越高。

14.6　开模控制机构

从以上的几个实例，可以看出开模控制机构有两个基本结构：一是定距机构，另一个是拉紧机构，只有两者的动作配合，才能获得顺序定距的良好效果。由于多板式注塑模结构较复杂，有多个开模面，且每个开模面所受阻力不一致，开模顺序不固定，开模控制机构的应用要考虑以下三个方面。

首先，当两个开模面的阻力相差较大，而应先开模的又是开模阻力较小的开模面，那么，只需要在开模阻力较小的开模面设置定距机构，开模一段距离限位后，再在开模阻力较大的开模面进行开模，从而达到顺序开模的目的。

其次，当开模阻力相差不大或者需要在开模阻力大的开模面先开模，那么需要在先开模

的开模面设置定距机构，较晚开模的开模面设置拉紧机构。

最后，对于大型模具或者开模阻力很大的场合，拉紧机构需要选择机械式的。

1. 定距机构

定距机构按结构形式大致可分为模内限位拉杆、导柱限位垫圈、模外限位拉板及限位拉钩四种类型，如图 14-10 所示。

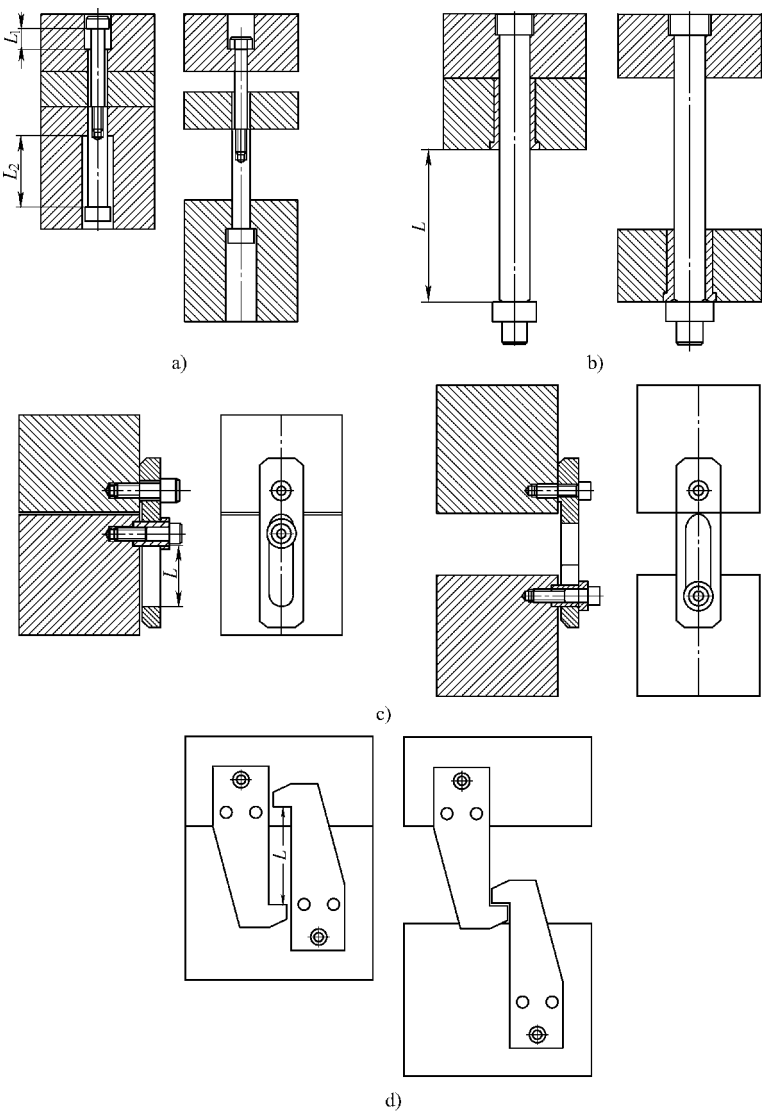


图 14-10　定距机构

a）限位拉杆　b）导柱限位垫圈　c）限位拉板　d）限位拉钩

图 14-10a 是模内限位拉杆定距的结构形式。当开模到定距 $L_1 + L_2$ 时，限位杆的台肩与模板相碰而阻其移动。

图 14-10b 是模内导柱限位垫圈定距的结构形式。利用导柱导向的同时，与模板相对位移起到定距的作用，当开模到定距 L 时，导柱限位垫圈与模板相碰而阻其移动。因此其结构

紧凑、定距可靠，在实践中应用很广泛。

图 14-10c 是模外限位拉板定距的结构形式。当开模 L 距离时，挡圈与限位拉板槽相碰时停止移动。

图 14-10d 是模外限位拉钩定距的结构形式。当开模 L 距离时，模板间的相对移动使两拉钩相碰，而拉住使其停止移动。

2. 拉紧机构

拉紧机构的种类形式很多，按其作用力的类型大致可分为摩擦式、弹簧式、磁力式及机械式四大类。

（1）摩擦式　尼龙锁模器是通过锥形螺栓的锁紧力，使尼龙树脂膨胀，并利用和模板之间的摩擦力进行锁紧的一种构造。尼龙套在使用过程中会有磨损，需要经常利用锥形螺栓增强锁紧力来调整，所以，为安全起见，一般不用于电动注塑机等无人操作的机器或成型周期较短的注塑成型中。一般尼龙套的拉紧力大约 250 ~ 750N，因其具有良好的性价比，所以这种结构在生产量较少的模具或小型模具中被广泛使用。锁紧量一般在试模时根据开模的运动状况进行调整。虽然尼龙套使用较特殊的尼龙材料，具有良好的耐磨性和耐热性，其耐热温度最高可达 150℃。但在实际使用过程中，因其不断受到锥形螺栓锁紧应力的作用，会导致尼龙套的耐磨性降低，同时，尼龙也会软化使负载降低，因此建议在 80℃以下使用。另外，当尼龙沾有油污时，摩擦系数会降低，不能发挥应有作用。如果将模板上安装孔的表面粗糙度精加工到 R_a0. 2 ~ 1. 6μm，端面实施倒圆角 R 加工，则能较好地防止尼龙的磨损，如图 14-11a 所示。但有时使用专用的衬套可以省去对模板的精度要求，如图 14-11b 所示。

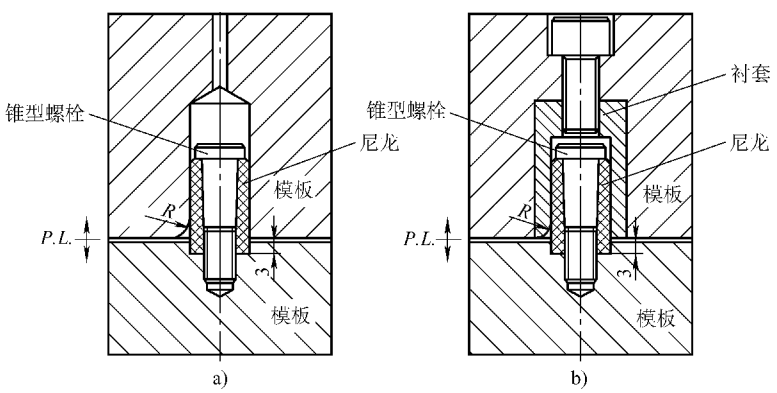


图 14-11　尼龙锁模器

（2）弹簧式　卡轮式锁模组件适用于需要较强锁紧力的场合。通过基于卡轮式锁模的内部弹簧力来锁紧模板，卡轮的转动可以防止支承部的偏心磨损，实现长期的锁模功能，如图 14-12 所示。

一般其拉力约 0. 5 ~ 4kN，锁紧负载可以调整，通过调整螺栓，能将负载调整到最大负载的 1/4 左右。但对负载的微调较为困难，请加以注意。为了使其在运动时具有良好的平衡性，一般需要在模具的对称位置安装。

（3）磁力式　磁性锁模组件是利用磁铁的吸引力来实现锁模，如图 14-13 所示。

其结构是利用内置磁铁的底座和方形铁之间的磁力来实现锁模，一般其拉力约 0. 4 ~

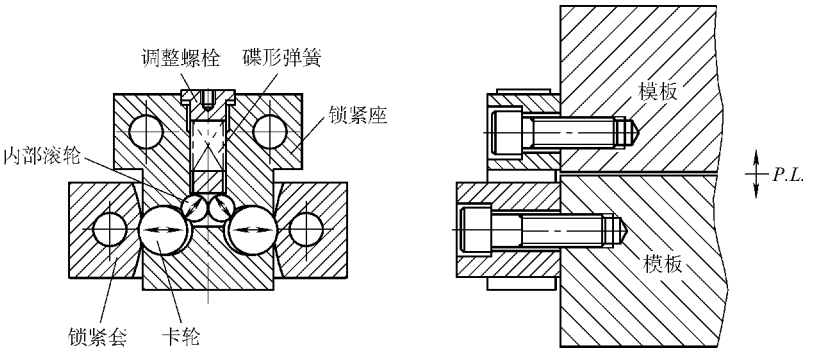


图 14-12　卡轮式锁模器

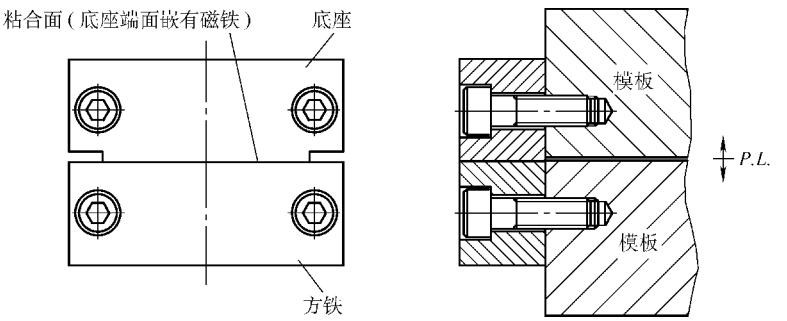


图 14-13　磁性锁模器

2kN。与尼龙锁模器和卡轮式锁模组件相比，合模时的阻力较小，不必降低合模速度，因此可以缩短成型周期。

（4）机械式　锁模器组件通过开模行程来控制模板的开合，具有使模具准确开模，无反作用力、不产生噪声等特点，也可用于低压锁模成形。其结构为活动的凸轮锁块和锁紧块配合使用，使模板紧贴到一起。开模时将插销拔出，凸轮锁块便脱离，此后模具打开。在合模过程中即使流道推板比分型面先闭合，锁紧块也能后退。所以其运行与合模顺序无关。流道推板的打开量可通过将插销的长度加工成合适的尺寸来调整，如图 14-14 所示。

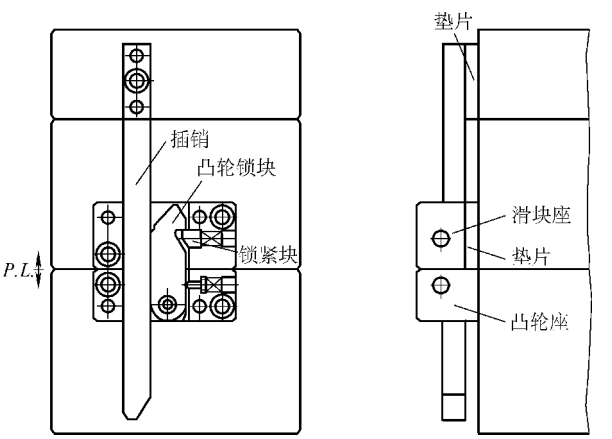


图 14-14　扣机锁模器

需要在模具的对称位置上使用 2 套以上，使之垂直于模板安装，确认运动情况后用定位销定位。

定模模板的重量或运动阻力较大时，分型面有时会出现缝隙，造成成型不良。此时可通过锁模组件紧密锁紧，以防止出现成型不良。

扣机的特点：

1）产品结构小。

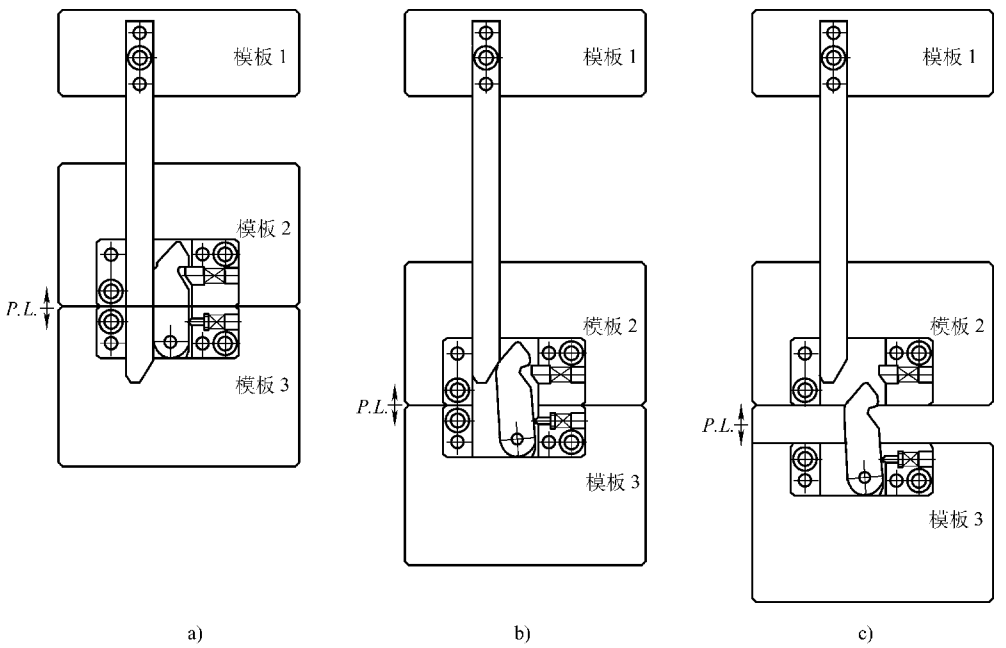
2）正确开模，无反作用力。

3）完全没有锁模负载，可用于低压锁模成型。

4）其动作与合模顺序无关。

5）流道推板先于分型面闭合时，锁紧块起到后退功能。

如图 14-15 是扣机的开模步骤，开模过程中，如图 14-15a 所示，由于插销尚未脱离凸轮锁块，凸轮锁块仍然扣紧在锁紧块上，模板 2 及模板 3 的分型面不开模，模具率先从模板 1 及模板 2 的接触面开模，当插销的斜面逐渐脱离凸轮锁块的斜面时，凸轮锁块绕着轴转动，从而逐渐脱离。



a)　　b)　　c)

图 14-15　扣机开模步骤

第 15 章　新型注塑模设计

15.1　双色模

双色模具是模具发展的一个亮点，从一登场就引起世人的瞩目，代表了模具行业发展的一个新方向。

15.1.1　双色模的特点及应用

1. 双色模具与包胶模具的区别

（1）双色模具　带有两个注塑系统的双色注塑机，可将不同类型或不同色泽的塑料同时或先后注入模具型腔内，制品只需要完成一次顶出的成型模具，称为双色模具。

（2）包胶模具　不同类型或不同色泽的制品分两次成型，先成型某一颜色或某一色泽的制品，一次成型后顶出模具，再放入另一套模具进行二次成型，最后顶出模具，称为包胶模具。一般这种成型工艺通常由两套模具完成，而不需要专门的双色注塑机。

2. 双色模具的形式

双色模具一半装在注塑机的固定板上，另一半装在回转板上。定模型腔形状不一致，动模型腔形状需要一样。当第一种颜色的塑料注塑完毕，动、定模分型面打开，动模旋转 180°，到达第二种颜色注塑的位置上，进行二次注塑，即可获得双色制品。如此循环，每个成型周期内都会有一模一次制品及二次制品产生。

双色模具根据注塑机的类型分为两类：平行式双色模具及垂直式双色模具。

平行式双色注塑成型如图 15-1 所示，两个平行注塑系统 3、5，两副模具 2、7 共用一个合模系统。模具的定模安装在注塑机固定模板 6 上，动模安装在注塑机动模回转板 8 上。两副模具的动模形状相同且具有 2 根互相垂直的对称轴，定模型腔一小一大。其主要过程为：注塑成型后开模，回转板转动 180°，将已成型的 a 制品（包在型芯上）作为嵌件送到大型腔所在的另外一个注塑系统 5 的工作位置上，合模后，注塑系统 5 向大型腔内注入 b 种塑料，对嵌件包覆或半包覆，经过注塑、保压和冷却成型后脱模。用这种形式可以生产分色明显的混合塑料制品。

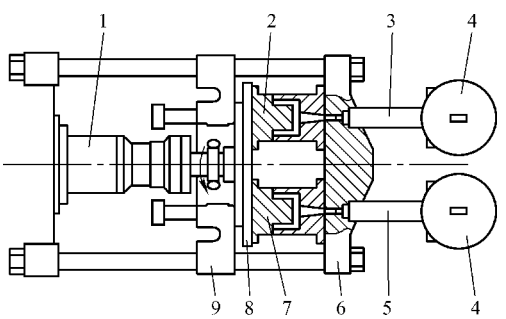


图 15-1　平行式双色注塑成型示意图

1—合模液压缸　2—模具 a　3—注塑系统 a　4—料斗
5—注塑系统 b　6—固定模板　7—模具 b
8—动模回转板　9—移动模板

垂直式双色注塑成型如图 15-2 所示，该双色成型注塑机有两个相互垂直的注塑系统 1、3，在注塑机动模的模具中心处有一个可伸缩和转动的回转轴 6。两副模具的动模形状相同，

定模形状不一致。其主要过程为：塑料经注塑系统 a 注塑到型腔 a 内，成型单色制品后开模，注塑机后面的回转轴 6 往前带动动模回转体 5 脱离导向导柱，再旋转 180°，将动模型腔 a 上的单色制品作为嵌件，旋转至型腔 b 内，再在导向导柱的导向下合模，塑料注塑到 b 模腔内（同时注塑系统 a 将塑料注塑入型腔 a 内），对嵌件包覆或半包覆成型双色制品，成型后开模，顶出 b 模上的双色制品，进入下一个成型周期。

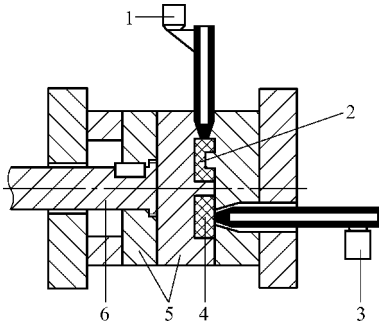


图 15-2　垂直式双色注塑成型示意图
1—注塑系统 a　2—型腔 a　3—注塑系统 b
4—型腔 b　5—动模回转体　6—回转轴

3. 双色模具的特点

目前市场上双色模具日益盛行，这种工艺可以使制品的外观更加漂亮，易于换色而且不用喷涂，但造价昂贵，技术要求高。双色模具具有以下特点：

1）定模的两个形状是不同的，分别成型一种制品，而动模的两个形状必须完全一样。

2）模具的动、定模以中心旋转 180°后，必须吻合。

3）第一次注塑成型的制品尺寸可以略大，以使它在第二次成型时能与另一个型腔压得更紧，以达到封胶的作用。

4）在设计第二次注塑的定模型腔时，为了避免定模型腔插伤第一次已经成型好的制品表面，可以设计一部分避空，但是必须慎重考虑每一处封胶位的强度。

5）注意在第二次注塑时，塑胶的流动是否会冲动第一次已经成型好的制品，使胶位变形。如果有这个可能，一定要想办法改善。

6）必须使得动、定模先合模，然后定模的滑块或斜顶才能复位，避免定模滑块或斜顶先复位而压坏制品。

7）动、定模型腔的冷却通道布置尽量充分，并且均衡一致。

8）由于软胶容易变形，所以 99% 的情况是先注塑制品的硬胶部分，再注塑制品的软胶部分。

9）为了使两种塑胶粘得更紧，要考虑材料之间的粘性以及模具的表面粗糙度。模具表面越光滑，它们粘得越紧。

10）注意动定模的定位，所有插穿面、靠破面的斜度落差应尽量大些，一般需要 0.1mm 以上。

4. 双色模具的应用

目前双色、多色注塑制品在日用、装饰、工具、汽车等多方面得到了广泛的应用，不同制品、不同颜色塑料结合在同一制品中出现，美观而充分利用了多种塑料的优点和性能。双色及多色，模具配合双色、多色注塑机，在一副模具内完成两种或多种塑料的注塑，大大提高了双色及多色制品的生产效率和成品率，降低了生产成本。

双色模具使用双色/双料注塑机，可生产出两种胶料（硬胶为主，软胶配合）及不同颜色的制品，特别适宜于成型有永久标记符合的各种按键。其优点是：同时缩短了成型生产周期，提高了生产效率。

选择双色模具，一般有以下几种情况：

（1）制品功能的要求　例如电源开关、手机按键、键盘指示灯等，要求 LED 的部分能

够透光。

（2）改善手感　一些手持制品，要求在手持部位使用合成橡胶，手感会比较舒适，例如对讲机外壳、电动工具把手、扳手、牙刷柄及保温杯等。

（3）增强美感　作为装饰品，如一些外观件的标示语（Logo），如果采用双色注塑，既漂亮又不用担心它会被磨掉。

（4）制品局部区域需要电镀　虽然塑料品种很多，但只有 ABS 和 PSU 表面可以电镀，如果要求制品的局部区域或者单侧需要电镀，就要把电镀区域注塑为 ABS，把不需要电镀的区域注塑为其他材料，如 PC 等。

15.1.2　双色模的设计要点

1. 缩水率（收缩率）

一般来说，双色模具的缩水率取决于第一次成型的塑料，第二次成型塑料和第一次成型塑料缩水率必须相同。例如第一次成型的塑料为 ABS（缩水率通常为 0.5%），第二次成型塑料为 TPE（缩水率通常为 1.8%），在双色模具设计时，要全部选用 0.5%，因为第一次成型的塑料已经把制品轮廓撑住了，第二次成型塑料不会收缩更多。

2. 流动性

要考虑原料的流动性，选择适当的壁厚，由于第二次成型塑料要爬越第一次成型塑料所成型的嵌件，如果壁厚不够，就会造成流动性不好，容易导致缺料、缩水、熔接痕等不良状况。一般来说，二次料的壁厚要保证 0.8mm 以上，最好能占到整个壁厚的 1/2。

3. 拔模角

双色模第一次成型塑料的拔模角选择比较灵活，应尽可能做大，Logo 的拔模角甚至可以放大到 15°，把底盘做大，这样就不容易被第二次成型冲垮。

4. 避免外观缺陷

在适当的地方改变第一次成型制品的形状，进而改善第二次成型塑料的流动方向与速度，以消除注塑缺陷或把不良状况赶到非外观面上。如图 15-3a 所示柱子背面胶位太厚，容易缩水，背面出现凹坑，影响了第二次成型的外观质量。如图 15-3b 所示柱子背面减胶，改善了出现缩水的趋向。

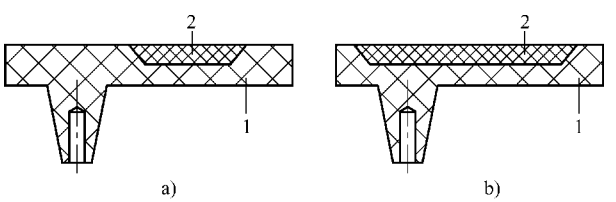


图 15-3　避免外观缺陷的措施

a）胶位太厚　b）改进后

1——一次成型制品　2—二次成型制品

5. 浇口位置的选择

双色模具对浇口的选择比较有讲究，如对于有 Logo 的制品，浇口要选择 Logo 开口的一侧，以有利于二次料的填充，如图 15-4b 所示进胶方式比图 15-4a 合理。

第一次成型的制品宜选择潜伏式浇口进胶方式，保证制品与流道可以自动切断，若无法采用潜伏式进胶时，可考虑三板模或热流道，三板模的缺点是压力损耗大，料头重。

6. 预压

预压对 Logo 的形状有相当敏感的影响，一般来说，Logo 的高度要比理论值大 0.02 ~ 0.05mm，如果太小，第二次成型塑料会跑进来，使文字的轮廓不清楚，如果预压太大则会

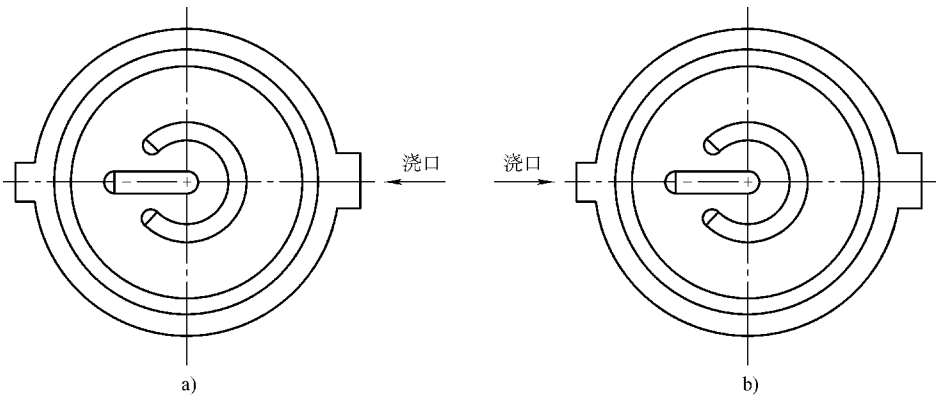


图 15-4　浇口位置选择

a）合理　b）不合理

导致 Logo 的线条过宽。

15.1.3　双色模设计实例

在进行双色料注射成型时，通常是不同颜色的同一种塑料，这种嵌件和包封塑料的结合强度好，若使用不同品种的塑料则应在嵌件上增设凹槽以增加结合强度。另外，当两种塑料要求的模具温度不同时，应使一次型芯（嵌件）和二次型芯（包封）控制在不同的模具温度下。

1. 双色单模的注塑模具

双色单模的注塑模具如图 15-5 所示，两个相同动模要对应两个不同的定模型腔。其中第二色型腔 5 体积往往大于第一色型腔体积 2，在第一次注塑后先开模，然后动模利用注塑机可旋转结构旋转 180°，再合模并采用与第一次注塑不同色的原料进行第二次注塑。第二次开模后，对已完成两次注塑的凸模进行脱模动作。第一次原料注塑和第二次原料注塑是同时进行的，要求注塑机上有两个注塑喷嘴，分别注塑不同颜色的原料，同时其动模固定板要附带有可旋转 180° 的回转装置。

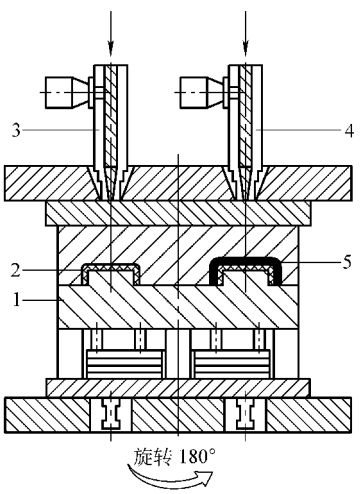


图 15-5　双色单模结构

1—动模型腔　2—一次型腔　3—注塑系统 a

4—注塑系统 b　5—二次型腔

2. 双色中板模结构

双色模的两个动模是完全一样的，但是，如果制品的结构要求两个动模也有所不同的时候，可以用中板模结构。

中板模的工作原理：注塑成型后，两副动模不动，注塑机在完成第一次注塑后，先把中板托出，然后使中板旋转 180°，再进行二次成型，这样，中板的成型部位可以做成不同的形状，达到预期的设计目的。下面以电话机双色按键模为例说明中板旋转式双色塑料注塑模的工作原理。

如图 15-6 所示，第一次注塑时，在型腔 2 内注射白色塑料，开模时动模部分后退，由

于剪切浇口设在定模，故分型时需要首先剪切分离流道，但动模型芯 2 仍留在动模部分的中板 3 上。动模继续后退，依靠注塑机的顶出机构通过顶杆 11，首先将主流道凝料从回转轴 12 内的冷料穴推出，再通过回转轴 12 将中板 3 推出，使动模型芯 2 从动模型腔 4 上脱出并保持在底板 1 上。动模后退到使中板 3 全部脱离动模板上的导柱后，固定在动模座板上的液压缸动作，注塑过程结束。注塑机内部的活塞带动连接杆的齿条、齿轮旋转，带动回转轴使中板旋转 180°，第一次注塑过程结束。

第二次注塑开始，合模后第一次注塑成型的动模型芯 2 正确地定位于动模第二型腔的动模型腔 9 上，然后两个喷嘴同时注塑，第一腔注入白色塑料，第二腔注入深色塑料，将字码嵌件包封，固化后开模。第一腔只推出凝料，字码件留在中板上；第二腔将双色按键及其凝料一同顶出。完成了第一个注塑周期，以后每开一次模都能生产出完整的双色按键。

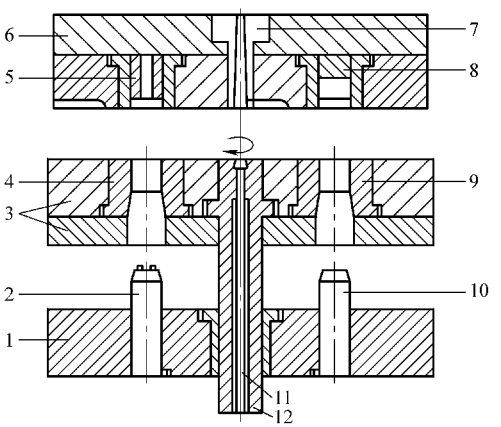


图 15-6　双色中板模结构

1—底板　2—动模型芯 a　3—中板　4—动模型腔 a　5—定模型腔 a　6—面板　7—浇口套
8—定模型腔 b　9—动模型腔 b　10—动模型芯 b　11—顶杆　12—回转轴

15.2　气体辅助注塑

气体辅助注塑是一种新型的塑料加工技术，此项技术最早可追溯到 1971 年，美国尝试用加气注塑方法制造中空鞋跟，但并未取得成功。1983 年英国采用低发泡注塑法制造建筑材料时衍生出控制塑料制品内部压力的成型方法，称之为气体辅助注塑（Gas – Assisted Injection Moulding）或简称为气辅成型。该技术在 1986 年德国国际塑料机械展览会上展示后很快被工业界作为新工艺加以接受，并誉为塑料加工业的未来技术。气辅成型技术在 20 世纪 80 年代末得到不断完善和发展，并实现商品化。90 年代作为一项成功的技术进入实用阶段，在西方发达工业国家推广应用，并在我国的家电和汽车行业获得成功的应用。在 21 世纪初，气辅成型已成为塑料加工领域广泛应用的新兴工业技术。

15.2.1　气体辅助注塑原理

气体辅助注塑工艺是利用气体的压力来辅助塑件的成型，根据气体的作用方式可分为内部和外部气体辅助注塑两种工艺。

1. 内部气体辅助注塑工艺

气体辅助注塑过程是先向模具型腔中注入经准确计量的塑料熔体（如图 15-7a 所示），再通过特殊的喷嘴向熔体中注入压缩气体，气体在熔体内沿阻力最小的方向扩散前进，推动熔体充满型腔并对熔体进行保压（如图 15-7b 所示），待塑料熔体冷却凝固后排去熔体内的气体，开模推出制品（如图 15-7c 所示）。与传统注塑相比，气辅成型增加了一个气体注塑阶段，且由气体而非塑料熔体的注塑压力完成保压过程。制品中用于引导气体穿透的加强肋或成型后由气体形成的中空部分称为气道。压缩气体一般选用氮气，因为氮气价廉、易得且不与塑料熔体发生反应。因工艺的不同，成型过程有压力控制和体积控制两种方式。前者是按一定的压力规则（如等压、分级、等变率等方式）注塑气体，后者是先将一定量的气体存入压力容器中，再由活塞的移动控制气体的注塑。

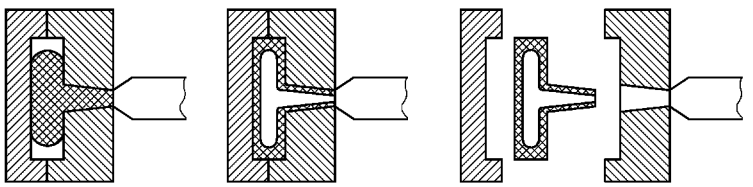


图 15-7　气体辅助注塑过程示意图

a）注入塑料熔体　b）注入气体及保压冷却　c）开模推出

气体辅助成型周期可分为如下 6 个阶段，如图 15-8 所示。

（1）塑料熔体充填阶段　这一阶段与传统注塑相同，只是在传统注塑时熔体充满整个型腔，而在气辅成型时熔体只充满局部型腔，余下部分要靠气体补充。

（2）切换延迟时间　从塑料熔体注塑结束到气体注塑开始的一段延迟时间，这一过程非常短暂。

（3）气体注塑阶段　从气体开始注塑到整个型腔被完全充满的时间。这一阶段相对整个成型周期来说很短暂，但对制品的质量却十分重要，控制不好会产生许多成型缺陷，如气穴、吹穿、注塑不足或气体向较薄部分渗透等。

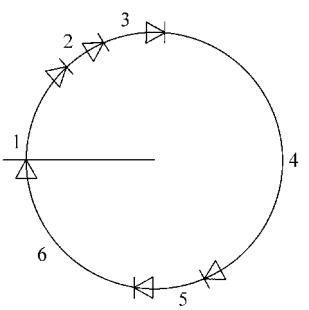


图 15-8　气体辅助成型周期示意图

（4）保压阶段　气体压力保持不变或略有升高，使气体在塑料熔体内部继续穿透（称为二次穿透），以补偿塑料冷却引起的材料收缩。由于气体由内向外施压，可以保证制品外表面紧贴型腔壁。

（5）气体释放阶段　气体入口压力降为大气压。

（6）推出阶段　当制品冷却到具有一定的刚度和强度后开模将制品推出。

2. 外部气体辅助注塑工艺

该工艺又称表面气体成型，它在模具表面及塑件表面的特别封闭处注入高压气体，使加压区的塑料被排挤以达到使产品表面没有缩痕的一种方法，如图 15-9 所示。这种特别封闭处也可称为加压区，而每一个加压区是由连接成品的密封件所包围，以防气体泄漏，密封件的截面可以是矩形也可以是三角形，这样可使成品的刚性被加强。当然，采用表面气体成型

方法会在加压区留下明显的痕迹，但是它绝不会影响产品的表面质量。

表面气体成型方法特别适合以下几种情况：塑料的收缩率十分高时；成品内柱状物体背面容易出现凹痕时；熔体充填模具型腔流程十分长时；当成品是薄壁塑件（厚度在 1mm 左右）而又不能加气槽及厚壁时。

以下未经特别指明的气体辅助注塑均指内部气体辅助注塑。

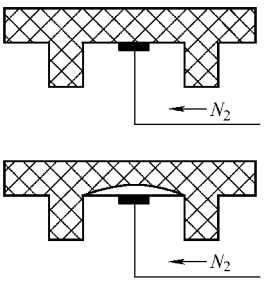


图 15-9　外部气体辅助注塑示意图

15.2.2　气体辅助注塑的分类与工艺过程

1. 标准成型法

标准成型法成型过程如图 15-10 所示。该方法先往型腔中注入经过准确计量的熔体（见图 15-10a），再通过浇口和流道注入压缩气体，气体在型腔中熔体的包围下沿阻力最小的方向扩散前进，对熔体进行穿透和排空（见图 15-10b），最后推动熔体充满整个型腔并进行保压（见图 15-10c），待塑料冷却到具有一定刚度和强度后开模顶出（见图 15-10d）。

对传统注塑模做少量修改（设置气道）即可实现该方法，但熔体/气体的切换延迟会导致制品表面出现迟滞痕，影响外观，当然也可通过后续的喷漆处理掩盖迟滞痕。

气体进入模腔内有两种方式：一是通过特殊的喷嘴经浇注系统进入，此方法无需对模具进行改造；二是通过气针进入，此方法直接在模具上钻孔将气体经气针引入到模腔（气针伸到型腔厚度中央），气针位置设置灵活。

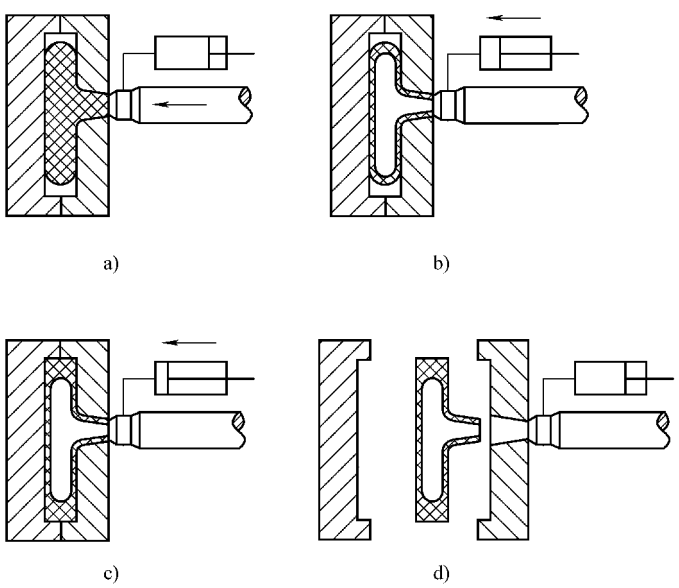


图 15-10　标准成型法成型过程示意图

a）注入塑料熔体　b）气体穿透　c）保压冷却　d）制品脱模

2. 副腔成型法

副型腔成型法成型过程如图 15-11 所示。该方法在型腔之外设置一与型腔相同的副型

腔，首先关闭副型腔，向型腔中注入熔体直到型腔充满并进行保压（见图 15-11a），然后开启副型腔，向型腔内注入气体，由于气体的穿透而使多余出来的熔体流入副型腔（见图 15-11b），当气体穿透到一定程度时关闭副型腔，升高气体压力对型腔中的熔体进行保压补缩（见图 15-11c），最后开模顶出制品（见图 15-11d）。该方法能避免迟滞痕的出现，但模具结构复杂，也浪费材料和能源。

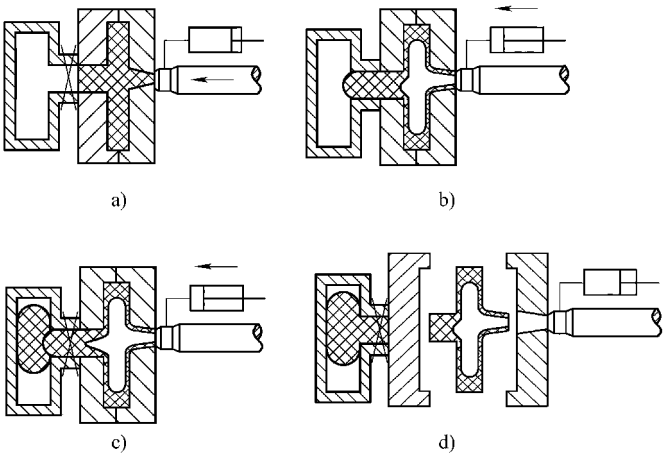


图 15-11　副型腔成型法成型过程示意图

a）关闭副型腔，充模并保压　b）开启副型腔，保压冷却

c）关闭副型腔，保压并冷却　d）制品脱模

3. 熔体回流法

熔体回流法成型过程如图 15-12 所示。该方法与副型腔成型法类似，不同的是模具没有副型腔，气体注入时多余的熔体不是流入副型腔，而是流回注塑机的料筒。该方法模具结构简单，制品表面无迟滞痕，但回流的熔体导致后续制品的质量下降。

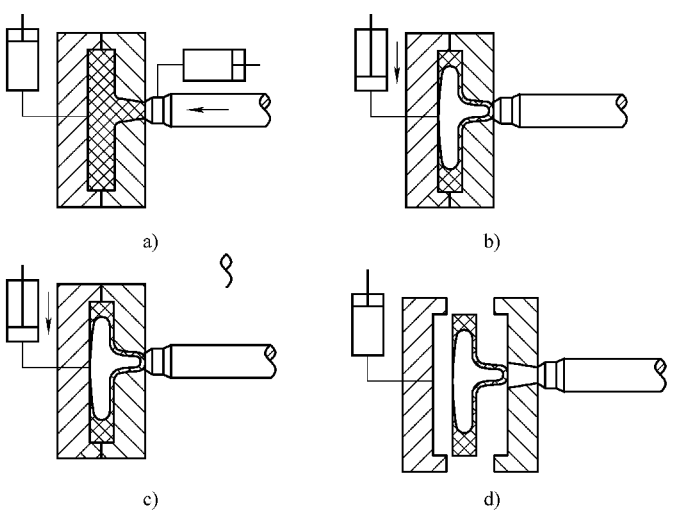


图 15-12　熔体回流法成型过程示意图

a）熔体充模并保压　b）注入气体，熔体向料筒回流　c）保压冷却　d）制品脱模

4. 活动型芯法

活动型芯法成型过程如图 15-13 所示。该方法在型腔中设置活动型芯。首先是活动型芯位于最长伸出位置，向型芯中注入熔体直到型腔充满并进行保压（见图 15-13a），然后注入气体，活动型芯从型腔中退出，给出所需的空间（见图 15-13b），待活动型芯退到最短伸出位置时，升高气体压力实现保压补缩（见图 15-13c），最后制品脱模（见图 15-13d）。该方法要求模具加设活动型芯的控制装置，制品表面会留下活动型芯的痕迹。

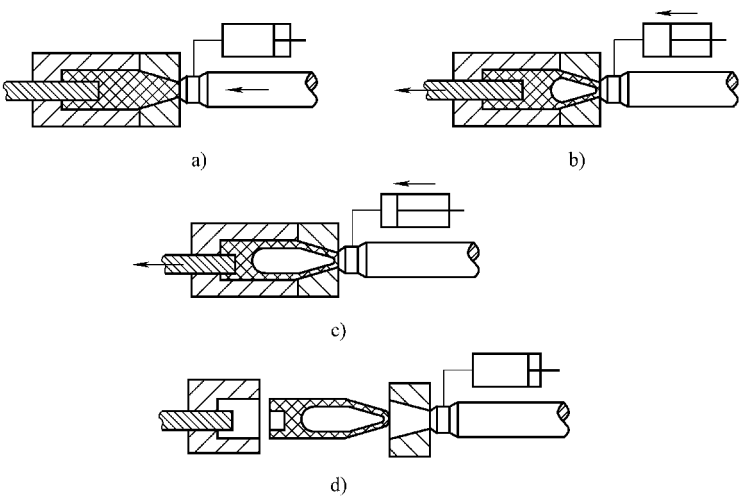


图 15-13　活动型芯法成型过程示意图

a）熔体充模并保压　b）注入气体，型芯后退　c）保压冷却　d）制品脱模

15.2.3　气体辅助注塑的特点与应用

1. 气体辅助注塑的特点

与传统注塑方法相比较，气体辅助注塑有如下优点：

（1）注塑压力较小　由于塑料熔体的流动速度、压力梯度和熔体的流动性成正比，因此当熔体的流长增加而又要求流动速度不变时应增加入口压力以便保持一定的压力梯度，这就是传统注塑入口压力不断增加的原因，如图 15-14a 所示。在气体辅助注塑时，由于气体是非粘性的，可以有效地把入口压力传递到气体与熔体的交界面而不产生明显的压力降。因此当气体推动熔体前进时，由于有效流长缩短，保持熔体前锋按一定速度前进所需的入口压力减小，如图 15-14b 所示。由于所需注塑压力减小，所需锁模力也相应减小（最多可降低 70%），可以降低对注塑机吨位的要求，从而使成本下降；型腔压力较小，还可以减小模具的损伤并降低对模具壁厚的要求，从而使模具成本下降。

（2）制品翘曲变形小　由于注塑压力较小且塑料熔体内部的气体各处等压，因此保压冷却过程中产生的残余应力较小，制品出模后的翘曲倾向减小。

（3）制品表面精度提高　气体辅助注塑的保压阶段，塑料的收缩可由气体的二次穿透予以补偿，且气体压力可使制品外表面贴紧模具型腔，所以制品表面不会出现凹陷。此外，采用气辅成型可将制品的较厚部分掏空，以减小甚至消除缩痕。表 15-1 为在相同条件下，

采用传统注塑与采用气辅成型时制品表面精度的对比。

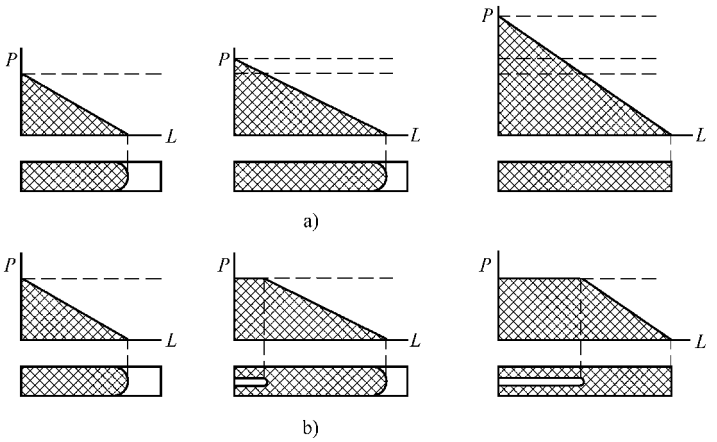


图 15-14　传统注塑与气辅注塑型腔压力分布示意图

a）传统注塑成型　b）气体辅助注塑成型

表 15-1　采用传统方法与采用气辅成型时制品表面精度的对比

成 型 方 式	保压力/MPa	冷却时间/s	制件质量/g	平面度/μm
传统注塑成型	35. 3	45	2462	35. 6
	35. 3	60	2462	26. 0
	35. 3	90	2462	13. 2
气体辅助注塑成形	10（气体）	45	2425	11. 6
	10（气体）	60	2427	11. 3
	10（气体）	90	2424	10. 2
	15（气体）	45	2418	9. 5
	20（气体）	45	2429	5. 3

（4）制品质量轻　由于制件内充了气体，壁厚控制好，因而原料消耗少，一般要比传统注塑方法减少 10% ~50% 。

（5）制品的刚度和强度增加　可以在不增加制品质量的情况下，通过加强肋内的气道改变材料在制品横截面上的分布，增加制品的截面惯性矩，从而增加制品的刚度和强度。这一优点对于汽车、飞机、船舶等交通工具的轻型化十分有利。

（6）制品设计自由度大　采用气体辅助注塑可成型壁厚差异较大的制品，将制品较厚的部分掏空形成气道。因此采用气辅成型的制品在设计上的自由度较大，可以将采用传统注塑时因厚薄不均必须分为几个部分单独成型的制品合并起来，实现一次成型。

（7）材料适用性好　适用于热塑性塑料、一般工程塑料及其合金和其他用于注塑的材料。

（8）能完全与传统注塑工艺（普通注塑机）衔接。

气体辅助成型存在的主要缺点为：

（1）设备投资大　因为需要增设供气和回收装置及气体压力控制单元，增加了设备投资。

（2）精度要求高　对注塑机的注塑量和注塑压力的精度有更高的要求。

（3）表面光泽不同　在制品的注入气体与未注入气体的表面会产生不同的光泽。

（4）工艺设计难度增加　制品质量对工艺参数更加敏感，增加了工艺设计的难度。这主要体现在以下几点：

1）确定熔体和气体的最佳注塑量、注塑压力和注塑时间。

2）确定注塑熔体和氮气的切换时间。

3）确定注入氮气的压力控制曲线。

4）预测熔体在型腔内的流动及气体的穿透情况。

5）计算所需锁模力和保压时间。模具设计者可借助于气体辅助成型过程模拟软件，如澳大利亚 Moldflow 公司的 MFIGAS 和我国华中科技大学模具技术国家重点实验室的华塑 CAE 对气辅过程的工艺参数进行预测。

（5）表面起泡　注入的气体会溶解在熔体中，模制品内表面可能由于气体膨胀而起泡。

（6）新要求提出　对塑料制件、模具的设计提出了新要求。

2. 气体辅助注塑技术的应用

气体辅助注塑可应用于大部分热塑性塑料和部分热固性塑料。目前气体辅助注塑主要应用领域为家用电器、汽车、家具、办公用品及日常用品等，使许多不能一次成型的零配件的成型成为可能，其主要应用范围如下。

按照制品的形状和特点分：

（1）大型平板塑料件　此类塑料件质量要求高，其模具采用直浇口注塑，如采用传统注塑极易产生变形，而采用气体辅助注塑工艺后，既保证了产品刚度、强度和表面质量，又减小了制品翘曲变形和对注塑机的吨位要求。典型的产品如各种机器的外壳、冰箱顶盖板等。

（2）棒形或管形塑料件　棒形或管形塑料件采用气体辅助注塑的目的是通过气体的穿透形成气道来节省原材料和缩短成型周期。典型的产品有衣架、手柄、电视机前框等。

（3）厚薄不均匀的塑料件　生产厚薄不均匀的塑料件，传统的方法需几副模具，然后再将几个零件装配在一起，这种经组装在一起的零配件不仅强度低，而且整体也不美观。而此类零件采用气体辅助注塑后，一方面可以通过零件合并来简化成型工艺，减少生产成本，也可以使制品的外观得到改进；另一方面可通过气道设计形成各种气体加强筋或凸台增大制品的刚度和强度。

按照制品的应用领域分：

（1）气体辅助注塑主要应用于汽车配件的生产。在汽车行业，气体辅助注塑技术广泛应用于仪表盘、内装饰件及保险杠等零件的制造。例如，神龙富康轿车的仪表盘基本上都是采用这一技术生产的。

（2）气体辅助注塑主要应用于大型家电。我国彩电行业几乎全部采用气体辅助注塑技术来生产大屏幕电视机的外壳。TCL、海尔、海信、长虹、康佳等著名电视机生产厂都相继引进了气体辅助注塑工艺技术。例如，TCL 彩电的前面板和后面板均采用气体辅助注塑技术进行生产。

（3）塑料家具的生产是气体辅助注塑技术的另一个重要应用领域。仿硬木家具在外观上要具备木质家具较为粗大的圆柱或立方结构，用传统注塑来加工，存在冷却速度慢、材料收缩不易控制、制品翘曲变形严重等难以克服的障碍，而且原料用量大、成本高。采用气体辅助注塑技术，以上问题即可迎刃而解。

总之，气体辅助注塑技术已为以上行业带来了不可估量的经济效益。

15.2.4　气体辅助注塑系统

典型的气体辅助注塑系统如图 15-15 所示，主要包括注塑机、气体压力控制单元和供气、回收装置。

1. 注塑机

由于气体辅助注塑通过控制注入型腔的塑料量来控制制品的中空率及气道的形状，所以气体辅助注塑对注塑机的注塑量和注塑压力的精度要求较高。一般情况下，要求注塑机的注塑量精度误差应在 ±0.5% 以内，注塑压力波动相对稳定，控制系统能和气体压力控制单元匹配。此外，气辅成型有时要求注塑机使用止逆喷嘴以防止熔体倒流，并通过反映螺杆行程的位移触发器触发气体压力控制单元。

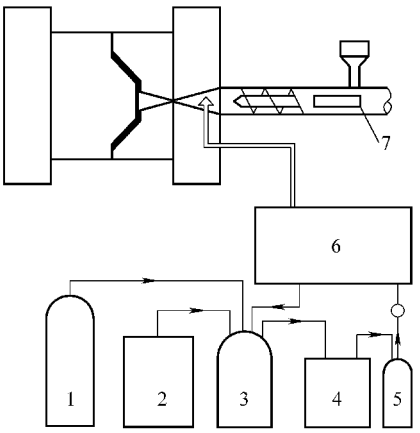


图 15-15　典型的气体辅助注塑系统

1—备用氮气罐　2—氮气发生器　3—低压氮气罐　4—增压装置　5—高压氮气罐　6—气体压力控制单元　7—位移触发器

2. 气体压力控制单元

气体压力控制单元包括压力控制阀和电子控制系统，有固定式和移载式两种。固定式气体压力控制单元是将压力控制阀直接安装在注塑机上，将电子控制系统直接安装在注塑机控制箱内，即气体压力控制单元和注塑机连为一体。移载式气体压力控制单元是将压力控制阀和电子控制系统装在一套控制箱内，使其在不同的场合和不同的注塑机上搭配使用。

3. 供气和回收装置

供气装置由备用氮气罐、氮气发生器、低压氮气罐、增压装置和高压氮气罐组成。氮气发生器制备的氮气（纯度可达 98% 以上）首先进入低压罐（储存量为 220 ~ 490L 不等，压力最高为 1MPa），然后经增压装置进入高压罐（储存量为 10 ~ 37L 不等，压力高达 35MPa），高压氮气再经气体压力控制单元以闭环方式按设定压力来控制气体进入模具。

供气装置在模具方面还应包括进气喷嘴。喷嘴分为两类：一类是主流道喷嘴，即塑料熔体和气体共用同一喷嘴。塑料熔体注塑结束后，喷嘴切换到气体通路上实现气体注塑；另一类是气体通路专用喷嘴，其又分为嵌入式和平面式两种。

回收装置用于回收气体注塑通路中残留的氮气，回收后的氮气进入低压罐，也可直接排入空气中。

15.2.5　气体辅助注塑件的设计要点

利用气辅成型的制品根据结构形状不同，大致分为棒类制品、大型板类制品及难以一次成型的特殊制品。

1. 棒类制品

气辅成型技术在棒状制件的成型中显示出明显的优势。一般采用欠料注塑的气辅工艺，气体从制品中心穿透形成中空。棒类制品设计应遵守以下原则：

1）制件截面外形尽量接近圆形，因为气体在气道中穿透形成的中空部分截面趋向于圆形，这样制品接近圆形可保证壁厚均匀。

2）对非圆形截面的制件，其截面应避免出现尖角，采用较大的圆角过渡。

3）采用矩形截面时，气道通常为椭圆形。为保证气体穿透的均匀性，应满足宽高比小于 3 ~ 5。

4）制件截面尺寸变化应平缓过渡，以免引起收缩不均。

5）制件长度应大于制件截面高度的 5 倍，保证沿制件长度方向气体尽量穿透，以得到均匀的壁厚。

6）制件转弯处应有足够大的圆角半径，避免内外转角处的较大壁厚差异。

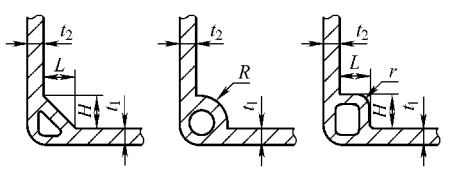
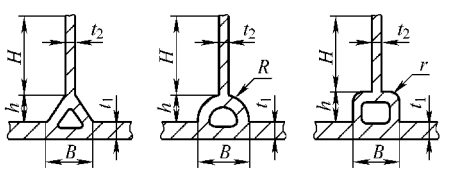
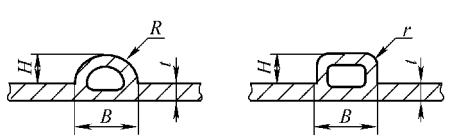
2. 板类制品

因为气体总是沿着阻力最小的方向前进，容易在较厚的部位进行穿透，因此，在板类气辅成型制品设计时常将加强筋或加设加强筋或肋板作为气道，一般设在制品的边缘或壁的转角处。其设计原则如下：

1）平板部分壁厚不宜超过 4mm，以免因气体穿透阻力小及冷却收缩量过大导致产生手指效应，即气体从加强筋内窜入平板区域，影响外观与强度。

2）气道的截面形状应接近圆形以使气体流动顺畅。气道的截面大小要合适，尺寸太小无法给气体提供良好的通道，会出现气体渗透甚至鼓包等现象；气道太大又会造成局部的熔体堆积，冷却收缩后形成表面凹陷，甚至当用作气道的边缘筋与中间的薄板部分厚度差异较大时，熔体先充填筋部，注入的气体向最后充满的薄板部分穿透并形成气穴，降低制品局部的表面强度。气道截面形式及推荐尺寸如表 15-2 所示。

表 15-2　气道截面形式及推荐尺寸

气道截面形式	尺 寸 参 数	说　　明
	$L=(1\sim2)t_2$ $H=(1\sim2)t_1$ $R=(1\sim2)t$ $r=(0.2\sim0.5)t$ $t=(t_1+t_2)/2$ t_1、$t_2\leqslant4$	用于制件拐角处，根据制件结构具体选取截面形式。根据制件大小确定尺寸参数，制件大者取上限，制件小者取下限
	$B=(2\sim4)t_1$ $h=(0.5\sim0.7)B$ $R=(0.5\sim0.7)B$ $r=(0.2\sim0.5)t_1$ $H=(5\sim10)t_1$ $t_2=(0.5\sim1)t_1$ $t_1\leqslant4$	用于制件加强筋根部，根据制件结构具体选取截面形式。根据制件大小确定尺寸参数，制件大者取上限，制件小者取下限
	$B=(2\sim4)t$ $H=(0.5\sim0.7)B$ $R=(0.5\sim0.7)B$ $r=(0.2\sim0.5)t$ $t\leqslant4$	用于制件中气道的连接，截面形式和尺寸参数应与所连接的气道相一致

3）气道依循主要的料流方向均衡地配置到整个模腔上，同时要避免闭路式气道，否则会使气体的穿透形成分支，最后在分支前端熔体交汇处形成熔合纹。

4）气道应尽量延伸至料流末端，但不需延伸到型腔边缘。因气体的深入穿透使制品内部压力分布更均匀，冷却出模后残余应力越小，则翘曲变形倾向越小。如矩形制品，如果选择两条加强筋的交叉处作为熔体和气体的入口，采用对角气道就比十字形气道效果好。

5）主气道应尽量简单，分支气道长度尽量相等，支气道末端可逐步缩小，以阻止气体加速。气道末端的外形应采用圆角过渡，以避免熔体聚集产生凹陷。

6）气道转角处应采用较大的圆角半径。

7）采用喷嘴进气时，对流道系统的流动平衡性要求高，因为气体的穿透对流动平衡非常敏感。

8）采用气针进气时，气针应置于厚壁处，进料口应置于薄壁处，二者需保持 30mm 以上的距离。

9）气针进气时，小浇口可防止气体倒流入浇道。

10）气针出气口方向应尽量和料流方向一致。

11）采用多点进气时，气道之间的距离不能太近。因为气体会穿透两个相邻气道之间的薄壁部分，使制件薄壁部分更薄，该处强度降低，甚至出现吹穿的缺陷。

3. 特殊制品

由于结构和使用的要求，一些复杂的注塑制品壁厚差异很大，不能采用传统方法一次成型，往往需要多个部件装配而成。例如某汽车支架零件，凸缘的壁厚远大于侧壁的壁厚，采用传统的注塑会在凸缘形成明显的凹陷，影响表面质量和使用性能。又如儿童的玩具铲子，手柄和铲子部分壁厚差异很大，通常只能采用多个零件装配而成。以上类似制品采用气辅成型后，均能很好地保证制件的表面质量，并且大大节省材料，缩短冷却时间。

15.2.6　气体辅助注塑模的设计要点

气辅成型注塑模具与普通注塑模具的基本设计原则是一致的，气辅模具结构上的特殊之处是，装有气针且连接气体压力控制系统，因此两者在设计要求方面稍有差别。在气辅模具设计中，这些差别应该给予足够的重视。

1. 型腔数量

气辅成型要求每个型腔欠料注塑必须相等。模具型腔数量越多，对进入各型腔的树脂量就越难以控制，欠料注塑的精确控制有时可能难以达到。因此气辅成型模具一般以一模一腔为佳，最好不要超过一模四腔。

2. 流道设计

冷流道系统的尺寸应该足够大，以便把一定数量的熔体以理想的模式充填到型腔中。由气体推动的树脂必须有去处，且必须足以将型腔充满；气体流动方向必须与熔融树脂流动方向相同；有时可能需要设置调节流动平衡的溢流空间，以得到理想的空心通道。

型腔中装有气针的模具可以采用热流道系统，根据气道的不同位置可采用阀式浇口或其他类型的浇口。对于从注塑机喷嘴进气的模具，不提倡使用热流道系统。

3. 浇口设计

浇口数目应尽量减少，一般制品只设置一个浇口。要选择合适的浇口位置，该浇口位置

应保证欠料注塑的熔体能均匀地充满型腔。如果浇口和气体注入点分开，则浇口应尽量使型腔最后的填充点靠近气道终点。对于气针安装在注塑机喷嘴和浇注系统中的模具，浇口尺寸必须足够大，以防止熔体在气体注入前在浇口凝结。特别是潜伏式浇口一般要比普通模具的浇口大一些。侧浇口和扇形浇口内部有气道时，其截面尺寸也要足够大，以便气体能顺利地进入型腔。

浇口设置在制品较薄处，设在厚壁处容易造成喷射。出现喷射现象时熔体会发生叠合，造成叠合部分熔体表面温度下降，这样气体穿透到第一个叠合面处时会吹穿熔体表面。

4. 气针的选择

气针是气辅模具上的重要元件，它的作用是将气体从模具引入产品的气道，阻止熔融塑料倒流入模具的气孔内，防止损坏模具。气针伸入塑件部分的直径和高度直接决定了塑件上所留下的气孔大小，在选择时除了要考虑充气效果外，同时还应考虑塑件的外观质量要求。高度也称塔高，是保证气体能否顺利充填模具的关键因素之一，通常依靠经验和实验来确定。

气针分为固定式和可缩式两种。固定式气针固定安装在模具上，在开模前靠气体压力控制系统中压力的降低而从进气口中排出气体，其缺点是容易堵塞气孔，但可在开模后利用高压气体吹空；还有一种是依靠端部多孔金属镶块进气的固定式气针，其缺点也是容易堵塞气孔。可缩式气针注气时阀门才打开，停止注气后气针阀门关闭，在开模前依靠液压缸带动气针后退一定距离而排出塑件内的气体，其优点是不易堵塞，但其机构和模具设计比较复杂。由于不同厂家的气针形状及规格都各不相同，给选用和更换气针带来很大不便。但专业气辅设备厂家一般都有各自的气针系列和规格，并可根据客户的特殊需要制造。

5. 气针位置选择

对于从浇注系统或型腔注气的模具，气针位置选择至关重要。气针位置应尽可能靠近浇口，以保证气体与熔体流动方向一致，但两者距离应大于 30mm，以避免气体反灌入浇口。并且气道入口不应设置在外观面或制件承受机械外力处。在气体注入之前树脂必须覆盖气针。由于气针的气孔很小，易堵塞，所以气辅成型模具在结构上要便于气针的更换和定时清理，并备好备用件以保证模具能够连续工作。

6. 冷却系统

由于气体流动对熔体温度、模具温度、模具表面粗糙度以及重力等因素较为敏感，所以应充分考虑冷却系统的布置，特别是整体模温和分段模温的可控性。不同模具温度将导致制品外表面固化层的厚度变化，从而影响充气效果，因此设计冷却系统时首先应考虑充气需要及效果。在不需要充气的制件薄壁处应先期冷却使树脂固化，防止气体窜入；气道部分模温稍高，以利于气体流动和制件成型。这与普通注塑模一般遵循制件各部位同时冷却固化的原则有所不同。但对于某一气道周围的模具温度则又要求尽量一致。如果气道周围的模具温度很不均衡，会使熔体冷却速率不一致，将导致固化层厚度分布不均，从而影响制品壁厚的一致性，故气辅成型模具比普通注塑模具更要求局部模温的一致性。

7. 型腔设计

模具型腔的设计应尽量保证流动平衡，以减少气体的不均匀穿透，因为熔体充填的不平衡会加剧气体穿透的不均匀性，导致结构对称制品出现各向性能差异，甚至在制品的某一方向发生吹穿现象。因此，保证型腔中熔体的流动平衡对于气辅成型模具更加重要。

8. 塑料收缩率

气辅注塑件同普通注塑件一样，收缩过程也分为模内收缩和模外收缩。模内收缩时，由于气体的二次穿透，气道区域的塑件尺寸与型腔壁尺寸几乎相等，所以在设计精密气辅模具时，对于设有气道的塑件部位，应取塑料收缩率的下限来计算模具的成型尺寸。模外收缩则与普通注塑模具基本相同。对于一般模具来说，塑料总体收缩率与普通注塑模具类似，其计算收缩率取值与普通注塑模具相同。

9. 其他值得注意的问题

模具材料一般选用模具钢，对于较小生产批量的模具，可以选用铝合金。在设计时还应考虑模具的排气问题，其设计原则与普通注塑模具相同。

模具要保证加工精度，尺寸的偏差易使产品壁厚出现偏差，导致进气不均，影响制品强度及表面质量。

采用缺料注塑时，进气前未充填的型腔体积以不超过气道总体积的一半为准。采用满料注塑时，应参照塑料的 P—V—T 关系图，使气道总体积的一半约等于型腔内塑料的体积收缩量。

15.3　水辅助注塑

水辅助注塑技术（Water – Assisted Injection Molding Technology，简称 WAIMT，也称作 Water Injection Technology，简称 WIT）是在气体辅助注塑基础上发展起来的新技术，即用水来代替气体辅助熔体流动充模，最后用压缩空气将水从制品空腔中排出。

早在 20 世纪 70 年代初，就有人提出将流体（水、油等）注入熔化聚合物中形成中空的概念，这就是后来称之为水辅助注塑的技术。但是，这种技术由于气体辅助注塑的出现和广泛应用而被搁置一旁。近年来，由于气体辅助注塑技术使用中暴露出的一些不足，人们又转而对水辅助注塑技术的研究工作产生兴趣。目前这一技术的研发工作进步很大，并已得到商用。

15.3.1　水辅助注塑原理

水辅助注塑过程是利用增压器或空气压缩机产生高压水，经过活塞式的喷嘴将高压水注入已经部分预充填熔体的型腔内，利用水的压力将熔体往前推而充满型腔；以水不会蒸发的这种方式进行注塑，水的前沿像一个位移柱塞那样作用在制品的熔融芯上，从水的前沿到熔体的过渡段，固化了一层很薄的塑料膜，它像一个高粘度的型芯，进一步推动聚合物熔体前进；待熔体冷却完成后，利用压缩空气将水从制品中压出，然后将制品顶出，形成中空的成型制品。利用在高速的熔体流动过程中水不会蒸发的这种特性，配合完善的工艺控制手段将水的优点完全展现出来，并且确保水的循环利用。

15.3.2　水辅助注塑的分类与工艺过程

类似气体辅助注塑技术，水辅助注塑技术也有 4 种方法，如图 15-16 ~ 图 15-19 所示。各成型方法的工艺过程及优缺点如表 15-3 所示。

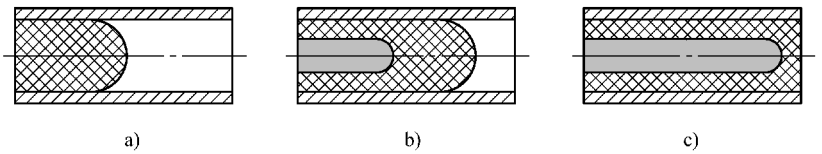


图 15-16　水辅助注塑短射法示意图

a）型腔部分填充　b）注入水　c）保压

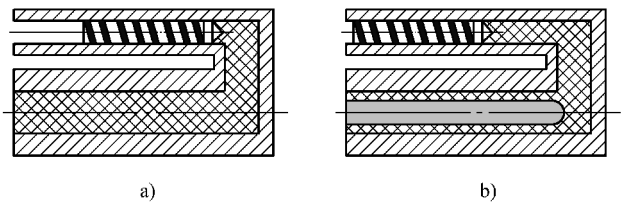


图 15-17　水辅助注塑回流法示意图

a）型腔充满熔体　b）注入水，推动部分熔体回流至料筒

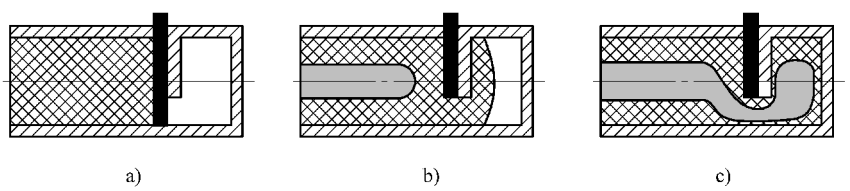


图 15-18　水辅助注塑溢流法示意图

a）熔体充满型腔　b）注入水　c）保压

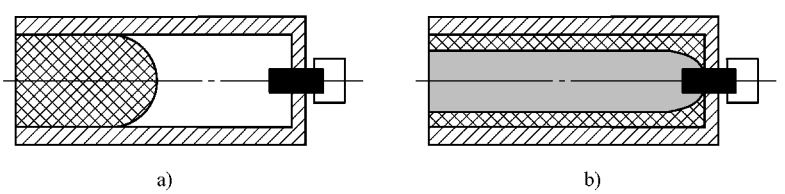


图 15-19　水辅助注塑流动法示意图

a）型腔部分充填　b）注入水并保压

表 15-3　水辅助注塑的方法、工艺过程及其优缺点

分类	工艺过程	优　点	缺　点
短射法	这种方法也叫吹胀法，如图 15-16 所示，它是通过对封闭型腔进行准确计量的熔体欠量注塑，然后迅速切换到向型腔内的熔体芯部注入高压水，推动熔体到达型腔的末端，同时实行保压，切断熔体和水的注入。待制品固化后，打开排水阀，借助水的重力或外界压缩空气的压力将水从制品内排出。排水阀安装在型腔的末端或附近，以便可以利用压缩空气进行排水	尤为适用于非常厚的制品，可省材料 水和气体的进出口可以设置在同一个地方或相邻位置	需对熔体注入量进行精密控制，如果注入熔体太少，水有可能穿透熔体进入型腔 水的注塑压力必须高于熔体压力才能将熔体推到型腔的末端 在熔体欠量注塑结束而切换到水的注入时，会因熔体流短暂的停滞而在制品表面形成滞留痕，影响外观质量。因此，用于表面质量要求高（A 级）的注塑是不可行的 短射末端的熔体可能形成一个相对较厚的部分，从而延长循环时间

（续）

分类	工艺过程	优　点	缺　点
回流注塑法	熔融塑料完全填充型腔，开启置于型腔末端或附近的水阀，向型腔内熔体芯部注入，水的压力高于熔体压力，因此推动多余熔体回流进料筒	没有废料 无滞留痕迹，能取得 A 级表面质量注塑	需要一个特殊的喷嘴和检测环使熔体能够回流至注塑单元 使用时必须小心避免水渗穿透至注塑单元，这对于吸湿性材料（如尼龙）将是个重要问题 为了得到稳定一致的回流量，这个工艺的每个部分都必须在控制的压力之内 回流的熔料可能与保料筒内的熔体有不同的压力和温度，造成工艺参数的变化，从而影响下一次的注塑 注水和注气需要两个分别独立的系统
溢流注塑法	模具需要两个型腔：一个是成型制品的主型腔，另一个是与其连通的副型腔。主型腔通过安装在末端的控制阀与副型腔隔开形成两封闭的型腔。注塑前关闭主型腔末端的溢流阀，待熔体完全充满型腔后，打开注水阀的同时，将溢流阀打开一部分，从而使注入的水能够推动中间的熔体通过阀门流入副型腔。然后关闭主型腔的阀门并对制品进行保压，而水通过重力或汽化排出	能够实现 A 级表面精度 允许一个比较宽的工艺范围 它的水压比非全注方法更低	溢流的材料必须通过修整、清理等二次加工工序使其与制品脱模
流动注塑法	结合短射法与溢流注塑的长处，使水完全从制品内部通过，以增加冷却效果。开始型腔部分填充，然后将水注入型腔，水推动熔料到填充型腔末端至充满整个型腔，开启设置在填充末端的特殊的控制阀，使水穿透熔体的前锋面的固化膜，通过型腔末端的控制阀而流入水循环系统	省料 高速冷却	制品表面末端有表面缺陷 低压力可能造成水渗透模具和制品的交界面

15.3.3　水辅助注塑的特点与应用

1. 水辅助注塑的特点

水辅助注塑与气体辅助注塑技术的根本差别在于二者使用的辅助介质性质不同。水是不可压缩的，水不但粘度高于气体，而且水的热传导率比气体大，其热容量也比气体高 4 倍。因此，相对气体辅助注塑，水辅助注塑具有如下优点：

1）缩短冷却循环周期。水辅助注塑的一大优点就是直接冷却制品的内部。水辅助注塑（WIT ）是将一定温度（10 ~ 80℃）的高压（30MPa）水注入型腔内熔体的芯部，水可直接

从制品壁厚的芯部对制品进行冷却，而且冷却是随着制品形状由内到外均匀作用的，冷却充分，效果好，因此可大大缩短制品冷却时间，相应缩短了成型周期。据研究表明，冷却时间能被减少到气体辅助注塑的25%，甚至更低。如成型直径小于10mm、壁厚为1.0～1.5mm的制品，气体辅助成型时间为60s，而水辅成型时间只需15s。

2）制品表面无缩痕，外表更光滑。水辅助成型中使用的是近30MPa的高压水，熔体在这个压力作用下紧贴型腔壁流动并冷却固化，制品的整个注塑保压与冷却定型过程始终受到来自制品芯部的水压力的作用。制品密度高，冷却均匀，收缩一致，表面平整无缩痕，没有翘曲与扭曲变形，外观质量好。

3）可成型内表面光滑的制品。由于水辅助成型所用的水温远低于熔体温度，因此注入型腔的水与高温熔体接触界面会因熔体温度降低而立即形成一层光滑的高粘度固化膜，但水不会穿透固化膜进入壁厚，同时水流前锋面的熔体在水压力作用下向前推移，使更多的熔体向前移动，从而获得壁厚较薄且内表面光滑的制品。其次因为水的粘度高于气体，并且由于熔体固化膜的阻隔作用，使水不会像气体那样容易渗入到熔体内，因此可获得内表面光滑的制品。而气体则容易与聚合物混合并渗透到制品内表面，当气体再次渗出时，在制品的内表面会产生气泡或形成空隙，致使制品内表面粗糙。

4）减小壁厚，使壁厚更加均匀，厚壁产品容易设计与挤出，并节省材料。注入高压水，交界面所形成的固化膜在水压力作用下向外均匀施压，使尚未凝固的制品壁因受压而变薄，因此可成型比气体辅助成型所能达到的壁厚更薄的制品，因而节省材料，减轻制品质量，降低成本。研究表明，水辅助注塑可节省材料30%～40%。气体辅助成型在用于直径较大的制品成型时，因为气体的压力有限及可压缩性，其壁厚较大，而且易造成制品内表面产生气泡。当成型直径超过40mm的制品时，气道形成后，因壁厚较大，气体冷却作用微弱，易造成壁厚不均，而水辅成型具有高于气体的水压力及快速冷却的作用，可使壁厚而均匀。

5）水介质易于控制与获得且可重复利用，节省注塑成本。水辅助成型方法中，水的温度、压力、流量等易于准确控制，有利于保证成型制品的质量。同时水的来源比气体辅助成型用的氮气方便易得。制品中排出的水可回流到供水系统循环使用，因此可以降低生产成本。

6）细化结晶结构。气体辅助注塑时，由于产品空腔内部的传热性差以及低冷却率，因此内侧会形成较粗大的结晶结构。相反，水辅助注塑时，因为水对内侧的良好冷却作用，制品的内部结构与普通注塑相似，即制品断面内材料结构比较对称，制品具有较小的晶相结构。

7）从经济角度考虑，水辅助注塑工艺比气体辅助注塑更便宜，因为它不涉及到许可证费用。如果利用了短射出工艺，更为经济的工艺就完全由生产量和材料所决定。当然，要充分利用这个优点，必须收集加工影响因素的更多信息。针对水辅助注塑的特殊要求，原材料制造商也要对他们的产品等级进行调整。

但作为一项新兴的技术，水辅助注塑（WIT）技术目前还存在以下缺点：

1）还难以快速确定合适的工艺参数，如水温、水压、水流率等。

2）还不能确定在熔体内部流动的水对物料结晶化的淬火和制品性能的影响。

3）增加了排水工序。排水方式目前有两种方法：一是靠水的自重排空；二是借助外界

压缩空气的压力将水排出。后者排水干净，但需增加供气装置。

4）要求严格可靠的密封。水的密封问题是关系到水辅助成型技术能否获得广泛应用的关键，一旦发生水的泄漏或喷射到模具上，会影响制品的成型质量。

5）适用于水辅助注塑（WIT）技术的材料还较少。由于水的快速冷却作用，常规塑料容易出现过早激冷、水穿透和水指等缺陷。BASF、DuPont、Lanxess、Rhodia 和 A. Schulman 公司都研发出适合水辅助注塑的尼龙材料。这些塑料结晶减慢从而减少过早激冷、水穿透和水指缺陷。这些材料都是为汽车内部用途开发的，可以替换管、金属线槽和液体传输件。所有这些材料都加有填充剂或改良剂，以提高耐湿性。

2. 水辅助注塑的应用

水辅助注塑技术的应用范围与气体辅助成型技术基本一致，但它可以在更短的成型周期下成型具有更大内部空间、更小壁厚，以及内表面光滑的制品。既适用于小型制品的成型，也适用于大型制品的应用。

（1）复杂形状的管状制品　这类制品用水辅助注塑技术可获得较小的壁厚和更大的截面空间，节省材料，缩短成型周期，如各种手柄、家具腿、扶手、门把手、汽车上的冷却管路和其他流体系统等。

（2）壁厚不均的复杂结构制品　这类制品的厚壁部分利用水辅助注塑技术，可以避免传统注塑成型工艺中因收缩不均而引起翘曲、扭曲及表面缩痕等缺陷，从而获得平整光滑表面的制品，提高了制品设计的灵活性和自由度。

（3）厚壁制品　对壁厚或直径较大的制品，用水辅助注塑技术可获得较小的壁厚和合理的结构刚度，大大减小制品的重量，节省材料。同时降低了成型制品对注塑机的要求。其实际应用如汽车离合器、刹车器、加速踏板、厨房器具的把手、办公家具、户外活动设备及托架等器具。

水辅助注塑技术的发展趋势是：减少介质导管生产时的冷却时间；生产直径较大的制品；生产残留壁厚较小的制品。总之，水辅助注塑技术是对气体辅助注塑技术的理想补充。

15.3.4　水辅助注塑系统

水辅助注塑系统包括精密注塑机、水辅装置、模具及排水装置。

1. 精密注塑机

水辅助注塑通过精确控制注入型腔的预注塑量来控制制品的质量、中空率及水道的形状，所以对注塑机的注塑量和注塑压力控制精度要求较高。通常注塑量精度误差应在 ±0.5% 以内，注塑压力波动相对稳定，控制系统能和气体控制单元匹配。因此，要采用注塑量和注塑压力控制精度较高的精密注塑机。

由于水辅助注塑（WIT）可以与其他的注塑工艺进行组合，选择注塑机时，可选择与其组合技术相适应的注塑设备。

2. 水辅装置

水辅装置作为一个模块可直接外挂到注塑机上实现水辅助注塑。水辅装置包括水压发生器、水压控制单元、注水喷嘴及水路。

（1）水压发生器　主要作用是产生近 30MPa 的高压水，熔体在这个压力作用下紧贴型腔壁流动并冷却固化，制品的整个注塑保压与冷却定型过程始终受到来自制品芯部的水压力

的作用。

（2）水压控制单元　水压控制单元的作用是接收注塑机射胶结束的信号后开始计时（延迟时间），而后根据设定的压力—时间曲线精确控制压力阀各时段的输出压力。要求水压控制单元能够精确地控制水压、防漏，并仅能通过电动增压，结构紧凑，可以安装在靠近模腔的位置。

（3）注水喷嘴　注水喷嘴的作用是将高压水注入模腔中，由于水辅助注塑的特性，要求注水喷嘴尺寸要小，注水时直径可以扩充到很大，阀门的开闭灵活，防漏水，易安装。

3. 模具

水辅助注塑模具主要用来成型管、棒类零件，模具上要安装注水喷嘴和排水装置。

4. 排水装置

水辅助注塑完成后，注入水的排出方式有：依靠重力自行排出；在模腔的远端通入压缩空气吹出；通过注水喷嘴注入压缩空气；抽真空。不同的排水方式要求有不同的排水装置。

商业水辅助注塑系统通常含有独立的带有压力、温度和流量控制器的水输送器，用来在加工中对水阀和气阀进行控制。很多系统还包含过虑装置和专门的水注塑喷嘴或喷头，一些设备还能具有双重功能，将水注入模具和将水排出模具。不同设备的最大流速和水压有所不同，多数设备则需要一个从注塑装置传来的信号来触发循环的开始。全球已经比较商业化的水辅助注塑技术和设备的提供商有：德国 IKV 的水辅助注塑装置、Alliance 气体系统公司（Alliance Gas Systems）、Battenfeld 公司的 Aquamold 系统、Cinpres 气体注塑公司、Engel 公司的 Watermelt 系统、Ferromatik Milacron 公司提供回推和溢流两种方式水辅助注塑设备、Maximator 公司的 WID 系统、PME 公司。我国华南理工大学塑料橡胶装备及智能化研究中心的邓志武和黄汉雄等人自主研发了一套水辅助注塑设备，以及一款经过大量实验得到的新型喷嘴，并进行了相关的实验研究。

15.3.5　水辅助注塑模的设计要点

水辅助注塑模具与气体辅助注塑模具设计原则非常类似，可参照应用。但由于引入的是水，因此两者在设计要求方面还是稍有差别。

1）水辅助成型制件的水道要比相应气体辅助成型制件的气道要大，以保证水大流量注入推动熔体充填，避免水受热汽化渗入熔体中。相应地水辅助成型模具水穿透部位对应的型腔截面也更大些。

2）对水路的良好密封是水辅助注塑模设计中应非常注意的一点。

3）模具要用耐腐钢材（坚固的镀镍层或氮化钛涂层对于保护水辅助注塑模具不受腐蚀是必不可少的）。

15.4　低发泡注塑成型

低发泡塑料又称硬质泡沫体、结构泡沫塑料或合成木材。所谓低发泡是指发泡倍数在 2 倍以下，且仅限于中心部分发泡，而表层为致密层的塑料。低发泡注塑可用于多种塑料，如 PP、PE、PS、ABS、PVC、PA、EVA 以及 CA 等。

具有整体壳层及多孔芯层的低发泡塑料，由于其具有较高的比强度、比刚性及较低的密

度（仅为同种材质密度的 70% ~80%），已在电子电器、工业配件、汽车零件、仪器仪表、精细家具及环保产品等领域获得了广泛的应用。

以注塑方式获得低发泡塑料制品是目前最主要的加工方法。当然，也可采用挤出成型或反应注塑的方法生产低发泡塑料制品。

15.4.1　低发泡注塑方法

为了获得表皮较硬，且呈木纹或皮纹的外观、内芯柔韧且具有一定弹性的低发泡塑料，在成型工艺上通常可分为单组分法和双组分法。单组分法又分为高压法和低压法两种。双组分法以夹芯层注塑法为主。这些方法的特点如表 15-4 所示。

表 15-4　低发泡注塑方法及其特点

低发泡注塑方法		特　　点
单组分法	低压法	低压法称为不完全注入法，是将含有发泡剂的体积小于型腔容积的塑料熔体（一般为型腔容积的 75% ~85%）注入到模具型腔中，依靠发泡剂的作用使熔体膨胀后充满型腔并成型为制品 型腔压力通常约为 2 ~7MPa 通常采用化学发泡剂（如偶氮二甲酰胺等） 制品泡孔均匀，但表面粗糙 配有发泡剂的物料在注塑机机筒中塑化时，发泡剂会均匀扩散和渗入到熔体之中，然后便能开始分解并释放气体，但因为螺杆对熔体施加有一定的注塑压力，该压力大于发泡剂产生的气体压力，再加上注塑速度很快，所以发泡剂一般只能在熔体进入型腔后才能发挥作用 要求注塑机喷嘴能够自锁和密封，以免熔体倒流或者在注塑动作间歇时，含有发泡剂的熔体在发泡气体作用下从机筒中溢出。对于小型低发泡制品，在普通注塑机上安装一个阀式自锁喷嘴或液控自锁喷嘴即可；而对于大型低发泡制品，因受普通注塑机注塑量、注塑速度，以及模具安装尺寸等参数的限制，需要使用专门的大型低发泡注塑机
	高压法	高压法又称为完全注入法、二次开模法等，是用较高的注塑压力将含有发泡剂的塑料熔体完全注满容积小于制品体积的闭合型腔，接着通过一次辅助开模动作增大型腔容积，使之能够与制品要求的体积相符，以便熔体能在模内发泡和成型 型腔压力比低压法高，约为 7 ~15MPa 制品表面平整度较高，表观质量较好，发泡孔隙均匀；熔体的发泡膨胀受辅助开模时间的影响，因而可以控制制品致密表层的厚度 模具结构复杂，在辅助开模时对注塑机有保压要求，一般都必须使用专用的注塑机
双组分法	夹芯层注塑法	两种不同配方的材料，先将其中一种注入模具型腔，再通过同一浇口注入第二种材料。第二种材料完全被第一种材料所包围。如果需要发泡的内芯，当塑料充满型腔后，再将模具开启一定的距离，使内芯层发泡，形成内芯发泡的复合型塑料制品

图 15-20 是一种最简单的高压低发泡注塑示意图。模具由动、定模组成，动模随注塑机移动一段距离使制品发泡。由于型芯的移动，在制品的侧面将形成线状条纹，影响了制品侧表面的质量。如图 15-21 所示的结构增加了一块辅助开模板，发泡时使分型面不分开，从而避免了辅助开模运动在制品侧面形成的线纹。

夹芯层（双组分）注塑法工艺过程，分为 5 个阶段，如图 15-22 所示。

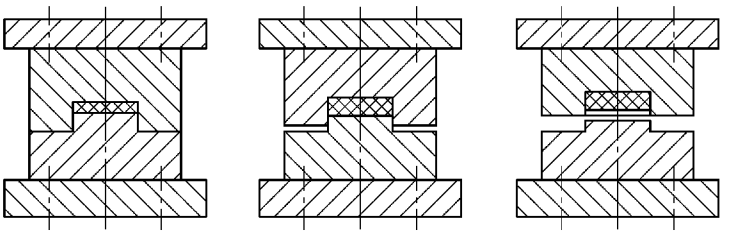


图 15-20　简单的高压低发泡注塑示意图

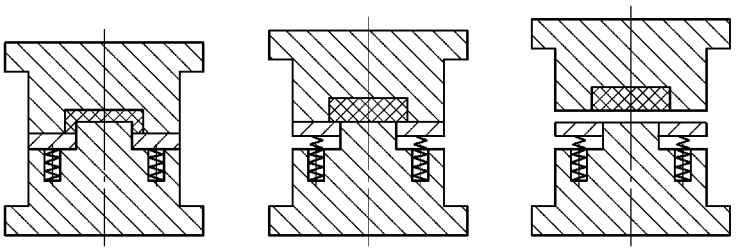


图 15-21　带有辅助开模的低发泡成型

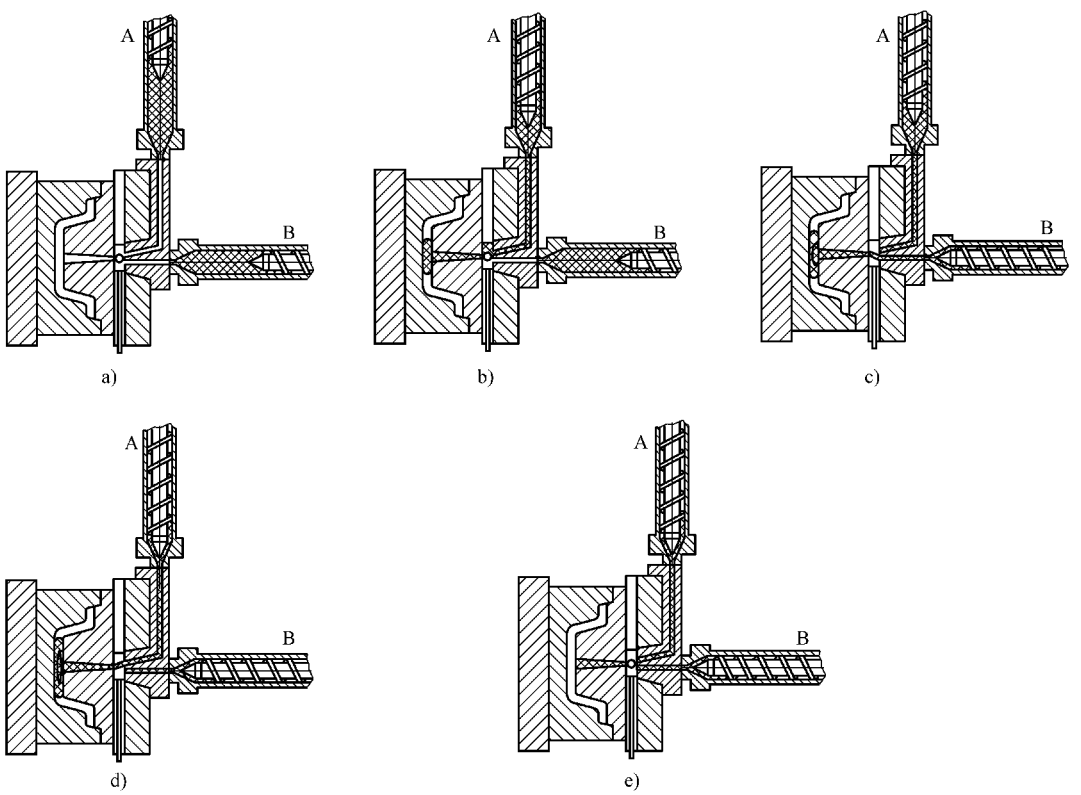


图 15-22　夹芯层（双组分）注塑法工艺过程

a）第一阶段　b）第二阶段　c）第三阶段　d）第四阶段　e）第五阶段

1）第一阶段：模具闭合，两个注塑装置加料完毕，两根螺杆已经后退和供料，分配喷嘴呈关闭状态，如图 15-22a 所示。

2）第二阶段：分配喷嘴对着第一个注塑装置（A 种塑料），并已经将部分 A 种塑料注入模具型腔，如图 15-22b 所示。

3）第三阶段：分配喷嘴对着第二个注塑装置，把 B 种塑料注入型腔。B 种塑料在注入型腔的同时把 A 种塑料推向模具型腔的边缘，但不能冲破 A 种塑料。因此，必须控制好两次注入塑料的切换时间、温度、注塑速度，以保证 B 种塑料将 A 种塑料向前推进时，在型腔的边缘形成均匀的 A 种塑料的薄层，而不会将此薄层冲破，如图 15-22c 所示。

4）第四阶段：在保压下再次往型腔注入一定数量的 A 种塑料，以清洗浇口处的发泡塑料 B。如果不注入附加的 A 种塑料，当浇口与制品切断时，在浇口处就会暴露出泡沫结构；此外，残余的发泡材料还会滞留在分配喷嘴内，在下一次注塑时，这些残料就会在制品的表皮暴露出来，如图 15-22d 所示。

5）第五阶段：当型腔充满后，关闭分配喷嘴，保压几分钟后将模具开启一定距离，B 种塑料发泡，如图 15-22e 所示。

15.4.2　低发泡注塑的工艺参数

低发泡注塑的工艺参数及其影响如表 15-5 所示。

表 15-5　低发泡注塑的工艺参数及其影响

工艺参数		影　响
温度	熔体温度	对型腔内气泡的形成和扩散具有重要的影响：提高温度可以增大发泡成型时的气体扩散系数，有利于在塑件内部形成较多和较均匀的气泡；温度过高，充模过程中会产生喷射现象，影响塑件的发泡成型质量 因此，在生产中要严格控制注塑时料筒的温度
	模具温度	对塑件内气泡的分布及其大小有影响，对塑件的表面质量也有影响：熔体等温充填型腔时，塑件内的气泡数量较多，分布较均匀；非等温条件下充填型腔时，低温下产生的气泡数量要比高温时产生的气泡少得多 因此，成型时需根据不同的材料选择合适的模具温度，并尽量采用等温充模：聚烯烃低发泡注塑的塑件表面质量与模温关系不大，可在 30 ~ 40℃内选择；而聚苯乙烯和 ABS 等低发泡注塑的塑件表面质量受模温影响较大，可在 30 ~ 65℃内选择
压力	注塑压力	注塑压力对气泡的形成、大小、分布等均有影响：注塑压力不大时，塑料熔体在浇注系统中流动时就有可能发泡，充模后成型塑件内气泡直径大且不均匀；在较大的注塑压力作用下，熔体在浇注系统内不大可能发泡，所以充模后成型的塑件内气泡直径较小且分布也较均匀；如果注塑压力过大，有可能大幅度影响发泡气体的扩散，并最终影响发泡率 注塑速度与注塑压力相辅相成，在低发泡注塑中，一般都要求使用较大的注塑速度，以防止塑料熔体在浇注系统中提前发泡
	保压压力	熔体在保压作用下将会不断地发生瘪泡现象。保压压力较大、保压时间较长时，模具型腔会得到较多的补料，熔体内的瘪泡现象就会加剧，瘪裂后的气泡直径将会减小 因此，应恰当选择保压压力和保压时间，以控制塑件的发泡质量
时间	注塑时间	与普通注塑相同，一般为 10 ~ 20s，小的塑件最短可取 3s 以下
	冷却定型时间	冷却定型时间较长，这是因为塑件外层组织结构紧密，内部为疏松泡孔，热传导性很差，如果冷却定型时间不足而过早脱模，虽然表面已固化，但发泡剂仍有可能继续在内部发生作用，这将会导致塑料制件变形、尺寸超差 因此，正确选择和控制冷却定型的时间，是保证低发泡注塑塑件质量的重要因素之一

15.4.3　低发泡注塑模具的设计要点

低发泡注塑模的结构总体上和普通注塑模基本相同，但在设计时应从以下几方面予以考虑：

1. 低发泡塑料成型收缩率

低发泡塑料注塑的收缩率较小。根据经验，各种塑料的成型收缩率大致是：高压聚乙烯为1.8%、聚丙烯为1.5%、聚苯乙烯为0.5%。

2. 模腔数

在低发泡注塑中，如果采用多模腔结构，流道较长，易导致各个模腔之间的发泡率不均，因此，低发泡注塑一般采用单模腔结构。

3. 浇注系统的设计

（1）主流道　应开设在单独的主流道衬套内，且具有比普通注塑模主流道大的锥度。小端直径比注塑机喷嘴内径大0.8～1.0mm，锥度取6°～7°，最大长度不超过60mm。出口端应具有较大圆角，采用这种粗而短以及大圆角过渡的主流道设计，目的是为了快速充模。由于发泡材料的冷却速度较慢，当主流道较长时，在浇口套外部要开设冷却水道通冷却水。

（2）分流道　在低发泡塑料成型过程中，分流道应尽量短，而且断面尺寸要比普通注塑模大，以免熔体在注入型腔前不发泡。断面形状以圆形为佳，分流道直径应在10～20mm范围内选取，具体需视流道长度、注塑速度和制品大小而定。

（3）浇口　浇口设计直接关系到制品质量，特别是对于要求仿木纹的制品，浇口位置、数量及着色剂等与木纹的形成密切相关。如图15-23所示，中心浇口的制品纹理呈辐射状，单侧浇口的制品纹理也呈放射状，多侧浇口的制品可得到平行纹理。

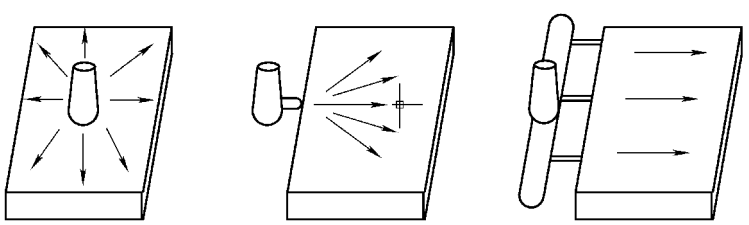


图15-23　浇口位置与纹理关系

在原则上，普通形式的浇口都能在低发泡模具中使用，但最好采用直接浇口或侧浇口。潜伏式浇口和其他浇口，只限于短流道（小于80mm）的小型制品使用。浇口断面积不能太小，以免妨碍快速充模。当分流道直径为20mm时，浇口直径不得小于6.5mm。从分流道向浇口过渡应有R3.0～R4.5mm的圆弧，以减小浇口对料流的节流作用。浇口长度应尽可能短，一般在1.5～3.0mm之间。浇口厚度不能过薄，一般为制品壁厚的1/3～1/2，设计时可取较小值，试模时视需要逐渐修大。

4. 排气槽设计

低发泡注塑模的排气具有特别重要的意义。这不仅是由于型腔容积大、聚集空气多，而且还由于发泡剂分解释放出大量残余气体。因此，这类模具必须具有更大的排气范围。通常沿制品四周均匀布置排气槽，两槽之间相隔50mm，槽深0.07～0.08mm，槽宽12mm，槽长

6mm，大于此长度之外的槽深可增至 0. 25 ~ 0. 30mm。在型腔壁离浇口最远端的各个角落处，排气槽深度可增至 0. 30mm。为最后取得槽深的排气效果，必须通过一定的试模次数来确定，从而可获得密度均匀、表观质量好的制品。

5. 辅助开模机构

在高压低发泡注塑时要进行辅助开模，因此在结构设计时要采用灵活可靠的辅助开模机构。

6. 脱模机构设计

低发泡注塑模的脱模机构基本上与普通注塑模相同，但由于低发泡制品的表面是较坚韧的皮层，而其心部则是泡沫弹性体，因此推出面积应尽可能大，以减小单位面积上的推出力，否则会损坏制品或产生凹入变形。若采用推杆结构时，推杆直径应比普通注塑模的推杆直径大 20% ~30% 。

7. 脱模斜度

因为低发泡塑料成型的注塑压力低，制品的表面强度也较普通制品低，脱模斜度应比普通注塑模大一些，以减小脱模阻力。根据经验，各种塑料最小脱模斜度推荐值是：高压聚乙烯为 15′、聚丙烯为 30′、聚苯乙烯和 ABS 为 1°。

8. 冷却装置设计

冷却对低发泡塑料注塑很重要，因为低发泡塑料制品的壁厚比普通制品厚，其最小壁厚为 3. 5 ~4mm，否则不能发泡。又由于低发泡塑料制品中含有微小的气孔，其热传导率约为普通制品的 1/4 左右，因此低发泡塑料制品成型时冷却时间较长，冷却要求均匀，否则制品外观会有明显差异，因此应强化冷却系统。大多塑料品种受模温影响较小，而聚苯乙烯或 ABS 发泡塑料制品的外观受模温的影响较大。聚烯烃塑料制品模温应在 30 ~40℃之间，聚苯乙烯和 ABS 模温应在 35 ~65℃之间。

9. 模具材料

模具材料低发泡注塑是在注塑压力不大的情况下进行的，因此模具不需要很高的力学强度，其成型零部件可以用铝合金、锌合金等材料制造。

15. 5　熔芯注塑成型

当注塑结构上难以脱模的塑件，如汽车输油管和进排气管等复杂形状的空心塑件时，一般是将它们分成两半成型，然后再拼合起来，致使塑件的密封性较差。随着这类塑件应用的日益广泛，人们将类似失蜡铸造的熔芯成型工艺引入注塑，形成了所谓的熔芯注塑方法。

15. 5. 1　熔芯注塑原理与过程

根据使用的塑料种类可分为热塑性塑料和热固性塑料的熔芯注塑，其原理也有一定差异。

热塑性塑料的熔芯注塑基本原理是：先用低熔点合金铸造成可熔型芯，然后把可熔型芯作为嵌件放入模具中进行注塑，冷却后把含有型芯的制件从模腔中取出，再加热将型芯熔化，使得型芯与塑件分离，从而获得塑料制品。其流程如图 15-24 所示。

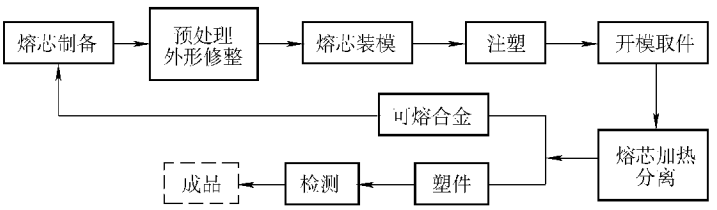


图 15-24　热塑性塑料熔芯注塑流程图

热固性塑料的熔芯注塑基本原理是：注入型腔的塑料熔体在模具温度下交联固化变成不熔的固体，而可熔型芯也不断受热升温，当塑料达到一定程度的硬度能够自持时，可熔型芯也达到熔点而迅速熔化，制件在熔芯过程中也达到固化要求，此时打开模具上的放液开关使可熔型芯的金属熔体排出模具外即可开模取出制件。由此可知，这种方法要求热固性塑料的固化温度略高于可熔型芯的熔化温度。其流程如图 15-25 所示。将事先准备好的可熔型芯安装在注塑机上的模具型腔中固定，然后锁紧模具，并将已在注塑系统中塑化好的塑料熔体注入模具型腔中，控制好模具温度略低于制件的固化温度，以便使注入型腔的塑料固化，待塑料固化程度达到能自持后，再升高温度至可熔型芯的熔点，也即制件的固化温度使可熔型芯熔化成为熔体，同时使制件完全固化。然后打开设在模具上的自动开关，使型芯的金属熔体经专设的通道流入设在机旁的型芯模型腔中冷却凝固成新的可熔型芯，以备下一循环使用。待制件冷却达到要求后开模取出，再将上一循环过程中已备好的可熔型芯装入型腔中固定，重新合模注塑。如此循环，连续生产。

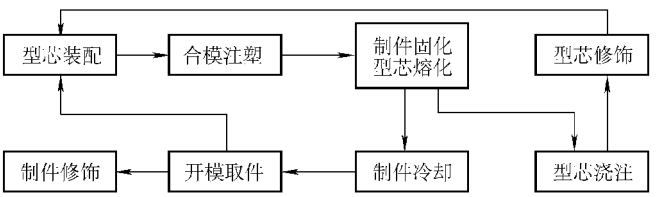


图 15-25　热固性塑料熔芯注塑流程图

15.5.2　熔芯注塑的特点与应用

1. 熔芯注塑的优点

1）能够生产无法抽芯的中空异形整体结构件，提高了制件的整体性。

2）制件具有更大的设计自由度，单个注塑件即可实现复杂的几何形状。

3）制件内部和外部尺寸的稳定性好，零件表面质量好。

4）避免了传统注塑方法中成型复杂轮廓所需要大量高精度的互相贯穿的推杆和型芯，因此简化了模具结构，降低了模具成本。

5）通过零件内部镶入嵌件从而增强零件功能。

6）对热塑性塑料可实现可熔型芯的熔化和可熔型芯的浇注顺序进行。

7）对热固性塑料可实现制件固化、可熔型芯的熔化和可熔型芯的浇注同时结合进行，充分利用了热能，降低了生产成本，提高了生产效率。

2. 熔芯注塑存在的问题

1）对可熔型芯材料性能要求较高：要求可熔型芯具有一定的刚度、韧性及熔点，以抵抗注塑时型腔内的高压及温度，避免其变形及过早熔化，保证塑件的顺利成型。

2）工艺控制要求严格：要求注塑时熔体温度必须低于可熔型芯的熔点，而在脱熔过程中要注意加热温度应低于热塑性塑料的高弹态温度，预防塑件变形。热固性塑料的熔芯注塑工艺控制要比热固性塑料更为严格。

3）设备昂贵：可熔型芯注塑虽然可以利用现有的注塑机，但还需要增加铸造可熔型芯模具和设备，以及熔化型芯的设备，因而总体设备价格昂贵。

4）考虑成本的缘故，该工艺仅适用于高附加值的复杂注塑件的生产。

3. 熔芯注塑的应用

可熔型芯技术是一门精确的技术，特别适于形状复杂、中空和不宜机械加工的复合材料制品。熔芯注塑已发展成一专门的注塑分支，伴随着汽车工业对高分子材料的需求，有些制件已实现批量生产，例如，网球拍手柄是首先大批量生产的熔芯注塑制品；而汽车发动机的全塑多头集成进气管已获得广泛应用；其他新的用途有：汽车水泵、水泵推进轮、离心热水泵、航天器油泵等。

15.5.3　熔芯注塑的工艺参数

1. 热塑性塑料的熔芯注塑的关键工艺参数

热塑性塑料的熔芯注塑工艺控制最关键的是温度。热塑性塑料的熔芯注塑过程分为三个阶段：可熔型芯的制备阶段、注塑阶段和可熔型芯熔化（也称为脱熔）阶段。最关键的是后两个阶段的温度控制。

在注塑阶段，要求熔体注塑温度必须低于可熔型芯的熔点，保证在成型过程中可熔型芯不被熔化，并保持一定的刚度。

在脱熔阶段，要求可熔型芯表面温度低于塑料的高弹形变温度，保证制件不发生变形。为缩短型芯熔出时间，减少塑件变形和收缩。一般采用油和感应线圈同时加热的方式，感应加热使可熔型芯从内向外熔化，油加热熔化残存在塑件内表面的合金表皮层。

2. 热固性塑料的熔芯注塑的关键工艺参数

热固性塑料的熔芯注塑工艺控制最关键的是温度和时间的控制。热固性塑料的熔芯注塑过程分为三个阶段：初始固化阶段、可熔型芯熔化阶段、可熔型芯的熔体排出与制件的冷却阶段。其温度和时间的控制关系如图 15-26 所示，最关键的是前两个阶段的温度控制。

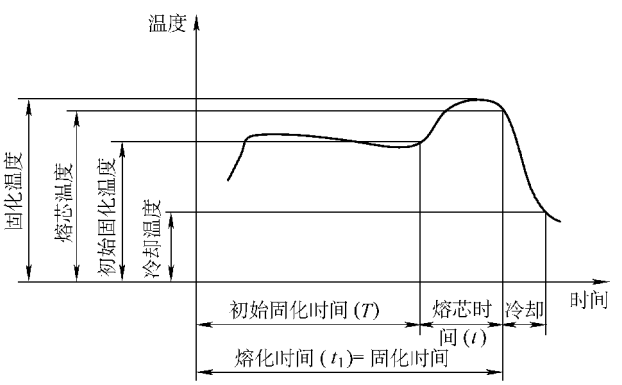


图 15-26　热固性塑料熔芯注塑的温度和时间的控制关系示意图

（1）初始固化阶段　初始固化阶段是指从塑料熔体注入型腔到升温熔化可熔型芯前的阶段，也是使制件基本固化的过程。此阶段的温度称为初始

固化温度，应严格控制在低于可熔型芯熔点温度 3 ~ 5℃的范围。若达到可熔型芯的熔点温度，则型芯即行熔化无法成型制件；若温度过低，则达不到制件的固化要求，既影响制件质量又影响生产效率。

塑料熔体被注入型腔后即行开始在模温下固化，此时应严格控制初始固化时间：时间过长，会增加制件总固化时间，使制件过熟，既影响制件质量，又影响生产效率；而时间过短，制件没有固化即行熔化可熔型芯，则会造成制件变形而报废。具体的初始固化时间的长短，应根据塑料的性能和工艺条件通过实验测定其固化速率，然后按式（15-1）计算出初始固化时间 T：

$$T = \frac{\delta}{\alpha} K \tag{15-1}$$

式中 T——初始固化时间（s）；

δ——制件壁厚（mm）；

α——固化速率（mm/s），由实验测出；

K——固化系数。

K 表征可熔型芯熔化时间对制件固化时间的影响。因为可熔型芯的熔化时间也是制件的固化时间。一般可根据可熔型芯大小在 0.7 ~ 0.9 范围内取值，芯大取小值，芯小取大值。或通过对实际可熔型芯进行实验测定。

（2）可熔型芯熔化阶段　在此阶段，再升高温度到可熔型芯的熔点温度使可熔型芯熔化，也使制件在可熔型芯逐渐受热熔化的同时达到最佳固化要求，所以也是制件的最佳固化温度。此阶段的温度（简称熔芯温度）必须严格控制在高于可熔型芯的熔点温度 2 ~ 3℃。若过高则会使制件烧焦，严重影响制件质量；而过低则可熔型芯不能熔化，影响金属熔体的排出而无法生产。熔芯时间应准确控制，不能过长或过短：时间过长，同样会使制件过熟发黄、起泡甚至烧焦报废，也影响生产效率；时间过短，既会使制件达不到硬度要求而型芯又未完全熔化，造成流动困难，使金属熔体不能顺利流出甚至堵塞流道。具体的熔芯时间，应通过对实际可熔型芯进行实验测出熔化时间 τ_1 后，由式（15-2）计算：

$$\tau = \tau_1 - T \tag{15-2}$$

式中 τ_1——由实验测出的可熔型芯的熔化时间（s）；

τ——熔芯时间（s）。

（3）可熔型芯的熔体排出与制件的冷却阶段　此阶段是使模具内完全熔化了的金属熔体排出模外，并通过模具中的冷却系统使模具和制件冷却至 50 ~ 60℃的过程，以利制件的取出和重新安装可熔型芯。排液和冷却时间的长短也严重影响制件的尺寸稳定性和生产效率，也不可忽视，一般可通过生产现场实际实验确定。

15.5.4　熔芯注塑模具的设计要点

熔芯注塑中，由于可熔型芯的引入，这类注塑模设计区别于普通注塑模的地方主要在于可熔型芯的选材、设计、制造、在模具中的定位及制件定型后的熔化等方面。

1. 可熔型芯材料

可熔型芯材料应选用低熔点金属如铋、锡、铅等配制成低熔点合金。注塑不同的塑料制件就要配制不同熔点的合金。对热塑性塑料的熔芯注塑，所配制的合金熔点应高于塑料的注

塑温度，但为保证后面脱熔时制件不发生变形，所配制的合金熔点不能过高；对热固性塑料的熔芯注塑，所配制的合金熔点应比制件的固化温度略低 1 ~ 2℃，不能过高或过低。从成本和来源考虑，常以铅或锡作基体，用铜、锑或其他合适的金属来调节其熔点高低。如用铋和锡作基体，加适量锑和其他助剂配制成熔点为 92℃的用于酚醛塑料的合金。

2. 可熔型芯设计

可熔型芯的结构设计要根据制件的具体情况，可以是整个注塑模的型芯，也可以是某个部位的型芯。主要是针对那些难以抽芯或无法抽芯的部位，以有利于注塑、可熔型芯易于熔化流出、模具结构简单为原则。而对于制件的设计也必须与之密切配合，被熔芯的制件内腔部位不能有急转死角，要设计成有利于金属熔体流出的斜面或流线型圆弧面。

为了保证注塑时可熔型芯在模具内的可靠固定，可熔型芯除了成型结构之外还要加上固定结构，根据具体情况可以是楔形、锥形、方头或台肩等结构。

对于较大的可熔型芯，应在型芯中埋设电热升温装置，以加速可熔型芯的熔化速度，保证制件固化时间和熔芯时间的平衡。

3. 可熔型芯的制造

可熔型芯采用金属模浇注。在热固性塑料的熔芯注塑中，可熔型芯熔化后经模具上留有的专用流道直接流入闭合的浇注对模中。专用流道可用铜或铝管并在管外加保温层。流道长度应尽可能短。

在浇注对模的壳体上应设加热、冷却系统和振动装置。加热的作用是防止金属熔体进入冷模而迅速冷却不能充满模具，使浇注对模在浇注前保持相应的温度。冷却的作用是当金属熔体充满型腔后迅速冷却，以保证可熔型芯的铸造周期与注塑周期相适应。振动的作用也是使金属熔体迅速充满型腔并保证可熔型芯密实而无表面空洞。为保证可熔型芯的表面质量，浇注对模的内表面应抛光或镀铬。当脱模困难时可喷涂分型剂。

可熔型芯浇注冷却后视表面状况进行修饰加工，以保证可熔型芯表面光洁、平整、无缺陷。

4. 可熔型芯在模具中的固定

熔芯注塑模应在金属熔体流出口位置设有与型腔相配的连接紧固定位装置，如楔孔、销孔、方头、台肩等。并要在连接处留有与可熔型芯熔化后的熔体膨胀率相当的空位，防止可熔型芯熔化膨胀使腔内压力过高。

5. 模具浇口的设计

浇注系统和浇口类型的设计是根据传统注塑机的要求来确定的，应该避免塑料熔体平稳直接浇注到可熔型芯上。如果零件浇口的设置使熔料直接注塑到可熔型芯上，就会出现可熔型芯熔化的危险。有两个原因：第一，浇口内的温度一直是注塑温度，而且可能由于剪切流动使温度更高；第二，浇口区域压力最大，压力和温度同时作用会导致这一区域的可熔型芯被“冲掉”，从而导致注塑制品出现缺口。

第 16 章　热流道成型技术

16.1　热流道成型原理

热流道系统是注塑机与模具型腔之间的枢纽带，它嵌入到模具系统中，属于模具的一部分。热流道系统按保持流道温度的方式分为：绝热流道系统和加热流道系统。

（1）绝热流道系统　最早出现于 20 世纪 50 年代，是最早期的热流道系统，其工作原理是用塑料本身极低的热传递，防止热量散失于模板中，以保持塑料的熔融状态。流道直径应尽量大，接触模板的流道最外层塑料会因遇冷而凝结成固化层，在流道固化层中央的塑料首次充填后，借助塑化后的塑料不断地流通而保持熔融。一旦形成固化层，在熔融塑料与模板间会产生不错的绝热效果，足以确保熔融塑料在快速连续生产下不致发生流道全面凝结。但是只要有任何短暂的生产停顿，还是不能避免整条流道的固化。目前绝热流道模具一般不使用。

（2）加热流道系统　当今普遍使用的一种热流道方式，通过加热的方法来保证流道和浇口的塑料保持熔融状态。由于在流道附近或中心设有加热棒或者加热圈，从注射机喷嘴出口到浇口的整个流道都处于熔融状态。根据其加热方式可分为内加热及外加热两种类型。

16.2　热流道成型技术的优缺点

热流道作为热塑性注塑模的一门技术，并非新技术，早在 1940 年 12 月，E. R. Knowles 就取得了热流道成型技术的专利权。发展至今，欧美的热流道模具占注塑模总数的 25% ~ 35%，热流道成型技术还在不断的完善和发展。近年来，热流道成型技术在我国逐渐推广，这很大程度上是由于我国模具向欧美公司的出口量快速增加带来的。在欧美国家，注塑生产已经依赖于热流道成型技术，可以这样说，没有使用热流道成型技术的模具现在已经很难出口，这也造成了很多模具厂家对于热流道成型技术意识上的转变。据估测，热流道技术在我国塑胶模具中运用的比例也逐步提高，但总体不足 10%，这个差距相当巨大，但它一定是我国注塑模具浇注系统发展的一个重要方向。

16.2.1　热流道成型技术的优点

1. 简化模具结构

用热流道取代三板模，可缩短注塑行程，节省料头，同时可避免取出料头时，由于沉重的定模板在导柱上的移动导致导柱磨损和变形。

2. 缩短制品成型周期，提高机器效率

没有浇注系统冷却时间的限制，制品成型固化后便可及时顶出，许多热流道模具生产的薄壁制品成型周期可在 5s 以下。

3. 节省塑料原料

在纯热流道模具中一般没有冷流道，所以无生产废料。这对于塑料价格贵的应用项目意义尤其重大。事实上，国际上主要的热流道生产厂商均在世界上石油及塑料原料价格昂贵的年代得到了迅猛的发展，因为热流道成型技术是减少废料、降低材料费的有效途径。

生产废料一般有以下两种处理方式：不可回收及可回收。

（1）不可回收　如果废料率为 50%，那么制造 1kg 的材料只能生产 500g 的制品，而其余的 500g 为冷料头。

（2）可回收　可回收的废料经粉碎，与原材料按一定的比例混合在一起，经过烘干，再用来生产新的制品。但是基于人力的因素、回收料之混合比例等因素的影响，为了维持正常的运转，必须积存有一些冷料头，因而造成资金的滞留。倘若以材料费用 100 元/kg，其积存的废料为 500kg 时，每天所需积压的资金将高达 $500 \times 50\% \times 100 = 25000$ 元，长期以往，金额非常可观。

4. 提高制品质量

在热流道模具成型过程中，塑料熔体温度在流道系统里可以得到准确的控制，使得热流道内的塑料熔体更易流动，且以更为均匀一致的状态流入各型腔，其结果是品质一致的制品。热流道成型的制品浇口质量好，脱模后残余应力低，制品变形小，所以市场上大型、薄壁、难以加工的塑料制品及很多高质量的制品均由热流道模具生产。如汽车、MOTOROLA 手机、HP 打印机、DELL 笔记本电脑里的许多塑料制品均用热流道模具制作。

5. 消除后续工序，有利于生产自动化

制品经热流道模具成型后即为制品，无需修剪浇口及回收加工冷流道等工序，有利于生产自动化。国外很多制品生产厂家均将热流道与自动化结合起来，以大幅度地提高生产效率。

6. 强化注塑机功能

热流道系统中塑料熔体有利于压力传递，流道中的压力损失较小，可大幅度降低注塑压力和锁模力，减小了注塑和保压时间，在较小的注塑机上更容易成型长流程的大尺寸制品，可选择较小的注塑机和减少注塑机的费用，强化了注塑机的功能，改善了注塑工艺。

7. 平衡注塑

热流道系统可按流变学原理人工平衡，通过温度控制和可控喷嘴实现充模平衡，自然平衡的效果也很好，对浇口的精确控制，保证多腔成型的一致性，提高了制品的精度。

8. 扩大注塑成型工艺应用范围

许多先进的塑料成型工艺是在热流道成型技术基础上发展起来的。如 PET 预成型制作，在模具中多色共注，多种材料共注工艺，层模（STACK MOLD，对于一些浅薄的、数量大的制品，例如，CD 外壳、小颗粒制品，只需增加 15% 的锁模力，以相同的射出时间，即可增加 80% 的产量）等。

9. 较难成型之制品

例如：高粘度、低粘性、高成型温度，热流道系统可解决诸此问题。

具体的实例：塑胶磁铁之射出、塑胶轴承之射出、热塑性橡胶（TPE）等。

10. 高速射出成型

高速射出成型不只提高成型效率，而且是杯子、容器等薄壁产品成型所不可或缺的。

16.2.2 热流道成型技术的缺点

尽管与冷流道模具相比，热流道模具有许多显著的优点，但模具用户亦需要了解热流道模具的缺点，概括起来有以下几点。

1. 模具成本上升

热流道元件价格比较贵，热流道模具成本可能会大幅度增高。如果制品产量小，模具成本比例高，经济上不划算。对许多发展中国家的模具用户，热流道系统价格贵是影响热流道模具广泛使用的主要问题之一。

2. 热流道模具制作工艺设备要求高

由于热流道成型技术涉及多门学科，如模具材料、加热材料、电子学等，所以热流道模具需要精密加工作保证，热流道系统与模具的配合极为严格，还要考虑到模具材料膨胀等一系列问题，配合不好，就会产生溢料、浇口冻结等现象，导致塑料制品品质下降，严重的无法生产。

3. 对塑料原料和小型腔的数目及分布有一定的选择性

热流道系统不可能对所有的塑料都适用。相对热固性塑料，热敏性塑料有更大的烧损危险，在料筒中塑化后，必须防止在热流道系统中过热分解。由于热流道喷嘴直径的关系，一些小型腔的数目和分布受限制。

4. 操作维修复杂

与冷流道模具相比，热流道模具操作维修复杂。如使用操作不当极易损坏热流道零件，使生产无法进行，造成巨大经济损失。对于热流道模具的新用户，需要较长时间来积累使用经验。

总之，热流道成型技术广泛应用是塑料模具的一大变革。在注塑成型方面，其拥有相当多的无可比拟的优势，可以这样说，随着其技术的进一步发展成熟和制造成本的降低，热流道成型技术将越来越显现其巨大的优势。制订热流道元器件的国家标准，积极生产价廉、高质量的元器件，做好热流道成型技术的宣传推广，是发展热流道模具的关键。

16.3 热流道基础知识

16.3.1 流动特性、粘性、压力损失

流体分为牛顿流体和非牛顿流体。

1. 牛顿流体

符合牛顿粘性定律的流体。比如气体及大多数低分子量液体都属于牛顿型流体，其粘度与剪切速率无关。

2. 非牛顿流体

（1）假塑性流体　粘度随速度梯度的增大而减小，几乎所有高分子溶体属于假塑性流体。

（2）胀塑性流体　粘度随速度梯度的增大而增大，淀粉、硅酸盐等悬浮液属于胀塑性流体。

（3）粘塑性流体　又称塑性流体，当所受应力小于某一临界应力值时，不发生流动，

相当于胡克固体，而当所受应力一旦超过临界应力值时，则像牛顿流体一样流动，这类流动称为塑性流动。外力除去后，因流动而产生的形变不能回复，而作为永久变形保留下来，所以又称为塑性变形。如纸浆、牙膏、污水泥浆等。

（4）触变性流体　粘度随时间的延长而减小，如油漆等。

（5）粘弹性流体　既有粘性，又有弹性。当从大容器口挤出时，挤出物会自动胀大，如塑料和纤维生产中都存在这种现象。

塑料流体（大多数高分子聚合物流体）一般为非牛顿假塑性流体，熔体的流动特性取决于塑料的类型、形态、链长，填充剂和增强材料的类型和数量以及加工参数（如熔体温度、模具温度、流动速率、压力和时间）。熔体粘性一般取决于剪切速率和温度。其粘度随剪切速率的增加而减小，即所谓剪切变稀。对于这种行为可解释为：从低剪切速率转向高剪切速率时，无规缠结的大分子开始转向分子取向和缠结点减少，从而使粘度降低。另外温度越高，熔体粘度越低，反之亦然。图 16-1a 所示为各种流体的流动曲线，图 16-1b 所示为各种流体的表观粘度与剪切速率的关系，其中 *N*——牛顿流体，*P*——假塑性流体，*B*——宾汉流体，*D*——胀塑性流体。

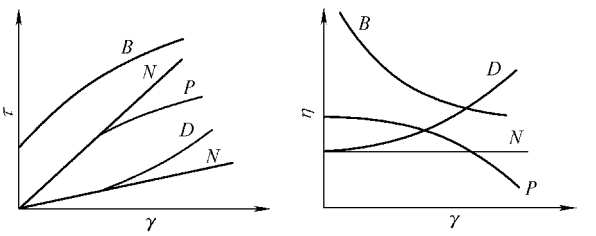


图 16-1　流体的流动曲线

流动熔体的内摩擦（所谓的“耗散”）会造成压力降。压力降会造成温度的升高（所谓的“剪切生热”）。

16.3.2　降解反应

塑料都是由大分子链构成，它们不具有相同的分子量，但是具有相同的分子量分布。平均分子量和分子量分布对于塑料的行为具有决定性的影响。随着分子量的增加，熔体的粘度也会增加；随着温度的升高，热量会造成分子链的剪断，从而使得聚合物分子量下降、聚合物塑料质量下降。

当塑料熔体降解时，它的基本单元的化学组成会发生变化。例如，PVC 的热分解会造成氯化氢（HCl）的分离，而且会造成变色（黄棕色）。降解典型表现是：塑料发脆、破裂、变软、增硬、老化、劣化及丧失力学强度等，如表 16-1 所示为降解关系图。

表 16-1　降解关系图

高　聚　物	结　　构	聚合热/(kal/mol)	降解产物和产率
聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）	$\sim CH_2C(COOCH_3)(CH_3)\sim$	10 ~ 13	单体产率大于 90%
聚苯乙烯（PS）	$\sim CH_2CH(C_6H_5)\sim$	17	单体产率约 65%，同时有二、三、四聚体
聚丁二烯（PB）	$\sim CH_2CH(Cl)\sim$	17 ~ 20	单体产率约为 20% ~30%，同时有相对分子质量较大的碎片

（续）

高　聚　物	结　　构	聚合热/（kal/mol）	降解产物和产率
聚丙烯酸甲酯（PMA）	$\sim CH_2\overset{\overset{COOCH_3}{\vert}}{C}H\sim$	20	单体产率约为 1%，其他为较大相对分子质量的碎片
聚乙酸乙烯酯（PVAc）	$\sim CH_2\overset{\overset{OCOCH_3}{\vert}}{C}H\sim$	21	乙酸产率大于 95%
聚氯乙烯（PVC）	$\sim CH_2\overset{\overset{Cl}{\vert}}{C}H\sim$	—	氯化氢产率大于 95%

塑料降解反应有以下几个方面：热降解、机械降解、氧化降解及水解降解。

（1）热降解　聚合物在加热时所发生的降解反应。

影响热降解的主要因素有温度、停留时间和熔体流动速率。

模具或者热流道系统里滞留的空气可能会由于注塑和保压而受到高度压缩，并在熔体中和制品上造成特别高的温度甚至焦痕。在浅色制品中显示黑斑；在深色制品中，这种现象一般没有被发现，但是其力学性能可能明显地受到损坏。

熔体在注塑装置和热流道系统的总停留时间不能超过 5 ~ 10min，这取决于塑料的组成。一旦超过了允许的停留时间，熔体必须报废或者相应数量的注塑制品必须舍弃。

具有高压力降的热流道系统，会造成熔体温度的显著提高，如果注塑操作在热流道系统加热器关闭和补偿过度时仍然运行，就会造成剪切生热和无法控制的情况。

热降解反应有以下三种：

1）加热时侧基消除，如聚氯乙烯（PVC）受热脱 HCl，聚乙酸乙烯酯（PVAc）脱乙酸等，其特点是随加热温度的增高或时间的延长，消除反应加剧、颜色变褐，但一般主链不断裂，对性能影响不大。

2）无规降解，加热时聚合物主链从中部弱键处断裂，如聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）的热降解。其特点是分子量下降，状态变粘，力学性能大幅度下降，但质量变化不大。

3）拉锁降解，从聚合物的链端开始降解，像拉锁一样一个一个地降解为单体。如聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）和聚四氟乙烯（PTFE）的热降解均属此类。

（2）机械降解　聚合物分子所受到的机械拉伸应力超过其所能承受的力时，分子链就容易断裂（通常发生在分子链的中部），从而产生机械降解。

（3）氧化降解　如果氧气（空气）进入排气式注塑机的排气口，塑料熔体由于氧化作用发生降解。

（4）水解降解　注塑混合物中湿度含量大于 0.05% 可能会造成熔体的水解降解和制品的脆化。水解降解速率比热降解快，所以有些塑料加工前需要预先干燥。

16.3.3　加工温度范围

无定形塑料、结晶型塑料以及热塑性塑料弹性体状态转化的热性能不同，因此热流道系统的流道板、喷嘴的加热准则也不同，表 16-2 为热流道成型技术的温度范围。

1. 无定形塑料

1）除了 PVC 和 CA，其他材料采用热流道注塑时，热流道系统允许有较大的温度波动。

表 16-2　热流道成型技术的温度范围

塑料名称	代　号	温度/℃		
		成型温度	模具温度	状态变化
无定形塑料				固化—熔融
聚苯乙烯	PS	160～230	20～60	90
高抗冲聚苯乙烯	HIPS	160～250	20～60	85
苯乙烯－丙烯腈共聚物	SAN	200～260	40～80	100
丙烯腈－丁二烯－苯乙烯共聚物	ABS	180～260	40～85	105
硬聚氯乙烯	硬 PVC	160～180	20～60	80
软聚氯乙烯	软 PVC	150～170	20～40	55—75
乙酸纤维素	CA	185～225	30～60	100
乙酸丁酸纤维素	CAB	160～190	30～60	125
丙酸纤维素	CP	160～190	30～60	125
聚甲基丙烯酸甲酯	PMMA	350～390	60～110	105
聚苯醚	PPO	220～250	70～120	120—130
聚碳酸酯	PC	290～320	60～120	150
聚芳醇	PAR	350～390	120～150	190
聚砜	PSU	320～390	10～160	200
聚醚砜	PES	340～390	120～200	260
聚醚酰亚胺	PEI	340～425	100～175	220—230
聚酰胺－酰亚胺	PAI	340～360	160～210	275
无定形聚酰胺	PA	260～300	70～100	150—160
结晶型塑料				结晶—融化
低密度聚乙烯	LDPE	210～250	20～40	105—225
高密度聚乙烯	HDPE	250～300	20～60	125—140
聚丙烯	PP	220～290	20～60	158—168
聚酰胺 46	PA46	210～330	60～150	295
聚酰胺 6	PA6	230～260	40～100	215—225
聚酰胺 66	PA66	270～295	50～120	250—265
聚酰胺 610	PA610	220～260	40～100	210—225
聚酰胺 11	PA11	200～260	40～100	180—190
聚酰胺 12	PA12	200～250	40～100	175—185
共聚甲醛	POM	185～215	80～120	165—175
聚对二苯甲酸乙二醇酯	PET	260～280	50～140	255～258
聚对二苯甲酸丁二醇酯	PBT	230～270	40～80	220—225
聚苯硫醚	PPS	300～360	20～200	280—288
全氟链烃乙烯基乙烯共聚物	PFA	350～420		300—310
全氟共聚物	FEP	340～370	150～200	285—295

（续）

塑料名称	代　号	温度/℃		
		成型温度	模具温度	状态变化
乙烯－四氟乙烯共聚物	PTFE	315～365	80～120	270
聚偏二氟乙烯	PVDF	220～300	70～90	171
聚醚酮	PEK	400～430	150～180	365
结晶型塑料				结晶—熔化
液晶聚合物	LCP	280～450	30～160	270—380
热塑性弹性体				—
热塑性聚酰胺弹性体	TPE—A	220～260	20～50	—
热塑性酯弹性体	TPE—E	200～250	20～50	—
热塑性苯乙烯弹性体	TPE—S	180～240	20～50	—
热塑性聚氨酯弹性体	TPE—U	190～240	20～40	—
热塑性聚烯烃弹性体	TPE—O	110～180	15～40	—

注：1. 注塑机喷嘴温度等于热流道喷嘴温度。

2. 状态变化中，“—”前者为固化温度或结晶温度，后者为熔化温度。

2）喷嘴的浇口会将热量传递给模具型腔。如果喷嘴的接触表面太热，会使制品表面变形，甚至烧伤。

3）浇口中塑料固化需要浇口区域有较低的温度，应选用冷却效果较好的材料制造浇口。

2. 结晶型塑料

1）保压期间要保持浇口开放，为阻止浇口快速固化，需要高温的浇口区，喷嘴的顶端应设置绝热区。

2）为保持 POM 和 PA 等料温在较窄的温度范围内，热流道喷嘴应有良好的导热性。因此需要设计多个区域、精确的温度控制系统。

3）在这些浇口中都有冷料柱塞头，它将与塑料熔体一起注塑到型腔中。

3. 热塑性弹性体

1）加热温度在玻璃态转化温度以上。固化是逐渐演变的过程，有较低的硬度和很高的断裂伸长率。

2）浇口直径应较小，并有锐边，使浇口凝料破裂分离。

3）可使用开关式喷嘴，避免在浇口断开位置上有凹陷。

16.3.4　塑料熔体的热性能

影响热流道注塑的塑料熔体的热性能，主要表现在两个方面：一方面是熔融温度范围的大小，超过分解温度后，会使塑料过热破坏；另一方面是在注塑机料筒和热流道模具的加工过程，维持塑料热传递的允许时间。

热敏性塑料有 PVC、POM、PBT、CA、CAB、CP、聚苯酰胺和聚醚醚酮 PEEK 等，还有所有添加阻燃剂的塑料。热稳定塑料有 PE、PP、PMMA、PC、PS 等。

热敏性塑料在料筒和热流道中的时间只能为 5～10min。热稳定塑料可在 30～60min。当

温度下降至 160℃时，PC 在料筒中可停留 24h，但是在注塑机关停后，随着料筒冷却，固化的 PVC 或 POM 会发生分解。对这些塑料应该用其他的塑料如 LDPE 替换，将其挤出料筒。PA66、PA46、PBT 和 PET 的加工温度范围较窄。添加了纤维或玻璃珠后，塑料的加热限制更严。

多次使用的回头料分子链的降解增多，会使注塑制品脆化，并在注塑中释放气体。除了分子的热降解外，塑料熔体与空气的氧接触，还会有氧化分解，PA 对此特别敏感。由于注塑循环中压力的变化，空气会进入热流道。注意减少阻燃添加剂、染料和有机颜料，以改善塑料的热敏性。

热敏性塑料加工时，对热流道系统有附加要求：

1）限制热流道中存料的体积与注塑量的比例，要缩短塑料在流道中停留的时间，特别是模具的制品型腔总体积小于流道的容量时，更应该这样做。

2）将系统分成更多的温度控制区，以减小系统中的温度差。使用的加热器要具有接近线性的温度变化特性。

3）要避免系统内塑料滞留。

4）在主流道喷嘴、流道板和喷嘴的系统中，要保证无熔料泄露。

16.3.5　塑料熔体的压缩和收缩

高聚物熔体是可压缩的流体。高聚物熔体在压力为 1 ~ 10MPa 下成型，其体积压缩量小于 1%。注塑加工时使用压力一般不超过 140MPa，常见的模具型腔中熔体压力为 30 ~ 50MPa 。此时有明显的体积压缩，分子间距缩小。

根据实验，恒定压力下，粘度随温度的变化，和恒定温度下，粘度随压力的变化后，压力增加 Δp 与温度下降 ΔT 对粘度的影响是等效的。例如，LDPE 在 167℃下的粘度，要在 100MPa 压力下维持不变，实验得知换算因子为（$\Delta T/\Delta p$）= 0.53℃/MPa，温度升高 53℃（实际温度为 167℃ +53℃ =220℃）。换言之，此熔体在 167℃和 1MPa 时的流动行为，与在 220℃和 100MPa 时流动行为相同。

在螺杆后撤塑化时，注塑机喷嘴压力突然下降。主流道喷嘴内被压缩的塑料熔体，会在模具入口处反喷或流涎。必须关注这一现象对加工的干扰。

在浇口冻结后，型腔内的塑料熔体开始在密闭条件下，冷却降压而比容减小。塑料冷却时收缩，存在收缩率。收缩率被认为是分子运动减缓和分子间距离缩小。对于结晶塑料，在恒定压力下，在结晶温度时大分子有序排列的结晶过程中，比容迅速下降，有较大的收缩率。有的结晶型塑料的成型收缩率达到 2.5%；而无定形塑料的收缩率大多是 0.5% ~ 0.7% 。

在保压冷却期间，少量塑料熔体流动到型腔，补偿体积的收缩，直到浇口被冻结固化，在保压压力的收缩中，收缩率也因此补偿了一部分。补偿的部分达到注塑体积的四分之一。对于热流道注塑模的喷嘴，结晶型塑料比起无定形塑料，需要更大的浇口直径。

如果浇口冻结封闭很快而且过早，会使物料补偿不足或不能进行。在流程的末端会产生真空或凹陷。如果保压时间太短或保压压力不足，也会产生类似的缺点。浇口冻结闭和太迟，保压时间过长，经浇口给型腔中的熔体以超常的压缩。对于无定形塑料，会使型腔过量充填，又会使塑料件内残余应力过大，容易自然开裂，特别在浇口附近。而对于结晶型塑

料，因为塑料收缩大，一般不会有这种现象。

16.3.6　热传递

热流道系统简单说其实是一套保温系统，因为热流道系统与模具之间有温差，所以会发生热传递，要通过加热来保持温度不变。

热量从温度高的物体传到温度低的物体，或者从物体的高温部分传到低温部分，这种现象叫做热传递。

热传递有三种形式：传导、对流、辐射。

（1）传导　从物体温度较高的部分沿着物体传到温度较低部分的传热方式。热传导是固体中热传递的主要方式，在气体或液体中，热传导过程往往和对流同时发生。

（2）对流　靠液体或气体的流动传递热量到周边环境的传热方式。

（3）辐射　由物体沿直线向外发出的电磁振荡，吸收到辐射可转化为热的传热方式。用辐射方式传递热，不需要任何介质，因此，辐射可以在真空中进行。

16.3.7　热膨胀

物体因温度改变而发生的膨胀现象叫热膨胀。通常是指外压强不变的情况下，大多数物质在温度升高时，其体积增大，温度降低时体积缩小。

在室温时，热流道系统不膨胀。注塑期间，热流道系统温度 T_1 比模具温度 T_2 高很多，温度差（$\Delta T = T_1 - T_2$）使得热流道系统相对模具热膨胀。为了避免热流道系统由于热膨胀造成变形甚至引起模具、热流道系统的破裂，需要在热流道系统与模具配合处设计冷间隙 Z，如图 16-2 所示。

在热的影响下，物体在各个方向尺寸都会发生改变（线性膨胀和体积膨胀）。热膨胀程度 Q_e 由温度梯度 ΔT、材料特性值和热膨胀系数 α 决定（如 1.2311 钢材，$\alpha = 12.9 \times 10^{-6}$l/K，1.2316 钢材，$\alpha = 10.8 \times 10^{-6}$l/K），如图 16-3 所示。

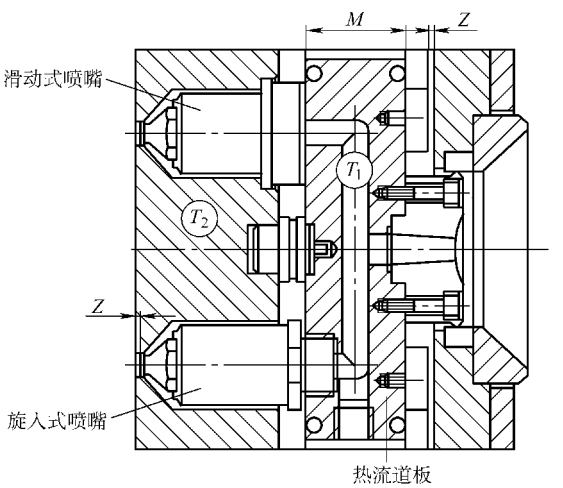


图 16-2　热流道系统的热膨胀（参考圣万提（synventive）热流道）

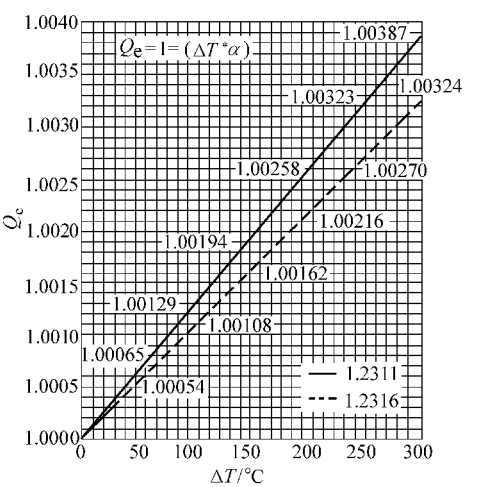


图 16-3　热膨胀关系图（参考圣万提（synventive）热流道）

热流道系统的热流道板及喷嘴等加热部件都需要考虑冷间隙。

例如：滑动式喷嘴的冷间隙（Z）与材料特性值及温度梯度 ΔT 有关。如果热流道系统喷嘴为 1.2311 钢材，温度差 $\Delta T = 200℃$，喷嘴不漏胶需要的长度 L 为 226mm，从图 16-3 查出热膨胀系数 $\alpha = 1.00258$，那么室温下的喷嘴长度 $L_{rt} = 226mm/1.00258 = 225.418mm$。那么冷间隙 $Z = L - L_{rt} = 0.582mm$，如果冷间隙太小，热膨胀往往会造成喷嘴的边缘损坏，如果冷间隙过大会造成热流道系统漏料，如图 16-4 所示。

例如：旋入式喷嘴同滑动式喷嘴一样除需要考虑冷间隙 Z 外，还需要考虑弯矩的影响。由于旋入式喷嘴与热流道板采用螺纹连接，只有在接近浇口的地方，喷嘴才和型腔接触。注塑时，由于浇口区域的温度差比较小，喷嘴连接热流道板处温度高，导致有弯矩的存在，使得旋入式喷嘴更容易弯曲。为了不损坏喷嘴，喷嘴最小长度应不小于喷嘴偏离热流道中心的一半距离。比如中心距 $X = 500mm$，旋入式喷嘴最小长度 $L = 250mm$，如图 16-5 所示。

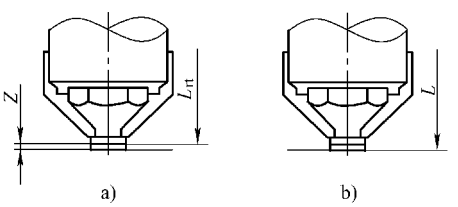


图 16-4　喷嘴冷间隙（参考圣万提（synventive）热流道）
a）室温　b）加热

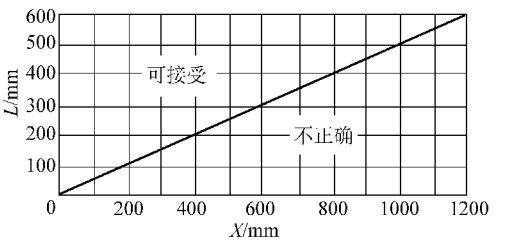
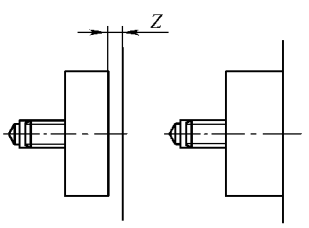


图 16-5　螺纹式喷嘴长度与中心距关系图

例如：热流道板的冷间隙（Z）除了与材料特性值及温度梯度 ΔT 有关外，还取决于热流道板的厚度 M。如果热流道系统为 1.2311 钢材，$\Delta T = 200℃$，热流道板厚为 50mm 时，那么热膨胀 $Z = 50mm \times 0.00258 = 0.08mm$，如图 16-6 所示。



M/mm	钢材	不同温差ΔT的冷间隙Z/mm				
		100	150	200	250	300
37	1.2311	0.00	0.02	0.05	0.07	0.09
	1.2316	0.00	0.01	0.03	0.05	0.07
42	1.2311	0.00	0.03	0.06	0.09	0.12
	1.2316	0.00	0.02	0.04	0.07	0.09
50	1.2311	0.01	0.05	0.08	0.11	0.14
	1.2316	0.00	0.03	0.06	0.09	0.11
65	1.2311	0.03	0.08	0.12	0.16	0.20
	1.2316	0.02	0.06	0.09	0.13	0.16

图 16-6　热流道板热膨胀值（参考圣万提（synventive）热流道）

16.4　绝热流道系统

绝热流道一般有以下四种结构形式，如图 16-7 所示。

1. 井式喷嘴注塑模

又称绝热主流道注塑模，在喷嘴与模具入口间加有主流道杯（井坑），适用于单型腔模具，如图 16-8 所示。

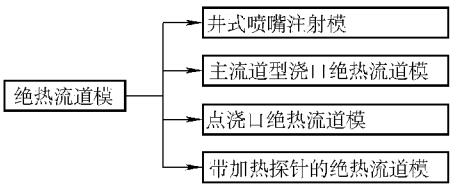


图 16-7　绝热流道形式

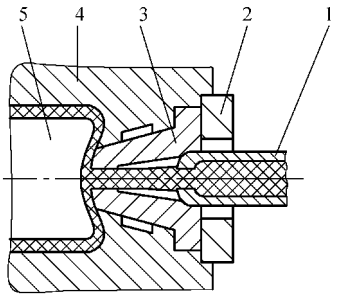


图 16-8　井式喷嘴

1—喷嘴　2—定位圈　3—主流道杯
4—定模　5—型芯

井坑内塑料冷凝可能性大，只适用于操作周期短的情况（大于 3 次/min），改进结构如图 16-9 所示。

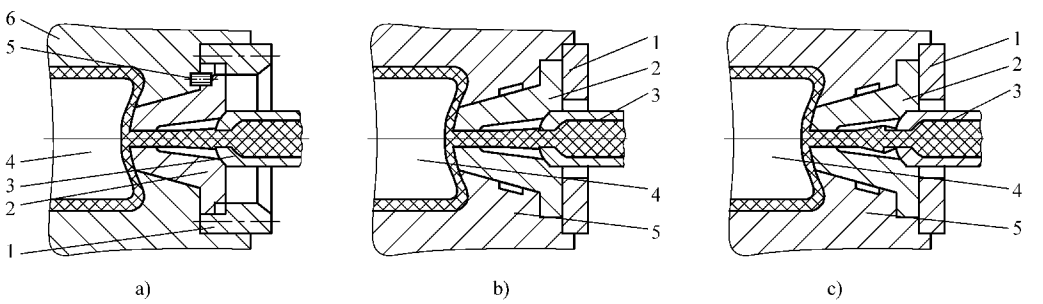


图 16-9　改进式井坑喷嘴

1—定位圈　2—主流道杯　3—注塑机喷嘴　4—型芯　5—压缩弹簧　6—定模

2. 主流道型浇口绝热流道模

如图 16-10 所示。一模多腔，需要对整个流道（主流道和分流道）绝热（流道粗大），尽量减小件 7 与件 8 与型腔板的接触面积。缺点：塑件上带有一小段浇口凝料待后序处理。

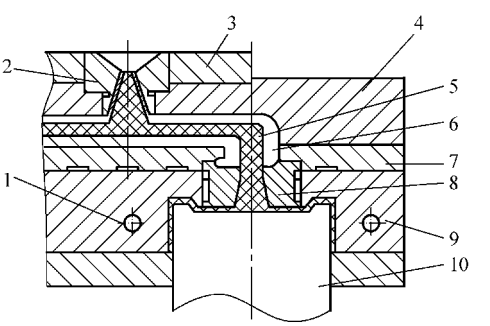


图 16-10　主流道型浇口绝热流道模

1—冷却通道　2—浇口套　3—定位圈
4—定模座板　5—熔体　6—冷凝塑料层
7—流道板　8—浇口衬套　9—定模型腔板　10—型芯

3. 点浇口绝热流道模

流道直径应尽量大，接触模板的流道最外层塑料会因遇冷而凝结成固化层，在流道固化层中央的塑料在首次充填后，借助塑化塑料不断地流通而保持熔融。一旦

形成固化层，在熔融塑料与模板间会产生良好的绝热效果，足以确保熔融塑料在快速连续生产下不致发生流道全面凝结。但是只要有任何短暂的生产停顿，还是不能避免整条流道的固化。如图 16-11 所示。

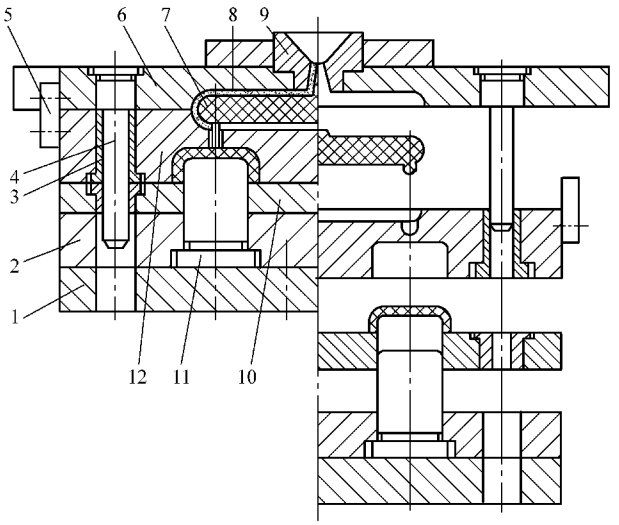


图 16-11　半绝热流道注塑模

1—支承板　2—动模板　3—导套　4—导柱　5—锁模板　6—定模座板
7—熔体　8—凝固层　9—浇口套　10—推板　11—型芯　12—定模板

优点：开模时塑料易从浇口处断开。

缺点：浇口处易冷凝，再次开机前要打锁模板 5 清理流道凝料。

为了防止流道内塑料过早冷却，一般先将模具加热到几十度，再注入塑料。同时，流道内的凝固塑料要迅速取出。如图 16-12 所示。

4. 带加热探针的绝热流道模

为了防止流道内塑料过早冷却，对浇口进行探针加热，如图 16-13、图 16-14 所示。

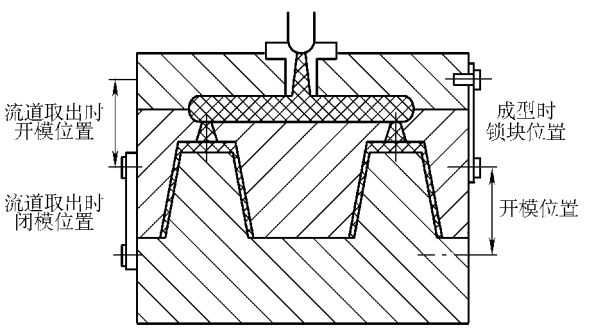


图 16-12　半绝热流道注塑模

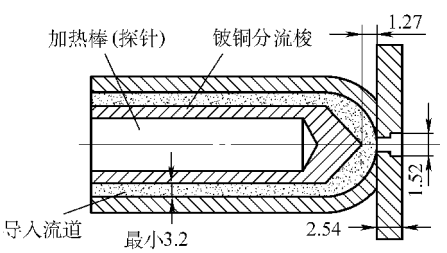


图 16-13　浇口内探针加热

16.5　加热流道系统

16.5.1　加热流道系统的类型

热流道（简称 HR）已成为热塑性塑料注塑模中的传输系统，主要是为大型和长流程的制品生产而设计此种模具。尽管热流道模具的固有成本，有时比一台注塑机的价格还高，但此种模具投资后，能获得生产率的提高和原材料成本的下降。但首先必须对注塑制品有市场预测。然而对中小型制品，考虑经济原因，主流道采用热流道，而分流道采用冷流道浇口系统（简称 CR）。因此，从设计和经济的综合考虑，小型模塑生产中，常需要混合系统（HR 和 CR）。浇注系统通常可分解为如图 16-15 所示。

热流道成型技术按熔料供应方式及加热方法可以分为如图 16-16 所示几种形式。

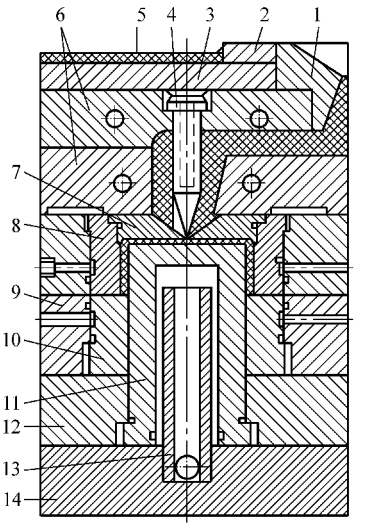


图 16-14　带加热探针的绝热流道模

1—浇口套　2—定位圈　3—定模座板　4—探针　5—隔热板　6—定模板　7—定模型芯　8—定模型腔　9—动模板　10—动模型腔　11—动模型芯　12—型芯固定板　13—冷却管　14—动模座板

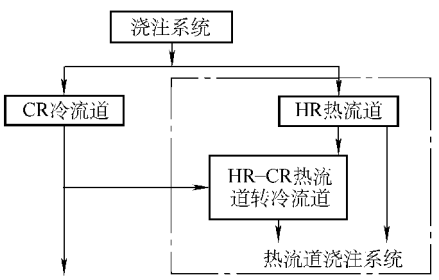


图 16-15　热塑性塑料注塑模浇注系统的类型

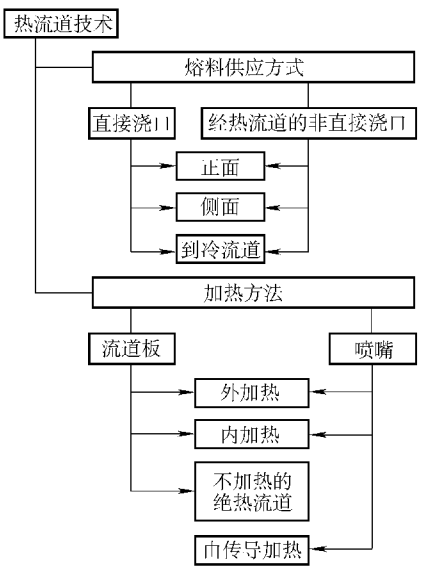


图 16-16　热流道系统的类型

16.5.2　热流道系统的组成

尽管世界上有许多热流道生产厂商和多种热流道制品系列，但一个典型的热流道系统一般由以下五大部分组成：

1）喷嘴。
2）流道板。
3）温度控制器。
4）时序控制器。
5）辅助零件。

热流道系统常用部件的组成如图 16-17 所示。

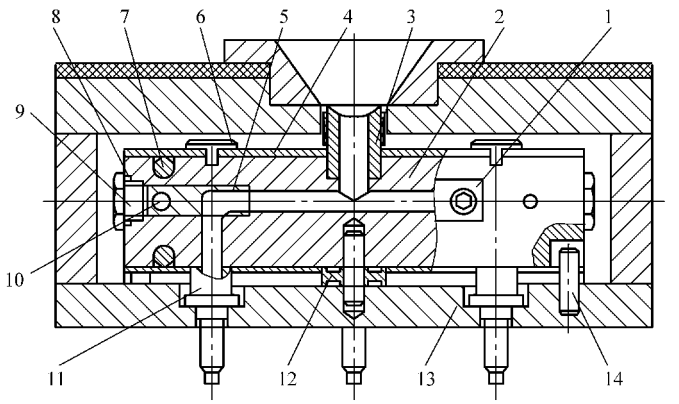


图 16-17　热流道系统组成

1—热电偶　2—热流道板　3—主流道喷嘴　4—铝盖板　5—流道堵塞　6—承压圈　7—电热管
8—密封圈　9—压紧螺钉　10—止转销　11—浇口喷嘴
12—支承垫　13—定模板　14—止转定位销

16.5.3　喷嘴

热流道喷嘴是热流道系统的终端，包含加热、浇口的末端，它将熔料输送到模具型腔或附加的冷流道，如图 16-18 所示为喷嘴图。喷嘴结构有多种形式，但类型均大同小异，各个厂家加工工艺和实施方法有很大区别，这决定了热流道系统的质量和价格的差异。

喷嘴的隔热需要考虑结构设计、材料、热力学等方面的技术问题，特别是经验数据。在设计热塑性塑料的喷嘴，尤其是浇口，需考虑物料的具体特性。

喷嘴的设计，一般需要考虑以下要求：

1）热平衡，避免温度产生峰值。
2）热损耗低。
3）热传导路径尽量短。
4）压力损失尽量低。
5）物料无降解。
6）无死点，无滞留区域。

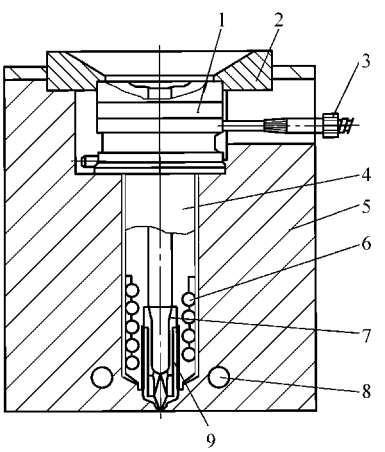


图 16-18　喷嘴图

1—进料口　2—定位圈　3—热电偶　4—喷嘴本体
5—模板　6—电加热圈　7—鱼雷头
8—冷却通道　9—喷嘴头

7）换色容易。

8）无流涎。

9）耐腐蚀。

10）较高的热强度。

11）能使熔体层流流动。

12）能够控制喷嘴加热器。

13）在工作条件下，有较高的疲劳强度，特别是对于铜或者铜合金的喷嘴。

1. 喷嘴功能划分

按功能划分为中央喷嘴及热流道喷嘴。中央喷嘴也就是单喷嘴，热流道喷嘴是指带流道板的喷嘴，一般是多穴喷嘴或者偏心喷嘴。

2. 喷嘴控制方式

热流道喷嘴根据浇口的控制方式分为两种方式：开放式热流道喷嘴及关闭式热流道喷嘴。

开放式热流道喷嘴原理：注塑时，由于注塑机的压力作用，浇口对熔料敞开，当注塑循环结束后，注塑机螺杆后退，注塑压力减小，停止注塑，开模瞬间，浇口处的熔料仍然会有部分被拉扯到制品，从而造成一个难看的浇口残迹（一般是锥形的），但浇口中的塑料保持熔融状态且不外漏（“滴料”）。浇口痕迹的大小和形状取决于浇口的形状、大小以及注塑机的操作条件（温度、压力、时间）。

开放式浇口的设计就是需要寻找一个平衡点，注塑期间保持融化状态不至于在浇口段冻结，下一次注塑循环时，又可以很容易地被挤入型腔。因此，开放式浇口可以理解为“热力闭合”。

开放式热流道喷嘴的特点在于光滑流道由于熔体不产生流动分岔，流动阻力较小，且设计较为简单及相对较低的压力损失。根据加工树脂不同，可能在制品上留下浇口痕迹，在极端情况下需要进行机械清除。浇口痕迹的外观取决于浇口类型、熔体粘度和塑料类型（无定形、半结晶，填充、非填充）。

开放式热流道喷嘴一般分为两类：完全开放式喷嘴、带鱼雷体开放式喷嘴。

（1）完全开放式喷嘴　见图 16-19，完全开放式喷嘴，即无体喷嘴，适用于常见的热塑性塑料。

（2）带鱼雷体开放式喷嘴　如图 16-20 所示。

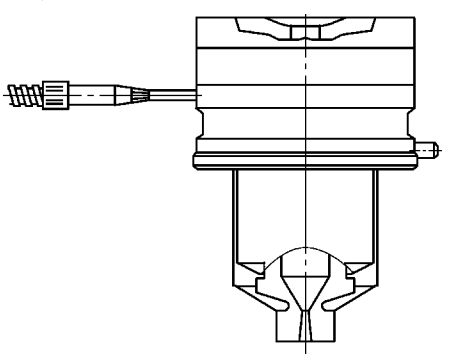


图 16-19　完全开放式喷嘴

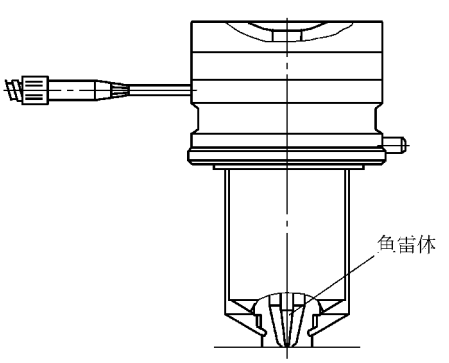


图 16-20　带鱼雷体开放式喷嘴

带有鱼雷体开放式喷嘴有以下好处：

1）温度易于控制，并且能使聚合物在喷嘴处自动撕断开。

2）鱼雷体对于易产生拉丝的材料（如 PA、PC）可以形成较好的撕断作用。

鱼雷体的缺点是容易造成对塑料熔体的剪切作用，尤其是对剪切性敏感的塑料。鱼雷体和流道的环形间隙，以及鱼雷体的倒角处会因强烈的剪切作用而损坏。如果制品由难加工的塑料制成，鱼雷体的倒角可导致产生印迹。不管塑料是无定形、结晶体还是热塑性弹性体，所有的注塑方式对某些塑料都有一定的限制。

关闭式热流道喷嘴原理：在阀针控制装置的作用下，在预定的时刻以机械运动的方式来打开或关闭浇口。由于关闭式浇口是通过机械闭合，不受浇口处塑料冷却时间的限制，所以关闭式热流道系统有时可以大大缩短制品生产成型周期。浇口尺寸亦可以开得大一些，这对加工和剪切敏感的塑料很有好处。

针阀式热流道节省材料，制品表面美观，同时内部质量紧密、强度高。根据注塑原理，目前一般有三大类针阀式热流道：液压缸式、气缸式和弹簧式。液压缸式和气缸式依据控制器和时序控制器控制液压缸或气缸推动针阀的关闭，结构较复杂。弹簧式（目前就日本 FISA 生产），最大的特点是依据弹簧和注塑压力的平衡控制针阀开关，装配调试和维护简单，但模具精度不高。日本国内客户基本自己有维护能力，广泛应用在家电、精密多腔模具中。弹簧式与液压缸及气缸的差别在于不能时序控制，不能很好解决熔接痕的问题。如图 16-21 所示为液压缸针阀式喷嘴。

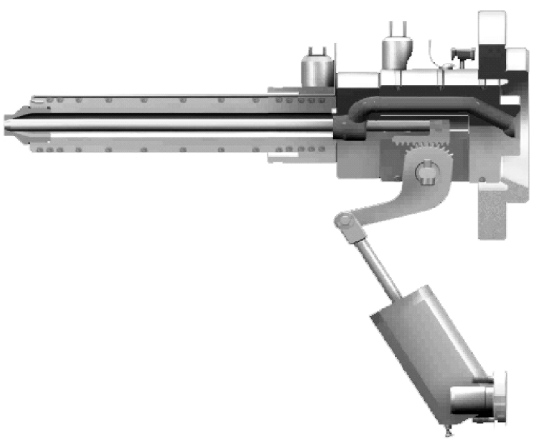


图 16-21　液压缸针阀式喷嘴

3. 喷嘴加热方式

热流道喷嘴根据加热方法分为两种方式：内加热（如图 16-22 所示）、外加热（如图 16-23 所示）。

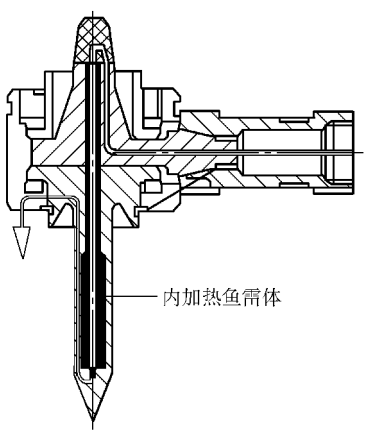


图 16-22　内加热喷嘴

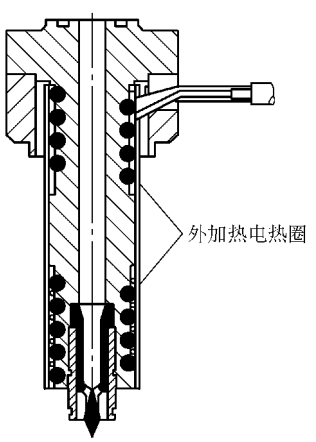


图 16-23　外加热喷嘴

外部加热一般分为 API 及 APT 两种形式。

API 喷嘴沿着喷嘴流道流动方向，在合适区域设置多个加热区，如图 16-24 所示。

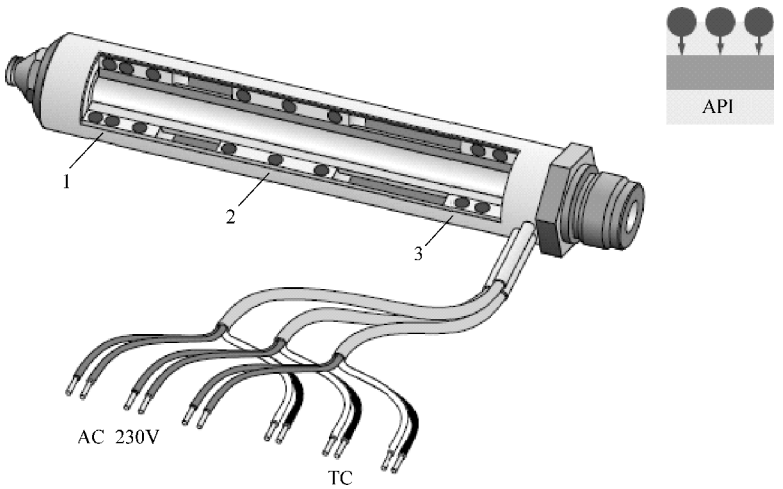


图 16-24　API 加热方式

1—第一段加热区　2—第二段加热区　3—第三段加热区

APT 喷嘴采用热管技术，沿着喷嘴流道流动方向只设置一个加热区，如图 16-25 所示。

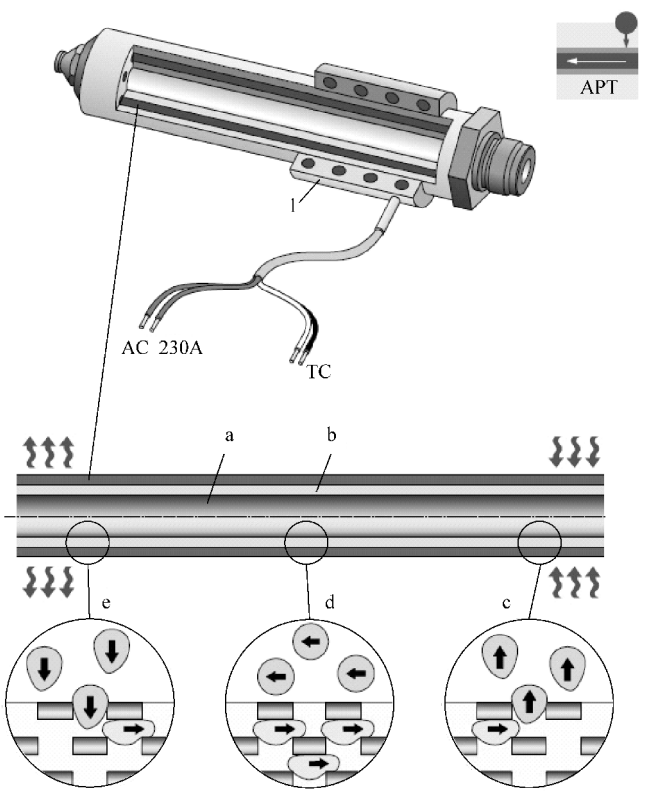


图 16-25　APT 加热方式

1—加热器　a—冷凝段　b—蒸发段　c、d、e—局部放大图

热管技术就是利用蒸发制冷，使得热管两端温度差很大，使热量快速传导。一般热管由管壳、吸液芯和端盖组成。热管内部是被抽成负压状态，充入适当的液体，这种液体沸点低，容易挥发。管壁有吸液芯，其由毛细多孔材料构成。热管一端为蒸发段，另一端为冷凝段，当热管一端受热时，毛细管中的液体迅速蒸发，蒸气在微小的压力差下流向另一端，并且释放出热量，重新凝结成液体，液体再沿多孔材料靠毛细力的作用流回蒸发段，如此循环不止，热量由热管一端传至另一端。这种循环是快速进行的，热量可以被源源不断地传导开来。

4. 喷嘴的选用

喷嘴的结构及制造较为复杂，模具设计、制造时通常选用专业供应商的不同规格的系列产品。选用喷嘴时，一定要明确供应商的规格标识，然后根据以下几个方面选用合适的规格。

（1）喷嘴的注塑量　最大的注塑量取决于以下几个因素：注塑时间、塑料类型（粘性、添加剂等）、流道长度/直径、允许最大压力损失及保压时间等。

1）对于多型腔、热流道转冷流道间接进浇。每个喷嘴注塑量（W）等于所有制品与流道的重量总和，如图 16-26 所示。

2）对于多型腔，从制品表面直接进浇。喷嘴注塑量（W_1、W_2）等于每个制品的重量，如图 16-27 所示。

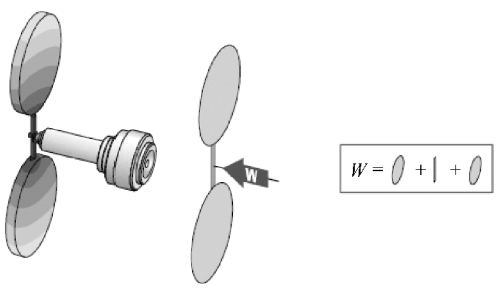


图 16-26　间接浇口喷嘴注塑量

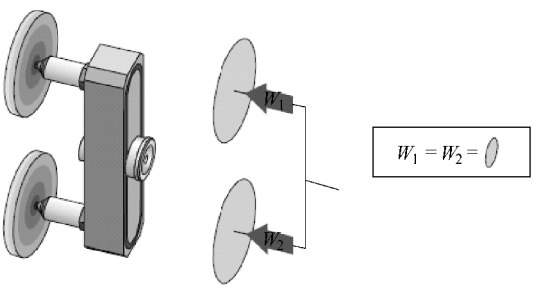


图 16-27　直接浇口喷嘴注塑量

3）对于单型腔多点直接进浇，喷嘴注塑量（W_1、W_2、W_3）等于制品注塑部分的重量，如图 16-28 所示。

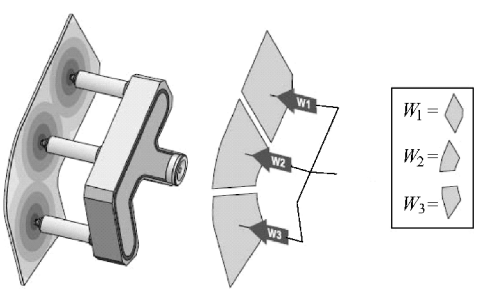


图 16-28　单型腔直接浇口喷嘴注塑量

（2）浇口位置　流道喷嘴根据熔料供给方式分为：直接浇口（如图 16-29a 所示）和间接浇口（如图 16-29b 所示）。直接浇口是指熔融塑料从喷嘴浇口直接射入到型腔中，间接浇口是指熔融塑料从喷嘴浇口射入到冷流道后再注入型腔中。

（3）浇口痕迹　喷嘴常采用的浇口形式有点浇口、竖浇口、阀浇口，各浇口的形式及制品上残留痕迹如图 16-30 所示。

1）点浇口（不带鱼雷体）注塑后在制品上残余应力最小，但浇口处不会快速冷凝，较易产生流涎和拉丝现象。

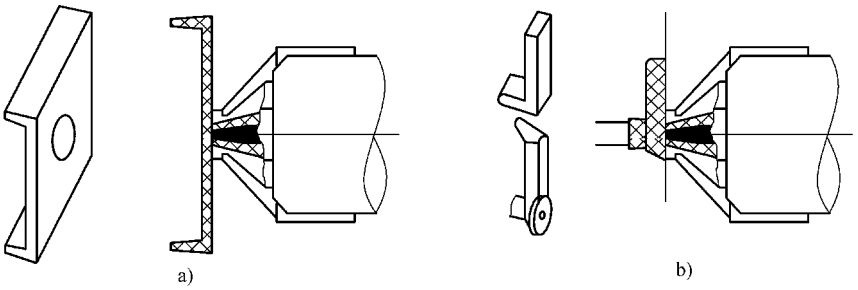


图 16-29　浇口位置

a）直接浇口　b）间接浇口

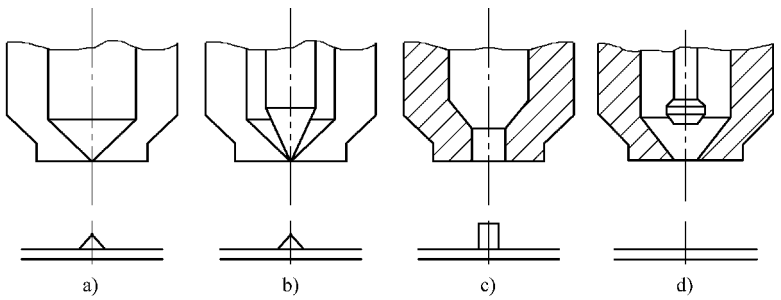


图 16-30　浇口痕迹

a）点浇口　b）点浇口（带鱼雷体）　c）竖浇口　d）阀浇口

2）点浇口（带鱼雷体）磨损量较大，残余应力较小，冷凝速度适中，流涎、拉丝现象不明显。

3）竖浇口的特点类似点浇口（不带鱼雷体），其浇口痕迹大，甚至形成小料把，需要切除。

4）阀浇口具有浇口痕迹、残余应力极小，并不会产生流涎、拉丝现象，也不会快速冷凝，但磨损较明显，由于设置阀针机构使喷嘴结构复杂化。

（4）浇口大小　浇口大小对制品外观和质量要求取决于以下几个因素：浇口直径、制品壁厚、制品重量、塑料类型、流动速率、浇口温度控制及制品几何形状。经验表格如图 16-31 所示。

从图 16-31 可以看出，当喷嘴注塑量为 500g，制品壁厚度 2.5mm，浇口直径 2.65mm，依据具体的塑料选择标准值，比如 PP 塑料浇口直径 2.7mm，PP + 30% GF 浇口直径 3.0mm。

（5）塑料类型　根据粘度大小把塑料划分为三类：低粘度、中等粘度及高粘度，如表 16-3 所示。

高粘度一般需要多加热区，低粘度一般只要一个加热区就足够，如图 16-32 所示。

16.5.4　流道板

流道板的主要任务是恒温地将熔体从主流道送入各个单独喷嘴。在熔体传送过程中，熔体压力降应尽可能的小，且不允许有塑料降解。熔体到各喷嘴的流程应尽量一致。为节省加

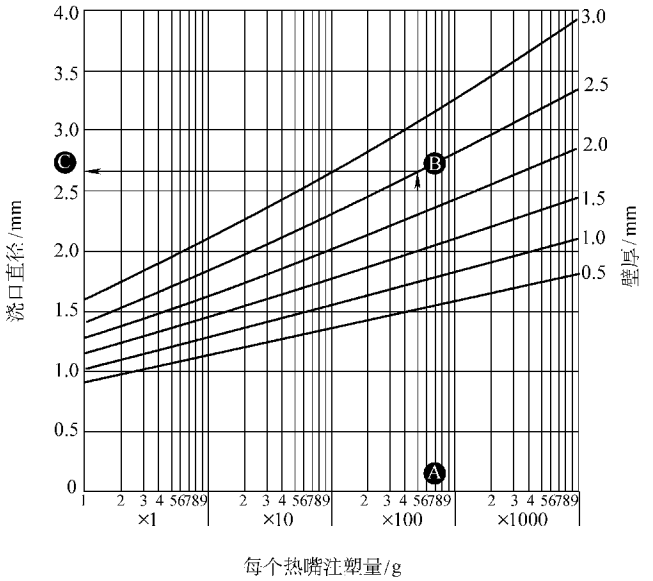


图 16-31　浇口与喷嘴注塑量关系

表 16-3　塑料的粘度

>150Pa・s	a）高粘度
	PC、PMMA、PEEK、PES、PSU、PEI、POM
=60…150Pa・s	b）中粘度
	ABS、SAN、ASA、PBT、PET、POM（Copo）、PA、PPE、PPO、PPS、PC/ABS、PC/PBT
<60Pa・s	c）低粘度
	PP、PE、PS、LCP、TPE

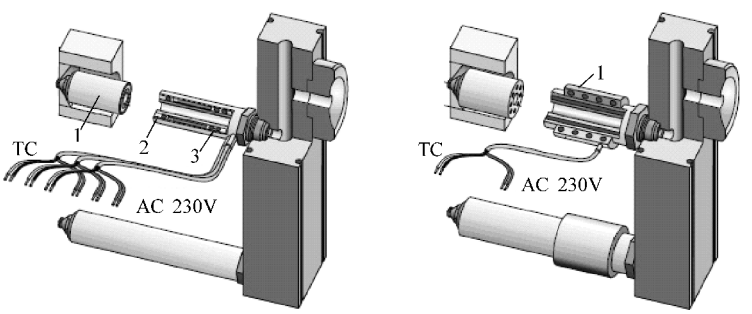


图 16-32　加热区

热功率，其体积以小为宜，但也不能太小，否则热容量太小，温度不易稳定。

热流道系统的设计需要满足以下几个条件：①没有“死”区。②熔体温度要均匀，尽量达到热平衡。③绝热良好，减少流道板与模具的热量传导。④最小的压力损失。⑤缩短起动时的加热时间。⑥保证流道板与喷嘴间无泄漏。⑦着色塑料更换时，净化和清洗容易。⑧良好的耐用性，替换加热器方便。

1. 流道板的分类

按流道板的外形轮廓可分为单点偏心 I 字形及多点 I 字形、Y 字形及 X 形、H 形及异形等，如图 16-33 所示。

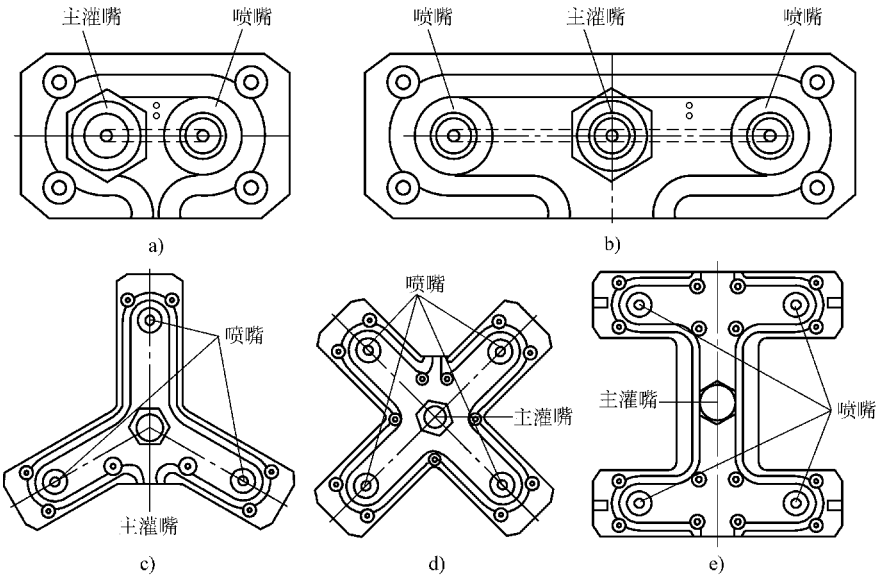


图 16-33　流道板形状

a）单点偏心 I 字形　b）多点 I 字形　c）Y 形　d）X 形　e）H 形

2. 流道板的加热方式

按流道板加热方式来区分，一般分为外加热的流道板、内加热的流道板两大类。

1）内加热流道的特点是采用内部加热的环形流道。由流道内的加热元件（探针或者加热梭，也叫作分配器管）提供加热。但这种方法会阻碍熔融塑料的流动，而且在熔融塑料的最外围与金属管壁接触处，会形成一层温度较低的薄膜。塑料必须在薄膜与加热元件之间不停的流动，同样会造成系统内的压力下降，因此平衡性非常关键。因此内加热系统最适宜成型温度范围宽的塑料及平衡流道，内加热流道不适宜于热敏感塑料的使用。如图 16-34 所示。

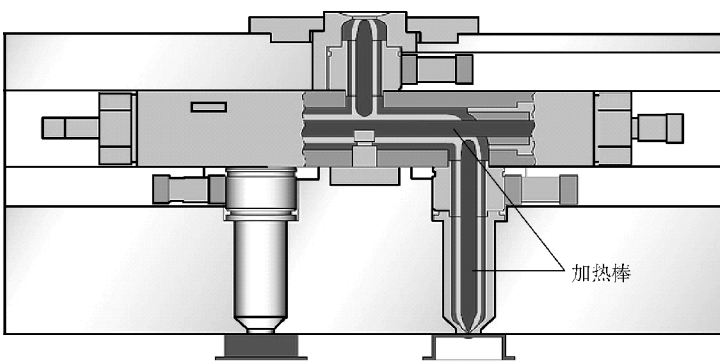


图 16-34　内加热式流道板

2）外热式热流道系统适用于工程塑料，通过装设围绕流道外围的发热线或加热器（在流道板及喷嘴上都可以采用），其好处是流道内阻力减少，加热更为均匀，消除了塑料流动

路径上的盲点。这些盲点可引致塑料和着色剂的滞留，使对温度十分敏感的塑料不能畅通地流过，也会令塑料的颜色产生变化。事实上，由于其热控制较佳，故外热式适用于大部分工程塑料。如图 16-35 所示。

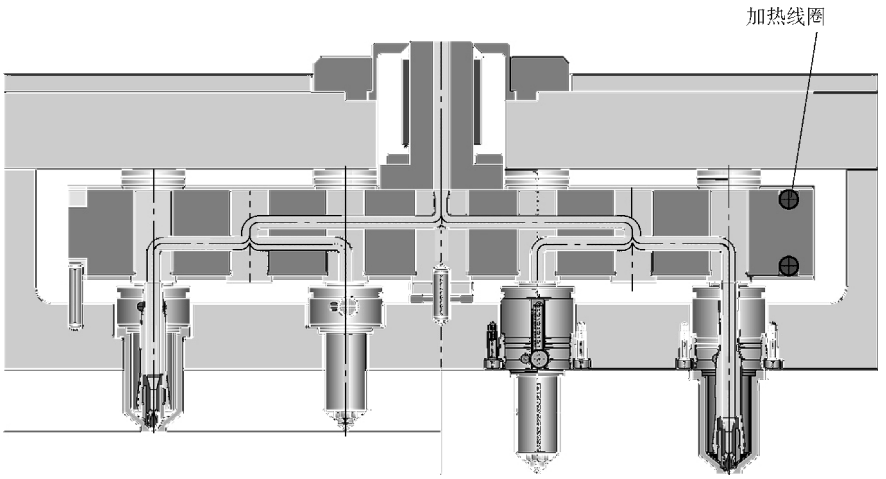


图 16-35　外加热式流道板

根据发热线的定置方法，外热式热流道系统又分为固定式和互换式两大类。前者的发热线或加热器熔焊在管壁上，由于设计上的紧密接触，使热传递的效率较好，发热线一般都有 80% 的面积接触管道，控制温度的反应非常灵敏。缺点是价钱昂贵，而且当发热线烧毁或喷嘴被弄断时，便需要更换整个部件。至于互换式，其发热线可替换，使用上较灵活简便，但发热管与管壁的接触只有 24% ~40%，热传递效率较为逊色。

16. 5. 5　热流道成型控制

一副成功的热流道模具应用项目需要多个环节予以保障。其中最重要的有两个技术因素：一是塑料温度的控制，二是塑料流动的控制。

（1）塑料温度的控制　在热流道模具应用中，塑料温度的控制极为重要。许多生产过程中出现的加工及制品质量问题直接来源于热流道系统温度控制得不好。如使用热针式浇口方法注塑成型时制品浇口质量差问题，多型腔模具中的零件填充时间及质量不一致问题等，如果可能应尽量选择具备多区域分别控温的热流道系统，以增加使用的灵活性及应变能力。一般通过温控箱来控制塑胶的成型温度。

（2）塑料流动的控制　塑料在热流道系统中流动平衡，浇口要同时打开使塑料同步填充各型腔，对于零件重量相差悬殊的型腔要进行流道尺寸设计平衡。否则，就会出现有的零件充模保压不够，有的零件却充模保压过度、飞边过大及质量差等问题。热流道尺寸设计要合理，尺寸太小充模压力损失过大，尺寸太大则热流道体积过大，塑料在热流道系统中停留时间过长，损坏材料性能而导致零件成型后不能满足使用要求。一般通过时序控制器来控制塑胶的流动平衡。

1. 热流道温控箱

温控箱包括主机、电缆、连接器和接线公母插座等。热流道附件通常包括：加热器和热电偶、流道密封圈、接插件及接线盒等。

（1）接线盒　应用于热流道系统与温控箱之间，连通感温信号和加热电源。一般使用 HARTING 的 HANE 系列比较多。

（2）热流道热电偶　感受温度变化，热流道系统常用 J 型和 K 型这两种类型的感温线。

（3）热流道加热圈　均衡加热功能，保证塑胶成型温度接近恒温。

（4）温控箱　控制塑胶的实际成型温度，如图 16-36 所示为圣万提（Synventive）Gammaflux 温控箱。

图 16-36　温控箱

2. 时序控制系统

时序控制系统可以控制各个喷嘴注塑的时间和顺序。时序控制系统主要应用于针阀式热流道注塑系统，通过检测注塑机的合模信号，根据模具注塑需要，可调整延迟锁模射胶和不同时间段关闭针阀等动作，准确开启和关闭气动式针阀喷嘴的阀针，达到使注塑制品无结合线的目的。如图 16-37 所示为圣万提（Synventive）时序控制系统。

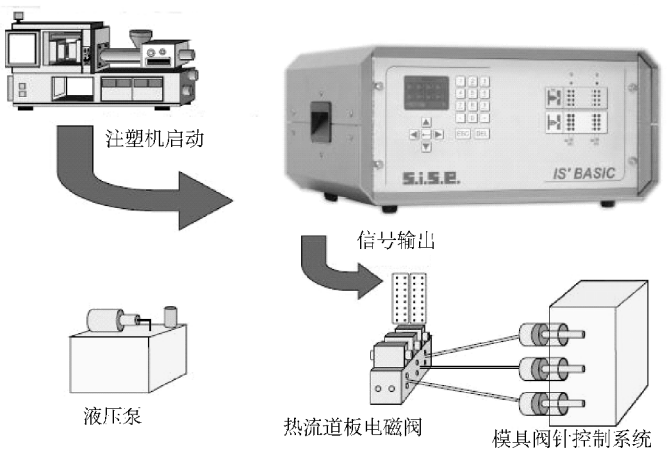


图 16-37　时序控制系统

16.5.6　热流道接线方式

每个厂家的热流道接线方式都有一定的接法，为了让读者有个认识，介绍一种比较简单的接线方式。按照“先热嘴，后热流道板，从前向后，由上至下”的分组（发热区）编号一般原则，如图 16-38 所示，插芯接线方式如图 16-39 所示。

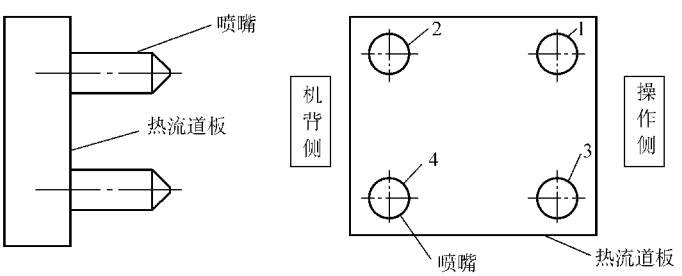


图 16-38　热流道系统接线编号

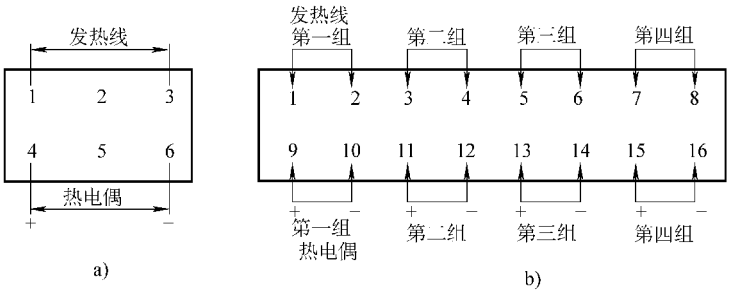


图 16-39　插芯接线方式

a）6 针　b）16 针

16.6　热流道系统设计实例

1. 单点喷嘴

对于单型腔小型制品的模具一般只需要中央喷嘴，也就是单点喷嘴的热流道系统，如图 16-40 所示。

2. 单点针阀式系统

针阀式热流道系统通过调节塑料的流动，可为每个浇口分别设定注塑时间、注塑压力等参数，针阀通过液压驱动活塞动态、无级地移动，针阀的位置决定了注塑的流量和压力。在流道内有压力传感器，可连续记录通道内的压力大小，可以控制针阀位置和调整熔体压力，从而可以获得平衡注塑和最佳的质量保证，如图 16-41 所示。

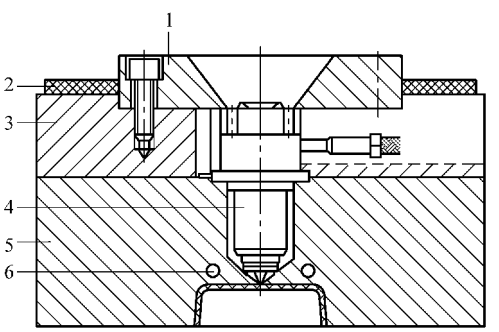


图 16-40　单点喷嘴

1—定位圈　2—隔热板　3—面板

4—喷嘴　5—定模型腔板　6—冷却通道

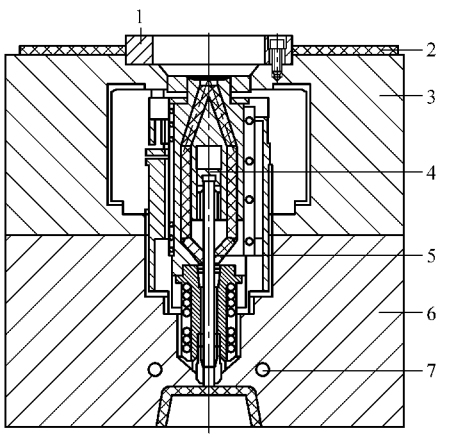


图 16-41　单点针阀式系统

1—定位圈　2—隔热板　3—面板　4—活塞

5—阀针　6—定模型腔板　7—冷却通道

3. 单点偏心热流道系统

对于单型腔小型制品的模具，如果注塑中心不在模具中心，需要设计热流道板喷嘴，如图 16-42 所示。

4. 多点热流道系统

对于多型腔的模具，一般需要多点进浇，如图 16-43 所示。

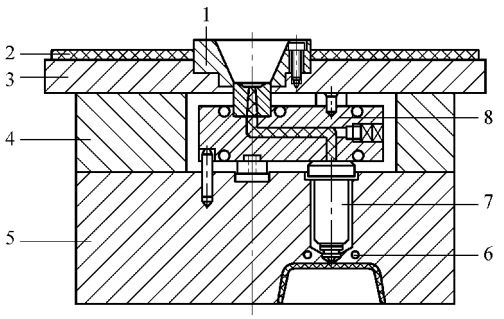


图 16-42　单点偏心热流道系统

1—定位圈　2—隔热板　3—面板　4—定模板
5—定模型腔板　6—冷却通道　7—喷嘴　8—流道板

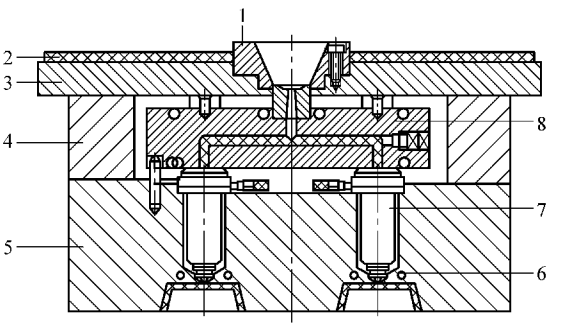


图 16-43　多点热流道系统

1—定位圈　2—隔热板　3—面板　4—定模板
5—定模型腔板　6—冷却通道　7—喷嘴　8—流道板

5. 定模弹开式热流道系统

如果定模部分由于结构的需要，比如定模需要预先弹开进行抽芯动作，由于热嘴只有尖部与模具配合，一般是 2 ~ 4mm（避免太大的热传递损失），为了防止循环开合模撞坏热嘴，需要在喷嘴外圈设计一个衬套，如图 16-44 所示。

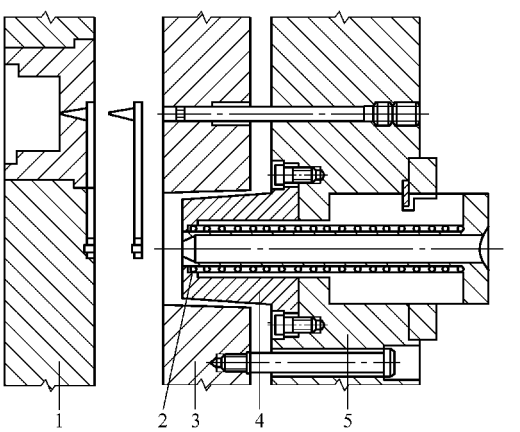


图 16-44　定模弹开式热流道系统

1—定模型腔板　2—喷嘴　3—流道推板
4—衬套　5—面板

6. 多点针阀式、时序、温度控制热流道系统

对于长流程比的制品（如汽车很多配件），单点进浇又不易充满模腔，一般需要采用多点进浇的模具，但多点进浇会造成熔接线，对一些透明制品则会影响其视觉效果。长流程比的制品越来越多地利用针阀式热流道注塑系统，通过配置时序控制器，检测注塑机的合模信号，根据注塑需要可调整延迟锁模射胶和不同时间段关闭针阀等动作，准确开启和关闭针阀热嘴的阀针，消除或者减轻熔接线对注塑制品的影响。接收到注塑信号后，部分浇口先注塑，在延迟（DELAY）时间 T_2 后，其余浇口再打开，直到注塑时间信号结束。通过针阀调节塑料的流动，可为每个浇口分别设定注塑时间，注塑压力等参数，针阀通过液压驱动活塞动态、无级地移动，针阀的位置决定了注塑的流量和压力。在流道内有压力传感器，可连续记录通道内的压力大小，可以控制针阀位置和调整熔体压力，从而可以获得平衡注塑和最佳的质量保证，如图 16-45 所示。

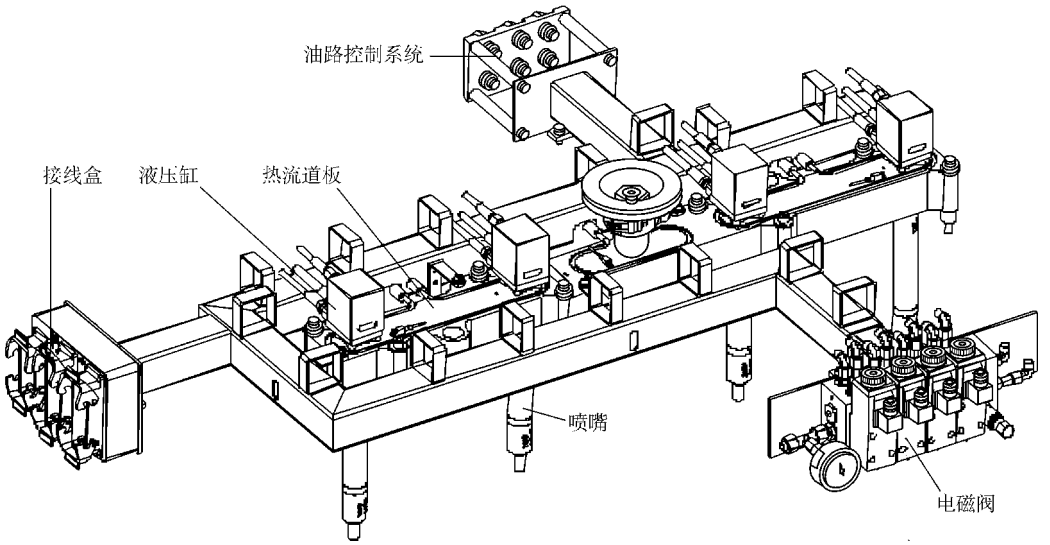


图 16-45　顺序针阀式热流道系统

16.7　热流道模具的操作失误和典型制品缺陷

1. 棕色或银色条纹（烧焦）

棕色或银色条纹是由于熔体的热分解所造成的，它的结果可能会缩短分子链的长度（变银色），或改变高分子的结构（变棕色），详见表 16-4。

表 16-4　棕色或银色条纹的原因和解决方案

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
熔体温度过高	注塑单元 热流道系统	降低料筒温度 降低螺杆速度 降低背压 降低流道板和喷嘴温度 检查/更换流道板和喷嘴中的热电偶
过长的滞留时间	成型周期 注塑单元 物料	缩短成型周期 提高注塑机的塑化能力，增加螺杆冲程 增长塑化的延迟时间 降低再生料的比例
死角	注塑单元	对中注塑机喷嘴与喷嘴衬套 检查塑化单元是否有磨损 检查阻止物料流动的区域
物料过分干燥	物料干燥装置	缩短干燥时间/温度
物料再生	物料	减少所用的再生料
物料分解	物料	使用热稳定性较高的物料

2. 浇口流涎

制品粘浇口的具体情况见表 16-5。

表 16-5　浇口流涎的原因和解决方案

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
浇口区域温度过高	热流道 模具	检查/更换喷嘴中的热电偶 降低热流板和喷嘴的熔体温度 增加浇口区域的冷却 核对喷嘴腔深度
冷却时间不足	成型周期	增加模具冷却时间
喷嘴尖问题	喷嘴	更换正确的尖端，拧紧松掉或未旋紧的喷嘴尖

3. 针阀不能开启（明显浇口痕）

当针阀不能正确开闭时，浇口会突出于制品表面。如果针阀太热的话，也可能会发生这种状况。此时，物料可能会粘在针阀上，详见表 16-6。

表 16-6　针阀不能开起的原因和解决方案

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
阀针太短	热流道	检查/更换阀针
损坏的浇口	模具中的浇口区域	检查针阀是否太长，必要时重做 检查针阀是否在浇口中心，必要时加以更换
液压/气压密封圈磨损	液压/气压单元	更换磨损的密封圈
针阀/浇口里面接触不足	模具中的浇口区域 热流道	增加浇口区域的冷却 增加针与浇口的接触
液体/空气压力不足	液压/气压单元	小心地增加油/空气压力（压力太大会损坏浇口）
过长的保压时间	成型周期	缩短保压时间
液压线路中有空气	液压/气压单元	放出油路的所有空气

4. 凹陷

在冷却过程中，制品会发生凹陷，制品的某些部分未充分冷却时会导致后收缩，详见表 16-7。

表 16-7　凹陷的原因和解决方案

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
装填入型腔的塑料不足	注塑单元	增加注塑量、增加压缩时间、增加注塑率检查是否有不能回位的针阀
制品内的压力不足		增加注塑压力、增加保压压力
熔体温度过高	注塑单元 热流道	如果凹陷痕迹接近浇口或是在厚内壁区域，降低熔体温度 如果凹陷痕迹远离浇口或是在薄内壁区域，提高熔体温度 如果凹陷痕迹接近浇口或是在厚内壁区域，降低流道板和喷嘴温度 如果凹陷痕迹远离浇口或是在薄内壁区域，提高流道板和喷嘴温度

（续）

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
浇口过早封闭（冻结）	注塑单元 热流道 模具	增加注塑率、提高熔体温度 提高流道板和喷嘴温度 检查针阀的开闭时机 降低浇口区域的冷却程度 增加浇口直径/减少浇口高度
顶出后的制品太热	注塑单元 热流道 模具	检查熔体温度 降低流道板和喷嘴温度 降低模具内壁温度、增加模具冷却时间、检查通风
薄壁上有大量的交叉状筋	模具	增加厚壁区域的模具冷却 将浇口移向厚壁区域

5. 充模不充分的制品

制品充模不充分，可能的原因是注塑量太小、通风问题、注塑压力太小或制品过早冻结，详见表 16-8。

表 16-8　充模不充分的原因和解决方案

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
物料不足	注塑单元 热流道	增加注塑量，检查是否有不能回位的针阀 检查热流道系统有没有渗漏
型腔中物料内的压力不足	注塑单元	增加注塑压力，增加压缩时间
熔体温度过低	注塑单元 热流道	提高熔体温度 检查热流道是否已达到设定温度或提高流道板和喷嘴温度
充模到保压的过渡不正确	注塑单元	提高过渡压力或过渡距离或过渡时间
排气不良	模具	增加排气口的数量或大小
浇口尺寸	模具	确定所有浇口的尺寸均相同
针阀顺序	热流道	检查针阀顺序

6. 分层脱皮

当单层表面开始从成型件剥落时就会发生分层脱皮，详见表 16-9。

表 16-9　分层脱皮的原因和解决方案

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
注塑速度太快	注塑单元	降低注塑速率
熔体温度高	注塑单元 热流道	降低熔体温度 降低热流板和喷嘴温度
模温太冷	模具	提高镶件温度

（续）

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
不相容性色料	物料	检查色料的相容性和成分
粒料上有气物	物料存储 物料干燥装置 物料处理	检查并改善存储方式 增加干燥时间/温度 改善物料处理系统，以减少受潮的机会
杂质或其他材料	物料 注塑单元 热流道	检查粒料中是否有其他杂质 检查是否有分解料 检查是否有分解料
污染的塑料	物料	从漏斗筒等位置除去所有受污染的料，并加以清理
混合不足	注塑单元	检查熔体的均匀性和塑化效能

7. 漏料

漏料的一般原因是由于塑料的注塑压力大过制品的结构强度。漏料的原因之一是流道板到达工艺温度的速度很慢，详见表 16-10。

表 16-10　漏料的原因和解决方案

可 能 原 因	涉 及 范 围	建议的解决方案
流道板定位环过大	热流道	将定位环加工到合适大小
流道板定位环被压进模板	热流道 注塑单元 模具	检查/更换流道板定位环 减少注塑喷嘴衬套上所承受的力 修理损坏的区域
流道板过热	热流道 模具	检查/更换热电偶；检查/更换针阀压碟 检查/修理损坏的模板
工艺温度太低	注塑工艺	检查熔体温度
模板锁紧螺钉不足	模具	确定螺钉的位置及数量
喷嘴过热导致密封套或浇口损坏	热流道 模具	检查/更换喷嘴中的热电偶 检查/修理喷嘴区域

16.8　热流道模具的应用范围及发展趋势

热流道技术的广泛应用是塑料模具的一大变革。在注塑成型方面，其拥有相当多无可比拟的优势。随着技术进一步成熟和制造成本降低，热流道技术将越来越显现巨大的优势。最近几年，世界著名热流道技术供应商接二连三以各种方式进驻中国市场，可见中国热流道模具市场巨大的发展潜力。

同时，这个潮流对中国模具行业技术的快速提升也正在起到巨大的推动作用。国内大量新兴民营企业也认识到这一领域的无限商机，纷纷建立热流道生产企业，这对于降低热流道技术的使用成本，加速推广应用，都具有十分重要的意义。但总体看，我国本土企业目前能够提供的技术大多仍较初级，选择空间小，质量不稳定，维护周期短，往往影响到下游企业

对其产品的信任。因此，制定热流道元器件的国家标准，积极生产价廉高质量的元器件，做好热流道技术的宣传推广，是发展热流道模具的关键。

1. 塑料种类

热流道模具已被成功地用于加工各种塑料材料，如 PP、PE、PS、ABS、PBT、PA、PSU、PC、POM、LCP、PVC、PET、PMMA、PEI、ABS/PC 等。任何可以用冷流道模具加工的塑料材料都可以用热流道模具加工。

2. 制品尺寸与重量

用热流道模具制造的制品最小的在 0.1g 以下，最大的在 30kg 以上，应用极为广泛灵活。

3. 工业领域

热流道模具在汽车、电子、医疗、日用品、玩具、包装、建筑及办公设备等各工业部门都得到广泛应用。

4. 热流道系统的发展方向

当前，国内外热流道模具的主要发展趋势可归纳为以下几个方面。

（1）即插即用型喷嘴　国际知名热流道供应商圣万提（Synventive）推出了即插即用型的螺纹旋入式喷嘴，由于喷嘴采用螺纹固定在分流板上，解决了滑动式系统由于叠加尺寸配合不良导致的漏料问题。因此，其最主要的特点在于防漏，广泛应用于汽车模、叠层模等，同时采用外部加热，具有易于更换的加热器及一体式易于更换的热电偶。

（2）元件小型化　元件小型化，可以实现小型制品一模多腔和大型制品多浇口充模。通过缩小喷嘴空间，可在模具上配置更多型腔，提高制品产量和注塑机利用率，这对于“时间即是金钱”的现代塑料加工业来说非常重要。热流道企业 Moldmaters 公司针对小型制件开发出的喷嘴，含整体加热器、针尖和熔体通道，体积直径小于 9mm，浇口距仅 10mm，可成型质量为 1 ~ 30g 的制品。

（3）元件标准化　目前，用户要求模具设计和制造周期越来越短，将热流道元件标准化，不仅有利于减少设计工作的重复和降低模具造价，并且便于对易损零部件更换和维修。目前很多热流道供应商生产的喷嘴、阀杆和分流板都是标准型，便于快速更换和交付模具。

（4）难加工塑料的注塑应用　位于密苏里州的精确模塑公司，在为某个行业领先的消费品公司制造小型 TPU 垫圈时遇到了一个严重的问题，据精确模塑公司的总经理说：“针对此 16 腔模，他们一个注塑周期最多只能出 10 个合格品”。

TPU 对热流道系统来说是一种具有挑战性的塑料，以前常使用热嘴型的流道系统，直接进浇在制品表面，由此带来的问题是：浇口太小，压力太大，导致填充不一致。

精确模塑公司多次试图解决这个问题，包括电镀模具型腔和型芯，增加纹理，但所有的尝试都无济于事，面对无法接受的生产效率，更别提难以忍受的停机时间。精确模塑公司采纳了圣万提（Synventive）建议的针阀式热流道系统，以便精确控制各浇口的开放、关闭时间。最后，精确模塑公司采用了圣万提（Synventive）板驱动型带 16 个 04C 喷嘴的针阀热流道系统。其 04C 型喷嘴内部流径 4mm，具有易于更换的外置型加热器和热电偶，并有多种喷嘴类型可以选用，在此特殊应用中，针阀式喷嘴的选择为制品表面提供了最佳的浇口控制。

（5）设计可靠化　如今国内外各大模具公司对热流道板的设计和热喷嘴连接部分的压力分布、温度分布、密封等问题的研发极为重视。叠层热流道注塑模的开发和利用也是热点。叠式模具可有效增加型腔数量，而对注塑机合模力的要求只需增加 10% ~ 15%。叠式

热流道模具在国外一些发达国家已实现工业化。

（6）温控系统精确化　在热流道模具模塑中，开发更精密的温控装置，控制热流道板和浇口中熔融树脂的温度，是防止树脂过热降解和产品性能降低的有效措施。

（7）未来塑料制品的外观美化　塑料研究所及其商业伙伴致力于提高注塑技术的质量和盈利能力，颇具前瞻性的研究和实际应用相结合，取长补短，不断提高塑料制品的表面质量，为终端用户提供了更好的视觉和触觉体验。大量的汽车和电子通信业的应用实例强调了这种说法，如高品质的汽车内饰件，可提升品牌形象。

16.9　世界上主要的热流道生产商

在热流道成型技术领域里竞争非常激烈，许多公司在热流道制品开发上均投入巨大财力、物力。在各主要塑料模具展览会上总能看到最新面世的热流道制品。现将世界上主要热流道生产商及总部所在地列于此。

1. 欧洲

SYNVENTIVE 荷兰
EWIKON 德国
GUNTHER 德国
SPEAR 德国
HASCO 德国
PLASTHING 英国
UNITEMP 瑞典
THERMOPLY 意大利

2. 北美洲

MOLD MASTERS 加拿大
Husky 加拿大
CACO 美国
INCOE 美国
FASTHEAT 美国
DME 美国

3. 南美洲

POLIMOLD（巴西）

4. 亚洲

FISA 日本
SEIKI 日本
HOTSYS 韩国
YUDO 韩国
SINO 中国（YUDO 子公司）

5. 澳洲

MASTIP 新西兰

第 17 章　注塑成型工艺

获得注塑制品的过程，称之为注塑成型或注射成型。注塑成型的核心问题，是要采用一切措施来得到塑化良好的塑料熔体，并把它注入到模腔中，在控制条件下冷却定型，使制品达到合乎要求的质量。合理的注塑成型工艺是生产出合格产品的基本要素。所谓成型工艺，简单说就是将压力、温度、时间（速度）三大要素组成最合理的搭配。在成型过程中，尤其是精密制品的成型，要想确立一组最佳的成型条件绝非易事，因为影响成型条件的因素很多，除制品的形状、模具结构、注塑设备、原材料等之外，电压的波动、环境温度的变化对成型都有一定的影响。

17.1　注塑成型工艺过程

注塑成型工艺过程包括：成型前的准备、注塑过程和制件的后处理。

17.1.1　成型前的准备

一般在成型前应对塑料原料进行外观检验，如原料的色泽、细度及均匀度等，必要时应对塑料的工艺性能进行测试。对容易吸湿的塑料，如尼龙、聚碳酸酯、ABS 等，成型前应进行充分的干燥，避免制品表面出现银丝、斑纹和气泡等缺陷。

在成型前，还应对注塑机的料筒进行清洗或拆换。当在塑料制品内设置金属嵌件时，有时需对金属嵌件进行预热，以减小塑料熔体与金属嵌件之间的温度差。为了使制品容易从模具内脱出，对有的模具型腔或型芯还需涂上脱模剂，常用的脱模剂有硬酯酸锌、液体石蜡和硅油等。在成型前，有时还需对模具进行预热。

1. 原料熔体指数的测定

熔体指数常用 MI 表示，通常作为热塑性塑料质量控制和成型工艺条件的参数。它是在规定温度和恒定载荷下，塑料熔体在一定时间通过标准毛细管的质量数，用 g/10min 来表示。

熔体指数是用以区别各种热塑性材料在熔融状态时的流动性。对同一种树脂，可以用熔体指数来比较其相对分子质量的大小，作为生产的质量控制指标。一般来说熔体指数与相对分子质量成反比关系，即该树脂的熔体指数愈大，相对分子质量愈小，它的流动性也愈好，成型加工较容易，而力学性能相对偏低。注塑用塑料材料的熔体指数多数选择为 1～10，比较简单的制件而强度要求较高的选小值，复杂、薄壁流程长的制件通常熔体指数选择偏大一些。熔体指数用熔体指数测定仪来检测。

2. 塑料的着色

注塑制件着色最常见的方法是采用色母料着色法，这种方法简单易行，着色均匀，但是成本偏高一些。色母料着色法是将热塑性塑料颗粒按一定比例混合均匀，即可用于生产，色母料的加入量通常为 1% ～5% 。

第二种方法是将热塑性塑料颗粒与分散剂（也可称稀释剂、助染剂）、颜色粉均匀混合成着色颗粒。这种方法成本较低、简单易行，但需要增加混合机，用手工混合则增加劳动强度，分散剂多用白油，每 25kg 塑料用白油 20 ~ 30mL，着色剂 0. 1% ~ 5% 。塑料材料不同，分散剂的使用也不尽相同，可用作分散剂的还有松节油、酒精以及一些酯类等。热固性塑料的着色较为容易，一般将颜料混入即可。

3. 原材料的干燥

聚合物材料分子结构含有酰胺基、酯基、醚基、脂基等基团的具有吸湿倾向。由于吸湿使其含有不同的水分，当水分超过一定量时，注塑制品就会产生银纹、收缩孔、气泡等缺陷，严重时会引起材料降解，这时产品外观和内在质量都会有不同程度的下降。易吸湿的塑料品种有：聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲基丙烯酸甲酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯、聚砜、聚苯醚、氯化聚醚、ABS 等。一般地说这些塑料成型前都应干燥，干燥条件见表 17-1。

表 17-1　塑料干燥条件

干燥条件 / 塑料名称	干燥温度/℃	干燥时间/h	干燥厚度/mm	干燥要求（%）
ABS	80 ~ 85	2 ~ 4	30 ~ 40	0. 1
聚酰胺	95 ~ 105	12 ~ 16	<50	<0. 1
聚甲醛	75 ~ 85	3 ~ 5	<30	—
聚碳酸酯	120 ~ 130	>6	<30	0. 015
聚甲基丙烯酸甲酯	70 ~ 80	2 ~ 4	30 ~ 40	—
聚对苯二甲酸乙二醇酯	130	5	—	—
聚对苯二甲酸丁二醇酯	120	<5	<30	—
聚砜	120 ~ 140	4 ~ 6	20	0. 05
改性聚苯醚	120 ~ 140	2 ~ 4	25 ~ 40	—

有些塑料如聚烯烃、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚甲醛等不易吸湿，如果包装、储存较好，一般可不干燥。

塑料的干燥方法很多，可采用循环热风干燥、红外线加热干燥、真空加热干燥、沸腾床干燥、气流干燥等，主要根据塑料批量及具体条件进行选择。通常批量较小的采用循环热风和红外线加热干燥法；而大批量的干燥多选用沸腾床法和气流法。高温下易氧化降解的聚酰胺则采用真空加热干燥法为好。干燥温度多控制在材料的玻璃化温度以下，一般采用较长的干燥时间，这样效果较好，应注意的是干燥后的物料应防止再次吸湿。

4. 嵌件的预热

为了装配和使用强度的要求，塑料制件内常嵌入金属制的嵌件。注塑前，金属嵌件应先放进模具内的预定位置，经注塑成型的塑料熔体均匀地包覆在嵌件四周，冷却后成为一整体。由于塑料材料与金属材料的热性能差异很大，两者比较塑料导热系数小，线膨胀系数大，成型收缩率较大，而金属收缩率较小，因此，有嵌件的塑料制品，在嵌件周围易产生裂纹，致使制品强度较低。要解决上述的问题，设计制件时，应加大嵌件周围塑料的厚度，同时对金属嵌件进行预热，以减少塑料熔体与金属嵌件的温差，使嵌件四周的塑料冷却变慢，两者收缩相对较均匀，产生一定的熔料补缩作用，以防止嵌件周围产生较大的内应力。

嵌件预热需要由塑料的性质、嵌件的大小和种类决定。对具有刚性分子链的塑料，如聚碳酸酯、聚苯乙烯、聚砜、聚苯醚等，当有嵌件时必须预热，因为这些塑料本身就容易产生内应力而引起应力开裂。而含柔性分子链的塑料且嵌件较小时，嵌件易被熔融塑料在模内加热，可不预热。

嵌件预热温度一般为 110 ~ 130℃，以不损伤嵌件表面的镀层为限。对非钢质嵌件，如铝、铜预热温度可提高至 150℃左右。

5. 脱模剂的选用

脱模剂是使塑料制件容易从模具中脱出而喷涂在模具表面上的一类助剂或复合物。其原理是利用润滑剂分子的极性基团对金属表面取向，因吸附作用形成一个静止的润滑剂膜层，在塑料熔体与金属表面之间产生类似“界面润滑”作用。

脱模剂目前常见的是雾化脱模剂，它是将主组份加以适量溶剂采用机械共混，并充以适量雾化剂罐装而成。雾化脱模剂喷涂均匀，涂层较薄，脱模效果较好。一般喷涂一次可脱模 15 模左右，雾化脱模剂适应性较强，各种塑料包括热固性塑料均可使用。雾化脱模剂的种类和性能见表 17-2。

表 17-2　雾化脱模剂的种类和性能

性能 / 种类	脱模效果	制件表面处理后（电镀、喷涂等）的适用性
甲基硅油（TG 系列）	优	差
白油（TB 系列）	良	良
蓖麻油（TM 系列）	良	优

传统脱模剂主要有硬脂酸锌、白油、硅油，用手工涂刷，涂刷不易均匀且脱模次数大大低于雾化脱模剂。手涂方法已逐渐被雾化脱模取代。

硬脂酸锌除聚酰胺外，一般塑料均可使用。白油作为聚酰胺的脱模剂效果较好，硅油脱模效果好，使用不方便，需要配制成甲苯溶液，涂刷在模具表面，经干燥后才能显示良好的效果，因此使用上受到限制。手工涂刷过量或不均匀都会影响制件的外观和性能，其中对透明制品影响更大，易使制件产生混浊。手工涂刷脱模剂目前在一些小型工厂还在使用。

6. 机筒的清洗

生产中需要改变品种、更换原料、调换颜色或者发现塑料分解现象时，都需要对注塑机机筒进行清洗或拆换。

柱塞式注塑机机筒的清洗比较困难，因为柱塞式注塑机机筒内存料大。分流梭不易拆卸，清洗时必须采用拆卸清理。

螺杆式注塑机机筒的清洗，多采用机筒清洗剂进行清洗。机筒清洗剂是利用聚甲基丙烯酸甲酯在较高温度下产生的化学和物理两方面的变化，形成具有十分粗糙的表面，同时伴有少量降解所产生的低分子物和单体气体，从而对机筒壁和螺杆表面及粘附物料产生刷洗和携裹作用，再加适量助剂配制而制成。机筒清洗剂具有无毒、节能、高效、简便和利于文明生产等特点，可节省原材料 90% 、节能 30% ，提高工效 2 倍以上，并能显著地降低因染色、混料造成的废品率。

机筒清洗剂的主要型号、用量、适用范围见表 17-3。

表 17-3 机筒清洗剂品种、适用范围及用量

品 种	适用范围/℃	用量/g	
LQ—1 型	180 ~ 200	注塑机型号	清洗剂
LQ—2 型	200 ~ 220	Z—S—60	50 ~ 100
LQ—3 型	220 ~ 240	XS—ZY—125	100 ~ 150
LQ—4 型	240 ~ 260	XS—ZY—250	150 ~ 200
LQ—5 型	260 ~ 280	XS—ZY—500 以上	适当增加

传统的机筒清洗，通常采用直接换料清洗。清洗料多选用低密度聚乙烯，造成较大的浪费。

机筒清洗剂使用方法，首先将正常生产条件下的机筒温度提高 10 ~ 20℃，挤净机筒内残余物料，然后加入清洗剂，随后加入所要更换的正常用料，或者清洗剂已挤到螺杆前端后再加入正常塑料，用预塑方式连续挤出一段时间即可。若一次尚不满意，可再重复一次上述清洗过程。例如在 60cm^3 注塑机注塑黑色 ABS，要换成白 ABS 料，先将黑料挤净，加入 100g 清洗剂，再加入白色 ABS，即得白色 ABS 制品。该清洗剂亦可用于挤出成型的机筒清洗。

17.1.2 注塑过程

注塑成型过程包括塑化与流动、注塑和模塑冷却三个阶段。

1. 塑化与流动

塑化与流动是指塑料在机筒内经加热达到流动状态，再由螺杆旋转或者柱塞的推挤，达到组分均匀并具有良好可塑性的过程。塑化与流动是注塑模塑的准备过程，对它的主要要求有：达到规定的成型温度；温度、组分应均匀一致并能在规定的时间内提供足够数量的熔融塑料；分解物控制在最低限度。塑化与流动对注塑制件的产量和质量都有直接、密切的关系。现将柱塞式和螺杆式注塑机的塑化与流动进行分析比较。

（1）热均匀性 塑料在柱塞式注塑机内依靠机筒外部加热熔化，凭借柱塞的推挤入模，几乎没有混合作用，熔料在机筒内的流动处于层状流动，不利于热的传导，更不利于消除温差。又由于塑料导热性差，塑料熔化所需要的热量主要是由机筒外部加热装置提供，会造成靠近机筒壁处温度高，而中心处温度偏低，形成温差。由于柱塞式注塑机熔料温差大，制件性能不可能是优异的，一般地说用该机成型的制件内应力较大，成型热敏性塑料较为困难。

螺杆式注塑机，由于螺杆的混合和剪切作用，不仅提供了大量的摩擦热，而且还能加快热的传递，从而使物料温升较高，温差较小。制品的性能较好，成型的材料品种及制品种类较多。两者比较温升曲线见图 17-1。

从图 17-1 看出，柱塞式注塑机温升较低，温差较大，而螺杆式注塑机温升较高。

（2）塑化量 塑化量是指单位时间内注塑机塑化装置提供一定质量要求的熔体量。在一个成型周期内，塑化的熔体量必须与注塑量相平衡。柱塞式注塑机塑化能力与注射量的关系式为

$$Q_m = 3.6Q/t \tag{17-1}$$

式中　Q_m——塑化能力（kg/h）；

Q——注塑量（g）；

t——循环时间（s）。

由此可见，柱塞式塑化装置，对一定的注塑量来说，塑化能力受到循环时间的限制，若循环时间短，则物料与机筒接触时间短，塑化能力高，但是物料的热历程缩短，会影响塑化质量。

塑化能力除与物料在机筒中停留时间有关外，还与加热温度及塑料材料性质有关。

柱塞式注塑机塑化装置仅依赖机筒外部加热，温度低，温差大，所以缩短循环时间是不行的，那么它的塑化能力必然就低。

而螺杆式注塑机的塑化过程，可以从挤出机塑化过程了解它的特点。螺杆在预塑时，不仅有旋转运动而且还兼有后退直线运动，螺杆边旋转边后退，做的是复合运动。螺杆后退的直线运动是螺杆在旋转时，处于螺槽中的物料和螺杆头部的熔体对螺杆进行反作用的结果。

螺杆一边后退一边旋转，把熔体从均化段的螺槽中向前挤出，使之集聚在螺杆头部的空间里，形成熔体计量室并建立起熔体压力，此压力称预塑背压。螺杆旋转时，正是在背压的作用下克服了系统阻力才后退的，后退动作一直进行到螺杆所控制的计量行程为止。当螺杆后退停止时，则螺杆旋转运动也就终止，预塑阶段结束，程序进入下一循环，注塑周期的等待阶段。

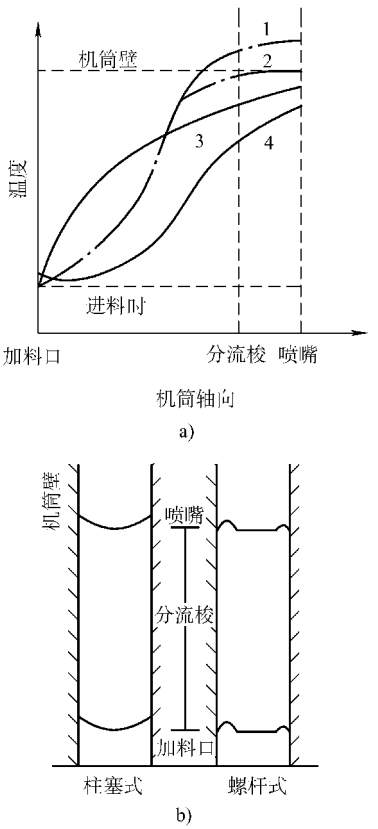


图 17-1　注塑机机筒内塑料温升曲线

a）轴向温升曲线　b）径向温升曲线

1—螺杆式注塑机（剪切作用强烈）

2—螺杆式注塑机（剪切作用缓和）

3—柱塞式注塑机（靠近机筒壁）

4—柱塞式注塑机（中心部位）

与挤出类似的是，塑料材料从机筒加料入口到喷嘴由于热历程不同，物料也有三种聚集态：入口处的玻璃态；喷嘴处为粘流态；中间为高弹态。与之相对应的标准螺杆也分为固体输送段、均化段和压缩段。物料在螺槽中的吸热取决于传热过程，在此过程螺杆转速起着重要作用，物料热能来源主要是机械能转换和机筒的外部加热。

螺杆式注塑机机筒内物料受到加热、剪切作用，塑化较为充分，同时又可采用不同背压和螺杆转数改善塑化质量，因此塑化能力也较高。

柱塞式与螺杆式注塑机塑化能力见图 17-2。

2. 注塑

这一过程是指用柱塞或者螺杆推挤，将具有流动性、温度均匀、组分均匀的熔体入模的过程。塑料熔体注塑入模需要克服一系列的流动阻力，包括熔体与机筒、喷嘴、浇注系统、模型的摩擦阻力以及熔体的内摩擦阻力，同时还要对熔体进行保压。因此，注塑压力是很高

的，这一历程虽然时间很短，但是熔体的变化并不小，这些变化对产品质量有很大影响。

熔体流经流道示意见图 17-3。

塑料在柱塞式注塑机中受热、受压时，首先将粒状物料挤压成柱状固体，在受热中逐渐变成固熔混合体，最后成熔融体，熔化慢，阻力大，注塑时压力损失也较大。增大机筒直径虽能减小注塑压力损失，但是塑化质量大大下降，所以柱塞式注塑机注塑压力损失大，注塑速率也较低。

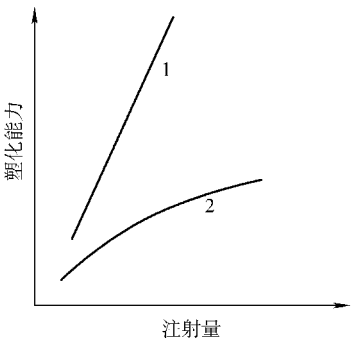


图 17-2　柱塞式与螺杆式注塑机塑化能力比较

1—螺杆式　2—柱塞式

在螺杆注塑机中，物料在固体输送段已经形成固体塞，阻力较小，而在计量段物料已经熔化，这是由于在螺杆注塑机中物料可以获得更多的摩擦热，料层较薄，所以熔化较快。

螺杆式注塑机注塑压力损失小，注塑速率也就较高。

物料在柱塞式与螺杆式注塑机中注塑速率的比较见图 17-4。

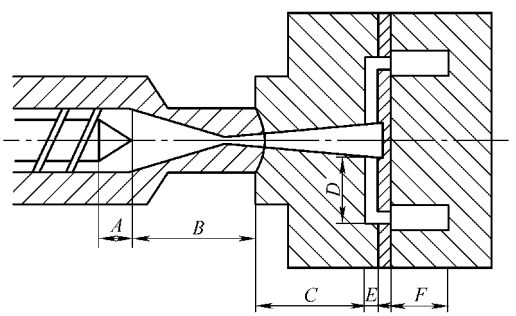


图 17-3　熔体流经流道示意图

A—计量室流道　*B*—喷嘴流道　*C*—主流道

D—分流道　*E*—浇口　*F*—模腔

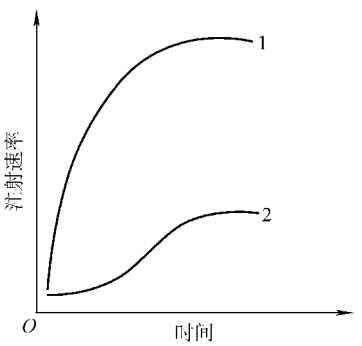


图 17-4　柱塞式与螺杆式注塑机中注塑速率的比较

1—螺杆式　2—柱塞式

3. 模塑

模塑阶段是指塑料熔体进入模腔开始，经过型腔注满、熔体在控制条件下冷却定型、直到制品从模腔脱出为止。

不管是那种形式的注塑机，塑料熔体进入模腔内的流动情况均可分为充模、压实、倒流和冷却四个阶段，在连续的四个阶段中塑料熔体的温度将不断下降，而时间、压力变化则如图 17-5 所示。

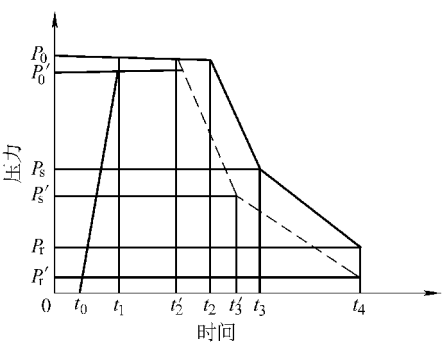


图 17-5　模塑时间压力曲线

P_0—模塑最大压力　P_s—浇口凝封压力

P_r—脱模残余压力　$t_0 \sim t_1$—充模时间

$t_1 \sim t_2$—保压时间　$t_2 \sim t_3$—倒流时间

$t_3 \sim t_4$—冷却时间

（1）充模阶段　这一阶段从柱塞或者螺杆开始向前移动起（时间为 t_0）直至塑料充满模腔为止（时间为 t_1）。充模阶段包括引料入模期、充模期、挤压增密期。因引料入模期和挤压增密期时

间很短，所以通常把充模时间称作注塑时间。

$t_0 \sim t_1$ 通常为 3 ~ 5s。

充模阶段开始时模腔内没有压力，随着物料不断充满，压力逐渐建立起来，待模腔充满后，料流压力迅速上升达到最大值 P_0。充模时间与模塑压力有关。充模时间长，也就是慢速充模，先进入模内的熔料，受到较多的冷却，粘度升高，后面的熔料就需要较高的压力才能入模。模内被冷却的物料受到较高的剪切应力，分子定向程度较高，如果定向分子被冻结，制品就会出现各向异性和内应力，严重时产品还会出现裂纹。充模时间过长，制品的热稳定性也较低。

充模时间短，也就是快速充模，熔料经过喷嘴及浇注系统，产生较高的摩擦热，料温也较高，当注塑压力达到最大值时，塑料熔体的温度高，分子定向程度较小，制品熔接强度较高。但是充模速度太快，则在嵌件后部的熔接不好，致使制品强度变差，裹入空气也会使制品产生气泡。

（2）保压阶段　保压阶段也称压实、增密阶段。这一阶段从熔体充满模腔起（时间 t_1）到柱塞或螺杆在最前位置（时间 t_2）止。这段时间内塑料熔体会受到冷却而产生收缩。但是熔料仍处于柱塞或螺杆的稳压下，机筒内的熔料必然会向模腔内继续流入，以补充因收缩而留出的空隙。如果柱塞或螺杆停在原位不动，压力曲线略有下降；如果柱塞或螺杆保持压力不变，也就是随着熔料入模的同时向前移动，则模内压力也有所下降。

保压时间通常为 20 ~ 120s。

保压压力提高，保压时间延长有利于提高制品密度、减小收缩、克服制品表面缺陷。此外，由于塑料还在流动，而且温度在不断下降，定向分子容易被冻结，所以这一阶段是大分子定向形成的主要区间，保压时间愈长，浇口凝封压力愈大，分子定向程度也愈高。

（3）倒流阶段　这一阶段从柱塞或螺杆后退时开始（时间 t_2）到浇口处熔料凝封为止（时间 t_3）。这时模腔内的压力比流道压力高，因此就会发生塑料熔料的倒流，这时模内压力不断下降。如果柱塞或螺杆后退时，浇口处熔料已疑封，或者喷嘴中装有止逆阀，则倒流阶段就不复存在，也就不会出现 $t_2 \sim t_3$ 段压力下降曲线，所以倒流多少或有无是由保压时间来决定的。浇口凝封压力用 P_s 表示。保压时间长，凝封压力高，倒流少，制品收缩率降低。

倒流阶段既有塑料的流动，就会增加分子定向程度，凝封压力愈高，分子定向程度也愈大，制品的内应力较高。

（4）冷却阶段　这一阶段是从浇口凝封时起（时间 t_3）到制品从模腔中顶出（时间 t_4）止，通常情况冷却时间为 20 ~ 120s。

模内塑料在这一阶段内主要是继续进行冷却，以便制品脱模时有足够的刚度，不致产生变形。在这一阶段，虽然无塑料从浇口流入或流出，但模内还可能有物料少量流动，依然会产生分子定向。由于模内塑料的温度、压力和体积在这一阶段均有变化，到制品脱模时，模内压力不一定等于外界压力，模内压力与外界压力的差值称残余压力，用 P_r 表示。

残余压力的大小与保压阶段时间长短有关，保压时间长，凝封压力高，残余压力也大。残余压力为正值时，脱模比较困难，强行顶出制品容易被刮伤，甚至破裂。残余压力为负值时，制品表面容易产生缺陷或内部有真空泡。残余压力为零，但是在冷却初期等于零，因制品外表壳层较薄，无足够强度抵抗内部随后出现的负压而使制品产生凹痕；冷却中期为零，制品内部未凝固熔体会在足够厚的外壳拉应力作用下形成缩孔；冷却后期残余压力等于零，

脱模较顺利并能获得满意的制品。

17.1.3 制件的后处理

注塑制件经脱模或者机械加工、修饰之后，常要进行适当的后处理，借以提高制件的性能。制件后处理主要包括热处理（退火）和调湿处理。

1. 热处理（退火）

由于塑料在机筒内塑化不均匀或在模腔内冷却速度不同，因此常会产生不均匀的结晶、定向和收缩，致使制品存在着内应力，这在生产厚壁或带有金属嵌件的制品时更明显。制件存在着内应力，在储存和使用过程中，常会使力学性能下降，光学性能变坏，制件表面产生银纹、开裂。解决这些问题的方法是对制件进行热处理。

热处理的方法是将制件置于热空气中，如循环热风干燥室、干燥箱或者置于热的液体介质中，如水、矿物油、甘油、乙醇、白油等，静置一定时间，通常为几个到数十个小时。热处理时间决定于塑料品种、模塑条件、制品形状和热处理温度。

塑料材料大分子中分子链刚性较大及玻璃化温度较高的制品、厚壁制品、带金属嵌件的制品和使用温度范围较宽、尺寸精度要求较高、内应力较大又不易自行消失的制品均需进行热处理。而对于分子链比较柔顺且玻璃化温度较低的制品，虽然这些制品也会产生内应力，但是内应力能缓慢自消，如聚甲醛、氯化聚醚。如果这些制品使用要求不高，也可不进行热处理。

一般热处理温度控制在制品使用温度以上 10 ~ 20℃或者热变形温度以下 10 ~ 20℃为宜。温度过高制品易产生翘曲、变形，温度太低又达不到热处理的目的。热处理时间视制品厚度来决定，以达到消除制品内应力的目的，热处理后的产品应缓慢冷却到室温，冷却太快，有可能重新引起内应力。表 17-4 列出为各种塑料热处理条件的参考值。

表 17-4 热处理条件的参考值

条件 / 塑料名称	热处理温度/℃	时间/h	热处理方法
ABS	70	4	烘箱
聚碳酸酯	110 ~ 135	4 ~ 8	红外灯、烘箱
	100 ~ 110	8 ~ 12	
聚甲醛	140 ~ 145	4	红外线加热或烘箱
聚酰胺 66	100 ~ 110	4	油、盐水
聚甲基丙烯酸甲酯	70	4	红外线加热或烘箱
聚砜	110 ~ 130	4 ~ 8	红外线加热、甘油、烘箱
聚对苯二甲酸丁二醇酯	120	1 ~ 2	烘箱

热处理的实质是：使强迫冻结的分子链得到松弛，凝固的大分子链能够自由转动，回复原来位置，从而消除这一部分内应力。提高结晶度，稳定结晶构型，从而提高结晶塑料制品的硬度、弹性模量、降低断裂伸长率。

2. 调湿处理

聚酰胺类塑料在高温下与空气接触时常会氧化变色，此外，在空气中使用和储存时又易

吸收水分而膨胀，它需要经过较长时间后才能得到稳定的尺寸。如果将刚脱模的制品放在热水中进行处理，不仅可隔绝空气防止制品氧化，同时可以加快制品吸湿达到吸湿平衡，使制品尺寸稳定，这种方法称作调湿处理。适量的水分对聚酰胺类产品起着类似增塑作用，从而改善了它的韧性和柔软性，某些刚性指标也能提高，如冲击韧度、抗拉强度均有不同程度的提高，调湿温度、时间随品种、制件形状而异，可在醋酸钾溶液（沸点 120℃左右）进行调湿，亦可在油中进行。

17.2　注塑成型工艺参数的设定

17.2.1　注塑温度

注塑成型需要控制的温度有机筒温度、喷嘴温度、模具温度、油温等，前两者主要影响塑料的塑化与流动，而模温对塑料的流动与冷却定型起决定性的作用。另外，注塑机的油温控制是工艺参数实现的重要条件。

1. 机筒温度

机筒温度的选择与各种塑料的特性有关，每种塑料材料都有自己的粘流温度（T_f）和熔点（T_m）。对无定形塑料来说，机筒末端温度应高于粘流温度（T_f），而结晶型塑料应高于熔点（T_m），但是都必须低于分解温度（T_d），因此机筒最合适的温度范围应在 T_f 或 T_m ~ T_d 之间。对于 T_f ~ T_d 范围较窄的塑料，机筒温度应偏低些，可比 T_f 稍高一些，而对 T_f ~ T_d 范围较宽的塑料，机筒温度可适当提高，可比 T_f 高。如聚氯乙烯受热易分解，机筒温度应尽可能低一些，而聚苯乙烯 T_f ~ T_d 范围宽，机筒温度范围也较宽且可较高一些。

塑料在高温下易产生热氧化降解而影响制品的性能，给成型加工也带来困难，有时虽然机筒温度低于塑料的分解温度，但是在高温下，物料在机筒内停留时间过长，同样会发生降解，所以对热敏性材料如聚氯乙烯、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等，除应严格控加热温度外，对加热时间也应有所限制。

同一种塑料由于来源不同、牌号不一样，其流动温度和分解温度也是有差异的。凡是平均相对分子质量较高、相对分子质量分布较窄的塑料材料，其熔体粘度较大，流动性较差，机筒温度应偏高一些，反之则可偏低一些。

添加剂对成型温度也有影响，凡是材料中加入刚性添加剂，如增强剂、填充剂等，由于其软化温度提高，流动性变小，机筒温度应选择的高一些；而加入韧性添加剂，如增塑剂、软化剂等，在塑料大分子中起到了润滑作用，这时机筒温度可偏低一些。

注塑机种类不一样，注塑机机筒温度也不相同。柱塞式注塑机，塑料完全靠机筒壁和分流梭传热，传热效率低且不均匀，为了提高材料流动性，机筒温度应较高。螺杆式注塑机，塑料在螺槽中经历了复杂的运动，受到较强的剪切作用，剪切摩擦热较大，而且机筒内料层薄，传热较容易，因此机筒温度可偏低些，一般比柱塞式机筒温度低 10 ~ 20℃。

薄壁制件、复杂制件、带金属嵌件的制件，由于熔体充模流程长且曲折，充模时间较长，流动阻力大，冷却快，机筒温度应高一些，这样物料流动性较好；简单制件、厚壁制件，机筒温度可适当低一些。

机筒温度的分布原则，通常从料斗到喷嘴湿度由低到高，使塑料逐步加热、熔化。机筒

料斗座处应设置冷却夹套，防止物料结块堵塞下料。

机筒温度的选择对制品性能有直接的影响，如图17-6所示。

从图中看出：机筒温度提高以后，制品的表面粗糙度、冲击韧度、成型时流动长度增加，而注塑压力降、制品收缩率、翘曲度、取向度及内应力减小，从这点看，机筒温度提高对提高产品质量、产量是有好处的，所以在允许的情况下可适当提高机筒温度。

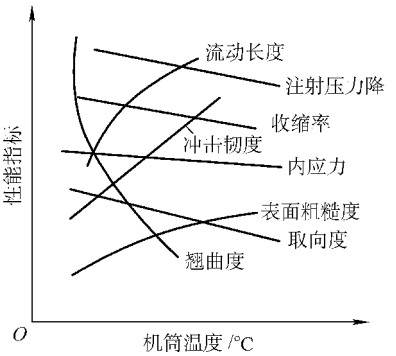


图 17-6 机筒温度与制品性能的关系

2. 喷嘴温度

喷嘴和浇口的作用一样，是为了加速熔体的流速，把势能转变为动能，并有调整熔体温度和均化的作用。

喷嘴对熔体温度是有影响的，但是如果注塑压力不变，喷嘴长度、直径对温度没有明显的影响。喷嘴细孔附近温度升高则与塑料熔体平均流速成正比。

实验证明，注塑压力对熔体流经喷嘴的温升有很大影响，而喷嘴直径对熔体温度升高影响并不大，如表17-5所示。

表 17-5 喷嘴直径、注塑压力与喷嘴温度的关系

喷嘴直径/mm	注塑压力/MPa	温度升高数/℃
0.5	50	26
0.5	100	46
0.7	50	26
0.7	100	47
1.0	50	25
1.0	100	46
1.46	50	23
1.46	100	43
2.0	50	19
3.0	50	18

从表17-5看出，喷嘴孔径小的剪切摩擦热大，温升高。设计喷嘴温度时，通常略低于机筒温度为好。

塑料熔体的注塑压力又取决于熔体温度和通过喷嘴的速率，如果喷嘴直径一定，熔体温度越高，熔体压力也越大。从这点分析，机筒温度也不宜太高，因为喷嘴温度太高，熔料会产生流涎现象。一般注塑成型前都通过对空注塑法或直观分析法来调整成型工艺条件，确定合适的机筒温度和喷嘴温度。

3. 模具温度

模具温度是指在注塑过程中与制品接触的模腔表面温度。因为它直接影响到制品在模腔中的冷却速度，从而对制品的内在性能和外观质量都有很大的影响。模具温度的高低取决于塑料的特性、制品的形状、尺寸、性能要求以及其他工艺条件。

模具温度的控制方法很多，通常是靠通入定温的冷却介质来控制的。有时也靠熔体注入模腔后的自然升温和散热达到平衡，从而保持一定的模温，即自然散热、水冷却、冷冻水冷却。特殊情况下，还可以采用电热丝或电热棒对模具加热来控制模温。不管采取什么方法使模具保持恒定温，对塑料熔体来说都是冷却过程，使其达到玻璃化温度或者工业上常用的热变形温度以下使塑料冷却定型，同时也利于制件的脱模。

无定形塑料熔体注入模腔后，随着模温降低而固化。模具温度主要影响充模速度。对熔体粘度较高的塑料，如聚碳酸酯、聚苯醚、聚砜、氟塑料、聚酰亚胺等，模具温度应高些，提高模温可以调整制品的冷却速率，缓慢冷却，应力得到充分松弛，防止制品产生凹痕、裂纹等缺陷，模温提高由于取向的分子得到充分的松弛，取向应力较小。

注塑无定形塑料，如聚苯乙烯及其共聚物时，模温对制品力学性能影响比较小，下面列出本体法聚苯乙烯的有关数据见表 17-6。

表 17-6　本体法聚苯乙烯的有关数据

试 样 号	注塑温度/℃	模温/℃	冲击韧度/(kJ/m^2)
1	175	27	15.7
2	175	67	11.0
3	175	67	12.3

试样 3 是在脱模后立即浸于温度约 4℃的水中加以冷却的，此时聚苯乙烯试样的冲击韧度稍有提高。将试样急冷显然会妨碍松弛过程的进行，因而可以使熔体在模内流动时产生的取向保存下来。

结晶型塑料注塑入模后，模具温度对结晶度、结晶条件起着决定性的作用。结晶度的变化可根据结晶塑料密度的变化来判断，因为对于许多塑料来说，如聚乙烯、聚酚胺、聚对苯二甲酸乙二酯等已确定密度与结晶度之间存在着线性关系。于是，根据模具温度或注塑过程其他工艺参数变化时制品密度的变化，就可确定对热塑性塑料结晶构型、结晶度的影响。

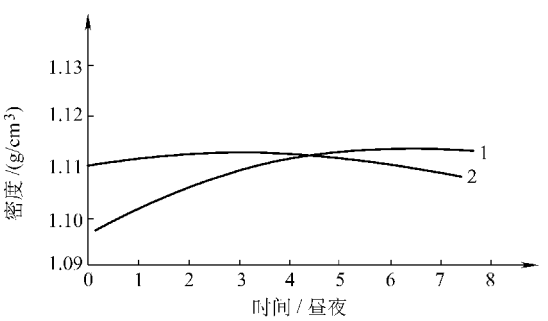


图 17-7　不同模温聚酰胺 -6 密度与放置时间的关系
1—低模温　2—高模温 在 20℃，相对湿度 75% 条件下放置 7 天

从图 17-7 可见，低模温对注塑的聚酰胺 -6 制品，在注塑周期结束后，密度会逐渐发生变化，且随放置时间的延长，其密度值可高于高模温注塑制品的密度，这是因为聚酰胺 -6 在完全非晶态比部分晶态更容易结晶的缘故。

表 17-7 进一步说明了模温对聚酰胺力学性能的影响。

表 17-7　模温对聚酰胺力学性能的影响

品　　种	模温/℃	弹性模量/MPa	抗拉强度极限/MPa	断裂伸长率（%）	硬度/MPa
聚酰胺 -6	20	2450	70	100	96
	120	2550	80	60	100

（续）

品　　种	模温/℃	弹性模量/MPa	抗拉强度极限/MPa	断裂伸长率（%）	硬度/MPa
聚酰胺－11	20	1400	40	200	52
	120	1500	50	150	60
聚酰胺－66	20	2200	—	—	100
	120	2850	82	50	102
聚酰胺－610	20	1900	—	—	70
	120	2700	65	70	90

当制件厚度偏大的，内外冷却速度应尽可能一致，防止因内外温差造成内应力及其他缺陷，模具温度也应当高一些。成型内应力的形成基本上是由于冷却时不同的热收缩率造成的。当制品成型后，它的冷却是由表面逐渐向内部延伸的，表面首先收缩硬化，然后渐至内部，在这个过程中因收缩快慢之差而产生内应力。当塑件内的残余内应力高于树脂的弹性极限，或在一定的化学环境的侵蚀下时，塑件表面就会产生裂纹。例如聚酰胺－1010 制件壁厚与模温的关系见表 17-8。

表 17-8　聚酰胺－1010 制件壁厚与模温的关系

壁厚/mm	模温/℃
<3	20～40
3～6	40～60
6～9	60～90
>10	100

熔体粘度较低的无定形塑料，成型较容易，为防止脱模变形，提高生产效率，模具一般都选择低模温。一些结晶型塑料玻璃化温度较低，为防止出现后期结晶过程，从而使制品产生后收缩及性能的变化、如聚烯烃一般也选择低模温。而一些熔体粘度较高、结晶型的工程塑料，则采用高模温。模具都需要加热，一些塑料模温参考值见表 17-9。

表 17-9　塑料模具温度参考值

塑 料 名 称	模具温度/℃	塑 料 名 称	模具温度/℃
ABS	60～70	聚酰胺－6	110
聚碳酸酯	90～110	聚酰胺－66	120
聚甲醛	90～120	聚酰胺－1010	110
聚砜	130～150	聚对苯二甲酸丁二醇酯	70～80
聚苯醚	110～130	聚甲基丙烯酸	40～65
聚三氟氯乙烯	110～130		

模具温度的选择对制品性能有很大影响，适当提高模具温度可增加流动长度，提高制品表面粗糙度、密度结晶度，减小内应力和充模压力。但是由于冷却时间延长，生产效率降低，制品的收缩增大，如图 17-8 所示。

4. 油温

液压系统压力油温度，在注塑工艺参数上起着重要的影响，油温升高粘度变小，增加了油的泄漏量，导致液压系统压力和流量的波动，这样注塑压力和注塑速率也会不稳定，影响产品质量。所以，在调整注塑工艺参数时，应注意油温的变化，对油冷却器的冷却水进行调节，油温应控制在 55℃以下为宜。

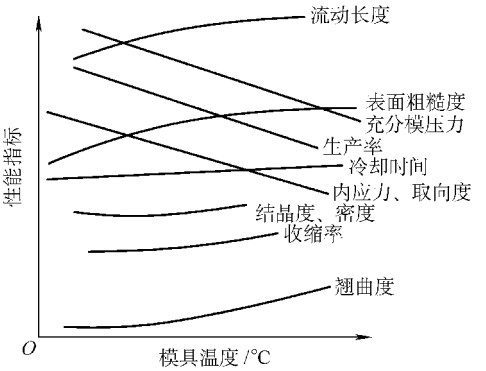


图 17-8　模具温度与制品性能的关系

17.2.2　注塑压力

1. 塑化压力（背压）

螺杆头部熔料在螺杆转动后退时所受到的压力称作塑化压力，亦称背压，其大小可以通过液压系统中的溢流阀来调节。预塑时，只有螺杆头部的熔体压力克服了螺杆后退时的系统阻力之后，螺杆才能后退。在此系统阻力中，除了螺杆和机筒的阻力之外，还有注塑液压缸的回泄阻力，因此可用调节器油阻力来达到对背压的控制。

注塑机机筒塑化量同挤出机挤出量一样，等于正流量减去压力流量和漏流量。

注塑机机筒塑化量的计算公式为

$$Q = Q_D - Q_P - Q_L \tag{17-2}$$

式中　Q——注塑机机筒塑化量；

Q_D——正流；

Q_P——压力流；

Q_L——漏流。

背压提高必然使压力流（Q_p）、漏流（Q_L）增加，有助于螺槽中物料的密实，排除物料的气体，螺杆退回速度减慢，延长了物料在螺杆中的热历程，塑化质量也得到改善。

从注塑机机筒塑化量的计算公式中可知，提高背压降低了熔体输送能力，减小了塑化量，而且增加了功率消耗。过高背压会使剪切热过高或剪切应力太大，使塑料材料发生降解而严重影响制品的质量，因此背压是注塑机控制质量的重要参数之一。

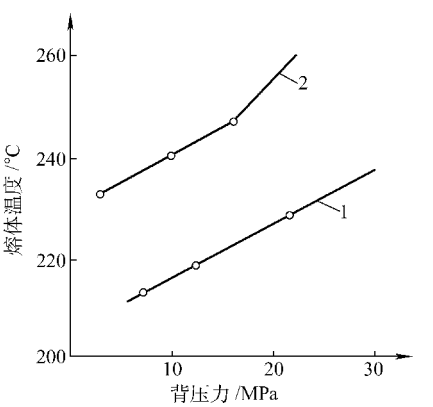


图 17-9　背压对聚苯乙烯熔体温度的影响

背压对熔体温度的影响是非常明显的，如图 17-9所示。曲线 1 为聚苯乙烯在机筒温度 150 ~ 220℃，螺杆直径 60mm，预塑行程 85mm。螺杆转速为 120r/min；而曲线 2 为聚苯乙烯在机筒温度 150 ~ 220℃，螺杆直径 45mm，预塑行程 85mm，螺杆转速为 310r/min 下的熔体温度与背压之间的关系。曲线 2 螺杆转速高、螺杆直径小，温度更高但是它的塑化能力较低，成型周期延长，这有可能导致塑料材料的降解，尤其是浅槽型螺杆会更明显。

注塑热敏性材料，如聚氯乙烯、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等时，背压提高，熔体温度升

高，制品表面质量较好，但有可能引起制品变色、性能变劣、造成降解。注塑熔体粘度较高的塑料材料，如聚碳酸酯、聚砜、聚苯醚等时，背压、螺杆转速太高，易引起动力过载。注塑熔体粘度特别低的塑料，如聚酰胺等时，背压太高，一方面易流涎，另一方面塑化能力大大下降。以上情况背压选择都不宜太高。

一些热稳定性比较好、熔体粘度适中的塑料，如聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯等，背压可选择稍高一些。通合情况下，背压一般不超过 2MPa 为宜。

背压高低还与喷嘴种类、加料方式有关，选用直通式喷嘴或后加料方式，背压应低，防止因背压提高而造成流涎。自锁式喷嘴或前加料、固定加料方式，背压可稍稍提高。

2. 注塑压力和保压压力

注塑压力是柱塞或者螺杆顶部对塑料所施的压力，用 MPa 表示。注塑压力用下式表示（该式适用于单缸注塑）：

$$P = \left(\frac{D_0}{D}\right)^2 P_0 \tag{17-3}$$

式中 P_0——液压缸油压（MPa）；

D_0——液压缸内径（cm）；

D——柱塞或螺杆直径（cm）。

注塑压力的主要作用是：克服塑料熔体从机筒向型腔的流动阻力；给予熔体一定的充模速率。这些作用不仅与制品的质量、产量有密切的关系，而且还受塑料品种、注塑机类型、模具结构及其他工艺条件的影响。

在注塑时，注塑压力必须克服熔体流经喷嘴、流道、浇口及型腔的压力损失，熔体才能充满模腔。总体力损失包括两部分：一部分是动压损失；另一部分是静压损失。

动压损失主要发生在注塑流动期间，与熔体温度及流率成正比，也与各段长度、断面尺寸及材料流变性质有关。各段静压力损失是指注塑和保压流动之后的压力损失，它与熔体的温度、模腔温度和喷嘴压力有关。

表 17-10 列出的数据是聚苯乙烯，熔体温度 232℃，模具温度 16℃ 的不同流道截面的动、静压力损失。

表 17-10 聚苯乙烯不同流道的动、静压力损失 （单位：Pa）

截面 / 压力损失值	0.81mm		6.45mm	
	动压力损失	静压力损失	动压力损失	静压力损失
流道损失	238	119	287	119
浇口损失	413	230	176	94
模型损失	49	308	49	28
总损失	700	657	511	237

从表 17-10 看出流道截面积大时，动、静压力损失较小。从克服流动阻力分析，如果各项条件都相同的情况下，第一方面是柱塞式注塑压力比螺杆式要大，其原因是柱塞式注塑机机筒内压力损失大。第二方面是塑料的摩擦系数和熔体粘度，润滑性较小的物料摩擦系数大，大分子中分子间作用力大的熔体粘度高，这时流动阻力也较大，也需要较高的注塑

压力。

注塑压力在一定程度上决定充模速率，并影响产品的质量。在充模阶段流动阻力较大，注塑压力较低时，塑料熔体呈铺展流动，这时浇口较大，浇口附近模腔温度偏低，流速平稳、缓慢；当注塑压力较高而浇口偏小时，熔体为液状流动，这样易将空气裹入制品中形成气泡、银纹，严重时会灼伤制品。

充模阶段注塑压力与制品性能的关系如图 17-10 所示。

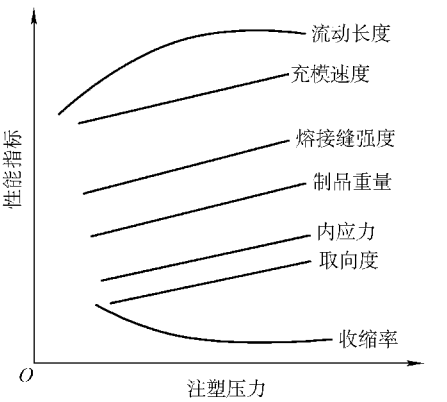


图 17-10　注塑压力与制品性能的关系

充模阶段适当提高注塑压力，可改善熔体流动性，流动长度提高，充模速度提高，制品熔接痕强度增加，密度增加，收缩率下降。但是制品易单向取向，内应力增加，因此当注塑压力较高时，制品应当进行热处理。

在实际生产中，当制件流动长度不够时，应提高注塑压力或者提高机筒温度予以调整。但是厚壁制件和平直浇口，注塑速率可低一些。不同塑料品种，注塑压力对制件流动长度的影响是不相同的，凡对剪切速率更敏感的塑料，流动长度对注塑压力更敏感，如图 17-11 所示。

保压压力是在模腔充满后对模内熔料压实、补缩，如果保压压力较高时，往往会使制品的收缩率减小，制品表面光洁、密度增加、熔接痕强度提高、制品尺寸稳定。缺点是脱模时残余压力较大、成型周期延长。

以聚苯乙烯为例，保压压力、熔体温度与制品性能的关系，如图 17-12 所示。

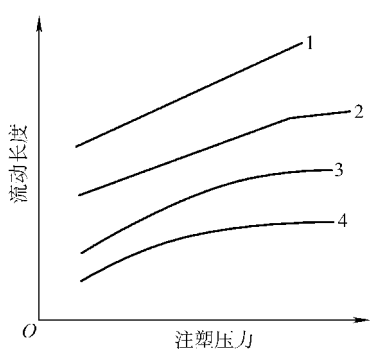


图 17-11　注塑压力与流动长度的关系

1—高密度聚乙烯　2—抗冲击聚苯乙烯

3—聚苯乙烯　4—定向聚合聚苯乙烯

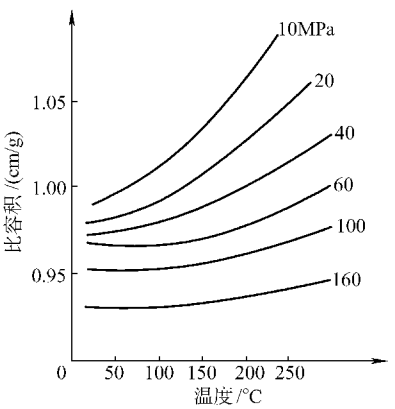


图 17-12　聚苯乙烯比热容、温度、保压压力的关系

从图 17-12 中看出：保压压力愈高，熔体温度愈高，制品的比容积愈小，密度愈大。

塑料品种不同、制件形状不一样，注塑压力的选择也不相同。一般情况下，注塑压力选择范围见表 17-11。

表 17-11　注塑压力选择范围参考表

制件形状要求	注塑压力/MPa	适用塑料品种
熔体粘度较低，形状精度一般，流动性好，形状简单的厚制品	70 ~ 100	聚乙烯、聚苯乙烯等
中等粘度，精度有要求，形状较复杂	100 ~ 140	聚丙烯、ABS、聚碳酸酯等
粘度高、薄壁长流程，精度高且形状复杂	140 ~ 180	聚砜、聚苯醚、聚甲基丙烯酸甲酯
优质、精密、微型	180 ~ 250	工程材料

3. 合模力

在注塑充模阶段和保压补缩阶段，模腔压力会产生使模具分开的胀模力。为了克服这种胀模作用，合模系统必须对模具施以闭紧力，此为合模力。合模力的调整将直接影响制品的表面质量和尺寸精度，合模力不足会导致模具开缝，发生溢料；合模力太大会使模具变形，制品不合要求，能量消耗也高。

注塑产品时所需要的合模力简称工艺合模力，它必须小于注塑机额定合模力，一般为 0.8 ~ 0.9 的额定合模力，以保证可靠的合模。工艺合模力可根据模腔压力和制品投影面积来确定。

$$F_h \geqslant \frac{PA}{1000} \tag{17-4}$$

式中　F_h——工艺合模力（kN）；

P——模腔平均压力（MPa）；

A——制品投影面积（cm^2）。

从上式可知，工艺合模力与模腔平均压力有关，而模腔压力可根据注塑制品来选择。例如：成型容易、壁厚均匀的日用品模腔压力为 25MPa，一般民用产品为 30MPa，工业制品为 35MPa，精度高、形状较复杂的工业制品为 40MPa，而模腔流长比小于 50 的为 20 ~ 30MPa、大于 50 的为 35 ~ 40MPa 较适宜。

4. 顶出力

当制品从模具上落下时，需要一定的外力来克服制品和模具的附着力。所以制品的顶出力、顶出速度和顶出行程要根据制品的结构、形状与尺寸，以及制品材料的性质及工艺条件来调整。顶出力太小制品无法脱下，顶出力太大、顶出速度太快会使制品产生翘曲变形，甚至断裂破坏。顶出力可由下式求出：

$$F_d = \frac{\Delta s \cdot E \cdot A \cdot f}{d\left(\frac{d}{2\delta} - \frac{d}{4\delta} \cdot \mu\right)} \tag{17-5}$$

式中　F_d——顶出力（kN）；

E——弹性模量（MPa）；

A——模具与制品分型边界的接触面积（cm^2）；

f——塑料材料与钢的摩擦系数；

d——阳模芯上制品周长当量直径（cm）；

δ——制品厚度（cm）；

μ——泊松比，一般取 $\mu = 0.45$；

Δs——横跨直径的热收缩量（cm）。

$$\Delta s = \alpha(T_g \cdot T_m)d \tag{17-6}$$

式中　α——热膨胀系数；

T_g——玻璃化温度（℃）；

T_m——模具温度（℃）。

17.2.3　注塑时间

注塑时间由两部分组成：充模时间（柱塞或螺杆前进时间）和保压时间（柱塞或螺杆停留在前进位置的时间）。

注塑时间中的充模时间短，注塑速率高，这时熔料密度较高、温差较小，熔料压力传递性好，对多型腔制品尺寸误差小，但是制品易产生飞边、毛刺及银纹、气泡。对熔体粘度高、玻璃化温度高、冷却速度快的大型、薄壁、精密制件以及加工温度范围窄的、玻璃纤维增强的低发泡制品应采用快速注塑，常用值为 15 ~ 20cm/s，其他情况采用 8 ~ 12cm/s。

保压时间在整个注塑时间内占的比例较大，一般约为 20 ~ 120s，特别厚的制品可高达 3 ~ 5min。在浇口处熔料冻结之前，保压时间的多少，对制品尺寸的准确性有影响，以聚苯乙烯为例，保压时间与制品尺寸的关系见表 17-12。

表 17-12　聚苯乙烯制件保压时间与制品尺寸的关系

编号 / 性能指标	1	2	3	4	5
保压时间/s	5	7	9	13	17
制品重量/g	142	144	146	150	153
制品宽度/mm	72.9	73	73.1	73.2	73.7
收缩率（%）	0.88	0.64	0.56	0.40	0.20
凝封压力/MPa	7.03	11.2	21.1	35.2	63.5
残余压力为零时间/s	9	11	15	28	开模时残余压力 14MPa
制品质量情况	表面有较大缩孔	缩孔变小	外观质量好	外观质量好	脱模困难

保压时间与料温、模温、主流道及浇口尺寸也有密切关系。如果工艺条件是正常的，浇注系统设计合理，通常以制品收缩率波动范围最小时为保压时间最佳值。保压时间短，制品密度低，尺寸偏小，易出现缩孔。保压时间长，制品内应力大，强度降低，脱模困难。表 17-12 中，保压时间超过 17s 时，浇口凝封压力高，模内残余压力过大，以致不能开模，这时开模力大大增加。两者关系见表 17-13。

表 17-13　模内残余压力与开模力的关系

模内残余压力/MPa	开模力/kN
10	9
14	25
21	54

17.2.4　成型周期

完成一次塑料注塑模塑过程所需要的时间称作成型周期。它实际包括以下几部分，见图17-13。

成型周期直接影响劳动生产率和设备利用率。因此，在生产中在保证质量的前提下，尽量缩短成型周期中各个有关时间。

整个成型周期中，以注塑和冷却时间最重要，对制品质量有决定性的影响。注塑时间中的充模时间直接反比于充模速率，已在前面讨论过。生产中，充模时间一般为3～5s。整个成型周期时间分布如图17-13所示。

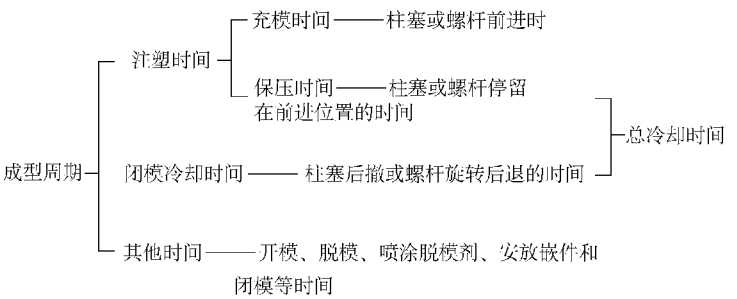


图17-13　成型周期时间分布

冷却时间主要取决于制品的厚度、塑料的热性能、结晶性质及模温。冷却时间的终点应以保证制品脱模时不变形为原则。通常情况冷却时间为30～120s。

一般来说，材料玻璃化温度高、结晶型塑料冷却时间较短。冷却时间太长不仅会降低生产率，而且对复杂制件会造成脱模困难，强行脱模会产生脱模应力，严重时损坏制品。

在保证产品质量的前提下，应寻求最短的冷却时间。最短冷却时间的表达式如下：

$$t_{\min}=\frac{\delta^2}{2\pi a}\ln\left(\frac{0.785(T_h-T_M)}{T_M-T_Q}\right) \tag{17-7}$$

式中　$t_{\min}$——最短冷却时间（s）；

δ——制品厚度（cm）；

a——塑料热扩散系数（cm^2/s）；

T_h——熔体充模温度（℃）；

T_M——模具温度（℃）；

T_Q——模腔表面湿度及制品脱模时的温度（℃）。

在整个循环周期中，温度条件影响十分显著。

17.3　注塑成型制品的成型收缩

塑料熔体在高温高压下射入模腔，并在高压下冷凝成型，其所得的塑件尺寸一般要小于模腔尺寸，这种体积变小的现象即称成型收缩。

17.3.1　产生成型收缩的原因

（1）塑料的热胀冷缩　热胀冷缩是物质的通性，在注塑成型时，需要将塑料原料加热熔融成熔体，这种熔体高达200～300℃，其体积处于最大值，在它进入模腔冷却脱模后，

再冷却至室温，其温度降低很多，体积也要发生收缩。

（2）化学结构的变化　有些塑料在成型过程中不但发生物理变化，还要发生化学变化，如热固性塑料在成型过程中，聚合物分子由线形结构变为体形结构，而体形结构的体积质量比线形结构的体积质量大，因此其总体积缩小，这样也就产生了成型收缩现象。

（3）残余应力发生变化　熔体注塑入模后，由于受到成型压力、剪切应力、密度不匀、各向异性、塑化不匀、模温不匀及顶出时受力不匀等诸多因素的影响，引起一系列应力作用，这种在应力状态下的成型会使制品中存在残余应力。脱模后，在自然状态下应力会趋于平衡，残余应力的变化或重新分布而使塑件发生再收缩，这就是所谓后收缩。

（4）塑料品种不同　每种塑料的收缩性均不相同，并随工艺等因素的不同而变化。通常，结晶型塑料，如 PA、PP、POM 等，比非结晶型塑料，如 PC、PS、PSF 表现出较大的脱模后收缩和较宽的收缩范围，使得即使采用同一模具，其成型收缩情况也不相同。

（5）塑件壁厚差异　厚壁塑件与薄壁塑件的收缩率有较大差异，即使同一个塑件，因各处的壁厚不同，在成型时的收缩率也有差异，这种壁厚差异也导致了收缩率的不同。

（6）热处理收缩　很多塑件在成型后需要进行热处理（退火处理），这也是消除内应力的一种方式，但往往经过这种热处理后，因为内应力的减小或变化，也将引起塑件的收缩。

17.3.2　成型收缩对质量的影响

在熔体进入模腔后，经冷却、凝固后的塑件要小于模腔大小，这种收缩将对产品质量带来较大影响，现分述如下。

1. 影响制品尺寸精度

模具的尺寸是根据制品尺寸制造的，如果尺寸缩小很多、变化很大，所得制品与理想几何尺寸难以吻合，也就很难达到使用要求。特别是对一些要求尺寸精确的精密机械零件，如齿轮、蜗轮等，它们要求的配合精度很高，注塑成型后即投入使用，无需再加工，若尺寸不合要求，便会给相关的传动带来困难，甚至难以偶合而无法使用。而对一些箱体类零件，如泵体、仪表壳等，上面还要安装许多其他零件，而由于制品的收缩，尺寸发生变化而无法按预定要求安装，以致成为废品。

2. 使塑件产生翘曲、裂纹

熔体是由喷嘴在高压下射入模腔的，熔体这种进入模腔的特点使得它在成型时各个方向的收缩不同，如沿料流方向的收缩大、强度高，而与料流垂直方向的收缩则小、强度低。另外，在成型时由于塑件各部位的密度及填料分布不均匀，使各部位的收缩也不均匀等，种种原因使得塑件的性能呈各向异性，同时，这种收缩的方向性也产生了塑件的各部位收缩不一致，这种不均匀收缩将给塑件带来较大的质量问题，如翘曲变形，甚至产生裂纹等缺陷。出现这种质量缺陷的塑件就很难正常使用了。

由上述可见，塑料的收缩，特别是不均匀收缩，对塑件的质量影响极大，也是在注塑成型中应重点关注的。

17.3.3　减小成型收缩的途径

塑件的成型收缩对产品质量、模具的设计均有较大影响，为此，应当尽力减小成型收

缩，一般可以从以下几方面入手。

（1）控制保压压力　熔体是在100MPa以上的高压下进入模腔并保压的，这种高压使熔体的密度增大，有助于减小成型收缩，不管是结晶型塑料还是非结晶型塑料，它们的收缩率均会大幅度下降。由此可见，提高保压压力有助于减小成型收缩。

（2）控制模具温度　高温熔体进入模腔后，接触到低温模具而冷却、凝固成型，模具温度越低，模具型腔腔壁的熔体冷却凝固的速度越快，腔壁的凝固层将迅速变厚，制品也就迅速凝固成型，而这时塑件的成型收缩也减小。为此，应采用较低的模具温度。

（3）控制浇口截面积　浇口截面积越大，越有利于提高模腔压力，并使浇口的凝封时间延长，这样，有利于更多的熔体进入模腔，以补充因熔体冷却而缩小的体积，因而制品的密度也增大，成型收缩也随之减小。

（4）控制塑件壁厚　塑件壁厚大小对成型收缩有一定影响，通常，除少数几种塑料，如ABS、PC等外，其余塑料的收缩率均随壁厚的增加而增加，对此，若要减小成型收缩，需适当减小壁厚，并要缩小厚薄差异。

17.3.4　成型收缩率的计算

塑料熔体通常是在高温高压下模塑成型的，当冷却到室温时，它会依据热胀冷缩的原理进行收缩，这种收缩对制品的最后尺寸会带来重大影响。通常用收缩率来表示塑料收缩性的大小。成型收缩率主要有两种：线性收缩率和体积收缩率。

1. 塑料的线性收缩率 S_L

线性收缩率是指某一线性方向的收缩率，又叫计算收缩率，也是一般资料中给出的收缩率。

$$S_L = \frac{L_0 - L}{L_0} \times 100\% \tag{17-8}$$

式中　L_0 ——室温下模具的直线尺寸（mm）；

L ——室温下塑件的直线尺寸（mm）。

各种塑料的收缩率是不同的，即便是同一品种的塑料，由于成型工艺、模具结构、塑件形状等诸多不同，其收缩率也不恒定，而有一定波动范围，常用的塑料线性收缩率如表17-14所示。

表17-14　常用塑料线性收缩率

塑料名称	收缩率（%）	塑料名称	收缩率（%）	塑料名称	收缩率（%）
LDPE	1.5~3.5	PA66	1.0~2.5	PC	0.5~0.7
HDPE	1.5~3.0	PA9	1.2~2.5	FRPC	0.1~0.3
PP	1.0~3.0	PA1010	0.5~4.0	PET	1.8
FRPP	0.4~0.8	PA11	1.0~2.5	FRPET	0.2~1.0
PS	0.5~0.8	PA12	0.8~2.0	PBT	0.4~0.5
GPS	0.2~0.8	硬PVC	0.2~0.4	ABS	0.4~0.7
HIPS	0.3~0.6	半硬PVC	0.5~2.5	抗冲击ABS	0.5~0.7
SAN	0.2~0.6	软PVC	1.5~3.0	耐热ABS	0.4~0.5

（续）

塑料名称	收缩率（%）	塑料名称	收缩率（%）	塑料名称	收缩率（%）
ACS	0.1 ~ 0.4	POM	2.0 ~ 3.5	FRABS	0.1 ~ 0.2
AS	0.4 ~ 0.8	PPO	0.7 ~ 1.0	CPT	0.4 ~ 0.8
PVDC	0.5 ~ 2.5	PPS	1.0	PSU	0.8
PMMA	0.2 ~ 0.9	PAS	0.5 ~ 0.8	FRPSU	0.4 ~ 0.7
PA6	0.7 ~ 1.5	PES	0.8	FRPBT	0.2

在测定成型收缩率时，要在制品充分冷却之后进行尺寸测定，最少经过 2 ~ 3h 以上，一般是在成型后 24h 左右测定较好。

2. 塑料的体积收缩率

塑件均是一种体形构件，在收缩时它的三个方向均会产生收缩，因此用体积收缩率来表达要更为准确，而体积收缩率可用线性收缩率换算而得。

$$S_L = (1 + S_L)^{1/3} - 1 \tag{17-9}$$

经简化后可得：

$$S_V = 3S_L \tag{17-10}$$

此公式准确度较高，可用于工程计算中。

17.4　常用塑料的注塑成型工艺

17.4.1　聚乙烯（PE）

聚乙烯是由乙烯直接聚合而得的聚合物，它是 1939 年实现工业化开始生产的。

1. 聚乙烯的分类

根据生产时聚合压力的不同，可分为以下三类：

（1）低密度聚乙烯（LDPE）　这是在 100 ~ 350MPa 的高压和 160 ~ 300℃的温度下聚合而成的，密度为 0.91 ~ 0.93g/cm^3，相对分子质量较小，大分链中含有若干短支链，结晶度 55% ~ 65%。

（2）中密度聚乙烯（MDPE）　这是在 1.4 ~ 3.5MPa 的压力和 130 ~ 160℃的温度下聚合而成的。密度为 0.93 ~ 0.94g/cm^3，结晶度 95% ~ 97%。

（3）高密度聚乙烯（HDPE）　这是在 0.1 ~ 0.5MPa 的压力和 60 ~ 70℃的温度下聚合而成的。密度为 0.94 ~ 0.97g/cm^3，结晶度 85% ~ 90%。

2. 聚乙烯的结构

聚乙烯的结构中含有柔性链，且呈线型长链，因而聚乙烯是柔性颇优的热塑性聚合物。按它的化学组成和分子链结构，实质上是高分子量的烷属链烃，无极性基团存在。因此分子链间的引力较小。聚乙烯分子链的空间排列呈平面锯齿形，由于分子链的规整和具有良好的柔性，使分子链可以反复折叠并整齐堆砌排列形成结晶。

3. 聚乙烯的性能

聚乙烯为白色蜡状固体，微显角质状，无臭、无味、无毒，除薄膜外，其他制品皆不透

明。这是因为它的结晶度较高之故，聚乙烯的密度对其力学性能有较大影响，密度增大，除韧性以外的力学性能均提高，硬度和刚度也增大。因此，LDPE 的韧性良好，但其余力学性能较低。一般认为，聚乙烯是一种典型软而韧的聚合物。

聚乙烯的热稳定性较好。在惰性气体中，其热分解温度超过 300℃，但其热变形温度却较低，聚乙烯的比热容和热导率都较大，绝热性较差。它有较大的膨胀系数，其塑件尺寸随温度的变化而变化较大。

聚乙烯本身无极性，因此它有优异的介电和电绝缘性，其吸湿性小于 0.01%，使得它的电性能不受环境温度而改变。聚乙烯的介电常数和介质损耗因数均很小，体积电阻率高，其介电性能不受电场频率的影响。

聚乙烯在化学性质上有较明显的惰性，在室温下不受非氧化酸、胺类、盐类等的影响，也不受稀硫酸、稀硝酸的影响，但受浓硝酸、浓硫酸、硫酸与铬酸混合酸的氧化，使力学性能、电性能劣化。卤素对聚乙烯可产生取代反应。聚乙烯是一种非极性结晶型聚合物，内聚能密度较低。由于聚乙烯为非极性的结晶结构，因此在室温下没有任何溶剂可使它溶解。聚乙烯的表面粘附性很差，因此聚乙烯与其他塑件间的胶接较困难。

聚乙烯在受日光照射时易于变脆、变色、降解和表面氧化，从而降低力学性能。聚乙烯在许多活性物质，如酯类、金属皂类、硫化或磺化醇类、有机硅液体等的作用下，会产生应力开裂现象，这是聚烯烃类塑料，特别是聚乙烯的特有现象。而 LDPE 耐应力开裂性比 HDPE 要好些。

聚乙烯极容易燃烧，是最易燃烧的塑料品种之一。它的耐寒性优良，脆化温度为 -70 ~ -50℃。

聚乙烯的主要不足是收缩率及其变化范围均很大，且其熔体也易于氧化。

4. 聚乙烯的成型工艺

1）一般情况下低密度聚乙烯成型时料筒温度在 160 ~ 220℃之间，高密度聚乙烯在 108 ~ 240℃之间。

2）聚乙烯熔体的流动性较好，一般注塑压力可在 60 ~ 80MPa 之间选择。

3）由于聚乙烯熔体在高剪切速率下存在熔体破裂的倾向，成型时宜选用中等注塑速度。

4）低密度聚乙烯成型时模具温度为 35 ~ 55℃，高密度聚乙烯为 60 ~ 70℃，模具温度的高低对聚乙烯制品的质量有较大影响。

5）聚乙烯成型时保压时间一般在 10 ~ 30s 之间，具体时间的选择取决于浇口、制品形状与壁厚。

5. 聚乙烯的应用

聚乙烯是产量最大、应用最广的塑料品种。它可以吹塑成各种容器；挤出各种型材、单丝；挤出或压延成各种薄膜。而在注塑成型时可以制成各种工业用品及日常用品，如玩具、文具、娱乐用品、瓶壳、桶、盆及茶盘等，也可制作自行车、汽车、仪器仪表中的某些零件。

6. 聚乙烯的改性

聚乙烯有许多优点，但也有易燃、耐候性差、承载能力小等缺点，为了克服这些缺点，可以对聚乙烯进行改性。改性的主要品种有线型低密聚乙烯（LLDPE）、氯化聚乙烯（PEC）、

交联聚乙烯、氯磺化聚乙烯等。

17.4.2　聚丙烯（PP）

聚丙烯是在 1957 年于之意大利首先投入工业生产的，是继聚丙烯后的又一个重要塑料品种。

1. 聚丙烯的结构

聚丙烯是线型链烃聚合物，聚丙烯的主链骨架碳原子上交替地连接着侧甲基，它使聚丙烯的分子链变得比聚乙烯分子链刚硬，也使分子链的规整性降低。由于侧甲基的位阻效应，聚丙烯分子链在空间不能像聚乙烯那样呈平面锯齿形，而是以三个单体单元为一个螺旋周期的螺旋形结构。与侧甲基连接的主链骨架碳原子是叔碳原子，它为不对称碳原子，可使聚丙烯产生空间异构现象而生成三种异构体：等规聚丙烯、间规聚丙烯、无规聚丙烯。工业上生产的聚丙烯是这三种异构体的混合物，内以等规聚丙烯为最多。聚合物中等规异构体的含量称等规度，它的大小影响着聚丙烯的一系列性能。

2. 聚丙烯的性能

聚丙烯为白色蜡状固体，密度为 0.90 ~ 0.91g/cm^3。聚丙烯在通用塑料中是密度最小的一种。比聚乙烯略显透明。聚丙烯的力学性能高于聚乙烯，但总的来说仍属偏低。如前所述，等规度对力学性能影响较大，等规度越大，聚丙烯的弹性模量、硬度、拉伸、弯曲、压缩等强度均提高，但韧性则下降。聚丙烯的韧性对温度和加载速率的依赖很大，提高加载速率，使韧性断裂向脆性断裂转变的温度上升。聚丙烯的抗弯曲疲劳性能优异，在常温下弯折 10 万次也不损坏。聚丙烯的硬度高于聚乙烯，使其表面光泽性好，耐磨性也十分优异。

聚丙烯有较好的耐热性，稍高于聚乙烯，它耐沸水、耐蒸汽性良好，在 135℃时蒸煮 1000h 也不破坏。无载时使用温度超过 120℃，轻载时可达 120℃，重载时为 100℃。聚丙烯的比热容、热导率皆小于聚乙烯，但绝热性优于聚乙烯。

聚丙烯属非极性聚合物，因此有优异的介电性和电绝缘性，电性能基本上不受环境湿度及电场频率的影响，在允许的工作范围内，温度升高会使电性能降低，它的耐电弧性较高。

聚丙烯的耐化学性良好，除强氧化剂对它有侵蚀作用外，其他试剂对它均无作用。聚丙烯在室温下不溶于任何溶剂，但可以在某些溶剂，如四氯化碳、三氯甲烷、二硫化碳、苯中溶胀，在温度升高时，可溶解于某些溶剂中。

聚丙烯对氧的作用较敏感，特别是在温度较高时。它耐紫外线能力很差，也易受高能辐射的破坏，聚丙烯在受到上述破坏时，它都会降解产生低分子物质。铜的存在会急剧加大聚丙烯的氧化降解速率，使其很快脆化，故称之为“铜害”。聚丙烯有较突出的耐应力开裂性。

聚丙烯极易燃烧，是最易燃烧的塑料品种之一，它的耐寒性差，耐候性也不好，高温则刚性不足。

3. 聚丙烯的成型工艺

1）在一般情况下聚丙烯的料筒温度在 200 ~ 270℃之间。

2）在聚丙烯成型时常选用较高的注塑压力，以便使其成型收缩有较大的改善。

3）模具温度的变化对聚丙烯制品的性能有较大影响，一般模具温度为 30 ~ 60℃。

4. 聚丙烯的应用

聚丙烯的应用范围很广。它可以制作如注射器、输液袋、输血工具等医疗器具；罩壳、手柄、手轮等轻载结构件；特别宜于制造反复受力的叶轮、阀门、活页、接头等零件；也可制作汽车方向盘、脚踏板、车厢、消声器、工具箱等机械零件；聚丙烯良好的电性能使之能制作许多电器零件；它优良的耐蚀性能使其能制作很多化工用零件，如管道、化工设备阀门等。聚丙烯还可制作一般家用器具，如门窗框架、折叠椅、盥洗室水槽等。

5. 聚丙烯的改性

由于聚丙烯的某些性能不够理想，可通过改性来提高韧性，改善耐寒性、耐候性、染色性，进一步提高力学性能和耐热性等。改性的方法有以下几种：与聚乙烯共混，以改善韧性；与乙丙橡胶共混，以改善韧性和耐寒性；与聚酰胺共混，可改善染色性，提高耐热性等。

17.4.3 聚苯乙烯（PS）

聚苯乙烯是苯乙烯的聚合物，是五大通用塑料之一，其聚合法有本体法、悬浮法、溶液法、乳液法等，聚苯乙烯的总产量约占第四位。

1. 聚苯乙烯的结构

聚苯乙烯可以看作是其分子链上交替地连接着侧苯基，它使得聚苯乙烯分子链有较大的位阻效应、分子链旋转困难，因而变得刚硬。使分子链中某些氢原子活化，而易于氧化降解。聚苯乙烯中以无规异构体为主，含有少量的间规异构体。

2. 聚苯乙烯的性能

聚苯乙烯为无色、无臭、无味的透明固体，密度为 1.04 ~ 1.06g/cm^3，有特殊光亮性，折射率较大，为 1.59 ~ 1.60，透光率与玻璃相当。在受到光照和长时间照射时，会出现混浊和发黄。聚苯乙烯的拉伸、弯曲等力学性能皆高于聚乙烯，但韧性较低，拉伸时无屈服现象。若在温度较低范围内，分子量增大可使强度提高，它在长期载荷作用下强度会明显降低，对聚苯乙烯塑体退火时可提高力学强度。

聚苯乙烯为无定型结构，超过玻璃化温度，约 95℃ 左右即开始软化，最高连续使用温度为 60 ~ 80℃，120℃ 成为熔体，180℃ 开始流动，其热稳定性较好，超过 300℃ 才开始分解。聚苯乙烯的热导率较小，基本与温度无关，是较好的绝热保温材料。

聚苯乙烯为非极性聚合物，有优异的介电和电绝缘性能，主要电性能指标均较优。聚苯乙烯的吸湿性很小，故电性能不受环境湿度改变的影响。聚苯乙烯在超过 300℃ 时分解释放出单体苯乙烯，可防止表面碳化，故耐电弧性良好。

聚苯乙烯的化学稳定性较好，它不耐氧化酸，对一般的酸、碱、盐的耐蚀力较强。许多化学试剂对聚苯乙烯的作用具有协同效果，除脂肪烃不能使聚苯乙烯溶解外，芳烃（如甲苯、乙苯）、氯仿、酮类、酯类都可使聚苯乙烯溶解。对塑件退火可减小溶剂对其的侵蚀。

聚苯乙烯易燃烧，离火后仍继续燃烧，火焰呈橙黄色，并有浓黑烟碳束，燃烧时软化、起泡并发出特殊的苯乙烯单体味。聚苯乙烯有较优的抗辐射性，可耐较大的辐射剂量，但受辐射后会使材料进一步变脆。

3. 聚苯乙烯成型工艺

1）料筒温度范围较宽，约为 180 ~ 215℃。采用较高的成型温度有利于提高制品的透明度。

2）注塑压力可在 60 ~ 150MPa 较宽的范围内选取。

3）为了提高制品的透明度，减小制品的内应力，应尽可能采用较低的注塑速度。

4）模温约在 50 ~ 60℃。

4. 聚苯乙烯的用途

聚苯乙烯良好的透光性使它被广泛地应用于光学工业中，如光学仪器、光学玻璃等；也可制作透明或颜色鲜艳的照明器具、灯罩等；它优异的介电性能，可制作许多在高频环境中工作的电器元件和仪表等。聚苯乙烯还可制作日常用品及建筑用绝热构件。

5. 聚苯乙烯的改性

聚苯乙烯的不足是韧性差、不耐热、耐化学试剂和耐溶剂性欠佳，而改性聚苯乙烯即可克服这些缺点。常用的改性聚苯乙烯有抗冲击聚苯乙烯（HIPS）、苯乙烯一丙烯腈共聚物（AS）、苯乙烯一甲基丙烯酸共聚物（MS）。

17.4.4　ABS（丙烯腈、丁二烯、苯乙烯共聚物）

ABS 是一种三元共聚物，是对聚苯乙烯改性过程中发现的一种新型塑料。可通过共混法和共聚法来制得。

1. ABS 的结构

ABS 由三种单体聚合而成，产生了具有两相的三元共聚物，一个是苯乙烯、丙烯腈的连续相，另一个是聚丁二烯橡胶分散相。ABS 的特性主要取决于三种单体的组成比例，以及两相中的分子结构，这在产品设计上具有很大的灵活性，所得的 ABS 材料的性能也有所不同。

2. ABS 的性能

成粒状或粉状，密度为 1.02 ~ 1.08g/cm^3，无毒、无味，具有三种单体所赋予的优点，因此，具有良好的综合物理力学性能。它的力学性能优良，有较好的冲击韧度，比之聚苯乙烯可提高 3 ~ 5 倍，尽管冲击性能对缺口有敏感性，但缺口敏感性却小于其他许多塑料，包括聚碳酸酯和聚酰胺在内。ABS 的刚度、硬度、疲劳强度均很好。

ABS 的热变形温度为 85 ~ 110℃，明显高于聚苯乙烯，与 AS 相当，但最高连续使用温度并不高，一般为 60 ~ 75℃。ABS 有良好的耐寒性，共混型的脆化温度为 - 18℃，共聚型达 - 60℃。ABS 具有可燃性，引燃后可缓慢燃烧。

ABS 有良好的电性能，可用作一般要求的电绝缘材料。它耐候性较差，在紫外线或热的作用下易氧化降解，特别对于波长不足 350nm 的紫外光更敏感。ABS 老化后会使材料变脆。

ABS 有良好的化学稳定性，除了浓氧化性酸外，对其他酸、碱、盐类都比较稳定。长期接触醇类、烃类会使其缓慢溶胀，醛类、酮类、酯类、氯化烃等极性溶剂可使 ABS 溶解。与冰醋酸、植物油接触，易引起制品应力开裂。

ABS 易于着色，可得到色彩鲜艳的各色制品，它的表面可以电镀、喷漆、印刷、真空镀膜和绘画，因此美观好看。

3. ABS 的成型工艺

1）注塑温度在 160 ~ 320℃之间。

2）对于薄壁、长流程、小浇口制品，注塑压力可达 130 ~ 150MPa；而厚壁、大浇口制品只需 70 ~ 100MPa 即可。

3）为了获得内应力较小的制品，保压压力不宜过高（60 ~ 70MPa）。

4）注塑速度以中、低速为宜。

5）模具温度在60℃左右。

4. ABS 的应用

由于 ABS 具有优良的综合性能，因此用途十分广泛。它良好的力学性能使之能制作许多机械零件，如齿轮、轴承、叶轮、电机外壳、仪表壳及仪器箱等；也可制作汽车上的挡泥板、加热器、扶手等；还可制作电视机壳、电话机壳、录音机壳、洗衣机壳等家电零件，还在文体用品、玩具、乐器、邮箱及家具等方面获得了广泛应用。

17.4.5 聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）

PMMA 又叫有机玻璃，是聚丙烯酸类聚合物中最重要的一种。常用的聚合法有本体法、悬浮法、乳液法、溶液法 4 种。

1. PMMA 的结构

PMMA 是三种异构体的混合物，以间规异构体和无规异构体为主，仅含少量等规异构体，聚合物在宏观上属于无定形聚合物。

2. PMMA 的性能

PMMA 是刚性、硬质透明材料，密度为 1.19 ~ 1.22g/cm^3，平均相对分子质量为50 万 ~ 100 万。折射率较小，约为 1.49，它的最大特点是透明度高，透光率达 92%，是塑料中透光性最好的一种，紫外线透过率也达 75%。

PMMA 具有良好的综合力学性能，在通用塑料中居前列，拉伸、弯曲、压缩等强度均高于聚烯烃，也高于聚苯乙烯、聚氯乙烯等，但冲击韧度较差，属于硬而脆的材料。它有缺口敏感性，在应力作用下易开裂，但断塑时的裂口不如聚苯乙烯那样尖锐。它的表面硬度低，不耐磨，易被擦毛。

PMMA 的耐热性不高，玻璃化温度为 104℃，熔融温度为 160 ~ 200℃，热分解温度为 270℃。它的热导率和比热容在塑料中属于中等。它易燃烧，燃烧时火焰呈蓝色，顶端白色，同时发出强烈的花果臭和腐烂的蔬菜臭味。

PMMA 有良好的介电和绝缘性能，但却不及聚乙烯和聚苯乙烯，它有优异的抗电弧性，在电弧作用下，其表面不会产生碳化的导电通路和电弧轨迹现象。PMMA 耐大气、耐老化性能优异，其试样经 4 年自然老化试验，物理力学性能变化不大。

PMMA 的化学稳定性较好，可耐稀无机酸、碱类、盐类、油脂及脂肪烃，但不耐浓无机盐、热碱、酮类、氯代烃及芳烃等。它在醇类中会溶胀，并产生应力开裂。在许多氯代烃和芳烃中会溶解。它对臭氧和二氧化硫气体具有良好的抵抗能力。

3. PMMA 的应用

PMMA 以其极好的透光率而得到广泛应用，可制作各种光学玻璃，如透镜、棱镜、反射镜、照相机镜头等；可制作灯具、照明器材、仪器仪表盘、刻度盘等；也可制作飞机座舱玻璃、防弹玻璃、光导纤维等；可制作各种医用、军用、建筑用玻璃等；在加入荧光粉或珍珠粉后可制成鲜艳、美观的制品而广泛用于广告装潢、工艺品制作中。

17.4.6 聚氯乙烯（PVC）

聚氯乙烯是产量仅次于聚乙烯的热塑性塑料，是最早实现工业化生产的塑料品种之一。

主要生产方法有 4 种：悬浮聚合、乳液聚合、本体聚合和溶液聚合。其中以悬浮法和乳液法用得最多。

1. 聚氯乙烯的结构

聚氯乙烯是以聚乙烯为原料制成的，它可看作是聚乙烯分子链上每个单体单元中的一个氢原子交替地被氯原子取代的结果。而电负性较强的氯原子的进入对聚合物的性能有较大影响，较大氯原子的介入，增大了分子间的吸引力，有较明显的空间位阻效应，使材料的刚度和硬度增大，力学性能提高，但韧性和耐寒性下降。聚氯乙烯中存在有两种异构体：间规异构体和无规异构体。聚氯乙烯的 Cl – C 键使其表现为极性材料，它基本上属于无定形聚合物。

2. 聚氯乙烯的性能

聚氯乙烯为白色或淡黄色粉末状，密度为 1.35 ~ 1.45g/cm^3，相对分子质量为 2 万 ~ 10 万，呈线型无定形结构。由于氯原子的存在增大了分子链间的作用力，因此，聚氯乙烯比聚乙烯具有较高的强度、刚度、硬度和较低的韧性，断裂伸长率和冲击强度均下降，与聚乙烯相比，聚氯乙烯的抗拉强度可提高到 2 倍以上，断裂伸长率下降较多。

聚氯乙烯是热稳定性特别差的塑料之一，软化温度接近于分解温度，因此在加工时要加入各种稳定剂。它在 80℃左右开始软化，150 ~ 170℃时呈熔融态。190℃以上分解并放出有毒的氯化氢，在富氧情况下会加剧分解，最高连续使用温度在 65 ~ 80℃之间。

聚氯乙烯的介电和电绝缘性较聚乙烯有较明显的降低，室温时，聚氯乙烯的电性能尚好，但随着温度的升高，电性能下降。在电场中偶极子会取向，其取向与电场频率有关，因此，聚氯乙烯的电性能会受到电场频率的影响。

聚氯乙烯的化学稳定性较优异，除浓硝酸、浓硫酸外，其他的酸、碱、盐、过氧化物等对它均无侵蚀作用。聚氯乙烯为无定型极性聚合物，对汽油、矿物油、烃类等非极性溶剂和醇类很稳定，但可被某些烃和强极性溶剂，如酮类、酯类等溶胀，它易溶于环已酮和四氢呋喃中。

聚氯乙烯对光及机械作用都比较敏感，在它们的作用下易分解并脱出氯化氢，故稳定性较差。聚氯乙烯中由于含有较多氯原子，赋予聚氯乙烯良好的阻燃性，即使着火，也可自熄。

3. 聚氯乙烯的应用

聚氯乙烯因有良好的耐蚀性而广泛用于化工设备中，可制作容器、管道及零部件；它优良的阻燃性可制作防火或阻火的建筑材料；还可制作耐油、耐蚀、耐老化的电缆包皮和绝缘层；软聚氯乙烯可制作皮革，有很好的耐折性和耐蚀性，被大量用于制作服装、箱包等，软聚氯乙烯还可制作软管等。

4. 聚氯乙烯的改性

聚氯乙烯通过改性，可克服其软化点低、耐热性和耐寒性差、韧性欠佳，特别是热稳定性差的不足。常用的方法有：一种是氯化改性，系由聚氯乙烯树脂经氯化后所得；另一种是共聚改性，即将氯乙烯与某些单体，如丙烯、丙烯腈、乙酸乙烯、丙烯酸酯、偏二氯乙烯等共聚，从而得到各具特色的改性聚氯乙烯。

17.4.7　聚酰胺（PA）

聚酰胺，又叫尼龙，是大分子链中含酰胺基团的高分子聚合物制成塑料的总称。它是品

种颇多、应用最广泛的工程塑料。聚酰胺按其主链组成有多种：脂肪族 PA、芳香族 PA、透明 PA 等。

1. 聚酰胺的结构

聚酰胺可由二元胺和二元酸通过缩聚反应或内酰胺的分子通过自聚而成。聚酰胺的命名由二元胺与二元酸中的碳原子数多少来决定。常用尼龙制品有 PA6、PA66、PA610、PA1010 等。虽种类不同，但结构却是相似的。聚酰胺的分子链都是线型结构，分子链上有规律地交替排列着较强的极性酰胺基，并很规整，有较强的结晶能力。极性的酰胺基可使分子链间形成氢键，从而增大了分子键间的作用力。由于不同品种的聚酰胺，其单体所含碳原子数不同，使分子链间所能形成的氢键比例数及氢键沿分子键分布的疏密程序不同，影响到聚酰胺的各种性能也有所差异。

2. 聚酰胺的性能

聚酰胺为乳白色角质状固体，密度为 1.00 ~ 1.01g/cm^3，平均相对分子质量为 2 万 ~ 7 万，结晶度为 40% ~ 60%。聚酰胺是塑料中吸湿性最强的品种之一，品种不同，吸水率亦不同，如 PA6 的吸水率最大，24h 吸水率为是 2%，PA12 为 0.25%。聚酰胺是典型的硬且韧聚合物，其力学性能优异，抗拉强度和抗冲击强度明显优于一般塑料，且有较高的耐弯曲疲劳强度。聚酰胺有良好的耐磨性能，是优良的耐磨材料之一。结晶度越高，硬度越大，耐磨性越好。它的摩擦因数小，并有良好的自润滑性能。

聚酰胺的耐热性良好，熔融温度较窄，有较明显的熔点，熔融温度高于聚乙烯。聚酰胺的热变形温度和最高连续使用温度随品种不同而异，但均属中等水平。它的热导率和比热容属于中等或偏上水平。聚酰胺的耐寒性优良。

聚酰胺分子链中含有极性酰胺基，且吸湿性强，因此对电性能不利，即使是在常温干燥环境中，其电性能也明显低于聚乙烯、聚苯乙烯等塑料，随着湿度增加，温度升高，电场频率加大，其电性能均会下降。

聚酰胺有良好的化学稳定性，对碱类和绝大多数盐类的作用稳定。氧化剂、酸类，特别是强酸对聚酰胺有侵蚀作用，聚酰胺中的酰胺基分布密度越大，耐酸性越差。聚酰胺有良好的耐溶剂性，对一般的酯类、芳烃、烃类、卤代烃等的作用均很稳定，特别是对于各种矿物油有优异的抵抗性，只有少数溶剂，如甲酸、甲酯、冰醋酸等才能使聚酰胺溶解。但醇类和水可使其溶胀。

聚酰胺的耐候性较差，在室外性能会明显下降，若温度超过 60℃，性能下降更快，主要表现是发暗、变脆，力学性能大为下降。聚酰胺有一定的阻燃性，在火焰中可以燃烧，但多数品种有自熄性，即使燃烧，燃烧速度也很慢。

3. 聚酰胺的成型工艺

1）注塑温度必须高于熔点，如 PA6 的最低注塑温度为 225℃，PA66 为 260℃。由于尼龙的热稳定性较差，注塑温度也不宜过高。

2）尼龙大多数品种的注塑压力均不超过 120MPa，一般为 60 ~ 100MPa。

3）对尼龙而言，注塑速度以较快为宜，以防止制品出现波纹、充模不足等弊病。

4）模具温度的选择应根据制品的性能要求以及制品壁厚情况来确定，表 17-15、表 17-16分别示出制品壁厚与模具温度的关系，以及模具温度与成型收缩率的关系。

表 17-15　制品壁厚与模具温度的关系

制品壁厚/mm	模具温度/℃	制品壁厚/mm	模具温度/℃
<3	20 ~ 40	6 ~ 10	60 ~ 90
3 ~ 6	40 ~ 60	>10	>100

表 17-16　模具温度与成型收缩率的关系

模具温度/℃	PA6(%)	PA66(%)	PA610(%)
30	1.9	2.7	2.5
60	1.9	3.2	2.7
90	2.2	3.2	2.7

4. 聚酰胺的应用

聚酰胺是一种综合性能特别是力学性能优异的工程塑料，在国民生产的众多领域，如汽车制造、机械设备生产、电子电器行业及化工设备生产等方面，都得到了较好的应用。

（1）聚酰胺在汽车制造中的应用　近年来，由于汽车轻量化和降低成本的要求，工程塑料在汽车制造业中的应用越来越广泛。车用零件要求能够耐高低温、耐油、耐化学药品和耐候，而聚酰胺能够满足上述性能要求，因而得到广泛应用。聚酰胺主要用来代替原来的金属材料，大幅度降低产品的质量，缩短加工周期，目前常用来生产散热箱器、带轮和油泵齿轮等。

（2）聚酰胺在机械设备生产中的使用　由于聚酰胺具有强韧、耐磨、自润滑、高刚性和耐热等一系列优良性能，因而被广泛地用于机械零件的制造，如齿轮、涡轮、密封件和轴承等。通用机械制造聚酰胺可以代替金属材料制造各种类型的机械零件，其优点在于提高耐磨性而增加寿命、降低成本、减轻质量。轴承聚酰胺作为轴承材料，广泛应用于汽车、船舶、冶金、纺织及造纸等领域。聚酰胺轴承减轻了制品质量，并且耐磨性和可靠性好，同时取代了传统工艺，大大节省了工时。轮用注塑或浇注成型的聚酰胺齿轮，不仅具有生产工艺和设备简单、性能可靠、耐磨等优点，而且由于聚酰胺齿轮的弹性能补偿加工和装配误差，还可以相应地降低制造和装配的技术要求。

（3）聚酰胺在电子电器行业的使用　聚酰胺的电性能较好，可广泛用于通用电子电器零部件的制造，如线圈绕线器、接线柱、高压开关和电视机调谐元件等。

（4）聚酰胺在化工设备中的使用　聚酰胺具有较好的耐蚀性、耐油性和耐老化性，因而被大量地应用于化工设备的制造，如管道、过滤器、容器等。制品具有耐蚀性好、耐油性好、成本降低和质量减轻等优点。

（5）其他领域　聚酰胺由于具有多种优良性能，被应用在建筑、日用品、交通运输等领域。由于聚酰胺具有良好的力学性能和耐候性，因而被用于制造窗框冲撑挡、门滑轮、窗帘导轨滑轮；利用聚酰胺的耐磨性和自润滑性，还可以制造自动扶梯栏杆、自动门横杆以及升降机零件等。

17.4.8　聚甲醛（POM）

聚甲醛是继聚酰胺之后又一种综合性能优良的工程塑料，根据原料和聚合方法的不同，

聚甲醛又分均聚甲醛和共聚甲醛两类，目前使用较多的是共聚甲醛。

1. 聚甲醛的结构

聚甲醛是一种没有侧链的高密度、高结晶度的线型聚合物，它的分子链间距离小、密度大。聚甲醛分子链的柔顺性大，结构规整性高，因而结晶度高，结晶能力强。这是聚甲醛具有优良性能的主要原因。聚甲醛端基中含有半缩醛结构，是导致热稳定性差的主要原因。

2. 聚甲醛的性能

聚甲醛是一种白色或浅色的颗粒或粉末，表面光滑且有光泽和滑腻感，硬而致密，呈现出透明或不透明的特点。密度为 1.41 ~ 1.43g/cm^3，聚甲醛的突出优点是抗疲劳性好、耐磨性优异和蠕变值低。聚甲醛的疲劳强度随温度的升高而降低，有缺口时的疲劳强度大为降低，聚甲醛的摩擦因数小，仅 0.1 ~ 0.4，而且动、静摩擦因数几乎相等，加入聚四氟乙烯后摩擦性能更好。

聚甲醛为热效性塑料，热分解温度较低，为 235 ~ 240℃，最高连续使用温度不高，均聚聚甲醛为 85℃，共聚聚甲醛为 105℃，聚甲醛的热稳定性较好，热变形温度较高。聚甲醛具有较好的电性能，温度、湿度的变化对介电常数、介质损耗因素和体积电阻率的影响不大。均聚聚甲醛还有较好的耐电弧性。

聚甲醛是弱极性结晶型聚合物，内聚能密度高，溶解度参数大，因此在室温下有良好的耐溶剂性，即使是较高温度，对一般有机溶剂也相当耐蚀。但均聚聚甲醛只耐弱碱，共聚聚甲醛可耐强碱。聚甲醛不耐强酸和强氧化剂、酚类、有机卤化物、强极性有机溶剂。聚甲醛的吸水率低，在潮湿环境中仍能保持尺寸稳定性，长时间在热水中使用，力学性能也不降低。

聚甲醛的耐候性较差，在大气中、日光下都易使其性能下降、变色变脆，它的耐辐射性也不好，经高能射线照射后，会出现分子链断裂，力学性能下降。它易燃烧，且不能自熄。

3. 聚甲醛的应用

聚甲醛有优良的力学、机械、电气、耐蚀性能，广泛用于代替各种金属制作结构零部件、耐磨件及承受大负荷零件，如轴承、齿轮、凸轮、叶轮、泵体、拉链及滑轮等。

含油聚甲醛可使零件始终处于自润滑状态，因而广泛用于纺织、电影机械等设备中的耐磨运动零部件，使这些零部件可以在少润滑甚至不润滑条件时长期工作。

4. 聚甲醛的改性

为了进一步改善聚甲醛的各种性能，可对聚甲醛进行改性，如加入玻纤可制成增强聚甲醛，使抗拉强度、拉伸模量大为提高，收缩率大为下降。如加入聚四氟乙烯、石墨粉等固体润滑剂和润滑油，可制得含油耐磨聚甲醛，其耐磨性能大幅度提高。

17.4.9 聚碳酸酯（PC）

聚碳酸酯是分子链中含有碳酸酯基的聚合物，统称聚碳酸酯，在实际应用中，以双酚型聚碳酸酯最为重要，应用最普遍。它于 1958 年实现了工业化生产，其主要生产方法有酯交换法和光气法。

1. 聚碳酸酯的结构

聚碳酸酯具有对称结构，不存在空间异构现象。碳酸酯基具极性，但由两个苯撑基和异丙撑基隔开，总体上仅显较弱的极性，分子链上醚链的存在又赋予其一定的柔性。聚碳酸酯为无定型结构，所以它具有优良的韧性和透明度。

2. 聚碳酸酯的性能

聚碳酸酯无色或微黄，密度为 1.20g/cm^3，透光率达 89%，无臭、无味、无毒，硬度大于 PMMA，作为透明材料，表面不易划伤。聚碳酸酯是典型硬而韧的聚合物，具有良好的综合力学性能，拉伸、压缩、弯曲强度与 PA66 相当，冲击强度很高，高于聚酰胺和大多数工程塑料，抗蠕变形也明显优于 PAPOM，但它耐疲劳性较差，对缺口较敏感。

聚碳酸酯有良好的耐热性，它的玻璃化温度较高，高于聚酰胺，热变形温度大于 126℃，最高连续使用温度为 120℃，几乎是塑料中最高的。聚碳酸酯有良好的耐寒性，可以在 -70℃条件下长期工作，其热导率及比热容在塑料中居中，是一种良好的绝热材料。

聚碳酸酯为弱极性聚合物，但仍是电性能较优的绝缘材料，因其耐热性好，它可在较宽温度范围内保持良好的电性能。由于吸湿性仅 0.15%，因此环境湿度对电性能无明显影响。电场频率对电性能的影响也不大，随电场频率的增高，介电常数略有减小。

聚碳酸酯的化学稳定性好，脂肪烃类、油类、多数醇类对它无作用，而酮类、芳香烃类、酯类可使聚碳酸酯溶胀，许多氯化烃，如氯仿、二氯甲烷等是它很好的溶剂。在常温下它可耐稀酸、盐类、氧化剂，但不耐碱，它耐热水性很差，若高于 60℃，聚碳酸酯就会因水解而失去韧性。它有较高的氧化稳定性和耐臭氧性，是良好的紫外线吸收剂，光线仅能深入塑件中 0.8 ~ 1.0mm。聚碳酸酯在火焰中可缓慢燃烧，但离火可自熄。

3. 聚碳酸酯的应用

聚碳酸酯的高透光性使它广泛用于制作光学玻璃，如照相器材、飞机座舱玻璃；因为冲击强度高而制作高速飞机的风挡和天窗；在高温时的优良电性能，使其广泛用于制作电动工具外壳和零件；它优良的耐寒性可用作冷冻食品包装材料及制作冷库、制冷设备中的零部件；聚碳酸酯的力学性能优良，可用来制作受一定载荷的机械零件，如轴承、齿轮、蜗轮、凸轮、曲轴及叶轮等。

4. 聚碳酸酯的改性

聚碳酸酯尽管综合性能优良，但其尚有不足，如易产生应力开裂、熔体粘度高、成型较困难等，为了克服这些不足，有必要对聚碳酸酯进行改性。如用玻纤对聚碳酸酯增强，可显著改善聚碳酸酯的耐应力开裂性，并大大提高相关力学性能；与某些聚合物，如 PE、ABS、POM 等共混，可以改善聚碳酸酯的流动性和耐应力开裂性。

17.5　注塑成型制品的缺陷类型、原因分析及解决方法

塑件成型后，与预定的质量标准有一定的差异，这就是塑件缺陷，这种塑件是不能作为成品出厂的，对企业来说也是很大的浪费，为此，要认真研究这些缺陷产生的原因，并有针对性地进行处置，把这些质量缺陷降低到最低程度。这些缺陷产生的原因，不外乎是模具、原料、成型条件、注塑机、塑件结构等几方面，但也不是每种缺陷均涉及这些方面。下面将对塑件缺陷产生的原因和对策作具体分析。

17.5.1　充填不足

1. 含义

熔料进入型腔后没有充填完全，导致塑件缺料叫作充填不足，常发生在制品壁厚较薄的

地方或流动路径的末端区域，如图 17-14 所示。任何会增加塑料流动阻力，或是妨碍足量塑料流入模腔的因素，都可能造成短射；注入塑料剂量不足，料斗无塑料、进料遭异物阻塞、止回阀磨耗等也会造成充填不足。

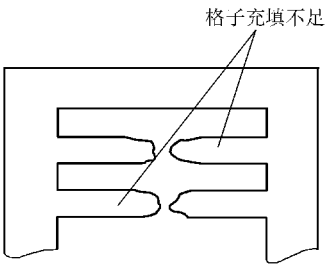


图 17-14　充填不足

2. 产生缺陷的原因及对策

（1）浇注系统设计不合理　浇注系统是熔体进入模腔的通道，对塑件成型质量有很大的关系。如果浇口不平衡，各型腔内塑件的质量与浇口的大小不成正比，熔体不能同时充满型腔，很易造成充填不足；如浇口的位置不是在壁厚部位，也会造成充填不足；若浇口或流道截面积较小且长，熔体压力损失会增大，流动阻力增大，容易出现流动不良而充填不足。上述各种原因都会使塑件产生充填不足的缺陷，可针对具体情况修正模具。

（2）模具排气结构不佳　在熔体流入模腔时，模腔中的气体应被驱走，如果气体排出不畅，仍滞留在模腔中，熔体就难以充满模腔而造成充填不足。对此，需要修正排气结构，或将排气间隙加大。对于型腔较深的模具，应在充填不足的部位增设排气槽或排气孔等。

（3）冷料杂质阻塞流道　应将喷嘴拆卸清理或扩大模具冷料腔和流道的截面。

（4）原料含水量过大　这些水分在受热时汽化成水蒸气，额外产生的气体加重了排气结构的负担，进入模腔后难以很快排尽，而使熔体难以在预定时间内充满型腔。因此，对那些易于吸潮的原料应预加干燥处理。

（5）原料配方不当　塑料的配方种类很多，其流动性受配方影响较大，如润滑剂是一种对塑料流动性影响较大的添加剂，但其添加量要适当，添加过少，熔体流动性差，充填不足，但如果润滑剂过多，熔体流动性很好，又会在料筒中产生回流而引起供料不足。因此，对能影响熔体流动性的添加剂的用量应严格控制。

（6）设备选型不当　在选用注塑设备时，注塑机的最大注塑量必须大于塑件重量。在校核时，注塑总量不能超出注塑机塑化量的 85%。

（7）原料供应不足　原料的供应跟不上注塑的用料要求而造成充填不足，这时应检查原料粒径是否均匀，加料口底部有无原料“搭桥”现象。对此，应选用粒径均匀的原料，或将桥戳垮。

（8）模具温度太低　开机前必须将模具预热至工艺要求的温度。刚开机时，应适当节制模具内冷却剂的通过量。若模具温度升不上去，应检查模具冷却系统设计是否合理。

（9）熔料温度太低　在适当的成型范围内，料温与充模长度接近于正比例关系，低温熔料的流动性能下降，使得充模长度减短。应注意将料筒加热仪表设定的温度后还需恒温一段时间才能开机。如果为了防止熔料分解不得不采取低温注塑时，可适当延长注塑循环时间，克服充填不足。

（10）注塑压力太低　注塑压力与充模长度接近于正比例关系，若注塑压力小，充模长度短，型腔填充不满。对此，可通过降低射料杆的前进速度，适当延长注塑时间等方法来提高注塑压力。

（11）保压时间太短　使型腔中的熔体回流而导致充填不足。对此，应将保压时间控制

在合适的范围内，一般控制在 30 ~ 120s 之间，厚壁者取大值，薄壁者取小值。

（12）注塑速度太慢　会造成熔体充模缓慢，而低速流动的熔体易于冷却，使其流动性能进一步下降而充填不足。对此，应适当提高注塑速度。

（13）塑件结构设计不合理　当塑件的厚度与长度不成比例，形状十分复杂，且成型面积很大时，熔体很容易在塑件的薄壁部位入口处受阻，使型腔难以充满。对此，应该注意塑件的厚度与熔体充模时的极限流动长度。

17.5.2　翘曲变形

1. 含义

由于产品内部收缩不一致导致内应力不同引起变形。翘曲变形的主要表征现象是：塑件的形状在塑件脱模后或稍后一段时间内产生旋转或扭曲现象，塑件平坦部分有起伏，直边朝里或朝外弯曲，或扭曲。

2. 产生原因及对策

1）模具的冷却系统设计不合理，塑件冷却不充分，不均匀，如模芯和模壁处有温差时，若模芯处的温度较模壁高，塑件在脱模后就向模芯牵引的方向弯曲。如生产框形塑件时，若模芯温度高于型腔侧，塑件脱模后框边就向内侧弯曲。在设计模具冷却系统时，要对模具整体有个考虑，哪些部位易于冷却，哪些部位难以冷却，必须将冷却管道布置在温度易于升高且不易散热的地方。对于那些易于散热的部位，则尽量使之缓冷。总之，要尽量使模具的温度均衡，温差不致太大。通常，模具的型腔和型芯应分别冷却。冷却孔与型腔的距离一般控制在 15 ~ 25mm。冷却水入口与出口处温度的差值不能太大，特别是对于多腔模具，温差应控制在 2℃以内。

2）模具浇注系统设计不合理，在确定浇口位置时，不要使熔料直接冲击型芯，应使型芯两侧受力均匀；对于面积较大的矩形扁平塑件，当采用分子取向及收缩大的树脂原料时，应采用薄膜式浇口或多点式浇口，尽量不要采用侧浇口；对于环形浇塑件，应采用盘形浇口或轮辐式浇口，尽量不要采用侧浇口或针浇口；对于壳型塑件，应采用直浇口，尽量不要采用侧浇口。

3）模具脱模系统设计不合理，也易引起翘曲变形，如塑件在脱模时受到较大不均衡外力作用，会使塑件产生较大翘曲变形。如模具的脱模斜度不够，顶出塑件时要加很大的力；顶杆的顶出面积太小或顶杆分布不均匀，使塑件各处受力不均匀，顶杆不能同时出力，使塑件各部分的顶出速度不一致；模具的抽芯装置或嵌件设置不当，脱模时塑件受力不均匀；另外，型芯弯曲、模具强度不够、精度太差、定位不可靠等，均可引起塑件翘曲变形。

对此，应对可能产生翘曲的原因有针对性地采取相关措施，如合理确定脱模斜度、顶杆位置和数量、加大顶杆的顶出面积、提高模具的强度和精度，以及改变模具抽芯装置或嵌件的位置等，均可有效地减少塑件翘曲变形。

4）分子取向不均衡。为了尽量减少由于分子取向差异产生的翘曲变形，应创造条件减少流动取向及缓和取向应力的松弛，最有效的方法是降低塑料温度和模具温度，在采用这一方法时，最好与塑件的热处理结合起来，否则，减小分子取向差异的效果往往是短暂的。热处理的方法是：塑件脱模后将其置于较高温度下保持一定时间再缓冷至室温，即可大量消除塑件内的取向应力。

5）注塑压力过高，沿熔体流动方向上的分子取向与垂直流动方向上分子取向相差较大，充模结束后，被取向的分子形态总是力图恢复原有的卷曲状态，导致塑件在此方向上的长度缩短，因此，塑件沿熔体流动方向上的收缩也就大于垂直流动方向上的收缩。注塑压力越高，流速越快，这两种流动方向上的流速差异也越大，因而翘曲变形也加大。对此，可适当降低注塑压力。

17.5.3 熔接痕

1. 含义

熔接痕是出现在塑件表面的线状痕迹，系由若干股熔体在模腔中汇合在一起所形成，熔体在其交汇处未完全熔合在一起，彼此不能熔合为一体，造成熔合印痕。对外观和力学性能有一定影响。

2. 产生缺陷的原因及对策

（1）料温太低　低温熔料的分流汇合性能较差，容易形成熔接痕。如果塑件的内外表面在同一部位产生熔接细纹时，往往是由于料温太低引起的熔接不良。对此，可适当提高料筒及喷嘴的温度，或者延长注塑周期，促使料温上升。同时，应降低模具内冷却剂的通过量，适当提高模具温度。一般情况下，塑件熔接痕处的强度较差，如果对模具中产生熔接痕的相应部位进行局部加热，提高成型件熔接部位的局部温度，往往可以提高塑件熔接处的强度。如果由于特殊需要，必须采用低温成型工艺时，可适当提高注塑速度及注塑压力，从而改善熔料的汇合性能。也可在原料配方中适当增用少量润滑剂，提高熔料的流动性能。

（2）模具缺陷　浇注系统设计不佳为主要问题，因为熔接痕主要产生于熔体的分流汇合处。对此，可采用分流少的浇口形式，合理选择浇口位置，使各型腔的充模速度趋于一致。若有可能，应尽量选用一点式浇口，因为这种浇口不产生多股料流，熔体不会从两个方向汇合，也就不会产生熔接痕。

若浇口数量太多，或浇口截面积过小，使得熔体在进入型腔后分成多股，且流速又不相同，很易产生熔接痕。对此，应尽量减少浇口数，并增大浇口截面积。

浇注系统的主流道进口部位及分流道的截面积太小，导致熔体阻力增大，引起熔接不良，使塑件表面产生较明显的熔接痕。对此，应扩大主流道及分流道截面积。

模具中若无冷料穴，或冷料穴的位置不正确，或不够大，使冷料注入型腔而产生熔接痕。对此，应设置合适位置和大小的冷料穴。

模具中冷却系统设计不合理，熔体在模中冷却太快且不均匀，使熔体在模腔中的温度不一致，导致在汇合时产生熔接痕。对此，应审查冷却系统的结构。

（3）脱模剂用量太多或品种不对路　在注塑成型时，一般只在螺纹等不易脱模的零件部位才涂覆少量脱模剂，原则上应尽量少用脱模剂。

（4）塑料的流动性不好　提高塑料流动性有助于减小缝合线，所以在塑件功能许可范围内，可以考虑改用流动指数值较高的塑料或者增加适量润滑剂，以提高熔体的流动性能。

（5）塑件结构设计不合理　如果塑件的壁厚设计得太薄，薄壁件在成型时，熔体固化的速度相当快，易产生熔接痕，对此，塑件壁厚不能过薄，必须大于成型时的最小壁厚；如果塑件的壁厚相差过于悬殊，这时熔体在充模时多在薄壁处汇合，此处易产生熔接痕，对

此，在设计塑件时一定要注意塑件壁厚设计时不能相差过大，且应当平稳过渡；如果塑件上的嵌件过多，熔体在流经这些嵌件时，其流线和温度及流速都会有所变化，使得它们再交汇时易于产生熔接痕，对此，应尽量减少嵌件的数量。

（6）熔接角度太小　不同的塑料都有自己的极限熔接角度。两股料流汇合时，如果汇合角度小于极限熔接角度，就会出现熔接痕，如果大于极限熔接角度，熔接痕便消失。极限熔接角度值一般在 125°左右。

（7）其他原因　当使用的原料水分或易挥发物含量太高，模具中的油渍未清除干净，熔料固化太快，喷嘴孔太小，注塑机塑化能力不够，柱塞或注塑机料筒中压力损失大，都会导致不同程度的熔接不良。所以，在操作过程中，应该针对不同情况，分别采取原料预干燥，定期清理模具，提高嵌件温度，换用较大孔径的喷嘴，改用较大规格的注塑机等措施予以解决。

17.5.4　波流痕

1. 含义

由于熔体在模腔中的不适当流动，使得塑件表面产生以浇口为中心的年轮状、螺旋状或云雾状的波形凹凸不平的表征现象。

2. 产生缺陷的原因及其对策

1）熔料流动不良导致塑件表面产生以浇口为中心的年轮状波流痕。可分别采取提高注塑速率，提高模具及喷嘴温度和充模速度，增加注塑压力及保压和增压时间。对于特定的模具和塑料，可以缩短竖浇道的长度；可适当扩大浇口及流道面积，而浇口和流道截面最好采用圆形，这种截面能够获得最佳充模。但是如果在塑件的薄弱区域设置浇口，应采用正方形截面；或者改用热流道设计取代冷流道设计，也可在浇口处设置加热器增加浇口部位的局部温度。此外，注料口底部及分流道段不应设置较大的冷料井。料温对熔料流道性能影响越大，越要注意冷料井尺寸的大小，使得在充填阶段，熔胶波前的较低温塑料不会进到模腔。一般来说，冷料井的长度等于流道直径。应改善模具的排气能力。模具的浇口应设置在壁厚部位或直接在壁侧设置浇口，浇口形式最好采用柄式、扇形或膜片式。

2）挥发性气体导致塑件表面产生云雾状波流痕。当采用 ABS 或其他共聚型树脂原料时，若加工温度较高，树脂及润滑剂产生的挥发性气体会使塑件表面产生云雾状波流痕。因此，应适当降低模具及机筒温度，改善模具的排气条件，降低料温及充模速率，适当扩大浇口截面，还应考虑更换润滑剂品种或减少其用量。

3）熔料在流道中流动不畅导致塑件表面产生螺旋状波流痕。当熔料从流道狭小的截面流入较大截面的型腔或模具流道狭窄、表面粗糙度很高时，料流很容易形成湍流，导致塑件表面行程螺旋状波流痕。对此，可适当降低注塑速度或对注塑速度采取慢、快、慢分级控制。

17.5.5　飞边

1. 含义

当塑料熔料被迫从分型面挤压处模具型腔产生薄片时便形成了飞边，薄片过大时叫做披锋。飞边多发生在模具的不连续处（通常是分模面、排气孔、排气顶针、滑动机构等），是

由于塑料过量充填造成外溢的瑕疵。

2. 产生缺陷的原因及其对策

（1）模具缺陷　模具缺陷常是产生飞边的主要原因，因此有必要多关注模具。模具分型面在合模时因为加工粗糙而不能密合，导致飞边产生，对此，应对分型面结合部位进行精细加工。若动模、定模合模时不能准确地对中，合模时发生偏斜或错位，也会导致飞边产生，对此，应使模具准确地合模，可检查导向机构的位置是否正确。分型面上若有异物粘附，使得动、定模合模时不能密合也会产生飞边，对此要及时将异物清除。对于利用分型面的间隙进行排气的模具，若排气间隙留得太大，很易产生飞边，应适当缩小排气间隙。若动、定模板间不平行，或者出现弯曲变形，致使模板不能充分合拢，飞边就会产生，对此应检查模板的安装位置并进行校正。若型腔及型芯部分的滑动件磨损过多其间隙会过大，使得飞边产生，要对磨损过大的零件进行修复和更换。

（2）塑料的流动性　熔体的流动性越好，越易出现飞边，凡是原料能促进流动性的都有可能促使飞边产生。对此，在选择塑料配方时要加以注意，特别是润滑剂的添加量，若过量则易产生飞边。

（3）料温太高　加入塑料温度太高，肯定造成熔体粘度太低而在模板之间溢料，可通过观察喷嘴的滴料情况来判断，此时应适当降低料筒、喷嘴及模具温度。对于聚酰胺等粘度较低的熔料，如果仅靠改变成型条件来解决飞边缺陷是很困难的。应在适当降低料温的同时，尽量精密加工及研修模具，减小模具间隙。

（4）合模力不足　当注塑压力大于合模力，模具分型面密合不良时容易出现飞边。对此，应检查增压器是否增压过量，塑件投影面积与成型压力的乘积是否超出了设备的合模力。成型压力为模具内的平均压力，塑料品种不同，成型压力也有区别，塑件大小不同，成型压力也不同。如合模力小于成型压力，这时，可降低注塑压力、减少射料杆行程、减小浇口截面积、缩短保压时间、减少型腔数量，或换用大压力注塑机。

（5）成型操作不当　如果注塑速度太快，注塑时间过长，注塑压力在模腔中分布不均，冲模速率不均衡，以及加料量过多，润滑剂使用过量都会导致飞边，操作时应针对具体情况采取相应的措施。应该降低充填速度，特别是降低接近充填完成时的充填速度，这样能减少飞边。降低注塑压力和保压压力，可以减小所需的锁模力。也应当避免使用太低的塑料温度，否则需要更高注塑压力。

17.5.6　银丝纹

1. 含义

银丝纹是在成型品的表面或表面附近，沿树脂流动方向出现的闪闪发光的银白色条纹。银丝纹的常见形式是一些被拉长的扁气泡形成的针状银白色条纹，其主要种类有降解银丝和水气银丝。各种银丝均产生于从料流前端析出的气体。如降解银丝是热塑性塑料受热后发生部分降解，以及气体分解时形成的小气泡分布在塑件表面上，这些小气泡在塑件表面留下的痕迹一般排布成 V 形，V 形的尖端背向浇口中心。水气银丝产生的主要原因是：原料中水分含量过高，水分挥发时产生的气泡导致塑件表面产生银丝，特别是聚酰胺和抗冲击聚苯乙烯等高吸水性树脂。如果熔料中的水分挥发产生的气体不能完全排出时，就会在塑件表面形成水气银丝。

2. 产生缺陷的原因及其对策

1）塑料过热后发生的部分降解以及气体分解时形成的小气泡分布在塑件的表面而形成降解银丝。在模具方面，对于降解银丝纹，一般可采取加大浇口、主流道和分流道的截面积，扩大冷料穴，改善模具的排气条件来解决。在原料方面，降解银丝纹是原料降解时产生的气体所致，因此，减少降解即可有效地防止降解银丝纹的产生。为此，要尽量选用粒径均匀的树脂、筛除原料中的粉屑，减少再生料的用量，清除料筒中的残存其他原料。脱模剂也会产生少量挥发性气体，使得有可能产生银丝纹。对此，要尽量减少其用量，可通过其他途径来减少脱模的阻力。在成型操作方面，应降低料筒及喷嘴温度；应适当缩短熔体在料筒中的滞留时间，防止熔体局部过热；适当缩短保压时间；适当降低射料杆速度，使其注塑速度减缓。

2）原料中含有的水分汽化导致塑料表面产生水气银丝。在模具方面，应增加模具的排气条件，使水气尽快排出，或采用真空排气装置，尽量排清熔体中存留的气体。模具的冷却水道若是渗漏，冷却水便会渗入模腔，这些额外的水分遇高温会立即汽化而形成水气银丝。对此，要严格防止渗漏。在原料方面，原料中含有的水分是产生水气银丝纹的主要原因。对此，必须按原料的干燥要求，对含水量较高的原料进行充分干燥。

17.5.7　色泽不均

1. 含义

色泽不均的表征现象是：塑件表面的色泽不是均匀体现的，有深有浅，影响外观质量。

2. 产生缺陷的原因及其对策

（1）添加剂使用不当　着色剂是塑料中经常使用的添加剂，使用得好，可使塑件增加美观度，但若使用不好，使其色泽不均，则反而减色。因着色剂而产生的色泽不均有以下几种。如着色剂的热稳定性差，在料筒中受高温作用时分解，将导致塑件变色。对此，应选用在工艺操作温度下不会分解的着色剂。有些着色剂是采用干混的方式与其他原料搅拌在一起，由于着色剂用量少，很难混合均匀，很多着色剂粘附于料粒表面，进入料筒后分散性不好，导致色泽不均。对此，要注意着色剂的均匀混合和熔料的均匀塑化。有些着色剂的形态呈薄片状，若直接混入原料中熔化后成型，会形成方向性排列，导致塑件表面色泽不均。对此，需将薄片状着色剂粉碎成粉末，再拌入原料中塑化成型。着色剂粒小质轻，很容易漂浮于空气中，粘附于料斗及其他部位，使注塑机及模具受到污染，引起塑件表面色泽不均。对此，如料斗、模具型腔、料筒等接触原料和熔体的部位受到污染，则需要彻底清扫干净。对于纤维增强塑料来说，若纤维填料分布不均，或聚积，或裸露，或缺乏，这样的塑件表面肯定色泽不均。对此，应调整工艺参数，改善纤维在塑料中的分布状况。原料中的杂质量太多，这些杂质色泽不一，也会导致塑件表面色泽不均。对此，对原料应认真清除杂质，不允许杂质进入熔料中。如树脂的结晶型太差，影响塑件的透明度，使得塑件表面色泽不均。对此，可考虑在配方中加以处理，如换用结晶性能好的树脂。如原料中易挥发物含量太高，或含水分较多，成型时容易使塑件表面色泽不均。对此，应净化原料，对原料进行预干燥处理。

（2）排气系统设计不合理　对此，要重新审视模具的排气结构。为了减少排气不良的影响，可适当减少合模力，或改变浇口位置，并将排气结构设置在熔体的最后充模处。

（3）料温过高　料筒处温度过高和喷嘴处温度过高是造成料温过高的主要原因，会导致色泽不均。若料筒处温度过高，熔体在高温下易发生分解而导致色泽不均。对此，要根据原料性能选择合适的工艺温度。若喷嘴处温度过高，熔体在喷嘴处会发生碳化、焦化，这种局部现象会引起塑件表面色泽不均。对此，应适当降低喷嘴处温度。

（4）其他原因　当塑化时不能将各种原料均匀地塑化在一起、料筒内有积料或死角、熔体在料筒中停留时间过长，以及注塑和保压时间太长时都会导致色泽不均。所以在操作过程中，应该针对不同情况，分别采取检查塑化装置，保证其正常工作；彻底清洗料筒；控制熔体在料筒中停留的时间，每次注塑量不应超过注塑机注塑能力的 2/3；缩短注塑和保压时间，降低背压和注塑压力等措施予以解决。

17.5.8　表面光泽不良

1. 含义

光泽不良是成型品表面没出现该树脂所具有的光泽而形成乳白色的层状膜，成为所谓的雾浊状态。

2. 产生缺陷的原因及其对策

（1）模具表面不光洁　由于塑件表面是模具型腔面的再现，如果模腔表面加工不良，如有伤痕、微孔、磨损等缺陷，这些缺陷势必在塑件表面反映出来。对此，在加工模具时必须精心，使型腔表面有较低的粗糙度，必要时可进行抛光和镀铬，如果表面受到损伤，要及时修复。如果型腔表面有油污、水渍，或脱模剂用得太多，也会使塑件表面发暗，没有光泽。对此，要及时清除油污和水渍，脱模剂要适量。

（2）原材料选用不当　当选用的原料的流动性太差时，使得塑件表面不致密，导致光泽不良。对此，应换用流动性能较好的树脂，或增用适量润滑剂。而且某些原料在高温下分解变色导致光泽不良，所以应选用耐温较高的原料。有时原料粒度差异较大，难以均匀塑化。对此，应筛除粒径差异过大的原料。

（3）模具温度太低　在成型工艺条件中，对制品表面光泽影响最大的是模具温度，在一定范围内，模具温度越高，制品表面越光亮。对抗冲击聚苯乙烯来说模具温度尤其重要。提高模具温度后势必延长成型周期，需向模内通入大量的温水加快热交换。

17.5.9　顶出不良

1. 含义

塑件成型后不能顺利地从模具中脱出称为顶出不良。其产生的主要原因是脱模斜度不够、模腔粗糙等。

2. 排除方法

（1）保证足够大的脱模斜度　模具的侧壁没有出模斜度或出模斜度太小，塑件冷却后紧紧包住型芯，在顶出力的作用下，发生塑件碎裂、顶杆顶穿和白印等疵病。塑料制品上至少设计 1°出模斜度，允许的情况下设计 2°。箱体类制品深度 100mm 之内用 1°30′，100mm 以上用 1°。侧面有凹凸小格子形状的制品，出模斜度用 5°，侧面有浅的直纹滚花最少用 6° 出模斜度。

（2）调整成型条件　降低注塑压力，缩短注塑时间和保压时间，降低模具温度和料筒

温度，减少加料量，用慢速顶出。遇到制品出模不畅情况，主要从模具方面找原因，靠成型条件弥补是困难的。

（3）使用脱模剂　脱模剂的脱模效果既受化学作用的影响，也受物理条件的影响，还受成型原料和加工条件的影响，如果选择不好，则会导致脱模不良。但是由于影响因素较多，故应根据具体情况加以选择。由于软质塑件比硬质塑件难脱模。对此，在脱模剂的选择上应加以区别，极性强的塑料要使用有非极性分子的脱模剂，而非极性塑料则应用有极性分子的脱模剂。

（4）合理设计浇口　浇口周围所受的压力很高，在浇口周围是高应力区和高定向区，脱模时会产生裂纹。在浇口周围设一圆环状的框能起增强作用，不过这圆环状的框一定不能薄而小，如图 17-15 所示。直浇口的直径以细一点为好，或用多点浇口，适当降低注塑压力。

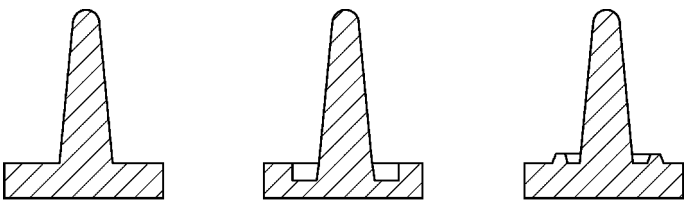


图 17-15　防止直浇口开裂

a）不好　b）不好　c）好

17.5.10　裂纹及破裂

1. 含义

成型制品表面开裂形成裂缝叫做裂纹，由此形成的破损叫破裂。

2. 产生缺陷的原因及其对策

（1）残余应力太高　在模具设计和制作方面，可以采用压力损失最小，而且可以承受较高注塑压力的直接浇口，可将正向浇口改为多个针形点浇口或侧浇口，并减小浇口直径。设计侧浇口时，可采用成型后将破裂部分除去的凸片式浇口。在工艺操作方面，通过降低注塑压力来减少残余应力是一种最简单的方法，因为注塑压力与残余应力呈正比例关系。应适当提高料筒及模具温度，减小熔料与模具的温度差，控制模内型胚的冷却时间和速度，使取向分子链有较长的恢复时间。

（2）塑件结构设计不良　塑件形体结构中的尖角及缺口处最容易产生应力集中，导致塑件表面产生裂纹及破裂。因此塑件形体结构在的外角及内角应尽可能采用最大半径做成圆弧。试验表明，最佳过渡圆弧半径为圆弧半径与转角处壁厚的比等于 1∶1.7。

（3）成型原料与金属嵌件的热膨胀系数存在差异　塑料的热膨胀系数比金属大许多倍，如热塑性塑料的热膨胀系数为钢的 10 倍、铝的 7 倍。因此，金属嵌件在塑件中会妨碍塑件的整体收缩，由此产生的拉伸应力也很大，这种应力会使塑件表面出现裂纹而产生缺陷。

为了减少或避免因有嵌件而出现的裂纹，可以从以下几方面入手：

1）在嵌件材质的选用上，尽量选用热膨胀系数接近于树脂的金属，如用锌、铝、铜等非铁金属制作嵌件就比钢材好。

2）将嵌件尽量安放于高相对分子质量树脂制作的塑件中，因这种树脂的抗裂纹性较强。

3）嵌件周围的塑料厚度应设计得厚些，其最小壁厚随塑料品种的不同而异。

（4）外力导致残余应力集中　一般情况下，这类故障总是发生在顶杆的周围。故障出现后，应认真检查和校调顶出装置，顶杆应设置在脱模阻力最大部位，如凸台、加强筋等处。如果设置的顶杆数由于推顶面积受到条件限制不可能扩大时，可采用小面积多顶杆的方法。如果模具行腔脱模斜度不够，塑件编码也会出现擦伤形成花纹。

（5）原料选用不当或不纯净　原料不同，产生残余应力的敏感性也不同，一般，非结晶型树脂比结晶型树脂更容易产生残余应力而导致产生裂纹。对此，应选择不易产生残余应力的结晶型树脂。若使用吸水性较大的树脂，加热后易分解脆化，较小的残余应力即会引起脆裂。对此，应慎用吸水性较大的树脂。若原料中加入的再生料较多，再生料中的杂质和易挥发物含量较高，制得的塑件强度较低，容易引起应力开裂。对此，应当控制再生料的用量。脱模剂对熔体来讲是一种异物，二者难以相容，如用量过多易产生裂纹。对此，应减少其用量。

17.5.11　暗斑

1. 含义

暗斑的表征现象是：在塑件的表面或内部出现许多暗黑色的条纹或黑点。其产生的主要原因是熔料温度过高原料过热分解；模具上面的灰尘落入型腔内；杂质粘附在自动上料机的吸管内；料筒腐蚀，不断有镀层剥落；干燥工序中混入垃圾；塑料粒子本身不干净等。

2. 排除方法

（1）调整模具设计　降低热流道的表面粗糙度及其加热温度，以保持热流道的通畅，防止熔体在流道中滞留结焦；使模具型腔保持较低的粗糙度，或抛光镀铬，以免残留积料在高温时焦化；校核浇口的位置和形式，使熔体保持流动和排气畅通；调整喷嘴与模具主流道的相对位置使其吻合，以免在浇口附近产生积料焦化。

（2）改善成型工艺　注塑速度不能太高，应将熔体速度控制在层流状态下冲模，因为注塑速度过大时，熔体的流动状态由层流变为紊流，这时形成的塑件不仅其表面容易形成糊斑，而且塑件内部易产生气孔。适当降低注塑压力，如果注塑压力过高，充模时熔体与型腔腔壁的相对运动速度太高，很容易产生过分摩擦而过热，使熔体局部焦化而产生暗斑。降低熔体温度，防止熔体的过热分解产生暗斑。

（3）合理选择和处理原材料　对加入料斗的原料应进行筛选，除去粉末料，若原料中含有的细小颗粒太多，这些粉末状原料易被过热焦化而产生煳斑。应将原料进行预干燥，如果原料中的水分和易挥发物含量过高，生成气体后又不能及时排出，会引起局部焦化产生暗斑现象。此外，若脱模剂使用过多且涂覆不均，也易使塑件表面部分焦化产生煳斑。对此，应尽量少用或不用脱模剂，使用时最好用喷涂。

17.5.12　尺寸不准

1. 含义

塑件在成型过程中不能保持原来预定的尺寸精度叫做尺寸不准。其造成的原因为：注塑

机控制系统不稳定；成型窗口太狭窄；成型条件不恰当；注塑单元损坏；塑件性质不稳定；流道不平衡。

2. 排除方法

（1）调整模具设计及其组件　模具的刚性不够、模具的设计和制造精度较低、模具的导向元件间的配合间隙由于制造精度太低或磨损过大等因素都会造成尺寸不准。因此，应分别采取加强模具的刚性、提高模具的设计和制造精度、应使导向元件间的配合间隙在许可的范围内等方法来解决。对特定的塑料模具设计适当的流道、浇口系统时，可以使用塑料注塑成型分析软件进行流道系统尺寸优化，以确保熔胶平顺地充填模腔。如果塑件在顶出时会造成弯曲或扭曲，就应当调整顶出系统。

（2）选择合适的原材料　不同塑料的收缩率相差较大，一般来说，原料的收缩率越大，塑件的尺寸精度越难保证。对此，在选用成型树脂时，必须充分考虑原料成型后的收缩率对塑件尺寸精度的影响。通常所选用的原料收缩率的变化范围不要大于塑件尺寸精度的要求。但是有时虽是同一品牌原料，如树脂，但产地不同，其性能也会有所不同，以致引起塑件尺寸的变化。对此，需改变某些配方以适应之。再生料的添加量与混合均匀程度对塑件的尺寸影响较大。对此，要控制再生料的添加量，加入后要充分混合均匀后再进入注塑机。若成型原料中颗粒大小不均匀，粉末料过多，这种物料难以均匀塑化，因而制得的塑件的尺寸变化较大。对此，对原料的颗粒应保持基本均匀，并进行筛分筛除粉末料。

（3）检查注塑机　若注塑机的加料系统供料不稳定，时多时少，从而使熔体的供应也不稳定，与之相对应的塑件的尺寸也难以准确。对此，必须检修供料系统，使之工作正常。若注塑螺杆的转速不稳定，停止作用失常，使注塑机的注塑量变化较大，以致使尺寸不准确。对此，应检查注塑机的传动系统。若温度控制系统出现故障，温度控制失常，使得熔体温度不稳定，所得的塑件尺寸也不准确。对此，应仔细检查并排除故障。

（4）调整成型工艺　提高注塑压力与保压压力，以确定充填与保压压力足够，而使得足量的塑料进入模腔；检查冷却系统以确定模腔温度是否均匀；设定适当的螺杆计量行程、注塑行程、螺杆旋转速度和背压，使成型条件在各参数推荐范围之内。

17.5.13　气泡及暗泡

1. 含义

气泡是塑件成型后内部形成体积较小或成串孔隙的缺陷；暗泡是塑件内部产生的真空孔洞，又叫真空泡。气泡及暗泡的表征现象是：在塑件上形成孔隙。

2. 产生缺陷的原因

产生气泡的主要原因是：气体进入了熔体中，随熔体一起冷却成型而得；产生暗泡的主要原因是：塑件在冷却固化时，由于塑件内外的冷却速度不同，外快内慢，外层先固化，内部熔体后冷却收缩，这时塑件内部就会产生真空孔洞而成暗泡。

3. 排除方法

（1）合理设计流道和浇口　浇口位置应设置在塑件的厚壁处；直接浇口产生真空的现象比较突出，应尽量避免选用；如果浇口形式无法改变，可通过延长保压时间，加大供料量，减小浇口锥度等方法进行调节；缩短和加宽细长狭窄的流道，消除流道中的储气死角，排除模具排气不良的故障。

（2）合理设计排气孔　排气孔通常设在最后充填的区域，例如熔体与熔体的交接处、分模面、镶埋件与模壁之间、顶针及模具滑块的位置。重新设计浇口和塑料传送系统可以改变充填模式，使最后充填区域落在适当的排气孔位置。此外，应确定有足够大的排气孔，足以让充填时的空气逃逸；但是也要小心排气孔不能太大而造成毛边。建议的排气孔尺寸，结晶型塑料为0.025cm，不定形塑料为0.038cm。

（3）合理控制成型条件　适当降低注塑速度，让空气有充足的时间逃逸；采用调节注塑和保压时间，改善冷却条件，控制加料量等方法；一般情况下，应将熔料温度控制得稍微低一些，模具温度控制得稍高一些。

（4）变更塑件设计　缩减壁厚比例，可以减低塑料的竞流效应。

17.5.14　表面混浊

1. 含义

表面混浊的现象是：塑件表面呈现无光、泛白、浊雾状的外观。

2. 产生缺陷的原因及其排除方法

（1）原材料选用不当　若使用结晶型树脂，其熔融温度很高，固化速度很快。因此，结晶型树脂在制作塑件时比非结晶型树脂更易产生表面混浊。此外，若原料中润滑剂使用过多，熔体的流动性增加，产生紊流的情况加大，使得塑件更容易产生表面混浊。对此，应适当减少润滑剂用量。

（2）模具设计不当　若浇口尺寸很小而注塑速度很高时，熔体会以细而弯曲的射流状态射入型腔，遇到温度较低的型腔时，会很快冷却，这时后续熔料继续射入，温差较大的熔体汇合在一起，造成熔合不良，导致在浇口处产生表面混浊。对此，应拓宽浇口截面积，可优先选用扇形浇口。若模具排气不良，会使熔体呈不规则流动，这种不规则的流动易使塑件表面混浊。对此，应审视模具的排气系统，使之排气良好。

（3）成型操作不当　如有少量冷料进入型腔，它会沿型腔表面移动，使塑件表面混浊。对此，应加大冷料穴容积，可容纳全部冷料；或升高模具温度，使之少产生冷料。若熔体温度、注塑压力很高，熔体的流动性很好，这时熔体会高速流动，在高速流动时易产生紊流而导致表面混浊。对此，应降低熔体温度和注塑压力，以降低其流动性。若注塑的速度过快，塑件表面会呈现一层薄薄的乳白色，导致表面混浊。对此，应适当降低注塑速度。若料筒温度过低，熔体塑化不良，会导致塑件表面混浊。对此，应检查料筒加热装置是否工作正常，正常时则应调整至所需温度。

17.5.15　凹陷

1. 含义

塑件表面不平整、不光滑，向内产生浅坑或陷窝的现象称为凹陷。塑件在冷却过程中，由于外层紧靠型腔的地方先行冷却固化，内部或壁厚的部位后冷却固化，使得在塑件收缩时，内外的收缩速度不一致，导致外层的塑料发生塑性变形，也就是说，外层朝里陷下去而形成凹陷。

2. 产生缺陷的原因及其对策

（1）产生凹陷的主要原因　成型工艺条件不当（注塑压力不当，模具冷却不充分）；制

品的壁太厚或壁厚不均匀；原料的收缩性太大。

1）制品的壁厚不均匀引起凹陷。加强筋背面往往有凹陷，由于加强筋造成壁厚不均匀。当加强筋宽度小于相邻塑料壁厚的 50% 时凹陷情况明显好转，但加强筋顶端的宽度至少为 1mm，否则模具制造有困难。塑件中的凸台也有类似情况。

2）成型收缩率大的材料容易凹陷。结晶型大的塑料成型收缩率都很大，如聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛等，这些塑料的壁厚稍有误差或壁较厚（4mm 以上），就会出现凹陷。

3）浇口远的部位发生凹陷。熔料在充填过程中，离浇口越远压力降低越大，或遇到难以流动的地方压力传递有困难，不能对正在收缩中的熔料实现保压补料，造成凹陷。

型腔各处的压力不是完全相等的，浇口附近较高，随着离浇口的距离而递减，浇口应设在厚壁部位，利于保压。扩大流道或浇口能改善远离浇口处的凹陷情况。对远离浇口的凹陷部位增开浇口，加压补缩，效果较好。

模具中若存在熔料难以流动的部位，对成型很不利。使用高压即使勉强成型，也会在难流动部分因压力下降产生凹陷，而其他部位则高压力作用，残留内应力。

（2）减少凹陷的方法

1）工艺方面：向减少收缩方向调整成型工艺条件。降低料筒和模具温度，提高注塑压力和注塑速度，增加保压时间和冷却时间，增加注塑料量。

2）材料方面：选用熔体指数低或含有增强填料的材料。

3）模具方面：缩短主流道，扩大浇口，合理分布冷却水孔。模腔表面施以皮纹、橘皮纹、布纹、脉冲纹等装饰花纹，掩盖凹陷。

4）设备方面：准确控制温度、压力、时间等工艺参数。

5）制品方面：减少壁厚，使壁厚均匀，制品形状简单、对称。

17.5.16　冷料僵块

1. 含义

冷料僵块的表征现象是：在塑件中出现一些由冷料形成的色泽、性能与本体均不相同的塑料，使塑件的质量受到较大损害。

2. 产生缺陷的原因及其对策

出现冷料僵块的主要原因是在注塑过程中总会或多或少地产生一些冷料，如果这些冷料混入熔体中，成型后即形成冷料僵块。这种冷料僵块的性能与塑料本体有较大区别，因此需将其排除。

排除方法如下：

（1）模具方面　在流道中设置合适位置和合适容量的冷料穴，以存留冷料；在闭模前必须把喷嘴中的冷料拿掉；在开模取塑件时，要把主流道中残留的冷料除去，以避免冷料进入型腔。

（2）注塑机方面　使用规格较大的注塑机，保证注塑机的塑化能力；应该维护注塑机的供料系统，使之能够正常工作。

（3）成型操作方面　应检查料筒加热器的工作情况，以适当提高料筒的温度，使熔体塑化良好；提高模具温度，可检查模具的冷却系统，使之对模具不至降温过多。

17.5.17 顶白

1. 含义

顶白，又叫顶部泛白，其主要特征是塑件表面的比较明显的白化，即霜状微细裂纹。发生顶白的主要原因是局部受力过大，如果塑件所需的脱模力太高或顶杆的表面相对较小，在受力处的压力会很高，导致发生变形造成顶出部位泛白。在塑件出现顶白后，其耐化学药品性能和力学性能均受到很大影响。

2. 排除方法

（1）调整模具设计　塑件局部所受外力过大是产生顶白的主要原因，而这多与模具有关。如果模具的脱模斜度过小，则会使塑件的脱模阻力增大，塑件所受的力也相应增大，易于发生顶白现象。对此，应适当增加脱模斜度。特别是在加强筋和凸台附近应防止倒退拔。若型腔的加工精度不高，表面粗糙，使得脱模阻力增加而导致产生顶白。对此，应降低型腔内的表面粗糙度，必要时镀铬抛光。若顶杆部位与塑件的接触过小，塑件的局部应力很大，这种局部应力易导致顶白。对此，应适当加大顶杆端部的截面积。此外，对有型芯的塑件，由于在成型过程中型芯与塑件紧密接触，其中为真空状态，脱模实属困难，因此易于发生顶白。对此，要清除塑件与型芯间的真空状态，如在型芯内装气阀来释放真空即是一种较好的方法。

（2）调整成型工艺　适当降低注塑压力和减小熔体与模具间的温差，减少塑件中的残余应力；适当延长冷却时间，使塑件内的应力充分平衡；适当降低保压压力，在保证补料充足、不使塑件产生凹陷的前提下，适当缩短保压时间也可以防止顶白的出现。

17.5.18 白点

1. 含义

白点是一种塑件表面的瑕疵，是由于未熔化的塑料被压挤到模腔内，从而在塑件表面呈现的瑕疵，这种粒点又称为“鱼眼”。

2. 产生缺陷的原因及其对策

（1）材料选用不当和含有杂质　若原料的颗粒大小相差较大，难以完全塑化和塑化不均匀，则易产生白点。对此，应对原料进行分拣，摒除较大颗粒原料。如果原料中混有异料或不相溶的原料，则不能与其他原料一起均匀塑化，从而导致白点产生。对此，应去除异料或更换新料。

（2）成型操作不当　若料筒温度太低，则不足以将原料全部熔化或熔化不良，使得未熔化之原料成为白点夹杂于塑件中；若螺杆的转速太快，原料的塑化时间短，则来不及全部均匀塑化即被注塑出去而出现白点现象；若螺杆的背压太低，则会降低塑化的均匀性，以至留下白点。对此应提高料筒温度；在塑化阶段提高螺杆转速，以造成大量的摩擦热，将塑料熔化；提高背压，使塑料均与混合成熔胶状态。塑料供货商通常可以提供塑料的料筒温度、背压、螺杆转速等信息，但还要根据现场状况进行调整。

（3）螺杆选用不当　如果注塑螺杆的几何形状不合要求、螺杆的长径比太小、螺杆的压缩比太小，则会使得原料难以均匀塑化，以至产生白点。对此。应分别采取选用适当几何形状的螺杆、选用长径比较大的螺杆、加大螺杆压缩比等措施予以解决。此外，如果注塑螺

杆磨损太大，会使螺杆的塑化能力降低而使熔体不能均匀塑化，也会导致产生白点。对此，应检查注塑螺杆，进行修复乃至更换。

17.5.19　强度下降

1. 含义

强度下降的表征现象是：塑件的强度比预定强度低，使塑件不能承受预定负载。

2. 产生缺陷的原因及其对策

（1）模具缺陷　若模具的浇口位置不合适，如设置在受弯曲力处，制成的塑件在浇口位置的组织就受到影响，其局部强度有较大降低。对此，应改变模具浇口位置。若模具温度太低，熔体进入模具后冷却太快，使得应力集中，强度下降。对此，应适当升高模温，可检查冷却系统是否合理。若脱模斜度不够，则使得脱模困难，在强力脱模时使得塑件局部受力过大，该处组织受到损害而强度下降。对此，应增加脱模斜度。模具型腔内表面粗糙或被划伤，使得脱模困难，塑件局部因脱模机构作用而受到损伤，使强度下降。对此，应修磨型腔内表面。若顶出装置设置不平衡，则使得塑件在脱模时偏心受力，塑件因受力不均衡导致强度下降。对此，应重新设置或校核顶出装置。

（2）原材料含有杂质和水　塑料原料中混有杂质，使塑料的预定强度下降。对此，应筛除杂质及废物。原料中含水量太多，又排之不及，使得熔体中含有多量气泡，塑件强度下降。对此，应对原料进行预干燥处理。此外，如果不同型号的塑料混杂在一起，则塑件的强度难以达到要求。对此，应采用单一品种塑料。即使是同一品种不同牌号的原料，也可能使强度下降，因此，最好选用同品种、同牌号的原料。

（3）注塑机选用不当　若注塑机塑化能力较低，不能均匀塑化，则得到的塑件强度下降。对此，应检查注塑机的塑化能力，必要时换用大容量注塑机。当注塑螺杆或料筒因磨损间隙增大时，会使得原料不能均匀塑化。对此，应检修注塑螺杆和料筒，必要时应更换注塑螺杆或料筒。

（4）成型操作不当　料筒温度太高、模具温度太低、注塑压力太低、保压压力太低等因素都会造成强度下降。对此，应采取降低料筒温度、提高模具温度、提高注塑压力和提高保压压力等措施予以解决。

（5）塑件结构设计不当　若是带有嵌件的塑件，嵌件周围的塑料层厚度应适当加厚些，否则此处的强度会下降。若塑件带有尖锐角、缺口等形状，此处的应力会集中，也是强度最薄弱之处。对此，对有可能产生应力集中的地方应当尽力避免。若塑件壁厚相差过大，也是强度下降最多的地方。对此，壁厚应平滑过渡。

17.6　热塑性塑料的工艺性能

热塑性塑料品种极多，即使同一品种也由于树脂分子量及附加物配比不同而使其使用及工艺特性也有所不同。另外，为了改变原有品种的特性，常用共聚、铰链等各种化学聚合方法在原有的树脂结构中导入一定百分比量的异种单体或高分子相等树脂，以改变原有树脂的结构成为具有新的使用及工艺特性的改性品种。例如，ABS 即为在聚苯乙烯分子中导入了丙烯腈、丁二烯等异种单体后成为改性共聚物，也可称为改性聚苯乙烯，具有比聚苯乙烯优越

的使用工艺性能。由于热塑性塑料品种多、性能复杂，即使同一种类的塑料也有仅供注塑用或挤出用之分。其工艺性能如下。

1. 成形收缩率

热塑性塑料成形收缩的形式及计算如前所述，影响热塑性塑料成形收缩的因素如下。

（1）塑料品种　热塑性塑料成形过程中由于还存在结晶化引起的体积变化，内应力强，冻结在塑件内的残余应力大，分子取向性强等因素，因此与热固性塑料相比则成形收缩率较大，收缩率范围宽，方向性明显，另外成形后的收缩、退火或调湿处理后的收缩一般也都比热固性塑料大。

（2）塑件特性　成形时熔料与型腔表面接触，外层立即冷却形成低密度的固态外壳。由于塑料的导热性差，使塑件内层缓慢冷却而形成收缩大的高密度固态层。所以塑件厚则冷却慢，高密度层厚的则收缩大。另外，有无嵌件及嵌件布局、数量都直接影响料流方向、密度分布及收缩阻力大小等，所以塑件的特性对收缩大小、方向性影响较大。

（3）浇口形式、尺寸、分布　这些因素直接影响料流方向、密度分布、保压补缩作用及成形时间。用直接进料口时因浇口截面大（尤其截面较厚的）而收缩小，但方向性大，浇口宽及长度短的则方向性小。距进料口近的或与料流方向平行的则收缩大。

（4）成形条件　模具温度高，熔料冷却慢、密度高、收缩大，尤其对结晶料则因结晶度高，体积变化大，故收缩更大。模温分布与塑件内外冷却及密度均匀性也有关，直接影响到各部分收缩量大小及方向性。另外，保压压力及时间对收缩也影响较大，压力大、时间长的则收缩小但方向性大。注塑压力高，熔料粘度差小，层间剪切应力小，脱模后弹性回跳大，故收缩也可适量的减小，料温高、收缩大，但方向性小。因此在成形时调整模温、压力、注塑速度及冷却时间等诸因素也可适当改变塑件收缩情况。

模具设计时根据各种塑料的收缩范围，塑件壁厚、形状，进料口形式、尺寸及分布情况，按经验确定塑件各部位的收缩率，再来计算型腔尺寸。对高精度塑件及难以掌握收缩率时，一般宜用如下方法设计模具：

1）对塑件外径取较小收缩率，内径取较大收缩率，以留有试模后修正的余地。

2）试模确定浇注系统形式、尺寸及成形条件。

3）要后处理的塑件经后处理确定尺寸变化情况（测量时必须在脱模 24h 以后）。

4）按实际收缩情况修正模具。

5）再试模并可适当地改变工艺条件略微修正收缩值，以满足塑件要求。

2. 流动性

（1）热塑性塑料流动性大小的分类　热塑性塑料流动性大小，一般可从分子量大小、熔融指数、阿基米德螺旋线长度、表观粘度及流动比（流程长度/塑件壁厚）等一系列指数进行分析。分子量小，分子量分布宽，分子结构规整性差，熔融指数高，螺旋线长度长，表现粘度小，以及流道比大的则流动性就好，对同一品名的塑料必须检查其说明书，判断其流动性是否适用于注塑成形。按模具设计要求大致可将常用塑料的流动性分为三类：

1）流动性好，如尼龙、聚乙烯、聚苯乙烯、聚丙烯等。

2）流动性中等，如改性聚苯乙烯、有机玻璃、聚甲醛等。

3）流动性差，如聚碳酸酯、聚苯醚、氟塑料。

（2）影响各类塑料流动性的因素　各种塑料的流动性也随各成形因素而变，主要影响

的因素有如下几点：

1）温度。料温高则流动性增大，但不同塑料也各有差异，聚苯乙烯（尤其耐冲击型及 MI 值较高的）、聚丙烯、尼龙、有机玻璃、改性聚苯乙烯、聚碳酸酯及醋酸纤维等塑料的流动性随温度变化较大。对聚乙烯、聚甲醛则温度增减对其流动性影响较小。所以前者在成形时宜调节温度来控制流动性。

2）压力。注塑压力增大则熔料受剪切作用大，流动性也增大，特别是聚乙烯、聚甲醛较为敏感，所以成形时宜调节注塑压力来控制流动性。

3）模具结构。浇注系统的形式、尺寸、布置，冷却系统设计，熔料流道阻力等因素都直接影响到熔料在型腔内的实际流动性，凡促使熔料降低温度，增加流动阻力的则流动性就降低。

模具设计时应根据所用塑料的流动性，选用合理的结构。成形时则也可控制料温、模温及注塑压力、注塑速度等因素来适当地调节填充情况，以满足成形需要。

3. 结晶型

热塑性塑料按其冷凝时有无出现结晶现象可划分为结晶型塑料与非结晶型（又称无定型）塑料两大类。

所谓结晶现象即为塑料由熔融状态到冷凝时，分子由独立移动，完全处于无次序状态，变成分子停止自由运动，按略微固定的位置，并有一个使分子排列成为正规模型的倾向的一种现象。

作为判别这两类塑料的外观标准，可视塑料的壁厚塑件的透明性而定，一般结晶型塑料为不透明或半透明，无定形料为透明。但也有例外情况，ABS 为无定形料却并不透明。

在模具设计及选择注塑机时应注意对结晶料有下列要求：

1）料温上升到成形温度所需的热量多，要用塑化能力大的设备。

2）冷凝时放出热量大，要充分冷却。

3）熔态与固态的密度差大，成形收缩大，易发生缩孔、气孔。

4）冷却快结晶度低，收缩小，透明度高。结晶度与塑件壁厚有关，壁厚冷却慢，结晶度高，收缩大，物性好。所以结晶型料应按要求必须控制模温。

5）各向异性显著，内应力大。脱模后未结晶化的分子有继续结晶化倾向，处于能力不平衡状态，易发生变形、翘曲。

6）结晶熔点范围窄，易发生未熔粉末注入模具或堵塞浇口。

4. 热敏性及水敏性

1）热敏性塑料系指某些塑料对热较为敏感，在高温下受热时间较长或进浇口截面过小，剪切作用大时，料温增高易发生变色、降聚和分解的倾向，具有这种特性的塑料称为热敏性塑料。如硬聚氯乙烯、聚偏氯乙烯、醋酸乙烯共聚物、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等。热敏性塑料在分解时产生单体、气体、固体等副产物，特别是有的分解气体对人体、设备、模具都有刺激、腐蚀作用或有毒性。因此，在模具设计、选择注塑机及成形时都应注意。应选用螺杆式注塑机，浇注系统截面宜大，模具和料筒应镀铬，不得有死角滞料，必须严格控制成形温度、模温、加热时间、螺杆转速及背压等。如有分解应立即洗清设备及模具，必要时应在热敏性塑料中加入稳定剂，减弱热敏性能。

2）有的塑料即使含有少量水分，但在高温、高压下也会发生分解，这种性能称为水敏

性，对此必须预先加热干燥。

5. 应力开裂及熔融破裂

1）有的塑料对应力敏感，成形时易产生内应力并质脆易裂，塑件在外力作用下或在溶剂作用下即发生开裂现象。为此，除了在原料内加入附加剂提高抗裂性外，对原料应注意干燥，合理地选择成形条件，以减少内应力和增加抗裂性，并选择合理的塑件形状，不宜设置嵌件等，尽量减少应力集中。模具设计时应增大脱模斜度，选用合理的浇口及顶出结构，成形时应适当地调节料温、模温、注塑压力及冷却时间，尽量避免塑件过于冷脆时脱模，成形后塑件还宜进行后处理，提高抗裂性，消除内应力并禁止与溶剂接触。

2）当一定熔融指数的聚合物熔体，在恒温下通过喷嘴孔时其流速超过某值后，熔体表面发生明显横向裂纹称为熔融破裂，有损塑件外观及物性。故在选用熔融指数高的聚合物时，应增大喷嘴、浇道、进料口截面，减少注塑速度，提高料温。

6. 热性能及冷却速度

1）各种塑料有不同比热、热传导率、热变形温度等热性能。比热高的塑化时需要热量大，应选用塑化能力大的注塑机。热变形温度高的冷却时间可短，脱模早，但过模后要防止冷却变形。热传导率低的冷却速度慢（如离子聚合物等冷却速度极慢）必须充分冷却，要加强模具冷却效果。热浇道模具使用于比热低、热传导率高的塑料。比热大、热传导率低、热变形温度低，以及冷却速度慢的塑料则不利于高速成型，必须用适当的注塑机及加强模具冷却。

2）各种塑料按其品种特性及塑件形状，要求必须保持适当的冷却速度。所以模具必须按成形要求设置加热和冷却系统，以保持一定模温。当料温使模温升高时应予冷却，以防止塑件脱模后变形，缩短成形周期，降低结晶度。当塑料余热不足以使模具保持一定温度时，则模具应设有加热系统，使模具保持在一定温度，以控制冷却速度，保证流动性，改善填充条件或用以控制塑件使其缓慢冷却，防止厚壁塑件内外冷却不匀及提高结晶度等。对流动性好，成型面积大、料温不均的则按塑件成形情况有时需加热或冷却交替使用，或局部加热与冷却并用。为此模具应设有相应的冷却或加热系统。

7. 吸湿性

塑料中因有各种添加剂，使其对水分各有不同的亲疏程度，所以塑料大致可分为吸湿、粘附水分及不吸水也不易粘附水分的两种，料中含水量必须控制在允许范围内，不然在高温、高压下水分变成气体或发生水解作用，使树脂起泡、流动性下降、外观及机电性能不良。所以对吸湿性塑料必须按要求采用适当的加热方法及规范进行预热，在使用时还需用红外线照射，以防止再吸湿。

第 18 章　Moldflow 模流分析实例解析

18.1　概述

18.1.1　Moldflow 产生的背景

传统模具设计方案的拟定都是依赖长期积累的经验和大胆尝试，这种方法容易造成以下四点缺陷：

1）模具返工工作量大，废品率高。

2）模具的设计、制造周期长。

3）不能对材料、设计方案选择过程进行全面分析、评价，产品质量无法达到最优。

4）不能指出成型过程中哪些地方可以改进，无法找出最优工艺参数，影响了技术进步。

注塑模 CAE 是通过对塑料性能的研究和注塑工艺过程的模拟，为制品设计、塑料选择、模具设计、注塑工艺的制定及注塑过程的控制提供科学依据。注塑模 CAE 技术借助于有限元法、有限差分法和边界元法等数值计算方法，分析型腔中塑料的流动、保压和冷却过程，计算制品和模具的应力分布，预测制品的翘曲变形，并由此分析工艺条件、材料参数及模具结构对制品质量的影响，达到优化制品和模具结构、优选成型工艺参数的目的。由此可以节约产品开发、模具制造费用，提高产品、模具质量，缩短模具制造周期和试模周期，提升企业市场竞争力。注塑模 CAE 的计算机模拟系统可用图 18-1 表示。

18.1.2　CAE 基本功能

注塑模 CAE 分析的内容很广泛，主要包括以下几个方面：

1）充模过程模拟。

2）保压过程模拟。

3）冷却分析、纤维取向分析及翘曲分析。

4）塑料热物理性能、粘性及 P—V—T 数据的测定。

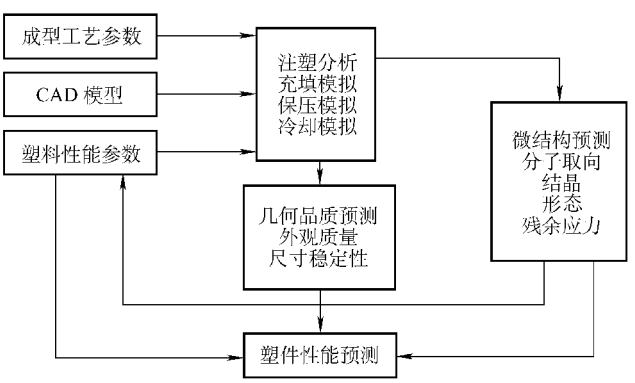


图 18-1　注塑 CAE 的总体结构

填充模拟和保压模拟统称流动模拟，流动模拟是注塑模 CAE 的主要内容之一，因而注塑模 CAE 分析又常称为注塑成型模流分析。注塑成型模流分析技术旨在预测塑料熔体流经流道、浇口并填充模具型腔的过程，计算浇注系统及模具型腔的压力场、温度场、速度场、剪切应变速率场和剪切应力场的分布，并将分析结果以图表、等值线图和真实感图的方式直观地反映在计算机的屏幕上。由

于采用流动模拟可优化浇口数目、浇口位置和注塑工艺参数，预测所需的注塑压力和锁模力，并发现可能出现的注塑不足、烧焦、不合理的熔接痕位置和气穴等缺陷。流动模拟软件一经问世便得到了塑料行业和模具界的好评，应用范围与日俱增。

通常注塑模 CAE 系统的使用大致上分为前处理、分析求解、后处理三个步骤，注塑模 CAE 系统也由相应的三个模块组成。

1）前处理：设定成型树脂、模具材料、注塑机规格及冷却液种类等；建立有限元模型（FEM），将流道、浇口及型腔建成有限元网格；设定成型条件，包括注塑压力、注塑速度和冷却温度等。

2）分析求解：包括填充分析、保压分析、冷却分析及翘曲分析等。

3）后处理：各种分析结果的数据显示，包括彩色云纹图、等值线图、$z-y$ 平面图及文字报告、数字显示等。如图 18-2 所示为 CAE 软件执行流程。

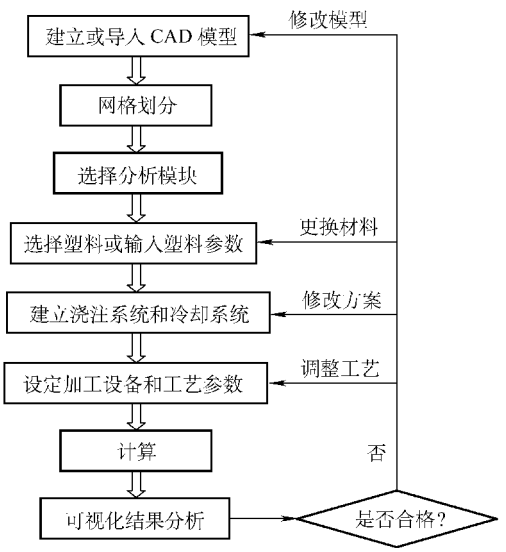


图 18-2 CAE 软件执行流程图

18.1.3 应用范围

近年来，CAE 分析在注塑领域中的重要性日益增大。CAE 分析已从原理上说明了许多使注塑失败的原因，如翘曲、飞边等。实际经验往往不足以鉴别潜在的问题，可以用经验解决的生产问题太有限，只有采用 CAE 分析这样的技术，才能全面应付注塑中出现的问题，加工出优质产品。目前，注塑模 CAE 软件（常称模流分析软件）能成功地应用在三个方面：制品设计、模具设计及成型工艺。

1. 制品设计

制品设计者通过模流分析解决下列问题：

（1）制品能否全部充满　这是一个为广大模具设计者普遍关注的问题，特别是当设计大型制品时尤其如此。在设计者的心目中，材料结构特性、装饰特性和加工特性之间的关系往往模糊不清，而模流分析以科学的方式提供了在设计阶段对不同塑料及其与成型有关的特性进行评价的方法。

（2）制品实际最小壁厚是多少　这是一个直接关系到制品成本的问题。塑料成本往往占成本的 40%，使用薄壁制品就能大大降低制品的用料成本，缩短冷却时间（冷却时间是制品壁厚平方的函数），提高生产效率，进而又降低了制品的成本。

（3）浇口的位置是否合适　浇口的位置对产品的质量有至关重要的影响，适当运用模拟流动分析方法能使产品设计者在设计时具有充分的选择浇口位置的余地，确保设计的审美特性，并同时满足合理的价格要求。

2. 模具设计和制造

流动分析可以在以下诸方面辅助设计者和制造者，以期得到良好的模具设计。

（1）良好的填充形式　对任何注塑来说，最重要的是控制填充的方式，采用模流分析

则可以最大限度地避免或消除因为填充不好所造成的分子取向和翘曲变形，从而保证产品的质量和生产的经济性。

（2）最佳的浇口位置及浇口数量　为了对填充方式进行控制，模具设计者必须选择合适的浇口位置和浇口数量。模流分析使设计者有多种浇口位置的选择方案并对其影响作出评价。这一分析也可受制品设计指导，以期外观质量及成型方面得到最佳的浇口平衡。

（3）浇注系统的设计　在模具设计中采用平衡式浇注系统，无论对设计者、制造者还是产品质量本身都是有利的。非平衡式浇注系统的设计是令设计者非常头痛的事情，它要经过大量修改、试模才达到较为理想的状态。而采用模流分析则可以帮助设计者较为轻松地设计出压力平衡、温度平衡，或者压力、温度都平衡的非平衡式浇注系统。并可对流道内剪切速率和摩擦热进行估算，进而可以避免由于浇注系统设计的问题而使材料产生降解和型腔内过高的熔体温度。

（4）冷却系统的设计　通过冷却分析，可以合理地布置冷却水道，获得合理的冷却效果，缩短冷却时间、减少翘曲变形，提高制品质量。

（5）减少返修成本　模流分析可以提高模具一次试模成功的可能性。设计者和使用者都知道，模具的反复返工要耗损大量的时间和财力。模流分析使得在试模之前就可确认各种模具设计方案对模塑过程的影响，无疑将大大减少时间和财力的消耗。此外，未经反复返工的模具，其寿命也较长。

3. 成型工艺

（1）更加宽广更加稳定的加工“裕度”　是模流分析对熔体温度、模具温度和注塑速度等主要注塑加工参数的变动影响提出一个目标趋势。借助模流分析，注塑工便可估定各个加工参数的正确值，并确定其变动范围。会同模具设计者一起，选择使用最经济的设备，确定最佳的模具方案。

（2）减少制品应力和翘曲　选择最好的加工参数使制品残余应力最小。残余应力常使制品在成型后出现翘曲，甚至发生失效。

（3）省料和减少过量充模　采用模流分析技术一般可以节省 5% 的材料，这对大量生产来说是很有意义的。同时它还有助于消除因局部过量注塑所造成的翘曲。

（4）最小的流道尺寸和回收料成本　模流分析有助于选定最佳的流道尺寸，从而尽量减小浇注系统的体积，减少流道部分塑料的冷却时间，缩短整个注塑周期，并将回收料成本降到最低。

18.1.4　注塑模 CAE 技术的发展概况

1. 一维流动分析

一维流动分析采用有限差分法求解，可得到熔体的压力、温度分布以及所需的注塑压力，一维流动分析计算速度快，流动前沿位置容易确定，可根据给定的流量和时间增量直接计算出下一时刻的熔体前沿位置，但仅局限于简单、规则的几何形状，在生产实际中的应用很受限制。

对一维流动分析的研究始于 20 世纪 60 年代，研究对象主要是几何形状简单的圆管、矩形或中心浇注的圆盘等。

2. 中面流技术

中面流技术的应用始于20世纪80年代。其原理为将3D几何模型简化成2.5D中面几何模型，其数值方法主要采用基于中面的有限元/有限差分/控制体积法。所谓中面是指位于制品内外表面或模具型腔/型芯表面间的中心面。其模拟过程如图18-3所示。

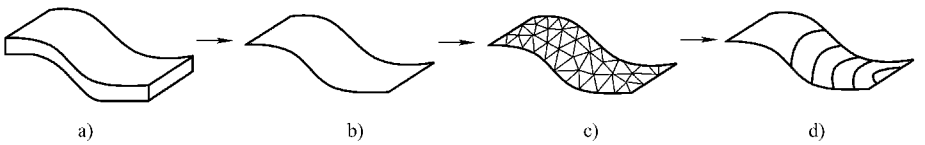


图18-3 基于中面模型的模拟过程

a）三维实体/表面模型 b）中面模型 c）中面模型网格划分 d）模拟结果显示

在中面流技术中，由于制品的厚度远小于其他两个方向（常称流动方向）的尺寸，塑料熔体的粘度大，可将熔体的充模流动视为扩展层流，于是熔体的厚度方向速度分量被忽略，并假定熔体中的压力不沿厚度方向变化，这样才能将三维流动问题分解为流动方向的二维问题和厚度方向的一维分析。由此推导得到广义Hele－Shaw模型，它适用于非等温、非牛顿、非弹性薄壁型腔的充模过程。流动方向的各待求量，如压力与温度等，用二维有限元法求解，而厚度方向的各待求量和时间变量等，用一维有限差分法求解。在求解过程中，有限元法与有限差分法交替进行，相互依赖。控制体积法用来跟踪熔体流动前沿。

利用所建立的中面进行模流分析，即以平面流动来仿真三维实体流动。此分析技术发展至今已相当成熟稳定，其优点为分析速度快、效率高，且对于大部分塑料件流动分析皆可得出准确的结果，特别是塑料薄件（市面上约九成塑料件皆为薄件）。因此广为人们所使用，目前为整个模流分析市场的主流。

实践表明，基于中面流技术的注塑成型流动软件在应用中具有很大的局限性，具体表现为：

1）专业的注塑模CAE软件造型功能较差，采用手工操作直接构造中面模型十分困难，建构过程往往需要花费大量的时间。

2）由CAE软件根据产品三维模型自动计算生成中面模型的效果不理想，网格修补工作量大。

3）由于CAD阶段使用的是产品的物理模型，而CAE阶段使用的是产品的数学模型，两者的不统一，使得二次建模不可避免。无法完全仿真三维实体流动效应，如粘滞拖曳效应（Viscous drag）、惯性效应（Inertial effect）、非恒温流体（Non－isothermal flow）、非牛顿流体（Non－Newtonian flow）、侧壁效应（Side wall effect）和喷泉效应（Fountain effect）等，尤其是塑料厚件三维流动效应特别明显，所以传统分析技术无法得到精准的结果。

由此可见，中面模型已经成为了注塑模CAE技术发展的瓶颈。采用实体/表面模型来取代中面模型势在必行，在20世纪90年代后期基于双面流技术的流动模拟软件便应运而生。

3. 双面流技术

所谓双面流是指将模具型腔或制品在厚度方向上分成两部分，有限元网格在型腔或制品

的表面产生，而不是在中面。相应地，与基于中面的有限差分法是在中面两侧进行不同，厚度方向上的有限差分仅在表面内侧进行。在流动过程中上下两表面的塑料熔体同时并且协调地流动，其模拟过程如图 18-4 所示。

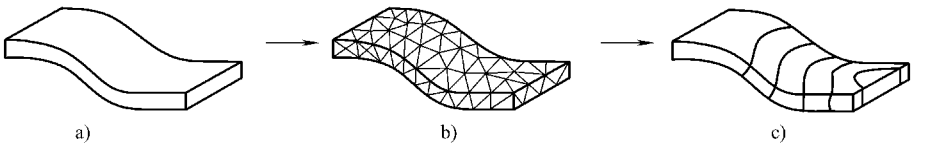


图 18-4　基于双面流的模拟过程

a）三维实体/表面模型（STL 格式）　b）表面网格划分　c）流动前沿显示

显然，双面流技术所应用的原理及方法与中面流没有本质上的差别，所不同的是双面流采用了一系列相关的算法，将沿中面流动的单股熔体演变为沿上下表面协调流动的双股流。由于上下表面处的网格无法一一对应，而且网格形状、方位与大小也不可能完全对称，如何将上下对应表面的熔体流动前沿所存在的差别控制在工程上所允许的范围内是实施双面流技术的难点所在。

双面流技术既保留中面流全部技术特点又基于实体/表面技术模型。用户可借助于任何商品化的 CAD/CAM 系统生成所需制品的三维几何模型的 STL 格式文件，流动模拟软件可以自动将该 STL 文件转化为有限元网格模型供注塑流动分析，这样就大大减轻了用户建模的负担，降低了对用户的技术要求。因此，基于双面流技术的注塑流动模拟软件问世时间虽然只有短短数年，便在全世界拥有了庞大的用户群，得到了广大用户的支持和好评。

双面流技术具有明显优点的同时也存在着明显的缺点：上下对应表面的熔体流动前沿存在差别，使得双面流技术分析的准确性受到一定的限制；由于对问题的简化，使得分析结果数据不完整。数据的不完整，造成了流动模拟与冷却分析、应力分析、翘曲分析集成的困难。此外，熔体仅沿着上下表面流动，在厚度方向上未作任何处理，缺乏真实感。

从某种意义上讲，双面流技术只是一种从二维半数值分析（中面流）向三维数值分析（实体流）过渡的手段。要实现塑料注塑制品的虚拟制造，必须依靠实体流技术。

4. 实体流技术

实体流技术在实现原理上仍与中面流技术相同，所不同的是数值分析方法有较大差别。在实体流技术中熔体的厚度方向的速度分量不再被忽略，熔体的压力随厚度方向变化，这时只能采用立体网格，依靠三维有限差分法或三维有限元法对熔体的充模流动进行数值分析。三维流动模拟一直是当今塑料注塑领域中的研究热点，其技术难点多、经历实践考验的时间短、计算量巨大、计算时间过长。冗长的运行时间与虚拟制造的宗旨大相径庭，塑料制品的虚拟制造是将制品设计与模具设计紧密结合在一起的协同设计，追求的是高质量、低成本和短周期。因此要真正推广基于实体流技术的注塑模 CAE 软件仍有待软件算法的改进和计算机硬件设备速度的提升。

值得注意的是，注塑成型 CAE 分析是一种理想状态下的理论分析，并不能完全取代试模，且目前主流算法的局限性是 CAE 软件推广应用的瓶颈。注塑模 CAE 软件的发展经历了从中面流技术到双面流技术再到实体流技术的三个重要的里程碑。目前由于实体流和双面流技术算法的不完善，三种分析技术仍然并存。当前常用的做法是：对流道采用一维网格；对

薄壁类制品采用中面或双面网格；对厚、粗的制品采用三维网格。

18.1.5 注塑模 CAE 专用软件

CAE 技术的出现，为注塑模设计提供了可靠的保证，是模具设计史上的一次重大变革。如今国际市场上涌现出大量的注塑模 CAE 商品化软件。

MoldFlow 软件是澳大利亚 MOLDFLOW 公司的产品，该公司自 1976 年发行了世界上第一套塑料注塑成型流动分析软件以来，一直主导塑料成型 CAE 软件市场。2000 年 4 月，收购了美国 Ac _ Tech 公司开发的世界著名的塑料成型分析软件 C – Mold，推出了 MPI3.0，该软件综合了 Moldflow 和 C – Mold 的功能。

Moldflow 软件主要用来提供分析解决方案和制造解决方案，包括三部分：MoldFlow Plastics Advisers（产品优化顾问，简称 MPA）、MoldFlow Plastics Insight（注塑成型模拟分析，简称 MPI）和 Mold – Flow Plastics Xpert（注塑成型过程控制专家，简称 MPX）。

1. MPI

一般情况下，最常用的是 MPI。MPI 可以模拟整个注塑成型过程、优化制品设计、模具设计和注塑成型过程。可得到最佳的浇口数量与位置，合理的流道系统与冷却系统，可对型腔尺寸、浇口尺寸、流道尺寸和冷却系统尺寸进行优化，并且还能对注塑工艺参数进行优化。2008 年，Moldflow 正式发布 MPI 最新版本 6.2。

MPI/FLOW 为 MPI 的基本模块，包括以下功能：

（1）模型及几何建模　能够对各种复杂的产品曲面进行造型，并能对模具冷流道、热流道及冷却管道方便地进行造型，并能自动进行有限单元网格划分。

（2）结果显示　能够对计算机计算结果按等值线、光照或按照有限单元、单元节点等多种方式显示，并能方便地放大、缩小、旋转、平移显示结果。

（3）标准图形接口　能够将 CAD/CAM/CAE 软件的 IGES 格式造型文件方便地输入到 Moldflow 造型模块，节省造型时间，方便产品分析。

（4）有限单元文件接口　能够将 ANSYS、Patran、I – DEAS、C – MOLD 软件产生的产品造型网格文件通过此接口直接传入到 Moldflow 软件中，方便地用于分析，无需再对产品进行造型。

（5）材料、工艺参数数据库　Moldflow 材料、工艺参数数据库中包括近 5000 种树脂材料和各种常用的模具材料、冷却液、注塑机，方便地为您在模拟分析时提供选择；另外，此模块还可根据产品尺寸和所选材料为您提供初步的工艺参数，包括熔料温度、填充时间、锁模力、注塑压力等。

（6）实体模型网格自动生成　此模块可以将 CAD 软件（如：UG、Pro/E、SolidWorks）中的三维几何产品造型通过 STL 格式直接划分成 Moldflow 网格文件，进行 Moldflow 分析；该模块使用户能更好地将已有的 CAD 软件与 Moldflow 软件配合使用，减少产品重复造型，方便快捷，是横跨其他 CAD 软件和 Moldflow 软件之间的一座天桥。

（7）流动分析　在产品造型、材料、工艺确定后，通过 Moldflow 流动分析模块的模拟，可以得到在注塑过程中，熔融树脂填充模具型腔时的各种结果及参数，如：型腔温度、压力、熔料推进过程、锁模力大小、熔接痕出现位置、气穴出现位置等；并能根据产品的几何形状优化注塑时注塑机的螺杆曲线。

其他主要模块如下：

1）MPI/FUSION 双面流动分析：将 IGES 面模型、STL 格式文件、STEP 格式文件、Parasolid格式文件等直接划分有限元网格，即通过此模块可以直接将 CAD 模型转为 Moldflow 分析模型，无需再建模。

2）MPI/FLOW3D 真三维流动分析：该模块是建立在四面体立体网格上的真三维流动、保压分析。主要用于厚壁制品的分析，预测成型过程中的各种参数，包括熔料推进过程、温度、压力、剪切应力等，通过以上结果可以分析制品成型后可能产生的缺陷，包括熔接痕、气穴、缩痕等。

3）MPI/COOL 冷却分析：通过 Moldflow 冷却分析模块，可以优化模具设计方案的冷却系统，包括：冷却管道的数目、位置、尺寸，冷却过程中的各项工艺参数等；优化后的方案可以减少动、定模温差，缩短生产周期，提高生产效率。

4）MPI/SHRINK 收缩分析：了解制品各个部分及各个方向的收缩情况及其原因，并可预测缩痕、收缩翘曲情况等。

5）MPI/WARP 翘曲变形分析：能够精确地计算因冷却及收缩不均匀而产生的产品收缩和变形，并分析其原因；帮助模具设计师收放模具型腔尺寸，优化设计模具结构，使得制出的产品收缩变形减少，保证装配尺寸。

6）MPI/FIBER 纤维取向分析：纤维取向分析模块可以对添加了纤维材料的塑料填充全过程进行模拟，确定纤维在制品中的取向，保证制品性能。

7）MPI/STRESS 残余应力分析：能够计算模具型腔在填充、保压、冷却等各个时期内，由于因冷却不均匀、收缩不均匀、模壁摩擦等原因引起的产品各部分出现内应力；通过此模块的优化，可以保证制出的制品有较好的力学性能。

8）MPI/OPTIM 优化设计专家：能优化流道尺寸、浇口位置，使型腔填充均匀，避免由填充不均匀所导致的残余应力、翘曲变形；提供优化的填充、保压阶段的螺杆行程 - 速度曲线及其他工艺参数，确保熔料在型腔中均匀前进。使用者无需丰富的经验，也可设计出合理的浇注系统，设定合理的工艺条件。

9）MPI/GAS 气体辅助成型分析：气体辅助成型分析模块可以对采用气体辅助成型的工艺进行塑料流动、气体穿透情况分析，并提供相应的注塑工艺及气体穿透参数，如注塑时间、开始充气时间、保压时间、气体保压压力曲线、螺杆变速曲线等。

10）MPI/TSETS 热固性塑料成型分析：模拟热固性塑料在型腔中从物料熔融塑化到反应成型固化的过程，并预测树脂填充型腔时的各种参数，如：型腔温度、压力、熔料推进过程、锁模力大小、熔接痕出现位置、气穴出现位置等。

MPI6. 1 中有中性面（Midplane）、双面（Fusion）、三维（3D）等 3 类网格类型可供选择。

MPI 中可进行的分析工艺有：热塑性注塑（Thermoplastics Injection Molding）、热塑性重叠注塑，即双色注塑（Thermoplastics Overmolding）、微孔发泡注塑（Microcellular Injection Molding）、气辅注塑（Gas - Assisted Injection Molding）、共注塑（Co - Injection Molding）、注 - 压成型（Injection - Compression Molding）、反应注 - 压成型（Reactive Injection - Compression Molding）、反应成型（Reactive Molding）、多料筒反应成型（Multiple - Barrel Reactive Molding）、微芯片封装（Microchip Encapsulation）、传递成型/结构反应成型（RTM/

SRIM）、覆晶封装（Underfill Encapsulation）。

MPI 中可进行的分析类型有：填充（Fill）、流动（Flow）、冷却（Cooling）、翘曲（Warpage）、快速填充（Fast Fill）、纤维流动（Fiber Flow）、应力（Stress）、收缩（Shrinkage）、成型窗口（Molding Window）、浇口位置（Gate Location）、流道平衡（Runner Balance）、双折射（Birefringence）、工艺优化（Process Optimization）、实验设计（Design of Experiments）等。根据分析的需要可以作分析顺序的选择，如填充 + 冷却 + 流动 + 翘曲。

在目前，软件还不支持各分析工艺的所有分析类型，网格类型的选择也有限制，比如多料筒反应成型，目前的软件版本只能做流动分析，网格类型也局限于中面网格。

图 18-5 至图 18-10 所示分别为采用 MPI 模拟的一显示器前壳气辅成型的熔体填充时间、熔体流动前沿温度、注塑压力时间历程、锁模力时间历程、气穴分布和成型后熔体厚度分数

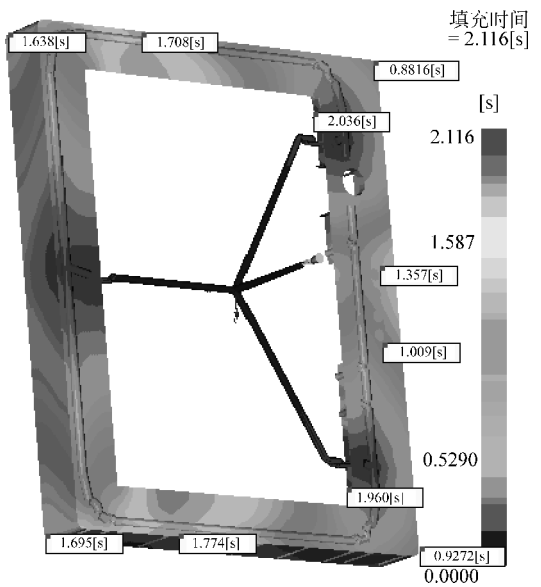


图 18-5　熔体填充时间

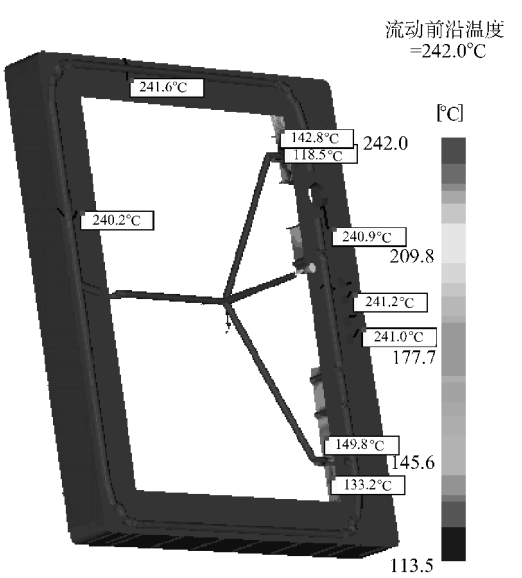


图 18-6　熔体前沿温度

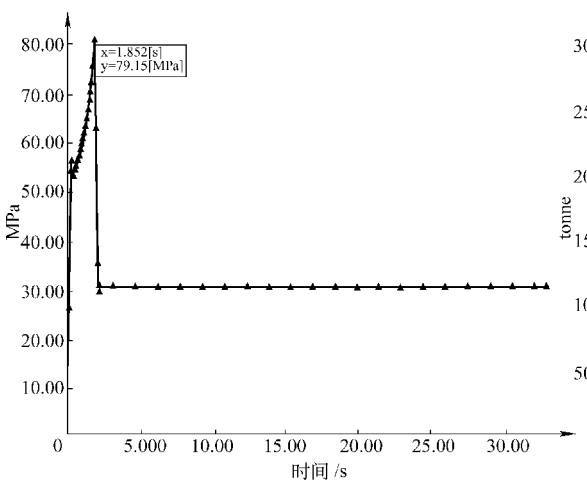


图 18-7　注塑压力时间历程

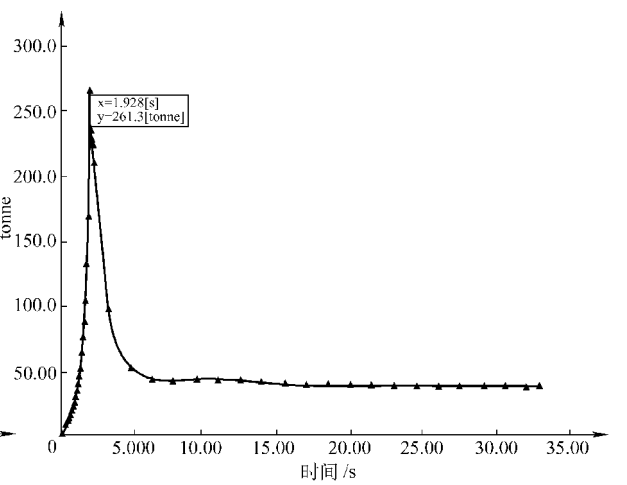


图 18-8　锁模力时间历程

(由此可看到气体在塑料中的穿透状况)。

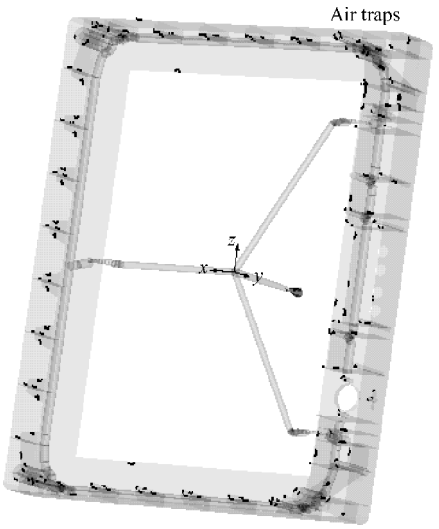


图 18-9　气穴分布

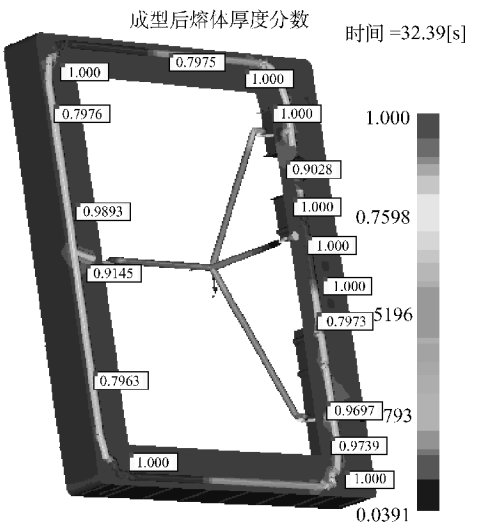


图 18-10　成型后熔体厚度分数

2. MPA

MPA 是基于 CAE 模拟的塑料制品和模具设计解决方案，包括 Moldflow Part Adviser 和 Moldflow Mold Adviser 两部分。Moldflow Part Adviser 让产品设计工程师在产品设计阶段便能考虑加工过程中的关键问题。产品设计工程师在产品设计中能很快得到对于制品的壁厚、浇口位置等因素的修改是如何影响产品的最终加工性能。Moldflow Part Adviser 提供熔接痕位置，困气以及熔体在型腔中的流动，压力和温度分布的准确信息。Moldflow Mold Adviser 扩展了 Moldflow Part Adviser 的功能，使模具设计者优化模具结构设计时，可以快速进行流道、浇口，以及型腔布置的优化。利用 Moldflow Mold Adviser，模具设计者可以创建并模拟塑料通过单型腔、多型腔的流动。用户可以优化浇口类型、大小和位置，以及流道的布局、大小和横截面的形状，可预测锁模力、注塑体积、生产周期等。可选的 Moldflow Mold Adviser 附加模块，使用户可以模拟注塑成型过程的更多阶段，并评估成型零件的性能和冷却水路设计。

MPA 基于双面流技术，用户可以直接使用 3D 实体 CAD 模型，而不需要创建甚至不需要查看有限元网格，从而节省模型准备时间。直观的结果显示和详细的设计建议帮助用户快速优化零件和模具设计，易学易用。基于 web 的自动报告生成器方便了从设计到制造的团队所有成员之间交流结果。2008 年 Moldflow 推出 MPA8. 1。

3. MPX

MPX 是集成硬件为一体的注塑品质控制专家，可以直接与注塑机控制器相连，用于自动试模、优化注塑参数和注塑产品质量控制。MPX 用系统化的技术代替了传统的试模和注塑控制。包括试模专家、工艺专家和注塑专家。试模专家可以将多种参数设置或 CAE 分析结果作为初始值，自动优化注塑参数，直到整个试模过程完成；工艺专家可以自动建立最优化的工艺参数点，同时建立最大的工艺窗口；注塑专家系统可以监控整个注塑过程，并自动对超出工艺窗口的参数进行调整，以得到高效、高质量的产品。

18.2 Moldflow 模具分析应用实例

通过 Moldflow 软件对制品的浇口位置、填充、保压、冷却、翘曲过程，以及注塑工艺条件等进行优化模拟分析，找出可能出现的缺陷，使设计人员从中发现问题并修改优化设计。实践证明，塑料注塑成型数值模拟技术对优化模具设计、提高塑料制品质量、降低成本起着关键作用。

18.2.1 浇口位置分析（Gate location analysis）

注塑成型填充流动过程是一个相当复杂的物理过程，非牛顿流体的高温塑料熔体在压力的驱动下通过流道、浇口向较低温度的型腔填充，一方面由于模具传热而快速冷却，另一方面因高速剪切产生热量，同时伴随有熔体固化、体积收缩、分子取向及可能的结晶过程。随着塑料熔体压力、温度和剪切速率等物理量在充模过程中的发展变化，塑料熔体的流动行为将直接影响制品的最终形状、内部结构、取向和残余应力。因此人们希望在模具制造之前就能够预测熔体的填充状况，以便及早发现问题，修改设计图样而不是返修模具。填充分析技术的出现提供了这种可能，它可以预测熔体流经流道、浇口填充型腔的过程，可用于优化产品和模具设计，确定合理的浇口和流道设计，预测所需的注塑压力和锁模力，并发现可能出现的成型缺陷，将工程设计问题建立在科学分析的基础上。

在注塑成型中，浇口的位置经常会影响熔体在模腔内的流动特性、内应力，以及制品熔接缝的形成、制品表面质量、制品高温下的收缩和变形，利用 Moldflow 中的“Gate location”（浇口位置）分析，可得到最佳浇口的位置，为模具设计中浇口位置的选择提供了一种有效的方法。

但是，浇口位置分析只是一种工具，用来帮助和完善工程师的设计而不是取代他们。因此，和其他工具一样，分析模拟作用的大小取决于使用者的熟练程度，或者说，取决于使用者对分析模拟结果的正确认识和判断。

1. CAD 模型导入

首先用 UG、PROE 或其他 CAD 软件建立 3D 模型，接着在 Moldflow 新建一个工程项目，然后通过 STL 或者 IGS 文件格式导入，选择表面网格“fusion”为有限元网格类型，产品尺寸单位为“mm”。导入模型后，通常需要根据分析的具体需要，将模型进行一定简化处理，一般情况下，小圆角、小倒角及制品上的刻字都需要简化处理掉（一般在 CAD 软件要先处理掉）。通过简化处理，不仅简化了网格的处理，同时提高了模拟的运算速度，提高模拟的精度。如图 18-11 所示。

2. 网格划分

Mo1dflow 提供了大量的网格划分检查和修补工具，可以使网格划分达到分析要求的精度。经过自动划分、网格统计检查、网格自动修补、人工修补网格，得到的网格单元为 23856 个，最大纵横比为 14.687985，最小纵横比为 1.156544，平均纵横比为 2.246615。划分结果如图 18-12 所示。

3. 分析计算

Moldflow 软件是根据高分子流变学、弹力力学和有限元计算方法来模拟整个注塑成型过

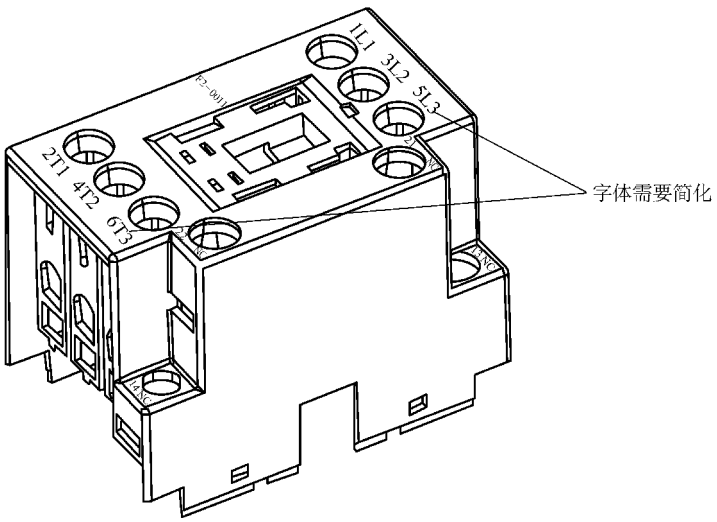


图 18-11　制品 3D 模型

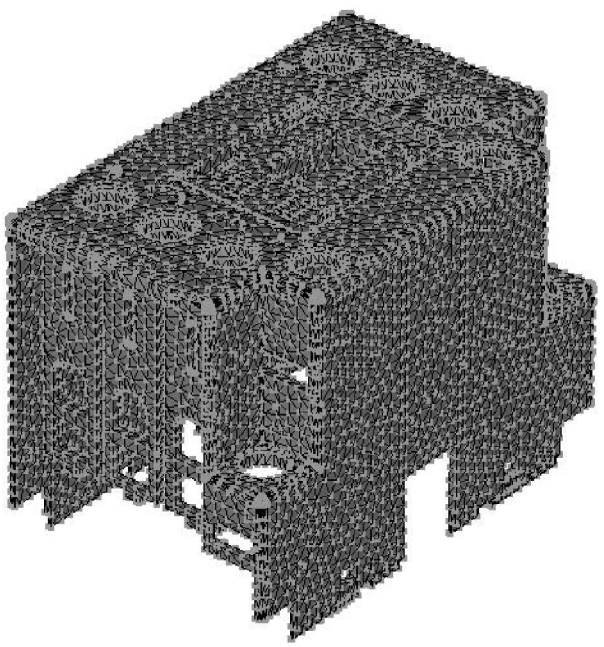


图 18-12　网格划分图

程，通过对产品进行有限元网格划分，取得熔融塑料流动前锋位置的节点，计算是从原点已经计算出来的熔融塑料前锋某一节点开始，向与节点相连的另一组节点过渡。在计算过程中，自动调整迭代参数以及其他相关系数求解非牛顿流体、非等温状态下的流动方程和热传递方程，完成一次计算，熔融塑料流动前锋的位置向前增加一点，最后模拟出熔融塑料的流动填充过程。

分析结束后，从“Results Summary”按钮，以文字形式报告最佳浇口位置信息处于节点 N10346，如图 18-13 所示。

```
Maximum design clamp force                    =      5600.18 tonne
Maximum design injection pressure              =       140.00 MPa
Recommended gate location(s) are:
   Near node                                   =        10346
```

图 18-13　浇口位置信息

最终将得到最佳浇口位置示意图，如图 18-14 所示。合理性因子最大值为 1（最佳），最小值为 0（最差），制品上某点处的因子越大，表明浇口位置设在此处越合理，从示意图可以看出，顶部深蓝色部分即为最佳浇口位置分布区域。

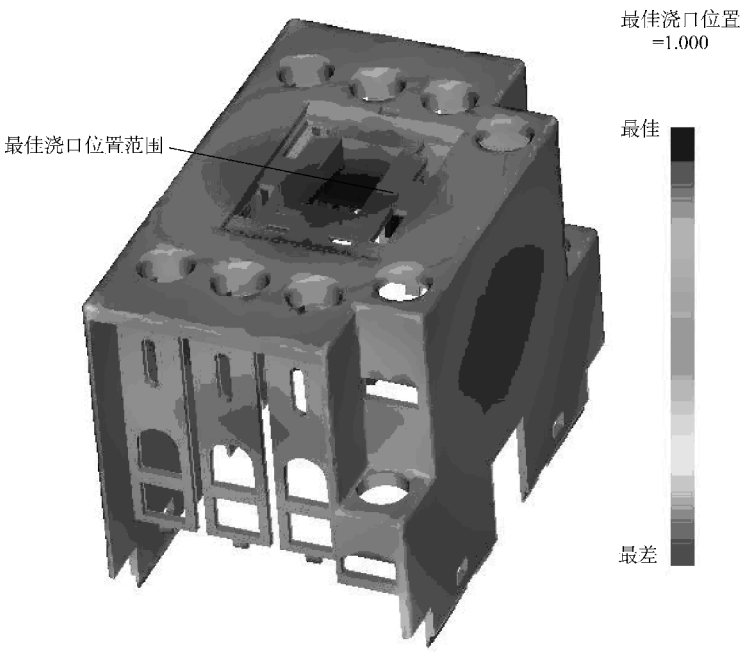


图 18-14　最佳浇口位置分析结果示意图

在“Gate Location”分析结果中，只是得到了一个浇口的最佳参考位置。下一步需要根据现有的分析结果对进行填充、流动、冷却及相应的翘曲计算，再根据得到的结果进一步分析产品的质量及模具设计的合理性，从而向最佳方案逼近。

一般理想浇口位置的设计准则为：

1）浇口位置应保证制品的完全填充。

2）浇口位置应保证熔体流动可以将模具中的气体推到分型面或能够有效地排气，以防止困气，保证型腔中的空气得到充分的释放，以避免产生气穴甚至发生烧斑、填充不满等现象。

3）浇口位置应设置在较厚的部位，使熔体由厚壁处流向薄壁区域，保证熔体的充分填充。

4）浇口位置应保证各个方向的流动长度相等，防止制品的部分区域过保压，如对称制品应将浇口设置在对称点，以避免非对称填充所引起的收缩和翘曲。

5）浇口位置不应处于承受强载荷的区域，因为浇口区域有可能是强度最弱的部位。

6）浇口位置应防止喷射的发生。

7）应尽量减少熔接线的出现，特别是在主要表面上出现熔接线、流痕等，以避免影响材料的使用性能和制品表面质量等。

8）不能设计在外观表面和功能表面。

18.2.2　填充分析（Fill analysis）

注塑成型过程中，从模具闭合开始，螺杆或柱塞注塑机在高压下将塑料熔体注入模具型腔，直到熔体到达型腔的末端并充满整个型腔，这一阶段称为“Fill”（填充）。

Moldflow 中的 Fill 分析，可以对塑料熔体从开始进入型腔直到充满型腔的整个过程进行模拟。根据模拟的结果，可以获得熔体在整个腔体内的流动行为信息，从而判断其模具结构、浇注系统、工艺参数等是否合理。

与 Gate Location 分析类似，Fill 分析也是其他分析类型的基础。只有在 Fill 分析得到合理的填充结果的基础上，才能保证其他后续分析结果的合理性。填充分析的目的是避免出现流动不平衡、短射等问题，同时获得注塑压力和锁模力的最低值，为经济地选取注塑机提供依据。

1. 浇注系统设计

从“Gate Location”（浇口位置）分析知道最佳浇口位置在节点 N10346，同时，最佳浇口位置处于制品的顶部中间位置，所以需要采用点浇口形式。如图 18-15 所示。

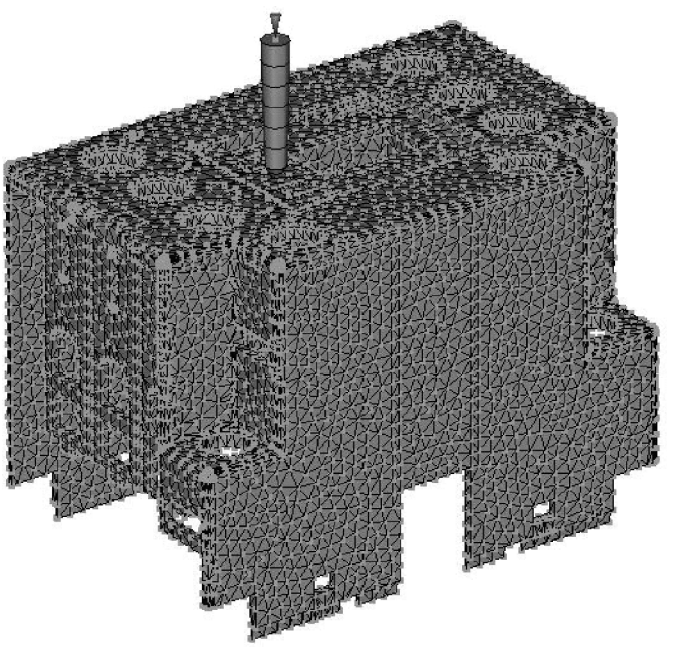


图 18-15　网格模型和浇注系统

2. 参数设置

选择分析类型为“Fill”。

塑料选用 PA6 +25% GF。

工艺参数设置，如图 18-16 所示。模温 70℃，熔体温度 235℃。

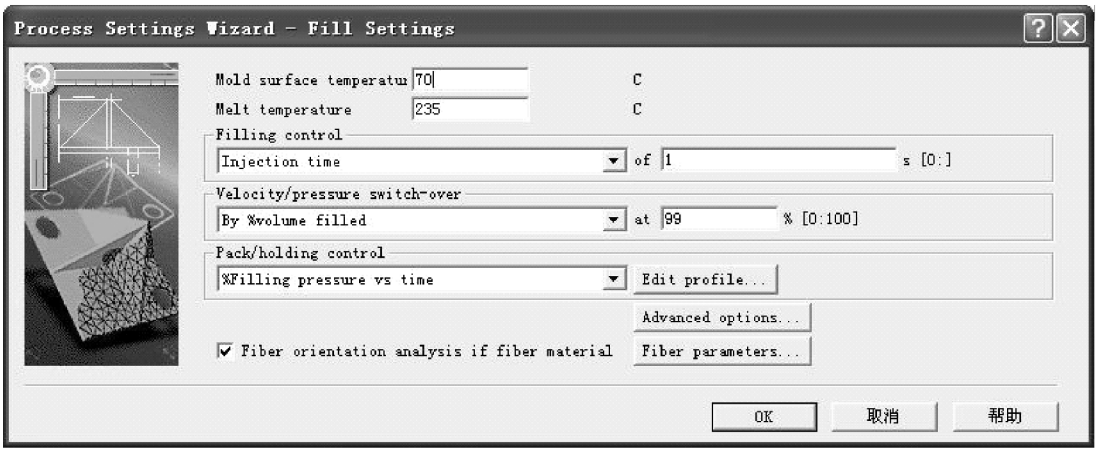


图 18-16　填充分析工艺参数设置

3. 分析结果

填充时间：从图 18-17 所示的填充时间分布图可以看出，塑料熔体的云纹间距很均匀，另外几乎是同时到达制品底部末端的，所以注塑是比较平衡的。

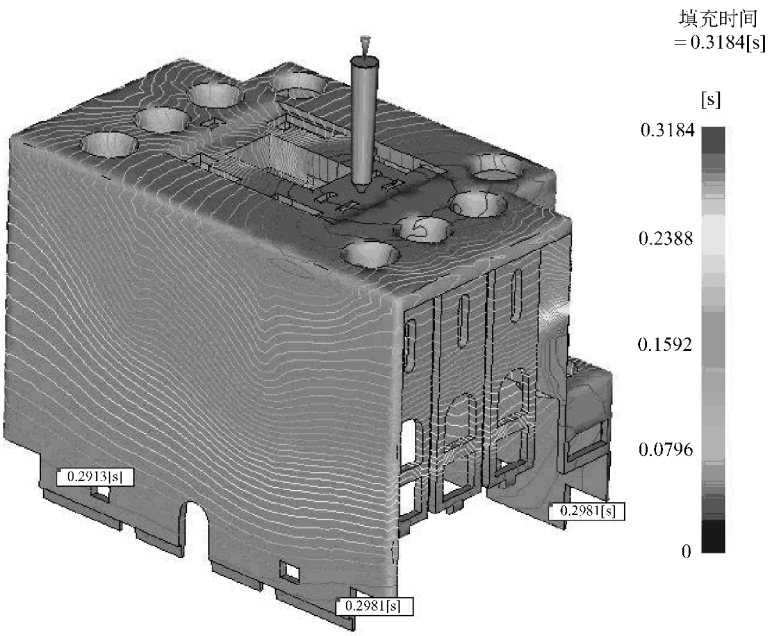


图 18-17　填充时间分布图

熔体流动前沿温度：如图 18-18 所示，最高平均温度为 236.1℃，最低 225.3℃，模型的温度差为 10.8℃，远小于允许值的温度差 20℃，证明是比较理想的。

熔接痕：如图 18-19 所示，非外观面区域熔接痕比较明显，所以模具结构要注意排气。

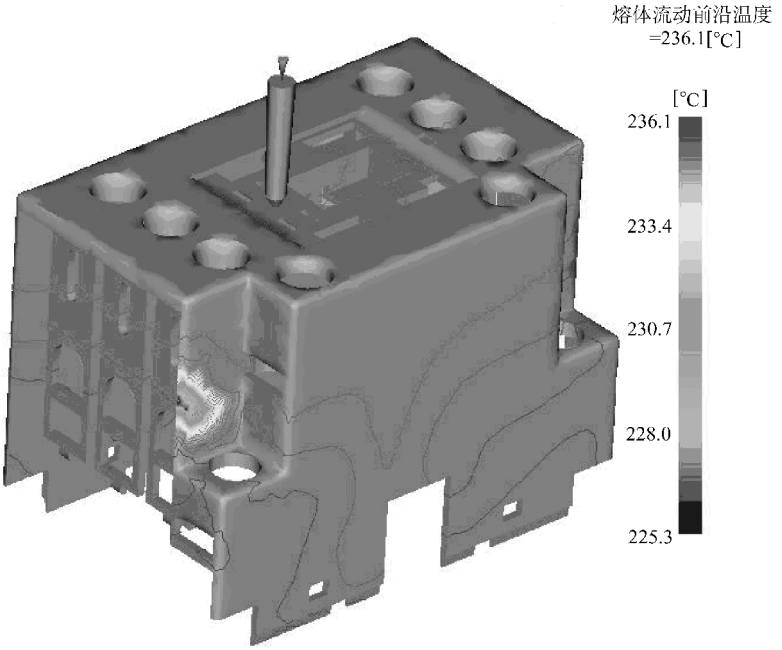


图 18-18　熔体流动前沿温度分布图

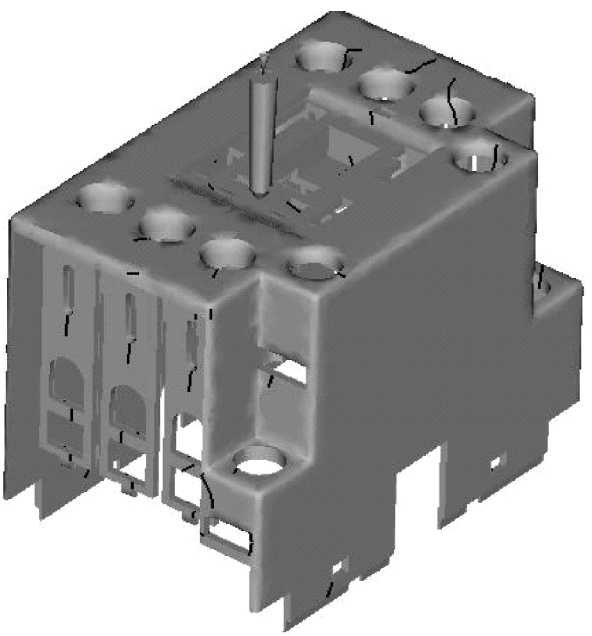


图 18-19　熔接痕分布图

根据以上分析结果可知，利用上述浇注系统进行注塑，其效果是比较理想的。

18.2.3　流动分析（Flow analysis）

Flow 分析面向的是注塑成型过程的填充和保压阶段，总体目标是尽可能地降低由保压

引起的制品收缩、翘曲等缺陷。具体地说，通过对熔体流动过程的分析，尽量降低体积收缩率；通过建立正确的维持压力条件，避免出现过保压现象。

保压压力控制对于减小飞边和防止机械损伤有非常重要的意义。良好的保压压力控制方式有助于减小制品收缩，提高制品的外观质量。保压压力一般为注塑压力的 70% ~80%。保压时间过长或过短都对成型不利。过长会使得保压不均匀，制品内部应力增大，制品容易变形，严重时会发生应力开裂。过短则保压不充分，制品体积收缩严重，表面质量差。

保压曲线分为两部分：一部分是恒定压力的保压，大约需要 2 ~3s，称为恒定保压曲线；另一部分是保压压力逐步减小释放，大约需要 1s，称为延迟保压曲线。延迟保压曲线对于成型制品的影响非常明显。如果恒定保压曲线变长，制品体积收缩会减小，反之则增大；如果延迟保压曲线斜率变大，延迟保压时间变短，制品体积收缩会变大，反之则变小；如果延迟保压曲线分段且延长，制品体积收缩变小，反之则变大。

当型腔完全充满时，保压开始；当熔料前端停止流动时，说明型腔已经补缩达到一定程度，或者说熔料已经不再前进，此时恒定保压结束，延迟保压开始；当浇口完全凝固时，喷嘴对型腔的补料结束，保压结束。任何一种塑料原料都有自己的不流动温度，不流动温度的值略大于该原料的玻璃化转变温度。当熔料温度下降到它所对应的不流动温度后，熔料便不再流动。通过填充过程的动态温度显示可以很容易地获取熔前的不流动温度，从而确定延迟保压的准确开始时刻。

保压应分为补压和保压，补压是在产品将要填充满时所加的压力，使产品充分填满，保压是产品填充满以后所加的一个压力，保压时间应设定为水口冷却时间。

与 Fill 分析结果相比，Flow 分析完成后，除包括 Fill 分析的所有结果外，还有“Volumetric shrinkage at ejection”（顶出时体积收缩率）、“Time to freeze”（冷凝时间）和“Frozen layer frAction”（冷凝层因子）三项。

1. 保压分析

把分析类型改为 Flow 分析，初始工艺条件设置如图 18-20 所示。

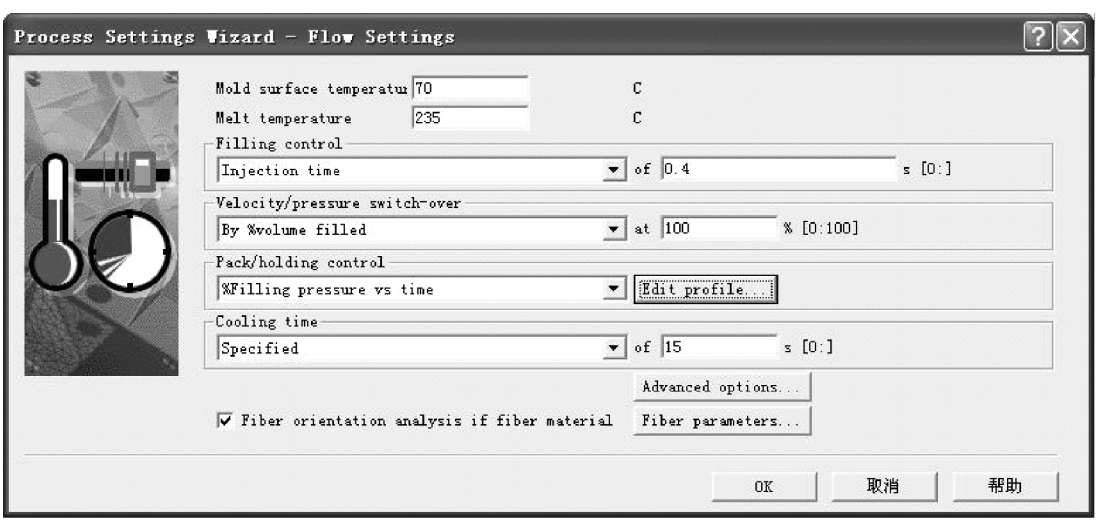
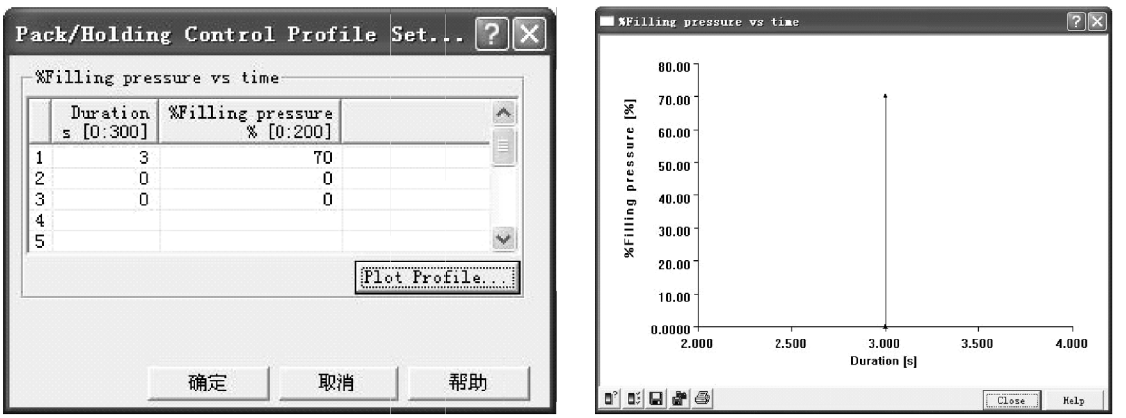


图 18-20 工艺参数设置

由于 PA6 +25% GF 的流动性比较好，采用一段保压，在“Pack/Holding Control”采用的控制曲线如图 18-21a 所示，转换成坐标曲线形式如图 18-21b 所示。



a)　　b)

图 18-21　初始保压设置

a）“保压设置”对话框　b）保压曲线

2. 分析计算

双击任务窗口中的图标“立即分析”，开始计算。

3. 顶出时体积收缩率

正常情况下，顶出时，整个型腔的收缩率应该均匀，且应控制在 3% 以下，可通过调整保压曲线使收缩率均匀一些，如图 18-22 所示，制品收缩率基本在 2.5% 以下，除了浇口区域收缩比较大，达到 4.323%，对制品外观是没影响的。

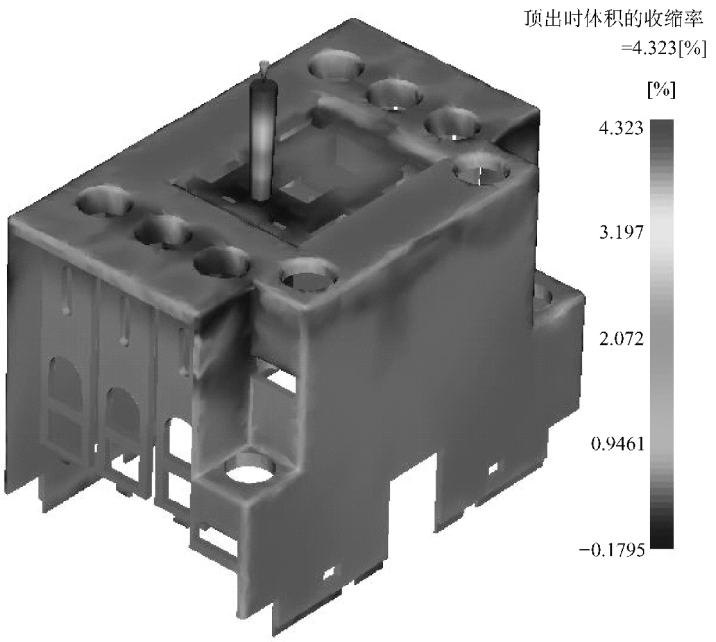


图 18-22　顶出时体积收缩率

4. 充模时间

充模时间显示的是熔体流动前沿的扩展情况，如图 18-23 所示，从云纹线的间距基本相同，这表明熔体流动前沿的速度相等，制品的填充比较平衡。制品底端基本上在同一时刻充满。

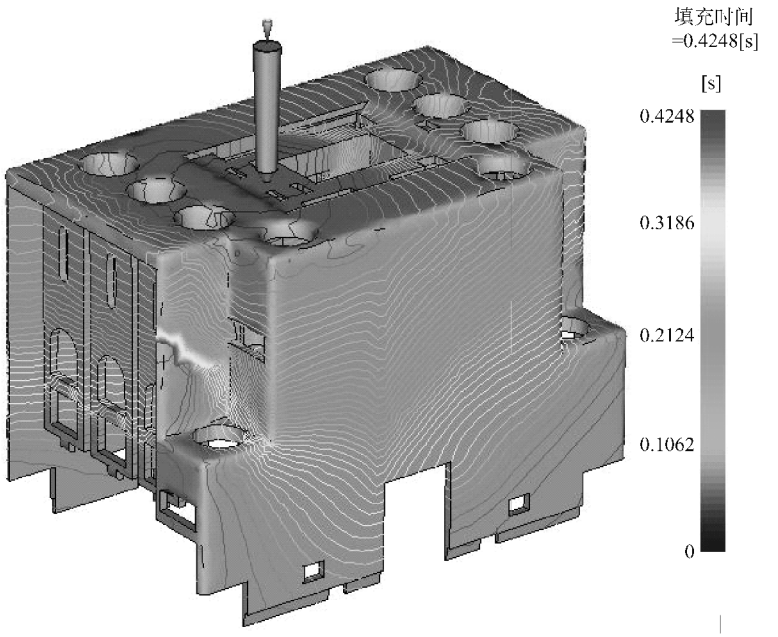


图 18-23　充模时间

5. 充模结束时压力

最大填充压力不应超过 140MPa，如图 18-24 所示，该压力图是观察制品的压力分布是

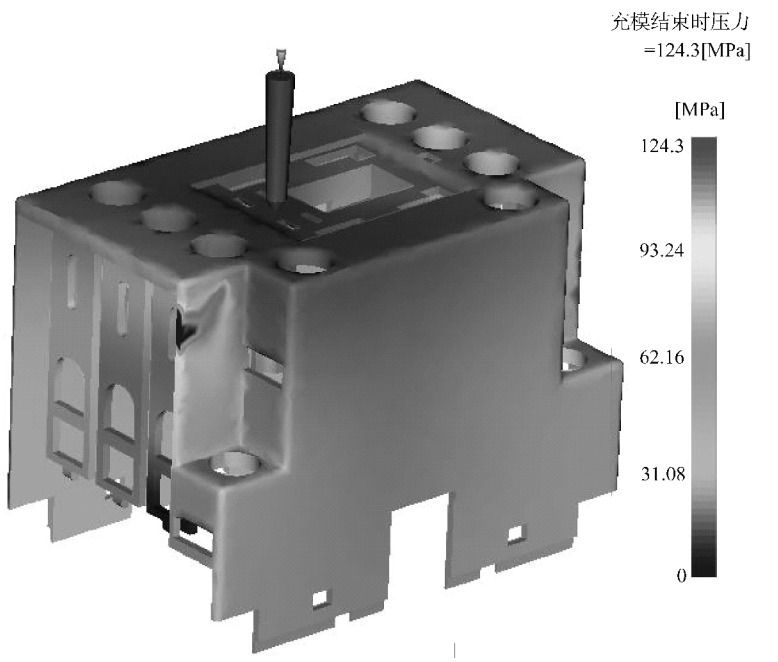


图 18-24　充模结束时压力

否平衡的有效工具。因为充模结束时的压力对平衡非常敏感，因此，如果此时的压力图分布平衡，则制品就很好地实现了平衡充模。

6. 熔接线

当两股聚合物熔体的流动前沿汇集到一起，或一股流动前沿分开后又合到一起时，就会产生熔接线，如聚合物熔体沿一个孔流动，如图 18-25 所示。有时，当有明显的流速差时，也会形成熔接线。厚壁处的材料流得快，薄壁处流得慢，在厚薄交界处就可能形成熔接线。熔接线对网格密度非常敏感。由于网格划分的原因，有时熔接线可能显现在并不存在的地方，或有时在真正有熔接线的地方没有显示。为确定熔接线是否存在，可与充模时间一起显示。同时熔接线也可与温度图和压力图一起显示，以判断它们的相对质量。减少浇口的数量可以消除一些熔接线，改变浇口位置或改变制品的壁厚可以改变熔接线的位置。

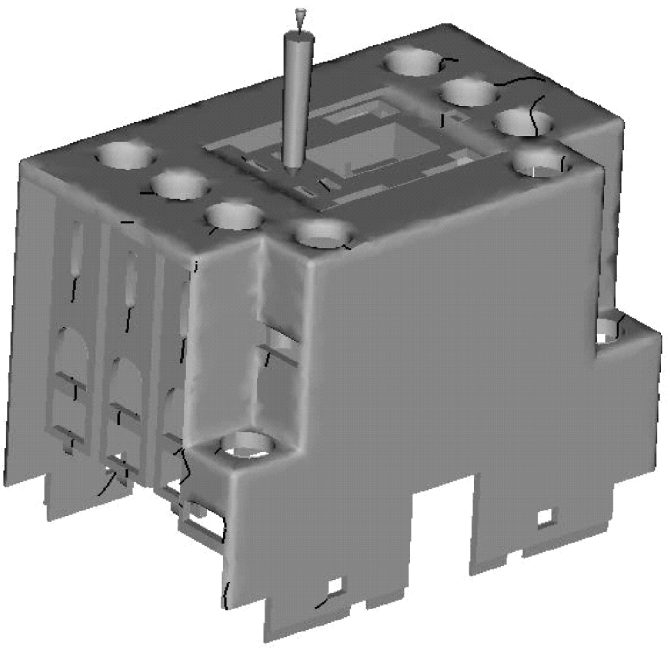


图 18-25　熔接线

7. 气穴

气穴定义在节点位置，当材料从各个方向流向同一个节点时就会形成气穴。气穴将显示在其真正出现的位置，但当气穴位于分型面时，气体可以排出。与熔接线一样，气穴对网格密度很敏感。制品上的气穴应该消除，可使用几种方法做到这一点，如改变制品的壁厚、浇口位置和注塑时间都有助于消除气穴，如图 18-26 所示。

通过 Moldflow 软件进行流动模拟分析，优化了制品结构，保证了最小壁厚，降低材料成本，给模具结构设计提供了很好的设计参数，保证合理的流道系统，并对型腔尺寸、浇口尺寸、流道尺寸进行优化，大大提高模具质量，减少试模、修模次数；优化注塑工艺参数：可以确定最佳的注塑压力、保压压力、锁模力、模具温度、熔体温度、注塑时间和保压时间等，以注塑出最佳的塑料制品。使用 Moldflow 对填充过程的模拟分析，有助于工艺人员从本质上找出缺陷产生的原因，并提出消除缺陷的对策与方法。Moldflow 软件在塑料制品行业的

不断推广使用，将会大大缩短新产品的开发周期和费用，为制品生产企业带来良好的经济效益。

18.2.4　冷却分析（Cool analysis）

影响注塑模冷却的因素很多，如制品的形状，冷却介质的种类、温度、流速，冷却管道的几何参数及空间布置，模具材料，熔体温度，工件要求的顶出温度和模具温度，制品和模具间的热循环交互作用等。这些参数之间互相联系、互相影响，唯有这些参数的合理组合才能获得理想的效果。但靠传统的经验和简化公式是很难确定的，只有通过 CAE 分析才能得到理想的结果。

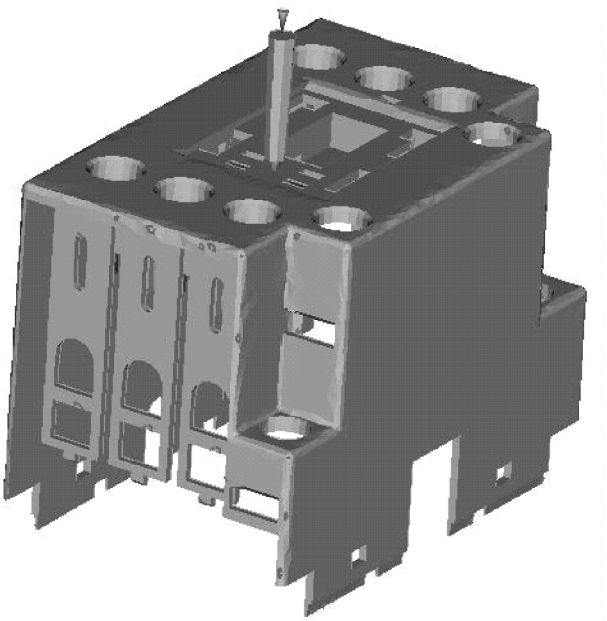


图 18-26　气穴

MPI/Cool 采用边界元法（Boundary Element Method）对模具的温度场进行三维模拟，对于制品在其厚度方向上采用解析解来计算温度分布，并通过制品的热流量将二者完全耦合进行迭代求解。同时将模具的温度场与冷却管道中冷却介质的能量方程联立起来求解，因此可以可靠地计算制品/模具及模具/冷却介质间的界面温度。在计算过程中，考虑了型芯和型腔在制品厚度方向的不对称性对制品温度分布的影响。

MPI/Cool 能够模拟冷却管道（包括隔板管、喷流管、连接软管）、镶块、多种模具材料、冷流道和热流道、分型面及模具边界对模具和制品温度的影响，从而为优化冷却系统提高可靠的依据。

MPI/Cool 不仅能对中性面模型和 Fusion 模型进行冷却分析，而且能够对 3D 模型进行冷却分析。

此外，MPI/Cool 和 MPI/Flow 相结合，可以得到十分完美的动态的注塑过程分析。

MPl/Cool 通过对模具、制品、冷却系统的传热分析，为用户提供了丰富的模拟结果。

（1）冷却时间　为保证制品在脱模时要有足够的强度，以防止脱模后发生变形，要确定合适的冷却时间。MPI/Cool 能够计算制品完全固化或用户设定的固化百分比所需要的冷却时间。

（2）型腔表面的温度分布　型腔表面温度对制品质量具有重要影响。MPI/Cool 能够模拟注塑周期的型腔表面温度分布，帮助工艺人员确定模具温度的均匀程度及是否达到材料所要求的模具温度。对于中性面模型，MPI/Cool 还可以计算制品两个侧面的温度差别。

（3）制品厚度方向的温度分布　制品在顶出时刻的温度是确定冷却时间是否合理的重要因素，如果温度过高，则需加强冷却或适当延长冷却时间，而温度过低，说明冷却时间太长。MPI/Cool 能够预测制品在顶出时刻沿厚度方向不同位置的温度分布，最高温度在厚度方向的位置，沿厚度方向的平均温度，以及某一单元温度沿厚度方向的变化。

（4）制品的固化时间　依据模具表面的温度，预测制品完全固化所需要的时间。

（5）冷却介质的温度分布及冷却管道表面的温度分布　冷却介质的温度变化、冷却管道表面与冷却介质间的温度差是决定冷却是否有效的重要依据。

（6）冷却管道中的压力、流动速度及其雷诺数　当压力及流动速度较小时，雷诺数小，意味着冷却介质流动时各质点间的粘性力占主要地位，流体各质点平均于管路内壁且有规则地流动，呈层流流动状态；提高压力及流动速度，雷诺数大，意味着惯性力占主要地位，流体呈紊流流动状态。因此，雷诺数决定了流动状态，应保证冷却介质处于紊流状态。

（7）镶块的温度分布、镶块/模具界面的温度差分布　镶块/模具间的温度差反映了热量通过界面的阻力大小。

（8）分型面和模具外表面的温度分布　应保证分型面与模具外表面的温度分布尽量平衡。

1. 冷却分析

在 Flow 分析的基础上增加冷却系统。制品模型、冷却系统和浇注系统如图 18-27 所示。

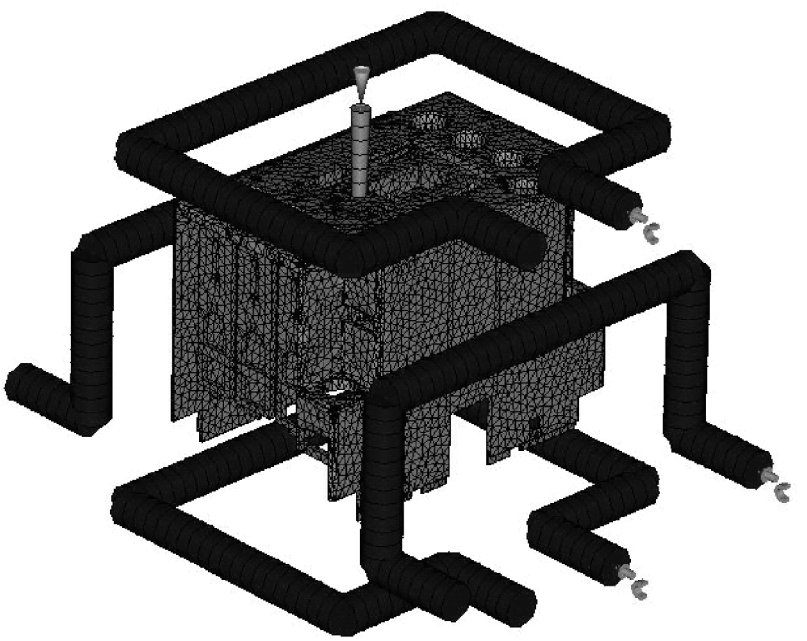


图 18-27　模型、冷却系统和浇注系统

2. 工艺条件

制品材料选用 PA6 +25% GF，其工艺参数为：熔体温度 235℃，型腔温度 70℃。冷却管道的直径为 8mm，冷却介质为水，温度为 25℃，入口雷诺数为 10000。整个注塑成型周期为 25s，其中注塑、保压及冷却时间为 20s，用于顶出的时间为 5s。如图 18-28 所示。

3. 模拟结果

按照上述工艺条件，对制品的冷却过程进行了模拟分析，得到的部分模拟结果如图 18-29所示。

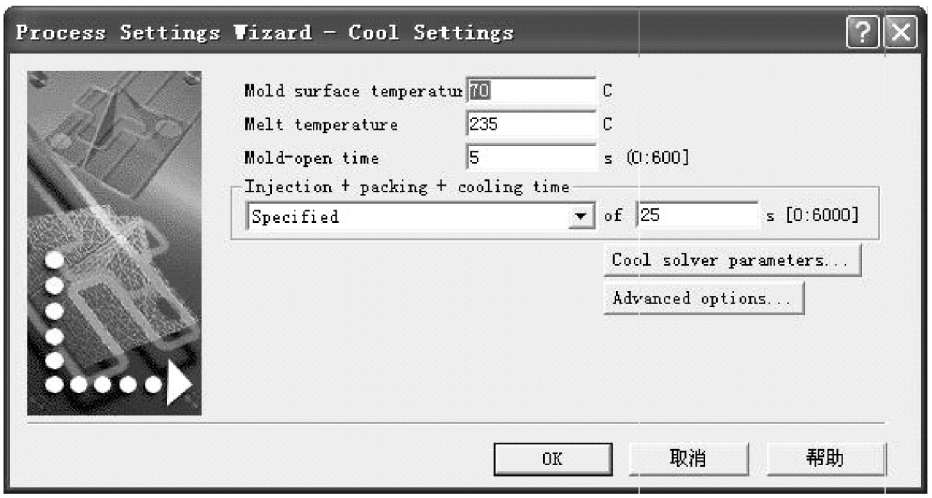


图 18-28　冷却工艺条件设定

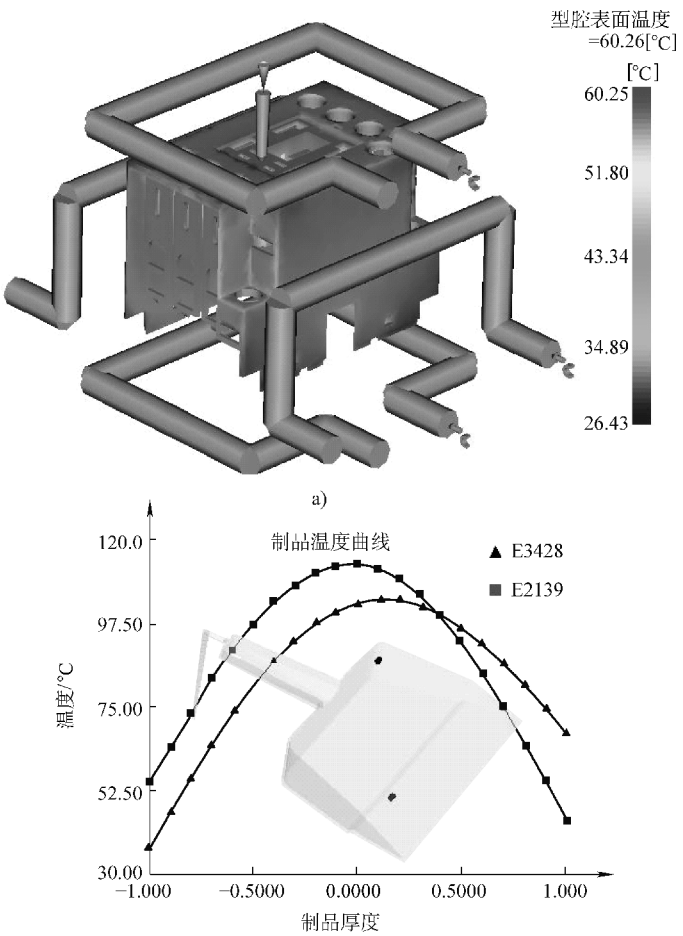
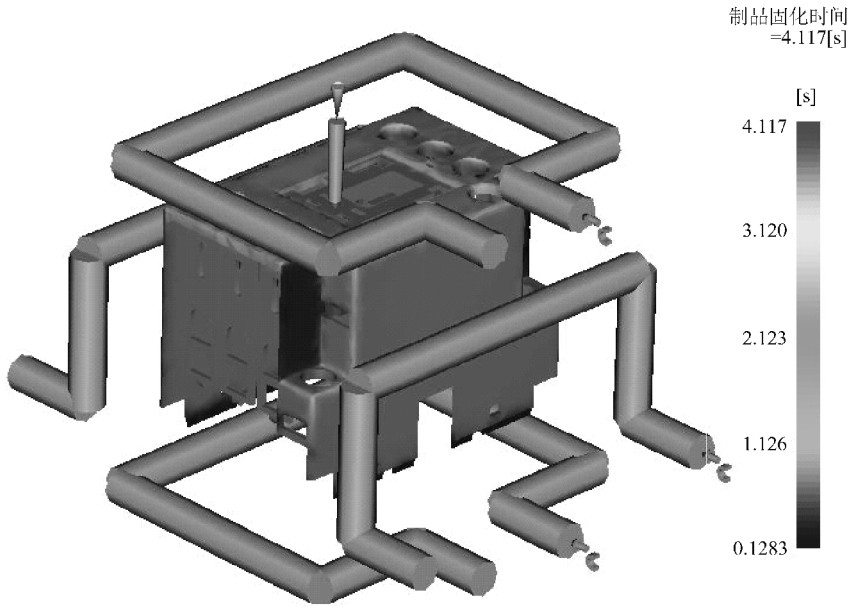
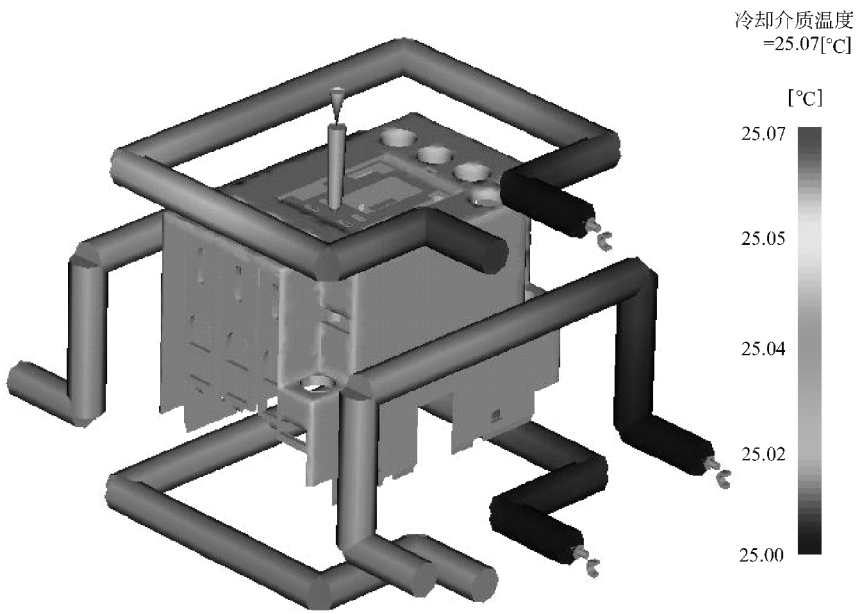


图 18-29　冷却过程模拟得到的结果

a）型腔表面的温度分布　b）制品沿厚度方向的温度变化



c)



d)

图 18-29　冷却过程模拟得到的结果（续）

c）制品完全固化所需时间　d）冷却介质的温度变化

从图 18-29d 中可以看出，冷却液的出口温度与入口温度相差 0.07℃，说明冷却液的冷却能力没有问题。

MPI/Cool 通过对冷却过程的模拟，帮助模具设计人员和工艺人员全面了解模具冷却系统的冷却效率及其合理性，这对于优化出合理的冷却系统，提高制品的生产效率和质量，具

有重要的指导意义。

18.2.5　翘曲分析（Warp analysis）

制品在成型过程中，由于内部应力分布不均匀，导致制品出现翘曲变形，影响了制品的质量。Warp 分析的目的是预测在制品成型过程中的翘曲程度，分析翘曲的原因。

1. 翘曲分类

在 Moldflow 的 Warp 分析中，翘曲包括两种形式：稳定翘曲（制品收缩造成）及非稳定翘曲（制品弯曲造成），如图 18-30 所示。

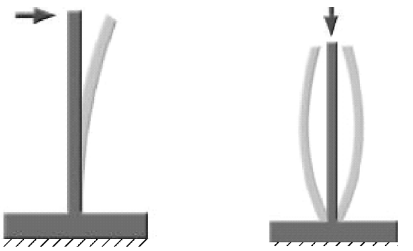


图 18-30　翘曲分类

a）稳定翘曲　b）非稳定翘曲

2. 翘曲产生的原因

注塑制品变形、弯曲、扭曲现象的发生主要是由于塑料成型时流动方向的收缩率比垂直方向的大，使制品各向收缩率不同而翘曲，又由于注塑充模时不可避免地在制品内部残留有较大的内应力而引起翘曲，这些都是高应力取向造成的变形的表现。所以从根本上说，模具设计决定了制品的翘曲倾向，要通过变更成型条件来抑制这种倾向是十分困难的，最终解决问题必须从模具设计和改良着手。这种现象的主要由以下几个方面造成：

（1）模具方面　包括以下 6 个方面：

1）制品的厚度、质量要均匀。

2）冷却系统的设计要使模具型腔各部分温度均匀，浇注系统要使料流对称避免因流动方向、收缩率不同而造成翘曲，适当加粗较难成型部分的分流道、主流道，尽量消除型腔内的密度差、压力差、温度差。

3）制品厚薄的过渡区及转角要足够圆滑，要有良好的脱模性，如增加脱模斜度，改善模面的抛光，顶出系统要保持平衡。

4）排气要良好。

5）增加制品壁厚或增加抗翘曲方向，由加强筋来增强制品抗翘曲能力。

6）模具所用的材料强度不足。

（2）塑料方面　结晶型比非结晶型塑料出现的翘曲变形机会多，加之结晶型塑料可利用结晶度随冷却速度增大而降低，收缩率变小的结晶过程来校正翘曲变形。一定要选择适合的材料，比如复合填充改性材料可以有效减少翘曲变形。

（3）加工方面　包括以下 4 个方面：

1）注塑压力太高，保压时间太长，熔料温度太低或速度太快，都会造成内应力增加而出现翘曲变形。

2）模具温度过高，冷却时间过短，使脱模时的制品过热而出现顶出变形。

3）在保持最低限度充料量下，减小螺杆转速和背压，降低密度来限制内应力的产生。

4）必要时可对容易翘曲变形的制品进行模具软性定型或脱模后进行退火处理。

3. Warp 分析设置

（1）Warp 分析类型　设定分析类型为“Cool + Flow + Warp”。

（2）Warp 工艺参数设定　如图 18-31 所示。

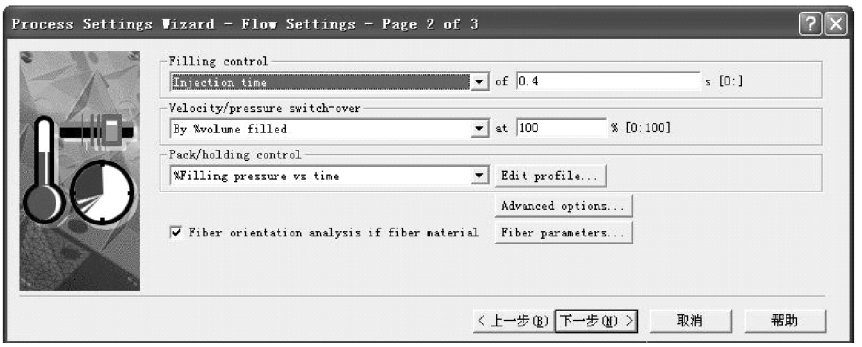


图 18-31　翘曲工艺条件设定

4. Warp 分析结果

总体最大变形量为 0.1010mm；X 方向最大变形量为 0.0719mm；Y 方向最大变形量为 0.0792mm；Z 方向最大变形量为 0.065mm。如图 18-32 所示。

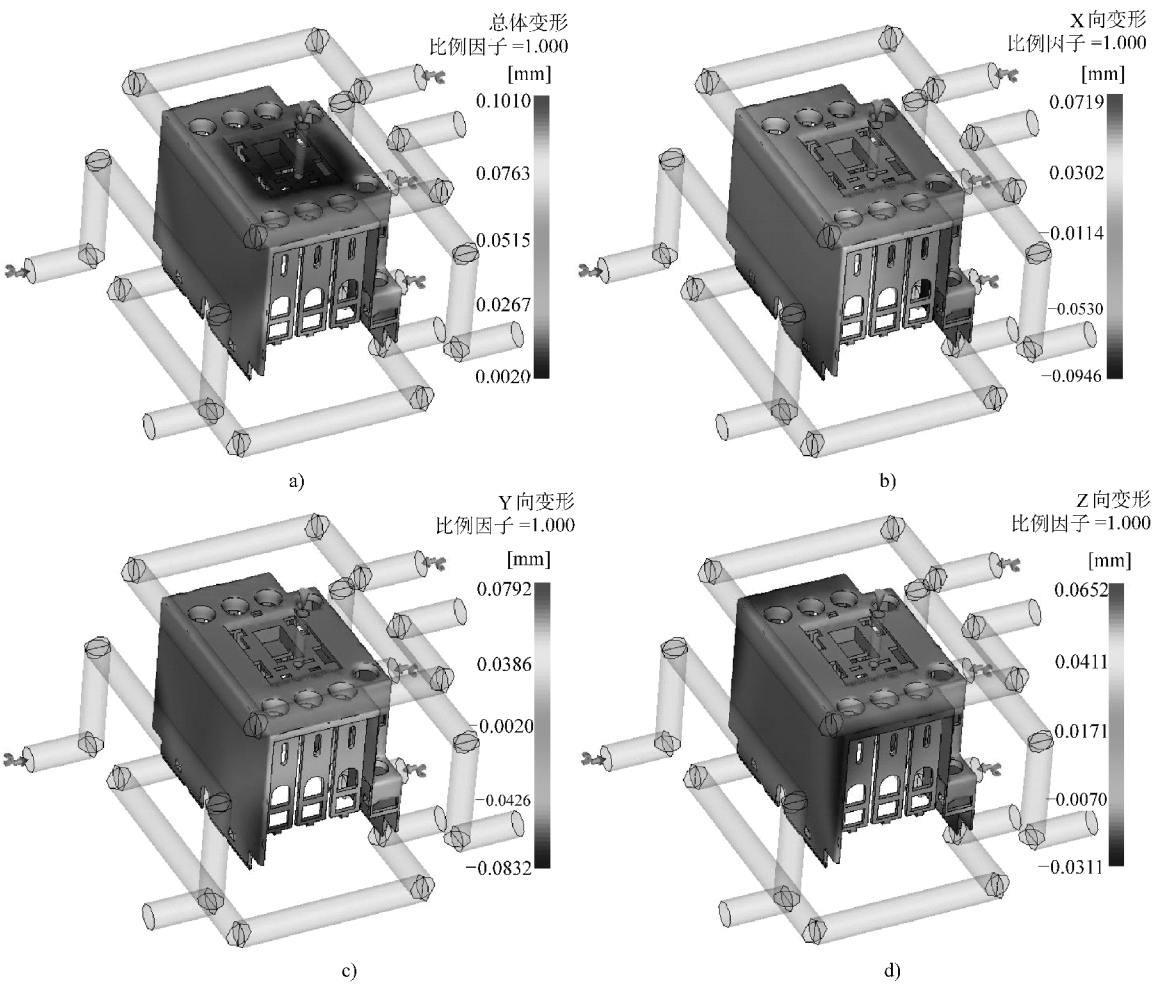


图 18-32　翘曲分析结果

a）总体变形　b）X 方向上的变形　c）Y 方向上的变形　d）Z 方向上的变形

其他影响因素如图 18-33 所示。

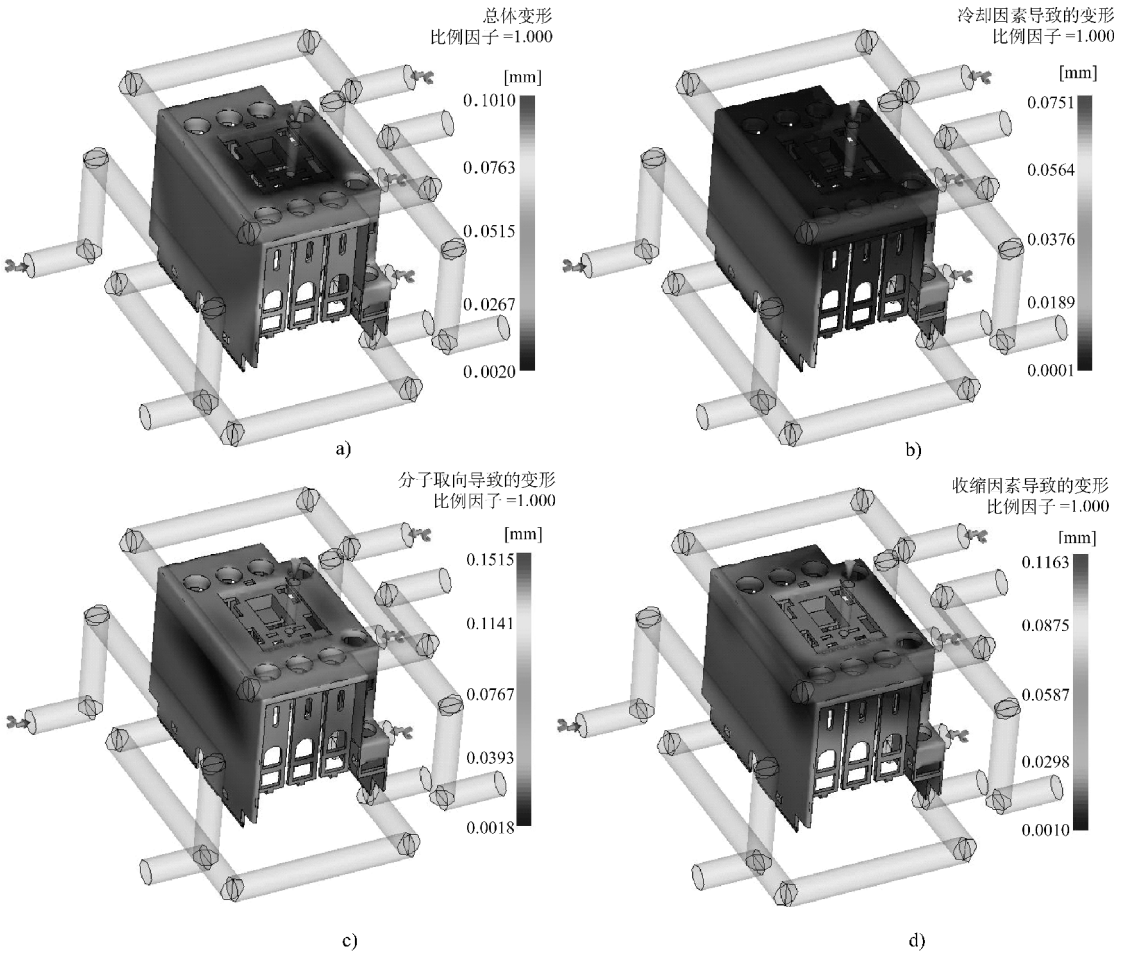


图 18-33　各种因素导致的制品发生翘曲变形

a）总体变形　b）冷却因素导致的变形　c）分子取向导致的变形　d）收缩因素导致的变形

通过上述制品翘曲变形量的分析可知：

1）翘曲变形主要集中在沿 X 轴、Y 轴方向上发生的变形。

2）收缩因素对制品的翘曲变形影响最大，而冷却和分子取向的影响相对较小。

3）制品结构也是引起翘曲的根本原因，通过增加筋条可以有效减少变形。如图 18-34 所示。

18.2.6　优化模具设计

1）从 Flow 流动分析可以看出，大部分困气出现在筋条和制品边缘的末端，因此制品不易发生烧焦和短射现象，气体很容易通过模具的间隙释放出来。为了防止困气和得到更好的熔接痕，内部筋条必须通过镶拼排气，如图 18-35 所示。

2）从冷却及翘曲分析可以看出，设计还是比较合理的，变形翘曲不大。制品熔接痕的分布，有 4 条熔接痕均分布在角部和侧壁，不容易被肉眼观察到。

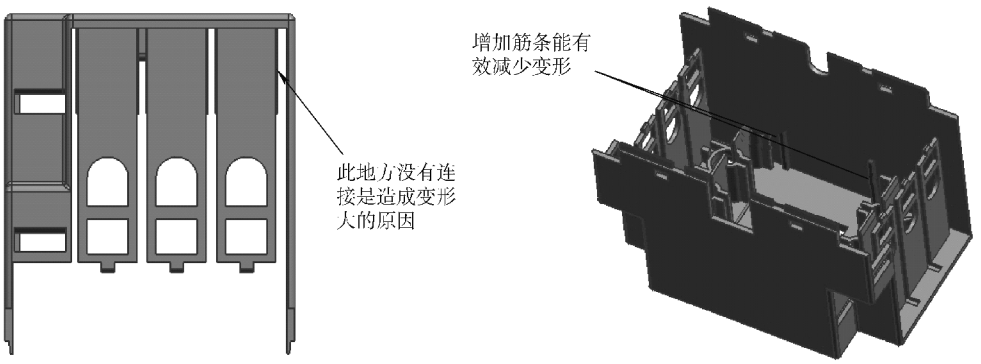


图 18-34　制品模型

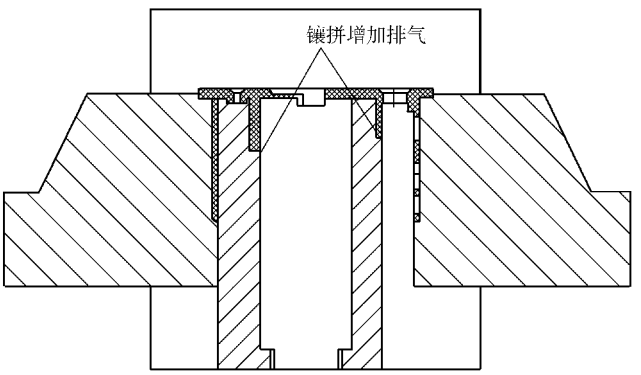


图 18-35　DFM 分析

通过 Moldflow 软件进行模拟分析，优化了制品结构，保证了最小壁厚，降低材料成本，给模具结构设计提供了很好的设计参数，保证合理的流道系统，并对型腔尺寸、浇口尺寸、流道尺寸进行优化，大大提高模具质量，减少试模、修模次数；优化注塑工艺参数：可以确定最佳的注塑压力、保压压力、锁模力、模具温度、熔体温度、注塑时间、保压时间等，以注塑出最佳的塑料制品。Moldflow 软件在塑料制品行业的不断推广使用，将会大大缩短新产品的开发周期和费用，为制品生产企业带来良好的经济效益。

第 19 章　注塑模用模具材料及热处理

随着塑料模具的迅速发展，高性能塑料的开发和生产规模不断扩大，塑料制品的种类日益增多，并向精密化、大型化和复杂化发展，使塑料模具的工作条件愈加复杂和苛刻，对塑料模具材料的性能要求也在不断提高。根据塑料制品的材料、尺寸、大小、形状、精度要求、制模周期及模具寿命等要求不同，合理地选择塑料模具材料及热处理工艺，对保证模具质量和提高模具的使用性能有重要意义。

19.1　注塑模具常用材料的分类

由于塑料模具的工作条件（加工对象）、制造方法、精度及对耐久性要求的多样性，所以塑料模具材料系列的范围很广。用作塑料模的材料包括钢、铜合金、铝合金及锌合金。

19.1.1　模具钢

1. 塑料模具钢分类

根据化学成分的不同，钢可分成碳素钢和合金钢两大类。碳素钢是铁和碳的合金，其中的硅和锰属于杂质。碳素钢根据其含碳量的高低又可分成低碳钢、中碳钢和高碳钢；碳素钢按质量分类也可分成普通碳素钢、优质碳素钢和高级优质碳素钢。合金钢是指为了改善碳素钢的性能，特意加入一些合金元素所构成的钢种。普通碳素结构钢主要保证力学性能，其牌号用屈服强度的数值表示，符号用 Q 加数字表示，其中 Q 为屈服点“屈”字的汉语拼音的首字母，数字表示屈服点的大小，若牌号后面标注字母 A、B、C 或 D 则表示钢中的硫和磷含量不同；其中 A 级的硫、磷含量最高，D 级的硫、磷含量最低；若在牌号后面标注字母为 F 则为沸腾钢，标注 b 为半镇静钢，不标注字母 F 或 b 者为镇静钢。

表 19-1 和表 19-2 分别列出了普通碳素结构钢的牌号、化学成分和力学性能。

表 19-1　普通碳素结构钢的牌号和化学成分

牌号	等级	化学成分（质量分数,%）					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
				≤			
Q195	—	0.06～0.12	0.25～0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09～0.15	0.25～0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14～0.22	0.30～0.65	0.30	0.050	0.045	F、Z
	B	0.12～0.20	0.30～0.70		0.045		
	C	≤0.18	0.35～0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ

（续）

牌号	等级	化学成分（质量分数,%）					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
				≤			
Q255	A	0.18～0.28	0.40～0.70	0.30	0.050	0.045	Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28～0.38	0.50～0.80	0.35	0.050	0.045	Z

注：1. Q235—A、Q235—B 级沸腾钢锰含量上限为 0.60%。

2. F 沸腾钢，b 半镇静钢，Z 镇静钢，TZ 特殊镇静钢。

表 19-2　普通碳素结构钢的力学性能

牌号	等级	拉伸试验												冲击试验	
		屈服点 σ_s/MPa≥						抗拉强度 σ_b/MPa	伸长率 δ_5(%) ≥						温度/℃	V 型冲击吸收功（纵向）/J ≥
		钢材厚度（直径）/mm							钢材厚度（直径）/mm							
		≤16	>16～40	>40～60	>60～100	>100～150	>150		≤16	>16～40	>40～60	>60～100	>100～150	>150		
Q195	—	195	185	—	—	—	—	315～390	33	32	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335～410	31	30	29	28	27	26	—	—
	B														20	27
Q235	A	235	225	215	205	195	185	375～460	26	25	24	23	22	21	—	—
	B														20	27
	C														0	
	D														-20	
Q225	A	255	245	235	225	215	205	410～510	24	23	22	21	20	19	—	—
	B														20	27
Q275	—	275	265	255	245	235	225	490～610	20	19	18	17	16	15	—	—

一般情况下，普通碳素钢都不经过热处理而在供货状态下直接使用。通常 Q195、Q215 和 Q235 钢的含碳量较低，焊接性能好，有一定强度。Q255 和 Q275 钢的强度较高，塑性和韧性较好，可以进行焊接。

优质碳素结构钢必须同时保证钢的化学成分和力学性能。其牌号是采用两位数字表示钢中平均含碳量的万分之几。优质碳素结构钢是制造塑料模的重要材料。优质碳素结构钢的化学成分和力学性能分别见表 19-3 和表 19-4。

按钢的用途不同，钢还可分成结构钢、工具钢、渗碳钢、不锈钢、弹簧钢、轴承钢及耐热钢等。

我国塑料成型模具产值已占模具工业总产值的首位，相对应的塑料模具钢用量已占全部模具用钢量的 50% 以上。过去我国无专用的塑料模具用钢，一般塑料模具用正火的 45 钢或 40Cr 钢经调质后制造，因而模具硬度低，耐磨性差，表面粗糙度值高，加工出来的塑料产

表 19-3 优质碳素结构钢的化学成分

牌号	化学成分（质量分数,%）							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
				≤				
08F	0.05～0.11	≤0.03	0.25～0.50	0.035	0.035	0.25	0.10	0.25
10F	0.07～0.14	≤0.07	0.25～0.50	0.035	0.035	0.25	0.15	0.25
08	0.05～0.12	0.17～0.37	0.35～0.65	0.035	0.035	0.25	0.10	0.25
10	0.07～0.14	0.17～0.37	0.35～0.65	0.035	0.035	0.25	0.15	0.25
15	0.12～0.19	0.17～0.37	0.35～0.65	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
20	0.17～0.24	0.17～0.37	0.35～0.65	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
25	0.22～0.30	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
30	0.27～0.35	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
35	0.32～0.40	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
40	0.37～0.45	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
45	0.42～0.50	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
50	0.47～0.55	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
55	0.52～0.60	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
60	0.57～0.65	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25
65	0.62～0.70	0.17～0.37	0.50～0.80	0.035	0.035	0.25	0.25	0.25

表 19-4 优质碳素结构钢的力学性能

牌号	试样毛坯尺寸/mm	推荐热处理/℃			力学性能					钢材交货状态硬度 HBW ≤	
		正火	淬火	回火	σ_b/MPa	σ_s/MPa	δ_5	ψ	A_K/J		
					不小于					未热处理	退火钢
08	25	930			295	175	35	60		131	
10	25	930			315	185	33	55		137	
08	25	930			325	195	33	60		131	
10	25	930			335	205	31	55		137	
15	25	920			375	225	27	55		143	
20	25	910			410	245	25	55		156	
25	25	900	870	600	450	275	23	50	71	170	
30	25	880	860	600	490	295	21	50	63	179	
35	25	870	850	600	530	315	20	45	55	197	
40	25	860	840	600	570	335	19	45	47	217	187
45	25	850	840	600	600	355	16	40	39	229	197
50	25	830	830	600	630	375	14	40	31	241	207
55	25	820	820	600	645	380	13	35		255	217
60	25	810			675	400	12	35		255	229
65	25	810			695	410	10	30		255	229

品外观质量较差，而且模具使用寿命低；精密塑料模具及硬度高的塑料模具采用 CrWMn、Cr12MoV 等合金工具钢制造，不仅机械加工性能差，而且难以加工复杂的型腔，更无法解决热处理变形问题。近年来，在引进国外塑料模具钢的同时，自行研制和开发了一批新型塑料模具专用钢，这类钢大致可分为以下 4 类：

（1）预硬性塑料模具钢　这类钢在钢厂经过充分锻打后制成模块，预先热处理至要求的硬度，一般调质到 30 ~ 35HRC 后供使用单位制造模具，P20（3Cr2Mo）、718（3Cr2NiMo）是国际上使用最广泛的预硬型塑料模具钢，目前已列入我国合金工具钢标准（GB/T 1299—2000），在我国得到较为广泛的应用，使模具的加工质量和寿命有所提高。

（2）易切削预硬钢　为了改善预硬型塑料模具钢的被切削性，往往在预硬钢中加入易切削元素如 S、Pb、Cs 等。我国研制了一些含硫易切削预硬型塑料模具钢，如 8Cr2S（8Cr2MnWMoVS）钢、SM1（Y55CrNiMnMoVS）钢和 S - Ca 复合易切削预硬型塑料模具钢、5NiSCa（5CrNiMnMoVSCa）钢，可使钢在高硬度下的可加工性得到显著改善，但 S 系易切削钢的各向异性较大，在截面增大时硫化物的偏析比较严重。5NiSCa 钢采用了 S - Ca 复合易切削和喷射冶金技术，改善了硫化物的形态、分布和各向异性，在大截面中硫化物的分布仍比较均匀。5NiSCa 钢有高的淬透性和镜面抛光性，模具硬度为 35 ~ 45HRC，可顺利地进行各种加工。易切削预硬型塑料模具钢主要用于制造长寿命、形状复杂、尺寸精度高的大中型塑料制品用模具。

（3）时效硬化型塑料模具钢　对于形状复杂、精密、要求长寿命的塑料模具，为了避免在其淬火热处理过程中产生变形，近年来我国研制了一系列时效硬化钢，有 25CrNi3MoAl、PMS（1Ni3Mn2CuAlMo）、SM2（20CrNi3AlMnMo）和 06Ni（06Ni6CrMoVTiAl）等钢。这些钢在固溶处理后硬度很低（一般≤30HRC），可以很容易地进行切削加工，加工完成后再进行低温时效硬化处理，获得要求的综合力学性能和耐磨性。由于时效处理变形很小，时效处理后不需再进行切削加工，即可得到精度很高的模具成品，使用寿命高于预硬型塑料模具钢。

（4）冷挤压成型塑料模具钢　一些复杂的塑料模具型腔采用冷挤压的方法，在淬硬的制品上直接压制出来，省去型腔的切削加工，这对于成批生产的模具是一种十分经济的加工方法。模具加工后经过渗碳、淬火、低温回火后，具有高硬度、高耐磨性的表面和韧性良好的心部组织，可以制造各种要求耐磨性好、良好心部韧性的模具。

这类钢的碳含量很低，一般为 $w_C = 0.1\% \sim 0.2\%$，硬度低，以保证在正常温度下，具有高塑性和低的变形抗力，以便进行型腔的冷挤压。我国一般采用低碳钢和低碳合金钢，如 15、20、20Cr、12CrNi2、12CrNi3、20Cr2N14 和 20CrMnTi 等钢，我国研究的 LJ 钢即为专用的冷挤压成型塑料模具钢，其化学成分为：$w_C \leqslant 0.08\%$、$w_{Mn} \leqslant 0.30\%$、$w_{Si} \leqslant 0.20\%$、$w_{Cr} \approx 3.50\%$、$w_{Ni} = 0.50\%$、$w_{Mo} \approx 0.40\%$、$w_V = 0.12\%$。冷挤压成形后，经渗透淬火和低温回火，表面硬度为 58 ~ 62HRC，心部硬度为 28HRC，模具耐磨性好，无塌陷及表面剥落现象，可用于制造形状复杂和受载荷较高的塑料成型模具。

由于不同类型的塑料制品对模具钢的性能要求有差异，不少国家已经形成包括范围很广的专用塑料模具用钢系列，常用塑料模具钢的化学成分见表 19-5。

2. 模具钢的性能特点

钢有较高的强度、塑性和韧性，并可通过热处理改变这些性能；钢还有较好的可加工性、

表 19-5　常用塑料模具钢的化学成分（质量分数）　　（%）

钢号		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	其他
渗碳型塑料模具钢	20Cr	0.17 ~ 0.24	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	0.80 ~ 1.10				
	12CrNi2	0.10 ~ 0.17	0.17 ~ 0.37	0.30 ~ 0.60	0.60 ~ 0.90				Ni1.50 ~ 2.00
	12CrNi3	0.10 ~ 0.17	0.17 ~ 0.37	0.30 ~ 0.60	0.60 ~ 0.90				Ni2.75 ~ 3.25
	20Cr2Ni4	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.30 ~ 0.60	1.20 ~ 1.75				Ni3.25 ~ 3.75
	20CrMnTi	0.17 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.80 ~ 1.10	1.00 ~ 1.30				Ti0.04 ~ 0.10
预硬型塑料模具钢	3Cr2Mo	0.28 ~ 0.40	0.20 ~ 0.80	0.60 ~ 1.00	1.40 ~ 2.00		0.30 ~ 0.55		
	3Cr2MnNiMo	0.28 ~ 0.40	0.20 ~ 0.40	1.20 ~ 1.50	1.40 ~ 2.00		0.30 ~ 0.55		Ni0.85 ~ 1.15
	5CrNiMnMoVSCa	0.50 ~ 0.60	0.20 ~ 0.80	0.85 ~ 1.15	1.00 ~ 1.30		0.30 ~ 0.60	0.10 ~ 0.30	Ni0.85 ~ 1.15 Ca、S
	8Cr2MnWMoVS	0.75 ~ 0.85	≤0.40	1.30 ~ 1.70	2.30 ~ 2.60		0.50 ~ 0.80	0.10 ~ 0.25	S0.06 ~ 0.10
时效硬化型塑料模具钢	25CrNi3MoAl	0.20 ~ 0.30	0.20 ~ 0.50	0.20 ~ 0.50	1.20 ~ 1.80		0.20 ~ 0.40		Al1.00 ~ 1.60 Ni2.50 ~ 3.00
	06Ni6CrMoVTiAl	≤0.06	≤0.06	≤0.50	1.30 ~ 1.60		0.90 ~ 1.20	0.08 ~ 0.16	Ti Al 1.0/0.5 Ni5.50 ~ 6.50
	18Ni（250）	≤0.03	≤0.10	≤0.10			4.25 ~ 5.25		Ti0.30/0.50 Al0.05/0.15 Ni17.5/18.5 Co7.00/8.00
耐蚀性塑料模具钢	4Cr13	0.35 ~ 0.45	≤0.06	≤0.80	12.00 ~ 14.00				
	9Cr18	0.90 ~ 1.00	0.50 ~ 0.90	≤0.80	17.00 ~ 19.00				
	Cr14Mo	0.90 ~ 1.05	0.30 ~ 0.60	≤0.80	12.00 ~ 14.00		1.40 ~ 1.80		
	Cr18MoV	1.17 ~ 1.25	0.50 ~ 0.90	≤0.80	17.50 ~ 19.00		0.50 ~ 0.80	0.10 ~ 0.20	
	1Cr17Ni2	0.11 ~ 0.17	≤0.80	≤0.80	16.00 ~ 18.00				Ni1.50 ~ 2.50

（续）

钢号		C	Si	Mn	Cr	W	Mo	V	其他
整体淬硬型塑料模具钢	9Mn2V	0. 85 ~ 0. 95	≤0. 40	1. 70 ~ 2. 00				0. 15 ~ 0. 25	
	CrWMn	0. 90 ~ 1. 05	≤0. 40	0. 80 ~ 1. 10	0. 90 ~ 1. 20	1. 20 ~ 1. 60			
	9CrWMn	0. 85 ~ 0. 95	≤0. 40	0. 90 ~ 1. 20	0. 50 ~ 0. 80	0. 50 ~ 0. 80			
	Cr12MoV	1. 45 ~ 1. 70	≤0. 40	≤0. 40	11. 00 ~ 12. 50		0. 40 ~ 0. 60	0. 15 ~ 0. 30	
	4Cr5MoSiV1	0. 32 ~ 0. 45	0. 80 ~ 1. 20	0. 20 ~ 0. 50	4. 75 ~ 5. 50		1. 10 ~ 1. 75	0. 80 ~ 1. 20	

冷成形性、热加工性、耐磨性、耐热性及焊接性能等。因此，大多数塑料模都用钢来制造。

19. 1. 2　铝合金

1. 铝合金的分类

纯铝尽管热导率高，但由于强度很低，所以不适于制造塑料模。纯铝中加入镁、锌、铜、硅等合金元素后可通过固溶强化、时效强化和过剩相强化等途径来提高其强度和改善其铸造性能。为了缩短塑料模制造周期、降低制造费用，近年来国内外已大量选用铸造铝合金来制造塑料模。

根据铝合金的成分和生产工艺可将铝合金分成形变铝合金和铸造铝合金。形变铝合金按性能特点又分成防锈铝合金、硬铝、超硬铝和锻铝 4 种。这 4 种铝合金的代号分别用“LF”、“LY”、“LC”、“LD”等字母及一组顺序号组成，如：LF5、LY1、LC4、LD5 分别表示 5 号防锈铝、1 号硬铝、4 号超硬铝和 5 号锻铝。锻造铝合金按加入的合金元素的不同又分为 Al – Si、Al – Cu、Al – Mg、Al – Zn 等合金，铸造铝合金的代号用“ZL”两个字母和三个数字来表示，如：ZL101、ZL202、ZL302、ZL401 等，它们依次表示铸造铝硅合金、铸造铝铜合金、铸造铝镁合金、铸造铝锌合金。各种铝合金的分类见表 19-6。

表 19-6　铝合金的分类

类别	名称	合金系	代号	性能特点
形变铝合金	防锈铝	Al – Mn Al – Mg	LF21、LF5、LF11	耐蚀性能好，压力加工性和焊接性能好，但强度低
	硬铝	Al – Cu – Mg	LY1、LY3、LY11、LY13	强度较高，但不耐腐蚀
	超硬铝	Al – Cu – Mg – Zn	LC4、LC9	室温强度最高，但耐蚀性差
	锻铝	Al – Mg – Si – Cu Al – Cu – Mg – Fe – Ni	LD5、LD10、LD7	力学性能好，锻造性能也好
铸造铝合金	简单 Al – Si 合金	Al – Si	ZL102	锻造性能好，力学性能差，密度小，耐蚀性好

（续）

类别	名称	合金系	代号	性能特点
铸造铝合金	特殊 Al－Si 合金	Al－Si－Mg Al－Si－Cu Al－Si－Mg－Cu Al－Si－Cu－Mg－Mn Al－Si－Mg－Cu－Ni	ZL101、ZL107、ZL104、ZL110、ZL105、ZL103、ZL108、ZL109	铸造性能良好，热处理后兼有良好的力学性能
	Al－Cu 铸造合金	Al－Cu	ZL201、ZL202、ZL203	耐热性好，铸造性能差，耐蚀性差，密度大
	Al－Mg 铸造合金	Al－Mg	ZL301、ZL302	力学性能高，耐腐蚀，密度小
	Al－Zn 铸造合金	Al－Zn	ZL401	能自动淬火，宜于压铸，耐蚀性差

2. 铝合金的性能特点

铝合金的特点是：密度小、熔点低、强度高；铸造性能和切削性能好，因此可以选用铸造铝硅合金来制造塑料模具，以缩短制模周期，降低制模成本；耐蚀性、耐磨性、导热性和导电性好。铝和氧的亲和力很强，表面生成一层与铝结合得很牢固的氧化膜，致密而坚固，保护下面的铝不被继续氧化。铝合金的不足之处是：高温强度较低、热胀系数较大且弹性模量较低。因此，在服役温度较高、应力较大时，塑料模的形状和尺寸会发生变化。

19.1.3 铜合金

纯铜硬度和强度都较低，但导电性和导热性都非常优良。为了满足制造塑料模的要求，在纯铜中加入合金元素可通过固溶强化、时效强化以及过剩相强化等途径来提高其强度。

铜合金按其化学成分可分成黄铜、青铜和白铜。黄铜是以锌为主要合金元素的铜合金，青铜是以锡、铝、铍、锆、钛等为主要合金元素的铜合金，白铜是以镍为主要合金元素的铜合金。按生产加工方式分，铜合金又分为加工铜合金和铸造铜合金两大类。

铜合金抗蚀性能好、耐磨性好、疲劳极限都很高；与钢相比，铜合金具有更优异的导热性，因此尤其适于制造高速成型的注塑模，因而劳动生产率可大大提高。其不足之处是，其热胀系数比钢稍大而弹性模量比钢低，在服役温度较高和应力较大时，成型塑件的尺寸会发生变化。

19.1.4 锌合金

用于制作塑料模的锌合金大多为 Zn－4Al－3Cu 共晶型合金和 Zn－22Al 共析超塑性合金。为了改善锌合金的耐蚀性和提高强度，锌合金也常加入微量的元素镁。

与钢、铜合金和铝合金相比，锌合金的熔点是最低的，因此很容易用铸造方法制造塑料模，可用多种方法铸造成形，模具复制性好，用经过修整的凸模作型芯，可直接铸出精度高的凹模；锌合金易切削，易修饰加工，并具有独特的润滑性和抗粘附性，因此用锌合金拉深模制造的零件表面不易出现缺陷；用锌合金制造模具，周期短，成本低，主要用来制作热塑性塑料模。锌合金的不足之处是高温强度较差，且易于老化，因此锌合金塑料模长期使用后易出现变形甚至开裂。

19.2　模具钢的基本要求

随着高性能塑料的开发和生产规模的不断扩大，塑料制品的种类日益增多，并向精密化、大型化和复杂化发展，使塑料模具的工作条件愈加复杂和苛刻，对塑料模具材料的性能要求也在不断提高。模具的工作条件复杂，工作温度高低不一，一般承受高压、冲击、振动、摩擦、弯曲和拉伸等载荷；工作温度有的很高；精度要求很高；磨损、变形、疲劳、断裂等时有发生，因此对模具的性能要求较一般零件为高。为了使选用的模具材料满足模具的使用要求，应对模具材料的性能及影响因素有比较全面而又深入的了解。因此，了解其服役条件、失效特点和性能要求，合理地选择塑料模具材料，对保证模具质量、提高模具使用寿命和降低生产成本具有重要作用。

19.2.1　强度与硬度

强度是衡量材料变形抗力和断裂抗力的性能指标。塑料注塑成型压力通常在 39 ~ 196MPa 之间，闭模压力一般为注塑压力的 1.5 ~2 倍，有时高达 4 倍左右，为了使塑料模在使用中不变形，塑料模具材料应具有一定的强度。模具材料的强度指标有抗拉强度、屈服强度、抗压强度和抗弯强度。这些强度指标是采用不同试验方法测定的结果。对于塑性较好的钢常测定抗拉强度（包括屈服强度）；对于脆性较大的高强度钢，由于抗拉强度较分散常测定抗弯强度。大多数塑料模在使用过程中并不会因强度不足而产生变形和开裂，因此一般的塑料模具钢经过正火处理就能达到使用要求，而且强度较低的铝合金或锌合金也用于制造注塑模和吹塑模。

硬度是衡量材料软硬程度的性能指标。模具在高应力的作用下欲保持其形状、尺寸不变，必须具有足够高的硬度。通过硬度可以间接地反映零件的强度、塑性、韧性、疲劳抗力和耐磨性等力学性能指标。为了使模具在应力作用下能够正常工作，可通过选择合适的模具材料，并进行适当的热处理，使塑料模具获得所需的硬度。

常用的模具硬度的测量方式有以下几种：

（1）洛氏硬度（HR）　是最常用的一种硬度测量方式，测量简便迅速，数值可以从表盘上直接读出，测量硬度范围广，因而应用最广泛。由于压痕较小，对工件表面不会造成损伤。

洛氏硬度有三种刻度，即 HRC、HRA、HRB。三种刻度所用的硬度头、试验力及示值范围如表 19-7 所示。

表 19-7　洛氏硬度试验规范

硬度符号	硬度头规格	试验力/N	示值范围
HRC	120°金刚石圆锥	1471	20 ~ 70
HRA	120°金刚石圆锥	588.4	20 ~ 88
HRB	ϕ1.588mm 钢球	980.6	20 ~ 100

（2）布氏硬度（HBW）　用淬火钢球作硬度头，加上一定的试验力压入工件表面，试验力卸掉后测量压痕直径大小，再查表或计算，便得到相应的布氏硬度值 HBW。布氏硬度

主要用于退火、正火、调质等模具钢的硬度测定。

（3）维氏硬度（HV） 维氏硬度在热处理工艺质量的检验中，常用来测定薄淬硬层和化学热处理（如渗氮层）的薄形工件或小工件的表面硬度，以及化学热处理淬火后的有效硬化层深度等。维氏硬度计采用的硬度头是具有正方形底面的金刚石角锥体，锥体相对两面间的夹具为136°，硬度值等于试验力与压痕表面积之比值。

硬度与强度之间存在着一定关系，许多金属在一定的强度范围内，硬度与强度成正比。对于具有铁素体加碳化物组织的结构钢以及硬度不高于45～48HRC的工具钢，抗拉强度和硬度之间近似地满足抗拉强度为0.34HBW；而对于硬度为48～52HRC的工具钢，抗拉强度变成0.38HBW；对于具有马氏体组织且硬度高于52～54HRC的钢，其强度与硬度之间已不再呈线性关系。有的钢尽管随着淬火温度的升高其硬度也升高，但是，由于晶粒粗化却导致强度下降。随着回火温度的升高，虽然硬度下降，但由于内应力的消除，其强度却反而上升。因此，可以通过选择不同钢种和恰当的热处理工艺，以得到足够高的硬度和强度与硬度之间的最佳配合。

19.2.2 韧性

韧性是材料在冲击载荷作用下抵抗产生裂纹的一种特性，反映了模具的脆断抗力，常用冲击韧度来评定。韧性是保证模具在工作过程中不发生过早开裂的重要性能指标。移动式压缩模或注塑模经常受到冲击或碰撞，尤其是尺寸较大、形状复杂的塑料模具，其应力状态复杂且应力集中较大，要求材料有较高的韧性。

冲击韧度 a_K 是指冲击试样缺口处单位截面积上的冲击吸收功，而冲击吸收功是指规定形状和尺寸的试样在冲击试验力一次作用下折断时所吸收的功。a_K 越大，材料的韧性越好。

$$a_K = A_K / S \tag{19-1}$$

式中 A_K ——冲击吸收功（J）；

S ——试样缺口处截面积（cm^2）。

影响冲击韧度的因素很多。不同材质的模具钢冲击韧度相差很大，即使同一种材料，因组织状态不同、晶粒大小不同、内应力状态不同，冲击韧度也不相同。通常是晶粒越粗大，碳化物偏析越严重，马氏体组织越粗大，钢越脆。温度不同，冲击韧度也不相同。一般情况是温度越高，冲击韧度值越高，而有的钢常温下韧性很好，当温度下降到 -40～-20℃时则会变成脆性钢。

为了提高钢的韧性，必须采取合理的锻造及热处理工艺。锻造时应将碳化物尽量打碎，并减少或消除碳化物偏析，热处理淬火时防止晶粒过大，冷却速度不要过高，以防内应力产生。模具使用前或使用过程中应采取一些措施减少内应力。

模具钢的化学成分、晶粒度、纯净度、碳化物和夹杂物等的数量、形貌、尺寸、分布，以及模具钢的热处理工艺和热处理后得到的金相组织等因素都对钢的韧性有很大的影响。特别是钢的纯净度和热加工变形情况对于其横向韧性的影响更为明显。钢的韧性、强度和耐磨性往往是相互矛盾的。因此，要合理地选择钢的化学成分并且采用合理的精炼、热加工和热处理工艺，以使塑料模具的耐磨性、强度和韧性达到最佳的配合。

19.2.3 耐磨性

材料抵抗磨损的能力称为耐磨性。耐磨性可用磨损量或相对耐磨性来表示。磨损量越

小，相对耐磨性越大，则材料的耐磨性越高。模具常因型腔表面过度磨损尺寸超差而失效。磨损是模具失效的主要形式。各种模具大都要求较高的耐磨性。

耐磨性是塑料模材料的基本性能之一。由于塑料模具在工作中会受到塑料填充和流动的压应力及摩擦力，所以塑料模具材料必须具有较高的耐磨性，使其在正常工作条件下能保持尺寸和形状不变，并保证其具有足够的使用寿命。特别是在成型加有玻璃纤维等硬质材料的塑料时，塑料模的磨损尤为严重，故在许多情况下要求模具材料具有一定的耐磨性。

磨损的方式有磨料磨损、粘着磨损、腐蚀磨损和疲劳磨损等。在不同类型的磨损过程中，模具材料耐磨性的意义和影响因素各不相同。在磨料磨损的条件下，影响模具耐磨性的因素比较复杂，一般而言，磨料磨损的磨损体积 V 与硬度 H 的关系如式（19-2）：

$$V = KL/H \tag{19-2}$$

式中　K ——常数；

L ——载荷；

H ——模具材料的硬度。

由上式可知，提高模具材料的硬度，也就提高了模具的磨料磨损抗力。对于不同钢种，虽然硬度相等，但其磨料磨损抗力并不相等，其原因是，钢中碳化物的种类、尺寸、数量和分布也影响钢的耐磨性。其中碳化物的种类和数量的影响尤为显著，特别是那些硬度高、颗粒大的碳化物对于提高钢的耐磨性是非常有效的。此外，磨料磨损抗力还和碳化物的分布状态有关，当钢中出现网状碳化物或碳化物沿晶界析出时，都会使耐磨性下降。

粘着磨损的磨损速率 U 可用式（19-3）表示：

$$U = KL/3P_0 \tag{19-3}$$

式中　K ——常数；

L ——载荷；

P_0 ——被磨损材料的塑性流变抗力。

一般情况下，P_0 与材料的硬度成正比，因此当接触应力小于 $H/3$ 时，磨损速率与材料的硬度成反比。

除了在严重的腐蚀磨损条件下外，提高材料的硬度总是可以提高耐磨性的。

19.2.4　导热性与耐热性

由于高速注塑成型塑料制品的需要，模具材料应具有良好的导热性，以使塑料制品尽快地在模具中冷却成型。钢的导热性受其中碳和合金元素含量的影响极大，一般来说，碳和合金元素的含量越高其导热率却越低。

由于模具反复在 200 ~ 350℃ 的温度范围内服役，如果塑料流动性不良，高速成型时，模具的局部温度在极短时间内会超过 400℃。当模具的工作温度较高时，模具型腔的局部表面在压力和高温的共同作用下，可能产生回火软化并且产生塑性变形，或由于模具型腔表面的回火转变产生拉应力，加之交变热载荷的作用使其产生热疲劳裂纹。因此，要求塑料模材料在这样的高温服役条件下，强度不下降，基体组织也不会发生变化。耐热性包括高温强度和抗氧化性两个方面，对于塑料模的服役温度来说，模具钢的抗氧化是不成问题的，关键是材料的高温强度，即一定的热强性和热疲劳抗力。一般而言，模具钢在 400℃ 以下强度下降不大，因此钢的耐热性满足其高温服役条件。塑料模具用铜合金和铝合金的热导率远强于塑

料模具用钢，在同等服役条件下，铜合金和铝合金制造的塑料模具，其工作温度会低于钢制塑料模具，因此，一般不会因高温强度不足而失效。锌合金的高温强度，尤其是高温蠕变极限很低，因此，利用锌合金制造塑料模具，应重视其服役温度，当温度高于100℃时，模具可能会因高温蠕变而失效。

19.2.5 尺寸稳定性

为了保证塑料制品的成型精度，塑料模具在长期服役过程中的尺寸稳定性是至关重要的。为了保证塑料制品的精度，除了模具应具有足够的刚度外，还要求模具材料有较低的热胀系数和稳定的组织。各种模具材料的热胀系数 α 如表19-8所示。

表19-8 各种模具材料的热胀系数 α

材料牌号	45	55	P20	18Ni	QBe2	Zn－22Al	ZL101	7A09
温度范围/℃	20～400	20～400	20～400	—	20～300	20～300	20～300	20～300
$\alpha/\times10^{-6}K^{-1}$	13.1	13.4	13.7	10.0	17.6	24.2	24.5	24.0

由表19-8中数据可知，钢的热胀系数较小，其中最小的是18Ni类马氏体时效钢，铜合金次之，铝合金和锌合金的热胀系数最大。

对于淬火高硬钢而言，钢中的残余奥氏体在长期服役过程中会发生马氏体相变而引起模具变形。改善的方法是，模具在淬火、回火后进行深冷处理，目的是尽量减少甚至消除钢中的残余奥氏体组织。

19.2.6 失效形式

模具的失效是指模具丧失了正常工作能力，其生产出的产品已经成为废品。模具的主要失效形式是腐蚀、磨损、变形和开裂。在工作过程中，模具可能同时出现多种损坏形式，各种损伤之间相互渗透、相互促进、又各自发展，而当某种损坏的发展导致模具失去正常功能，则模具失效。了解模具失效形式就可进一步分析模具的失效原因，找出影响模具失效的各种因素，从而提高模具的质量。

（1）腐蚀 塑料模被腐蚀的现象，不仅在塑料成型加工时可见，在模具保管中也常有出现。塑料模在塑料成型加工时被腐蚀，主要是由成型原料中的添加元素经加热分解所放出的腐蚀性气体所致；而后者是由于保管状况和储存环境所造成的，大多是由于使用和保管交替太频繁所致。几种产生腐蚀性产物的塑料见表19-9。

表19-9 几种产生腐蚀性产物的塑料

材料	产生的腐蚀性物质
聚氯乙烯塑料	成形时往往因热分解产生氯气，而镀铬对于抵御氯系气体的性能较弱
聚缩醛塑料	有时会产生甲酸和甲醛
ABS等含橡胶成分的塑料	由橡胶硫化剂所产生的腐蚀，类似树胶状地粘附着
低发泡塑料	因添加了氯及溴等卤化物和磷化物，此外，它还配合了难燃剂聚氯乙烯，由这些化合物分解的生成物具有很强的腐蚀性

对于腐蚀环境，一般的模具材料是无法抵御的。普通塑料模具钢可采用镀铬、镀Ni－P

合金或改进模具的排气条件来加以改善。虽然用镀铬的方法可以减弱卤素气体的腐蚀，然而在镀层的裂纹处仍然会对模具材料和交界面进行腐蚀。往往会出现镀铬层浮在模具表面的现象，而铜系模具材料则会从电镀层的裂纹处出现很深的腐蚀痕迹。一旦发现有腐蚀的迹象就应立即采用电镀措施，在这样的情况下，若在镀铬层的基底上镀一层镍是比较有效的。

（2）磨损　塑料模与其接触的塑料之间，或塑料模零件之间产生相对运动时都会导致塑料模的磨损，特别是当塑料中加有硬质物质时，这种磨损会更严重。塑料模与其所成型的材料之间的磨损和金属之间的磨损不一样，因为塑料还会明显地增加腐蚀作用，导致塑料模表面的腐蚀磨损。塑料模被磨损的后果是：轻者导致模具表面变粗糙并失去光泽，重者会导致塑料模尺寸超差或形状发生变化。通常，塑料模的表面硬度与其耐磨性是有关的，因此模具应具有一定的硬度；在腐蚀磨损的情况下，还希望模具有良好的耐腐蚀性。对塑料模具进行淬火和表面处理都能达到提高塑料模耐磨性的目的。

表面磨损的主要原因及形式：

1）热固性塑料对磨具表面严重摩擦造成表面拉毛，使模腔表面粗糙度值变大。这必然会影响到压制件的外观质量，需要定期卸下抛光，经多次抛光后，会由于型腔尺寸超差而失效。

2）当塑料中含有云母粉、硅砂、玻璃纤维等固体无机填料时，会明显加剧模具的磨损，这不仅会使型腔表面质量迅速恶化，也会使模具型腔尺寸急剧变化。

3）由于塑料中存在氯、氟等元素，受热时会分解析出 HCl、HF 等强腐蚀性气体，侵蚀模具表面，会加剧模具的磨损失效。

（3）变形　塑料模在长期服役后其尺寸会发生变化，由于轧制的金属材料不同程度地存在各向异性，因此，势必引起塑料模形状发生变化。特别是当钢制塑料模在热处理过程中有残留奥氏体或残余应力时，这种情况引起塑料的变形会更严重。可对淬火塑料模进行高温回火、冷处理，以尽可能减少残留奥氏体的数量。热处理会产生残余应力，电加工甚至机械加工也会产生残余应力，消除残余应力的办法是在热处理或加工后再进行一次充分回火。为了避免塑料模产生变形，选用预硬钢是简单易行的办法，其不足之处是塑料模的耐磨性不足。

以渗碳钢或碳素工具钢制造的热固性注塑模，特别是小型模具在大吨位压力机上超载使用时，容易产生表面凹陷、皱纹、堆塌等，且在棱角处更容易产生塑性变形。而这种塑性变形，可能是模具型腔表面的硬化层过薄，变形抗力不足或因工作温度高于回火温度而发生相变软化，而使模具早期失效。为了防止塑性变形，需将模具处理到足够的硬度及硬化层深层。例如，热固性塑料模具若用碳素工具钢制造，其最终热处理硬度应达到 52 ~ 56HRC；若用渗碳钢制造，其渗层厚度应大于 0. 8mm。

（4）开裂　塑料模有时也会因开裂而失效，特别是对于硬度高且内腔圆角半径太小的塑料模就更容易开裂了。有的塑料模在使用前就已存在裂纹，这样的塑料模往往会早期开裂。塑料模淬火温度过高，回火处理不及时，错误地在回火脆性区回火，磨削加工过程中塑料模表面产生磨削裂纹，以及在电加工过程中塑料模表面产生的裂纹未除去等，都是塑料模开裂的原因。此外，塑料模结构设计不合理、操作使用不当，以及塑料模中有大量的残余应力等都会造成塑料模开裂。优化塑料模结构设计，正确地进行热处理，精心操作和使用都可预防塑料模产生早期开裂。除在设计中应予注意，在热处理中要充分回火外，主要应选用韧

性较好的模具钢制造塑料模，对于大中型复杂型腔胶木模，应采用高韧性钢（渗碳钢或热作模具钢等）制造。

19.3 模具材料的可加工性能

材料的可加工性主要包括切削、磨削、抛光、冷拔等加工性和锻压加工性等。模具钢大多属于过共析钢和莱氏体钢，热加工性能和冷加工性能都不太好，必须严格控制热加工和冷加工的工艺参数。近年来，为改善钢的切削加工性，在钢中加入易切削元素或改善钢中夹杂物的分布状态，从而提高模具表面质量和减少刀具的磨损。

在模具的总成本中，特别是小型精密复杂模具，模具材料费往往只占总成本的 10% ~ 20%，有时甚至低于 10%，而机械加工、热加工、表面处理、装配及管理等费用要占总成本的 80% 以上。所以模具材料的加工工艺性能就成为影响模具成本的一个重要因素，也是提高模具质量和使用寿命的关键所在。

19.3.1 切削性能

切削加工性是指模具材料切削加工的难易程度。由于切削加工方法和具体要求不同，所谓的切削加工难易程度就有不同的内容。工业上常用相对切削加工性来表示材料的切削加工难易程度，一般以强度为 637MPa 的 45 钢的切削加工性为基础，其他材料的切削加工性与之比值则为该材料的相对切削加工性。常用材料的相对切削加工性可分成八级，如表 19-10 所示。

表 19-10 材料切削加工性等级

加工性等级	名称及种类		相对加工性	代表材料
1	很容易切削材料	一般非铁金属	>3.0	铜铝合金、铝镁合金
2	容易切削材料	易削钢	2.5 ~ 3.0	5NiSCa、8Cr2S
3		较易削钢	1.6 ~ 2.5	正火 30 钢
4	普通材料	一般钢及铸铁	1.0 ~ 1.6	45 钢、灰铸铁、结构钢
5		稍难切削材料	0.65 ~ 1.0	调质 2Cr13
6	难切削材料	较难切削材料	0.5 ~ 0.65	调质 45Cr、65Mn
7		难切削材料	0.15 ~ 0.5	调质 50CrV、1Cr18Ni9Ti
8		很难切削材料	<0.15	镍基高温合金

对于模具钢而言，钢的成分、制造过程、强度、晶粒度、塑性、韧性、加工硬化特性，以及碳化物和各种夹杂物的形态和数量等都影响切削加工性。一般情况下，模具材料的硬度对切削加工性的影响是最大的。钢的硬度以 180HBW 为界，硬度升高或下降都使切削加工性变坏，尤其是经过淬火、回火后的高硬度模具钢是最难加工的。模具材料的高温硬度也影响切削加工性，其高温硬度越高，切削加工性越差。

钢中的合金元素碳、硅、锰、镍、铬和钼都有强化珠光体的作用，铬、钼、钨和钒都有增强碳化物的作用，它们的加入都使钢的切削加工性变坏。但对于低碳钢而言，铬多时却提

高切削加工性。钢中加入少量的硫、硒、铝、铋或磷等元素后能略降低钢的强度，同时又能降低钢的塑性，故对改善切削加工性有利。硫、铝和钙等元素改善切削加工性的方法和效果如表 19-11 所示。

表 19-11　易切削元素改善切削加工性的方法和效果

元素	在钢中存在状态	切削加工性	对钢性能的影响
硫	硫化物	在低切削速度范围内提高刀具寿命	降低韧性，增大力学性能的各向异性
铝	单独	在整个切削速度范围内提高刀具寿命	降低滚动耐磨性
钙	复合氧化物	在高切削速度范围内提高刀具寿命	无影响

塑料模具材料应具有良好的切削加工性，特别是塑料制品形状复杂、表面质量要求很高或有精密花纹图案时，要求模具材料便于切削、易于抛光，且有良好的光刻蚀性能。部分塑料模具需要进行预硬处理，即切削成形前预先进行热处理，以保证塑料模具的尺寸精度和表面粗糙度。这就要求模具材料在较高硬度状态下，仍具有良好的切削加工性能。一般情况下，硬度对材料的切削加工性影响最大，硬度过高或过低都会使切削加工性变坏，尤其是经过淬火加低温回火的高硬度模具钢，切削加工十分困难。

19.3.2　电加工性能

模具材料在电加工过程中会出现一般机械加工不会出现的问题，因此，要求模具材料具有良好的电加工性。一般的碳素结构钢和合金结构钢的电加工性是良好的，其电加工表面不会出现缺陷，然而 Cr12 类型的钢和其他含硫的切削模具钢在电火花加工后，其加工表面常留下沟纹。残留的沟纹使加工面的表面粗糙度值变大，给随后的研磨加工带来了困难。产生沟纹的原因是钢中的碳化物或硫化物沿轧制方向呈带状分布，在电火花加工过程中因放电产生的爆发力而崩落，或由放电加工时产生的高温而熔化，因而导致沟纹的产生。

电火花、线切割是目前塑料模具加工中常用的两种电加工方法，可用来制造各种几何形状比较复杂的模具型腔。电火花烧伤层中存在较大的内应力，当其厚度较大时会出现微裂纹，从而降低模具的韧性和断裂抗力，导致模具易发生早期开裂和表面剥落。因此，在模具进行电火花加工时应注意调整电参数，控制熔化层在 10μm 以下。这样不但能大大减少不利因素，熔化层的高硬度还提高了模具的耐磨性。减少电加工变质层的方法除采用反复多次的精细电加工外，Cr12MoV 等钢在淬火加高温回火后进行电加工是恰当的。

19.3.3　热加工性能

许多塑料模毛坯都是用圆钢或方钢改锻而成的，因此，模具材料的热加工性也是一个重要特征。钢的热加工性可以根据变形抗力和变形能力来考虑。一般而言，热加工温度越高，钢的变形抗力越低。不同钢种之间的变形抗力存在很大差异，钢中所含合金元素越高，其对高温强度提高的越大，钢的变形抗力也越高。对于同一钢种而言，如果提高变形速度，变形抗力也随之增大。

钢在加热时，由于非氧化性的铜、锡和砷等元素不被氧化而富集于氧化膜的内侧并沿晶界形成液相，这样在锻造时便产生龟裂。这种现象显著地受上述非氧化性元素的含量、加热条件和加工温度等因素的影响，由于这种现象产生的原因是选择性氧化，因此，在氧化膜形

成特别强烈的条件下最容易发生。此外，在化学成分方面，除降低非氧化性元素的浓度外，在钢中加入镍也是有效的，一般推荐镍/铜的比值大于 1.5。

碳钢和低合金钢都有较好的热加工性；高合金钢，尤其是高铬合金工具钢和高速工具钢的热加工性都很差；含硫或铝的易切削模具钢尽管变形抗力不高，但因其塑性较低，在锻造过程中很容易产生裂纹，改锻后应立即退火，以防裂纹的产生。

19.3.4 冷加工性能

许多塑料模标准件都是冷挤压成形的，因此，冷成形性是塑料模具材料的重要性能。冷成形性指在结晶温度以下的温度范围内进行加工的难易程度。影响冷成形性的主要因素是材料的变形抗力和变形能力。

随着钢中碳含量的升高，加工硬化程度也增大，变形抗力显著提高，因此，在进行冷成形前常都进行球化退火，把钢材处理成变形抗力最低的状态。此外，冷加工时的硬化程度除与含碳量有关外，还与杂质元素有关，特别是氮和磷显著地增大加工硬化倾向，因此，氮和磷是应该注意的杂质元素。

在冷成形过程中，随着变形程度增大，抗拉强度升高，而伸长率、断面收缩率和冲击韧度则显著降低。

19.3.5 热处理性能

热处理工艺性能实际上也是一种热加工工艺性能。在模具失效的案例中，热处理不当造成的失效占总失效的 40% 左右。热处理工艺性能的好坏对模具的质量有较大影响，它要求材料热处理后有足够的淬硬性和淬透性，而且变形小、淬火温度范围宽、过热敏感性小、脱碳敏感性低等。

（1）淬硬性和淬透性　淬硬性主要取决于钢的含碳量，淬透性主要取决于钢的化学成分、合金元素含量和淬火前的组织状态。对于大部分要求高硬度的冷作模具，淬硬性要求较高；对于大部分热作模具和塑料模具，对硬度的要求并不太高，往往更多地考虑其淬透性，特别是一些大截面、深型腔模具，为了使模具的心部也能得到良好的组织和均匀的硬度，就要选用淬透性好的模具钢；另外，对于形状复杂、精度要求高又容易产生热处理变形的模具，为了减小其热处理变形，往往采用冷却能力弱的淬火介质（如油冷、空冷、加压淬火或盐浴等温淬火等），这就需要采用淬透性较好的模具材料，以得到满意的淬火硬度和淬硬层深度。

（2）淬火变形和开裂倾向　淬火变形和开裂是热处理三大难题中的两个，可见其重要性。模具在热处理时要求其变形程度要小，特别是一些形状复杂的精密模具，淬火后难以修整，更要求淬火、回火后的变形程度小，一般选用微变形模具钢。

（3）氧化脱碳敏感性　模具在加热过程中，如果产生氧化、脱碳现象，就会改变模具的形状和性能，影响模具的硬度、耐磨性和使用寿命，导致模具早期失效。有些 Mo 含量高的模具钢，由于容易氧化、脱碳，在一段时间内限制了其推广应用，直到热处理工艺装备发展以后，采用特种热处理工艺，如真空热处理、可控气氛热处理、盐浴热处理等，才能够防止氧化、脱碳，使这类模具钢顺利得到推广应用。

为了制造高精度和高硬度的塑料模，提高塑料模的强度和耐磨性，许多塑料模都需要在

机加工后进行淬火加回火处理，然而塑料模在淬回火过程中却常产生开裂、变形或不能获得均匀的组织和硬度。模具在热处理过程中产生这些缺陷除与模具的尺寸和结构、热处理工的素质，以及热处理工艺选择是否恰当外，还与模具材料本身的性质密切相关。所谓热处理性是指模具在热处理过程中不开裂、变形小，以及获得均匀组织和性能的能力。模具零件对热处理工艺性的要求包括脱碳敏感性、淬火应力与淬火开裂倾向、淬透性、淬硬性和热处理变形等方面。这些性能对塑料模具的力学性能与塑料制品的成型质量影响很大。

19.4　模具选材方法

随着塑料制品的迅速推广应用，塑料模具的生产和技术取得了迅速的发展，塑料的品种很多，总的可以分热固性塑料、热塑性塑料两大类。其中热固性塑料又包括酚醛、密胺、聚酯等品种，以及这些在塑料中加入强化剂（如玻璃纤维、金属粉）改性成的增强塑料。热塑性塑料的品种发展更快，包括用途很广的通用塑料（包括聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、ABS 等）、工程塑料（尼龙、聚碳酸酯等）、各种增强塑料、阻燃塑料、氟化塑料、磁性塑料等。

由于各种塑料的品种不同、性能各异，而各种类塑料制品的尺寸、形状、复杂程度、尺寸精度、表面粗糙度和生产批量等各方面的要求不同，对塑料成型用模具及制造模具的材料提出了各种不同的要求。因此，选择塑料模具材料时，要依据一定的原则进行，大致有按加工方式选材、按服役条件选材、按制品质量选材、按制品批量选材等几个方面。不应仅从使用性能和工艺性能要求进行简单确定，而应从实用性和经济性两方面进行综合考虑，既要符合使用性能和工艺性能的需要，又应使模具制造成本尽可能低廉，这样会使塑料制品生产的成本降低，创造出较好的经济效益。

1. 依据塑料模具服役条件和制品质量选择模具材料

1）对于模具型腔表面要求高硬、耐磨，而心部具有较好韧性的塑料模具，可以选用渗碳型塑料模具钢来制造。对其中尺寸较小且型腔不太复杂的注塑模具，可选用淬透性相对较小的渗碳型塑料模具钢。此类钢在退火状态下，具有良好的塑性，较小的变形抗力，因此可采用冷变形的方式成形，减小切削加工的工作量，如 20、20Cr 钢等。对于尺寸较大、型腔形状较复杂的塑料模具，可选用淬透性较好的渗碳型塑料模具钢，如 12CrNi3A、12CrNi4A 等。渗碳型塑料模具钢经渗碳、淬火加回火处理后，可使型腔表面具有良好的耐磨性，同时保证心部具有较好的强度和韧性。

2）对于模具型腔复杂、精度要求高和寿命要求长的塑料模具，为防止型腔切削加工成形后因淬火处理引起过大的型腔变形，保证模具的精度和使用性能，应该选用预硬型塑料模具钢。此种塑料模具钢在供应状态下已经完成预硬处理，或在切削加工之前进行预硬调质处理，切削加工成形后，不需要再进行旨在保证力学性能的最终热处理而直接使用，可以避免因热处理应力造成的模具变形和开裂，如 40Cr、3Cr2Mo、4Cr5MoSiV1、5CrNiMnMoSCa、8Cr2MnWMoVS 钢等。

3）对于以玻璃纤维做填充剂的热塑性塑料制品的注塑模或热固性塑料的压缩模，有较高的硬度、耐磨性、抗压强度、韧性、抛光性和电加工性等综合要求。为防止模具型腔表面过早磨损或局部变形，可以选用整体淬硬型塑料模具钢，也可选用时效硬化型塑料模具钢，如 T8A、T10A、9SiCr、CrWMn、Cr12V1 和 Cr12Mo 等，还可选用 25CrNi3MoAl、18Ni、

06Ni6CrMoVTiAl 等时效硬化型塑料模具钢。

4）对于以聚氯乙烯、聚苯乙烯和 ABS 加抗燃树脂等为原料的塑料制品，在成型过程中会分解出腐蚀性气体，将对模具产生腐蚀作用，因此模具材料必须具有相应的防腐蚀性能，可以选用耐蚀型塑料模具钢作为模具制造材料。如 9Cr18、Cr18MoV、Cr14Mo4V、4Cr13、1Cr17Ni2 和 0Cr16Ni4Cu3Nb 等。

5）对于要求型腔表面粗糙度值低、光亮度高、尺寸和形状精度高、型腔复杂，甚至有耐蚀要求的大截面塑料模，以及具有镜面抛光性和高耐磨性要求的透明制品塑料模具，应选用时效硬化型塑料模具钢。如汽车灯罩、汽车仪表盘、电视机、电传机、打字机的外壳等塑料零件的模具，或高镜面、高透明度、高精度的各种热塑性塑料光学镜片注塑模具，应选用时效硬化型塑料模具钢，如 PMS、06Ni、PCR、18Ni 类等，或选用预硬型塑料模具钢，如 P20、5NiSCa、8Cr2S 等。各类塑料模具材料的选用如表 19-12 所示。

表 19-12　塑料模具材料的选用

塑料或制品的用途		代表原料	典型制品	模具要求	适用模具材料
一般的热固性和热塑性塑料	一般	ABS	散热器格栅	高强度、高耐磨性	P20、4Cr5MoV1Si、Cr12MoV、5NiSCa、8Cr2MnWMoVS
		聚丙烯	风扇、叶片、水桶		
	装饰件	ABS	汽车内覆盖件	高强度、高耐磨性、装饰纹加工性	P20、SM2
	透明件	丙烯	立体防尘器、汽车尾灯	高强度、高耐磨性、良好的研磨加工性	8Cr2MnWMoVS、5NiSCa、18Ni 马氏体时效钢
用玻璃纤维等进行填充的热固性塑料和热塑性塑料	热塑性塑料	聚缩醛尼龙、聚碳树脂	工程塑料制品、汽车内覆盖件、电动工具外壳	高耐磨性	Cr12MoV、CrWMn、9Mn2V、4Cr5MoSiV1、8Cr2MnWMoVS、5NiSCa、7CrSiMnMbV
	热固性塑料	酚醛环氧树脂	齿轮类工程塑料制件	高耐磨性	
光学透镜		丙烯材料、聚丙乙烯	照相机透镜、菲涅耳透镜	高镜面加工性、高强度及防锈性	18Ni 马氏体时效钢、3Cr13、4Cr13
阻燃型制件		ABS	电视机外壳、阴极射线管外壳、收音机机座	适当的强度、耐蚀性	17－4pH、3Cr13、4Cr13、P20 镀铬
聚氯乙烯		PVC	电话机、水槽管子、接头	适当的强度、耐蚀性	17－4pH、P20 镀铬
聚四氟乙烯		聚四氟乙烯	密封垫片、电线被覆材料	耐蚀性	含钨钼的镍基高温合金

2. 依据塑料制品的生产批量选择模具材料

对于每种类型的塑料模具材料还应考虑各牌号间的性能和质量差异。模具材料品种和牌号的选择与塑料制品的生产批量有关，这是由于塑料制品生产批量的大小，对于模具的耐磨性和使用寿命有着不同的要求。一般而言，生产批量较小的模具，为降低模具造价，不必选

用性能相对优良的模具材料，而选用较普通的模具材料即可。生产批量较大的塑料模具，为保证其较高的耐磨性和使用寿命，必须选用性能和质量优良的模具材料品牌。塑料制件生产批量与相应的模具材料如表 19-13 所示。

表 19-13　塑料制件生产批量与相应的模具材料

模具寿命（合格品）/件	材料选用
100000 ~ 200000	45、55、40Cr
300000	P20、5NiSCa、8Cr2S
600000	P20、5NiSCa、SM1
800000	P20、8Cr2S 淬火
1200000	SM2、PMS
1500000	PCR、LD2、65Nb
2000000	65Nb、012Al 氮化、25CrNi3MoAl

3. 依据塑料模的失效方式选材

塑料模的失效方式有腐蚀、磨损、变形和开裂等 4 种。对于不同的失效方式，选择塑料模材料的种类也各不相同。

因腐蚀而失效的塑料模，模具材料应选择马氏体不锈钢、沉淀硬化不锈钢、马氏体时效钢或镍基超合金，若选择普通模具钢则应镀铬或镀其他耐腐蚀的金属。

因磨损而失效的塑料模具，应选择能淬成高硬度的碳素工具钢、合金工具钢或者高速工具钢，以进一步提高小型塑料模的耐磨性。

塑料模变形大多是因模具材料在长期服役过程中尺寸稳定性较差而造成的。残余奥氏体发生马氏体相变是导致钢制塑料模尺寸稳定性较差的原因；此外，塑料模内的残余应力逐渐释放，也会导致塑料模的尺寸或形状发生变化，这时，选择预硬钢或经过深冷处理的 Cr12MoV 钢来制造塑料模是恰当的。

塑料模的开裂除与其设计不当有关外，塑料模在制造过程中产生脆化（模具钢淬火温度过高或在回火脆性区回火）或残留较大的残余应力也是重要因素，这时应根据具体原因采取相应的措施。

4. 塑料模零部件的选材

（1）成形零部件的选材　成形零部件直接与塑料接触，应根据塑料的种类、塑料制品的尺寸和批量进行选材。成型零部件选材举例见表 19-14。

表 19-14　成形零部件选材举例

塑料制品	总生产数				
	小型件		中型件		大型件
	1 万 ~ 10 万	100 万 ~ 1000 万	1 万 ~ 10 万	100 万 ~ 1000 万	1 万件以上
一般用途丙烯酸酯系塑料，醋酸纤维素，聚丙烯，乙基纤维素，聚乙烯，聚苯乙烯，丙酸纤维素	P20 或预硬化钢，>300HBW	CrWMn，53 ~ 56HRC；P20 渗碳，54 ~ 58HRC	P20 或预硬化钢，>300HBW	CrWMn，53 ~ 56HRC；P20 或预硬钢，>300HBW	P20 或预硬化钢，>300HBW

（续）

塑料制品	总生产数				
	小型件		中型件		大型件
	1 万～10 万	100 万～1000 万	1 万～10 万	100 万～1000 万	1 万件以上
尼龙等流动性好的塑料	低碳合金钢渗碳或 P20 渗碳，54～58HRC	CrWMn，53～57HRC	低碳合金钢渗碳，54～58HRC	低碳合金钢渗碳，54～58HRC	不适用
乙烯基类等耐腐蚀性塑料	预硬钢，>300HBW，镀铬 5～25μm	CrWMn，53～57HRC，镀铬 5～25μm；3Cr13，45～50HRC	P20 或预硬钢，>300HBW，镀铬 5～25μm	低碳合金钢渗碳，54～58HRC，镀铬 5～25μm；3Cr13，45～50HRC	P20 或预硬钢，>300HBW，镀铬 5～25μm

（2）结构件的选材　塑料模中的结构件服役条件不太恶劣，一般情况下选择碳素结构钢、合金结构钢或碳素工具钢就可以满足使用要求。塑料模结构件的选材举例见表 19-15。

表 19-15　塑料模结构件的选材举例

序号	零件名称	钢种	热处理	硬度 HBW 或 HRC
1	定模座板	20～55	R、N 或 H	123～235HBW
2	定模板	50，55，42CrMo，T8	N、A 或 H	183～235HBW
3	动模板			
4	点浇口板			
5	卸料板			
6	支撑板			
7	垫板	20～55	R、N 或 H	125～235HBW
8	推杆固定板			
9	推板			
10	动模座板			
11	型芯	50，55，42CrMo，T8	N、A 或 H	183～235HBW
12	定位圈	50，55，T8	R、N 或 A	183～235HBW
13	浇口套	50，55，T8、T10，42CrMo	N 或 H	正火：183～235HBW 淬火：>40HRC
14	导柱	T12，T10，CrWMn，GCr15	H	>55HRC
15	导套			
16	控料杆	T12，T10，CrWMn，38CrMoAl	A 或氮化	>55HRC
17	推杆			
18	推管	T12，T10，CrWMn，GCr15	R	
19	反推杆	T12，T10，CrWMn		

（续）

序号	零件名称	钢种	热处理	硬度 HBW 或 HRC
20	止动拉杆	20～55，T12，T10	R、N 或 H	正火：123～207HBW 淬火：>55HRC
21	定位销	20～55，CrWMn		
22	推板导柱	T12，T10，CrWMn，GCr15	H	>55HRC
23	支撑柱	20～55	R、H 或 H	123～235HBW
24	拉板、限位螺钉			
25	浇道拉料杆	T12，T10，CrWMn，38CrMoAl	H	>55HRC
26	连杆	20～55	R 或 N	123～207HBW
27	连杆螺栓			
28	延时零件，延时零件螺钉			
29	侧型芯	50，55，T12，T10，T8，CrWMn，42CrMo	N 或 H 局部 H	183～235HBW
30	侧型芯挡块	T12，T10，CrWMn	H	52～56HRC
31	滑块	50，55	R 或 N	183～235HBW
32	锁模块	50，55，T12，T10	N 或 H	正火 179～255HBW 淬火 52～56HRC
33	斜导柱	T12，T10，CrWMn	H	>55HRC
34	凸轮	GCr15，50，55	N 或 H	183～235HBW
35	螺塞	20～30	R	123～257HBW

注：R：锻造、压延或拉拔；A：退火；H：淬火、回火；N：正火。

（3）弹簧的选材　弹簧最重要的性能是高弹性极限和高疲劳，因此，弹簧通常都用 w_C > 0.5% 的碳钢或合金钢制造。弹簧钢有以下几种：

硅钢：65、70、80、90

硅锰钢：60Si2Mn

锰钢：65Mn

铬钒钢：50CrV

弹簧可以冷成形也可以热成形，一般尺寸小的弹簧都采用冷成形，而对于尺寸大的弹簧则通常采用热成形；热成形后再进行淬火加中温回火。热成形弹簧选择钢种的基准是淬透性，即为了发挥弹簧的上述功能，最好弹簧心部也能淬透。

19.5　模具常用钢材及热处理

模具热处理可分为退火、淬火、回火、正火、固溶、时效及冷处理等。

（1）退火　将金属材料加热至较高温度，保持一段时间，然后缓慢冷却，以得到接近于平衡状态组织的各种工艺方法统称为退火。退火的目的在于使化学成分均匀、改善力学性能及工艺性能、消除或减小内应力，并为塑料模的最终热处理准备合适的内部组织。塑料模具钢退火工艺的种类很多，按加热温度的高低可分成两大类：

1）在临界温度（Ac_1 或 Ac_3）以上的温度退火（相变重结晶退火），包括完全退火、不完全退火、晶粒细化退火、扩散退火和球化退火等。

2）在临界温度以下的温度退火，包括软化退火、再结晶退火以及去应力退火。按冷却方式可分成连续退火、等温退火，以及临界区快速冷却后缓慢冷却的退火等。

（2）正火　亚共析钢（一般 $w_C < 0.77\%$ 的钢种）加热到 Ac_3 +（30 ~ 50℃），共析钢和过共析钢加热到 Ac_m +（30 ~ 50℃），均温后在空气中冷却，得到珠光体型组织的热处理工艺，称为正火。钢经过正火除能使强度、韧性等力学性能提高外，残余应力也可得到消除。正火可分成普通正火、二段正火、等温正火及双重正火等。

（3）淬火　淬火是将钢或合金加热到一定温度，保持适当的时间以获得相应的高温相，然后快速冷却以获得远离平衡状态的不稳定组织的热处理。钢的淬火主要是得到强度高、耐磨性好的马氏体或贝氏体组织。钢的淬火工艺种类很多，按加热温度的不同可分成：完全淬火、不完全淬火、亚共析钢的临界区淬火以及低温（低于临界温度）淬火等；按所用淬火介质的不同可分为：单液淬火、双液淬火、热浴淬火和空冷淬火等；按淬火时的冷却方式不同可分成：连续淬火、预冷淬火、中断淬火、喷液淬火、分级淬火和等级淬火等。

（4）固溶　将钢或合金加热到高温，保持一段时间，然后快速冷却下来，使高温组织保留并得到过饱和固溶体的热处理叫固溶处理。奥氏体不锈钢、马氏体时效钢、铍青铜以及铝合金常采用固溶处理（铍青铜和铝合金还要进行时效处理）。

（5）回火　回火是指淬火（或正火）的钢材，加热到临界点（Ac_1）以下某一温度，保持一段时间，然后以适当速度冷至室温的热处理工艺的总称。回火的目的是为了使淬火（或正火）所得到的不稳定组织转变为稳定组织，适当降低硬度，提高塑性及韧性，减少或消除残余内应力。按回火温度的划分，回火可分成低温、中温和高温回火。淬火加高温回火称为调质；按回火的次数划分可分成一次回火和多次回火（二次硬化钢高温回火多采用此工艺）。

（6）时效　由高温下淬火（固溶处理）而得到的过饱和固溶体，在室温下停放相当一段时间或在某一温度加热时，将发生合金元素的偏聚或强化相沉淀的工艺称为时效。铍青铜和铝合金时效后其强度和硬度都相应地提高。

（7）冷处理　钢或合金淬火后立即冷却到0℃以下的处理工艺叫冷处理。冷处理的目的是消除残留于淬火钢中的残余奥氏体，或减小用 Cr12MoV 等钢制造的塑料模在电加工过程中开裂的危险。根据冷处理的温度不同，可将冷处理分成一般冷处理（ -80℃以上）和深冷处理（ -196 ~ -80℃）。

19.5.1　碳素结构钢

碳素结构钢在塑料模具制造中常用的有 15、20、40、45、50 等牌号。碳素结构钢中应用最广泛的一种是 45 钢，这种钢的优点是具有良好的切削性能；缺点是热处理后变形大。15 钢和 20 钢经渗碳和淬火处理，可制造导柱、导套和其他一些耐磨性的零件。

40、45、50、55 都是优质碳素结构钢，这几种钢的淬透性随碳含量的增加而升高，但都较低，对一定厚度的塑料模水淬时易变形和开裂，因此一般都在正火状态下使用。正火状态下的碳素结构钢的强度随含碳量的升高而升高，塑性和韧性却呈现相反变化的趋势。这类钢的力学性能也随着塑料模的尺寸增大而变差，只有对力学性能要求较高的小型塑料模才采

用调质处理。碳素结构钢的冷变形塑性中等且随碳含量升高而下降；其切削加工性良好；可焊接，但焊前需预热，焊后需退火以消除焊接残余应力。

19.5.2　合金结构钢

（1）40Cr 钢　是机械制造业使用最广泛的结构钢之一。该钢的淬透性比碳素结构钢好，水淬时可淬透到 ϕ28 ~ 60mm，油淬时可淬透到 ϕ15 ~ 40mm，调质处理后具有较高的强度，良好的塑性、韧性以及高的疲劳强度。该钢还适合于碳氮共渗。其切削加工性尚好，但冷变形塑性和焊接性较差。该钢适于制造尺寸较大的塑料模，其硬度和力学性能的均匀性都优于碳素结构钢。

（2）3Cr2Mo（P20）　属于中碳低合金钢，含有较高的铬和钼，因此淬透性很好。该钢不但具有优良的加工性，而且具有均匀的力学性能。为了提高表面耐磨性，可以在机械加工后进行渗碳淬火或氮化处理。该钢通常适于在调质处理（硬度为 30 ~ 36HRC）后加工大型、复杂或精密塑料模。如电视机壳或洗衣机面板等大型塑料模具，切削加工性好，表面粗糙度低，具有较高的使用寿命。

19.5.3　碳素工具钢

碳素工具钢中 w_C = 0.7% ~ 1.3%，价格便宜，原料来源方便，具有良好的切削和研磨性能，淬火温度低，热处理后具有较高的表面硬度和较好的耐磨性，适宜于制造形状简单、尺寸不大、受轻载荷的模具零件。缺点是淬透性低，淬火温度范围窄，淬火变形大，较大的模具不能淬透，而且表面淬硬层和中心部分之间的硬度值相差很大，容易使模具在淬火时开裂。在使用时碳素工具钢模具强韧性、抗热软化能力及耐磨性较差，在使用中易折断、磨损。

T8A、T9A、T10A、T12A 都是碳素工具钢，w_C = 0.7% ~ 1.3%，优点是可锻性好、退火易软化、切削加工性好、价格便宜。不足之处是：淬透性低，需用水作为冷却介质，容易产生开裂和变形。T8A 是共析钢，淬火加热时，钢中无过剩碳化物，晶粒易长大从而降低回火钢的韧性，其耐磨性也较差。T9A、T10A 和 T12A 都是过共析钢，淬回火后钢中存在过剩碳化物，因而硬度高，耐磨性好。

碳素工具钢热处理后可以得到高硬度和高耐磨性，但淬透性较低，因此，仅适于制造尺寸不大、受力较小、形状简单以及变形要求不高的热固性塑料模具。另外，利用其淬透性不高的特点，制造要求表面耐磨、心部有一定韧性的凹模是非常适宜的。该类模具钢锻造后必须进行球化退火，退火后不允许有连续的网状碳化物存在。

碳素工具钢的淬火温度一般根据钢的临界点来选择（Ac_1 以上 30 ~ 50℃）。对于较大的塑料模具，为了提高其表面硬度，可以采用较高的淬火温度；对于较小尺寸的塑料模具，可采用较低的淬火温度，以便得到较好的综合力学性能。对于薄的模具（有效厚度小于 5mm）一般采用油淬；对于中型模具（有效厚度 10 ~ 15mm）可采用碱浴分级淬火；对于大型模具可以水淬。

19.5.4　合金工具钢

1. 低合金工具钢

（1）CrWMn 钢　是我国广泛应用的冷作模具钢，与碳素钢相比，具有较高的淬透性和

热处理变形小的特点，但该钢对形成网状碳化物比较敏感，主要用来制造尺寸较大、形状较复杂和精度较高的塑料模。

CrWMn 钢具有高淬透性。由于钨形成碳化物，这种钢在淬火和低温回火后具有比铬钢和 9SiCr 钢更多的过剩碳化物和更高的硬度及耐磨性。此外，钨还有助于保存细小晶粒，从而使钢获得较好的韧性并减少过热敏感性。在 800℃淬火时，钢的抗弯强度、韧性最高；在 270℃以下回火时，强度及冲击韧度随回火温度升高而显著上升。

（2）9Mn2V 钢　是一种综合力学性能比碳素工具钢优良的低合金工具钢。它具有较高的硬度和耐磨性，淬透性很好，淬火变形小。由于钢中含有一定量的合金元素钒，细化了晶粒，减小了钢的过热敏感性。同时碳化物较细小和分布较均匀。其中 Mn 含量（质量分数）高达 1.70% ~2.00%，主要是为了提高钢的淬透性。其碳化物不均匀性较 CrWMn 低。适于制造截面尺寸较大、形状较复杂的塑料模。

2. 高合金工具钢

（1）Cr12MoV 钢　是一种高碳、高铬莱氏体钢，该钢较 Cr12 钢碳含量低，且加入适量 Mo 和 V，碳化物不均匀度有所改善。Mo 能减轻碳化物偏析并提高淬透性，V 能细化晶粒增加韧性。Cr12MoV 钢有高的淬透性，截面在 300 ~400mm 以下的模具可以完全淬透且淬火后的变形很小，在 300 ~400℃仍可保持良好的硬度和耐磨性，较 Cr12 钢有高的韧性，淬火时体积变形量小，又有高的耐磨性和良好的综合力学性能。由于钢中含有大量高硬度的 M_7C_3 型碳化物，因此该钢具有很高的耐磨性。然而，该钢的热加工性较差，退火不易软化，焊接性很差。

该钢适于制造要求高耐磨性的大型、复杂和精密的塑料模。

（2）D2 钢　是 AISI 标准的一种冷作模具钢，该钢的化学成分与我国的 Cr12MoV 相近，只是合金元素钼和钒的含量较高。该钢比 Cr12MoV 有更高的淬透性、回火稳定性和耐磨性。对于厚大截面模具，该钢也可空冷淬透，因而淬火变形很小。由于该钢回火稳定性较高，高温回火后硬度仍然较高，残余奥氏体却大大减少，因此电加工中不易开裂。该钢的其他性能与 Cr12MoV 相近。该钢适于制造要求高耐磨性的大型、复杂和精密塑料模。

19.5.5　高速工具钢

高速工具钢是一种热硬性、耐磨性较高的高合金工具钢，它的热硬性高达 600，可以进行高速切削，故称为高速工具钢。高速工具钢具有高的强度、硬度、耐磨性及淬透性。高速工具钢的 w_C =0.75% ~1.50%，并含有 10% 以上的钨、钼、钒等碳化物形成元素及钴。高速工具钢铸态下碳化物分布不均匀，故必须反复进行锻造。锻后应进行退火处理，以改善其切削加工性能。由于淬火后有较多的残余奥氏体（20% ~25%），为了减少残余奥氏体量，其最终热处理为淬火 + 多次高温回火（第一次回火 1h 降到 10% 左右，第二次回火后降到 3% ~5%，第三次回火后降到最低量 1% ~2%），组织为回火马氏体 + 碳化物 + 少量残余奥氏体，硬度高达 62HRC 以上。

（1）W18Cr4V 钢　是钨系高速工具钢，具有高的硬度、热硬性及高温硬度。其热处理范围较宽，淬火不易过热，热处理过程不易氧化脱碳，磨削加工性能较好。该钢在 500℃及 600℃时硬度分别保持在 57 ~58HRC 及 52 ~53HRC，对于大量的、一般的被加工材料具有良好的切削性能。W18Cr4V 钢碳化物不均匀度、高温塑性较差，不适宜制作大型及热塑成型

的刀具；但广泛用手制造各种切削刀具，也用于制造高负荷冷作模具，如冷挤压模具等。

（2）W6Mo5Cr4V2 钢　是一种钨钼系高速工具钢，以 Mo 代替了部分 W，使铸态莱氏体得到细化，轧制后碳化物不均匀程度较轻，粒度也细，因此，与 W18Cr4V 钢相比，W6Mo5Cr4V2 钢具有碳化物细小均匀、韧性高、耐磨性和热塑性都更好的优点，而热硬性和高温硬度却与 W18Cr4V 相当。该钢适于制造强度高和耐磨性好的塑料模。但 W6Mo5Cr4V2 高速工具钢易于氧化脱碳，在热加工及热处理时应加以注意。

19.5.6　热作模具钢

（1）4Cr5MoSiV 钢　是一种空冷硬化的热作模具钢。该钢在中温条件下具有很好的韧性，较好的热强度、热疲劳性能和一定的耐磨性，在较低的奥氏体化温度条件下进行空淬，热处理变形小，空淬时产生氧化铁皮的倾向小，而且可以抵抗熔融铝的冲蚀作用。该钢通常用于制造铝铸件用的压铸模、热挤压模，以及穿孔用的工具和芯棒、压力机锻模、塑料模等。此外，由于该钢具有好的中温强度，亦被用于制造飞机、火箭等耐 400 ~ 500℃工作温度的结构件。

（2）4Cr5MoSiV1 钢　是一种使用最广泛的空冷硬化热作模具钢，也是所有热作模具钢中使用最广泛的钢号之一。与 4Cr5MoSiV 钢相比该钢有较高的热强度和硬度，在中温条件下具有很好的韧性、热疲劳性能和一定的耐磨性，在热处理过程中变形也很小。在较低的奥氏体化温度下空淬，空淬时产生氧化皮倾向小，可以抵抗熔融铝的冲蚀作用。该钢适于制造要求有较高韧性和一定耐磨性的复杂和精密塑料模。

19.5.7　时效硬化型塑料模具钢

时效硬化型塑料模具钢是根据制造高精度、复杂型腔塑料模具的需要而研制开发的一种高质量塑料模具钢。此类模具钢的大致特点是碳含量低，合金元素含量较高，经过固溶处理后为单一组织的过饱和固溶体，处于软化状态。若将其在一较低温度进行时效处理后，固溶体中能析出细小弥散的金属化合物，使模具钢的强度和硬度大幅度提高，而且在强度和硬度提高的过程中，尺寸和形状的变化极小。因此，采用此类钢制造塑料模具时，可在固溶处理后进行切削成形加工，然后通过时效处理，使模具获得较高的强度和硬度，并有效地保证模具的最终尺寸和形状精度。

由于时效硬化型塑料模具钢一般采用真空熔炼，纯净度高，其镜面抛光性和表面刻蚀性良好。另外通过镀铬、渗碳或离子束增强沉积等表面处理方式，可以提高其耐磨性和耐蚀性。

时效硬化型塑料模具钢经过时效处理能获得高的力学性能，适合制作强度和韧性、尺寸精度、表面质量和耐蚀性都要求较高的塑料模具，以及透明塑料模具等。

时效硬化型塑料模具钢的热处理工艺基本分为两个步骤：第一步进行固溶处理，首先将钢加热至高温，使各种合金元素充分溶入奥氏体，然后进行淬火处理获得马氏体组织；第二步进行时效处理，使模具达到所需的力学性能。

（1）25CrNi3MoAl 钢　特点是镍含量较低，价格远低于马氏体时效钢，也低于超低碳中合金时效钢。调质硬度为 230 ~ 250HBW，常规切削加工性和电加工性能良好。时效硬度为 38 ~ 42HRC，时效处理及渗碳处理温度范围相当，且渗碳性能好，渗碳后表层硬度达

1000HV 以上，而心部硬度保持在 38 ~ 42HRC。镜面研磨性能好，表面粗糙度值可达 0.2 ~ 0.025μm，表面光刻蚀性能好，光刻花纹清晰均匀。焊接修补性好，焊缝处可加工，时效处理后焊缝硬度和基体硬度相近。25CrNi3MoAl 钢主要用于制作普通及高精密塑料模具。

（2）18Ni 类钢　超低碳 18Ni 马氏体时效钢具有很高的强度和良好的韧性，其热胀系数小，大截面工件的力学性能均匀一致，热处理工艺简单，不淬火即可硬化，该钢固溶处理状态的硬度为 28 ~ 32HRC，可加工性良好，无冷作硬化效应，时效处理变形小，焊接性好，耐腐蚀性优良，表面可氮化增加耐磨性。该钢的不足之处是，在高温热处理或热加工时会产生脆化，最严重的脆化发生在加热到 1200 ~ 1300℃之后在 816 ~ 962℃的温度范围内长时间停留时。18Ni 主要用于制造高精度、超镜面、型腔复杂、大截面、大批量生产的塑料模具。

（3）06Ni6CrMoVTiAl（06Ni）钢　属于低镍马氏体时效钢。该钢突出优点是热处理变形小，抛光性能好，固溶硬度低，可加工性能好，具有良好的综合力学性能以及渗碳、焊接性能。

此类钢现已应用于化工、仪表、轻工、电器、航空航天和国防工业部门，如磁带盒、照相机、电子打印机等零部件的塑料模具。

（4）1Ni3MnCuAlMo（PMS）钢　PMS 镜面塑料模具钢是一种新型的析出硬化型塑料模具钢，具有良好的冷、热加工性能和综合力学性能，热处理工艺简便，变形小，淬透性高。表面粗糙度低，光亮度高，尺寸和形状精度高。适于进行表面强化处理，固溶后的硬度仅为 30 ~ 33HRC，在软化状态下可进行模具型腔的挤压成型。经时效后弥散析出硬化相 Al_3Ni，基体硬度随之上升至 38 ~ 43HRC。PMS 钢中碳含量（质量分数）限制在 0.2% 以下，保证钢的热加工性能及热处理后的韧性，Ni 和 Al 的加入是为了保证时效硬化后钢的硬度（40HRC 左右）。

PMS 钢具有良好的镜面加工性能，模具表面粗糙度可达 $R_a = 0.05\mu m$。适于制造各种光学塑料镜片、高镜面、高透明度的注塑模，以及外观质量要求极高的光洁、光亮的各种家用电器塑料模具，如电话机壳体模具。同时，也适于高精度型腔的冷挤压成形。模具使用寿命相对较高。

（5）Y20CrNi3AlMnMo（SM2）钢　是一种合金时效硬化易切削模具钢。该钢在预硬态下使用不但具有优良的切削加工性，还具有良好的镜面加工性。该钢具有良好的氮化性能，尤其是适于制造精密塑料模。SM2 钢生产工艺简洁易行，锻造性能良好，性能优越稳定，使用寿命长。经电子、仪表、家电、玩具、日用五金等行业推广应用，效果显著。

（6）0Cr16Ni4Cu3Nb（PCR）钢　是一种马氏体沉淀硬化不锈钢，因含碳量低，耐腐蚀性和焊接性都优于马氏体型不锈钢。PCR 钢热处理工艺简单，固溶处理后可获得单一的板条状马氏体组织，硬度为 32 ~ 35HRC，具有良好的切削加工性能。该钢加工成形后在 460 ~ 480℃进行时效处理，由于马氏体基体析出富铜相，使强度和硬度进一步提高，同时获得较好的综合力学性能。PCR 钢经过时效处理后，工件仅有微量变形，抛光性能好，抛光后可在 300 ~ 400℃温度下进行 PVD 表面离子镀处理，处理后可获得大于 1600HV 的表面硬度。因此，PCR 钢适于制造高耐磨、高精度和耐腐蚀的塑料模，如氟塑料或聚氯乙烯成型模。

（7）0Cr17Ni4Cu4Nb 钢　是一种马氏体沉淀硬化不锈钢，是传统的不锈钢。因碳含量低，耐腐蚀性和焊接性都优于马氏体不锈钢，而接近于奥氏体不锈钢。0Cr17Ni4Cu4Nb 钢热处理工艺简单，固溶处理后可获得单一的板条状马氏体，硬度为 32 ~ 34HRC，具有良好的

切削加工性能。经 460 ~480℃时效后，钢的硬度达到 40HRC，硬度和强度皆有所提高，同时可获得良好的综合力学性能。0Cr17Ni4Cu4Nb 钢主要用于耐腐蚀、高耐磨、高精度的塑料模具。该钢与 PCR 钢基本相近。

（8）1Cr17Ni7Al 钢　属沉淀硬化型不锈钢。该类钢是通过固溶处理和沉淀析出第二相而强化，硬度在 3743HRC，能满足某些塑料模具成型零件的要求。这一类钢的冶金质量高，一般都采用特殊冶炼，所以纯净度、镜面研磨性、蚀花加工性良好，使模具有良好的精度和精度保持性。其焊接性好，表面和心部的硬度均匀。

1Cr17Ni7Al 钢通过固溶处理后，获得奥氏体组织，钢的韧性好，硬度较低，≤229HBW，易于切削加工，便于冷变形和加工成形后进行时效处理。通过时效处理，将奥氏体转变为马氏体并使 NiAl 析出而强化，钢的硬度可以提高到 38 ~40HRC，时效变形量极小（≤0.01%），如通过冷处理，可使奥氏体继续转变为马氏体，硬度可提高到 42 ~48HRC。该类钢还可以通过渗氮处理，提高耐磨性、抗咬合能力和模具的使用寿命。

1Cr17Ni7Al 钢主要用于耐腐蚀、高耐磨、高精度的塑料模具。

（9）0Cr15Ni7Mo2Al 钢　即半奥氏体析出沉淀硬化型镍铬不锈钢。它在淬火状态下呈奥氏体组织，韧性较好，便于冷变形成形，制成各种模具和零件。通过时效、冷处理或冷变形，将奥氏体转变为马氏体，同时通过回火使金属间化合物脱溶析出得到沉淀硬化，硬度可达 40HRC 以上，并获得良好的综合力学性能。该钢适宜制造冷变形模具和弹簧件。

19.5.8　渗碳钢、渗氮钢

1. 渗碳钢

渗碳钢一般是指低碳或低碳合金钢，$w_C = 0.1\% \sim 0.25\%$，退火后硬度较低，具有良好的切削加工性能，切削成形的模具渗碳后经淬火、低温回火后不仅具有较高的强度，而且心部具有较好的韧性，模具的表面具有高硬度、高耐磨性，亦可以保证良好的抛光性能。这类钢的冷变形抗力较低，可采用冷挤压成型塑料模，无需进行切削加工，对于大批量生产同一形状的模具有利。为了提高模具表面的耐磨性，常在成形加工后进行渗碳，然后再进行淬火和低温回火。缺点是模具热处理工艺较复杂、变形大。10、20 钢是最简单和最便宜的渗碳钢，经渗碳后虽然表面具有高硬度和高耐磨性，但因为淬透性差，心部强度仍然很低，故只适宜制造一些承受载荷较小、要求不高的塑料模具，对于截面大、承受重载荷的渗碳钢制造的塑料模具，则必须根据实际使用要求分别采用不同级别的合金渗碳钢。

渗碳型塑料模具钢在国外有专用钢种，如美国的 P1、P2、P4、P6，日本的 CH1、CH2、CH41，瑞典的 8416 等。国内常用的钢种有 20、20Cr、20CrMnTi、12CrNi3A、20Cr2Ni4A、2CrNi3MoAlS 等，目前我国唯一纳入标准的渗碳型塑料模具钢是 SM1CrNi3 钢。国内开发的 LJ（0Cr4NiMoV）冷挤压成形专用钢，退火后硬度为 85 ~105HBW，具有优良的冷挤压成形性能。

（1）08 和 10 号钢　强度低而塑性很好，因此这两种钢具有优良的冷成形性，适于制造批量大且尺寸小的塑料模标准件。为了提高表面的耐磨性，可在渗碳后进行淬火、回火处理。

（2）20Cr 钢　常用于制造压制热固性塑料的模具，如胶木压制模具，渗层厚度一般应控制在 1.3 ~1.5mm。也用于制造压制软性塑料的模具，渗层厚度一般控制在 0.8 ~1.2mm。

用此钢制造带尖角薄边的塑料模具时，渗层厚度应控制在 0.2 ~ 0.6mm。渗层中碳含量（质量分数）应控制在 0.7% ~ 1.0%，以利于粗大未溶碳化物、网状碳化物或过量残余渗碳体的出现。

20Cr 钢比相同含碳量的碳素钢的强度和淬透性都明显高，油淬到半马氏体硬度的淬透性为 ϕ20 ~ ϕ23mm。这种钢淬火、低温回火后具有良好的综合力学性能，低温冲击韧度良好，回火脆性不明显。渗碳时钢的晶粒有长大倾向，所以要求二次淬火以提高心部韧性，不宜降温淬火。当正火后硬度为 170 ~ 217HBW 时，相对切削加工性约为 65%，焊接性中等，焊前应预热到 100 ~ 150℃，冷成形时塑性中等。该钢用于制造中小型塑料模具。为了提高模具型腔的耐磨性，模具成形后需要进行渗碳处理，然后再进行淬火和低温回火，从而保证模具表面具有很高硬度、高耐磨性而心部具有很好的韧性。对于使用寿命不很高的模具，也可以直接进行调质处理。

（3）12CrNi3A 钢　属于合金渗碳钢，比 12CrNi2A 钢有更高的淬透性，因此，可用于制造比 12CrNi2A 钢截面稍大的零件。该钢淬火、低温回火或高温回火后都具有良好的综合力学性能，钢的低温韧性好，缺口敏感性小，切削加工性能良好，当硬度为 260 ~ 320HBW 时，相对切削加工性为 60% ~ 70%。另外，钢退火后硬度低、塑性好，因此，既可以采用切削加工方法制造模具，也可以采用冷挤压成形方法制造模具。为提高模具型腔的耐磨性，模具成型后需要进行渗碳处理，然后再进行淬火和低温回火，从而保证模具表面具有高硬度、高耐磨性而心部具有很好的韧性。12CrNi3A 钢主要用于冷挤压成型的复杂浅型腔塑料模具，也可用于制造大中型切削加工成型的塑料模具。但该钢有回火脆性倾向和形成白点的倾向。

（4）SM1CrNi3 钢　是目前我国唯一纳入行业标准的渗碳型塑料模具钢，虽然其化学成分和力学性能与合金渗碳钢 12CrNi3A 近似，但它是参考美观的 P6 钢，为适应塑料模具成型零件的性能需要经精炼而成的，其冶金质量高于 12CrNi3A 钢，抛光性和淬透性更好，在淬火和低温回火或高温回火后都有良好的综合力学性能，钢的低温韧度好，缺口敏感性小。切削加工性能良好，在硬度为 260 ~ 320HBW 时，相对切削加工性为 60% ~ 70%。此外钢的碳含量比 12CrNi3A 钢低，退火后硬度低，抗冷塑性变形能力低；有利于采用冷挤压成形方法制造模具零件。模具成形后经渗碳、淬火、回火，使模具零件表面有很高的硬度和耐磨性，而心部具有很好的韧性。该钢适宜制造要求耐磨性高、尺寸较大的塑料模具零件。

（5）20 钢　属于低碳钢，特点是强度低，塑性和韧性较好，可加工性和焊接性很好。锰含量低的 20 钢的切削加工性比锰含量高的要差些，但可以用正火或冷变形的方法来改善，冷变形还可以提高钢的强度，而正火可以提高钢的韧性，所以采用冷挤压成形的 20 钢模具在冷挤压成形加工前最好先进行正火处理。退火虽然能提高 20 钢的韧性，但由于其缓慢的冷却可能引起游离铁素体在晶粒边界上析出，严重影响到钢的切削加工性与加工后应有的表面粗糙度，因此 20 钢不宜在退火状态下制造各类零件。

20 钢适宜制作普通的中小型塑料模具。为了提高模具型腔的耐磨性，模具成形后需进行渗碳或碳氮共渗热处理，然后再进行淬火和低温回火，使模具表面具有高硬度、高耐磨性，心部具有高韧性。

（6）12CrNi2 钢　属于合金渗碳钢，具有高强度、高韧性及良好的淬透性，在淬火、低温回火或高温回火后都具有良好的综合力学性能，钢的低温韧度较好，缺口敏感性小，切削

加工性能良好，冷变形塑性中等，回火脆性倾向小。当 12CrNi2 钢硬度为 260 ~ 320HBW 时，相对的切削加工性为 60% ~ 70%。此外钢退火后硬度低、塑性较好，可以采用切削加工方法制造模具，或采用冷挤压方法制造模具。为了提高模具型腔的耐磨性，模具成形后需要进行渗碳热处理，然后再进行淬火和低温回火，从而保证模具表面具有高硬度、高耐磨性，而心部具有良好的韧性。12CrNi2 钢适宜制造大、中型塑料模具，但在生产大型锻件时有形成白点的倾向。

（7）12Cr2Ni4 钢　是优质渗碳钢，具有高的强度、韧性和良好的淬透性，渗碳及淬火后表面硬度和耐磨性很高，同时心部有很高的强度及良好的韧性。12Cr2Ni4 钢的切削加工性一般，冷变形塑性中等，有白点敏感性及回火脆性，焊接性差，焊前需预热。12Cr2Ni4 钢为优质渗碳钢，也适合调质状态下使用。

12Cr2Ni4 钢既可使用冷挤压成形方法制造模具，也可以用切削加工的方法制造模具。为了提高模具表面的硬度和耐磨性，可以采用渗碳淬火的方法或碳氮共渗后淬火的方法，保证模具表面具有高硬度和高耐磨性，而心部具有很好的韧性。12Cr2Ni4 钢适宜制造大、中型塑料模具。

（8）20Cr2Ni4 钢　是优质渗碳钢，强度、韧性及淬透性均优于 20Cr2Ni4 钢，渗碳后不能直接淬火，在淬火前需进行一次高温回火。20Cr2Ni4 钢的冷变形塑性中等，切削加工性一般，焊接性差，焊前应预热，白点敏感性大，有回火脆性倾向。20Cr2Ni4 钢为优质渗碳钢，也适合调质状态下使用。

20Cr2Ni4 钢有高的淬透性，因此可以制造截面尺寸较大的模具。20Cr2Ni4 钢淬火、回火后都有良好的综合性能，可以用切削加工或冷挤压成形的方法制造模具。为了提高模具表面的硬度和耐磨性，可以采用渗碳、淬火、回火的方法或碳氮共渗、淬火、回火的方法，提高模具表面的硬度和耐磨性，而模具的心部仍保持较好的韧性。20Cr2Ni4 钢适宜制造大、中型塑料模具。

（9）2CrNi3MoAlS 钢　是 Ni - Mo - Al 系时效硬化钢。该钢是参照美国 P21 钢的成分，根据我国冶金工业的特点及使用者对性能的要求而加以改进研制的，适于制作变形率要求在 5% 以下，镜面要求高或表面要求光刻花纹工艺的精密塑料模具。2CrNi3MoAlS 钢经软化处理后挤压成形，再进行渗碳淬火处理。由于该钢中含有 S，解决了切削加工的困难，所以可以切削加工成形，再进行渗碳、淬火处理，增加模具的表面硬度和耐磨性，提高模具的使用寿命。2CrNi3MoAlS 钢适于制造大、中型塑料模具。

（10）0Cr4NiMoV（LJ）钢　碳含量很低，因而塑料优异、变形抗力小，其退火硬度为 85 ~ 105HBW（880℃ ×2h，40 ~ 80℃/h 冷至 600 ~ 650℃出炉空冷），具有优异的冷挤压成形性能。冷挤成形后的模具经渗碳、淬火和低温回火后，表面可得到回火马氏体及少量残留奥氏体的基体组织并均匀分布粒状碳化物，而心部是粒状贝氏体组织，表面硬度可提高至 58 ~ 62HRC，具有高的耐磨性；同时心部硬度为 28HRC，有良好的强韧性。钢中主加元素为 Cr，辅加元素为 Ni、Mo、V 等，合金元素的主要作用是提高淬透性和渗碳能力，增加渗碳的硬度和耐磨性及模具心部的强韧性。LJ 钢冷挤压成形与工业纯铁相似，用冷挤法成形的模具型腔轮廓清晰、光洁、精度高，是国内研制的冷挤压成形专用钢。该钢适宜于用冷挤成型方法生产高精度、高镜面、型腔复杂的塑料模具。

LJ 钢主要用来代替 10 钢、20 钢及工业纯铁等，渗碳后渗层比 20 钢深 1 倍，且比电工

纯铁易挤压成形，热处理容易，渗碳速度快，表面硬度高，耐磨性好，热处理变形微小，心部强韧性高于电工纯铁。使用中未发现模具型腔表面塌陷和内壁咬伤现象，有较高的使用寿命。

2. 渗氮钢

38CrMoAl 钢是常用的氮化钢之一。该钢具有优良的氮化性能和力学性能。氮化处理后不但零件表面有很高的硬度和耐磨性，而且心部有良好的韧性，该钢的淬透性较高、切削加工性尚好，但焊接性能较差并有脱碳倾向。38CrMoAl 钢适于制造尺寸精确且有较高耐磨性的塑料模。

19.6 塑料模具的制造工艺路线

选用不同品种的钢材作塑料模具，其化学成分和力学性能各不相同，因此制造工艺路线也各不相同；同样，不同类型的塑料模具钢采用的热处理工艺也是不同的。

1. 低碳钢及低碳合金钢制模具

例如，20、20Cr 和 20CrMnTi 等钢的工艺路线为：下料→锻造模坯→退火→机械粗加工→冷挤压成形→再结晶退火→机械精加工→渗碳→淬火、回火→研磨抛光→装配。

2. 高合金渗碳钢制模具

例如，12CrNi3A、12CrNi4A 钢的工艺路线为：下料→锻造模坯→正火并高温回火→机械粗加工→高温回火→精加工→渗碳→淬火、回火→研磨抛光→装配。

3. 调质钢制模具

例如，45、40Cr 等钢的工艺路线为：下料→锻造模坯→退火→机械粗加工→调质→机械精加工→修整、抛光→装配。

4. 碳素工具钢及合金工具钢制模具

例如，T7A ~ T10A、CrWMn 及 9SiCr 等钢的工艺路线为：下料→锻成模坯→球化退火→机械粗加工→去应力退火→机械半精加工→机械精加工→淬火、回火→研磨抛光→装配。

5. 预硬钢制模具

例如，5NiSiCa 和 3Cr2Mo（P20）等钢。对于直接使用棒料加工的，因供货状态已进行了预硬化处理，可直接加工成形后抛光、装配；对于要改锻成坯料后再加工成形的预硬钢，其工艺路线为：下料→改锻→球化退火→刨或铣六面→预硬处理（34 ~ 42HRC）→机械粗加工→去应力退火→机械精加工→抛光→装配。

19.7 塑料模具钢的热处理特点

1）对于有高硬度、高耐磨性和高韧性要求的塑料模具，要选用渗碳钢来制造，并把渗碳、淬火和低温回火作为最终热处理。

2）对渗碳层的要求：一般渗碳层的厚度为 0.8 ~ 1.5mm；当压制含硬质填料的塑料时，模具渗碳层厚度要求为 1.3 ~ 1.5mm；压制软性塑料时，渗碳层厚度为 0.8 ~ 1.2mm。渗碳层的含碳量为 0.7% ~ 1.0%（质量分数）为佳。若采用碳、氮共渗，则耐磨性、耐蚀性、

抗氧化、防粘性就更好。

3）渗碳温度一般为 900 ~ 920℃，复杂型腔的小型模具可取 840 ~ 860℃中温碳氮共渗。渗碳保温时间为 5 ~ 10h，具体应根据渗层厚度的要求来选择。渗碳工艺以采用分级渗碳工艺为宜，即高温阶段（900 ~ 920℃）以快速将碳渗入零件表层为主；中温阶段（820 ~ 840℃）以增加渗碳层厚度为主。这样，在渗碳层内建立均匀合理的碳浓度梯度分布，便于直接淬火。

4）按钢种不同，渗碳后的淬火工艺可分别采用：重新加热淬火；分级渗碳后直接淬火（如合金渗碳钢）；中温碳氮共渗后直接淬火（如用工业纯铁或低碳钢冷挤压成形的小型精密模具）；渗碳后空冷淬火（如高合金渗碳钢制造的大、中型模具）。

19.8　影响模具钢选择的重要因素

塑料在固化过程中会产生腐蚀性产物，例如 PVC 塑料。长时间停工引起的冷凝、腐蚀性气体、酸、冷却/加热、水或储存条件等因素也会产生腐蚀。在这些情况下，推荐使用不锈钢材料的模具钢。除了耐蚀性以外，选择模具钢还应注意以下因素：

（1）模具尺寸　大尺寸模具常常使用预硬钢，整体淬硬钢常常用于小尺寸模具。

（2）模具使用次数　长期使用（ >1000000 次）的模具应使用高硬度钢，其硬度为48 ~ 65HRC；中等长时间使用（100000 ~ 1000000 次）的模具应使用预硬钢，其硬度为 30 ~ 45HRC；短时间使用（ <100000 次）的模具应使用软钢，其硬度为 160 ~ 250HRC。

（3）表面粗糙度　许多塑料模具制造商对好的表面粗糙度感兴趣；当添加硫改善金属切削性能时，会导致表面质量下降，因此应注意钢中硫的含量。

19.9　模具常用非铁金属材料

1. 铜合金

用于塑料模材料的铜合金主要是铍青铜，如 ZCuBe2、ZCuBe2. 4 等。一般采用铸造方法制模，不仅成本低，周期短，而且还可制出形状复杂的模具。铍青铜可通过固溶 – 时效强化，固溶后合金处于软化状态，塑性较好，便于机械加工。经时效处理后，合金的抗拉强度可达 1100 ~ 1300MPa，硬度可达 40 ~ 42HRC。铍青铜适用于制造吹塑模、注塑模等，以及一些高导热性、高强度和高耐蚀性的塑料模。利用铍青铜铸造模具可以复制木纹和皮革纹，可以用样品复制人像或玩具等不规则的成型面。

2. 铝合金

变形铝合金和铸造铝合金均可用于塑料模具的制造。铝合金的密度小，熔点低，可加工性和导热性都优于钢，其中铸造铝硅合金还具有优良的铸造成型性能，因此在有些场合可选用铸造铝合金来制造塑料模具，以缩短制模周期，降低制模成本。常用的铸造铝合金牌号有 ZL101 等，它适于制造要求高热导率、形状复杂和制造周期短的塑料模具。变形铝合金 LC9 也是用于制造塑料模的铝合金之一，由于它的强度比 ZL101 高，可制作强度要求较高且有良好导热性的塑料模。

（1）ZL101　ZL101 为可热处理强化铝 – 硅 – 镁系铸造铝合金。该合金具有优良的铸造

性能，即高的流动性、气密性和低的热裂、疏松倾向。它还具有良好的耐蚀性和焊接性。由于该合金比钢的热导率高，因此用其制造的塑料模，其塑料制品的加工速率可以大大提高。该合金适于制造要求高热导率、形状复杂和交货周期短的塑料（发泡成形和低压成形）模。

（2）LC9　LC9 是铝 – 锌 – 镁 – 铜系可热处理强化的高强度变形铝合金。该合金在退火或固溶状态下的室温成形性能良好。温度升高时，合金的强度下降，长期使用温度一般不超过 125℃。

由于 LC9 比 ZL101 有更高的强度，比钢有更好的可加工性和导热性，因此 LC9 适于制造要求交货周期短、强度较高且有良好导热性的塑料模。

3. 锌合金

用于制作塑料模具的锌合金大多为 Zn – 4Al – 3Cu 共晶型合金，其主要成分为 w_{Al} = 3.9% ~4.5%，w_{Cu} = 2.8% ~3.5%，w_{Mg} = 0.03% ~0.06%，w_{Zn} 约 92%，还含有少量 Pb、Cd、Sn、Fe 等杂质。

用于塑料模具的锌合金还有铍锌合金和镍钛锌合金。铍锌合金有较高的硬度（150HBW），耐热性好，所制作的注塑模的使用寿命可达几万至几十万件。镍钛锌合金由于镍和钛的加入，可使强度、硬度提高，从而使模具寿命成倍增长。

（1）ZAS 锌合金　ZAS 锌合金具有较高的强度、硬度、韧性和塑性。液态 ZAS 锌合金具有良好的流动性，因此易于通过铸造的方法制作光洁而复杂的模具型腔，并可降低模具制造费用，缩短生产周期。锌合金的不足之处是高温强度较低，且易于老化，长期使用后易出现变形或开裂现象，适合制造吹塑模和注塑模。

（2）Zn – 22Al 锌合金　Zn – 22Al 是共析锌合金，也是被最早发现的具有超塑性的合金。在轧态，其强度和硬度都较低，而经强化处理后，可达到低碳钢的强度水平，而且韧性也较好。Zn – 22Al 合金的持久强度较低，在合金中添加 Cu、Mg、Mn 后，强度可进一步提高。Zn – 22Al 合金经过超塑性处理后，其最大伸长率大于 3000%，可用于超塑性成形。该合金的不足之处是在人工时效和自然时效后，强度和硬度会逐渐下降，长度会逐渐缩短。

参 考 文 献

[1] 塑料模具技术手册委员会．塑料模具技术手册［M］．北京：机械工业出版社，1997.

[2] 杨占尧．塑料注射模机构与设计［M］．北京：清华大学出版社，2004.

[3] 王文广，田宝善，田雁晨．塑料注射模具设计技巧与实例［M］．北京：化学工业出版社，2004.

[4] 钟志雄．塑料注射成型技术［M］．广州：广东科技出版社，1995.

[5] H·瑞斯．模具工程［M］．朱元吉，译．北京：化学工业出版社，2009.

[6] 洪慎章．实用注塑成型机模具设计［M］．北京：机械工业出版社，2006.

[7] 国家标准局．GB/T 4169—2006　塑料注射模零件［S］．北京：中国标准出版社，2007.

[8] 国家标准局．GB/T 12555—2006　塑料注射模模架［S］．北京：中国标准出版社，2007.

[9] 李德群，唐志玉．中国模具工程大典：第三卷［M］．北京：电子工业出版社，2007.

[10] 谭雪松，林晓新，温丽．新编塑料模具设计手册［M］．北京：人民邮电出版社，2007.

[11] 曾正明．塑料制品速查手册［M］．北京：机械工业出版社，2006.

[12] 张维合．塑料注射模设计实用教程［M］．北京：化学工业出版社，2007.

[13] 杨安．塑料成型工艺及模具设计［M］．北京：北京理工大学出版社，2007.

[14] 屈华昌．塑料成型工艺及模具设计［M］．北京：高等教育出版社，2006.

[15] 陈世煌，陈可娟．塑料注射成型模具设计［M］．北京：国防工业出版社，2007.

[16] 王贵恒．高分子材料成型加工原理［M］．北京：化学工业出版社，2005.

[17] 匡唐清．气体辅助注射成型注气控制系统研制［D］．南昌：南昌大学，2002（6）.

[18] 匡唐清，柳和生，周国发．气体辅助共注成型的发展现状［J］．中国塑料，2003（9）：1－5.

[19] 付伟．拉板机构在注塑模具螺纹抽芯中的应用［J］．工程塑料应用，2006（3）：51－55.

[20] 付伟．拉板机构在超高注塑件定模顶出中的应用［J］．工程塑料应用，2006（9）：67－71.

[21] 付伟．双顶出机构注射模设计［J］．模具工业，2006（8）：49－52.

[22] 范士娟，付伟，宁树林．汽车轮盖注射模斜顶机构优化设计［J］．模具工业，2006（10）：50－54.

[23] 付伟，范士娟，张海．注塑模具设计中浇口位置和结构形式的选用［J］．工程塑料应用，2007（10）：60－65.

[24] 付伟，曹爱文，张海．液压马达在螺纹脱模的应用［J］．机床与液压，2007（11）：98－102.

[25] 付伟，张海．“斜顶式”滑块机构在模具中的应用［J］．工程塑料应用，2008（1）：62－65.

[26] 付伟，魏保立．被动式斜顶机构在模具中的应用［J］．模具工业，2008（2）：52－55.

[27] 付伟，魏保立．注塑模具的排位设计［J］．工程塑料应用，2008（4）：60－64.

[28] 匡唐清，李树桢．矿泉水瓶盖的热流道注塑模设计［J］．中国塑料，2009（12）：92－96.

[29] 匡唐清，李树桢，黄创业．双色牙刷柄的注塑模设计［J］．中国塑料，2008（11）：75－77.

[30] 匡唐清．气辅共注射成型充填过程数值模拟中的移动界面追踪技术［J］．塑性工程学报，2007（2）：133－137.

[31] 匡唐清，柳和生，周国发．气辅技术的注气控制系统设计［J］．工程塑料应用，2004（7）：56－60.

[32] 匡唐清，柳和生，周国发．共注射成型充填过程的运动界面追踪［J］．塑料工业，2005（3）：32－35.

[33] 赵龙志，赵明娟，胡宛平，等．铝基复合材料凝固过程的研究进展［J］．有色金属，2007（4）.

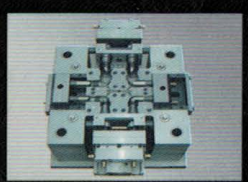
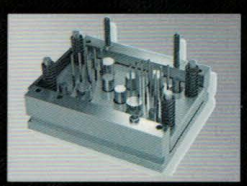
[34] 赵龙志，曹小明，田冲，等．T6 热处理对复式连通双连续相 SiC/Al 复合材料性能的影响［J］．材料研究学报，2007（1）.

[35] 赵龙志，赵明娟，宋金良，等．汽车内饰下装饰盖注塑模具设计［J］．塑料工业，2007（10）：32－34.

[36] 赵明娟，赵龙志，宋金良，等. 双斜抽机构在模具中的应用 [J]. 模具工业，2007（12）：44 - 47.
[37] 赵龙志，赵明娟，宋金良，等. 汽车内饰件文件盒衬板注塑模具设计 [J]. 现代塑料加工应用，2008（2）：49 - 52.
[38] 赵龙志，赵明娟. CAD/CAE 在安全带护盖支架注塑模设计中的应用 [J]. 工程塑料应用，2009（2）：72 - 75.
[39] 赵明娟，赵龙志. 基于 Moldflow 的安全带护盖支架注射成型流动分析 [J]. 塑料工业，2008（12）：28 - 31.
[40] 张坚，赵龙志，赵明娟，等. 基于 Moldflow 的汽车内饰右前开关控制面板注射成型研究 [J]. 工程塑料应用，2009（12）：72 - 75.
[41] 赵明娟，赵龙志. 汽车内饰件转向护板注塑模具设计 [J]. 中国塑料，2009（4）：99 - 103.
[42] 赵龙志，赵明娟. 汽车内饰安全带护盖支架注塑模设计 [J]. 模具工业，2009（1）：49 - 52.
[43] 赵明娟，赵龙志，李娜. 基于 Moldflow 的汽车扣手盖注射成型流动分析 [J]. 中国塑料，2009（11）：75 - 79.
[44] 赵龙志，梁炬星，赵明娟，等. Moldflow 在仪表板右盖板支架注塑模设计中的应用 [J]. 中国塑料，2009（10）：87 - 91.
[45] 王涛，王鹏驹. 气体辅助注塑制品及模具设计的基本原则 [J]. 模具工业，1999（12）.
[46] 李坤，于同敏. 气体辅助塑料注射模具设计及气针选择 [J]. 工程塑料应用，2001（06）.
[47] 周建源. 水辅助注射成型充填过程的数值模拟研究 [D]. 南昌：华东交通大学，2008（6）.
[48] 邹勇. 热塑性塑料注射成型中的可熔型芯技术研究 [D]. 成都：四川大学，2006（6）.
[49] 刘雄祥. 可熔型芯塑料注射模塑新工艺 [J]. 工程塑料应用，2006（8）.
[50] Liu S J，Chen Y S. Effects and opeimization of processing parameters in water - assisted injection molding [J]. Journal of Applied PolymerScience，2008（108）：228 - 235.
[51] Shih - Jung Iiu，Yen - Show Chen. Water - Assisted Injection Molding of Thermoplastic Materials：Effects of Processing Parameters [J]. POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE，2003，43（71）：1806 - 1817.
[52] Michael W. Reducing cooling time with water - assisted injection moulding - Advantages overgas - assisted injection [J]. Kunstst - Plast. Eur，2000（90）：67 - 71.
[53] 赵昌盛. 模具材料及热处理手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2008.
[54] 王鹏驹，唐志玉，等. 塑料模具技术手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2005.
[55] 徐进，陈再枝，等. 模具材料应用手册 [M]. 北京：机械工业出版社，2001.
[56] 高国为. 模具材料 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.
[57] 刘来英. 注塑成型工艺 [M]. 北京：机械工业出版社，2006.
[58] 张明善. 塑料成型工艺与设备 [M]. 北京：中国轻工业出版社，1998.
[59] 覃孟然，刘斌. 一种新颖的塑料注射模具内缩机构设计 [J]. 工程塑料应用，2004（10）.
[60] 刘琼. 塑料注射 Moldflow 实用教程 [M]. 北京：机械工业出版社，2008.
[61] 田福祥，贺斌. 变角度斜销长距离抽芯塑料注射模 [J]. 塑料科技，2005（8）.
[62] 田福祥，周向均布多型芯圆弧抽芯塑料注射模设计 [J]. 塑料科技，2005（12）.
[63] 史建国. 齿轮齿条在塑料注射模侧向抽芯机构中的应用 [J]. 模具制造，2005（4）.
[64] 朱洪林. 抽芯滑块上带顶针的机构设计 [J]. 模具制造 2007（10）.
[65] 丹尼尔·弗伦克勒，亨里克·扎维斯托夫斯基. 塑料注射模具的热流道 [M]. 罗伯特·沃克登，英译，徐佩弦，译. 北京：化学工业出版社. 2005.

机械工业出版社塑料模具类书目(部分)

书号	书名	作者	定价
22802	注塑模具技术入门与提高(含1CD)	李金川	36.00
17876	注射模的热流道技术	王建华	25.00
14858	注塑模具设计经验点评	王永平	32.00
12165	塑料模具技术	张孝明	24.00
01336	实用塑料注射模设计与制造	陈万林	32.00
22084	先进注塑模330例设计评注(第1卷)	田福祥	38.00
18180	实用注塑成型及模具设计	洪慎章	32.00
11836	注塑模具设计与制造实战(含1CD)	宋满仓	24.00
30553	注塑模具设计原则、要点及实例解析	付 伟 陈碧龙	66.00

上架指导：工业技术／机械工程／机械零件

◎ 封面设计\电脑制作：陈沛

地址：北京市百万庄大街22号　邮政编码：100037
电话服务　网络服务
社服务中心：(010)88361066　门户网：http://www.cmpbook.com
销售一部：(010)68326294　教材网：http://www.cmpedu.com
销售二部：(010)88379649　封面无防伪标均为盗版
读者购书热线：(010)88379203

ISBN 978-7-111-30553-8
定价：66.00元

ISBN 978-7-111-30553-8
9 787111 305538 >