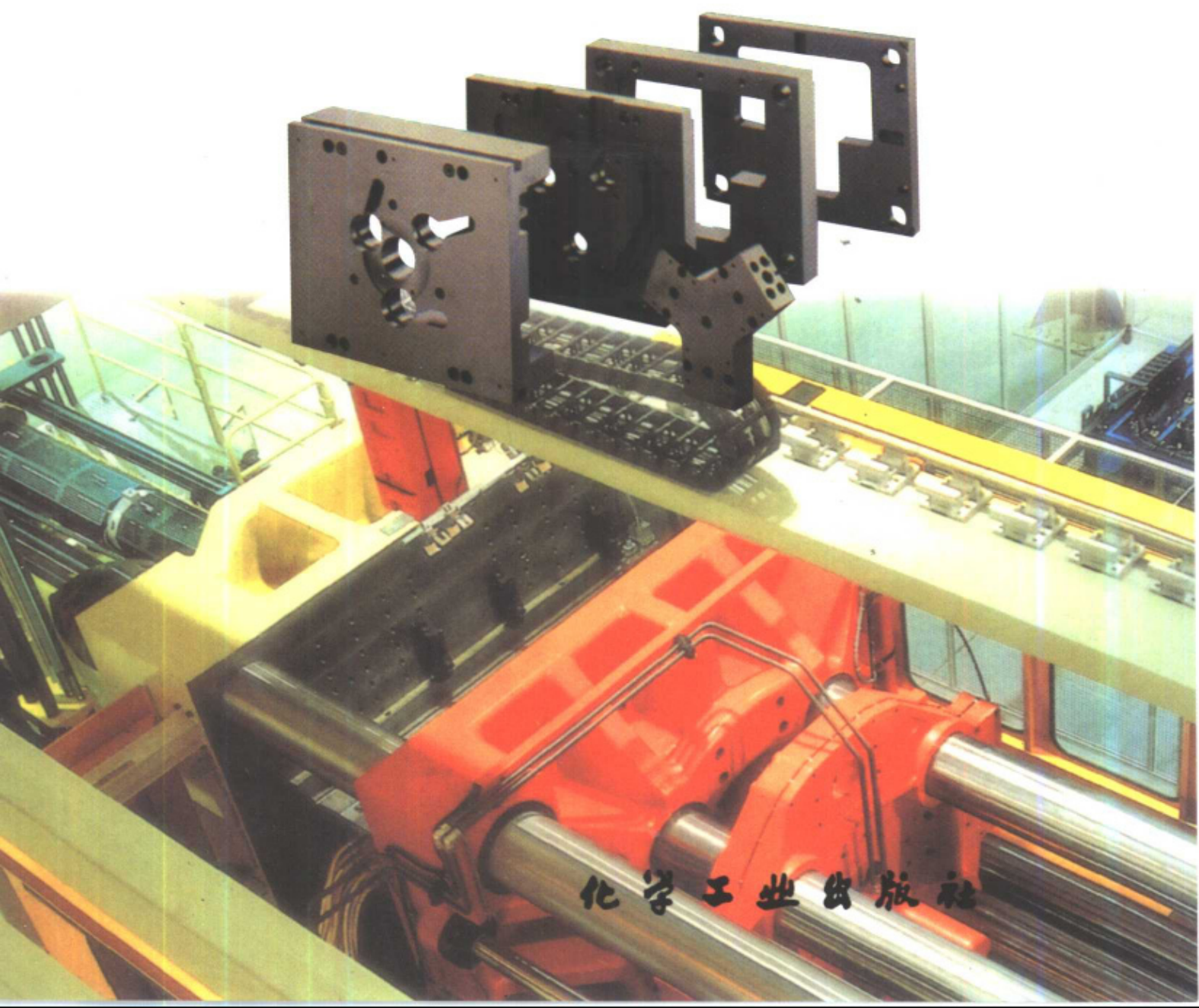


MOLD ENGINEERING

[加] H.瑞斯 著

模具工程



化学工业出版社

化学工业出版社
推出外文版塑料图书

热固性塑料的注塑 / 传递模塑
国际塑料手册
塑料添加剂
注塑制品设计
塑料产品设计和加工工程
反应挤出成型
模具工程
热塑性弹性体

ISBN 7-5025-2155-0



9 787502 521554 >

ISBN 7-5025-2155-0/TQ · 1062

定 价: 40.00 元

模 具 工 程

[加] H. 瑞斯 著

朱元吉 等译

化 学 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号
图字: 01-98-1855 号

图书在版编目 (CIP) 数据

模具工程 / [加] H. 瑞斯 (H. Rees) 著; 朱元吉等译.
北京: 化学工业出版社, 1998 (2001.5 重印)
书名原文: Mold Engineering
ISBN 7-5025-2155-0

I. 模… II. ①瑞… ②朱… III. 塑料模具-生产工艺
IV. TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 12390 号
英语版 © Hanser Publishers, 1995

模 具 工 程

[加] H. 瑞斯 著

朱元吉 等译

责任编辑: 龚浏澄 虞 旻

责任校对: 王安达 麻雪丽

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64918013

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 22 字数 603 千字

1999 年 1 月第 1 版 2001 年 5 月北京第 3 次印刷

印 数: 4001—8000

ISBN 7-5025-2155-0/TQ·1062

定 价: 40.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

塑料工程师协会 (SPE) 很高兴能主持哈伯特·瑞斯著的《模具工程》一书的出版。本书用简洁的语言, 详细深入地介绍了注塑模具的设计, 操作和概率寿命方面的知识。

本书不仅可作为教学指导书, 而且可作为和注塑模具的制造、购买及操作相关的人员的参考资料。

SPE, 通过其技术手册委员会, 长期支持与塑料相关各领域的书籍的出版。其工作包括将认定必须出版的书籍分类排序, 寻觅新作者和审定出版新书。

我们的技术工作渗透到 SPE 的所有活动中, 不仅包括书籍出版, 还包括其他方面, 诸如主办技术会议和教育节目。另外, 协会出版的期刊, 包括塑料工程 (Plastics Engineering)、聚合物工程及科学 (Polymer Engineering and Science)、聚合物加工与流变学 (Polymer Processing and Rheology)、聚氯乙烯技术杂志 (Journal of Vinyl Technology)、聚合物合成 (Polymer Composites), 以及会议录和其他出版物。都要经受严格的技术审查程序。

38 000 名经验丰富的塑料工程师, 科学家和技术专家使 SPE 成为成员遍布世界的大型组织。详细情况可以从协会获得。

协会地址: 14Fairfield Drive, Brookfield, Connecticut 06804, U. S. A

塑料工程师协会临时执行主席: 迈克尔 R. 开普勒提
(Michael R. Cappelletti)

译者序

本书译自美国塑料工程师协会 (SPE) 组织出版的 H. 瑞斯的新著——《Mold Engineering》。

作者以长期从事塑料模具技术工作的丰富经验，深入浅出的以工程的观点，全面论述了注塑模具及其相关的各方面问题。

本书明确地提出并实现了，用工程的观点处理模具问题，以最佳效益为中心，将与塑料模具相关的塑料原料，注塑机、模具的订购与销售，模具的设计与制造，模具的使用与维修，模塑车间的设备与供应以及安全等各方面问题都作了系统地论述。这些都是实现高速度、高精度和高效益的塑料模塑必不可少的。

本书内容翔实，图文并茂，并配有大量的参考数据及换算表格，反映了当前先进的模具技术状况，而且，实践性很强。我们深信，本书无论是作为塑料模具及模塑工作者的参考书，还是作为模具以及塑料工程专业的教学用书都是很有价值的。

本书共 32 章，其中第 1~5 章，11~13 章由朱元吉翻译，第 6~10 章由解挺翻译，第 16~22 章由吴玉程翻译，第 15，23~28 章由王晓枫翻译，第 14，29~32 章及术语汇编由尹延国翻译。全书由朱元吉校阅。赵大庆、王婷兰等参加了本书的部分译校工作。

限于译校者水平，译文中错误与不妥之处，衷心地希望读者批评指正。

1997 年 12 月

前 言

《模具工程》主要论述有关热塑性塑料注塑模具及其性能。然而，这里讨论的许多问题同样适用于其他类型的模具，例如吹塑模具和热固性塑料模具。本书语言浅显易懂，很少使用数学公式或深奥的理论，争取给大家介绍实践性强的注塑模具设计方法。

本书分为以下部分：

第一篇 模具工程

第一部分 有关模具、注塑机、塑料原料及其制品的基础知识

第二部分 模具设计的一般指导原则

第三部分 针对模具设计者的问题

第二篇 模具性能

本书的重要部分用来解释影响模具性能、生产率和寿命的各因素之间的关系。理解这些关系不仅对模具设计者，而且对和策划（和成本预算）、订购和操作注塑模具有关人员都很重要。

本书从塑料制品图开始到完成模具装配图，逐步介绍了模具设计的指导原则。并向设计者说明了如何在开始设计模具之前，研究塑料制品图。

模塑制品的数量及其成型模具的方案是无穷尽的；因此，这里将模具分成几个基本组成部分介绍，而不是挑选一些塑料制品的模具，绘出它们的完整装配图。设计者可能遇到的各种情况都将在这里介绍。

本书涵盖了收缩，排气，冷却，顶出，热膨胀，浇口，冷、热流道系统，模腔平衡布局，尺寸公差等问题；并介绍了模具材料的选择，热处理和成型部件的表面精整处理等问题。配有大量的参考数据及换算表格；还有与模具操作有关的内容。另外，书中还有大量的内容与该领域的技术人员相关，如注塑机的安装、维护以及模具与注塑机的销售等方面的问题，这些对于模具制造人员、设计人员、成本预算人

员以及模具和模塑的质检人员都是有意义的。

本书的主要目的是作为聚合物工程专业学生的课本及模具设计者，特别是注塑模设计者的参考书，然而，书中的许多问题同样适用于压铸模具、压塑模具以及其他将原料注入即能永久成型的任何一类模具。

我们希望本书对从事有关注塑模具工作的人员是有价值的，能够帮助他们分析解决在工作中遇到的难题。

哈伯特·瑞斯
(Herbert Rees)

目 录

第一篇 模具工程

第一部分 有关模具、注塑机、塑料原料 及其制品的基础知识

| | |
|---------------------------------|----|
| 第一章 模具工程入门 | 1 |
| 1.1 什么是注塑模 | 2 |
| 1.2 什么是注塑机 | 2 |
| 1.2.1 合模机构 | 3 |
| 1.2.2 塑化装置 | 3 |
| 1.2.3 注射装置 | 3 |
| 1.2.3.1 RS型注塑机 | 3 |
| 1.2.3.2 P型注塑机 | 4 |
| 1.2.4 控制装置 | 5 |
| 1.3 成型时间和技术术语 | 5 |
| 1.3.1 模具闭合过程和开启过程时间（空程周期） | 7 |
| 1.3.2 顶出时间和开模行程 | 8 |
| 1.3.3 模具打开状态时间 | 8 |
| 1.3.4 注射时间 | 8 |
| 1.3.4.1 注射时间和注塑机 | 8 |
| 1.3.4.2 注射时间和模具结构 | 9 |
| 1.3.4.3 塑料原料 | 9 |
| 1.3.5 注射保压时间 | 9 |
| 1.3.6 冷却时间 | 10 |
| 1.3.6.1 冷却水供应 | 10 |
| 1.3.6.2 冷却布置 | 10 |
| 推荐读物 | 10 |
| 第二章 模具的基本功能 | 12 |

| | | |
|------------|-----------------------|-----------|
| 2.1 | 成型制品 | 12 |
| 2.1.1 | 制品形状 | 13 |
| 2.1.1.1 | 普通实用形状 | 13 |
| 2.1.1.2 | 艺术形状 | 14 |
| 2.1.1.3 | 工程(功能)形状 | 14 |
| 2.2 | 塑料从注塑机到模腔的输送 | 15 |
| 2.2.1 | 冷流道 | 15 |
| 2.2.2 | 热流道 | 17 |
| 2.3 | 充模时空气从模腔的排出 | 18 |
| 2.3.1 | 单浇口 | 18 |
| 2.3.2 | 不均匀壁厚 | 19 |
| 2.3.3 | 多浇口 | 19 |
| 2.4 | 塑料的冷却 | 19 |
| 2.5 | 塑料制品的顶出 | 20 |
| 2.6 | 生产的经济性和适当的要求 | 22 |
| 2.6.1 | 模具类型和模腔数目 | 22 |
| 2.6.1.1 | 机时 | 24 |
| 2.6.1.2 | 高生产率注塑 | 25 |
| 2.6.2 | 在一副模具中模塑不同形状的制品 | 25 |
| 2.6.3 | 多色或多种材料的模塑 | 26 |
| 第三章 | 对模具的要求 | 27 |
| 3.1 | 精度和精整 | 27 |
| 3.1.1 | 精度要求 | 27 |
| 3.1.1.1 | 钢型尺寸 | 28 |
| 3.1.2 | 精整要求 | 28 |
| 3.1.2.1 | 纹饰 | 28 |
| 3.2 | 生产率 | 29 |
| 3.2.1 | 模腔数目 | 29 |
| 3.2.2 | 冷却质量 | 31 |
| 3.2.3 | 顶出速度和时机 | 31 |
| 3.2.4 | 模具的强度和耐久性 | 32 |
| 3.2.5 | 安装、起动方便 | 32 |
| 3.3 | 物理强度 | 33 |

| | | |
|------------|---------------------|-----------|
| 3.3.1 | 拉伸强度 | 34 |
| 3.3.2 | 压缩强度 | 35 |
| 3.3.3 | 板挠度 | 36 |
| 3.4 | 耐磨性 | 37 |
| 3.4.1 | 在压力下运动的模具零件的磨损 | 37 |
| 3.4.2 | 微动磨损 | 37 |
| 3.4.3 | 塑料的磨蚀和腐蚀磨损 | 38 |
| 3.4.4 | 锈蚀 | 38 |
| 3.5 | 安全操作 | 39 |
| 3.5.1 | 对模具的损伤 | 39 |
| 3.5.2 | 人身伤害 | 40 |
| 3.6 | 保养和互换性 | 41 |
| 3.6.1 | 保养 | 41 |
| 3.6.2 | 互换性 | 42 |
| 3.7 | 在注塑机中易于安装 | 42 |
| 3.8 | 合适的模具成本 | 43 |
| 3.8.1 | 模具设计工程成本 (CE) | 44 |
| 3.8.2 | 生产工程成本 (CP) | 44 |
| 3.8.3 | 模块成本 (CS) | 45 |
| 3.8.4 | 模套成本 (CM) | 45 |
| 3.8.5 | 装配成本 (CA) | 45 |
| 3.8.6 | 调试成本 (CT) | 45 |
| 3.8.7 | 企业管理成本和利润率 (CO 和 P) | 45 |
| 3.8.8 | 多模腔模具的成本 | 46 |
| 3.8.9 | 迭层模具成本 | 46 |
| 3.8.10 | 塑料件 (制品) 的成本 | 46 |
| 第四章 | 模具设计的一般指导原则 | 47 |
| 4.1 | 在开始设计模具之前 | 47 |
| 4.2 | 指定塑料的模塑特性 | 49 |
| 4.3 | 预期模塑周期 | 51 |
| 4.4 | 考察制品 | 51 |
| 4.4.1 | 检查制品图 | 52 |
| 4.4.1.1 | 清晰度 | 52 |

| | | |
|------------|--------------------|-----------|
| 4.4.1.2 | 投影 | 52 |
| 4.4.1.3 | 公差 | 52 |
| 4.4.1.4 | 制品用途 | 53 |
| 4.4.1.5 | 图纸上的注释 | 55 |
| 4.4.1.6 | 脱模角 | 55 |
| 4.4.1.7 | 谁对收缩率负责 | 57 |
| 4.4.2 | 从一个制品或模型开始工作 | 57 |
| 4.5 | 为预算员和设计师设计的典型的检验清单 | 58 |
| 4.5.1 | 注塑机技术规范 | 58 |
| 4.5.2 | 制品、制品图和生产技术规范 | 59 |
| 第五章 | 塑料鉴别 | 61 |
| 5.1 | 塑料类型的鉴别 | 61 |

第二部分 模具设计的一般指导原则

| | | |
|------------|-------------------|-----------|
| 第六章 | 模具设计方案 | 66 |
| 6.1 | 模具设计规则 | 66 |
| 6.1.1 | 设计之前 | 66 |
| 6.1.2 | 首先要考虑的问题 | 67 |
| 6.1.3 | 逐步设计——模具模块设计 | 68 |
| 6.1.4 | 逐步法设计——模套设计 | 77 |
| 6.2 | 模腔中水平方向力的平衡 | 81 |
| 6.3 | 流道的平衡和模腔的布置 | 83 |
| 6.3.1 | 流道的平衡 | 83 |
| 6.3.2 | 三板式模具（冷流道） | 84 |
| 6.3.2.1 | 流道长度 | 85 |
| 6.3.2.2 | 流道截面 | 85 |
| 6.3.2.3 | 模腔间距 | 85 |
| 6.3.2.4 | 模腔支撑 | 85 |
| 6.3.2.5 | 浇口位置 | 86 |
| 6.3.2.6 | 制品从模具自由落下所需的距离和时间 | 86 |
| 6.3.2.7 | 拉杆间距（自由落下或引出） | 86 |
| 6.3.2.8 | 分子排列 | 86 |
| 6.3.2.9 | 模腔布置 | 87 |

| | | |
|------------|----------------------|------------|
| 6.3.3 | 三板式模具 | 101 |
| 6.3.3.1 | 多腔模具的一般设计方案 | 101 |
| 6.3.4 | 热流道布局 | 105 |
| 第七章 | 成型操作程序 | 107 |
| 第八章 | 塑料收缩 | 111 |
| 8.1 | 理论方面 | 111 |
| 8.2 | 实际应用 | 113 |
| 8.2.1 | 注塑变量和收缩 | 114 |
| 8.2.1.1 | 厚壁制品 | 114 |
| 8.2.1.2 | 制品的顶出 | 114 |
| 8.2.1.3 | 收缩的时限 | 114 |
| 8.2.1.4 | 制品的退火 | 115 |
| 8.2.1.5 | 制品厚度 | 115 |
| 8.2.2 | 收缩的基本公式 | 117 |
| 8.2.3 | 对收缩负责(收缩因子的选择) | 118 |
| 8.2.3.1 | 钢模型腔尺寸 | 119 |
| 8.2.3.2 | 成型材料 | 119 |
| 8.2.3.3 | 影响收缩的其他原则 | 119 |
| 8.2.4 | 收缩对开模和脱模力的影响 | 120 |
| 8.2.5 | 收缩设计的实用化建议 | 121 |
| 8.2.5.1 | 制品的公差和收缩 | 121 |
| 8.2.5.2 | 螺纹的收缩 | 121 |
| 8.2.6 | 部分材料的成型收缩率 | 122 |
| 8.2.7 | 影响收缩的其他因素 | 123 |
| 8.2.7.1 | 制品的壁厚 | 123 |
| 8.2.7.2 | 制品形状 | 123 |
| 8.2.7.3 | 浇口 | 124 |
| 8.2.7.4 | 等效冷却 | 125 |
| 8.2.7.5 | 塑料在模腔内的取向 | 126 |
| 8.2.7.6 | 操作条件 | 126 |
| 8.2.8 | SPI 标准成型公差 | 126 |
| 8.2.9 | 收缩对容器形状的影响 | 126 |
| 8.2.9.1 | 圆柱形容器 | 127 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 8.2.9.2 锥形容器 | 127 |
| 参考文献 | 128 |
| 第九章 模具表面公差 | 129 |
| 9.1 标注公差的基本考虑 | 129 |
| 9.1.1 误解之一 | 129 |
| 9.1.2 误解之二 | 130 |
| 9.1.3 误解之三 | 130 |
| 9.2 制品壁厚的公差 | 131 |
| 9.3 对公差负责 | 133 |
| 第十章 浇口和流道 | 134 |
| 10.1 每个模腔浇口的位置和数量 | 134 |
| 10.1.1 每个模腔开一个浇口 | 134 |
| 10.1.1.1 外侧中心浇口 | 134 |
| 10.1.1.2 内侧中心浇口 | 136 |
| 10.1.1.3 靠近顶部的侧浇口 | 136 |
| 10.1.1.4 靠近沿口的外侧浇口 | 137 |
| 10.1.1.5 狭长制品的浇口布置 | 137 |
| 10.1.1.6 带有活铰链的制品的浇口布置 | 138 |
| 10.1.2 每个模腔开两个或更多浇口——大制品 | 138 |
| 10.1.3 每个模腔开两个或更多浇口——细长的制品 | 140 |
| 10.1.3.1 在沿口内侧开侧浇口 | 141 |
| 10.1.4 浇口残迹 | 141 |
| 10.1.4.1 浇口的隐藏 | 141 |
| 10.1.4.2 缩窝 | 142 |
| 10.1.4.3 凹进的浇口 | 143 |
| 10.1.4.4 带有缩窝的热流道边缘浇口 | 144 |
| 10.1.4.5 阀式浇口 | 144 |
| 10.2 热流道浇口的类型和结构 | 145 |
| 10.2.1 开式浇口 | 145 |
| 10.2.1.1 圆形浇口 | 146 |
| 10.2.1.2 环形浇口 | 148 |
| 10.2.1.3 热流道边缘浇口 | 151 |
| 10.2.2 阀式浇口 | 153 |

| | | |
|----------|---------------------------|-----|
| 10.2.2.1 | 基本的阀式浇口 | 153 |
| 10.2.3 | 影响浇口尺寸和形状的因素 | 155 |
| 10.2.3.1 | 开式浇口中影响浇口尺寸和浇口长度的因素 | 157 |
| 10.2.4 | 对正确设计浇口的要求 | 158 |
| 10.2.5 | 浇口形状和尺寸 | 159 |
| 10.2.5.1 | 浇口长度 | 159 |
| 10.2.5.2 | 浇口直径 | 159 |
| 10.2.5.3 | 剪切效应在确定浇口直径大小时的作用 | 159 |
| 10.2.5.4 | 剪切作用的时间 | 160 |
| 10.2.5.5 | 确定适当的浇口尺寸 | 161 |
| 10.3 | 冷流道浇口类型和结构 | 162 |
| 10.3.1 | 概要 | 162 |
| 10.3.2 | 边缘浇口 | 164 |
| 10.3.3 | 扇形浇口 | 165 |
| 10.3.4 | 盘形浇口 | 166 |
| 10.3.5 | 柄形浇口 | 167 |
| 10.3.6 | 隧道式浇口 | 168 |
| 10.3.7 | 复式隧道式浇口 | 172 |
| 10.3.8 | 弧形或沉陷的隧道式浇口 | 173 |
| 10.3.9 | 三板式浇口 | 173 |
| 10.4 | 冷流道顶出和拔出器 | 174 |
| 10.4.1 | 流道拔出器和流道的顶出 | 176 |
| 10.4.2 | 吸料销头部周围的塑料流动 | 179 |
| 10.4.3 | 顶出元件、吸料穴或吸料销的位置和数量 | 179 |
| 10.4.4 | 靠近隧道式浇口的吸料穴的布置 | 180 |
| 10.4.5 | 用于三板式下沉式流道的吸料销 | 181 |
| 10.5 | 冷流道模具 | 182 |
| 10.5.1 | 二板式模具 | 182 |
| 10.5.1.1 | 注道式浇口 (仅一个模腔) | 182 |
| 10.5.1.2 | 简单流道 (两个或多个模腔) | 183 |
| 10.5.2 | 三板式模具 | 184 |
| 10.5.3 | 三板式模具的综合评述 | 186 |
| 10.5.3.1 | 缩窝 | 186 |

| | | |
|-------------|-------------|------------|
| 10.5.3.2 | 流道 | 186 |
| 10.5.3.3 | 下沉式流道 | 187 |
| 10.5.3.4 | 每个模腔的浇口数 | 188 |
| 10.6 | 热流道模具 | 189 |
| | 参考文献 | 193 |
| 第十一章 | 排气 | 194 |
| 11.1 | 背景知识及理论 | 194 |
| 11.2 | 定义及规则 | 195 |
| 11.3 | 分型面排气 | 196 |
| 11.3.1 | 排气道和排气槽 | 198 |
| 11.4 | 排气杆和镶件排气 | 200 |
| 11.4.1 | 排气杆 | 200 |
| 11.4.2 | 镶件排气 | 201 |
| 11.5 | 混杂排气 | 202 |
| 11.5.1 | 流道排气 | 202 |
| 11.5.2 | 模腔底部的排气 | 202 |
| 第十二章 | 顶出 | 203 |
| 12.1 | 内容及概念概述 | 203 |
| 12.2 | 顶出方式的基本要求 | 204 |
| 12.2.1 | 顶出零件 | 204 |
| 12.2.2 | 注射机顶出杆的长度 | 204 |
| 12.3 | 顶出的一般原则 | 205 |
| 12.3.1 | 行程、间隙和制品高度 | 205 |
| 12.3.2 | 排气 | 208 |
| 12.3.3 | 顶出制品的位置 | 208 |
| 12.4 | 顶杆和顶管 | 212 |
| 12.4.1 | 顶杆配合间隙和长度 | 212 |
| 12.4.2 | 尺寸, 表面精整和形状 | 213 |
| 12.4.3 | 专用顶杆形状 | 214 |
| 12.4.4 | 顶杆数量和布置 | 216 |
| 12.5 | 顶杆和顶杆固定板 | 217 |
| 12.5.1 | 顶出力 | 217 |
| 12.5.2 | 注射压力 | 218 |

| | | |
|----------|------------------------|-----|
| 12.5.3 | 与注塑机顶杆相关的顶杆位置的影响 | 218 |
| 12.5.4 | 顶杆固定板 | 219 |
| 12.5.5 | 防止顶杆偏移转动 | 220 |
| 12.5.6 | 复位销 | 221 |
| 12.5.7 | 顶杆箱 | 223 |
| 12.5.8 | 顶杆托板导向 | 224 |
| 12.5.9 | 顶杆托板的复位 | 225 |
| 12.5.9.1 | 顶杆托板与注塑机顶杆连接 | 226 |
| 12.5.9.2 | 联动装置连接到模具上 | 226 |
| 12.5.9.3 | 复位弹簧 | 227 |
| 12.5.9.4 | 气缸 | 229 |
| 12.6 | 脱模板 | 230 |
| 12.6.1 | 脱模板的一般准则 | 231 |
| 12.6.2 | 脱模板导向 | 233 |
| 12.6.3 | 脱模圈 | 235 |
| 12.6.3.1 | 固定脱模圈 | 235 |
| 12.6.3.2 | 浮动脱模圈 | 236 |
| 12.6.4 | 脱模杆 | 239 |
| 12.6.5 | 从注射侧脱模 | 239 |
| 12.7 | 压缩空气顶出 | 240 |
| 12.7.1 | 空气顶出带来的问题 | 240 |
| 12.7.2 | 压缩空气顶出的基本要求 | 241 |
| 12.7.3 | 阀杆顶出 | 242 |
| 12.7.3.1 | 阀杆设计原则 | 243 |
| 12.7.3.2 | 双作用驱动器的阀杆 | 244 |
| 12.7.4 | 吹气喷嘴 | 245 |
| 12.7.4.1 | 吹落 | 247 |
| 12.7.5 | 吹气缝 | 249 |
| 12.7.5.1 | 开式吹气缝 | 249 |
| 12.7.5.2 | 闭式吹气缝 | 251 |
| 12.7.6 | 从注射侧进行空气顶出 | 253 |
| 12.7.7 | 机械和空气联合顶出 | 254 |
| 12.8 | 多次顶出行程 | 255 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 12.9 专用顶出方法 | 255 |
| 12.9.1 颈圈顶出 | 255 |
| 12.9.2 分瓣顶出 | 256 |
| 12.9.3 拉模芯顶出 | 257 |
| 12.9.4 摆杆顶出 | 258 |
| 12.10 两级(和多级)顶出 | 259 |
| 12.10.1 使用两级顶出的原因及场合 | 261 |
| 12.10.2 典型的两级顶出驱动器 | 261 |
| 12.10.3 活动模腔 | 266 |
| 12.11 成型面的精整 | 270 |
| 12.12 顶出顺序 | 270 |
| 12.13 可拆分模芯 | 273 |
| 12.13.1 斜向运动模芯 | 275 |
| 12.14 退螺纹模具 | 275 |
| 12.14.1 传统退螺纹方式 | 275 |
| 12.14.2 哈斯科(Husky)独创的退螺纹模具 | 277 |
| 12.14.3 哈斯科的新退螺纹模具系统 | 279 |
| 第十三章 模具冷却 | 280 |
| 13.1 引言 | 280 |
| 13.1.1 模具设计的目的 | 282 |
| 13.1.2 可利用的帮助 | 282 |
| 13.2 注塑模为什么要冷却 | 283 |
| 13.3 影响模具冷却的因素 | 284 |
| 13.3.1 冷却介质的温度 | 284 |
| 13.3.2 塑料的温度——热平衡 | 285 |
| 13.3.3 热量、温度和能量的基本原理 | 290 |
| 13.3.3.1 热量 | 290 |
| 13.3.3.2 温差 | 290 |
| 13.3.3.3 热导率 | 291 |
| 13.3.3.4 热焓 | 292 |
| 13.3.3.5 冷却水的流动 | 293 |
| 13.3.4 流道系统 | 295 |
| 13.3.5 模套的温度 | 295 |

| | | |
|----------|--------------------------------|-----|
| 13.4 | 冷却通道的设计 | 296 |
| 13.4.1 | 钻孔通道与其他通道以及模壁间的距离 | 296 |
| 13.4.1.1 | 钻孔长度 | 296 |
| 13.4.1.2 | 钻头尺寸 | 297 |
| 13.4.1.3 | 配合尺寸 | 297 |
| 13.4.1.4 | 冷却通道间的距离 | 298 |
| 13.4.1.5 | 模具材料的强度 | 298 |
| 13.4.1.6 | 冷却通道的效率 | 299 |
| 13.4.2 | 模板中的冷却设计及尺寸确定 | 300 |
| 13.4.2.1 | 模板尺寸和注塑机上可用空间 | 300 |
| 13.4.2.2 | 螺丝的大小和数量 | 300 |
| 13.4.2.3 | 导柱和导套的位置和尺寸 | 301 |
| 13.4.2.4 | 最佳冷却 | 301 |
| 13.4.2.5 | 成本 | 301 |
| 13.4.3 | 串联冷却和并联冷却 | 301 |
| 13.4.3.1 | 模板中的导流塞 | 303 |
| 13.4.4 | 三板式模具中的流道与模腔板 | 306 |
| 13.4.5 | 与模塑制品直接接触的模具部件内的冷却通道尺寸布置 | 307 |
| 13.4.5.1 | 塑料的压缩率与收缩率 | 308 |
| 13.4.5.2 | 模腔、模芯、镶件、浇口套和脱模板的冷却 | 310 |
| 13.5 | 供水管路(软管)的尺寸和数量 | 340 |
| 13.6 | 一副模具冷却介质的需求量 | 342 |
| 13.6.1 | 引言 | 342 |
| 13.6.2 | 输入热量的计算 | 343 |
| 13.6.2.1 | 比热容 | 344 |
| 13.6.3 | 冷却需要量 | 345 |
| 13.6.4 | 冷却水的温度 | 346 |
| 13.6.5 | 露点 | 346 |
| 13.6.6 | 所需冷却水的量 | 347 |
| 13.6.7 | 冷却效率 | 348 |
| 13.6.8 | 冷却水的供应 | 350 |
| 13.6.8.1 | 冷却塔 | 350 |
| 13.6.8.2 | 制冷机 | 351 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 13.6.8.3 所需制冷机的大小 | 352 |
| 13.6.9 冷却管路的大小 | 353 |
| 推荐读物 | 354 |
| 第十四章 热膨胀 | 355 |
| 14.1 影响热膨胀的变量 | 355 |
| 14.2 许用应力中的因素 | 357 |
| 14.2.1 材料选择 | 357 |
| 14.2.2 “冷间隙”的产生 | 358 |
| 14.3 热梯度 | 359 |
| 14.4 模板 | 360 |
| 14.4.1 联锁装置 | 361 |
| 14.4.2 模块的各自定位 | 361 |
| 14.4.2.1 垂直合模 | 362 |
| 14.5 热流道歧管 | 363 |
| 14.5.1 模具温度 | 364 |
| 14.5.2 塑料温度 | 364 |
| 14.6 注吹模具 | 364 |
| 第十五章 迭层模具 | 366 |
| 15.1 迭层模具理论 | 366 |
| 15.2 定义和名称 | 366 |
| 15.3 结构布置 | 367 |
| 15.4 行程 | 367 |
| 15.5 支撑 | 368 |
| 15.6 合模力 | 372 |
| 15.7 非对称布置 | 373 |
| 15.8 注塑机和模具的其他重要特性 | 374 |
| 15.8.1 注射量 | 374 |
| 15.8.2 收得率 | 375 |
| 15.8.3 注射速率 | 375 |
| 15.8.4 注射量和产品质量的可重复性 | 375 |
| 15.8.5 注道切断 | 375 |
| 15.8.6 热塑料的压力释放 | 375 |
| 15.8.7 开式注嘴注塑 | 376 |

| | | |
|-----------|----------------------|-----|
| 15.8.8 | 截流式注嘴注塑 | 376 |
| 15.8.9 | 压板间距、闭合高度和合模行程 | 376 |
| 15.8.9.1 | 压板间距 | 377 |
| 15.8.9.2 | 行程限制器 | 377 |
| 15.8.9.3 | 闭合高度 | 377 |
| 15.8.9.4 | 合模行程 | 377 |
| 15.8.10 | 注射滑座的移动 | 378 |
| 15.8.10.1 | 注射滑座前冲制动 | 378 |
| 15.8.11 | 无人防护区 | 378 |
| 15.8.12 | 顶出装置 | 378 |
| 15.8.13 | 中间部分的支撑 | 378 |
| 15.8.14 | 下落限制器 | 379 |
| 15.8.15 | 开模力 | 379 |
| 15.9 | 送层模具设计原则 | 380 |
| 15.9.1 | 模腔布置 | 380 |
| 15.9.2 | 注道杆长度 | 381 |
| 15.9.3 | 注道杆的加热 | 382 |
| 15.9.4 | 意外接触注道杆的防护 | 382 |
| 15.9.5 | 注道杆导向 | 382 |
| 15.9.6 | 合模行程 | 382 |
| 15.9.7 | 顶出机构的驱动 | 383 |
| 15.9.7.1 | 链条或拉杆 | 383 |
| 15.9.7.2 | 加在静压板上的顶出系统 | 383 |
| 15.9.7.3 | 模板内的驱动缸 | 383 |
| 15.9.7.4 | 与模具运动联系在一起的顶出 | 383 |
| 15.9.7.5 | 两步顶出 | 385 |
| 15.10 | 模具中间部分的水、气、电供给 | 385 |
| 15.10.1 | 模具维修 | 386 |

第三部分 针对模具设计者的问题

| | | |
|-------------|---------------------|------------|
| 第十六章 | 模具材料规格 | 387 |
| 16.1 | 材料比较 | 387 |
| 16.2 | 模具材料选择准则 | 387 |

| | | |
|-------------|--------------|------------|
| 16.3 | 热处理 | 392 |
| 16.3.1 | 消除应力 | 392 |
| 16.3.2 | 渗碳 | 393 |
| 16.3.2.1 | 渗层深度 | 394 |
| 16.3.2.2 | 薄截面和螺纹局部渗碳 | 394 |
| 16.3.2.3 | 为何一定使用渗碳钢 | 395 |
| 16.3.3 | 氮化 | 395 |
| 16.3.4 | 火焰淬火、感应淬火 | 396 |
| 16.4 | 模具精整 | 397 |
| 16.4.1 | 模具表面精整 | 397 |
| 16.4.2 | 模具表面精整符号 | 397 |
| 16.4.3 | 特殊结构 | 398 |
| 16.4.3.1 | EDM 加工织构 | 399 |
| 16.4.3.2 | EDM 精整 | 399 |
| 16.4.4 | 喷砂和蒸汽珩磨 | 399 |
| 16.4.4.1 | 喷砂 | 400 |
| 16.4.4.2 | 蒸汽珩磨 | 400 |
| 16.4.5 | 抛光和擦光 | 400 |
| 16.4.5.1 | 抛光的原因 | 401 |
| 16.4.5.2 | 抛光的成本 | 401 |
| 16.4.5.3 | 拉抛 | 402 |
| 16.4.5.4 | 金刚石磨料 | 402 |
| 16.4.5.5 | 测量粗糙度 | 403 |
| 16.4.5.6 | 抛光术语和操作顺序 | 404 |
| 16.4.6 | 非模塑表面精整规格 | 405 |
| 16.4.6.1 | 尖角的抛光 | 406 |
| 第十七章 | 模板 | 407 |
| 17.1 | 用途和材料选择 | 407 |
| 17.2 | 模板挠曲 | 408 |
| 17.3 | 作用于模板的力 | 409 |
| 17.4 | 模板挠度和应力的简化计算 | 410 |
| 17.4.1 | 挠度 | 410 |
| 17.4.2 | 应力 | 410 |
| 17.4.3 | 设计校验 | 410 |
| 17.5 | 动模板的导向 | 412 |

| | | |
|-------------|---------------|------------|
| 17.5.1 | 导向支承 | 412 |
| 17.5.2 | 模板导向 | 413 |
| 第十八章 | 金属疲劳 | 417 |
| 18.1 | 材料力学性能 | 417 |
| 18.2 | 金属疲劳 | 418 |
| 18.2.1 | 什么是疲劳 | 419 |
| 18.3 | 四种基本类型载荷 | 419 |
| 18.3.1 | 轴向载荷 | 419 |
| 18.3.2 | 弯曲载荷 | 420 |
| 18.3.3 | 剪切载荷 | 420 |
| 18.3.4 | 扭转载荷 | 420 |
| 18.4 | 载荷波动、尺度和方向 | 420 |
| 18.5 | 疲劳寿命曲线 | 422 |
| 18.6 | 避免模具疲劳失效 | 426 |
| 18.6.1 | 材料选择 | 426 |
| 18.6.2 | 精整 | 426 |
| 18.6.3 | 产品形状 | 426 |
| 18.6.4 | 应力集中 | 427 |
| 18.7 | 硬度对疲劳极限的影响 | 428 |
| 18.8 | 精整的影响 | 429 |
| 18.9 | 应力集中源对疲劳极限的影响 | 430 |
| 18.9.1 | 截面变化 | 430 |
| 18.9.2 | 拐角的应力集中源 | 430 |
| 18.9.3 | 刀具痕迹 | 431 |
| 18.9.4 | 花键和键槽 | 432 |
| 18.9.4.1 | 外螺纹或花键和挡圈槽 | 432 |
| 18.10 | 微动磨损 | 434 |
| 18.11 | 焊接与疲劳 | 434 |
| 18.12 | 其他影响疲劳寿命的因素 | 435 |
| 18.12.1 | 晶粒组织 | 435 |
| 18.12.2 | 雕刻位置 | 435 |
| 18.12.3 | 颗粒喷射 | 435 |
| 18.13 | 疲劳举例 | 435 |
| 18.13.1 | 模腔镶件 | 437 |
| 18.13.2 | 模腔钻孔 | 439 |
| | 参考文献 | 440 |

| | |
|-------------------------------------|-----|
| 第十九章 模具螺丝 | 441 |
| 19.1 螺纹紧固件 | 441 |
| 19.2 螺丝如何工作 | 441 |
| 19.3 螺纹加工方法不同的螺丝类型 | 443 |
| 19.3.1 轧制螺纹 | 443 |
| 19.3.2 切削螺纹 | 443 |
| 19.4 螺纹螺距类型：细牙和粗牙 | 443 |
| 19.5 螺丝的紧固作用和预载 | 444 |
| 19.6 温度对螺丝的影响 | 447 |
| 19.7 循环载荷对螺丝的影响 | 450 |
| 19.8 螺丝的润滑 | 451 |
| 19.9 钢制螺丝标准 | 451 |
| 19.9.1 螺丝用钢的性能 | 451 |
| 19.9.2 12.9 级螺丝的螺纹公差 | 452 |
| 19.9.3 螺纹接合长度 | 452 |
| 19.9.4 关于螺丝和螺丝连接的附加建议 | 453 |
| 19.9.4.1 改动螺丝尺寸 | 453 |
| 19.9.4.2 沉孔深度 | 453 |
| 19.9.4.3 扳手空间 | 453 |
| 19.9.4.4 其他螺丝头部类型 | 454 |
| 19.9.5 带肩螺丝（脱模板螺栓）和紧固螺丝 | 454 |
| 19.10 螺丝数据 | 455 |
| 19.11 用于调整的螺丝和柱螺栓 | 460 |
| 19.12 安全螺丝 | 462 |
| 19.12.1 锁紧垫圈 | 463 |
| 19.12.2 Loctite™, Permaflex™等 | 463 |
| 19.12.3 变形螺丝 | 464 |
| 19.12.4 金属丝拴住螺丝头部 | 464 |
| 19.12.5 塑料插件保证安全的螺丝（Nylok™等） | 465 |
| 19.13 螺帽 | 465 |
| 19.13.1 安全螺帽 | 465 |
| 19.13.2 开口销 | 465 |
| 19.13.3 压紧螺帽 | 465 |

| | | |
|------------------------------|------------------------------|-----|
| 19.13.4 | 用塑料嵌件 (Nylok™等) 保证螺帽安全 | 466 |
| 19.13.5 | 保证螺帽安全的其他方法 | 466 |
| 19.13.5.1 | Loctite™, Permaflex™等 | 466 |
| 19.13.5.2 | 锁紧垫圈 | 466 |
| 19.13.5.3 | 舌片垫圈 | 467 |
| 参考文献 | | 467 |
| 第二十章 模具和模具零件的装卸 | | 468 |
| 20.1 | 安全 | 468 |
| 20.2 | 模板吊装 | 468 |
| 20.2.1 | 模具零件的加工 | 468 |
| 20.2.2 | 模板面上的吊孔 | 469 |
| 20.3 | 吊环螺栓 | 471 |
| 20.3.1 | 提升和吊起理论 | 471 |
| 20.3.2 | 提升载荷 | 473 |
| 20.3.3 | 吊环螺栓使用注意事项 | 474 |
| 20.3.4 | 吊环螺栓使用举例 | 475 |
| 20.4 | 吊杆 | 477 |
| 20.5 | 注塑机上模具的安装 | 479 |
| 20.5.1 | 较大模具 | 479 |
| 20.5.2 | 快速换模器 | 480 |
| 20.6 | 搭桥 | 480 |
| 20.6.1 | 模具维修的搭桥 | 481 |
| 第二十一章 气体和油压驱动器 | | 483 |
| 21.1 | 气缸和活塞 | 483 |
| 21.1.1 | 单作用驱动器 | 483 |
| 21.1.2 | 双动驱动器 | 484 |
| 21.1.3 | 力 F 建立的速度 | 484 |
| 21.1.4 | 密封件 | 486 |
| 21.1.5 | 气缸的位置和数量 | 487 |
| 21.1.6 | 定位 | 487 |
| 21.1.7 | 缸壁和活塞杆的精整 | 488 |
| 21.1.8 | 要求的力 | 488 |
| 21.1.9 | 排气噪声 | 489 |

| | |
|----------------------------------|------------|
| 21.1.10 空气驱动的成本 | 489 |
| 21.2 油压驱动器 | 489 |
| 21.2.1 液压油管路 | 490 |
| 21.2.2 行程 | 490 |
| 21.2.3 气体的放出 | 490 |
| 21.2.4 与注塑机的对接 | 491 |
| 21.3 模具安全 | 491 |
| 第二十二章 设计人员的规则和计算 | 492 |
| 22.1 产品的投影面积 (A_{pe}) | 492 |
| 22.2 钢板的合模沿口面积 (A_m) | 493 |
| 22.3 合模力 F_c | 493 |
| 22.4 疲劳 | 494 |
| 22.5 模块的压缩 | 495 |
| 22.6 圆周应力和模腔扩展 | 496 |
| 22.7 弹簧 | 498 |
| 22.8 楔 | 499 |
| 22.9 几个问题的计算 | 499 |
| 22.9.1 辘子或球体的尺度 | 499 |
| 22.9.2 棘爪 | 499 |
| 22.10 导热性 | 500 |
| 22.10.1 热膨胀 | 500 |
| 22.11 比热容 | 501 |
| 22.12 加热器功率 | 501 |
| 22.12.1 管状加热器 | 501 |
| 22.12.2 圆筒加热器 | 501 |
| 22.12.3 单位质量热流歧管的热输入 (用 W) | 502 |
| 22.13 常用转换系数 | 503 |
| 22.14 锥体配合的预载 | 505 |
| 22.14.1 模具中锥体的作用 | 505 |
| 22.14.2 锥体预载目的 | 506 |
| 22.14.3 楔子和关闭器 | 509 |
| 22.15 如何标出锥体尺寸 | 511 |
| 22.15.1 外锥体 | 511 |

| | | |
|-----------|-------------------|-----|
| 22.15.2 | 内锥体 | 512 |
| 22.15.3 | 带角度的表面 | 512 |
| 22.15.4 | 设计(校验)球 | 514 |
| 22.16 | 脱模圈或预载锥体的疲劳 | 514 |
| 22.16.1 | 脱模圈 | 514 |
| 22.16.2 | 锥体自锁 | 516 |
| 22.16.3 | 应力 | 516 |
| 22.16.3.1 | 接触应力 S_c | 516 |
| 22.16.4 | 磨削锥体对预载的影响 | 517 |
| 22.17 | 倒角和半径 | 518 |
| 22.17.1 | 一般知识 | 518 |
| 22.17.2 | 标注倒角 | 519 |
| 22.17.3 | 标注半径 | 519 |
| 22.17.4 | 拐角的半径 | 521 |
| 22.17.5 | 跟部 | 522 |
| 22.18 | O型圈安装 | 522 |
| 22.19 | 模具上钻孔 | 523 |
| 22.19.1 | 麻花钻 | 523 |
| 22.19.1.1 | 孔的位置和直径精度 | 523 |
| 22.19.1.2 | 切削刃的冷却 | 524 |
| 22.19.1.3 | 钻孔长度 | 524 |
| 22.19.1.4 | 钻点制导 | 524 |
| 22.19.1.5 | 孔的精整 | 525 |
| 22.19.1.6 | 麻花钻材料 | 525 |
| 22.19.1.7 | 麻花钻钻孔的优缺点 | 525 |
| 22.19.1.8 | 可得到的麻花钻头尺寸 | 526 |
| 22.19.2 | 深孔钻削(枪钻) | 526 |
| 22.19.2.1 | 枪钻材料 | 526 |
| 22.19.2.2 | 钻头的切削刃 | 526 |
| 22.19.2.3 | 钻头定位 | 527 |
| 22.19.2.4 | 枪钻的直径和长度 | 528 |
| 22.19.2.5 | 切削刃的冷却 | 529 |
| 22.19.2.6 | 材料硬质点 | 529 |

| | | |
|-----------|--------------|-----|
| 22.19.2.7 | 钻头偏离的影响 | 529 |
| 22.19.2.8 | 深孔钻削通道的精整 | 530 |
| 22.19.2.9 | 深孔设计建议 | 530 |
| 22.19.3 | 模具冷却和气体通道的钻削 | 531 |
| 22.19.3.1 | 交叉钻削 | 531 |
| 22.19.3.2 | 冷却液流动的导流塞 | 532 |
| 22.19.3.3 | 冷却液通道的堵塞 | 534 |
| 22.19.3.4 | 水管到孔和表面的距离 | 534 |
| 22.19.3.5 | 钻孔的尺度 | 536 |

第二篇 模具性能

| | | |
|--------------|----------------------|-----|
| 第二十三章 | 模具性能与寿命 | 538 |
| 第二十四章 | 模具性能方面经常问到的问题 | 542 |
| 24.1 | 什么是模具的期望寿命 | 542 |
| 24.1.1 | 制品报废 | 542 |
| 24.1.2 | 模具报废 | 542 |
| 24.2 | 什么是影响模具寿命的因素 | 543 |
| 24.2.1 | 机械部分 | 543 |
| 24.2.2 | 电气部分 | 544 |
| 24.3 | 生产量、生产率和效率之间有什么区别 | 544 |
| 24.3.1 | 生产量 | 544 |
| 24.3.2 | 生产率 | 545 |
| 24.3.3 | 效率 | 545 |
| 24.4 | 性能如何影响制品成本的 | 546 |
| 24.4.1 | 塑料成本 | 547 |
| 24.4.2 | 能源、水及压缩空气的成本 | 547 |
| 24.4.3 | 制品生产的直接人工费用 | 548 |
| 24.4.4 | 模具成本 | 550 |
| 24.4.5 | 机器(机时)成本 | 551 |
| 24.4.6 | 维修成本 | 553 |
| 24.4.7 | 建厂费 | 554 |
| 第二十五章 | 循环周期 | 555 |
| 25.1 | 制品设计的影响 | 555 |

| | | |
|----------|----------------------|-----|
| 25.1.1 | 壁厚 t | 555 |
| 25.1.2 | 壁的统一性 | 555 |
| 25.1.3 | 制品所有部位良好冷却的可行性 | 555 |
| 25.2 | 模具设计的影响 | 555 |
| 25.2.1 | 热交换 | 556 |
| 25.2.2 | 塑料充模 | 556 |
| 25.2.3 | 排气 | 556 |
| 25.2.4 | 顶出 | 556 |
| 25.3 | 注塑机尺寸选择的影响 | 556 |
| 25.4 | 模塑材料的影响 (塑料) | 557 |
| 25.4.1 | 粘度 | 557 |
| 25.4.2 | 结晶度 | 557 |
| 25.4.3 | 料温 | 558 |
| 25.4.4 | 热导率 | 558 |
| 25.4.5 | 塑料来源 | 558 |
| 25.5 | 制品顶出温度的影响 | 558 |
| 25.5.1 | 制品应力 | 559 |
| 25.5.2 | 倒陷和螺纹的脱模 | 559 |
| 25.6 | 注射 (充料) 速度的影响 | 559 |
| 25.6.1 | 注塑机的能力 | 559 |
| 25.6.2 | 塑料类型 | 560 |
| 25.6.3 | 制品设计 | 560 |
| 25.6.4 | 模具设计 | 560 |
| 25.7 | 注射量 | 561 |
| 25.7.1 | 塑化能力 | 561 |
| 25.7.1.1 | RS 注塑机 | 562 |
| 25.7.1.2 | P 型注塑机 | 563 |
| 25.7.1.3 | 挤出机大小的选择 | 563 |
| 25.7.2 | 注射量和模腔数目 | 563 |
| 25.7.2.1 | 模腔数 | 564 |
| 25.7.2.2 | 压力降 | 564 |
| 25.7.2.3 | 注射模腔和模芯间塑料层的量 | 564 |
| 25.7.2.4 | 增流注塑 | 565 |

| | | |
|--------------|-----------------------------|------------|
| 25.8 | 顶出时间的确定 | 565 |
| 25.9 | 合模行程长度 | 566 |
| 25.10 | 模具冷却 | 566 |
| 25.10.1 | 冷却效率 | 567 |
| 25.10.1.1 | 塑料和冷却剂的温度差 ΔT | 567 |
| 25.10.1.2 | 从热塑料至冷却通道的热传递距离 | 567 |
| 25.10.1.3 | 模具材料的热导率 | 567 |
| 25.10.1.4 | 冷却剂中的杂质和腐蚀 | 568 |
| 25.10.1.5 | 冷却剂比热容 | 568 |
| 25.10.1.6 | 流道内部冷却剂的流动特征 | 568 |
| 25.10.1.7 | 单位时间内冷却剂的体积 | 569 |
| 第二十六章 | 壁厚 | 572 |
| 26.1 | 注射压力 | 572 |
| 26.1.1 | 注塑机喷嘴后的注射压力 | 572 |
| 26.1.2 | 模腔空间内的实际压力 | 573 |
| 26.2 | 流动长度 | 574 |
| 26.3 | 合模力 | 576 |
| 26.4 | 熔体指数 | 577 |
| 26.5 | 收缩率 | 580 |
| 26.5.1 | 壁厚和收缩率 | 580 |
| 26.6 | 冷却时间 | 582 |
| 26.6.1 | 薄壁 | 582 |
| 26.6.2 | 厚壁 | 582 |
| 26.7 | 模芯位移 | 582 |
| 26.7.1 | 制造误差 | 583 |
| 26.7.2 | 复式浇口 | 583 |
| 26.7.3 | 挠曲 | 583 |
| 26.7.4 | 模芯支撑 | 584 |
| 26.7.5 | 定位机构的特性 | 585 |
| 26.7.6 | 模楔锁紧 | 585 |
| 26.7.7 | 影响模芯位移的其他因素 | 585 |
| | 参考文献 | 585 |
| 第二十七章 | 制品的尺寸和形状 | 586 |

| | | |
|-------------------|---------------------------------|-----|
| 27.1 | 收缩余量 | 586 |
| 27.2 | 模塑材料 | 587 |
| 27.3 | 操作环境 | 587 |
| 27.4 | 模具精度 | 587 |
| 27.5 | 模具冷却 | 588 |
| 第二十八章 结晶性 | | 589 |
| 28.1 | 注塑级塑料的性能 | 589 |
| 28.2 | 冷却对结晶性材料的影响 | 589 |
| 28.3 | 结晶层和非结晶层分布的实际影响 | 597 |
| 28.4 | 熔点 (T_m) 和玻璃化转变温度 (T_g) | 597 |
| 28.5 | PET (聚对苯二甲酸乙二醇酯) 的预成型 | 598 |
| 28.6 | 塑料干燥 | 598 |
| 参考文献 | | 598 |
| 第二十九章 模具压力 | | 599 |
| 29.1 | 合模力 | 599 |
| 29.2 | 螺杆的力 | 601 |
| 29.3 | 开模力 | 601 |
| 29.4 | 顶出力 | 602 |
| 29.4.1 | 拉伸 | 602 |
| 29.4.2 | 压缩 | 603 |
| 29.4.3 | 挠曲 | 604 |
| 29.4.3.1 | 顶托板的挠曲 | 604 |
| 29.4.3.2 | 脱模板的挠曲 | 605 |
| 29.4.4 | 扭转 | 605 |
| 29.5 | 注射力 | 606 |
| 29.5.1 | 液压力 | 607 |
| 29.5.2 | 压缩 | 608 |
| 29.5.3 | 拉伸 | 609 |
| 29.5.4 | 挠曲 | 609 |
| 29.6 | 剪切力 | 610 |
| 29.7 | 模具不均匀冷却引起的力 | 610 |
| 29.7.1 | 热膨胀 | 610 |
| 29.7.2 | 热流道部件 | 612 |

| | | |
|--------------|--------------------|------------|
| 29.8 | 注射装置力 | 612 |
| 29.9 | 表面清晰度的影响 | 612 |
| 第三十章 | 预载 | 616 |
| 30.1 | 预载的定义 | 616 |
| 30.2 | 合模力 | 617 |
| 30.3 | 侧型芯受力 | 620 |
| 30.3.1 | 侧抽力 | 620 |
| 30.3.2 | 支撑力 | 621 |
| 30.3.2.1 | 模楔 | 621 |
| 30.3.2.2 | 液压驱动器 | 621 |
| 30.3.3 | 侧型芯预载 | 621 |
| 30.4 | 跟合模力方向垂直的成型力 | 623 |
| 30.5 | 镶入式模腔 | 624 |
| 30.6 | 一块(标准的)模腔 | 625 |
| 30.7 | 组合模腔 | 625 |
| 30.8 | 侧分模腔 | 628 |
| 30.8.1 | 带柄杯子 | 629 |
| 30.8.1.1 | 确定预载量 | 631 |
| 30.8.1.2 | 计算模楔预载 | 632 |
| 30.8.1.3 | 垫片 | 633 |
| 30.8.1.4 | 侧模腔的应力和挠度 | 633 |
| 30.8.2 | 箱形制品模具 | 638 |
| 30.8.3 | 水桶模具 | 639 |
| 30.8.3.1 | 圆周应力和模腔扩张 | 642 |
| 30.9 | 螺钉预紧 | 644 |
| 30.9.1 | 带轴肩螺钉 | 644 |
| 30.9.2 | 模具固定螺钉 | 645 |
| 30.9.3 | 模具压板 | 645 |
| 第三十一章 | 磨损和润滑 | 647 |
| 31.1 | 树脂作用引起的磨损 | 647 |
| 31.1.1 | 磨蚀 | 648 |
| 31.1.2 | 腐蚀 | 648 |
| 31.2 | 冷却剂引起的腐蚀 | 649 |

| | | |
|--------------|-------------------------|------------|
| 31.3 | 气体引起的腐蚀 | 650 |
| 31.4 | 锥体磨损 | 650 |
| 31.5 | 模具润滑 | 652 |
| 31.5.1 | 导柱、球轴承和导套 | 652 |
| 31.5.2 | 压力或中心润滑 | 653 |
| 31.6 | 减少磨损的特殊表面处理 | 653 |
| 31.6.1 | 镀硬铬 | 653 |
| 31.6.2 | 氮化(硬或软) | 653 |
| 31.6.3 | 其他镀层 | 654 |
| 第三十二章 | 模具零件的切压制模 | 655 |
| 32.1 | 切压制模 | 655 |
| 32.2 | 不希望产生压印的典型区域 | 656 |
| 32.3 | 压印的控制 | 656 |
| 32.3.1 | 钢材的选择 | 656 |
| 32.3.2 | 接触面积大小 | 657 |
| 32.3.2.1 | 排气 | 657 |
| 32.3.2.2 | 分型面上的尘垢 | 657 |
| 32.3.2.3 | 分型面挡块 | 658 |
| 32.4 | 锥体锁紧 | 658 |
| 32.5 | 模板的支撑 | 659 |
| 32.6 | 模板上的模腔、模芯和其他镶件的支撑 | 659 |
| 32.7 | 温度升高的影响 | 660 |
| | 模塑技术术语汇编 | 661 |
| | 模塑周期中的时间单元 | 661 |
| | 模具操作术语 | 663 |

第一篇 模具工程

第一部分 有关模具、注塑机、塑料原料及其制品的基础知识

第一章 模具工程入门

《模具工程》主要论述有关热塑性塑料注塑模具的工程问题。然而，这里所论及的大部分问题，对于其他各种塑料模具，如塑料吹塑模具以及对于某些热固性塑料的成型模具等都有应用价值。

第一篇 模具工程，所要达到的目的，不仅是对于初次接触模具的技术人员，而且对于有较丰富经验的模具设计师，使他们能用工程的观点去处理模具问题。

对于在塑料工业其他部门工作的人员，例如从事销售和售后服务的人员来说，在他们的工作中也需要了解有关塑料模具的知识，《模具工程》也是值得推荐的阅读资料。

第一篇 模具工程，包括三部分。

第一部分 关于模具、注塑机、塑料原料和塑料制品的基础知识。

第二部分 模具设计的一般指导原则。

第三部分 针对模具设计者的问题。

在模具设计方面还有不少好书，其中一部分列在本章结尾推荐的阅读资料。这些书的内容大部分是具有专门用途的塑料制品成型模具的设计实例。实际只是具有不同特点的许多完整的模具图纸的集合，没有这些特点应用原理的介绍。许多情况显示，模具技术距当今技术水

平的要求大约落后 20~30 年。这并不是说这些模具书没有价值，正相反，模具设计人员可能会从中找到许多解决模具设计难题的有意思的方法。但是这些模具设计案例所提供的不应仅仅是仿制，而应从中吸取反映当今技术水准的设计思想。

第一篇的内容与其说是模具设计知识的完整集合，倒不如说是把模具设计知识分解成了许多部分（单元），并以工程的观点分别加以论述，而且还对各种知识的应用场合给予分析说明。

1.1 什么是注塑模

注塑模是用装配形成的空腔（一个或多个），成型制品所需的形状，生产（常是大批量的）塑料零件或产品的一种装置。

模具的型腔是由称作模腔的阴模部件和称作模芯的阳模部件共同组成。模具安装在注塑机上，并按如下的时间顺序（通常是自动进行的）充填模腔：

- 合模；
- 注射（热的，近乎流动的）塑料进入模腔；
- 保持合模状态直到塑料冷却至能被顶出时为止；
- 开模；
- 顶出塑料制品；
- 如果需要，注塑机可以延长开模（MO）时间做好下一个（注射）周期的准备工作。

模塑周期（数秒钟）在全自动（FA）作业中被定义为一次注射的合模瞬间到下一次注射的合模瞬间之间的时间长短。但通常，人们以每分钟（或每小时）注射次数来表示生产的生产率，而不用几秒钟的模塑周期的长短来表示。

1.2 什么是注塑机

对于模具设计人员来说，一件重要的事情是要首先弄清楚注射模塑工艺的过程及其术语。一台注塑机由四个作用不同的基本单元组成。

- ① 合模机构；

- ② 塑化装置；
- ③ 注射装置；
- ④ 全部控制系统。

1.2.1 合模机构

合模机构在模塑周期中完成开模和合模动作(尽快地),并提供必要的合模力以保持塑料注射时模具的闭合状态。因为作用在模具型腔内部表面(投影面)上的注射压力有打开模具缝口的趋势。这里的缝口即模具分型面也称作分模线(P/L)。

1.2.2 塑化装置

目前采用的塑化装置几乎全部是螺杆挤出机式的塑化装置,该装置将塑料原料加热到注射所要求的熔融状态。所需的热量大部分由挤出螺杆在机筒中作旋转运动的机械能转化生成,是由螺杆电机提供的。螺杆的旋转运动同时还将塑料原料推向螺杆顶端。

环绕机筒安装有加热器,一般分成3个或更多的加热段,提供补充热量。这主要在注塑机启动时需要,另一方面,单独由螺杆的机械运动来加热塑化每次注射所需的全部塑料原料也是不够的。

1.2.3 注射装置

注射装置通过压力将塑料熔体注入模具。所需压力的大小主要取决于制品的壁厚。

厚壁制品所需压力相对较低(49.0~98.1MPa),以致仅在挤出机压力下就足以将塑料熔体充满(流动成型)模腔。薄壁制品特别当 L/t (见1.3.4.2节中定义)大于200时,需要相当高的注射压力(137.3~196.1MPa)才能在塑料熔体凝固之前使其充满模腔。

有两种注射方法:一级注射和二级注射,所使用的注塑机类型介绍如下。

1.2.3.1 RS型注塑机

目前,大部分注塑机的挤塑机构和注射机构被设计在一个装置中。当一次注射的塑料熔体备足时,挤出螺杆停止转动,然后螺杆被向前推移将聚集在螺杆顶端前部的塑料熔体射出。这一装置有几种叫法:轴向柱塞螺杆、往复式(RS)螺杆或一级注射装置。

制造业界一般以每小时加工塑化的塑料原料的数量来评价螺杆的加工能力，然而起决定作用的是止推轴承的尺寸大小和强度极限，挤出螺杆仅在模塑周期非注射阶段起塑化作用，因此，事实上有效的塑化能力比标称的（注塑机说明书所标明的）要低。对于大注射量，采用低速注射，其注射时间要占到模塑周期的大部分，以致螺杆能够回复并完成的塑化能力往往只是其标称塑化能力的60%~80%。

能够注入模具中的塑料的数量，在很大程度上还取决于螺杆顶部单向阀的效率（密封程度）。如果这只单向阀质量粗劣或已用损，那么在高压注射阶段就会有塑料通过单向阀产生泄漏现象。这将影响到进入模腔空间的塑料的数量，并因此造成欠注或由于保压（过度充模）要求，使模具的生产效率受到影响。泄漏现象还会对制品的质量（密度）、尺寸（由于收缩率的变化而引起的）和内在质量产生影响。

为了避免注射量变化所产生的影响，使用往复式注塑机时模塑人员通常选用比实际注射要求大的喷嘴尺寸，因此，推移运动不会十分朝前到尽头，以致在螺杆的顶部大约5~10mm形成一个熔体的储料池。

1.2.3.2 P型注塑机

预塑化式注塑机系统把挤出机构的作用和注射装置的作用分开。挤出机构塑化原材料并使其充满注射装置的料筒即料罐。这类注塑机被称为预塑化、二级或P型注塑机。

二级注塑系统的优点有以下几方面。

①螺杆能够连续运转，因此可用时间（额定时间）能100%地用于塑化原料。这样，对于相同的注射量，P型注塑机可以使用比RS型注塑机小的挤塑机构。

②由于连续运转，P型注塑机比RS型注塑机熔体混合得更好，温度更低，对于某些热敏材料来说这可能是非常需要的。

③螺杆顶部不存在单向阀，而且注塑料筒中的注射容积机械计量，使注射量的可重复性和精度比使用RS型注塑机要好。不需要储料池，准备注射的塑料的体积能根据模腔体积精确地计算。

④由于塑料熔体从挤塑机构向注射料筒中的移送是在很低的压力

下进行的，因而能较方便地在其路径上安置一有效的过滤器，以便除去塑料中的杂质。这也不会影响（降低）从料筒到模具的注射压力。而这样的过滤作用在RS型注塑机中是不行的，因为其压力太大会损坏过滤器。

二级注射系统的缺点有：

①由于需要更多的构件和控制装置，设备的造价较高。

②这一系统不适用于热敏性很强的材料，如聚氯乙烯（PVC）塑料。

1.2.4 控制装置

控制系统掌握着注塑机的操作过程。注塑机的控制系统可分为四个基本要素。

①控制组件安装在合模安全门附近，在这里操作者能够观察模具的状况，能够方便地操纵按钮实现所要求的作业。有些注塑机把调节机器状态的按钮和开关都设计在安全门附近的控制面板上。

②逻辑控制掌握着机器状态，处理来自位置传感器和时间继电器等等的信号，使注塑机按照要求运行。目前注塑机的逻辑运行几乎全部由电子开关操纵或采用微机控制。（注意：机械传动的开关和时间继电器使用寿命比电子的开关和时间继电器要短得多，可靠性和可重复性也差得多。然而，它们比较容易掌握和维修。电子开关需要更好的合格维护人员和更好的电子检测设备进行检测和维护。另一方面，电子元器件对温度的升高比较敏感，在一些炎热的地区就需要考虑工作环境的温度控制问题。）

③电力供应和电动机及加热器的分布。

④注塑机和模具的温度控制。

为使用方便通常注塑机还具有其他一些特性，然而对于注塑机工艺过程的了解，以上关于基本要素的阐述是充分的。

1.3 模塑时间和技术术语

空程周期 注塑机合模机构开合所需的全部时间，是模具开启过程时间和闭合过程时间的总和。目前快速注塑机的空程周期有1~3s。

第一篇 模具工程

第一部分 有关模具、注塑机、塑料原料及其制品的基础知识

第一章 模具工程入门

《模具工程》主要论述有关热塑性塑料注塑模具的工程问题。然而，这里所论及的大部分问题，对于其他各种塑料模具，如塑料吹塑模具以及对于某些热固性塑料的成型模具等都有应用价值。

第一篇 模具工程，所要达到的目的，不仅是对于初次接触模具的技术人员，而且对于有较丰富经验的模具设计师，使他们能用工程的观点去处理模具问题。

对于在塑料工业其他部门工作的人员，例如从事销售和售后服务的人员来说，在他们的工作中也需要了解有关塑料模具的知识，《模具工程》也是值得推荐的阅读资料。

第一篇 模具工程，包括三部分。

第一部分 关于模具、注塑机、塑料原料和塑料制品的基础知识。

第二部分 模具设计的一般指导原则。

第三部分 针对模具设计者的问题。

在模具设计方面还有不少好书，其中一部分列在本章结尾推荐的阅读资料。这些书的内容大部分是具有专门用途的塑料制品成型模具的设计实例。实际只是具有不同特点的许多完整的模具图纸的集合，没有这些特点应用原理的介绍。许多情况显示，模具技术距当今技术水

平的要求大约落后 20~30 年。这并不是说这些模具书没有价值，正相反，模具设计人员可能会从中找到许多解决模具设计难题的有意思的方法。但是这些模具设计案例所提供的不应仅仅是仿制，而应从中吸取反映当今技术水准的设计思想。

第一篇的内容与其说是模具设计知识的完整集合，倒不如说是把模具设计知识分解成了许多部分（单元），并以工程的观点分别加以论述，而且还对各种知识的应用场合给予分析说明。

1.1 什么是注塑模

注塑模是用装配形成的空腔（一个或多个），成型制品所需的形状，生产（常是大批量的）塑料零件或产品的一种装置。

模具的型腔是由称作模腔的阴模部件和称作模芯的阳模部件共同组成。模具安装在注塑机上，并按如下的时间顺序（通常是自动进行的）充填模腔：

- 合模；
- 注射（热的，近乎流动的）塑料进入模腔；
- 保持合模状态直到塑料冷却至能被顶出时为止；
- 开模；
- 顶出塑料制品；
- 如果需要，注塑机可以延长开模（MO）时间做好下一个（注射）周期的准备工作。

模塑周期（数秒钟）在全自动（FA）作业中被定义为一次注射的合模瞬间到下一次注射的合模瞬间之间的时间长短。但通常，人们以每分钟（或每小时）注射次数来表示生产的生产率，而不用几秒钟的模塑周期的长短来表示。

1.2 什么是注塑机

对于模具设计人员来说，一件重要的事情是要首先弄清楚注射模塑工艺的过程及其术语。一台注塑机由四个作用不同的基本单元组成。

- ① 合模机构；

- ② 塑化装置；
- ③ 注射装置；
- ④ 全部控制系统。

1.2.1 合模机构

合模机构在模塑周期中完成开模和合模动作（尽快地），并提供必要的合模力以保持塑料注射时模具的闭合状态。因为作用在模具型腔内部表面（投影面）上的注射压力有打开模具缝口的趋势。这里的缝口即模具分型面也称作分模线（ P/L ）。

1.2.2 塑化装置

目前采用的塑化装置几乎全部是螺杆菌挤出机式的塑化装置，该装置将塑料原料加热到注射所要求的熔融状态。所需的热量大部分由挤出螺杆菌在机筒中作旋转运动的机械能转化生成，是由螺杆菌电机提供的。螺杆菌的旋转运动同时还将塑料原料推向螺杆菌顶端。

环绕机筒安装有加热器，一般分成3个或更多的加热段，提供补充热量。这主要在注塑机启动时需要，另一方面，单独由螺杆菌的机械运动来加热塑化每次注射所需的全部塑料原料也是不够的。

1.2.3 注射装置

注射装置通过压力将塑料熔体注入模具。所需压力的大小主要取决于制品的壁厚。

厚壁制品所需压力相对较低（49.0~98.1MPa），以致仅在挤出机压力下就足以将塑料熔体充满（流动成型）模腔。薄壁制品特别当 L/t （见1.3.4.2节中定义）大于200时，需要相当高的注射压力（137.3~196.1MPa）才能在塑料熔体凝固之前使其充满模腔。

有两种注射方法：一级注射和二级注射，所使用的注塑机类型介绍如下。

1.2.3.1 RS型注塑机

目前，大部分注塑机的挤塑机构和注射机构被设计在一个装置中。当一次注射的塑料熔体备足时，挤出螺杆菌停止转动，然后螺杆菌被向前推移将聚集在螺杆菌顶端前部的塑料熔体射出。这一装置有几种叫法：轴向柱塞螺杆菌、往复式（RS）螺杆菌或一级注射装置。

制造业界一般以每小时加工塑化的塑料原料的数量来评价螺杆的加工能力，然而起决定作用的是止推轴承的尺寸大小和强度极限，挤出螺杆仅在模塑周期非注射阶段起塑化作用，因此，事实上有效的塑化能力比标称的（注塑机说明书所标明的）要低。对于大注射量，采用低速注射，其注射时间要占到模塑周期的大部分，以致螺杆能够回复并完成的塑化能力往往只是其标称塑化能力的60%~80%。

能够注入模具中的塑料的数量，在很大程度上还取决于螺杆顶部单向阀的效率（密封程度）。如果这只单向阀质量粗劣或已用损，那么在高压注射阶段就会有塑料通过单向阀产生泄漏现象。这将影响到进入模腔空间的塑料的数量，并因此造成欠注或由于保压（过度充模）要求，使模具的生产效率受到影响。泄漏现象还会对制品的质量（密度）、尺寸（由于收缩率的变化而引起的）和内在质量产生影响。

为了避免注射量变化所产生的影响，使用往复式注塑机时模塑人员通常选用比实际注射要求大的喷嘴尺寸，因此，推移运动不会十分朝前到尽头，以致在螺杆的顶部大约5~10mm形成一个熔体的储料池。

1.2.3.2 P型注塑机

预塑化式注塑机系统把挤出机构的作用和注射装置的作用分开。挤出机构塑化原材料并使其充满注射装置的料筒即料罐。这类注塑机被称为预塑化、二级或P型注塑机。

二级注塑系统的优点有以下几方面。

①螺杆能够连续运转，因此可用时间（额定时间）能100%地用于塑化原料。这样，对于相同的注射量，P型注塑机可以使用比RS型注塑机小的挤塑机构。

②由于连续运转，P型注塑机比RS型注塑机熔体混合得更好，温度更低，对于某些热敏材料来说这可能是非常需要的。

③螺杆顶部不存在单向阀，而且注塑料筒中的注射容积机械计量，使注射量的可重复性和精度比使用RS型注塑机要好。不需要储料池，准备注射的塑料的体积能根据模腔体积精确地计算。

④由于塑料熔体从挤塑机构向注射料筒中的移送是在很低的压力

下进行的，因而能较方便地在其路径上安置一有效的过滤器，以便除去塑料中的杂质。这也不会影响（降低）从料筒到模具的注射压力。而这样的过滤作用在RS型注塑机中是不行的，因为其压力太大会损坏过滤器。

二级注射系统的缺点有：

①由于需要更多的构件和控制装置，设备的造价较高。

②这一系统不适用于热敏性很强的材料，如聚氯乙烯（PVC）塑料。

1.2.4 控制装置

控制系统掌握着注塑机的操作过程。注塑机的控制系统可分为四个基本要素。

①控制组件安装在合模安全门附近，在这里操作者能够观察模具的状况，能够方便地操纵按钮实现所要求的作业。有些注塑机把调节机器状态的按钮和开关都设计在安全门附近的控制面板上。

②逻辑控制掌握着机器状态，处理来自位置传感器和时间继电器等等的信号，使注塑机按照要求运行。目前注塑机的逻辑运行几乎全部由电子开关操纵或采用微机控制。（注意：机械传动的开关和时间继电器使用寿命比电子的开关和时间继电器要短得多，可靠性和可重复性也差得多。然而，它们比较容易掌握和维修。电子开关需要更好的合格维护人员和更好的电子检测设备进行检测和维护。另一方面，电子元器件对温度的升高比较敏感，在一些炎热的地区就需要考虑工作环境的温度控制问题。）

③电力供应和电动机及加热器的分布。

④注塑机和模具的温度控制。

为使用方便通常注塑机还具有其他一些特性，然而对于注塑机工艺过程的了解，以上关于基本要素的阐述是充分的。

1.3 模塑时间和技术术语

空程周期 注塑机合模机构开合所需的全部时间，是模具开启过程时间和闭合过程时间的总和。目前快速注塑机的空程周期有1~3s。

使用快速成型模具空程周期短具有特别重要的意义。空程周期的长短取决于合模行程的长度。

开启过程时间 一般相当快。塑料制品的顶出最好就在该时间内发生，这样可以减少（或完全避免）占用模具全打开状态的时间。有时，模具开启的速度会要求减慢，以适应不同的顶出方法。

闭合过程时间 也相当快，但模板完全夹紧前的最后接触不同，这里要让模具的防护系统在模具发生严重损伤之前及时地发挥作用。

模具防护系统 该系统在模具闭合的最后时刻能检测出在两个半模之间存在的可能损伤模具的外部物质（如杂物、塑料碎片、未被顶出的制品等等）。在损伤模具之前，防护系统即发出信号停止模具闭合过程并产生声响报警。通常还会自动重新开启模具以便清除外部物质。

模具的防护系统有许多类型，如电子的、光学的和压力触发的。它们比一般的系统更加灵敏，但也未必就能够避免每一副模具被损伤。

模具打开状态 (MO) 时间 这是无意义的时间，应该尽可能短，能够做到时间为零。

模具闭合状态 (MC) 时间 这是从模具完全闭合时刻到再次开启时刻之间的时间，是下列三段时间的总和。

a. **注射时间** 塑料充满模腔所需的时间（一般采用高压注射）。

b. **保压时间** 使模腔中的塑料保持在低于注射压力的一个压力下，以便在模腔内的塑料件出现收缩时补充塑料，这一过程所需要的时间。

c. **冷却时间** 从注射（或保压）压力消除到模具开始开启的时间间隔。（这个术语实际上是一个错误叫法，因为冷却现象始终存在，塑料一进入模具就开始了散热。）

d. **顶出时间** 将塑料制品顶出模具表面，以便腾空模腔使模具能重新闭合所需要的时间。最好让这一过程发生在模具开启过程时间内，这样就不需要增加 MO（模具打开状态）时间。在有些模具中，在开模过程中顶出是不可能或不实际的，顶出过程常部分地或全部发生在 MO（模具打开状态）时间。

以上所定义的术语可用一描述模塑周期全过程的曲线图来表示。

图 1-1 是一条非常简单的曲线图，而模具的全部运作过程都应该能够在这条曲线中描述。这条曲线具有实用价值，它反映出模具内部哪一段时间存在几种作业或是有一段时间腾空；哪一段时间需要辅助机构，如制品移出系统（机械手、滑槽、导轨等等）。关于这类曲线的进一步讨论，见第七章。

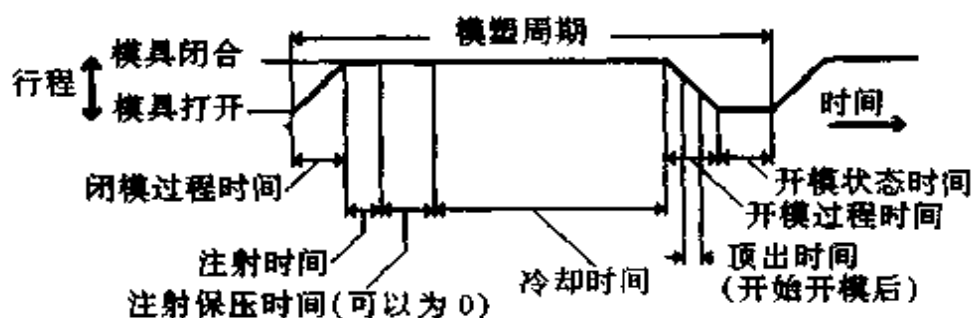


图 1-1 全模塑周期时序图

下面是图 1-1 图解各段时间的详细说明，以便更好地了解模具作业过程和影响各段时间的各种因素。

1.3.1 模具闭合过程和开启过程时间（空程周期）

模具作业的某些时间是和设备相关的，有些设备运作的较快，而设备的运作速度还可以通过设备的调整加以改变。了解模具闭合过程和开启过程花费的时间或多或少是“浪费”这一点是很重要的。这是因为，这段时间越长，则生产效率就越低。然而，值得注意的是，在模具开启行程中，能够实现塑料制品的顶出作业。行程越短，则模具闭合过程和开启过程所要求的时间就越短。

在图 1-1 中，整个顶出作业在模具开启过程发生，这就不需要加上 MO 时间。然而，如果顶出作业时间变长，在模具达到全打开状态时还不能完成顶出作业，那么就要有一段 MO 时间。

在某些情况下，顶出作业免不了要一直推迟到模具完全打开，例如，当采用机械手或其他机构取出制品时，机械手或其他机构的作业与合模作业不是机械联动（同步）的。但在一般情况下应将模具的顶出作业设计在开启行程中完成，而不需要 MO 时间。

消除 MO 时间对于薄壁制品的生产和其他各种模塑周期很短的

制品生产是有特别重要意义的。

例：生产一塑料容器制品，模具全部闭合的时间（注射时间+冷却时间）为4s，空程时间为2s，整个模塑周期则为6s，或者是 $3600\text{s/h} \div 6\text{s/次} = 600\text{次/h}$ 。增加空程时间到3s，则模塑周期为7s，或者是 $3600\text{s/h} \div 7\text{s/次} = 514\text{次/h}$ ，这对总产量是很明显的损失。

机器能实现的快速运行周期是有极限的。较大的注塑机由于运作的质量大，一般比小注塑机慢。通常高性能的注塑机其空程时间较短。

在某些情况下，由于机械方面的原因开模作业开始后必须减速。例如，这可能是大模具开模力的要求，或者是考虑必须让模具中的真空消除而不损伤塑料制品。

1.3.2 顶出时间和开模行程

顶出时间一般是与模具结构有关的。例如，在自由下落的顶出作业中，模具必须充分打开（开模行程长）让整个制品脱离模塑面。（较长的开模行程需要较多的开模和闭模时间，这样就增加了空程时间。）

竖立放置的模具比类似水平放置的模具，其制品落下所需的时间多，顶出的时间也较长。

有关这方面更多的情况，可看第六章。

1.3.3 模具打开状态时间

模具打开状态（MO）的时间总是和模具结构设计相关的，免除MO时间的可能性，取决于在开模过程结束前完成顶出作业的努力。

1.3.4 注射时间

注射时间取决于三方面的因素：注塑机、模具结构和塑料原料。

1.3.4.1 注射时间和注塑机

快速注塑机能够在较短的注塑时间内完成所需的塑料注射，以单位时间（s）注射PS（聚苯乙烯）的体积（ cm^3 ）来评价各种注塑机的优劣。这往往取决于液压泵和电动机的大小，以及在液压泵不能及时满足注射缸对高压油的需要时，由蓄压罐补充所储备的高压油的有效性。

1.3.4.2 注射时间和模具结构

快速注射（注射时间短）依赖于以下几个方面。

①从注塑机喷嘴到包括模腔浇口在内的整个流道系统的压力降。压力降小，则注射速度快，但还存在多种限制。大流道会减小压力降，但这对流道来说将要花费长时间冷却；对于热流道，流道中的存料会太多，影响塑料熔体的质量。冷流道中的大浇口是不美观的，需要在顶出后割除。在热流道中，阀式浇口能够提供大的通道。

②模腔数 模腔数越多，则模具所需要的流道越长。而当冷流道模具的流道长度增加时，每一个模塑周期都需增加塑料用量。在热流道中，一旦流道充满后就不再需要更多的塑料，但是流道的压力降会由于流道长度的增加而增大。

③制品形状 关于制品的形状，模具设计者能做的事情是很少的，但有一点必须明白，模具从浇口到边缘的长度和制品的壁厚会对充模速度产生很大的影响。长度短、壁厚厚所产生的充模阻力小，但是，长路径和薄的壁厚会严重地阻碍充模，需要相当高的注射压力将塑料从浇口压到制品的边缘部位。另外，当热的塑料熔体一进入冷模具，便立即开始凝固，这又进一步抑制了模腔和模芯之间的通道。

④ L/t 比率（表示 L 对 t 的比率） 对于薄壁制品，在流经长度（ L ）和厚度（ t ）的比率大于 200 的情况下，必须予以特别注意。高注射压力要求模腔壁强度更高，也需要更大的合模力来抵抗注射压力对模具分型面的作用。

1.3.4.3 塑料原料

有些塑料不能采用很高的速度注射，以避免降解或灼伤现象发生。在开始模具设计之前这一情况必须弄清楚，可通过查阅类似原料的模塑记录或从原料供应商那儿获得新材料的有关情况。

1.3.5 注射保压时间

注射保压时间应根据制品结构的需要确定。设计人员对浇口形式的选择必须适合于有效的注射保压要求。

厚壁制品注射后的收缩是相当大的。塑料熔体一接触模腔和模芯冷表面便凝固，形成看不见的收缩痕，而这时在冷却层之间的塑料熔

体仍然是热的，要继续收缩。这种现象在制品较厚的部位以及有筋和凸起的表面特别明显。

设计注射保压时间的目的是对浇口的塑料熔体保持压力，使得当模腔内的塑料制品产生收缩时，塑料熔体能继续充满模腔。这需要相对大一些的开式浇口，凝固不会太快。对于冷流道模具，所用边缘浇口和点浇口要比通常的大些；对于热流道模具则必须采用大的开式浇口或阀式浇口。

薄壁制品通常采用很小的浇口，它们注射作业一完成就会全部凝固，因此，保持注射压力一段时间是没有意义的。

1.3.6 冷却时间

冷却时间取决于多方面的因素，有些是模具设计人员无法控制的外部影响，例如模塑车间的冷却水供应情况；另一些则是模具设计的直接结果。

1.3.6.1 冷却水供应

以下这些情况是模具设计人员所关心的。

①水温 正常在 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，但某些塑料需要较高的冷却水温度，达到 60°C 。在注-吹工艺所用的模具中，模芯需用 $100\sim 150^{\circ}\text{C}$ 的热油冷却。

②水流和水压 仅仅有冷却水是没有意义的，必须能保持充分的水流和水压，适于在模具中形成良好的流通状态。

③清洁的过滤的水 不会堵塞或腐蚀冷却管道。

④与模具的连接 必须有足够的空间，布置、安装方便，不能发生扭结影响冷却水的流动。

⑤用紧固螺丝安装的附件和软管 不能妨碍冷却水的流动。

1.3.6.2 冷却布置

模具中冷却布置的合理设计是模具设计人员主要的目标之一。参见第十三章。

推 荐 读 物

1. Menges, G., Mobren, P. (1983). *How to Make Injection Molds*, 2nd ed. Hanser

Publishers, Munich (English translation) .

2. Rubin, I. I. (1972) . *Injection Molding: Theory and Practice*. John Wiley & Sons, New York Toronto.

3. Gastrow, H. (1992) . *Injection Molds—108 proven Designs*. Hanser Publishers, Munich Vienna New York.

4. Stoekert, K. (1983) . *Moldmaking Handbook for the Plastic Engineer*. Hanser Publishers, Munich New York.

第二章 模具的基本功能

2.1 成型制品

塑料制品的形状是由模具中与塑料接触的所有模块迭合在一起形成的。详细的讨论见第六章，将给出设计模块的步骤建议，程序 1 到 12。对模具设计人员来说，模块设计可能是困难的工作之一，但实际上，大部分模具的模块设计并不困难。

圆形、正方形或矩形制品（例如容器和盖子），一般要求相当简单的模芯和模腔，都能用钢材机加工获得，很少采用镶件结构。尤其是当机械加工中的一些最新的方法，如计算机数字控制（CNC）和电火花加工（EDM）被采用后，模具镶件结构的采用就更可以避免了。也有较复杂的，如有些制品要求移动模腔，以便从模腔深的倒陷中脱开，有些制品需要二次顶出或（和）侧型芯。但是，一般说来这些模具还是相当容易设计的。通常较大的问题是如何布置冷却水流道，以便获得最佳的生产效率。

对于一些带有狭缝、小孔和免不了的外尖角（在制品上）的工艺复杂的塑料制品，通常需要在模芯或模腔的基础上增加部分镶件结构。一部分是为了加工方便，一部分是以防万一模芯或模腔上小突起（销杆等）损坏，能方便修理。然而，在模具制造的老方法中，大部分模腔和模芯采用了许多淬硬和磨光的镶件，与金属冲模中采用的技术相似，现在已很少采用了。这样的结构的缺点是，往往不利于冷却系统的布置，而且大部分模具零件都因互换要求，精度很高。（有要求特别地设置镶件的地方，这里由于模具定位需要明显识别，这样设置的镶件是不需要互换的。）现在，采用 EDM，包括线切割电火花加工（WIRE-EDM），能在模芯或模腔上直接加工出许多以前需要镶件的腔型和缝隙，这大大地简化了模具的加工制造过程。

模具设计人员必须明白，塑料制品的设计者不一定熟悉模具制造和模塑过程的复杂情况。制品设计方面的某些简单要求可能会造成模具制造和模塑中的困难，经常地，制品结构上的微小改变，会大大地简化模具或改善模塑状况。

能指出简化模具设计的可能性才算是合格的模具设计师。基于其在模塑类似产品方面的经历，能经常就一些现象提出改进的建议，如模塑周期意想不到的长；制品顶出有困难；由于不良的冷却和不均匀的收缩，制品顶出后会发翘曲或其他一些问题。经验较丰富的模具设计师更能有经济价值地评价设计方案，并帮助塑料制品设计人员获得适于模塑的产品。对于模具设计人员来说，熟悉塑料制品的类型，了解模具设计的最终目的是非常有利的。

2.1.1 制品形状

塑料制品的形状一般为以下三种情况之一或是它们的结合：

- ①普通实用形状；
- ②艺术形状；
- ③工程（功能）形状。

2.1.1.1 普通实用形状

普通实用形状包括普通容器、家用器具、玩具和任何实用物品等，它们自身的形状不是太大，只要求能单独或组合在一起实现所期望的功能。简化模具设计所要求的结构改动一般容易获得通过。

典型的结构改动可能在脱模斜角、筋的位置和（或）大小、厚壁、浇口位置、为实现充分冷却而设置的凹穴的形状和大小，以及必须的倒陷的大小等方面。制品侧面的孔和开口的形状可能要规定清楚，是要求侧型芯，还是仅要求表面隔断。一般情况下后者制造费用相当低。

有些倒陷可能不是制品功能所要求的，但可将制品保留在要求的半模上，以方便顶出作业。如果这些倒陷影响外观或制品的功能，则需要获得制品设计人员的同意。

模具设计师也必须指出，什么位置的塑料收缩可能使制品发生畸变，必须采取特殊的预防措施。举例来说，一只聚乙烯（PE）扣接式盖子，用适当的模具来实现完全平整的顶部平面，比成型同心纹或波

浪面更困难。容器底部形状也是一样，获得平整的表面总是困难的。

另一个重要的方面是制品精整的费用问题。例如，表面纹饰处理可采用廉价的喷砂处理，也能够产生同样的效果。而精整作业（抛光、表面纹饰处理）通常用手工，或者必须转包给该领域的专家来完成，因此费用很高。

在制品上常要进行形成凹陷的雕刻加工，在模具制造中是花费很大的。对于在制品上加工凸起的文字和印纹，那就非常容易了，只要在模具钢上进行简单的雕刻。

2.1.1.2 艺术形状

对于艺术形状的制品，关于制品的结构改动（改善模具设计所需要的）大体上与实用形状相同。但是，获得赞同常会很困难，因为这些艺术形状可能是吸引顾客所要求的。如果不能对简化模具制造的要求让步，那么模具的费用必然会更高，或模具的制造周期必然会比预期的长。

能够用部分圆、椭圆和直线的集合对制品形状作几何描述是人们所期望的。目前，将型腔“徒手”加工的工艺转换到用CNC机床加工还是非常困难的，“徒手”工艺的转换往往需要用到高价的模型，用到仿形机床。

需注意，许多实用的制品是实用形状和艺术形状的集合。

2.1.1.3 工程（功能）形状

对于工程形状制品，制品的功能是关键的要求。制品设计者会要求尺寸精度；如果制品用于能看见的地方，表面精整加工可能也是重要的。例如，像外壳（计算机硬件、箱盒等）或结构件（汽车），必须有艺术价值并吸引顾客。

模具设计人员要注意这样一些特性，例如浇口的位置，壁厚的均匀性，以及任何筋、箍和装配其他部件用的凸起。通常，移动筋的位置或减小其尺寸，或减小箍的尺寸，都会减小或消除在塑料制品外表面产生不利的凹痕的危险。如这些变动不可能，那么可选择的办法是采用较大的浇口（或阀式浇口），提供有效的保证，但这几乎肯定会延长模塑周期。

工程用塑料制品内表面（在正常情况下是不会被用户看见的）修整，仅需要能保证方便地脱离模芯，不需要花费太多的时间进行抛光。

2.2 塑料从注塑机到模腔的输送

以下的讨论适合于整个流道系统，从最简单的到最复杂的，将解释冷流道和热流道系统，并分别举例说明。有关详细的设计知识，可查阅第十章。

2.2.1 冷流道

冷流道系统的共同特征有以下几方面。

①费用 冷流道系统的成本比起同样模腔的热流道是相当低的。它不需要控制器、加热器和传感器，部件很少。

②注射量 注射进入模具的原材料比塑料制品自身所需要的多，这实际上降低了注塑机的注塑能力。如果注塑机构或注射装置能力所及的注射量是有限的，那么这多出的注射量就可能是关键性的了。

③粉碎料 一般流道中的塑料材料能被粉碎后重新使用，但是它们的某些物理性能会比原来纯净的材料下降。在这样的情况下，粉碎料混入纯净原材料中使用的数量应该有一个比例极限，以保证塑料制品质量要求。总有一定比例的粉碎料要损失掉，这就增加了制品的材料成本。对于某些塑料制品，粉碎料是绝对不允许使用的。

④工作量 需要附加的工作量是流道凝料的清除、粉碎、比例回收、与纯净料混合，这些工作量直接增加了每件塑料制品的成本，或可能表现为企业管理一般费用的增加。而且，这附加的工作量和（或）分捡设备对分离塑料制品和流道可能是必不可少的。

⑤动力 模塑流道所需要的大量余料也必须先塑化后冷却，这就消耗了能量，增加了每件制品的成本。值得注意的是，在某些冷流道模具中，一个小产品，其流道所占材料的数量可能大到整个注射量的80%。

冷流道系统的典型例子有以下几种。

①注道浇口 注道的塑料直接进入单一的模腔。模塑结束后需要手工或机械切除浇口材料。这是过去模塑中等偏大尺寸塑料制品的

老方法。

②用于多腔模塑中等偏小尺寸塑料制品的冷流道 注道的塑料通过流道输送到浇口，由于流道占据大量的塑料，因此要求尽可能地短，其横截面要小。

流道太粗常造成其冷却时间比制品本身还要长，因此延长了模塑周期。流道太薄可能会造成塑料在到达浇口之前压力降太大。流道两侧的模板材料必须冷却良好，以利于缩短循环周期。

③二板模具 流道在模具分型面上，并和制品一起被顶出。这一类模具较简单，采用这类模具，模具成本是首要考虑因素。通常采用的生产设备也是廉价的。需要注意的是，制品必须适合边缘浇口注射。

边缘浇口，扇形浇口或盘形浇口在制品顶出后需要折断切除，少量地或许要用机械（铣床）将制品与流道分开（需要人力，或许还需要夹具或其他设备）。

隧道形或潜伏式浇口是自断浇口，在这种情况下，当模具打开时流道凝料被从制品上分开，但是与制品一起脱离模具。

④三板模具 流道与模具分型面在不同的平面上，当模具打开时，流道凝料能和制品一起被顶出并与模具分离。制品注塑一般采用外部中心浇口（OSCG），可以在制品的任何部位设置浇口，除了边缘和侧壁。要注意，制品必须是适宜于中心浇口注射的。

三板模具自身就是自断浇口。制品和流道自模具的不同平面落下，能够很容易地分开送出。也可以采用内压式或旁压式小型粉碎机将流道粉碎后，自动送回注塑机的料斗。这一过程需要较多的设备，但免去了流道清除工作，并且减少了塑料被污染的危险。由于增加了钢板和分离、顶出流道的机构，因此，如制品相同，模腔数也相同，制造三板模具的费用比二板模具多得多。

内部中心浇口（ISCG）的三板模具曾经用于要求表面不留任何浇口痕迹的杯形塑料制品，如化妆用品（护面粉盒子等），“想象”物（艺术化设计的螺旋帽香水瓶等）。ISCG 模具可能也要在其制品的顶部表面进行印刷或加一个特制的标签，因为任何一点浇口痕迹都是难看的或者会刺穿标签。

一般来说，ISCG 模具产量较低，因为模芯靠近浇口冷却困难，而且顶出机构常常必须和注射装置设计在一边。考虑以上情况，模具和制品设计人员应在一起讨论，是否需要内部中心浇口注塑制品？其生产效率较低和模具成本较高是否值得？这是很重要的。

三板模具的浇口一般非常小（针尖大小），如果设计恰当，几乎肉眼看不见，能轻易地隐藏在制品表面装饰或标记的里面。

2.2.2 热流道

热流道系统的共同特征如下。

①成本 一般热流道模具的成本比制品相似模腔数相同的二板冷流道模具高得多。但与一个模腔数少的三板模具相比，成本高得不多。

②注射量 所注射的全部塑料都形成了制品，因此，注射装置能更充分地发挥能力。

③粉碎料 没有流道凝料粉碎问题，这样就节约了原材料、人力或企业管理一般费用。

④动力 由于没有模具和流道凝料冷却的动力消耗，动力需求也较少。仅仅开机时需要较多的动力加热料流分配管道内的塑料。在一个设计周到、效率高的热流道系统中，一旦模具开始模塑循环，需输入热流道管道和喷嘴加热器中的动力就是微不足道的了。

⑤工作量 模具不需要清除流道凝料和制品浇口方面的工作量。

⑥对杂物敏感 在二板或三板模具中，一个大到能堵塞浇口的杂物会留在“模塑”的流道凝料中，并与流道凝料一起被顶出，这样在下一个周期中就会有一个清洁的浇口以保证连续生产。然而，采用热流道模具和开式浇口，被浇口挡住的杂物将会留在那儿，并阻碍塑料继续注射，影响模腔中塑料制品的生成。在杂物被清除之前一直如此。清除杂物需停机。因此，使用热流道模具，加强企业内部管理，选用清洁的塑料原料特别重要。请注意，阀式浇口模具对小杂物的敏感性较小。

⑦启动 冷态开机要有一段适应的启动时间，大约 15~25min。

⑧变色 改变塑料颜色应该是尽可能方便快捷，一般从深色到浅色的转换时间为 10~15 次注射。

热流道模具典型的例子如下。

①热注道 在热流道模具中与直接注射单一模腔的冷流道模具直浇口等效。

②多腔热流道模具 按照目前的技术水平，热流道模具的模腔数可从 2 个到 96 个。

③绝热流道模具 这是热流道模具技术的不同类型。对于单腔模具，采用“直接注射”法，类似于热注道；对于多腔模具，最多可采用 12~16 腔。

这一方法适用于普通塑料 (PE、PP 和 PS)，缺点是启动过程困难 (还涉及了一些安全问题)。优点是结构极简单、成本低、效率高，但要求系统能保持连续运作，长时间没有干扰。模塑 PE 材料可不用加热器，但模塑 PP 和 PS 等材料可能需要从内部加热分流梭，防止浇口凝固。注意，模塑循环越快，系统运作越好。对于 PE 和 PP 可能的最长循环周期大约是 25s，对于 PS 大约是 10s。

值得注意的是某些工厂用的热流道系统是从绝热流道模具派生出来的，不仅在浇口附近而且在流道区域都布置了加热器。这样派生出来的系统的缺点是开机过程较长，改变塑料颜色所需的时间长，还会产生许多“死角”，塑料在这些地方要发生停滞和降解，造成塑料制品的污染和损坏。

2.3 充模时空气从模腔的排出

关于从模腔中排出空气的详细讨论见第十一章。

2.3.1 单浇口

在制造精良的模具中，分型面配合紧密，封死了模腔空间的空气。当塑料被注射进入这一空间时，空气不会逸出，而将被压缩在模腔中的槽穴内或分型面附近的空间。当空气被压缩时，将迅速加热使温度超过塑料本身容许的界限，造成以下后果。

- 与热空气接触的塑料将会烧焦或灼伤，塑料制品将被毁坏。
- 塑料不能完全充满模腔的空间，造成气穴，塑料制品报废。

分型面十分完美的配合是少有的，也会有一些自然的排气地方，例

如模芯上顶杆和顶套的间隙。而且压缩空气的作用在低速注射时也不是那样明显。然而，对于快速注射排气是必需的，因此在模腔边缘尤其在各个深筋和凹槽处，必须设计排气道以保证空气能很容易地从模腔空间逸出。

2.3.2 不均匀壁厚

塑料在较厚截面的流动较快，在模腔中通过有筋的截面就比窄截面快，这将会造成塑料向浇口折回，因此会把空气封闭在制品壁内。发生这种情形的位置通常是可以预测的。应在这些地方设置一些小孔、顶杆或排气槽进行排气。

2.3.3 多浇口

从两个或多个浇口向一个模腔注射时，塑料将从两处或多处进入模腔，塑料熔流的位置将互相集中向一处，封闭住空气。结果会在塑料制品上出现灼伤点，或者在塑料制品中产生气穴。在这些位置设置排气孔，可让空气逸出，保证塑料制品的质量。

2.4 塑料的冷却

模具是一个热交换器——塑料在注塑机构中获得的，使其变软而适合注射的大部分能量（热量），在模具打开顶出塑料制品之前必须散去，塑料制品必须变硬以适应顶出要求。

塑料在室温 T_R 下进入料斗，之后在挤塑机构中被加热到模塑温度 T_0 ，并在模具中冷却到顶出温度 T_E 。 T_E 一般应该高于 T_R 。例如，在多数情况下， T_R 大约为 $20\sim 25^\circ\text{C}$ ，而 T_E 可能在 $50\sim 80^\circ\text{C}$ 之间，正好保证塑料制品在顶出过程中及在顶出之后不会被损坏的温度，这当然取决于模塑料的类型。

通常，顶出温度尽可能高，可节约模塑循环时间。然而，当顶出很热的塑料制品时会产生一些问题。

①将更多的热量耗散在模塑车间中，这在冬季还是可取的，在夏季尽可能把大量的热量送到外边应更好。应将热量送到外边冷却塔中，谁也不愿在已经很热的车间里增加更多的热量。

②由于收缩效应，塑料制品在顶出时越热，其完全冷却后将越小。

某些制品所用的材料收缩率大(例如 PE 和 PP), 顶出温度对制品最后尺寸就有很大的影响。

一副好模具的关键是其模块和模板中冷却设置的质量和效率, 实际上就是其每秒钟能够导出的热量的多少, 并且不能制造得太复杂, 费用太高。冷却设置越有效, 热的导出越快, 模塑周期越短。

设计人员常遇到的一个最大的难题是: 选择合适的模具材料和布置冷却水道, 使塑料在模腔中能迅速、均匀地冷却。对于塑料在小范围的积聚通常很难进行冷却, 因此花费也大, 为此加强设计和增加制造费用可能是很值得的, 因为从冷却时间节约下来的每一秒钟, 都使生产效率成比例增加。

我们最感兴趣的是实际温差 ΔT , 一是输入塑料和顶出制品之间的, 二是塑料和冷却水之间的, 模具材料的热传导率也很重要。

冷却效率能被理解为进入 (IN) 和离开 (OUT) 模具冷却水的温差。如果冷却水温度不上升, 这就是通过模具的冷却水流太大(水流管道尺寸过大或过分的层流状态), 没有带走热量。这是效率低的信号。较小的管道将提供更多的紊流, 更好、更快地冷却, 所需水泵的动力也较小。温度能上升大约 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ 就足够了。

冷却水的实际温度并不太重要, 然而, 通过模具的冷却水的流量(体积流量)却是非常重要的。如果水流分布合理并有适当的紊流, 就能够获得良好的冷却效果, 甚至在冷却水温度较高的情况下。在大部分工厂中, 所提供的冷却水温度大约 $4\sim 10^{\circ}\text{C}$, 压力大约 $294\sim 490\text{kPa}$ 。

供应模具冷却液的主管道, 要有足够的输送能力, 并要考虑到使用软管和安装错误等情况的发生, 这一点非常重要。

第十三章提供了更详细的有关冷却布置的内容, 且包括在多种条件下模具所需的冷却水数量的计算方法。

2.5 塑料制品的顶出

顶出方面的关键是可靠性。在自动模塑作业中应该不再存在制品顶不出的情况, 每次注射都要成功。模具应该 100% 的时间内都正常工

作。举例来说，即使制品顶出的失败仅万分之一，对于一个有 16 腔，循环周期为 10s 的模具来说，总计停工的可能为每 1.74h 一次。这当然是不能允许的。这里的简单计算如下：

例： $3600\text{s/h} \div 10\text{s/次} = 360 \text{ 次/h}$

16 腔： $360 \text{ 次/h} \times 16 \text{ 件/次} = 5760 \text{ 件/h}$

万分之一失败率： $10000 \text{ 件} \div 5760 \text{ 件/h} = 1.74\text{h}$

在决定顶出方法时，基本的考虑是承认墨菲 (Murphy) 定律：“如果可能发生，就会发生”。100%可靠的顶出系统未必需要一个复杂的系统，但是设计人员必须设想出现顶出失败的所有可能性。

错误的顶出作业会产生灾难性的事故，例如，损坏注塑机或模具的机械部件。关于机械故障，可做的事是很少的，除非另选一台与该类模具相适应的注塑机。同样，关于模具所需的压缩空气或电力供应所造成的全面故障，也很少可做什么修补。

然而，设计人员在设计的可靠性和足够的零件强度方面还是有大量的工作可做的。典型的、设计不足的（太小）顶杆造成频繁的损坏，可采用较大的顶杆；给顶杆和脱模板适当的导向，可以消除顶出事故的频繁发生，因为位置不正易造成顶杆弯曲和顶杆孔的磨损。

在模具中，合理地设计气流环路，没有堵塞和泄漏现象发生，能够避免一些在压缩空气和真空系统中可预见的问题发生。同时，选择适当的硬件（控制器等）对实现可重复的精确操作也是很重要的。

弹簧若使用不当或质量差，也是造成模具故障的通病。

当顶出采用压缩空气直接作用于塑料制品时，气路的布置和气道尺寸大小就显得重要了。这里要同时满足所有顶出点的压力需要，否则会发生部分型腔的制品被顶出后压缩空气跑掉的现象。如果采用多个气缸作用的机械顶出系统，则气流必须均匀分布，让执行机构同时动作，不能有漏气现象，否则会造成顶杆托板停顿或动作迟缓，发生顶出故障。另外，制品还会因只部分被顶出而挂在模具上，造成一些常见的麻烦。可能的原因如下。

- 气体顶出方法不当（设计不良或装配马虎）。
- 机械顶出机构的行程不足（设计错误）。

●模具行程不足（装配不当）。

●为制品顶出设计的开模滞留（模芯或模腔）的边际条件考虑不当。有一些倒陷，模具的检验常常都是正确的，但是没有考虑实际情况。这一专题的更深入的讨论，参阅第十二章。

2.6 生产的经济性和适当的要求

2.6.1 模具类型和模腔数目

设计人员应该充分了解模具的实际要求。在开始设计之前确定模具生产的规模是非常重要的。

模具设计师通常首先要考虑和决定模具的类型和模腔数目。不管怎样，搞清楚决定模具的结构和大小的依据是很有益处的。

①生产新产品之前的试验 形状必须正确，但模具生产的许多特点可以不要求。例如，高精整要求可以省去，孔可钻削加工不用模塑，雕刻也可以省去，避免用侧型芯而采用加工塑件的方法替代。同样，模具冷却系统也可以不要，一些顶出机构或者完全省去，或者可以简化。这样的模具将不考虑模具生产的高效率，但将是廉价的，即使加工的制品比完全模塑出的更贵一些。

例：一副模具为实验目的仅仅（一般仅为单腔）生产少量（一个到几百个）样品。（注意，这里时间和成本因素很重要；这样的模具常常要求成本尽可能的低。）

②新材料性能的研究或不规则形状收缩率的测定 不准备用该模具大量生产，但制品的形状必须正确，冷却和顶出系统与生产用模具的考虑相同。不管怎样，模具构造方面的节省能够用选择低成本的模具材料和省去一些费用高又不会影响试验结果的特殊工艺来实现。能省去的工艺有：抛光、侧型芯、特别精整、雕刻等，这些工艺对于试验结果是不重要的。采用低碳钢、铝和黄铜等一类材料制造模具。这样的模具总产量小，但普遍比采用专门的模具材料节省机加工时间（除非用模具钢省去热处理和热处理后的磨削工艺）。建立冷却系统也是重要的。要获得良好的试验结果，在选择模具材料时还必须考虑材料的热传导率。

③工程目的的实验模具 这类模具是为实验样品而进行非常有限的生产，但制作必须非常准确，从模具材料的热处理到适当的冷却系统和顶出系统，以便生产出精密的实验样品建立标准。

例：一副模具只进行有限的生产，大约生产几百至一千件塑料制品。

这可能是新产品的初期生产，例如，在产品大批量投产前，试验顾客的认可情况，很可能在初期生产之后要对制品作些改进，也可能放弃这种产品。

这类模具必须生产出正确的制品形状，但简化还是可行的。如果省去某些模具性能所节约的模具成本，比在模塑后加上这些性能所需的劳力成本大得多，就可以简化。这里也要考虑进行这些模塑后作业的专用设备的成本。典型的例子有：应用钻削或铣削加工侧孔或侧槽来替代侧型芯的模塑；尽量使用直浇口或边浇口的简单二板模具，不用三板模具或热流道模具。然而，在某些情况下，不同的流道可能给制品外观造成严重的差异，这样使用廉价的流道系统和浇口可能会产生一些问题。

对于有限的生产，单腔模具一般足够了。然而，2~4个模腔采用低成本的模具应更有利。因为这样能更充分地利用注塑机能力并与生产用模具性能更接近。

④准备大量生产用模具 对于总体寿命为注塑100万次的模具来说，其可以在五年内每年计划注塑20万次，或者可以根据模塑人员的需要在第一年内就注塑100万次，然后报废。这里必须保证模腔形状精度和模具的生产效率与最初情况一样。

模塑人员关心以下情况：①塑料制品的交货期；②每件制品的生产成本尽可能最低；③对模具方面的投入保持在低水平。这些情况将影响到对模腔数的选择。

例：制品在今后几年中每年需要400万件，该制品的模塑周期为10s

单腔生产： $3600\text{s/h} \div 10\text{s/件} = 360\text{件/h}$

生产400万件： $4000000\text{件} \div 360\text{件/h} = 11111\text{h}$

为方便起见，假定一年为 5400 工作时，即 $24\text{h/d} \times 5\text{d/周} \times 50\text{周/a} = 6000\text{h}$

假定注塑机的工作时间的效率为 90%，即 5400h/a 。这样每年生产出全部 400 万件最少需要两腔（实际需要 5555h，比 5400h 稍多一点）。然而，这没有考虑偶然事故和停工等的可能性。实际上，为适应该生产量的要求，并保持最低模具成本的模腔设置，最少需三腔，四腔可能更好。

2.6.1.1 机时

对于注塑机来说，如果制品的大小和重量适合，模腔更多，例如采用 8 个模腔，每件制品的成本将进一步减少，因为这样加到每件制品成本上的机时将更少。一般模腔的增加对每件制品成本的减少是相当大的，模腔不多时更明显，例如，一台注塑机标称的机时费用为 100 美元/h，采用 4 腔模具，模塑周期为 10s，则模具的生产率为 $3600\text{s/h} \div 10\text{s/次} \times 4\text{件/次} = 1440\text{件/h}$ ，制品的机时费用为 $100\text{美元/h} \div 1440\text{件/h} = 0.0694\text{美元/件}$ 。

对于 8 腔模具，模具的生产率则为 2880 件/h，所占机时费用为 0.0347 美元/件，约为一半。对于模塑周期相同的 16 腔模具，所占机时费用约为 8 腔模具的一半，即 0.0174 美元/件。随着模腔数增加，机时费用的节省值会更小并缓慢接近零。

注意，只要所使用的注塑机相同，以上的推论就是正确的。如果模具大了需要更大的注塑机，那么，每小时注塑机费用的成本就会增加。这还取决于注塑机费用的计算方法。有些工厂用注塑机每小时费用的平均数作为各种型号的注塑机的成本计算数据，也有一些工厂则考虑所选用的注塑机的实际费用。

在模具中采用多模腔的其他优点是：对大量数的制品需求，所用注塑机少，占用地面空间小，而且所需的维修费用也少。

采用多模腔的缺点是：整个生产仅依赖于一个或少数几个模腔数很多的模具，模具的可靠性变得更加重要，任何事故都会对生产造成严重的影响。

当模腔数增加时，每件制品所占模具成本将增加，但是在一般情

况下，8腔模具比两副4腔模具的成本反而更少一点。因此，每件制品的模具成本所受的影响是小的。关于模具成本问题的进一步讨论，见第三章。

2.6.1.2 高生产率注塑

以下来讨论生产率的问题，其例子与上述相同。

要在大约半年的时间内生产400万件上述制品，一副4腔模具是实现不了的，必须提供更多的模腔。或者用一副8腔模具（一台注塑机）注塑，或者用两副4腔模具及两台注塑机注塑。如果这样的时间安排仍不能令人满意，那么就必须提供多于4腔或8腔的模具和注塑机。在这种情况下，为节省模具成本而影响生产率的措施是不可取的，而在完成预定产量后即使模具可能报废也是允许的。

值得注意的是，在多数情况下，每件塑料制品的成本，绝大部分决定于自身的重量，即塑料原料的成本（常占每件成本的50%~70%）。因此，减轻制品重量，例如减小壁厚将显著地减少材料成本，比增加模腔数目对每件制品成本的影响要大得多。

2.6.2 在一副模具中模塑不同形状的制品

通常，一副模具只设计生产一种制品，主要原因是制品形状不同会有不同的模塑特性，流动较慢的形状将控制模塑周期和生产量。然而，像玩具和某些技术（工程）类产品的某些部件，数量相同、塑料品种和颜色也一样，只是形状不同，即需要成套的数量，而总量却相对较少，这就可以用一种“成套制品模具”来进行生产。

采用这种“成套制品模具”可能发生的问题之一是，如果有一个模腔的制品生产出了问题，又没能及时发现，这时模具还会长时期运行，而制造出的就只是缺件的产品了。也可能有这种情况，例如，有一种采用“成套制品模具”联合生产的工程技术类注塑产品，其中一件制品由于使用造成的磨损或损伤维修量较大，需要替换，而其他件却仍然可用。在这种情况下，一般就很难做到，按照需要匹配模塑量，而又能保持较少的存货。

另外的问题是，所有的模腔都必须用同一种塑料。这样对用“成套制品模具”生产的一种或多种塑料制品来说，用的是一种塑料原料，

未必都是最适合的。不管怎样，如果计划的制品产量较低，模具成本将成为制品价格的主要部分，那么采用“成套制品模具”可能是非常经济的，即使这样，也可能造成因使用价格较高的塑料原料，或因为“成套制品模具”肯定比单件制品模具运作慢，而增大塑料件的成本。

在以下情况中，高生产率“成套制品模具”是有优势的。

①各个模腔形状的模塑周期大致相同，即不会有模塑时间损失。

②制品在模塑后要立即装配，或者在引出装置中，或者在离开注塑机之后立即装配。这一类产品包括 Petri（皮特里）盘（底部和盖）、宝石盒（匹配的两半）、录像和录音磁带盒和某些玩具等。也包括将单个的叉子、小刀一类塑料刀具在注塑机中大量配对。

③产品的两半要求颜色绝对一致（例如，饰面粉盒）。对于某些工程产品来说，采用两个（或多个）分离模具可能无法达到所要求的颜色一致性。因此，将来自同一个模具同一批配色的、颜色一致的塑料制品，包装在一起并标明清楚，这是特别有价值的。

2.6.3 多色或多种材料的模塑

在这一专门的模塑工艺中，模具由两套（或多套）模腔和模芯组成，并配有两套（或多套）注射装置。在一套模腔里部分成型了的制品，常和模芯一起转移到另一个（或下一个）模腔，完成制品最后注射，或进行某些中间步骤后再转送下一个模腔。

在某些模具中（较少有的），部分加工件是与转运工具一起，而不是与模芯一起被转送到下一个工序的。在另一些模具中，例如某些打字机键的设计，模腔与制品一起移动，而不是模芯。转送机构通常是模具的一部分，很少作为注塑机的一部分。

典型产品包括：打字机键、装饰框、车尾灯零件等等。这项技术是非常专业化的，这里不作进一步的讨论。

第三章 对模具的要求

3.1 精度和精整

对于模具首先要求其模塑制品能满足顾客要求，即尺寸精度在公差允许范围内，外观（光洁度）符合要求。不管是单腔模具或者是多腔模具都必须如此。

3.1.1 精度要求

影响模具精度的主要问题是所用塑料的收缩量（关于制品收缩问题的进一步讨论，参看第八章和第九章）。

塑料制品图上标明的公差必须是合理的和能达到的。说制品精加工尺寸不符，这也只不过是承认制品图是模具制作者要实现的正确尺寸。当塑料制品公差无法保证时，模具设计师应立即提醒制品设计人员注意。这是常有的事，即加工钢材（模具）可以严格符合公差要求，但是无法保证所模塑的制品在所要求的（但是不合理的）公差范围以内。

有些塑料，如著名的通用塑料 PS 和某些工程塑料，具有相对低的收缩率，每一批，应用于不同的塑料加工过程都相当稳定。另一些塑料，例如通用塑料 PP 和 PE 以及一些工程塑料，可能具有较大的和多变的收缩率，它们在每一批或不同的加工过程之间都会有大的变化，即使标出的技术条件都相同。注意，塑料中的玻璃纤维或其他的填料会相当程度地减小其收缩率。

在第八章，将给出许多影响模塑制品尺寸收缩的不同因素（例如温度、压力、循环时间等等）。

使用“低收缩率”塑料（收缩率小于 0.6%），通常模具（钢材）尺寸能够较方便地按照准确的制品尺寸的要求进行计算。使用“高收缩率”塑料（收缩率大于 0.6%）时，弄清楚制品尺寸的实际意义是非常

重要的，或者换句话说，模塑“高收缩率”塑料也是做得到的。

在某些情况下，制品图上标明的尺寸只是对有装配要求的配合尺寸的一个指示，这些尺寸自身不是非常重要的（例如：容器和用相同材料或不同材料做的盖子）。有些容器，除了要适合的盖子装配外，容积（体积）也要严格规定，尺寸准确就变得非常重要了。在这种情况下，对容器和盖子的钢型尺寸做实验（制造实验用型腔或模具），可能是保证获得合适的钢型和制品尺寸的唯一方法。

3.1.1.1 钢型尺寸

通常的情况是，顾客拥有使用类似模具的经验，所以应尽量获得实际使用的容器和盖子的模具钢型的尺寸，而不是制品尺寸。这样做的缺点是：老尺寸模具可能模塑周期较长，不如重新设计更好。但在老尺寸的基础上再改变模具钢型尺寸，可获得最佳的模具作业的结果。即使不这样，模具运作较慢也必定可以生产出令人满意的塑料制品。

3.1.2 精整要求

顾客总是希望制品外观达到图纸的要求。然而，制品图常常要求不合理，需要作一些说明。究竟是整个制品都需要所要求的精整要求，还是仅最终用户可看见的部分表面，还是仅仅有特别功能要求的部分表面（例如成本很高的“光学”镜面要求）。

通常，模芯粗糙度仅要求保证制品顶出时能可靠地脱开。注意，对于某些塑料来说，可能需要利用较粗糙的模芯，让制品留在上面，方便制品从该面顶出。

3.1.2.1 纹饰

对于模具制造者来说有许多不同的纹饰(texturing)处理方法可供选择。

①真纹饰处理，采用光（化学）腐蚀等方法，需要专业人员处理，费用高，常常会陷于运输费用高、工期延误等麻烦之中。

②用 EDM（放电加工）纹饰处理，能够控制电流强度，获得粗细不同的麻面。处理时要有与处理面的表面形状相配的电极。这种处理方法费用高了一些，但通常可以自己进行处理。特别成型的电极也可以实现与真纹饰处理相类似的精整面，但加工过程的费用相当高。

③**喷沙处理**，喷沙处理往往能够在费用很低的情况下加工出令人满意的精整面。处理时常需要用一些面罩防护必须保留抛光面的地方。模塑 PE 制品的模具，精细喷砂（气流啄蚀）后抛光的表面特别方便制品顶出。高度抛光的表面会使塑料对钢材产生胶着。往往在模具使用一段时间后，必须用气流啄蚀或喷砂甚至用砂纸对表面进行轻微粗糙化处理，以利于制品的顶出作业。

在任何情况下，模具设计人员都必须明白顾客的真实要求。如果实现图纸要求有困难，任何修改建议都必须征得顾客同意。在说明表面精整要求时，推荐使用 SPI（美国塑料工业协会）标准，标明“微英寸级”或“微米级”。

3.2 生产率

模具的生产率取决于若干因素，讨论如下：

- ①模腔数目；
- ②冷却质量；
- ③顶出的速度和时机；
- ④模具的强度和耐久性；
- ⑤模具安装和启动的便易程度。

3.2.1 模腔数目

模塑制品成本（每件成本）中包括的模具成本部分在多数情况下是非常小的，如下例。

例：某一容器整个产品生命期需求量为 500 万件，单腔模具，模塑周期为 10s，成本为 5 万美元，因此每件制品的模具成本为 $50000 \text{ 美元} \div 5000000 \text{ 件} = 0.0100 \text{ 美元/件}$

若用双模腔模具生产该产品，模具成本为 8 万美元，每件制品的模具成本将增加一个相对较小的数额 $80000 \text{ 美元} \div 5000000 \text{ 件} = 0.016 \text{ 美元/件}$ ，则 500 万件制品的总成本将比单腔模具增加 $5000000 \times 0.0060 = 30000 \text{ 美元}$ 。这时模具的生产率将翻番，成为 720 件/h，每件成本将有效地减少。如果注塑机每小时工作成本为 100 美元，则单腔模具生产的每件制品的注塑机成本为 100 美元/（注塑机·

小时) \div 360 件 / (注塑机 · 小时) = 0.2778 美元 / 件。但对于双模腔模具, 每件制品的注塑机成本为以上的一半 100 美元 / (注塑机 · 小时) \div 720 件 / (注塑机 · 小时) = 0.1289 美元 / 件, 节省成本 0.1289 美元 / 件 (一般都愿使用双模腔模具减小成本而不使用单腔模具)。500 万件共节省成本 $5000000 \times 0.1289 = 644500$ 美元, 这意味着, 使用大模具 (双模腔模具) 增加的 3 万美元成本, 经过一段时间被节省下来的注塑机使用成本 64.45 万美元抵销了, 这是因为大模具的生产率较高。

这些简单的计算能适用于任何模具, 证明多腔模具是正确的。另外, 认识到多腔模具只需要较少的注塑机和更小的车间面积也是很重要的。应注意, 关于模腔数选择的其他考虑事项, 可能会因为塑料制品大小不同而不相同, 在下面的段落中说明。

从理论上讲, 对于相同的制品, 模腔数多的模具能和模腔数少的模具运作得一样快, 然而, 事情并不总是这样的, 模塑周期往往会由于模腔数的增加而增加, 原因如下。

①复位时间 挤出机构为下一个循环准备塑料所需要的时间与模腔数按正比例增长, 即模腔数越多需要的时间也越长。注射量小增加的时间意义不大, 但对于注射量大的制品增加的时间就非常重要了。

②注射时间 注射量关于模腔数按比例增加, 因此, 推动柱塞螺杆或注射活塞运动所需的液压油的体积也将按比例增加。这样所引起的在时间上的增加, 注射量小时意义不大, 但对于大注射量就会变得非常重要了。

③压力降 多腔模具中, 塑料输送的距离越长, 则注塑机喷嘴和模具浇口之间的压力降可能会越大。对于大型薄壁塑料制品, 要保证模腔注射所需的高压和高速, 模腔数就要受到压力降的限制。

以下各点不直接与模具设计有关, 但要事先指出, 多腔模具的生产率对不负责任的模具操作更敏感。

①车间操作情况 对热流道模具的生产率的影响特别大 模具设计者很少或根本不可能影响全局。除非有进一步培训, 一般顾客也是不可能很熟悉多腔模具和热流道模具的。当模腔数增加时, 如果不能精心地保证模具的操作条件确实可靠, 那么停机的可能性就会增加。

②内部管理非常重要 模塑人员必须对注塑机进行适当的定期保养，并保证冷却水清洁。只用原材料模塑最好，当使用回收的粉碎料时，模塑人员必须特别细心（塑料中的杂质是热流道模具停机的主要原因）。

值得注意的是，不良的内部管理造成可靠性不足，是出现问题的主要原因。多年来对于热流道模具尤其对于多模腔热流道模具，这一观点已被模塑人员接受。

③动力供应可能有其他问题造成停产 最糟的情况是，在发展中国家常常由于电网过载造成频繁的停工现象。而电压的波动过大可能影响电控系统，造成加热器烧坏或控制器失灵。在电力供应很不稳定的地区，简单的冷流道模具可能比更复杂的多模腔或热流道模具更可取。

3.2.2 冷却质量

关于对良好的冷却系统的需求及其在生产率方面的影响已在 2.4 节作了详细的说明。生产率和循环周期是成反比例的：模具内热交换状况越好，循环周期越短则模具生产率越高。

3.2.3 顶出速度和时机

正如本书前言和 2.5 节中指出的，顶出所需的时间实际上是时间的浪费，这类似于模具开启过程、闭合过程和打开状态时间，在这些时间里，没有制品成型的事情（注射或冷却）。

显而易见，为将制品从模具中取出，需要打开模具和闭合模具，但是为了增加生产率，要努力限制顶出时间的发生。如果可能，则在模具打开过程中完成顶出；如果不可能则增加时间，保持模具打开状态直到顶出作业完成（形成模具打开状态时间）。这里重要的是，考虑所有实际可能的选择，增加顶出速度并安排好顶出时机。这里顶出时机指的是，顶出能够开始和必须完成的时刻。

例如，大部分产品的自由顶出（自由落下）成本低，但需要更长的模具行程，以保证在模具重新闭合之前所有制件都能离开模塑面。一个正面脱模系统例如 HUSKY（导向滑槽），虽然比较贵，但要求模具的行程短，因此模具的开启过程和闭合过程时间也较短。该系统增加

的成本，能够为自身较高的生产率所补偿。

3.2.4 模具的强度和耐久性

模具的生产率取决于模具的质量（强度和耐久性），这在 3.3 节将作详细的说明。由于模具设计或制造错误引起故障，使生产中断，给顾客造成的损失是惨重的，而对于模具制造者的信誉损失也是一样惨重。严格来说，设计制造的模具除了偶然事故外，应该经久耐用。

3.2.5 安装、启动方便

有些模具常年装在注塑机上，安装和启动时间对它们的生产率没大的影响。然而，有不少模具仅在注塑机上运作较短的时间（几天、几周或几个月）就被拆换下来。在这种情况下，模具的生产率会由于模具拆换方便而有较大的增加。而且有些工厂还是注塑机每个周末停工，星期一重新启动，在这种情况下启动方便就是非常重要的考虑因素了：模塑生产效率 E （%）可由下式决定

$$E = \frac{\text{实际生产的合格制件数}}{\text{有效时间应生产的制件数}} \times 100 \quad (2-1)$$

或

$$E = \frac{\text{生产合格制件时间}}{\text{模具占用注塑机时间}} \times 100 \quad (2-2)$$

“有效时间”和“模具占用注塑机时间”是指同一个情况——即从注塑机可为某副模具使用的时刻到再次腾空可以安装另一副模具的时刻之间的全部有效时间，是注塑机计划安排的时间（或实际占用的时间）。下例是上式的最好说明。

例 1：一模具应运行 40h，安装时间是 6h，这里的安装时间包括：

- ①在注塑机上安装模具；
- ②完成所有的连接作业；
- ③模具加热升温；
- ④启动模具直到正常循环运行；
- ⑤停机，拆卸并将模具运离注塑机。

假设所有的塑件都是合格品，则 E 计算如下

$$E = \frac{(40\text{h} - 6\text{h})}{40\text{h}} \times 100 = 85\%$$

进一步假设产品的合格率仅 90%，则实际生产效率 E_r 为

$$E_r = 0.85 \times 0.90 \times 100 = 76.5\%$$

例 2: 由于安装时间减半 (到 3h)，则生产效率将有相当的改善

$$E = \frac{40h - 3h}{40h} \times 100 = 92.5\%$$

例 3: 如果生产运行时间长得多，安装时间的影响会变得非常小，例如生产运行时间计划 240h (2 周)，6h 安装，则 E 为

$$E = \frac{240h - 6h}{240h} \times 100 = 97.5\%$$

3h 安装，则 E 为：

$$E = \frac{240h - 3h}{240h} \times 100 = 98.75\%$$

以上表明，被称作快速换模的方法，仅在生产运行时间短的情况下有明显优势，安装时间能有效地减少。值得注意的是，今天有些快速换模方法仅用 0.5h 就能进行两副生产模具的调换。

避免因不良的内部管理引起的停产和低质模具造成的故障，对于实现高效率和高生产率，生产合格 (令人满意的) 产品来说，是非常重要的。

有些模具启动时间 (达到模具正常循环的时间) 很长，按照上面的定义，这是安装时间的重要部分。启动时间是和制品的复杂性、模具结构以及热流道系统的结构 (如果采用该系统) 直接相关的。

3.3 物理强度

模具强度取决于许多因素：

- ① 选择合理的模具材料；
- ② 所有的模具零件设计强度足够；
- ③ 充分估计疲劳强度问题；
- ④ 注意避免应力集中；
- ⑤ 适当的热处理技术要求；
- ⑥ 应用适宜的钢材晶粒取向；
- ⑦ 模具零件磨削方向适当。

这些因素大部分是相互关联的，设计人员在全过程中都必须加以考虑。

设计人员不必去“触摸”或“感觉”模具材料的性能，但必须应用适宜的工程方法，认真测试所选材料的性能，计算模具零件的强度，看看是否满足要求，要保证它们在生产期间不会断裂或磨损。下文所述是设计人员在模具设计中必须考虑的最重要的一些方面。

3.3.1 拉伸强度

模具必须有足够的强度承受注射过程中很高的内部压力。这一压力的施加主要受模腔深度影响，这里模腔深是指与模具开启方向成直角的承压模塑面积（投影面）大。这一情况类似于压力容器承受的内部压力。

当模腔壁的厚度不足时，由于内压力产生的应力会引发各种问题。

①破裂 如果模腔壁太薄，模腔将产生永久性的形变（弹性失效），甚至破裂。

②延展（向外） 无论模腔壁多厚，它总有弹性。只要应力远在钢材屈服点以下，注射压力释放后，模腔就会恢复到原来的形状。如果模腔壁太薄、侧壁脱模斜角太小（小于 3° ）、或制品壁厚太小（大约小于1mm），延展现象可能会对模具运行产生严重的影响。

注射过程中，在充模结束的终点，模腔空间全部被塑料充满，注射压力将全部作用在塑料上，模腔壁会因此伸展。当注射压力下降时，模腔将还原（弹性恢复）到它原来的大小，作用在模腔和模芯所夹持的塑料件上的夹紧力也将下降。如果注塑机的开模力不够大，所夹持的塑料件可能会阻碍模具重新打开。这一特别的作用力可能会要求撬开模腔和模芯。这种情况将导致模具损坏。

值得注意的是，塑料件壁较厚时，收缩将减小模腔空间塑料的厚度，上面所说的“锁紧”作用将不会成问题。而采取较大的脱模斜角（超过 3° ），即使塑料件壁厚小，也不会有太大的“锁紧”危险。当然，模腔壁厚度足够，模腔的胀大将很少而无足轻重，模具将不会有“锁紧”现象发生。

③疲劳 任何一副模具在其每一个注射循环阶段都要承受稳定变

化的载荷作用。这一载荷循环总是从零到满负荷再到零，这对金属疲劳来说，是较为恶劣的负载条件；深层次的讨论见第十八章。一般当钢材承受大约 200 万次应力循环而不失效，即可认为是经久耐用的。这样的循环次数在塑料模具中是不稀罕的。

例：一模具循环时间为 4s，即 900 次（注射）/h，则每年循环次数为 $900 \text{ 次/h} \times 5400 \text{ h/a}$ ，即每年循环次数为 4860000 次。

由于这一原因和第十八章的解释，模具材料的强度校核，不能采用钢材的强度极限（仅仅一次循环载荷的强度极限）。为了安全，在决定模腔壁厚度时，实际仅用到钢材强度极限的 10%（安全系数 10）。

值得注意的是淬火模具钢比冷轧软钢或预硬结构钢（如 P20 钢），更能承受疲劳失效作用，其仅需要大约为 5 的安全系数。

对于设计人员来说，常有这样的问题，如果一味照搬书本，按照设计方案要求的模腔可能会太大；如果一味减薄，不久就可能失效。设计人员必须认真地考虑，冒险地将模腔制造得太薄，减少模具寿命是否值得；不然就将模腔制造适当厚一些，或许可能要求模具（或注塑机）也更大一些。设计人员必须全面考虑螺孔及水、气管道的大小、数量和位置，以及模具零件上其他削弱性能的地方，如台阶、沟槽等，在计算模腔壁强度时，应确保性能最弱的横截面在考虑的范围之内。

3.3.2 压缩强度

注射压力在模芯产生压缩应力，但通常不会有什么问题。除非模芯上的冷却管道或其他的管道以及螺纹孔等离表面太近。在这种情况下，模芯上这一较弱的部位也会产生偏离（周期性的），在一定的模塑周期后也可能由于应力疲劳而失效。

作用在分型面上的合模压力会经常估计不足，从而可能导致模具的早期失效。合模压力等于作用在模具上的全部合模力除以分型面面积。分型面是模腔和模芯在合模时被压在一起的平面。

在实践中常发生这样的事情，模具在安装和运行时不是采用保持压紧注射所需的最小合模力；而是将注塑机可使用的全部合模力都用上。如果被安装的注塑机比模具所需求的大，这样做特别危险。对于这种情况，模具设计人员可能无能为力，除非让模塑工知道模具过分

合紧可能损坏，或者在模具上设置指示最大允许合模力的警告牌。

满负荷循环几次是不要紧的，但在正式开始生产之前，模塑工应该将合模力减小到允许的吨位。合模时过度的闭合力恒定的冲击使表面产生应力，从零到最大值再到零，又是非常恶劣的钢材疲劳服役条件。这样冲击的结果通常在模具运行几个星期后就能看出来，钢材由于疲劳失效而发生崩溃，模具分型面上出现小的凹陷。而且，很浅的排气槽不久将被堵塞和消失，引起模腔排气不良，制品最终会因为充模不良或毛刺而成为废品。

如果起作用的分型面面积不可能增加，就必须在模塑面外边对称地设置支撑来分担载荷，减小分型面的表面压力。当计算分型面面积时，必须重视分型面上排气槽和排气缝隙所占的面积。

3.3.3 板挠度

有两块特殊的面积常常是模具很弱的地方——垫模板和顶杆托板。当模具模腔数大于1（模腔分布在注塑机中心线的各边）时，垫模板的挠度可能是严重的，尤其是注塑深的薄壁制品。如果所使用的注塑机的压板也弱，则结果会更危险，因为这样的注塑机通常价格较低，采用肘杆机构，且肘杆连接在模具动压板靠近边沿的地方。

如果垫模板太弱，合模时会出现中心弯曲，造成模芯凸起一个角度指向注塑机中心线。这意味着模腔内侧、模芯顶部将朝着模具中心靠近模腔壁，而模腔外侧将离得更远。这样模具甚至在注射之前就已造成了一些模芯位移。在注射期间模芯位移现象会加重，结果由于壁厚不均匀造成制品质量差无法令人满意。垫模板挠度太大，还可能导致分型面处充模不良和溢料。

一般板块总是要用基础板适当支撑，或采用支撑块或支柱。有关更多的知识可看第17.2节。

顶杆托板会由于采用装有顶销、顶套和脱模圈的“顶杆箱”结构而发生弯曲现象。这种现象也会发生在没有“顶杆箱”的脱模板上。一般来说，预测模具所需要的顶出力几乎是不可能的，为保险起见，设计人员的计算应该假定注塑机上液压顶出机构可用的全部顶出力都将被用上。顶杆托板上的力也是周期循环的，故施于顶杆托板上的最大

应力，应不超过结构钢强度极限的 20%。

3.4 耐 磨 性

3.4.1 在压力下运动的模具零件的磨损

有各种因素，影响运动的模具零件在压力下的磨损行为。

(1) 材料选择 在压力下作相对运动的模具零件的材料必须具有不同的晶态、晶粒或表面结构，即具有某种晶粒结构的零件不应和具有类似晶粒结构的另一个零件相互配对。大部分钢材的晶粒结构是由它们的成分决定的，因此选择不同的钢材一般可以解决这一问题。若摩擦副是同种钢材，采用不同的硬度是不能解决问题的。

(2) 表面精整处理 应用特殊的表面精整技术也能够避免这一类磨损。例如，将用同种钢材（例 H13 钢）制造的两运动件之一氮化处理，其表面结构会出现足够的差异，将减少磨损。其他的精整处理方法，例如化学沉积，也是有效的措施，但不能持久，必须不时地反复处理。

(3) 磨损带 磨损带采用非铁材料（青铜、塑料等等）比压低，可以保证磨损带持久。

(4) 表面状态 锥度配合面一般是磨削表面。如果抛光太粗糙，当磨削的沟纹与运动方向成角度或许成直角时，其作用就像锉刀一样快速地磨损配合件表面（这种情况经常发生在磨削锥座的时候，这就造成锥座不太耐用）。

(5) 润滑 滑动摩擦表面的润滑，甚至在相同类型的材料之间都能使用，但须提供如下条件：

①在操作过程中能够方便地或者用人工的方法，或者连接自动润滑设备维持润滑状态；

②没有润滑剂接触和污染模塑制品的危险，这对于食品容器、医药用产品等可能是重要的。

3.4.2 微动磨损

微动磨损是两零件在很短的距离（ $\approx 0.1 \sim 0.5 \text{mm}$ ）内，甚至在很轻的压力下相对运动所产生的表面磨损现象。微动磨损的机理尚不完

全清楚，但可能是某种类型的金属表面疲劳失效。润滑和其他办法对于避免这类磨损没有用处，因此设计模具时努力保证这类小运动在模具中出现。

3.4.3 塑料的磨蚀和腐蚀磨损

一般磨蚀磨损能相当容易地通过选择制造材料来控制。磨蚀对浇口影响特别大，塑料流体在很高的速度下通过浇口，不久就使浇口增大超出允许的尺寸范围。然而，采用合适的材料和硬度条件，浇口的磨损会减缓。另外，适当的解决办法是设计合理的模具结构，把浇口设计成为磨损零件，并能用最低的成本，最少的停产时间方便地更换浇口。

同样的做法能用于模腔、模芯等所有和塑料料流接触的模具零件。预计将被塑料磨损的地方，模具应采用嵌件结构，使磨损件能被更换。

对于塑料腐蚀磨损来说，以上有关塑料磨蚀磨损的介绍同样适用。在有些情况下，模具必须采用不锈钢以适应特别的腐蚀性塑料的作用。表面镀铬经常用于防护易腐蚀的钢材表面。但是，由于不锈钢能像工具钢一样被硬化处理，电镀在成本方面的节约也不大，所以一般来说用不锈钢制造全部模具零件更好。

磨损还会由腐蚀性气体产生。有些塑料释放腐蚀性气体。由于气体将从排气孔逸出，因此不仅侵蚀模腔还将侵蚀模板。对此，建议使用不锈钢板。

3.4.4 锈蚀

锈蚀简单地说是钢材氧化反应。锈蚀可能使模具内部和外部都受影响。

为防止内部锈蚀，改善模塑工厂不良的内部管理是很重要的，模具设计人员和制作者只能对此提出建议。模具在每次停产（周末停工等）或从注塑机取出后必须立即进行适当的保养。模塑面必须擦干净，并喷涂防锈油，其他部分（模框等）也该清洁干燥，防止锈蚀。

有些模塑人员给模框一圈涂上油漆防止外部生锈（特别是在潮湿的气候条件下），但模塑面仍应进行人工清洁和涂油。

模塑面上的铁锈是要侵蚀钢材的，反复清除铁锈磨光表面会影响

制品尺寸。化学镀镍会改善模板防锈蚀的能力，但不能用于模塑面，因为会被磨掉。

采用不锈钢模板和模框，让顾客支付增加的材料费用是这些问题的解决办法。对于在非常潮湿的气候条件下运行的模具来说，这最初增加的费用，会很容易地由于保证模具在整个生命周期不生锈而得到偿还。

内部锈蚀必然要影响冷却液流道的内表面，这将造成流道热传输障碍，降低冷却效率，而且锈蚀还可能引起钢材破裂。化学镀镍在某种程度上可以防锈，但不如不锈钢模框好。目前模腔和模芯有全部用不锈钢制造的趋势，不管怎样，这对于防止腐蚀或者为使冷却液流道内部不被锈蚀都是有好处的。

要增加模具耐磨损方面的知识，可看第十六章。

3.5 安全操作

模具结构必须有如下的考虑。

- ①预防对模具自身的损伤；
- ②预防对于模具操作者和周围其他人在任何可能的情况下的伤害。

3.5.1 对模具的损伤

如果模具设计不当，或者强度不够或机构失效，都可能发生损伤，一个零件发生“灾难性”的故障，其他零件可能因此造成损坏。有关这类失效的一些典型案例分述如下。

(1) 当工作凸轮脱开时，侧型芯或滑块不能保持它们原来的位置
在这样的情况下，模具闭合，侧面凸轮就会与侧型芯或滑块发生碰撞。很硬的零件可能由于模具防护装置而得到挽救，但通常凸轮和（或）滑块将会被破坏。由于这个原因，滑块最好在水平方向运动，这样重力就不会改变其位置，然而，这并不总是可能的。

滚珠弹簧沟槽锁定机构在滑块上使用特别危险，应作为一个法则，不准使用。允许使用压缩弹簧牵引滑块到外部位置。弹簧长度设计要充分，不会因失效而断裂。如果模具装在注塑机上弹簧可见，那么弹

簧的压缩量不应大于其总压缩量的 25%；如果弹簧在模具内部不可见，压缩量应不大于 20%。

如果凸轮永不离开相啮合的滑块，这是最安全的。这样在滑块移出的位置就没有危险。不幸的是，这并不总是可能的。

(2) 使用顶销或顶套时，必须设置顶杆托板复位销，要防止顶杆托板被粘住，造成合模时顶销损伤模腔表面的情况发生。

(3) 顶销可能碰击侧型芯 某些制品上要设置顶销或顶套的位置，必须伸进侧型芯，例如一些孔的成型。这时模具中的运动设计必须是：在顶销允许通过前，侧型芯已完全缩回，不会碰撞。在合模期间，为了提高安全性，在侧型芯被允许到位前，顶销必须离开。解决这个问题的最好方法是防止两运动件路径交叉。有时制品设计略微改动就会满足这一条件。如果这样做不可能，就需要提供带有适当的定时和安全连锁的液压操纵的滑块机构，或者采用滞后顶出和确实可靠的顶杆托板复位机构，在凸轮启动前缩回顶销。在这方面设计不良的现象是相当普遍的。

(4) 脱模板或脱模圈不应和闭合中的模具一起复位，特别是由于顶出行程长，合模机构在模腔和脱模板的碰撞点闭合速度非常快时，这一点就特别重要。这样“用机器复位”不仅有噪音问题，而且在长行程中碰撞会损坏脱模板和模腔的分型面以及脱模板和模芯的锥座。一些独立的方法像弹簧，更好一点的像气缸等，用于顶杆托板和脱模板的复位总是应该的。

(5) 用于板（例如顶杆托板和三板机构中的第三板等）运动的搭榫、连杆和转轴等必须有足够的受力强度，它们必须精确地在一条直线上，并保证在运行期间不会松开。

(6) 在许多情况下，设计人员能够避免因失调、振动和过量的运动等原因，造成系统中部件早期疲劳失效或重大故障，确保运行安全。

3.5.2 人身伤害

不良的模具设计不仅会造成模塑失败，有时甚至能够造成人身伤害。模具设计人员必须始终清楚地意识到这一点，预见可能会发生的事故。换句话说：“如果能够发生，就会发生”。

模具设计人员和（或）模具制造者常常引用民间法庭的案件来预测可能的事故，在这些案件中有人因为模具零件破裂或者因为密封失效或油逸出而受到伤害，一些可能的隐患是：

- ①缺乏适当的交流和指导文件（操作手册、标牌、图纸等）；
- ②手工起重模具；
- ③在机器中悬吊模具；
- ④外部弹簧断裂飞出；
- ⑤热塑料逸出；
- ⑥压缩空气逸出；
- ⑦液压油逸出；
- ⑧螺杆突然折断，头部飞出；
- ⑨尖锐的边角；
- ⑩露在外的热模具零件；
- ⑪未加保护的电接头；
- ⑫标准安全门外边的运动零件；
- ⑬需要打开安全门调整运动；
- ⑭安全门关上时还可能接近打开的模具。

如果这些可能的危险不能够完全避免（通过设计），至少必须用突出的标牌贴在关键的地方，警告可能的危险和可能产生的后果。

3.6 保养和互换性

3.6.1 保养

模具的结构必须便于保养维护。

(1) 热流道浇口的清洁 由于杂质会危害操作并难以避免，尤其在频繁地使用重新粉碎的塑料的情况下。应该能在注塑机中清洁浇口，而不需要移去热流道的一边或整个模具。某些热流道系统可以将模腔拉向模芯后方便地接近浇口，因此将暴露整个热流道喷嘴，同时能够接近浇口后部，这样任何杂质的清除都会很容易。

(2) 更换喷嘴加热器 采用和清洁浇口相同的步骤，这应该是很容易的事。

(3) 重新调整锥度配合 在大多数情况下, 通过各自与锥座一起研磨的方法容易实现或者在需要时增加衬垫。

(4) 产生溢料的地方塑料能够进入(溢进)模具零件之间, 像脱模圈。这种情况常发生在起动的時候, 或者是注塑机有故障期间。这些地方必须容易接近, 最好是提供充分的操作行程空间, 方便拆除某些螺栓。

3.6.2 互换性

有多种元件(加热器、喷嘴、软管等)通常要有互换性。而对于紧固件(螺丝)必须仔细地按照规定选择适当的强度等级, 仅凭肉眼观察, 是不易分清螺丝强度等级的。强度等级为 12.9 的螺丝使用情况良好。

如果一定要求特别高强度、高耐热性的螺丝, 这就必须清楚地_在装配图和所有的手册、说明书中标明。模具制造者必须将它们与模具一起交货。这样可以避免将来在模具保养期间, 由于固定螺丝的使用问题造成模具失效。

模腔备件也应该是可以互换的。这特别可应用于多腔模具或多副模具生产同样的制品。所有的模具零件都应该可以互换, 然而, 这并不总是行得通的。

3.7 在注塑机中易于安装

模具必须固定在注塑机上生产制品。它应该能方便地按照需要安装固定, 有些关键性的考虑如下。

①压板尺寸 如果可能模具应该能覆盖压板大部分(至少 50%)可用面积。换句话说, 机器尺寸应该和模具尺寸相适应。把小模具装在太大的注塑机上不是好办法。

②压板有效面积(即两拉杆之间的距离) 模具大小应适合压板面积, 没有必要拉开拉杆安装模具。有些注塑机移动拉杆位置并不困难, 但时间上是浪费。也有些注塑机为安装模具来移动拉杆是不行的。

③吨位 额定的注塑机吨位应充分满足模具的需要, 但也不要太大。根据制品的不同(大小、壁厚、 L/t 比率), 建议机器吨位需求按

照投影模塑面积每平方英寸大约 $1\sim 3t$ 计算, L/t 比率大取较大值。

④顶出孔形式 当模具必须适应不同的注塑机时, 这是重要的。

⑤安装孔形式 当模具必须适应不同的注塑机时, 这是重要的。

⑥机器液压顶出力 (若需要) 某些工艺实施需要机器顶出, 液压顶出力可能是关键。最初需要的顶出力非常大, 可能需要增加驱动器辅助机器顶出。

⑦注射和塑化能力 根据测算的注射量和循环周期对塑料数量的要求, 注塑机的能力与工艺要求是否相适应。

⑧是否打算采用快速换模系统。

⑨制品清除 顶出后模塑面如何清除制品是自由落下, 机械引出还是机械手? 为所采用的措施是否留足空间。

⑩保养要求的拆除 冷却水管路、气路、真空管路和泵、电缆、润滑软管等都能够因保养需要拆除掉吗? 并且, 这里的拆除作业不会与模具打开和闭合期间的运动, 以及制品引出设备的运动发生冲突吗?

3.8 合适的模具成本

模具的成本必须是有竞争力的。模具必须为顾客服务, 但也要设计制造, 因此模具制造者也要在模具上获得利润。

“廉价”的模具在制品生产中未必就是廉价的。模具只能用模具成本和模塑件 (制品) 成本两方面的关系来评价。对于低产量, 一副简单的模具, 冷却和顶出都不必考究, 也可能是相当令人满意的。对于高产量, 必须研究每一种可能性, 提供最好的冷却、最快的顶出和最长的模具寿命, 即使模具成本会更高也必须如此。

这是很容易明白的, 对于一种制品, 当生产量达数百万件时, 每件制品的模具成本, 用更贵的好模具生产, 比用廉价的模具仅高很少一点。然而, 廉价模具的模塑周期总是比好模具长, 占用的机器时间也更多, 这会实实在在地增加每件制品的成本。而且, 模具模塑循环更快就能够更快地响应订单, 更早地交货, 并且能更好地利用工厂的生产力。设计周到的模具应该尽量避免 (减少) 停产时间, 从而进一步提高了模具的生产效率。

模塑工首先对制品的成本和模具的生产效率感兴趣，特别是当生产量很大时。在 3.2 节生产率的例子中，我们看到，每件制品的成本主要取决于生产效率（机时）。如果在很短的时间需要大量的制品，就需要大数目的模腔，即使模具成本很高。对于小批量的生产，模具成本会变得比模塑每件制品的其他花费更重要，这时投资大模具未必是经济可行的。

什么决定了模具成本？模具成本的增加几乎与模腔数成正比例。模具成本本质上由 8 个单元组成：

- ① 模具设计工程成本 (CE)；
- ② 生产工程成本 (CP)；
- ③ 模块成本 (CS)；
- ④ 模框成本 (CM)；
- ⑤ 装配成本 (CA)；
- ⑥ 调试成本 (CT)；
- ⑦ 企管成本 (CO)；
- ⑧ 利润率 (P)。

倘若一副设计制造合理不需要修理的简单模具，在适宜的注塑机上安装也会是容易的，在正常情况下调试时间也不会多于几小时。而对带有制品引出等装置的模具，从装配到调试需要花费几天的时间。总的模具成本为各项总和： $CE + CP + CS + CM + CA + CT + CO + P$ 。

3.8.1 模具设计工程成本 (CE)

设计标准化和计算机辅助设计 (CAD) 的应用有可能相当程度地减少这方面的成本。由于这些技术易于更快地反复设计，因而在同样的时间内可以改善设计质量，获得精良的设计、标准化的零件和装配。

设计成本包括模块设计和模框设计。模块设计本质上与模腔相同，无论是一个模腔 ($n=1$) 或 n 个模腔。因此，对于 n 个模腔，模块设计成本不会增加，但模框设计成本会由于模框变大，更复杂而增加。

3.8.2 生产工程成本 (CP)

这一成本也会由于标准化设计的应用而大大地简化。生产工程成本包括机械加工程序的确立、机床的选择、模具加工对夹具和量具的

需求，以及按照模具设计工程提供的图纸生产模具所需的其他开支。

3.8.3 模块成本 (CS)

现代加工方法如自动化的车床、铣床和磨床，此外加工成本高的EDM（即放电加工，包括 WIRE-EDM）和现代模具表面精整方法大大地降低了模块零件的加工成本。

生产一副模块所需的时间是一定的。对于每一副模块来说，一次生产 n 副模块所用的时间更少。这是因为，生产一件和生产同样的大批零件的组织准备时间，实质上是相同的。而且，生产多副模块在使用特殊加工方法上还有优势，因为这些方法仅为一副模块提供，可能是不值得的。

3.8.4 模套成本 (CM)

全自动铣削和深孔钻削机床淘汰了模套中模板等零件加工的大量手工作业。模套成本随模腔数增加，这是由于模板尺寸和冷却液及气体管道的数量也随模腔数成比例增加。

3.8.5 装配成本 (CA)

这里同样由于标准化设计和标准元件的使用，以及适当的装配工具使得装配工作更快和更容易了。装配成本将随模腔数成比例增加。要注意，热流道模具的装配成本比冷流道模具高得多，这是因为增加了元件的数目和电路布线。

3.8.6 调试成本 (CT)

在调试成本方面几个模腔和许多模腔差别应该很小，除非模具是新设计或是试验性的。值得注意的是，关于调试成本往往有这些情况：有许多模具制造者将其加到了模具成本上，客户保证模具正常工作后支付这些款项。有些模具制造者不调试就装运模具，让客户自己调试，需要时再返修。让客户自己进行调试会比在模具装运前由模具制造者调试的花费多，这不仅仅是因为节省了装运费用和时间，而主要是由于当时的生产组织不必被调试新模具打断。

3.8.7 企业管理成本和利润率 (CO 和 P)

这最后两项加到模具成本上的情况，取决于工厂的类型和算帐的方法，这里不作进一步的讨论。

3.8.8 多模腔模具的成本

对于同样的制品来说，多模腔模具的成本将比单模腔模具的成本低，模腔数越多成本越低。成本降低取决于许多因素，但主要取决于制品的尺寸大小和复杂程度。以下的例子仅为了说明一个被经验证实了的事实，不能不加区别地采用：

例 1：一副简单的大容器模具单模腔成本要 50000 美元，而两个模腔成本要 80000 美元，即比两个单模腔模具成本低 20%。

例 2：一副技术很复杂的双模腔模具成本要 60000 美元，而生产同样制品四模腔模具成本要 115000 美元，即仅比两副双模腔模具低 5%，这是由于加工模框比加工多个模块更麻烦。

例 3：一副简单制品的 16 模腔模具成本要 80000 美元，生产同样制品的 24 模腔模具成本要 110000 美元，可以指望，当模腔数增加 50% 时，模具成本低于 120000 美元。

3.8.9 迭层模具成本

迭层模具所具有的突出优势是在两个层面设置同样数目的模腔，背靠背，它所需要的合模力只比一个层面的模具稍多一点，而一个层面模具的模腔数仅为需要量的一半。而且，若将迭层模具的总模腔数设于单一工作面的模具时，所需的面积几乎是两倍，这就需要非常大的注塑机压板才能容纳下这样大的模具面积。

对于一定数目的模腔来说，迭层模具的成本，与两个单一层面的模具（模腔数为迭层模具的一半）的成本几乎相同，或许会略微低一点。迭层模具获得应用，是因为生产所需数量的制品仅用一台注塑机。另一方面迭层模具将需要更大的注射能力，才能够注射大数目的模腔。

关于迭层模具更多的讨论，见第十五章。

3.8.10 塑料件（制品）的成本

如同在 3.2 节中已表明的那样，模具的成本可归属于注塑件的成本。因为在产量需求很大的情况下，模腔数增加引起的注塑件成本的变化是很小的，就是当模腔数增加超过 4 时，这种变化也是微不足道的。关于制品成本的进一步讨论见 24.4 节。

第四章 模具设计的一般指导原则

4.1 在开始设计模具之前

模具设计者在接到一部分图纸、一个样品或现在还很少使用的产品的一个模型后便开始进行新模具的设计。需增加的信息包括模具使用的注塑机、要求的模腔的个数；如果图纸没有标出，还要知道该制品所要使用塑料的类型。

尽管上面的信息是很重要的，但还是不完全的，在进行模具设计前还要了解其他一些因素：

指定塑料的模塑特性如何？

将模塑多少件制品？（整个模具寿命周期的年均近似）

预期的模塑周期？

制品用在何处，怎样使用？

制品是否要同其他零件进行配合（公差）？

收缩率？

脱模角？

需要何种类型的流道系统：是冷流道，（二板或三板）还是热流道？还是两者的复合？

浇口位置、流动和熔合线、顶出痕？

表面精整要求？

雕刻？

模腔布置？

模具所需的备件？

注塑机的性能指标是否合适：吨位？注射量？塑化能力？

是否安排了制品的机械（自动）移出？

计划时间（模具需多久完成）？

这些问题和情况一部分可能随同模具订单已经有结论。可能还有一些问题要与顾客对话解决。

在接到模具订单后，给出模具的报价是很重要的。模具价格一般由有经验的模具设计师或预算员来进行估计，他们常常就是模具业主。当预算员接受报价任务时，他们可能会基于经验和（或）相似模具的设计记录画出一副适合所订制品的模具草图。然后由设计师根据草图估算全部成本。设计师还要根据制品的复杂程度或新颖性，在得出模具估价前，加上一个安全系数或“不定因数”。

即使报价时所有的因素都已考虑进去了，仍存在着模具的报价要比模具应有价格要低的危险。报出的模具价格必须比其他模具生产者报出的更有竞争性；并且在模具订货稀少、模具价格竞争更激烈的时候，模具的报价比其平时的报价还要低。

找到更好的报价系统似乎是不可能的，除非预算员完全设计每一副模具，这要比通常估价花费的时间多得多。例外是顾客乐意购买报价前模具的初步设计。

另一个问题是很多模具进行了估价，但它们并不最终都导致订货。所有的企业在模具订购单确定之前，至少要从不同的模具制造商那里得到三种报价，这是一种惯例。而且有时，生产商询价的目的仅仅是为了解一种制品在经济上的意义，他们没有丝毫的或迟或早订货的意图。

模具设计者必须知道预算员报价时他脑中的模具类型，明白这一点很重要。如果不这样，他们就可能将模具设计得大大超出报价。

要明白任何一家企业都是要用它的产品来赢利的（模塑工的产品是塑料制品，模具制造商的产品是模具）。

前面所述并不是讲，为了将模具价格控制在报价的预算内，就可以设计和制造“坏”的模具。在模具估价时，预算员保证每次都正确是不可能的。然而，重要的是在生意兴旺时，平均“好”模具与“坏”模具的财务收支应能持平或对模具制造者有利。

同时，预算员所设想的模具并不一定是最佳的设计。在设计过程中存在着发现较佳设计的好机会，但模具设计者必须在模具设计一开

始就要明白模具的报价。极有可能，预算会错估或低估模塑制品会遇到的困难或者在随后的模具订单中遗漏提供的重要信息。

如果在模具设计者对该制品的模具及其技术要求进行初步研究后，就清楚地看到一些参数或由于疏忽或是故意被改变了。那么在还没对模具设计花更多时间之前，要立即通知顾客由于这些变化造成的模具成本的增加。以这种方式，可以避免事情的进一步恶化，且顾客可以修正或消除一些新的或先前未曾标明的参数。顾客可能对报价与订货期间的这些变化会影响模具的价格的情况不清楚。

另一方面，如果错误是由于糟糕的估价造成的，那么模具设计者只好努力将模具成本控制在预算内，设计出模具报价时所要求的条件，但决不能降低模具的质量或性能，因为模具制造者的名誉得失攸关。由于糟糕估价造成的损失都可当作经验和树立信誉而一笔勾销。可能顾客会同意承担一部分或全部的额外费用，但是否要与顾客商谈，将已签定的模具价格重新加高，却是模具制造商的精明决断。

有时，模具价格受销售方针的影响，可以报价很低。举个例子，为了争取新顾客或为了进入模塑制品较少或毫无经验的新的产品领域，模具设计者可以不顾价格的低廉，仍会以合适的成本去设计指定要求的最佳模具。

4.2 指定塑料的模塑特性

这里仅考虑会直接影响模具设计的特性。

①流动特性 易流动材料一般不存在任何问题，但“稠”的材料需要更高的注射压力，因而需要更坚固的模具结构。这同时也影响精确度和定位零件的强度。

②熔化（加工）温度 该温度越高，冷却设计以及模具冷部件与热部件间的绝缘方法就变得更重要了。

③材料降解 每一个热塑性塑料在高温下保持一段时间后都会表现一定程度的热敏性（或受降解）。图 4-1 示意地表示了一种典型曲线： T_1 代表材料能安全注射的最高温度， T_2 是使材料能被注射的最低温度， T_1 、 T_2 间的温差是塑料的加工（模塑）温度范围（OR）， t_1 、 t_2 表

示在 T_1 或 T_2 温度时，塑料降解开始前经历的时间。

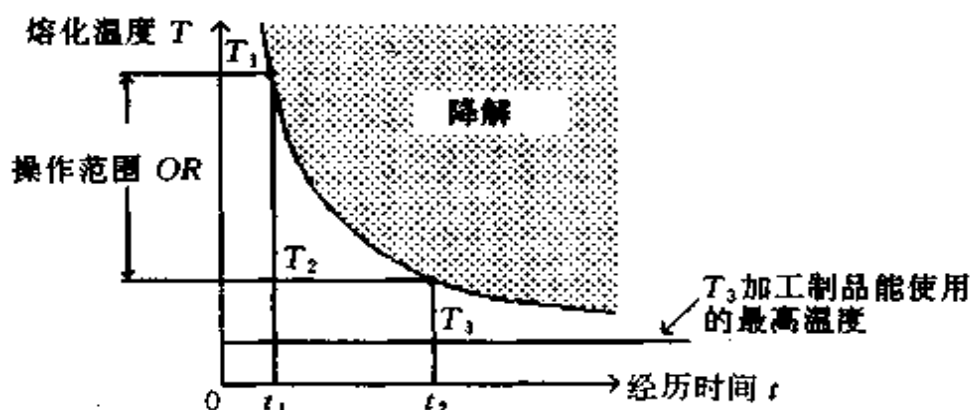


图 4-1 材料降解曲线

一些材料如 PVC，模塑温度低，OR 窄和时距 ($t_1 - t_2$) 短，如图 4-2 (A)，它们的热敏性很高。一些塑料拥有较高的模塑温度和较宽的 OR，但时距 ($t_1 - t_2$) 仍相当短，如图 4-2 (B)，它们也是热敏性材料。这样的材料包括 PET，所有乙酸纤维素塑料等。图 4-2 (C) 表示的是低热敏性材料如 PE、PP、PS 等。

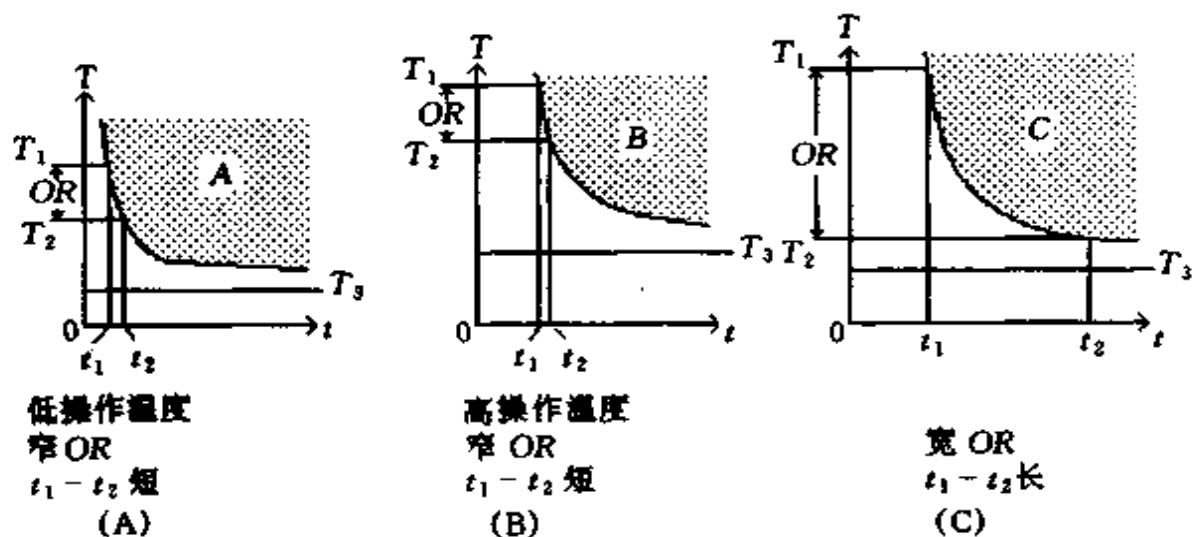


图 4-2 不同类型塑料的降解曲线

(A) 高热敏感性；(B) 热敏性；(C) 对热不太敏感

所给曲线仅是一种图解说明。对每一塑料的近似曲线皆可从塑料供应商那里获得。模具设计者必须明白时间与温度间的这种关系，因

为它影响着流道系统的设计，假如使用热流道，它也会影响热流道的设计和制造，同时它也会影响模具材料（钢）的选择，如在塑料中有腐蚀介质出现时。

一些材料，典型的如聚甲醛，在加热超过它的上界温度和相应的安全时间后，即使是加热很短的时间，它也会放出有毒的气体，尽管这种材料在开始时并没有明显的降解现象。其他材料会放出高腐蚀性的气体，就需要选择特殊的模具材料或表面精整方法。

所有材料当颜色变化为黄或褐色时，显示降解。降解的最终形式是塑料发生焦化（碳化）和变黑。所有的制品那怕只含有一小部分焦化材料也要被去除，这不仅是因为制品外观难看（条纹等），而且因为制品的物理性能已经丧失，将表现不出所期望的性能。

4.3 预期模塑周期

预算员和模具设计者应该明白预期模塑周期，这有以下几个原因，制造模塑周期尽可能短的模具是值得做的，但只有付出一定的成本才可能实现。增加顶出部件，采用特殊的冷却方法、特殊的模具材料、润滑等，肯定会增加模具成本。

模具设计者（和预算员）应该询问所要求的或推荐的模塑周期。尽管顾客（模塑工）可能具有判断预期周期的经验，但用模具制造商和模具设计者的经验进行一下双重检验是不会有坏处的。很少有两副模具如此相似，以致从一模具能推测到另一模具的模塑周期的情况。塑料、壁厚、脱模角、浇口方法的不同以及其他因素都可能对模塑周期有很大影响。

模具设计者在设计之初，通过询问订单规定的模塑周期，特别是在包含有特殊性能要求的情况下，可以适当地避免出现亏本危险，这是一个重要方面。

4.4 考察制品

模具设计者的第一项任务就是要熟悉所要生产的制品。考察制品的步骤在下面给出。

4.4.1 检查制品图

4.4.1.1 清晰度

是不是所有的必需的视图、剖面图、剖面线已全部绘出？就这方面工作而言，要求全部尺寸都能给出并且正确几乎是不可能的。经常，非常熟悉制品的制品设计者往往忘记模具设计者并不知道制品的情况。因而可能会作一些简化，这样可能在制品图的解释上引起错误。

4.4.1.2 投影

制品图是采用第一角（欧洲式）或第三角（美国式）投影？这是一个很普遍的错误源，且只有设计进行了一段时间后才可能发现，这往往生产出所要求形状的镜像制品。

一些绘图员，为了节省时间，不愿重画与主视图相互关系上不恰当的视图或剖面图，或者为了节省图纸上的空间，常用一个箭头来标示视图的方向，全然不顾使用的是什么样的投影系统，对这样由箭头指示的视图，要进行严格检查，以避免接下来的机加工错误。

4.4.1.3 公差

这可能是模具设计开始前要进行检查的最重要的方面。预算员在模具报价时就应该检查和询问公差情况。

与订单一起提供的最终图纸要与用于报价的制品图相比较，以保证没出现任何变化。经常地，用于报价的图纸仅仅是初期的、不完备的，公差不一定会给出。

因为模具零件的机加工成本的大部分与公差的松紧度有关，报价所确定关键的公差，重要的不是要求配合更紧。如果情况确实如此，并且新的公差将影响模具成本，模具设计者必须立即与顾客进行商量，或将公差改回到报价的情况或重签新报价合同。

制品设计者经常在制品上设置对制品功能不必要的精密公差，尽管一些地方使用紧公差可能是合理的，但许多地方却不是这样。而且，通用公差也可能被定得不必要的紧。尽管这可能需要多做一些工作和得到制品设计者的理解，但正确的做法应该是给出一个相当大的通用公差，只在制品功能需要或需要与另一制品匹配的地方，才将尺寸公差收紧。

注意，通过简单模塑保持紧公差常是不可能的，因为塑料具有很宽的收缩范围。如果这种精密公差是完全必须的，就要选择合适的尺寸段而对公差范围之外的模塑制品进行处理。这是一种相当昂贵的生产方法。要得到有关塑料收缩率和公差的更多信息，可参看第八章和第九章。

往往很容易将模具钢加工到精密的公差范围内。但这不意味着每件制品都可在公差以内。有多种方法可用来表明，在尺寸增加时，公差也会相应增加。

制品的公差可用尺寸的百分比给出。举个例子，一通用公差可能为每 $10\text{mm} \pm 0.05\text{mm}$ 。对于较小尺寸要降低公差，对较大尺寸将增大公差。但必须为小尺寸设一个合理的最小公差，以避免它们被过度地限制，以致于很难生产。

不管指定的是何种方法，设计者都要保证制品图上所示的公差是有意义的，可以达到的。模具设计者不能忘记尺寸也依赖于操作温度。在一些情况下，制品在模塑后数小时甚至数天内都会一直收缩。对一些关键尺寸和一定的材料，必须事先弄清何时和在何种情况下进行制品的测量。

在模具设计前的公差考察可以避免后来的争论。如果规定的公差不合理，模具设计者必须与顾客进行讨论并得到一个书面的准许，这样模具制造商对超出（不合理的）规定公差的模塑制品的尺寸就可不负有责任。

4.4.1.4 制品用途

制品用在何处、怎样使用，这个问题并不是出于无聊的好奇，它会给模具设计者提供有关制品的一些方面和关键领域的一些重要信息，如与其他制品的配合，表面精整要求，物理强度，浇口位置，顶杆等。设计者可能就会提出一些改动建议，特别是在脆弱的模芯或薄筋区域，不仅是为了模具的更易制造，同时也是为了延长模具的寿命，改善它的服务性能。

搞清楚制品可以节省不必要抛光的原因，就会指示设计者哪些地方使用时公差较松，哪些地方需要用尖边来替代规定的圆边或用圆边

替代给定的尖边（典型例子见图 4-3）。



图 4-3 改进制品壁设计的典型例子

在设计开始时，能正当地提出一些改善塑料充模路径的建议，可能仅需要在制品形状上进行小的改动，就可带来更快的充模（和模塑）速度，这样的例子如图 4-4 所示。



图 4-4 塑料流动路径的典型改进

这里所要求的改动不仅使模具制造商而且也使模塑工获益。在明白制品的目的后，同顾客讨论在模具设计中的这些改动的建议将是模具设计者的责任，顾客将是这些改动的最大受益者。

顾客也要明白模具制造商（和设计者）往往在要讨论的领域中有着独特的经验。仅为了节省模具制造的费用，他们不会要求进行改动，而是希望从他们早期制造的模具生产相似制品所获得的经验中，给顾客某些忠告。

其他典型的但又很让人不快的结构（与其说是针对模具制造，不如说是针对模塑的）是壁厚上的剧烈变化和长的窄通道末端存在着厚壁。制品设计师可能不清楚这些不利于模塑的情况，这些情况影响着模腔充填，使制品上产生凹陷。要解决这些流动不良的情况，就需要更高的注射温度和（或）压力，以及更长的保持时间，因而延长了模

塑周期。

有时用芯部去除或改变位置的办法对制品的厚壁和凸台进行重新设计，这样可获得更加均匀的壁厚，并且可向厚壁内部提供冷却，使冷却更快。通常是由制品的最厚部分和它的冷却来决定模塑周期和模具的生产率的。

总而言之，在很多方面有经验的模具设计师可以发现一些与模具质量、生产率、寿命和服务性能有关的改进方案，这些应该与制品设计师（或顾客）进行商讨。

4.4.1.5 图纸上的注释

仔细审查制品图上的注释，在图纸上作注释是一种很好的惯例，它可以将传统绘图方法难以表达的或即使能表达也会使视图杂乱的信息表示出来。这些注释可以加上一些有关公差、脱模角、表面精整要求、同心度配合要求及材料选择等信息。

要确信所给注释都是清晰和有意义的。忽略或误解一个注释会像忽略或误解一个尺寸那样严重。

注释可能显示制品早期设计到现在发生的变化，也可能会显示出制品上制品按设计师的要求发生过变动的地方。这暗示了将来还有可能的变动，对模具设计是有意义的。注释可能建议在一些地方设置镶件，而在此之前按模具制造商的观点会认为这是不必要的。

4.4.1.6 脱模角

要检查图纸脱模角。一般地说，只要表面粗糙度满足，每边采用大于 1° 的脱模斜角，使模塑件从模腔内拉出或顶出内筋是没有问题的。对小于 1° 的脱模斜角应该认真考虑。如果它们不合理，就应与客户协商，要求增加脱模斜角。尽管可使用侧位模芯，两级顶出或折叠模芯以零脱模斜角（或甚至用负斜度）来模塑侧边和加强筋，但这大大增加了模具的复杂性和成本。

薄壁制品通常更加精致并易受小锥度角的影响，它们需要较好的表面粗糙度，拉抛（沿模具运动方向抛光）和（或）在其他情况下不使用镶件的地方使用镶件。然而，使用镶件减少了获得最佳冷却效果的可能性。因而会影响模塑工首要关心的模塑周期。在很多情况下，仅

这一理由就可以说服客户将不足的脱模斜角放大。

计划用于模具的注塑机的刚度和条件也会影响最小的脱模斜角。如果压板开启运动不是完全笔直，不与制品中心线平行，在压板开启时，模芯或模腔板就会发生下沉。在开启行程中，会在模塑制品（模芯与模腔间）支撑两半模的地方出现拉拽痕迹。如果注塑机的固定不能保证模具一直处于它的中心线上，作为模具一部分的附加支承就应要求被加上，因此将增加模具成本。

如果要求深而薄的加强筋且每边脱模斜角小，就必须使用特殊顶出部件。顶出销仍然在模芯并要一直处于加强筋的底部，以保证加强筋不发生破裂。为提高效率，顶出销与加强筋接触的部位可做成窄平截面，但它的生产和维修费用较高。

圆销（直径与加强筋宽度相等）通常很小且脆弱，要使用直径比加强筋宽度大的圆销，模具设计师需要得到制品设计师的特许，因为顶出销的轨迹将会给加强筋带来加粗的圆形（图 4-5）。

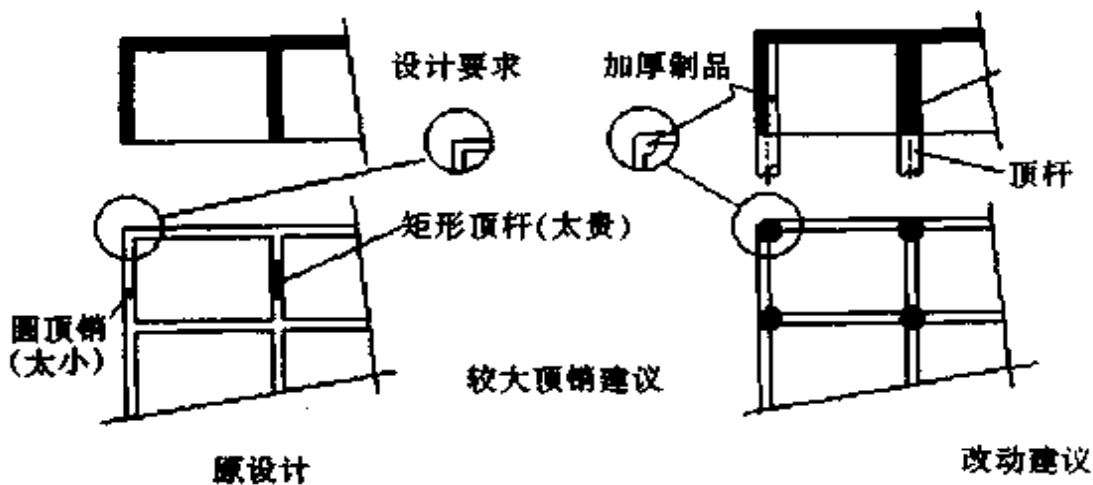


图 4-5 两份图显示

（左图）最初设计，其上顶出销太小；（右图）修改后的设计，是改善制品的一种修改

有关模具设计中脱模斜角的顶出要素的进一步讨论，可参见 12 章。

注意，前面所述只是模具设计师向制品设计师或客户提出要求的一个例子。制品的每一设计特征，在开始设计前，都要进行仔细考察。

模具设计人员在提出任何建议前必须充分了解制品。不要提可能影响制品性能、强度或安全性的建议，尽管这意味着会给模具加工或

模塑工作带来更大的困难或更高的成本。

任何因更改达成的协议都要书面记录下来。至少在已公开的制品图上明显标出的更改都要签字，并注上日期。

图纸的考察一般可很快完成，在很多情况下，仔细审查一副图甚至用不了一个小时，但在所有的努力中，最好先花些时间看看你在开始正式工作前打算了解的一些方面。

4.4.1.7 谁对收缩率负责

在确定制品图和模塑材料的时候，必须清楚规定谁将承担选择适当的收缩率的责任。有时由客户承担这种责任，规定推荐的收缩率。即除提供制品尺寸外还提供全部关键的模具（钢）尺寸。这往往是客户在试验的或早期生产的模具中用过与此类似的模腔。

同时，也要明确的另一点是这一次模具是否用不同的原料生产，如是，可能有不同的收缩系数。如果模具是用来模塑收缩率为 0.6% 的聚苯乙烯（PS）的，它很可能也会被用来模塑收缩率为 1.5% 的聚丙烯（PP）。但由于收缩系数较大，所以制品将会较小。弄清楚模具将要模塑的原料肯定是有用的，因为它会影响模塑表面粗糙度的选择。

在开始进行模具方案设计前，弄明白图纸和技术规范上所有不确定的地方是很重要的。很少有什么事情像获得“完美”的模具设计那样容易受挫折。如果选择错了收缩余量，就会发现想改变一些关键尺寸或部件是很困难的，甚至几乎是不可能的。

要得到更多的相关讨论，可参见 3.1 节，第八章和第九章。

4.4.2 从一个制品或模型开始工作

一般是不可能从一个样品或模型开始工作的。然而，在很多情况下，客户没有设备来绘出正确的图纸，对模具设计师来说，它必须从制品设计图开始。

设计师要对制品进行考察，并根据客户提供的所有必需信息绘制出制品图。这样做有好处，因为模具设计师可以规定 4.4.1 节所讨论的所有要点。使模具设计既适于模塑，又利于模具加工。但在模具设计工作前，让客户同意这些要点，并以签名的方式接受制品图是绝对必要的。同时客户必须使模具设计师和模具制造商免于由于如此设计

制品而侵犯他人权利造成的法律责任。

4.5 为预算员和设计师设计的典型的检验清单

下面是本章前面所述的问题和考虑的提要，这是模具制造商所用的正规检验清单的基础，可根据个别要求和优先权加以变动。

4.5.1 注塑机技术规范

模具安装数据

拉杆间距：水平_____ 垂直_____

拉杆尺寸：_____ 拉杆能否被拉出？_____

压板规格：_____ 定位圈直径_____

螺栓孔布置样式：SPI 式？_____ 欧洲式？_____

专用安装工具：_____

专用顶杆：_____

注塑机注嘴数据

形状：扁平_____ 圆形_____ 半径_____

注嘴孔：_____

注嘴长度：_____

流量控制方式：敞开_____ 针销_____ 其他_____

注射装置

注射量：_____ 注射速度：_____

可能的速度分布曲线？_____

可能的压力分布曲线_____

滑座行程_____ 生产率_____

合模

合模力：_____

闭合高度：最小_____ 最大_____

压板厚度：_____

行程：最大_____ 最小_____

行程限制器：_____

顶出行程：_____ 顶出力：_____

注塑机上模具的冷却（或加热）

有效压力：_____ 有效流量：_____

压缩空气和液压功能

空气系统的压力：_____ 液压系统的压力：_____

模具热量控制？：_____

自动？：_____ 被控制段的数目？：_____

人工？：_____ 被控制段的数目？：_____

不同段的电流额定值：_____

电压：_____ 引线类型：北美式？：_____ 其他？：_____

制品如何移出？

人工_____ 自由下落_____ 斜槽_____ 输送机_____

引出装置_____ 何种方式？：_____

有其他方法？：_____

4.5.2 制品、制品图和生产技术规范

生产批量：_____

估计模塑周期：_____

制图清晰否？：_____ 投影：第一角_____ 第三角_____

公差：_____

图纸上有注释否？_____ 脱模斜角：_____

制品用在何处，如何使用？_____

模塑原料：_____ 仅一种类型吗？_____

收缩率：_____

流道系统

冷流道：_____

二板式_____ 三板式_____

隧道式浇口_____ 边缘浇口_____ 其他_____

热流道_____

中心浇口_____ 边缘浇口_____ 阀式浇口_____

复式浇口_____ 内浇口_____ 外浇口_____

冷热混合流道：_____

外观_____ 浇口位置_____

流动路径_____ 熔合线_____

顶出

顶杆_____ 全部脱模圈_____ 局部脱模圈_____

脱模杆_____ 没有任何东西_____

仅用压缩空气_____ 压缩空气与机械并用_____

人工_____ 自动_____

侧型模芯_____ 折叠模芯_____

深槽吗？_____ 旋出螺丝吗？_____

外观：_____ 有顶出痕迹吗？_____

表面精整

抛光技术规范：_____

织构_____ 雕刻_____

制品有凸起吗？_____ 有凹陷吗？_____

艺术作品

提供艺术作品吗？_____ 用什么方法？_____

艺术作品的式样能满足商店的需要吗？_____

对作品的放大率_____

模腔编号

要求的识别标志：_____

尺寸：_____ 高度：_____ 位置：_____

只要上面所列问题在工作开始之前能回答完，接下来的设计工作将会进展得很顺利。如果以后因为一些未回答的问题而将设计停下来，这种耽搁的代价就相当昂贵了。在能继续进行设计前，宝贵的时间就在与客户的这种后期交流中浪费了。

最糟糕的情况是设计师明知道数据或信息不足，依然进行设计，结果造成不得不丢弃大量已进行的设计工作，这可能是在设计阶段中成本超标的主要原因。

第五章 塑料鉴别

见到塑料制品时，经常遇到如何鉴别塑料类型的问题，例如，在没有其他有用信息的情况下对塑料进行鉴别。下面所述的方法并不完全科学，但通常可用简单的方法得到快速解答。

5.1 塑料类型的鉴别

需注意的是图 5-1 和表 5-1 均引自 1961 年出版的《加拿大塑料杂志》中的一篇文章。除了一些新型的工程塑料外，变化很少，列出的鉴别方法仍然有效。

如果出现疑问，或者鉴别的结果很重要，那么唯一的鉴别未知材料的科学方法是化学分析和实验。材料供应商或独立的实验室通常能提供鉴别结果，但得到答案所需的时间可能是几个星期。

使用下列表格时，要考虑以下几点。

①嗅气体时应尽量小心；来自氟树脂和氟橡胶的气体有毒，且一些是致命的。

②进行燃烧实验前，应当将铜导线上的塑料分开。和金属大量接触的塑料的性能及自熄灭性可能发生改变，和正常状态下不一样。

③带氯的塑料和橡胶可用以下方式鉴别：在火焰中对铜丝加热直到火焰的焰色稳定。然后将待鉴别的塑料与热铜丝接触并将其放回到火焰中，出现鲜绿色表明材料含氯。8, 29, 30, 31, 35 和 37 号塑料将会出现鲜绿色。氯化石蜡有时和可燃性塑料混合在一起，使其具有自熄灭性质。这样的塑料燃烧时也会出现绿色。

④通常，热塑性塑料可以与热固性塑料区分开，前者在火焰中通常熔化，滴落和（或）出现气泡。热固性塑料将出现烧焦，爆裂和褪色。

⑤第 3, 4, 5, 6, 11, 14, 21, 23, 26, 29 和 30 号塑料具有水状透明度。

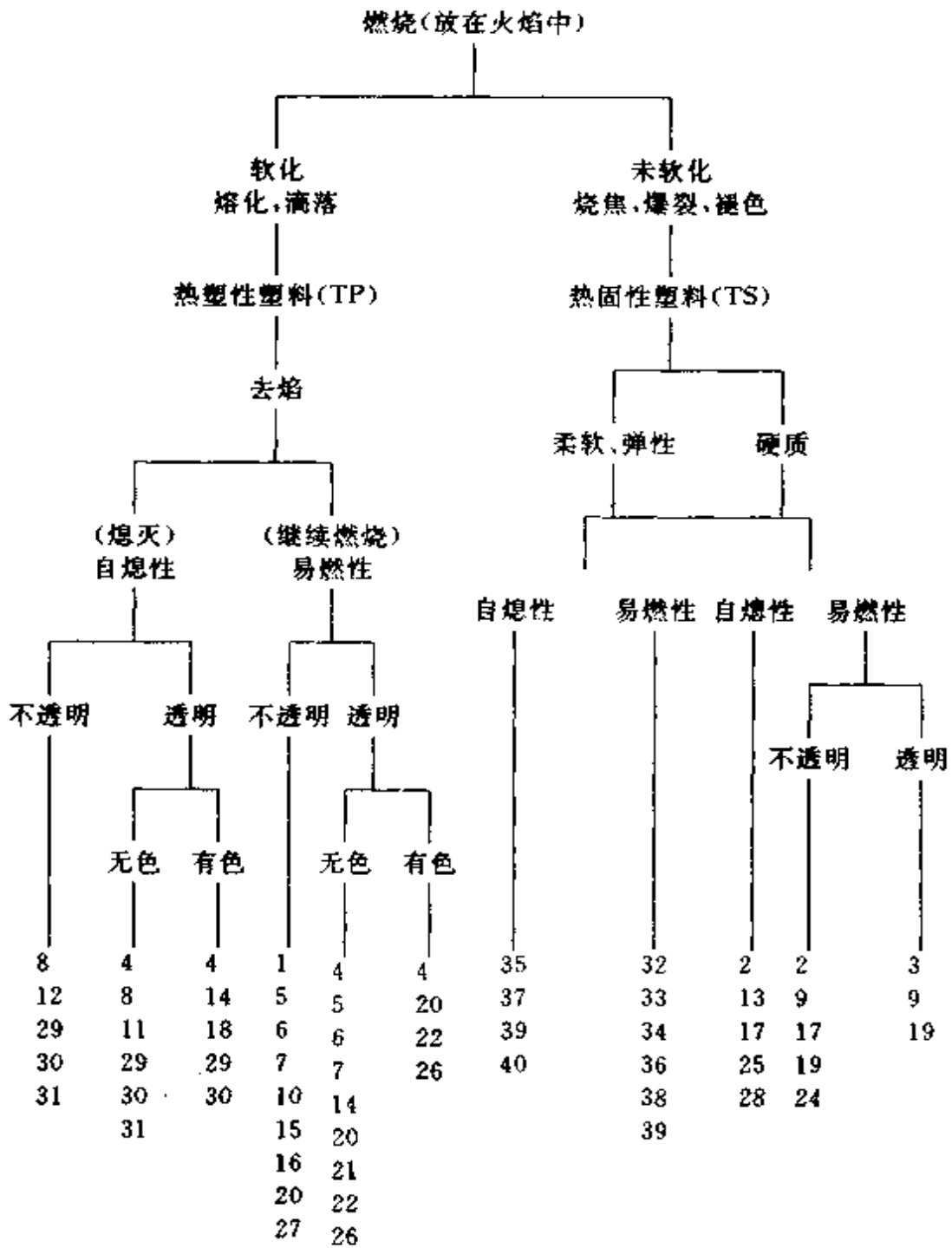


图 5-1 塑料鉴别图

注：1. 塑料编号与表 5-1 所列的塑料类型编号对应；
 2. 颜色中包括白色，透明度与半透明度与厚度有关，聚氨酯橡胶，即使是热塑性弹性体 (TS)，也在火焰中熔化

表 5-1 塑料类型的鉴别

| 类别 | 可燃性 | 自熄性 | 火焰特征 | 火焰气味 | 塑料形态 | 备注 |
|------------------------------------|------|---------------|------------------------|-----------------|--------------|---------------------------------|
| 1. 聚甲醛 T. P. | 中等 | 无 | 纯蓝色, 无炭黑 | 非常刺激的 甲醛 | 熔化、变黑 | 不溶于普通 溶剂 |
| 2. 醇酸树脂 T. S. | 中等 | 无(电力成 型时有) | | | 褪色、烧焦、 爆裂 | 不溶于普通 溶剂 |
| 3. 烯丙基 T. S. | 中等 | 无 | 黄色, 无烟、 火星 | | 燃烧处褐色、 气泡 | 不溶于普通 溶剂 |
| 4. 乙酸纤维 素 T. P. | 易 | 无(高度醋 化时有) | DK, 黄色, 有 些黑烟 | 刺激的醋酸 味 | 熔化且滴落 | 不溶于四氯化 碳和甲苯、 溶于丙酮 |
| 5. 乙酸丁酸 纤维素盐 T. P. | 易 | 无 | DK, 黄色带 蓝边, 有些 烟 | 恶臭味, 干酪 或黄油味 | 熔化且滴落 | 与 4 同 |
| 6. 丙酸纤维 素 T. P. | 易 | 无 | DK, 黄色, 有 些烟 | 刺激的丙炔 酸 | 熔化且滴落 | 与 4 同 |
| 7. 硝酸纤维 素 T. P. | 极易 | 无 | 黄色 | 樟脑味 | 剧烈燃烧 | 与 4 同 |
| 8. 氯化聚醚 T. P. | 中等 | 有 | 明亮, 中心带 绿的黄色 | 防腐剂味, 像 三碘甲烷 | 熔化且变黑 | 不溶于普通 溶剂 |
| 9. 环氧物 T. S. | 易 | 无 | 黄色带烟 | 舒适, 像烧焦 的面粉味 | 变黑, 变软 | |
| 10. 乙基纤 维素 T. P. | 易 | 无 | 黄色带蓝边 | 带甜味 | 熔化且滴落 | 溶于丙酮, 四 氯化碳及 甲苯 |
| 11. 氟烃: 单 氟乙烯 T. P. | 难 | 有 | | 刺鼻, 刺激的 溴气体 | 熔化且烧焦 | 不溶于溶剂 |
| 12. 聚四氟乙 烯 T. P. | 不能燃烧 | 有 | 无火焰 | | 变透明呈胶 状物 | 不溶于溶剂 |
| 13. 三聚氰 胺 T. S. | 难 | | 黄色 | 刺激的甲醛 味 | 褪色、烧焦、 爆裂 | 不溶于普通 溶剂 |
| 14. 甲基丙 烯酸甲 酯 T. P. | 易 | 无 | 顶端黄色的 蓝色火焰, 轻微炭黑 | 果味 | 熔化, 起泡 | 溶于乙烯二 氯化物 |
| 15. 甲基(α) 苯乙烯 T. P. | 中等 | 无 | 黄色, 带烟灰 | | 熔化, 变成褐 色 | |
| 16. 尼龙 T. P. | 中等 | 变化 | 顶端黄色的 蓝色焰 | 芹菜味 | 熔化且起泡 沫 | 不溶于普通 溶剂, 溶于 (苯)酚和 浓硫酸 |

续表

| 类别 | 可燃性 | 自熄性 | 火焰特征 | 火焰气味 | 塑料形态 | 备注 |
|---------------------|-----|----------------|---------------|------------|------------|---------------------|
| 17. 酚醛塑料 T.S. | 中等 | 大多数时有 | 黄色带黑烟 | 苯酚味 | 烧焦, 爆裂 | 不溶于普通溶剂 |
| 18. 聚碳酸酯 T.P. | 难 | 有 | 黄色, 带烟 | 舒适, 轻微酚醛味 | 软化, 起泡带炭黑 | 溶于甲基二氯化物, 不溶于脂肪族的溶剂 |
| 19. 聚酯 T.S. | 易 | 无 | 黄色带黑烟 | 强烈的苯乙烯味 | 变黑 | |
| 20. 聚乙烯 T.P. | 易 | 无 | 顶端黄色的蓝色焰 | 像石蜡味 | 熔化, 起泡 | 浮在水上, 不溶于普通溶剂 |
| 21. 聚对苯二甲酸乙二醇酯 T.P. | 中等 | 无 | 黄色, 少量烟 | 舒适, 说不清的香气 | 熔化, 变黑 | 不溶于普通溶剂 |
| 22. 聚丙烯 T.P. | 易 | 无 | 顶端黄色的蓝色焰 | 像石蜡味 | 熔化 | 浮在水上, 不溶于普通溶剂 |
| 23. 聚苯乙烯 T.P. | 易 | 无 | 黄色, 浓黑烟, 大量烟灰 | 压抑的花香味 | 熔化, 起泡 | 溶于苯, 四氯化碳, 丙酮 |
| 24. 聚氨酯 T.S. | 通常易 | 通常无, 但可用一定方式获得 | | | | |
| 25. 硅树脂 T.S. | 难 | 有 | 无焰, 白烟 | 强刺激性 | 变黑 | 不溶于普通溶剂 |
| 26. 苯乙烯-丙烯腈 T.P. | 易 | 无 | 黄色, 带烟 | 微弱苯味 | 软化, 起泡并变黑 | 不溶于普通溶剂 |
| 27. 丁苯 T.P. | 易 | 无 | 黄色, 带烟 | 强苯味 | 熔化, 起泡 | |
| 28. 脲醛 T.S. | 难 | 有 | 黄色带蓝绿边 | 鱼腥味 | 膨胀, 爆裂, 褪色 | 不溶于普通溶剂 |
| 29. 未塑化聚氯乙烯 T.P. | 中等 | 有 | 黄色 | 辛辣味 | 软化且变黑 | 溶于四氢呋喃 |
| 30. 塑化聚氯乙烯 T.P. | 中等 | 有 | 黄色带烟 | 辛辣味, 石蜡味 | 熔化, 滴落 | 和未塑化的相同 |

续表

| 类别 | 可燃性 | 自熄性 | 火焰特征 | 火焰气味 | 塑料形态 | 备注 |
|---------------------|-----|-------|-----------------|-------|----------|---------|
| 31. 偏二氯乙烯 T. P. | 很难 | 有 | 黄绿色 | | 熔化 | 不溶于普通溶剂 |
| 弹 性 体 | | | | | | |
| 32. 丁二烯-丙烯腈 | 易 | 无 | | | | |
| 33. 苯乙烯 | 易 | 无 | 黄色带烟 | 橡胶味 | | |
| 34. 异丁橡胶 | 易 | 无 | 黄色无烟 | 橡胶味 | 烧焦变白 | |
| 35. 氯-磺化聚乙烯 | 中等 | 有, 缓慢 | 带烟灰, 顶端黄色, 中心绿色 | | 烧焦 | |
| 36. 天然橡胶 | 易 | 无 | 黄色、带烟 | 橡胶味 | | |
| 37. 聚氯丁二烯 | 中等 | 有缓慢 | 黄色、烟灰很多 | 刺激性酸味 | 烧焦 | |
| 38. 多硫化物 | 易 | 无 | 蓝色、无烟 | 腐臭味 | | |
| 39. 聚氨酯 聚酯 聚醚 | 中等 | 有 | 黄色、带烟 | | 熔化、滴落和变黑 | |
| | 易 | 无 | 黄、蓝色无烟 | | 变黑, 烧焦 | |
| 40. 有机硅 | 中等 | 缓慢 | 黄色、白烟 | 无橡胶味 | 留下白色灰烬 | |

注: T. P. — 热塑性塑料; T. S. — 热塑性弹性体。

第二部分 模具设计的一般指导原则

第六章 模具设计方案

6.1 模具设计规则

下述模具设计规则适用于常用的各类模具，其内容实质上是对模具设计思路的分析。一个有经验的设计人员将会很自然地遵循所述的各个步骤，并似乎在无意识的情况下就会作出各种决策。

对于没有经验的设计人员来说，下述内容会有助于理清思路，以作出合理的决策。

6.1.1 设计之前

在设计之前，必须具备以下各方面资料。

- (1) 一个经确认数据详尽并有允许公差的制品图。
- (2) 成型材料及其收缩情况。
- (3) 注塑机参数。
- (4) 其他数据（通常由模具订购者提供）：

模腔数

流道系统的类型

制品脱模方法

注：有时用户只提出了产量要求，那么以上数据则需设计人员根据特定成型设备以及最佳生产率来确定。

- (5) 如有必要，设计人员还应具有对模具进行成本估算及价格测算的简要方法。

即使是有经验的设计人员也会忽视某些要点，甚至作出错误决策。因此，在一项设计工作真正开始之前，要与其他设计人员以及机制专

家进行几次会晤，其目的是一道研究这些决策。他们可能会有很重要的建议，能使该模具的设计成为最佳可能方案，这不仅是指易于加工和维护。

对于任何设计小组来说，可能每人都会提出一套不同的方案，而这些方案都是可行的。若要进行高效率生产加工，就必须使用已建立的厂定标准。但这并不意味着设计人员不能有新的想法，或者是这些新想法必须受制于所建立的设计标准。相反，如果设计人员有了一个很好的新想法，就应在“思想交流会”上向同事们以及与此项目相关的其他人员提出来，并加以解释，达到宣传的目的。这才是取得进步的最佳方法。

然而，多数情况下设计人员都必须接受厂定标准，并且必须将新想法同实际经验以及已获得良好应用的模具结构放在一起进行综合考虑。

6.1.2 首先要考虑的问题

所要进行的设计有没有先例？是不是全新的？这里“先例”指的是以前制造过类似制品的模具。新模具与先例相比，模腔数不一定相同，设计方案也不一定完全相似，但其模块结构以及注射和顶出方法却相同。

(1) 有先例 先例模具可能：

- ①生产完全相同制品；
- ②生产类似制品（仅在尺寸上有微小区别）；
- ③生产局部形状不同其他部分类似的制品；
- ④模腔数不同但模块结构相同。

弄清先例模具的使用情况（在调试中的情况以及后继实际生产中的情况）。此外，弄清其在制造过程是否有问题。如果答案是满意的，那就不必要进行重新设计，设计人员只需沿用原有的设计方案即可。

新模具可能需要用一些新标准（和（或）标准件），这些新标准是先例模具制造之后才制订的，这里一些旧标准件已不再使用。此外，还需检查一下先例模具文件，看看其所有的图纸是否已修改过——有时为了避免出现以前发生过的毛病，在模具制造时进行了修正，但图纸上并没有修改。

(2) 没有先例，或是先例不宜仿制 如果先例不宜仿制，首先要弄清问题所在。重新设计一副模具时必须弄清每一问题的原因。

对于没有经验的设计人员来说，应按照如下概述的逐步法进行设计，同时必须特别留意以前的模具设计、制造以及成型问题中有益的细节。即使是经验丰富的设计人员有时也会运用逐步法。一些有经验的设计人员或预算人员会按常规经历第一至十一步（通常不需要用绘图板或计算机）：

第一至十一步通常都是在绘有重要截面的制品图复印件上用铅笔草拟（徒手或用尺子）的。

对于简单制品，这一过程不会超过 1~2h；对于复杂制品，这一过程需一天或更长时间。

6.1.3 逐步设计——模具模块设计

第一步 绘制品图。

画一张制品的重要截面图。将截面图画在 CAD 屏幕上或图纸上，这样就有足够的空间来标明以下这些重要的模块要素：

制品形状；

顶出方法；

侧型芯（滑动件），若需要；

冷却；

浇口；

排气。

如果制品很简单（如圆形容器等），一个截面图就足够了。若制品比较复杂，就需要多画几个截面图，以显示出多种可能出现的问题，特别是与形状、浇口、顶出有关的问题。截面图有两个可能取向。

(1) 所画截面图使注射侧位于视图右边，而顶出从左边向右边进行，如图 6-1 (A)。这是一个较受欢迎的方法，因为其与模具在注塑机中的安装取向是一致的。

(2) 在早期设计中，注射侧位于视图上方，而顶出是从底部向上进行的，如图 6-1 (B)。这在画较小的模具时仍是很有用的。这样在一张图上就可能画出所有的视图。

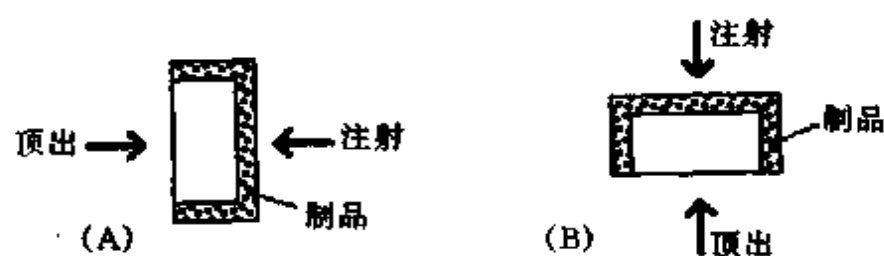


图 6-1 制品图的两可能取向

(A) 最佳取向；(B) 早先的设计

第二步 制品能否从模腔中拉出？

若能拉出，则进行第三步。

若不能拉出，能否偏转制品（截面）使制品在不用侧型芯时也可拉出，如图 6-2 (B)？这就需要一条“角度”分型面 (P/L)，但模具总成本可能要比用侧型芯时低得多，因为用侧型芯不仅增加了模具结构的复杂程度，而且需要更大的空间，并且可能需要更大的模套。如果这种情况，如图 6-2 (B) 可行，重新绘制截面图，再进行第三步。

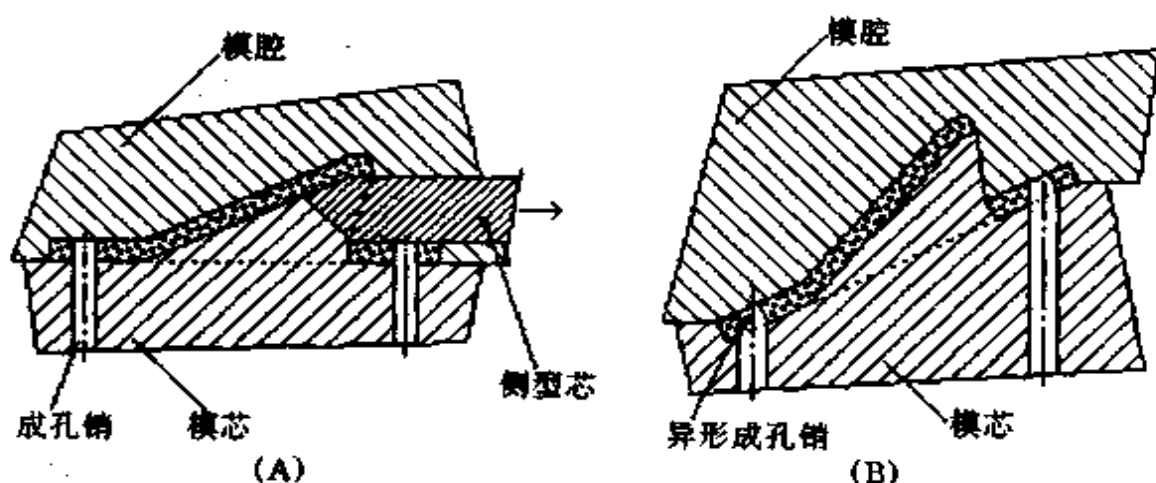


图 6-2 有开口制品的模具的例子

(A) 成孔销和侧型芯；(B) 异形成孔销

若不能按上述方法偏转制品，那么就需要用侧型芯或将模具分瓣。接下来，设计人员就需要决定在模具的哪一侧安置这些部件。

①侧型芯位于模腔侧面 在开模之前侧型芯必须抽出来。这是最起码的要求，因为在模具运行中侧型芯必须由液压型芯抽出器（带有管路和控制元件）进行独立操作，或是要求在侧型芯取出的同时，模

腔跟着模芯一起动作。比如需要在制品侧壁远离分型面处开一个（或多个）孔的情况（例如在桶的侧面装把手的孔）。

对于低产率模具（如试验模具），亦或是要对制品进行后加工的高产率模具来说，还有另一种可取的办法。设计人员可权衡，并与用户商讨，成型之后在制品的侧壁上采用钻削或冲压打孔或开口（用一台同步设备另行操作完成）是不是更经济。这样做可能不会增加制品的人工成本，反而能使模具结构更简单，制造和维护成本更低。

上述选择方案编制预算时就应告诉用户。但某些事情并不总是在一开始就很明确，只有在此项工作中投入较多时间的设计人员才会明了。不管顺序如何，如果此项建议对用户行得通并且可能为用户节约经费，那么就值得商讨。

②侧型芯或分瓣位于模芯侧面（通常在动半模上） 在开模过程中，当模芯（带有制品）从模腔中抽出时，模瓣（或侧型芯）打开。典型的例子有外螺纹或靠近分型面的侧孔。

③制品的倒陷（空底） 如果倒陷侧面脱模斜度较大，或者高/厚比小于1:1，执行第三步。如果脱模斜度很小（每面都小于 5° ）并且高/厚比较大，模腔就必须进行两步运动（活动模腔）让薄截面抽出，这一内容的深入讨论请见第十二章。

第三步 制品能从模芯上脱下吗？

若能脱下，进行第四步。

若不能脱下，请考虑如下的选择方案：脱模、二级脱模、内螺纹旋出，活动模芯，或内部侧型芯。

①（强制）脱模 这是指将塑料制品从防止其从模芯上很容易地脱下的槽（或螺纹）中推顶出来。这种方法很常用，但要取决于以下几方面。

a. 槽的形状（设计），所设计的形状必须保证制品可以从槽中滑脱并且不造成塑料制品的变形或剪切。

b. 塑料的类型 只有那些稍有弹性的材料才能进行强制脱模，典型材料有PE和PP。有些情况下，即使像PS这样的硬质塑料也能进行强制脱模，但要求其在脱模过程中所造成的拉伸量应在冷态材料的弹

性限度以内，或者是制品在进行强制脱模时，塑料仍是温态的，仍易于拉伸而不产生永久变形。

②二级脱模 部分模芯相对于其余部分作移动（第一级），以使制品的倒陷部分（槽等）得以松开（否则这部分就会被夹在两块模芯之间）。这样制品就能被顶杆或脱模板顶出（第二级）这一内容的深入讨论请见第十二章。

③内螺纹的旋出 参见第 12.14 节。

④活动模芯 参见第 12.13 节。

⑤内部侧型芯。

上述③、④及⑤几条在本节中不作深入讨论。

第四步 确定分型面。

对大多数制品来说，其分型面都在很显而易见的部位（即在一个容器的缘口或在一个工业制品的基座面）。但是，在另一些制品中，分型面并不那么一目了然，而需进行大量周密的思考。

①顶出 这是在确定分型面时必须考虑的重要方面，所要确定的分型面必须保证制品留在模具上进行顶出操作的一边。

②贴合面，偏置分型面 如果在制品的侧面或内部有开口，且制品仍能拉出，这时模芯和模腔之间必须有一个贴合面。那么为了防止模腔和模芯（包括侧型芯和模瓣）间的贴合面产生相对滑动（金属对金属），该面应该有一个角度（图 6-3）。

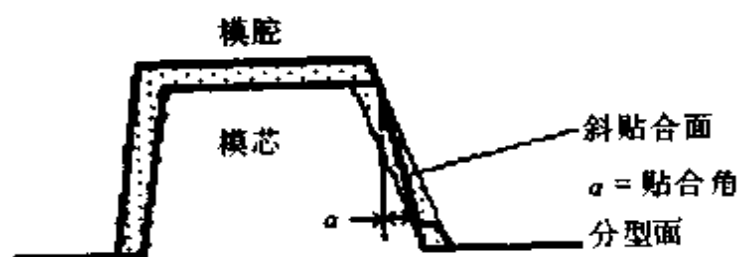


图 6-3 垂直的斜贴合面

这一角度有两个功用：一是防止溢料，因为竖直贴合面不能加预载；二是减少磨损。

③分型面的强度 在确定了初步分型面之后，就必须检验模腔和模芯接触区的强度。如果强度不足，就应增大接触面或增加支撑件以

分担部分合模力。

④模腔的破裂强度 此时必须对这一强度进行计算，以保证模腔壁不致发生破裂。此外，参见第二十二章。

⑤分型面的加工 应考虑如何加工分型面，使得配合面在作匹配时不会产生飞边。一般来说，分型面在模腔和模芯两边都要进行磨削加工。这样才能获得所需的合适的表面粗糙度，但这并不容易做到，因为通常至少是模芯某些部位是凸出于分型面之上的，并且磨床砂轮在磨削加工时必须避开这些部位。（在模腔一边，模腔本身通常都低于分型面的表面，这样分型面的磨削加工就相当容易了。）

●优选的设计方案应是分型面在一个平面上。这不仅易于进行磨削加工，并且成本最低。这也适用于分型面与模具运动方向成一角度的情况（图 6-4），只要磨削砂轮有足够的退刀空间即可。



图 6-4 分型面最好位于同一平面内，无论是水平的 (A) 还是与模具方向成一角度 (B)

●如果模芯凸出于分型面之上（图 6-5），这样一来在模芯一边的分型面磨削加工就比较困难，因为砂轮要避开凸出的模芯。如果整个模芯镶嵌于周围的分型面之内，那么分型面也易于磨削加工，但代价是必须有一个镶件（通常代价可观）。



图 6-5 模芯凸出于分型面之上，凸出的模芯 (A) 以及镶嵌的模芯 (B)

●当分型面是偏置时，磨削加工就更加困难了（图 6-6），这就要磨削加工两个或更多不同高度的配合面。此外如果部分模芯（或模腔）凸出于分型面之上，错综复杂，情况变得更糟。

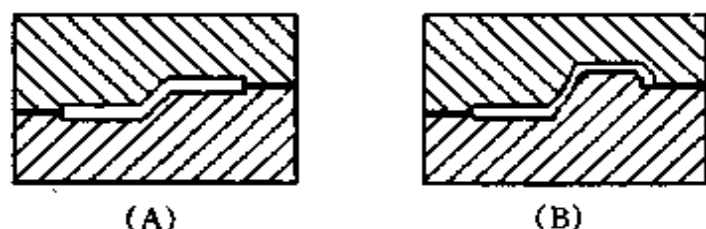


图 6-6 偏置分型面 (A) 以及凸出的偏置分型面 (B)

有时，对整个分型面进行磨削加工肯定是不可能的，那么只能手工磨合（手工研磨或涂蓝），或电火花加工，这两种加工方法的费用都很高。

第五步 制品平衡吗？

这种平衡设计是针对与模具中心线成直角的注射力。

是平衡的，则进行第六步。

不平衡，则参见第 6.2 节，可能需要用模楔来平衡这些力，或者设计成模块模具，在成型两件制品时使两边的力相对。

第六步 浇口。

通常，浇口设置的方法（热流道、冷流道、三板式、边缘式、隧道式等等）在模具设计的订单中已表明了。如果浇口不作规定，设计人员就可根据开浇口的方式和位置提出适当建议，在模具设计方案实施之前，应对这些提议进行仔细的讨论。

我们应假设所规定的浇口既适合于制品大小，又适合于所成型的材料。但在某些情况下，采用这种浇口可能是有风险的，设计人员或其他人员应指出采用这种特定形式或特定位置的浇口可能会导致的一些问题。

在有些情况下，用户会指定浇口位置（这一位置的浇口痕迹在制品上或许可以接受，但由于美观或技术原因却不能接受）。这一点也需要进行仔细研究。用户所提出的浇口位置对于制品外观来说可能是很

好的，但对于重要的成型条件（诸如充模、流痕、焊合缝、收缩等）来说可能很不合适。

如果设计人员面临这样一种局面——所指定的浇口位置对模具或制品的性能不利，或者这一位置使得模具严重复杂化了，那么在设计方案继续实施之前，这些问题就应与用户进行商讨。关于模具浇口更详细的讨论见第 6.2 和 6.3 节。

第七步 镶件和成孔销。

如果不将模具中的精巧小部件做成镶件，用一块模具材料直接加工出模腔或模芯实际上是行不通的。这对制品上有小而深的狭缝或孔洞的情况尤其如此。

制品开口部位与模具运动方向成直角时也需要用镶件，并且开口部位由（金属与金属接触的）贴合面形成，与图 6-3 所示的情况（开口部位在制品壁外侧）类似。在此情形下建议用镶件是因为贴合面可能会磨损。截面较薄的贴合面迟早都会磨坏和（或）断裂，因此需要能够很容易地更换这些部位的镶件。

设计人员初步设计时就要考虑并注明需要镶件的部位，并且绘出这些镶件的形状。

第八步 排气。

原则 1：排气要能保证远离浇口的各处实现预期的塑料流动。

原则 2：在所有凹槽（即不在直射塑料熔流上的任何区域）的闭端都要设计排气，以保证塑料熔流能完全充满模腔。如果这些凹槽（用来成型筋、凸起等）是由镶件形成的，在镶件装入模腔（或模芯）主体的地方就很容易加工出排气道。如果凹槽是在实体上加工出来的，那么在最深的部位就应设置排气销。值得注意的是，顶杆或顶套总是设置在（筋等的）最低点以便提供自然排气，因此通常不需另加排气销。

原则 3：在不造成溢料的情况下，排气孔应做得尽可能地大（这主要取决于所用的塑料）。

原则 4：由于料流容易通过较宽的壁腔或筋，因而料流从浇口进来能环绕模腔的某一部位流动，在这些部位必须设计排气。料流总是选择阻力最小的路径流动，不这样，这些部位会被淹没而将气体封在里

面。

原则 5: 在任何可能的地方都设置活动排气孔, 就是说在每次开模和合模时都要排气孔起作用。典型的活动排气孔有: 顶杆 (或顶套)、二步法顶出、活动模腔。如果这样不可能, 就设置固定排气销, 但在模具设计时必须保证这些排气销易于取出清理。

对固定排气销或缝加压, 以便每次开模时压缩空气都能从排气孔中吹过, 这在实际上是可行的。缺点是还需要另外开一条压缩空气的通道。有时让气压一直通着是可接受的, 这样在回路中就不需要用阀来控制。

在 (生产医药、食品等制品) 的模具中, 由于卫生的原因, 就不能使用可能接触制品的空气。

原则 6: 应考虑料流充满模具所需的注塑压力以及在注射过程中保持模具合紧所必须的合模力。承受这些力的模腔和模芯的接触区的模具材料 (钢材、铍铜合金等) 可能由于受压而产生永久变形, 而阻断排气。

原则 7: 每个排气孔都必须通到模具外面。如果做不到这一点, 那就要开设排气槽或排气道以让气体排出。

这种情况的一个例外就是当对排气孔加压时, 气体会排进引压缩空气进排气孔的排气道中 (见上述原则 5)。即使加压状态一直是开通的, 与注塑期间从模腔中逸出的气体压力相比还是较低的, 当然只要气体能从排气孔排出就可以了。

关于模具排气问题的深入讨论, 请参见第十一章。

第九步 顶出。

制品从模芯上顶出的方法在第三步就已确定。到这里, 设计人员就应详细地描绘出所选的顶出方法 (脱模板、顶杆、顶套、气动顶出阀、气隙等)。这些方法的详尽描述参见第十二章。

第十步 冷却。

设计人员必须确切注明模腔和模芯的冷却方式。此外, 如有可能, 也要注明与塑料接触的其他部件 (诸如浇口座、镶件、侧型芯、脱模圈等) 的冷却方式。切记模具就是一个热交换器, 冷却得愈好愈均匀,

模具的运作也就愈好愈快。通常一个很小的细节，如一块镶件不作冷却处理，就会大大降低生产效率。

避免任何一处冷却不良或避免存在不冷却区域（该处塑料会长时间保持热态）是模具设计优良的一个标志。当然，设计越难，制造成本也就越高，但从长远来看，这增加的成本可从模具生产率的提高中得到多倍的回报。

有关模具冷却的更深入讨论，请参见第十三章。

第十一步 定位。

如何将模腔和模芯、模芯和侧型芯等进行定位，来补偿制造误差、热膨胀、磨损等因素呢？可能的途径有以下两方面。

①由模套来定位模腔，典型的是使用导柱。这样做成本不高，但仅适用于在允许误差之内的有少量偏差（不可避免的）的制品（诸如玩具、螺帽等）。可能还要添加锥形锁来改善分型面的定位。

②模腔和模芯单独用锥销、模楔或销来各自定位。在与浮动模芯相连接时，这种方式在所有情况下定位效果都极佳，但制造费用要高得多。

第十二步 回顾至此所做的各项工作，并提出如下问题。

①这的确是最佳方案吗？还有哪些其他可能的方案？

对生产同一制品来说，一位优秀的设计人员总会发现有不同的方法，他很虚心，并且不一定选定脑海中出现的第一套方案。在继续设计之前，设计人员应尽力发掘更好的方法，即使这会使设计时间更长，也应如此。当你获得了生产率更高和（或）更易于制造的更好模具时，前期时间的“浪费”可能会导致很有价值的收获。

②对各种不同的部件需要什么材料呢？

值得注意的是，由于强度和热传导方面的问题，材料的选择会影响到模块的设计。

③模具大小合理吗？

这是指壁厚、锥销的配合长度、接触面等。

④一般来说，在继续进行后面各步的设计之前，应对到此为止所作的方案进一步推敲，而得出——实际采用的模具设计方案。

⑤确定模块最小的外形尺寸（平面图）。这对后面的设计（模套中模腔的设计）是很重要的。

6.1.4 逐步法设计——模套设计

在完成了第一至十二步之后，假定我们已得出了合理的模块设计。如果已经有一个先例，制品尺寸和形状完全相同或相似，仅模腔数不同，设计人员就可省去第一至十二步的工作。但尽管有这样一个先例，考虑到技术的飞速发展，也应仔细审查早期的设计，看是否有可能进行改进。以下各步是关于模套中模块的安置。

第十三步 画注塑机压板布置图。

将所有拉杆、安装孔或T形槽、顶杆孔以及模板边缘的尺寸和位置标注清楚。如果指定的注塑机不合适，应立即通知用户。（这里“标注清楚”指在计算机屏幕上或在绘图板上用图纸画出来。）

在极端的情况下，模腔的设计要求模具突出于压板之外。这是可接受的，但所有的模块必须位于拉杆之内。有些情况下，模具太大了，以致必须抽出一根（甚至两根）顶部拉杆才能安装模具。必须确认安装此模具的注塑机是否便于抽出拉杆（有的注塑机并不具备抽出拉杆安装模具的功能）。如果必须如此，在继续进行设计之前请与用户进行商讨。

第十四步 完成模具的“主视图”（断面图）。

标明模块左右所有需要的模板，并注明所设计的（足够的）厚度。此时，尚不必标明这些板的宽度和长度，这要再过几步确定。

第十五步 标明外形（模块外形）。

外形图仅标明模块各向的外形（外部）尺寸，这可简化其他标明模腔位置的模块图，同时也可节省设计时间。

第十六步 画出模腔和模芯的平面图。

标明模腔和模芯的外形尺寸。两个外形（模腔和模芯半模的外形）中的较大者将表明其他模块可能安放的位置，以便在他们之间留有足够的空间。所有的视图（模腔平面图、模芯平面图以及截面图）在同一时间内应基本上画好。这就可防止发生因未考虑其他的视图，而造成当该视图画得差不多了才发现是不合适的错误。

第十七步 对称设计。

尽量将所有的模块（外形）关于模具的竖直和水平中心线对称放置。这样才能均衡设置流道、均衡分布合模力。

这可能并非的最终位置。如果有顶杆和移动的成孔销，这些部件也必须标明，以帮助确定所需的顶板尺寸，同时防止冷却管路和气路相干涉。如果需要复位销，尽量选择相距较远的合适位置分开布置，但在这些位置冷却管路和气路不能和复位销相碰。

第十八步 汇审。

将所有能对模具设计提出建议的人员召集在一起，对到目前为止所做的工作进行审查，并对检验清单上的配合、间隙、运行等内容进行讨论。

第十九步 冷却管路。

标明冷却管路及其与模块中冷却管道的连接方式。并留出 O-型圈位置以及模腔和模芯模块部件的安装螺丝位置。尽可能采用交叉钻孔，而不要在模具外进行连接（只有那些运动的模块元件才需要用柔性连接）。

第二十步 定位及其他模具零件。

选择导柱的位置。尽可能将导柱置于模具的角上。如果模套尺寸有限（如由于注塑机尺寸的限制），导柱及导套可能要置于冷却管路上，于是只有将其置于管路之间。要确保导柱不阻碍制品顶出或引出等。

标出其他所需的零件，如复位弹簧、行程限制器、锥形锁扣、拉杆护罩、导柱护罩、模具支承件、连杆等等。

第二十一部 模具支承。

如需要的话，选择支柱的位置。详见第 17.2 节。

对于使用顶杆来说，这些支承件要置于模块之间，以使顶杆能置于模芯下面。对于脱模板和脱模圈来说，支承件置于模块的正下方以便更好地起到支承作用。

第二十二步 模具安装。

注明模具往注塑机压板上的安装方法。较常用的方法是用螺栓连接，可通过压板上的孔从压板的背面进行螺栓连接，亦可用螺孔或 T

型槽从正面连接。

应用模具压板并没有什么用，除非用户提出特殊要求或是要求模具适用于多种注塑机时才用模具压板。

(注：现在，可能还需要重新安置所有模块构件，以便与第十五至二十一步所介绍的某些部件能彼此协调好。)

第二十三步 用现行的模具设计方案重新检查注塑机性能指标。

闭模高度合适吗？如太大，则要减小某些模板的厚度。这可能需要对挠曲进行重新计算，同时也要重新计算需增加的支承件数量。如太低，则需要在模具下面添加垫板或选择更厚的模板。

第二十四步 最终确定模套的外形尺寸。

在不浪费材料的前提下，尽量选择现有的毛坯模板尺寸或市售的标准模板尺寸。

如果设计方案（到这一步）比最接近的毛坯尺寸稍大的话，尽量调整设计方案，使之能适用较小的尺寸。这比选择较大尺寸的毛坯，以致造成模具尺寸不必要地变大要好。这也比加工去除多余的材料要好。但千万别忘了，首要的要求是制造出尽可能好的模具，即使这会使模套尺寸更大甚至成本更高也在所不惜。

第二十五步 螺丝。

标明所有螺丝的位置。必须注意，在模块设计时所布置的安装螺丝，有时在某些位置可能会与冷却管路或气路相干涉，而需进行调整。调整时，只要能满足模具零件替换的基本要求就可以了。

另一方面，如果螺纹类型必须改变的话，则要保证在所有模块上都是同一类型。否则，如果一半设计成右旋螺纹，而另一半是左旋螺纹，那就麻烦了。这种情况下就要制备左旋或右旋备用件，这无论从模具制造还是从维护检修的观点来说都是不希望出现的。

第二十六步 完成装配图纸。

要保证所有的零件在视图中都已标明了，并且每一视图都包含了模具细部设计及制造所需的所有信息，这样细化人员、组装人员以及模具技工就能很明确地按图纸进行工作。细化人员必须画出制造模具零件所需的所有细节图纸。这意味着所有配合与间隙都必须明确地在

装配图上标出，并写出能对细化人员和组装人员完成任务有帮助的所有说明。

组装人员必须能达到完成模具组装所需的所有技术要求（螺丝拧紧扭矩、所需的调节量等）。最后，模具技工必须具有正确安装模具所需的信息。装配图纸还必须标明模具操作程序，包括周期图以及电路、冷却管路、气路示意图。不必每处都标出同一细节，一次在一处将一个细节（导柱、导套、螺丝、模楔等）标示清楚，其他各处只需标出其中心线（或是标出其轮廓）就足够了，同时用字母代号或数字（如 LP1、LPB1、S1、S2 等）标明该处中心线代表什么。这种简化方法能大大节约在图板上绘图的时间，但不能大量节约用 CAD 绘图的时间。然而，即使是用 CAD 绘图，使用这种简化也可避免由于累赘的细节而使图纸繁杂混乱（这使看图很困难）。

第二十七步 重审设计。

对设计进行重审，并在必要时对制造过程也进行重审。这次重审是推敲图纸以及在模具细部设计和开始制造之前更改设计的最后机会。

第二十八步 剖面图。

仅在有助于图纸表达清楚时，绘剖面图。

第二十九步 标注零件。

每个模具零部件都要用字母和（或）数字做上标号，并将零部件标号列成一表，称之为材料清单，用于购买模具所需的材料。

第三十步 填好标题栏并完成图纸。

在图纸上标明所有信息资料，包括下列各条：

- 比例；
- 模具材料、热处理以及表面精整处理；
- 如果需要，标注出使图纸更为明确的所有其他有关说明；
- 工时；
- 模具数量；
- 设计人员姓名；
- 审核人员姓名（注：审核自己的图纸是不良习惯。所有图纸都应

由有审核经验的人员来审核。不仅装配图纸应如此，细节图纸更应如此。一张错误的图纸，甚至只是一个错误的尺寸，都会付出很大的代价)；

- 图纸完成日期；
- 审核日期；
- 交付车间的日期。

6.2 模腔中水平方向力的平衡

在多数模具模块中，模腔内与开模方向垂直的力 F 是相互平衡的(图 6-7)。

但是，如果模腔一侧的投影面积比对侧的大，则在注射过程中模腔就有相对模芯而滑移开的倾向，其方向如图 6-8 中黑箭头所示。



图 6-7 模腔中平衡的水平力 F

如果这种分离力 F 较小，可由导柱来承担。但这除非在低生产率模具中应用，一般应尽量避免，因为这最终将会导致导柱和导套的过度磨损，并导致制品尺寸精度的丧失。

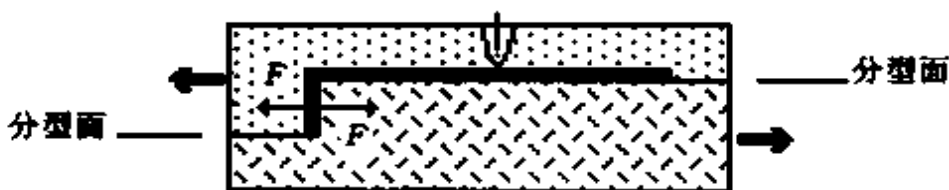


图 6-8 偏置分型面，力 F 不平衡

注：粗箭头表示在注射中模腔与模芯相对滑移的方向

这里推荐两种平衡的方法：一是使用模楔作为模腔/模芯模块的一部分；二是两个模腔对称取向，以使其分离力方向相反而平衡。

① 使用模楔作为模腔/模芯模块的一部分。在实际应用中，模腔和模芯中的模楔都应做成镶件(图 6-9)。这样，万一发生了磨损就便于更换，也便于在必要时对模腔和模芯之间的相对位置进行适当调整。

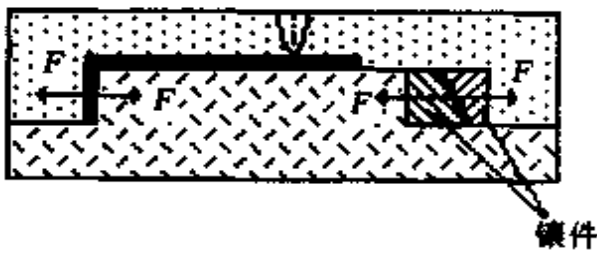


图 6-9 设置模楔后，力 F 得到了平衡
是所有侧型芯都必须由独立的模楔（千万不要用其驱动装置）将其定位以抵消力 F 。

②两个模腔对称布置，使得分离力方向相反。最简单的例子如图 6-10 所示。

模腔的取向也可颠倒过来。力 F 作用在模芯固定板上（图 6-11）。

如果需要侧型芯，则其必须用模楔定位（图 6-12）。值得注意的（千万不要用其驱动装置）将其定

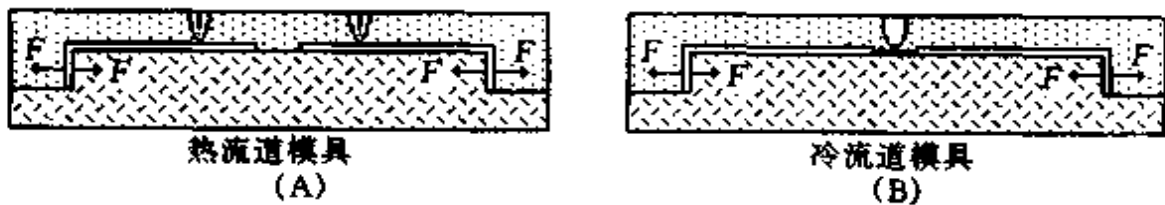


图 6-10 两个模腔相对布置从而获得力 F 的对称平衡

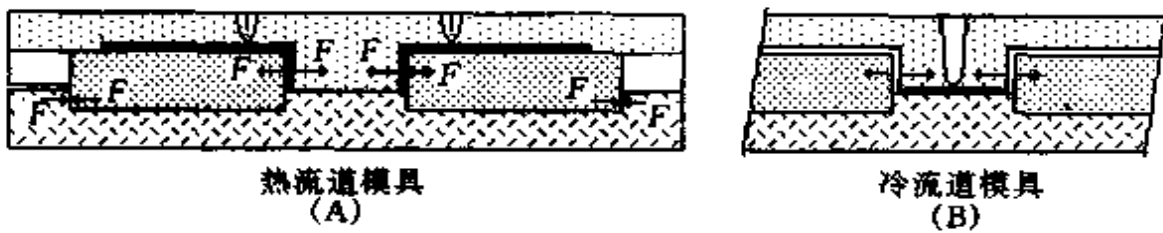


图 6-11 通过模腔取向，使用模芯固定板来取得力的平衡



图 6-12 采用模楔的侧型芯获得力平衡

在图 6-7 至 6-12 中，中心浇口位置已标出，这些浇口可能是三板式浇口也可能是热流道浇口。对于二板式模具来说，进入模腔的流道应置于分型面的水平面上，如图 6-10 (B) 和 6-11 (B)。

6.3 流道的平衡和模腔的布置

以下罗列出了在选择模腔设计方案时，以及在选择将塑料分配至各个浇口的流道尺寸时，所应考虑的基本方面。

6.3.1 流道的平衡

平衡即是保证流过多腔模具的每个浇口，并（或）经过每个浇口（如果不止一个浇口）进入每个模腔的塑料流量实际上是相等的。到达所有浇口的塑料应具有相同的压力和温度，这样一个模具生产的所有制品才会具有一致的性能。文中“实际上是相等的”意指在合理的限度以内。

要达到平衡，有好几条思路。多年来，人们都喜欢把从塑料入口处（注道）起始的所有流道，对称布置到达各个浇口。这对于某些设计来说是相当容易的（特别是模腔数较少的情况），但当模腔数很多时这样做就难以行通。另外，即使几何尺寸都是对称的，也可能难以实现理想的平衡流动，这是因为：

- ①流道中的塑料熔流在分配到分流道的每个分配点处都会发生变化，并且这取决于在变化点处塑料熔流改道的数量；
- ②熔体的流动取决于机加工的精度和流道的粗糙度；
- ③流道周围钢材的不均匀加热和冷却会造成流道内的温度差别；
- ④浇口存在制造公差；
- ⑤某些树脂的流动对方向改变十分敏感，通常在一个流道系统中绕几个弯就会造成不均匀流动，那么对于多腔模具来说要做出平衡流道实际上是不可能的；
- ⑥不均匀的排气会影响到模腔的充填；
- ⑦成型面的质量差别会影响流动；
- ⑧所谓的“塑料记忆”现象也会影响流道内的塑料流动。

注射速度是一个很重要的因素。在冷流道模具中，模具冷却的影

响会逐渐地缩小和限制通向流道的截面。在注射速度较低时应特别予以注意，这时塑料在流道中有更多的时间冷却。

尽管已用几何对称方法试图达到平衡，但在试模后，必须通过增大某些浇口尺寸和（或）流道尺寸来对模具进行修正，以补偿出自不同模腔制品间的差异。在这种情况下，“真正”平衡的概念已被忽略了，事实上使用的是一种简单的不平衡流道体系。这种方法经常被一些模具制造商所采用，但也不宜推荐，因为它使得模腔失去了理想的互换性。

如今常用的方法是近似平衡。即只建立一个尽可能做到平衡的几何方案，但不进行复杂的构形。其理论是，在最后的分流道处，即使不能实现真正的平衡，进入浇口的流量和压力的差异也是很小的，并在可接受的范围之内，因此制品的质量不受影响。这一方法常用于加工日用塑料（PP、PE 或 PS）的多腔热流道模具，或在高速高压注射时用于某些冷流道模具。

通常，流道应尽可能地短，并尽可能地做到实际上的平衡。这一点适用于所有的流道体系，冷流道或热流道。在以下关于各种流道设计方案的实例与讨论中将对这一点作更为透彻的解释。

为什么总是讨论冷流道模具呢？二板式模具或三板式模具都已是“过时的”技术了。但在许多热流道模具的场合也需结合使用二板或三板体系。此外，在其能产生更好经济效益的地方仍常用二板式模具。在1994年，全世界注塑模中约有90%是冷流道、二板式模具。因此，设计人员应该熟悉所有的流道体系并了解其间的异同点。

6.3.2 二板式模具（冷流道）

在老式模具中，注塑机喷嘴通过冷注道给流道供料。现在大多数二板体系都用“热注道”，其实质是装在模具内被加热的注塑机喷嘴的延伸部分。这就可以消除在注道中存在的塑料团（冷下来较慢），因而提高了成型循环速率。

二板体系通常适用于任意数量的模腔，且不只是适用于冷流道。说到多腔模具，我们通常是指生产相同制品的两腔或更多腔模具。然而，模具也常用来生产成对的制品（如一个 Petri 盘及其盖子、两半相匹配的录音带及录像带盒子等）或成套的相关制品（成套制品模具），如塑

料模型的成套元件，这些元件连在流道上并且和流道一起搬运。一套元件中不同制品的尺寸可能差别很大，流道设计必须使所有制品置于成型区域之内，尽可能为用户进行合理安排，但设计人员仍必须尽量服从下列原则，这些原则适用于所有的多腔模具。

6.3.2.1 流道长度

流道应尽可能地短，以减少塑料用量，但又必须足够长以满足其他条件的要求。

6.3.2.2 流道截面

截面应尽可能地小，但仍要适于塑料流动的要求。在有些情况下可做成特殊的形状来满足要求（图 6-13）。

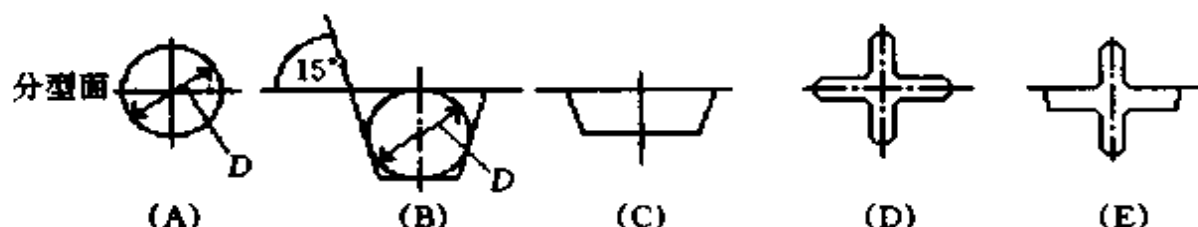


图 6-13 流道截面可以设计成多种形状

(A) 圆形；(B) 梯形；(C) 扁平形；(D) 十字形；(E) 十字形

圆形截面能为最小的塑料用量提供最大的流动面积，但制造起来比较昂贵，因为须将流道剖成两块板来制造。梯形截面最好，因为它较易于加工。如果此梯形能与圆形相切时，其流动情况与在圆形截面中流动同样好，但其塑料用量要多 35%。

扁平流道会使流动情况变差，但冷却起来比圆形和梯形流道都要好。最终来说，十字形截面流道的冷却性能更好，因为其有更大的表面积，在顶出过程中这种截面还能使流道更为强劲，但制造起来太昂贵，故很少采用。

6.3.2.3 模腔间距

模腔间隔应尽可能紧密些，但必须考虑到流道宽度、顶杆位置、脱模板的形状以及冷却系统的设计。参见前面的第 6.1 节。

6.3.2.4 模腔支撑

在布置模腔间距时，设计人员还需考虑到模腔下方支撑的空间需

求，支撑本身亦可能会与制品的顶杆位置或流道位置相干涉。

6.3.2.5 浇口位置

浇口位置取决于制品。浇口位置要处于制品外观能接受的位置，要保证模腔恰当的充模，同时要适合所选择的浇口类型。

6.3.2.6 制品从模具自由落下所需的距离和时间

这一点在高速成型中尤为重要。计算时间的公式如下：

$$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} \quad (6-1)$$

式中 S ——距离，m；

a ——重力加速度， m/s^2 ；

t ——自由落下时间，s。

这里假设顶出点制品没有向下的初速度。如果有一股气流给了一个加速度，制品落下时间就会大大减少。

图 6-18 所示两个模腔的设计方案中，制品从图 6-18 (B) 中上部模腔中脱模所需的时间要比图 6-18 (A) 中脱模时间长。如果这种时间差别较大，势必要加大开模状态时间，从而导致生产循环周期更长。

6.3.2.7 拉杆间距（自由落下或引出）

距离 W [图 6-18 (A)] 必须比较低的拉杆的间距小；如果不小的话，制品从模腔中自由脱落时就会碰到拉杆，并会被拉杆上的润滑油污染。在一些情况下，可以安装转向装置以引导制品向下滑落而不碰到拉杆，但这会增加模具的成本。

当采用引出装置时，拉杆的间距应是能够让引出装置上的制品可以水平地（或竖直地）从拉杆间引出，而不碰到拉杆。

6.3.2.8 分子排列

浇口位置必须保证模腔内塑料的流动状况最佳，以获得恰当的充模和最大的制品强度。一般来说，这适用于细长的制品。在制品中利用“活性链”特性是极其重要的。在这种情况下，塑料必须沿着与链成真正垂直的方向流动。此外，在活性链上或靠近活性链处绝对不能有焊合缝。

· 图 6-14 中方案 A 就很少采用，因为它在靠近浇口的制品中易产

生薄弱点，制品容易在此处发生断裂。方案 B 较好，并且流道比方案 C 的短，但其合模力不平衡。多数情况下，这种不平衡都可忽略不计；如果不能忽略，则建议采用方案 C。

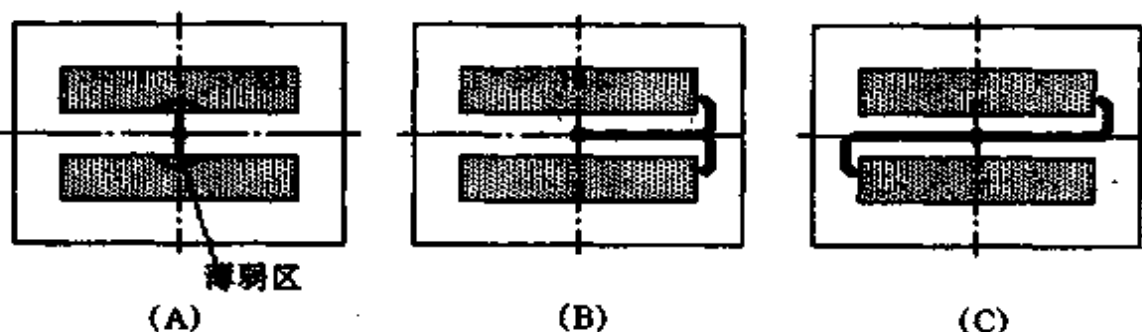


图 6-14 适于恰当充模的浇口位置

(A) 浇口附近有薄弱区；(B) 不平衡但流道较短；(C) 平衡但流道较长

弄清上述有关二板式模具的要点，将对设计人员在选择最佳的模腔设计方案时大有裨益。

6.3.2.9 模腔布置

(1) 单腔模具 如果在制品的外形之内有一个足够大的开口，注道可抵达分型面，并与流道相连从内侧通到浇口（如框形制品、环形制品、U 形制品等，见图 6-15 所示）。可以在 U 形制品的一端开浇口，或在封闭形状或开口形状的制品上开任意数量的浇口。

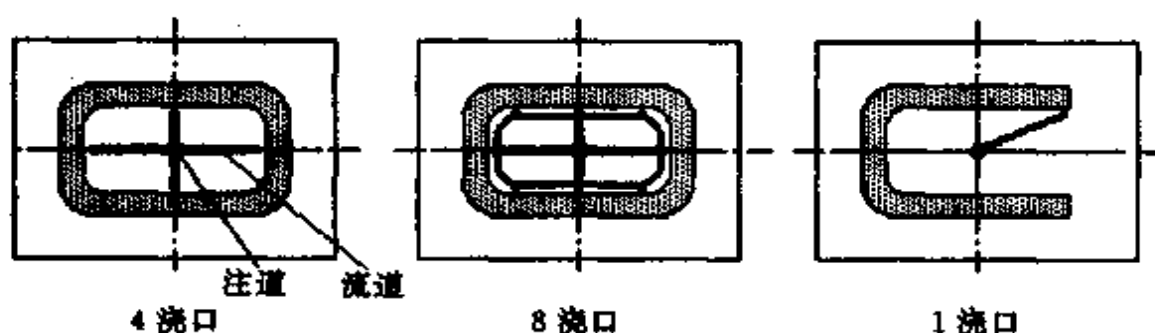


图 6-15 中心开口的单腔模具的边缘浇口

可见焊缝和强度方面的考虑，可能都是“在何处开浇口”以及“开多少浇口”的决定性因素。详情可参见第 10.3.2~10.3.4 节，关于冷流道浇口。

如果制品的投影面积是连续的，就可以采用注道式浇口（冷的或

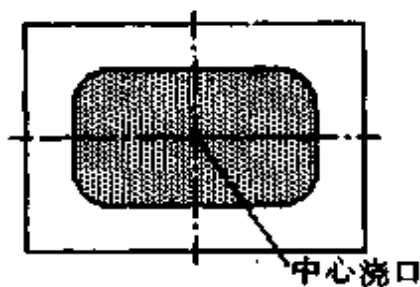


图 6-16 进入大制品的中心浇口

热的), 见图 6-16。这会导致一个(可能很难看的)浇口残迹, 通常位于制品的中心。顶出之后, 冷却的注道残料需要切掉, 热注道只会留下一个较小的浇口料自动切除的痕迹。如果两种方法都可行, 则热注道是一个非常简单而且通常用得较多的方法(如桶、杯、盆、许多大制品)。

如果这种浇口行不通, 则制品必须采用边缘开浇口的方法, 这就需要将模腔安置在偏离模芯中心的地方(图 6-17)。

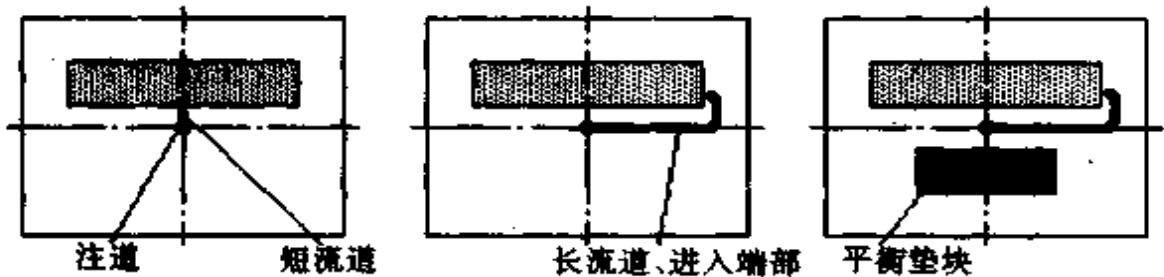


图 6-17 单腔模具中边缘浇口的例子

将模腔偏离中心放置通常是不可取的, 除非其距离中心的偏离量很小。如果确实需要如此, 就应施加一个与所预计的模腔合模力相等的平衡载荷(即, 使用一个压力垫, 与模腔对称放置); 这样合模机构就不会偏心加载。这样, 模套实际上与一个双腔模是一样大的。既然如此, 再增加很少的成本来增加一个模腔是很合算的, 同时生产率也可以大大地提高。

必须考虑模腔的浇口是从侧面开(其流道最短), 还是从端部开(塑料的分子排列最佳, 制品强度最大)。

(2) 双腔模具 如图 6-18 所示, 在不考虑制品形状情况下, 这是双腔模具两种基本布局。两种布局都可行并且常用。选择哪一种布局取决于上述的对任意模腔数都适应的基本原则。在图 6-18 的例子中, H_2 比 H_1 大得多, 制品离开成型区所需的时间也 longer (见公式 6-1)。

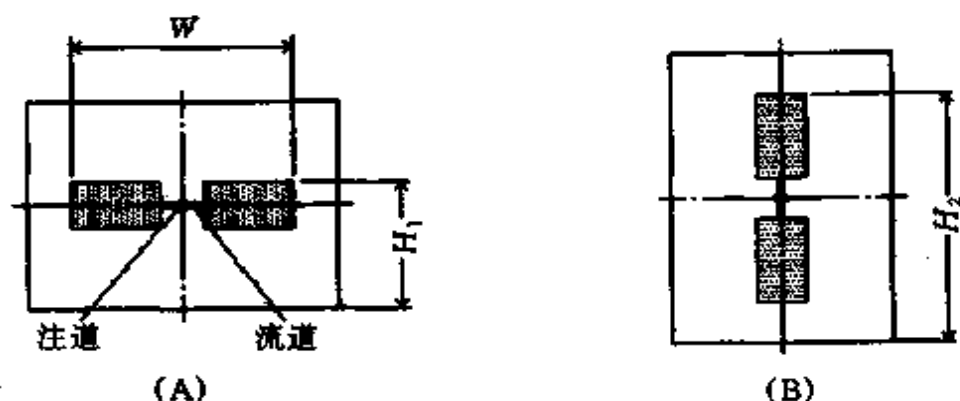


图 6-18 两腔模具设计方案的例子

比 2 大的任意合理的模腔数都可用圆形布局或式样进行布置。矩形布局需要的模腔数是 2 的倍数。有时，圆形布局和矩形布局要结合起来使用（例如一个 20 腔模具，将 4 个 5 腔圆形式样，布局成一个正方形）。

图 6-19 示意的是 8 腔的两种布局。图中的每个布局都有其优缺点。圆形布局可以使从中心注道处成辐射形状布置的流道尽可能地短，但却使紧密围绕注道以圆形布置的模腔数受到限制。矩形布局通常易于使用 x, y 坐标系（而不用极坐标系）进行设计、绘图、加工。

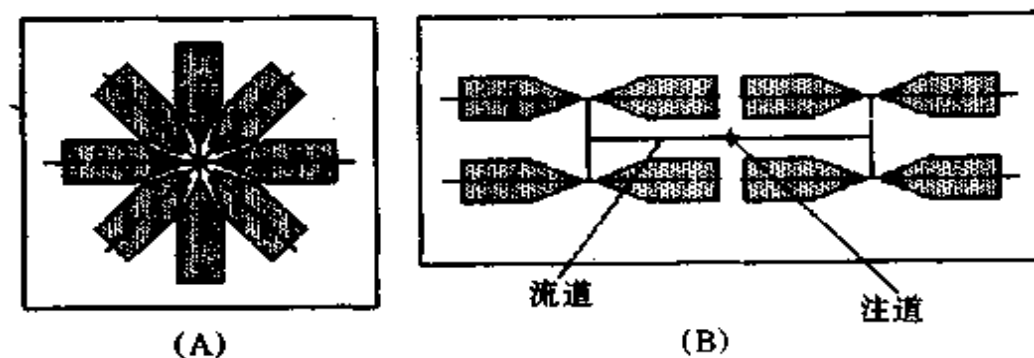


图 6-19 8 腔设计方案的示意图

(A) 圆形方式；(B) 矩形方式

① 制品的形状 小而细长的制品最适合用于从注道处成辐射状布置的圆形布局，特别在模腔数少的情况下（例如调羹）。有时还与三板式或热流道体系结合使用，此时每个“下沉式流道”都是一个三板式圆形布局的注道。

② 模具大小 圆形布局的模具尺寸比可能的矩形布局要小。这时，

使用复杂的辐射状系统就很合算。由于现有注塑机的尺寸限制了模具尺寸大小时，也可用圆形布局。

③流道的平衡 圆形布局本来就有平衡的流道。

④开浇口的位置 模腔的形状适宜于圆形布局时，其浇口应开在制品最狭窄的部位，通常也是最理想的位置（如刀具、量匙等）。请注意：圆形布局可用热流道边缘浇口。

对于任意模腔数来说，要把模腔在模具内所有可能的排布都图示出来是不切实际的。这些排布方案既取决于制品的形状和尺寸，也取决于使塑料能够产生最佳流动的浇口的恰当位置，还取决于其他方面的考虑（诸如导柱、顶杆、回程杆以及模芯支撑的位置）。另外还要取决于冷却管道的位置和间距以及必要的侧型芯的位置。最后还必须考虑注塑机的尺寸。

但是，基于经验的一些基本原则也应该遵循，可能十分有益。现将其罗列如下（其中有些原则在本节的前面已经提到过）。

①流道的平衡 一般来说，平衡是必须考虑的，但对“理想”平衡的要求应予仔细权衡。

②设计的对称性 只要有可能，模腔就应关于模具的横向和纵向轴线成对称排布，以保证在整个模具上有均匀而足够的合模力。如果不可能，任何偏心情况都必须借助压力垫来平衡。无论是对设计、制造还是对冷却、顶出来说，对称设计总是可取的较好方案。

③制品的下落高度 这在前面的双腔模具中已图示介绍过，同样的原则也适用于任意的模腔数。图 6-20 表示出不同下落高度的设计方案。

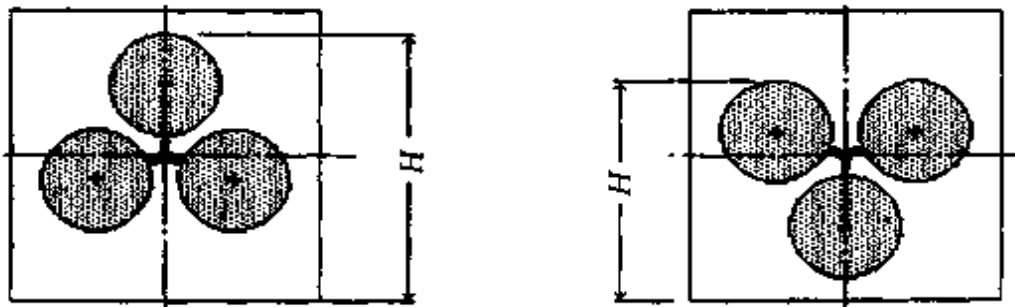


图 6-20 开边缘浇口的三腔设计方案的例子

(3) 三腔模具 在如图 6-20 所示的三腔模具中, 下落高度的不同可能只是小事; 但在高速成型时, 开模时间即使只能节约几分之一秒也意义重大。例如, 成型周期为 3s (每分钟 20 次注射) 若能节约 0.15s 的话, 就能使其每分钟多注射成型一次 (每分钟 21 次注射), 或者说生产率可提高 5%。

图 6-20 所示的例子是一个圆形布局。模腔间隔 120° 放置, 因此其合模力能完全平衡, 即模腔和流道的区域都是关于模具中心线成对称的。三腔模具没有矩形布局。

(4) 一模四腔或更多腔 以下是几个模腔布局的实例, 并附带一些说明, 是对以前所作解释的一点补充。

4 腔 图 6-21 表示一个 4 腔模具的圆形布局。在布局 A 中, 浇口开在制品的宽边; 而在布局 B 中, 浇口开在窄边。选择哪一种布局要取决于最适合于制品的位置。这两种方案距离 H 都要比矩形布局的大。

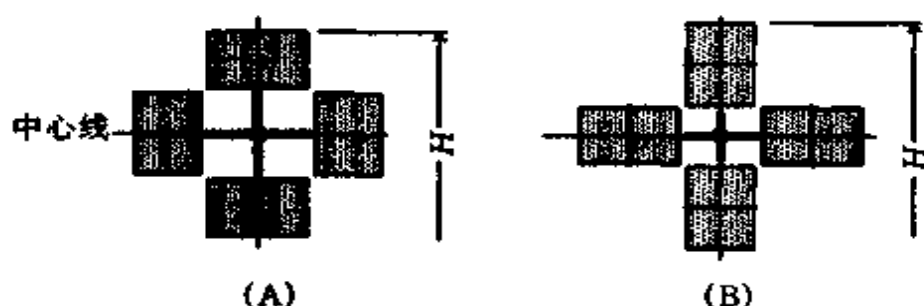


图 6-21 四腔模具的两种圆形布局

(A) 浇口开在制品的宽边; (B) 浇口开在制品的窄边

在图 6-22 中, 布局 A 和 B 是典型的 H 形流道, 布局 C 则是 X 形流道。在模具设计中, 这两种类型的流道 (H 或 X) 都采用。H 形流道对于制造加工来说有优势, 因为它只是在 x 、 y 坐标轴方向变化。喜欢采用 X 形流道是因为其流道较短 (并且较轻)。有时这两种类型的流道要结合运用。

5 腔 设计一个 5 腔模具实际只能用圆形布局, 5 个流道从注道处成辐射状与制品相连。有时, 对于小制品, 模具会采用热——冷流道相结合。

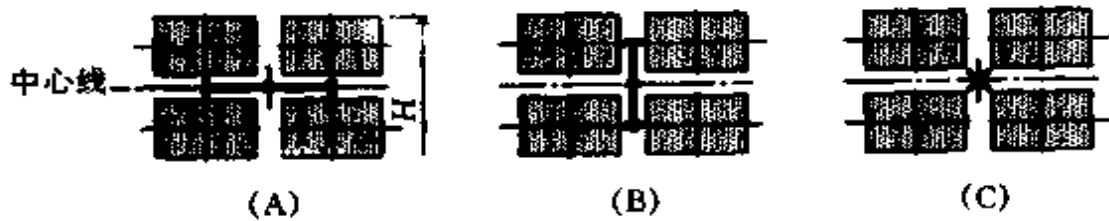


图 6-22 四腔模具的矩形布局

(A) H 形流道，浇口开在制品宽边；(B) H 形流道，浇口开在制品窄边；(C) X 形流道，浇口开在制品角上

6 腔 一模 6 腔既可以按圆形（无图示）亦可按矩形布局（如图 6-23 所示）进行设计。这些布局都广泛应用。

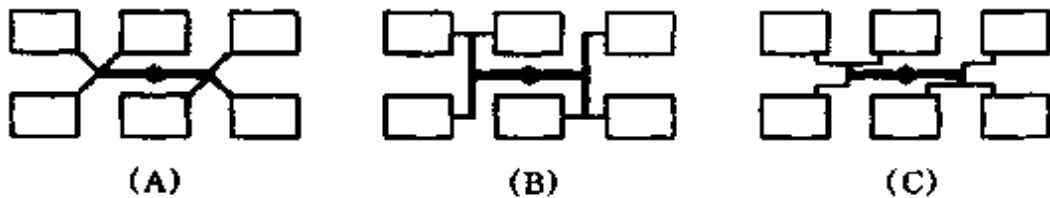


图 6-23 6 腔设计方案的几种方形布局

(A) Y 形流道；(B) H 形流道，塑料流动方向有两次改变；
(C) H 形流道塑料流动方向有三次改变

图 6-23 (A) 的布局方案较好，它采用了两个 Y 型流道系统；图 6-23 (B) 和 (C) 是典型的 H 形流道系统，相比之下图 6-23 (B) 较好，因为塑料在其流道中流动的方向变化要少些。

7 腔 尽管用圆形布局来安排 7 腔是可行的，但这并不可取，因为在其尺寸排布上以及加工安装上都很困难。

8 腔 对 8 腔模具来说矩形布局是很常用的排布方案，这种矩形布局有两种不同形式，如图 6-24 所示。图 6-24 (A)，2 个 X 形流道结合应用，比图 6-24 (B) 的布局更好些。

此种布局的另两种变形即是现将布局旋转 90° ，使布局的长轴成竖直方向。决定用哪一种方案要取决于模腔的形状、制品脱模落下所需的时间以及拉杆间距。在 X 形（或 Y 形）流道系统的最后分流道处，塑料流动可能会有些差别，这会造成流体到达浇口的压力降有所

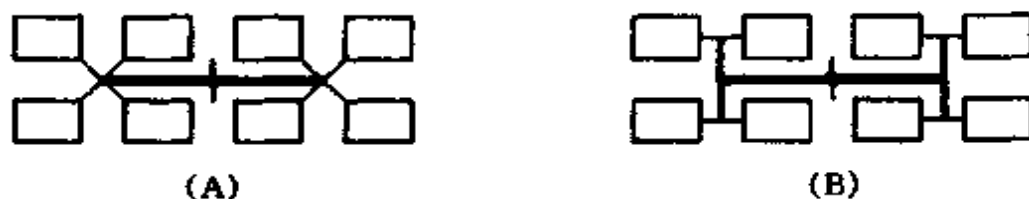


图 6-24 8腔模具两种方形布局

(A) 两个 X 形流道系统结合使用；(B) 两个 H 形流道系统结合使用

差别。对 X 形系统来说，其中 2 个分流道与主流道成 135° 向前流动，另外 2 个分流道则折回流动与主流道成 45° ，这在有些模具中会有一些影响，但通常这种差别都在容许的范围之内，可以忽略不计。对于 H 形系统来说，所有的分流道都成 90° ，所有分流道中的流量和压力降都可以看成是完全等同的。

不可能将所有的布局方案都图示出来，图 6-25 给出了细长制品 8 腔模具几种典型的流道系统。其模腔的排列是紧凑的，浇口的位置是恰当的，但流道存在一些问题。

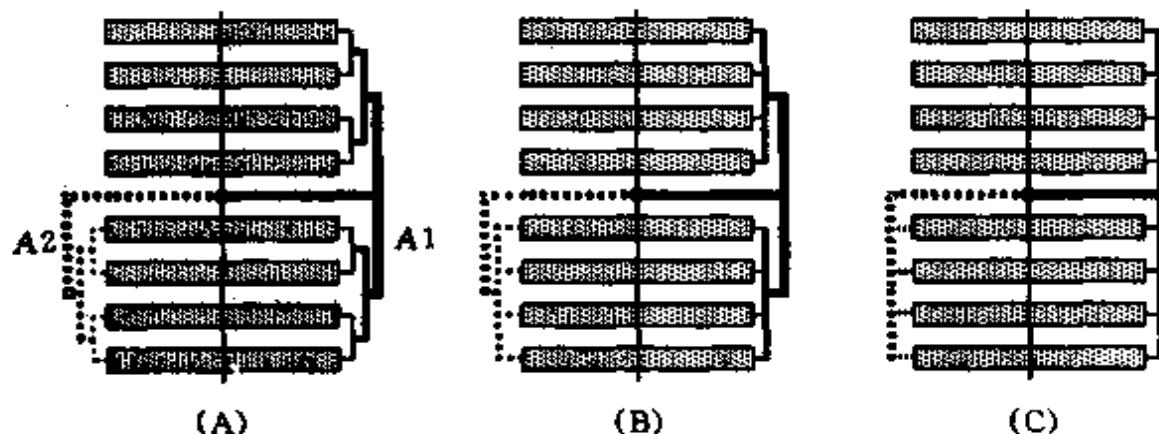


图 6-25 细长制品 8 腔模具设计方案的几种布局

(A) 完全平衡的设计方案；(B) 部分平衡的设计方案；

(C) 流道系统不平衡的设计方案

在图 6-25 (A) 中，我们看到这是一个完全平衡的布局，有 A1 和 A2 两种不同的排布。从注道到每个浇口的距离都是相同的，但其距离很长，流道系统的投影面积很大。在图 6-25 (B) 中，从注道到每个浇口的距离有所差别，但可认为这种差别足够小，影响不大。图中虚线

是另一个可选的方案，用以平衡合模力。

图 6-25 (C) 是一个非平衡布局方案，其方案最简洁、流道最短、流道的投影面积最小。从注道到浇口的距离差别很大，在有些模具中需要对浇口和流道尺寸作些调整。注射速度越快，流道距离差别的影响就越小。如今，应用上述三种布局方案都已成功地制造了许多模具，最简单的布局是发展的趋势。

同样的考虑方法也适用于更多腔数的布局。有一个 64 腔模具（如刀具模具），其流道是完全平衡的，流道形状错综复杂，见图 6-26。

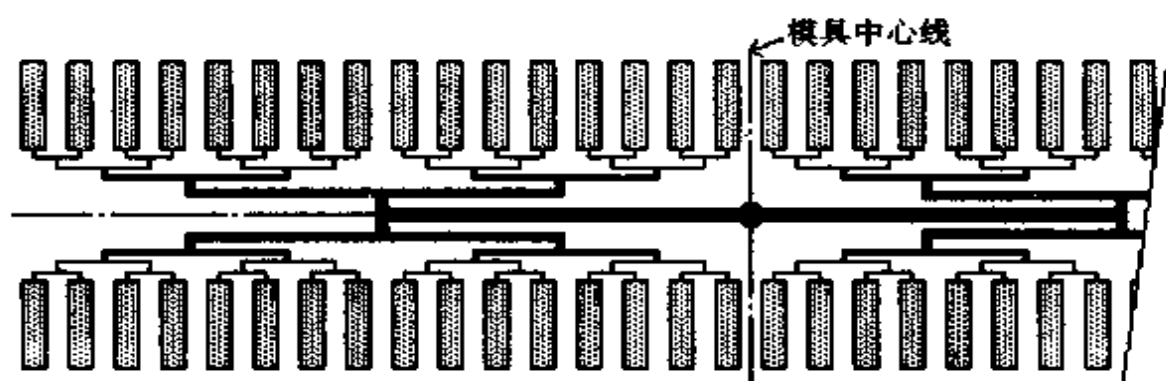


图 6-26 具有平衡流道系统的 64 腔模具的示例

由图 6-26 可见，由注道分流进入主流道的流体在抵达浇口的最后分流道的过程中，其体积是逐级由大变小的，因此流道截面尺寸应开始较大并逐级减小直至浇口。如果将每个“分流点”处的短连接流道也包括在内的话，在图 6-26 所示的注道与浇口之间就有 10 段流道。由于一些实际原因，选用的流道尺寸不能超过 4 至 5 种（就是说从 10mm 只能降至约 3mm）。如前所述，流道不能做得太大，但又必须有足够的强度以使其在顶出过程中能适当地保持在同一平面内。

如今，这种平衡的布局已被认为是“过时的”方法——流道太复杂，实质上并无好处。有些类似的模具，在快速注射情况下运作同样出色，其流道布局如图 6-27 所示，流道是不平衡的。

现在，在许多模具中（如刀具模具）都应用这种布局方案，模腔数可多达 96。在充模速度很快的情况下，很少出问题；如果某些模腔没有充满，则需对其浇口进行调整。与平衡布局相比，这种布局的简

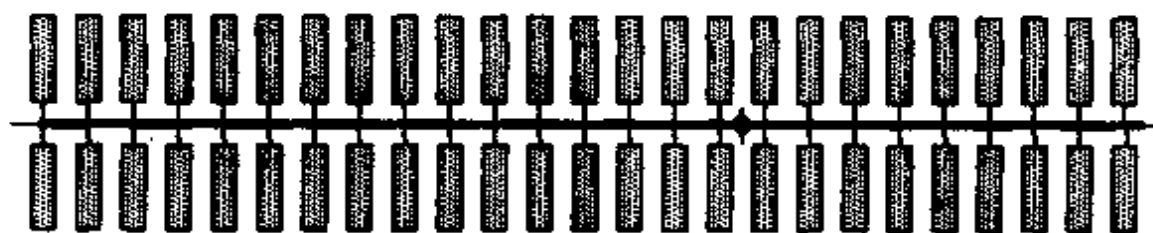


图 6-27 制造 64 腔模具的现行做法，不平衡的流道
洁、投影面积小、流道所需空间小等优越性更具吸引力。

这种布局的另一个优点就是，其模腔数不只局限于 2^n 序列（即 2、4、8、16、32、64 等）；任意腔数（在合理的范围内）都是可行的。但总的说来，将模腔和流道布置得完全对称或尽可能对称仍然是更好的方法。

9~15 腔（圆形布局） 在圆形布局中，其模腔应以 360° 除以总腔数的角度进行布置。例如，9 腔应间隔 40° ，10 腔应间隔 36° ($360^\circ/10=36^\circ$)，而 12 腔是 30° 。

9~11 和 13~15 腔 这些奇数模腔只在成型成套模型零件时才采用。10 腔有时用矩形不平衡布局。

12 腔 这种模具通常都是完全平衡的布局。图 6-28 是 12 腔模具的几种布局范例。

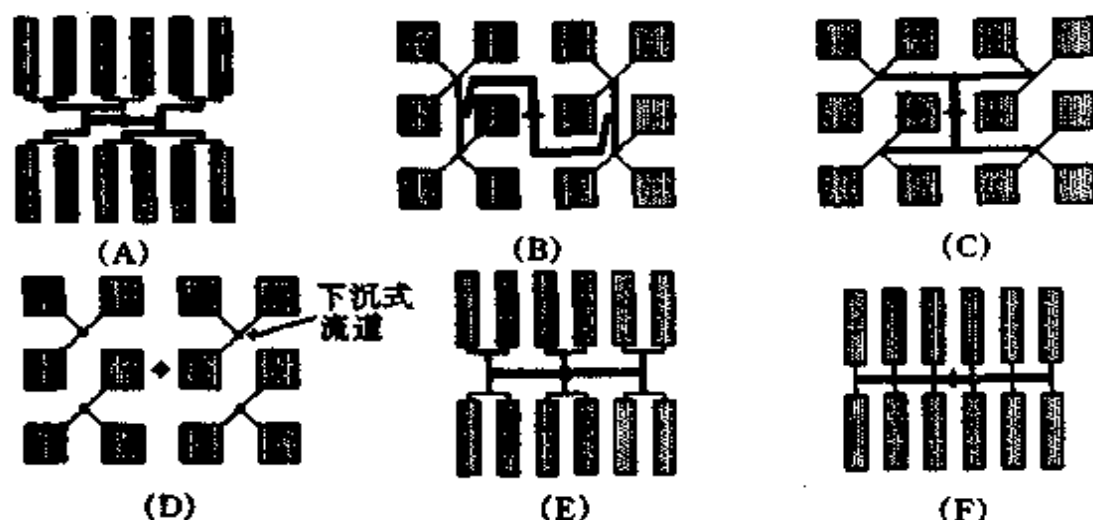


图 6-28 二板式 12 腔模具的 6 个例子

(A)、(B) 和 (C) 是完全平衡的冷流道系统，其流道布局不同；(D) 是完全平衡的，结合使用了热流道系统；(E) 是部分平衡的；(F) 是不平衡的

图 6-28 (A)、(B) 及 (C) 是完全平衡的布局。在 (B) 和 (C) 中我们注意到主流道要绕着中间两个模腔而别扭地安置其间。如果这是一个三板式模具或是热流道模具, 由于其流道在模具的不同一平面上, 则主流道就可“从正上方跨越”这两个模腔。

图 6-28 (D) 也是完全平衡的, 但其 4 个冷流道系统是由 4 个下沉式热流道供料的。考虑到流动方向上的所有变化, 压力降上可能会存在差别。所有这些布局方案 (A) ~ (D) 都是常用的。

方案 (E) 是不可取的。它与方案 (F) 几乎没有差别, 而方案 (F) 更简洁、更易于加工。流道所在的分型面不能有裂纹或缝隙, 以免塑料料流流入 (溢料)。

16 腔 16 腔模具的布局范例参见图 6-29。无论方案 (A) 还是方案 (B) 都可采用, 这比“直线型”非平衡布局方案要好得多, 而 (A) 是最佳布局方案。方案 (C) 也是完全平衡的, 其冷流道系统由 4 个下沉式热流道供料。其冷流道部分可以不用图中所示的 H 形供料, 而可采用 (也更常用) X 形 (像方案 (A) 的那样)。

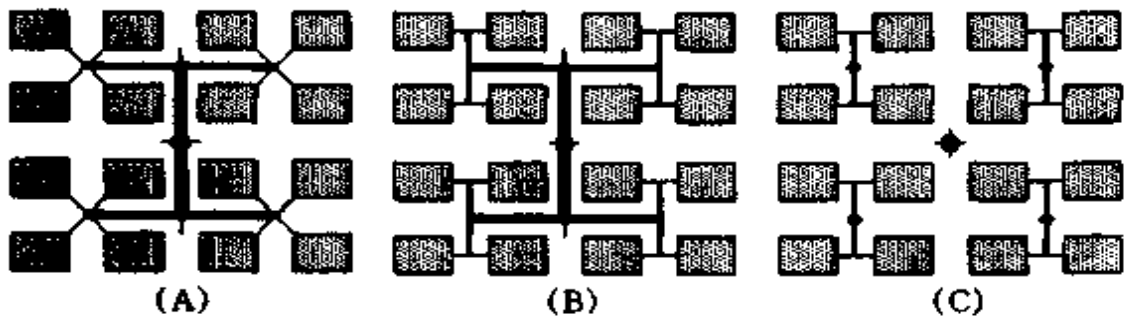


图 6-29 完全平衡的 16 腔模具的例子
(A) H 和 X 形流道; (B) H 和 H 形流道; (C) H 形流道,
由热流道下沉式流道供料

17~23 腔 在圆形布局中, 其模腔应以 360° 除以总腔数的角度作为其间隔。例如, 18 腔应以 20° 为间隔, 等等。腔数为奇数的仅在成套模型零件的成型时才采用。

20 腔 20 腔模具有时采用矩形、非平衡布局。

24 腔 在矩形布局中, 24 是一个很常用的腔数。图 6-30 给出了两

种布局，在方案(A)中还示意给出了桥连流道系统。方案(B)中，冷流道系统是由4个下沉式热流道供料的。

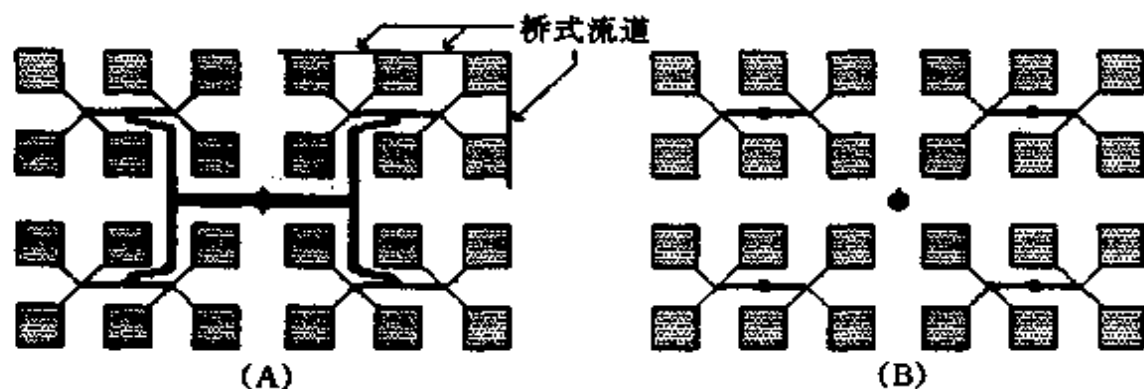


图 6-30 两个完全平衡的 24 腔模具设计方案

(A) 普通冷流道；(B) 热流道和冷流道结合使用

图 6-31 给出了另一种可能的布局方案。这种“近乎”平衡的布局可用于细长制品的模具。有人会提出疑问：为何还要采用这种比直线型、非平衡系统复杂得多的布局。

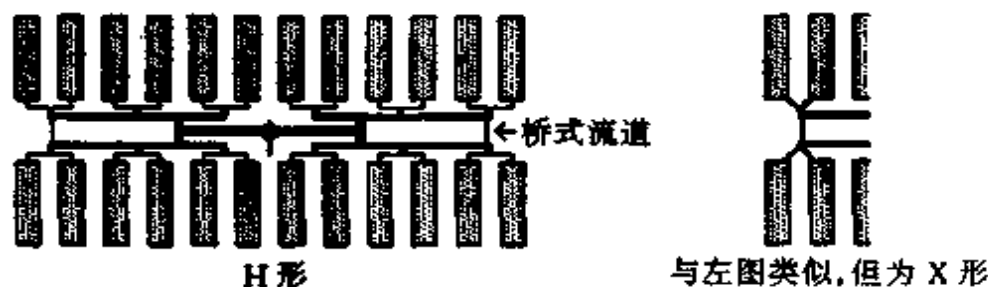


图 6-31 既有 H 形流道又有 X 形流道，平衡的设计
方案中又包含了在流道的开端使用了桥连流道

图 6-31 中体现出了一个特点——这就是所谓的桥连。这些桥将流道在分开的末端连接起来，使其强劲。当流道很细而有可能弯曲或扭曲时这一点很重要。这可以防止流道从模具中脱落出来。

如果流道的截面变化很大，则流道脱离平面而变形的倾向就会更大，因为在顶出时，流道的某些部位还是热的并在继续收缩，从而造成流道的变形。有时桥连或连接流道 ($\approx 1 \times 2\text{mm}$) 只在试模之后，发现存在流道顶出的问题时，才在模具中加工出来。有经验的设计人员可以预见到需要桥连，并将其设计在模具中。

桥连有时与二板式流道在隧道式浇口的模具中一并使用；一般常需和三板式流道合用，这时在模板间几乎没有空隙能让流道落下。因为桥连很细，所以它不增加多少重量，并且也不影响冷却时间或对塑料流动造成明显影响。

有时，也需用类似的桥连将制品连接起来，就是说如果要求制品留在流道上，并且在顶出后还要保持彼此间适当的联系，就要采用此法。桥连使用类似于浇口的很小的通道将制品连起来，这很容易被切除，见图 6-30 (A)。

在注道进入流道（使用冷注道）的分流点处总比模具其他地方热些，因为此处的流道最厚，从而保持热度的时间也要长些，因此会延长成型周期。由于此处的流道扭曲得很厉害，在有些模具中用一个加强筋来增强（图 6-32），即使紧靠加强筋的流道仍保持热态，加强筋也会冷下来并变得更强劲。这种做法也并不总见效，因为流道会比加强筋收缩得更厉害，从而在顶出后会迫使流道脱离出平面。

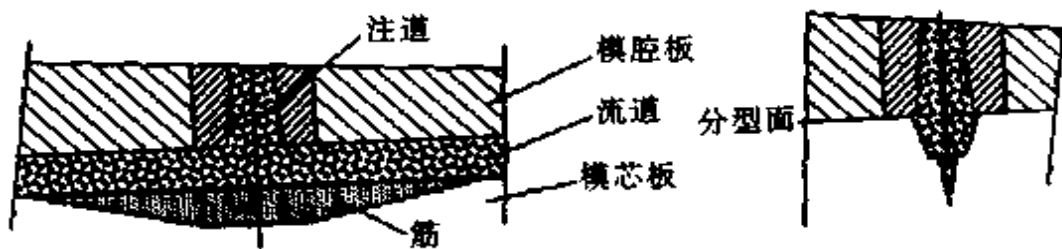


图 6-32 (左) 在注道进入流道处采用一个加强筋来加强模具；
(右) 左图通过注道的剖面

一般来说，这种加强筋并不可取。正确的设计方法是选择容易冷却的流道形状（足以提供必需的流动），并为注道与流道的交汇区提供充分地冷却。

应该说明的是，现在图中所示的冷注道已经很少采用了。但是，在清除注道与流道交汇处的大团塑料时，“热”注道并不是没有问题，因为热注道的加热使得这一区域要进行理想地冷却变得十分困难。

32 腔 我们只能采用一种平衡布局的方案，如图 6-33 所示。最后的分流道（H 形）可以换成 X 形流道，图中虚线所示。对于细长的制品来说，可以在平衡布局和线性布局（如前面较少模腔的布局图示）之

间进行选择。对于图 6-33 所示的布局方案来说,要用 4 个下沉式热流道可能会更好,每个热流道为 8 个腔供料;或采用 8 个下沉式热流道,每个为 4 个腔供料,这样就可去除笨重的流道。

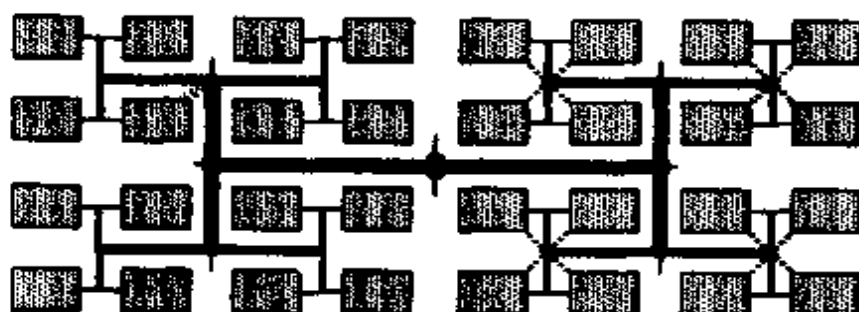


图 6-33 采用 H 形流道的完全平衡的 32 腔模具设计方案
(图中用点线表示出可换用 X 形流道)

设计人员应该始终尽量将模腔按合理均衡的矩形来布局,就是说,总投影面积的长边不应超过短边的 2 倍。这会有助于使流道的长度和冷却管道的打孔最佳化,并且在模具制造过程中易于装卸。往往只需将制品旋转 90°就可符合这一要求。

其他多腔的布局 图 6-34 所示的是模腔数是 4 的倍数(或者是 8 的倍数更好)时模腔布局示意图。这种布局将一个 H 形流道和两个长的直线型流道结合在一起。对于模腔数很多的模具往往都采用这种布局,并且这可使得布局十分紧凑。这里平衡往往就不予考虑了。

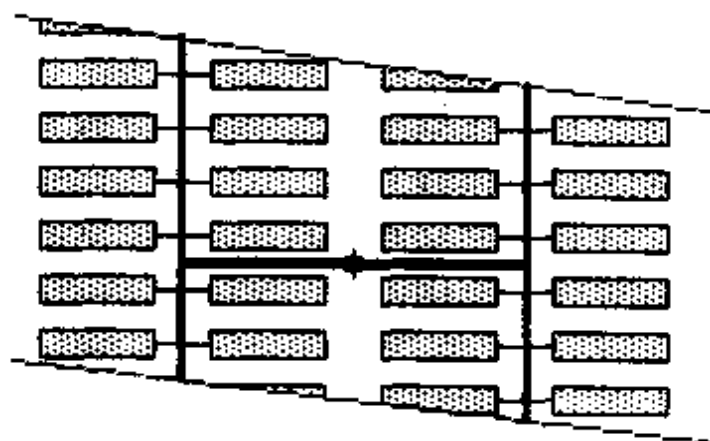


图 6-34 模腔数是 4 的倍数(最好是 8 的倍数)的任意模腔“通用”
模具设计方案,这种方案可用于有很多模腔的情况

在这里提醒一下,应注意模腔布局不仅取决于流道系统,而且还取决于其他模具特性——如顶出方法、模腔模块间的支撑以及模具的定位,这里只列举了需要考虑的很少几点。

(5) 冷料井 在冷流道设计中，无论对二板式还是三板式流道系统，这一部件都是十分普遍的。冷料井就是每个流道的转向处该流道的延伸部分，图 6-35 所示。

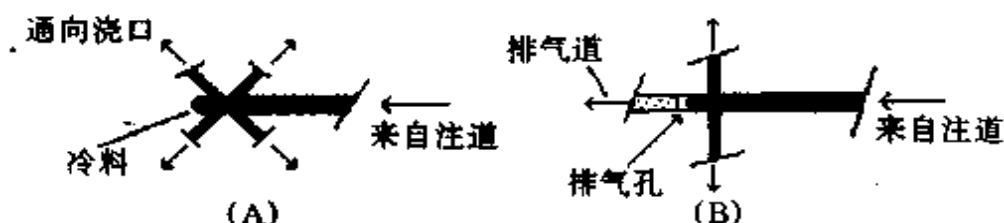


图 6-35 冷料井是流道转向处的延伸部分

(A) 在 X 形流道系统的转向处；(B) 在 H 形流道系统的转向处

冷料的成因是建立在这样一个假设的基础上——当塑料熔流在冷模具的流道中向前流动时，熔流的最前端受到冷却而形成的。当这一最前端抵达分流点时，冷料就被挤入井中，紧随其后的较热的物料就能继续向浇口流动。这一理论对低速注塑机可能是很正确的，其中可能真的会形成这样的冷料。而对于高速注塑来说，这些井是不必要的。

如果流道很大，就应考虑为冷料井设立排气孔。这种排气孔应该是模腔排气孔尺寸的 50% 左右，因为此处的塑料压力是相当高的。排气只适用于冷流道模具中的流道，其流道在每个生产周期中都要被顶出来。在热流道中，要不惜代价避免出现任何死井，因为在这些地方的塑料会逐渐降解。

无论有或没有冷料井，在冷流道的每个方向突变处对冷流道进行排气都是很好的做法，这样就可以使在流道中塑料前面的夹气得以排放。从流道中排放掉一些气体将有助于模腔本身的排气。

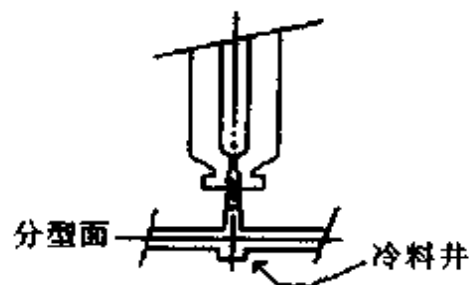


图 6-36 正对着浇口的冷料井有助于防止流道的阻塞

在热流道模具中，采用绝热浇口辅助（冷）流道供料，这时在浇口对面设置一个冷料井是很有益的（图 6-36）。在注射开始时，上次注射后将浇口封住的冷料就会被挤出浇口，并进入这个冷料井，这样就可以防止阻塞塑料进入流道的路径。

6.3.3 三板式模具

6.3.3.1 多腔模具的一般设计方案

以下这一节将概括三板式模具中模腔设计的一般方法，并指出了其与二板式设计的异同点。

三板式模具的主要特点罗列如下：

①模腔可以相互间紧靠着布置，因为其间不必安置注道和流道。这并不意味着就不必考虑冷却管道、模芯支架或是顶杆位置的设计。但总的来说，在模腔数相同时，三板式布局设计比二板式所需的面积小。

②这种模具自身就有浇口料自动切除功能。这是与二板式模具的重要区别，而二板式模具既可设计成浇口料自动切除也可设计成不自动切除。

③浇口残迹通常都很好。

④在模腔数相同时，其总流道长度比二板式模具可以短些，也可以相等，亦或可能长些，因为其下沉长度也应作为流道长度的一部分。

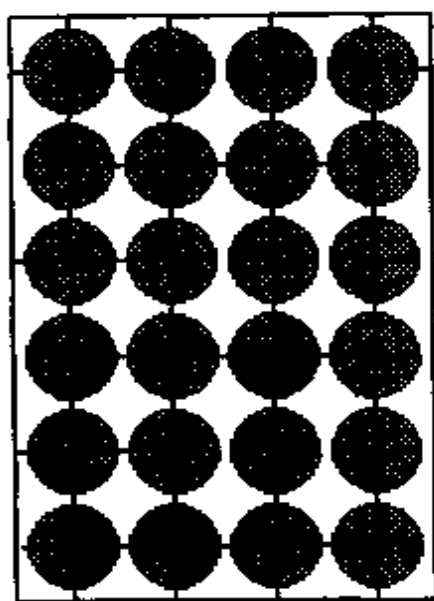
有关模腔布局的一般原则介绍如下。

(1) 矩形模腔布局 由于矩形布局比不规则布局或圆形布局更易于设计和制造，因而用得较多。有时不规则布局也很有利，模腔数很多的小制品模具就可以用这种方法，模腔可被“挤压”成类似于蜂窝形的布局，如图 6-37 所示。在模腔数相同时，这种布局比矩形布局所需的面积还要小。在模腔数很多且又要置于有限的面积内的时候，这种蜂窝形布局节约空间的作用就变得十分重要。但是，很少这样做。

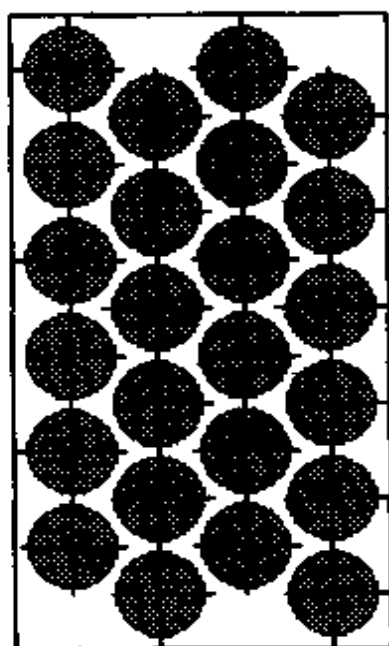
(2) 流道排布，平衡 正如在二板式模具中一样，在三板式模具中，平衡是期望的目标，但并不绝对必须。许多模具都是“近乎”平衡的，就是说，平衡已经做到了一定程度，只是在每个浇口处的流动和压力有细微的差别，而且这也不足以影响到制品的质量和成型速度。

(3) 3 腔 圆形布局类似于二板式模具中的布局，但其模腔可放置得更靠近些（图 6-38）。流道是完全平衡的，下沉流道距注道是等距的。示意图中绘出了典型布局，其流道是相间 120° 的 Y 形。

(4) 4 腔 在三板式模具中，其 4 个模腔比二板式模具中可能的排布还可以更靠近些。图 6-39 是其典型布局，流道呈 X 形。也可以用



矩形方式



蜂窝形方式

图 6-37 矩形模腔布局与蜂窝形模腔布局的比较

H 形流道，但不必要。因为流道在与分型面不同的平面上，可以从正上方跨越模腔。

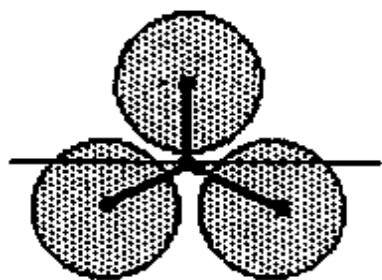


图 6-38 用于三板式模具的 Y 形流道的三腔设计方案



图 6-39 用于三板式模具的 X 形流道的 4 腔模具设计方案

(5) 5 腔 这种模具只有圆形布局是可行的。但其 5 个下沉式流道可以连入一个腔中(就像一个大容器),其流道通常也布置成辐射状。

(6) 6 腔 图 6-40 中的布局是很常用的模具构形,其流道由 2 个 Y 形流道系统组成并和一段直流道相连。

(7) 8 腔 图 6-41 所示的布局是广泛采用的模式,其流道由 2 个 X 形(或 H 形)流道组成并与一段直流道相连。

模具内部模腔的取向是模具设计的一个重要因素。如果制品是随意顶出的（自由下落）或者其取向并不重要，模腔模块的设计就可以取尽可能短的且效率最高的流道。但如果浇口残迹的位置对外观来说很重要，或者是如果制品的取向很重要，并且所有模腔都必须位于同一高度（如，需将制品输送到组装设备或印刷设备等），则流道的路线就可能要受到影响。



图 6-40 这种在三板式模具中常用的 6 腔设计方案称为“双 Y”设计方案

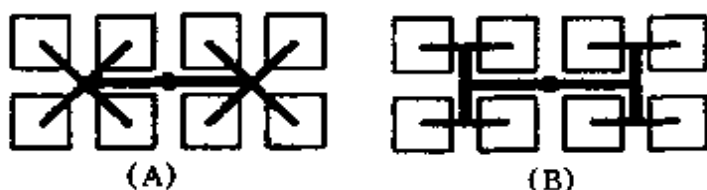


图 6-41 8 腔模具两种常用方式
(A) 采用双 X 形流道系统；
(B) 采用双 H 形流道系统

图 6-42 (A) 给出了一个细长制品 8 腔模具的例子，制品将随意顶出。两个 H 形流道较短而且是完全平衡的，方案 (B) 所示的是相同的制品，但所有模腔的取向要求一致。尽管其主流道中的差别不大，也不会影响制品或成型，但其流道要长得多，而且只是部分平衡；如果需要完全平衡，则需采用 (B1) 所示的流道布置。

方案 (C) 表示很长制品要求模腔取向一致的布局设计。流道是完

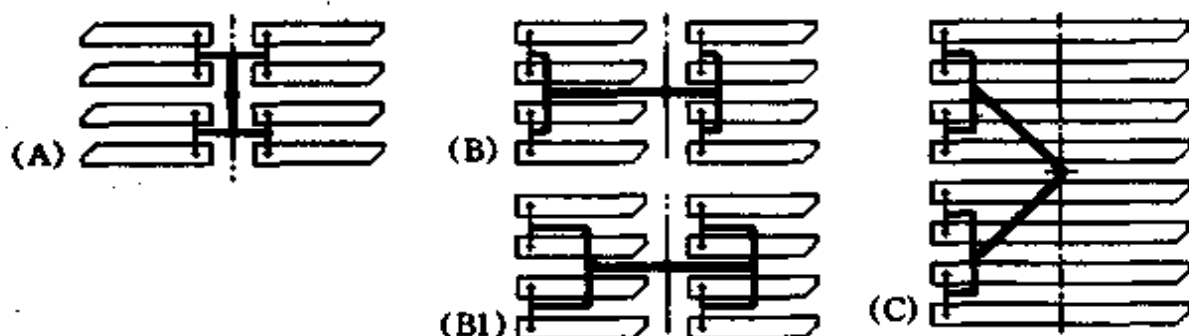


图 6-42 细长制品 8 腔模具的几种设计方案
(A) 随意顶出的设计；(B) 与 A 的制品相同，且模腔的取向也相同；
(B1) 所示为获取平衡的另一种方法；(C) 适用于较长制品的平衡设计

全平衡的。(C) 中的流道都在模具的一边没有太大的影响。如第十五章中的解释，一层上作用于模板的力（在此例中，这个力是由流道偏置造成的）被第二层上作用在同一模板上模腔的力抵消了。如果流道的投影面积比其下方的模腔的投影面积大，就需要更大的合模力，并且模具中的合模力会是不均匀加载。但这种情况不太可能发生。图示 8 腔细长制品布局的例子都是典型布局，对于其他类型和数量的模腔也可参照设计，这里不再深入讨论。

(8) 12 腔 图 6-43 表示一个常用的、完全平衡的 12 腔布局。其浇口示于制品的中心，但浇口可以置于模腔区域内任意部位或在小柄上。有关浇口位置的深入讨论请参见第十章。

(9) 16 腔 图 6-44 表示一个常用的、完全平衡的 16 腔布局。12 腔模具的说明也适合于此。

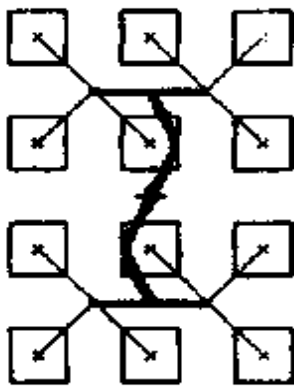


图 6-43 12 腔设计方案

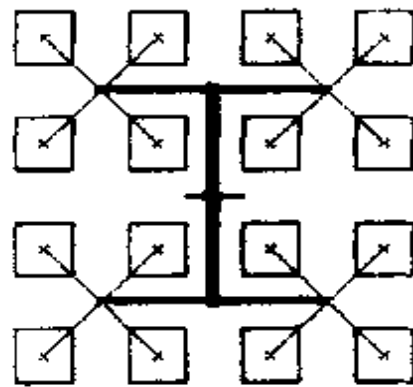


图 6-44 16 腔设计方案

(10) 24 腔 图 6-45 所示的完全平衡的布局是很常用的。正如前面所解释过的，桥连保证了流道连在一起，保持在其平面上并易于顶出，这样就减小了碰到某些零部件（如导柱）上的危险，桥连的尺寸和二板式流道的桥连尺寸相同。即使这些桥连是连接下沉式流道

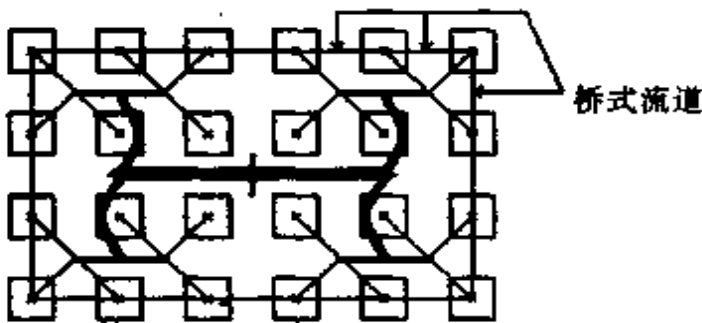


图 6-45 典型的 24 腔设计方案，带有连接流道的桥连，以将流道保持在同一平面内

桥连保证了流道连在一起，保持在其平面上并易于顶出，这样就减小了碰到某些零部件（如导柱）上的危险，桥连的尺寸和二板式流道的桥连尺寸相同。即使这些桥连是连接下沉式流道

的，对塑料的流动模式影响也不大。一般来说，桥连对于任意模腔数都是很有用的，因为在模腔上很多分流道凸出来形成的许多“小爪子”，需要靠桥连来将其连接起来；桥连在设计一开始就要纳入计划，不能在一切就绪后再将其放入。

(11) 24 腔以上 图 6-46 (左) 所示是一个 32 腔的布局。这样布局的长度与其宽度相比是极不相称的。一个 34 腔的布局是非常规的考虑，图 6-46 (右) 表示了这种布局是可能的。其流道并不完全平衡，但差异不大。如果长形的 32 腔布局由于空间的原因而行不通时，这是一个可选的方案。两种情形下流道的长度和重量都几乎相同。不能在正对着注道的地方安置一个模腔，因为此处实际上无法安置一个下沉式流道拔出器。在有些布局方案中，注道位于模腔之间，而下沉式流道又太靠近注道了，这就不可能安置下沉式流道拔出器，那么这些模腔也就必须略去。

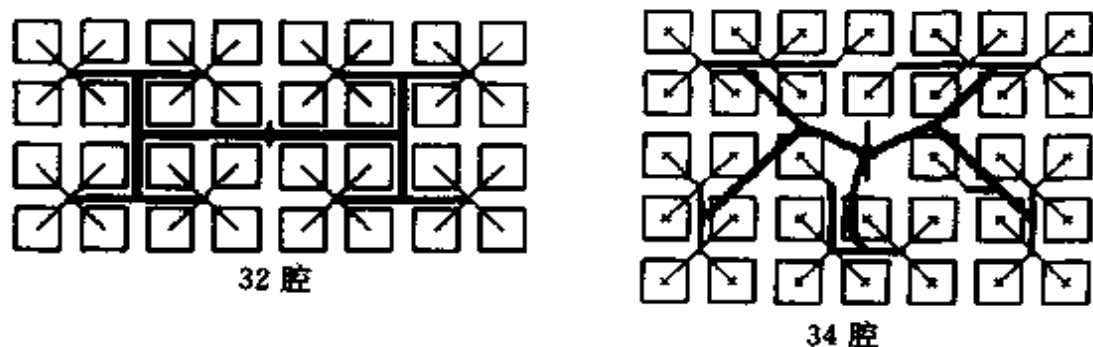


图 6-46 典型的 32 腔模具设计方案 (左)，以及一个可替换的 34 腔模具设计方案 (右)

6.3.4 热流道布局

对于热流道来说，其模腔安排与布局与三板式模具的布局十分相似。在模腔间距能为热流道注嘴提供足够的空间时，往往三板式模具可以极其方便地转换成热流道模具，只要把三板式机构和三板式下沉流道换成热流道系统和下沉式热流道即可。

根据以往的经验，热流道布局的一般原则罗列如下。

①完全平衡的热流道模具 制品重量很大，因而每个模腔在每个成型周期中都需要大量的塑料(料流)供给。

②不平衡的热流道模具 特别是对于像刀具这样轻质制品的多腔模具，可以采用与三板式模具类似的布局方案，用一个或两个“直线型”流道为所有的浇口供料，这是接近平衡或不平衡的。

采用原则 2 的原因是制品的质量（或是需要充入每个模腔的塑料体积）与浇口后面热流道的质量（体积）相比是相当小的，因此对各个模腔来说，流道中的塑料流量以及到达各浇口的压力降差别并不大（尽管浇口离注道有近有远）。但是，对于“轻质”制品——换言之，对于壁厚较薄的制品——要求到达所有浇口的压力和塑料流量都相同是很重要的，这就需要采用平衡的流道。

第七章 成型操作程序

在模具设计中，对于模具组装图纸来说，最好的做法是标明模具操作的各个要点，以及在模具连续运作过程中（即在全自动操作模式下）每个运动或其他动作（气喷等）开始和结束的相应时间。这一做法的必要性有以下几点理由。

设计人员可以通过这些标注对整个设计进行检查，以确保制品成型和离模所需的所有功能都已包括在设计中，而没有任何遗漏。

这些标注也为模具技工清晰地描述了所设计的模具操作和模具内各运动过程的时间，以及和辅助设备（如机械手等）之间的配合。

这也为模具制造商提供了一个合法的保护。如果模具安装不当，结果造成了模具或设备的损坏，或者更糟的是发生了人身事故，在组装图上所标明的合理的安装和组装程序，以及各过程的时间，都将有助于确定所发生事故的责任。

各程序最好用图画出来。图 7-1 中，图的 x 方向代表时间。不必按比例画图，但重要的是要清楚地标明各过程开始和结束时间的相互联系。

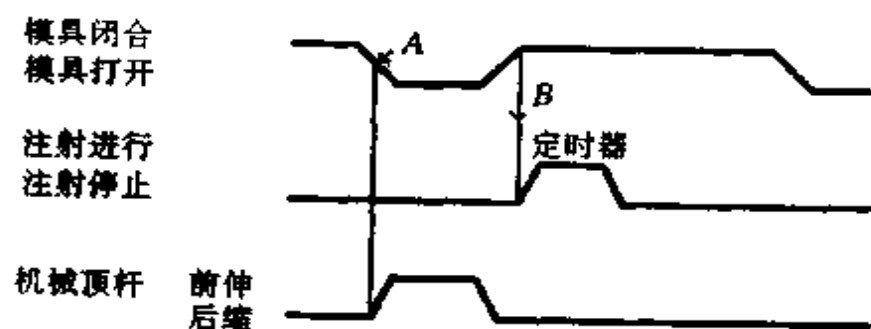


图 7-1 一个简单模具的操作程序，与合模运动相
关连的机械顶出相当于时间作用

A—在开模行程中顶杆顶出的开始点；B—合模闭合的信号启动了注射循环

注：定时器（或时间 T ）是在不明确的地方才要显示，在此例子中，一般不要显示

每个模塑作业都由许多过程（或运动）组成，这些过程要么是由信号（按钮、编码器或行程开关）引发的，要么是由定时器引发的。图中清楚地标明了这种过程（或运动）的开始时间、完成时间以及信号源。

只要注射过程在进行中，阀式浇口就是打开的（图 7-2 所示）。如果要早一些关闭，就应标出一个定时器，类似于模腔通气和模芯通气。图中标出了模芯通气的开始与机械顶出的开始同时发生。但由于两者间没有关联，就必须标明其启动方法，如图 7-2 所示，这里加了一个凸轮。这表明通气开始的时间可以单独调节，以便与机械顶出的开始时间同步。

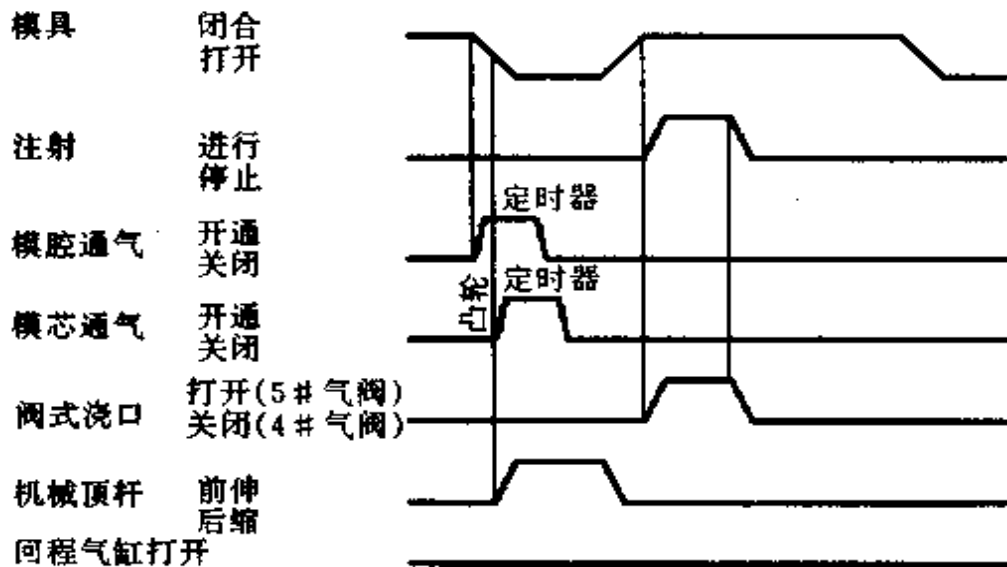


图 7-2 一个容器模具（采用阀式浇口）的操作程序图，其中包括模腔和模芯排气、机械顶出以及一个中央回流气缸

我们注意到在图 7-3 中，三个阶段的程序发生在模具打开行程期间，是为了取得最佳的循环时间。到模具完全打开时，液压顶杆已回到了原位。开模时间保持在最小值。

图中右边的注释标明了所需控制阀的类型。不仅标明阀的类型而且标明其阀的容量有时是很有用的，以保证驱动机构不仅在需要时能接收到气体（或液压流体）而且有足够的数量；如果需要很快速的动作，这一点就很重要。

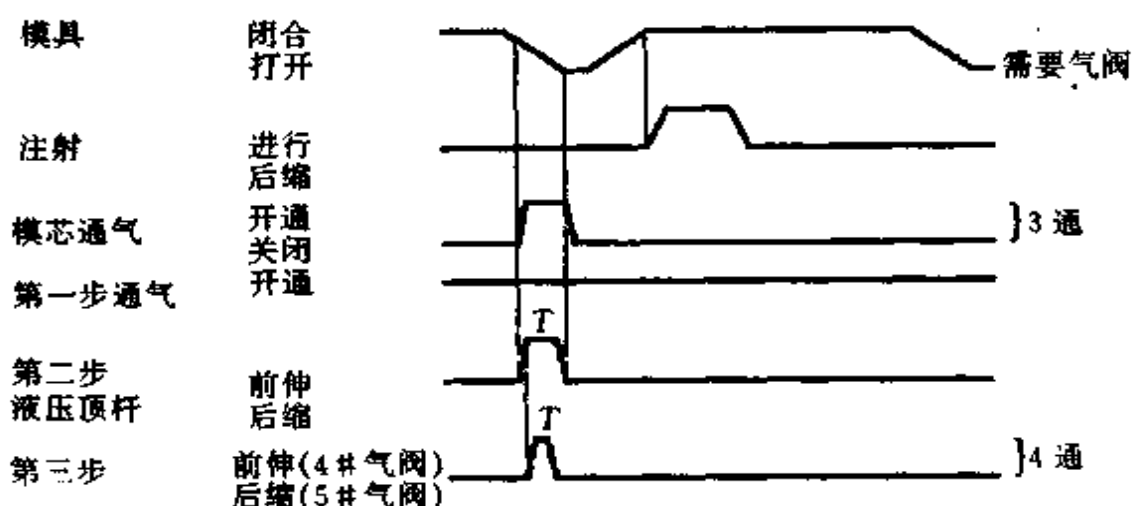


图 7-3 一个三步顶出模具的操作程序图

竖直方向的关系线必须标出，可以用虚线也可以用实线。为了更好地标明程序还可能要加上箭头，如图 7-4 所示。

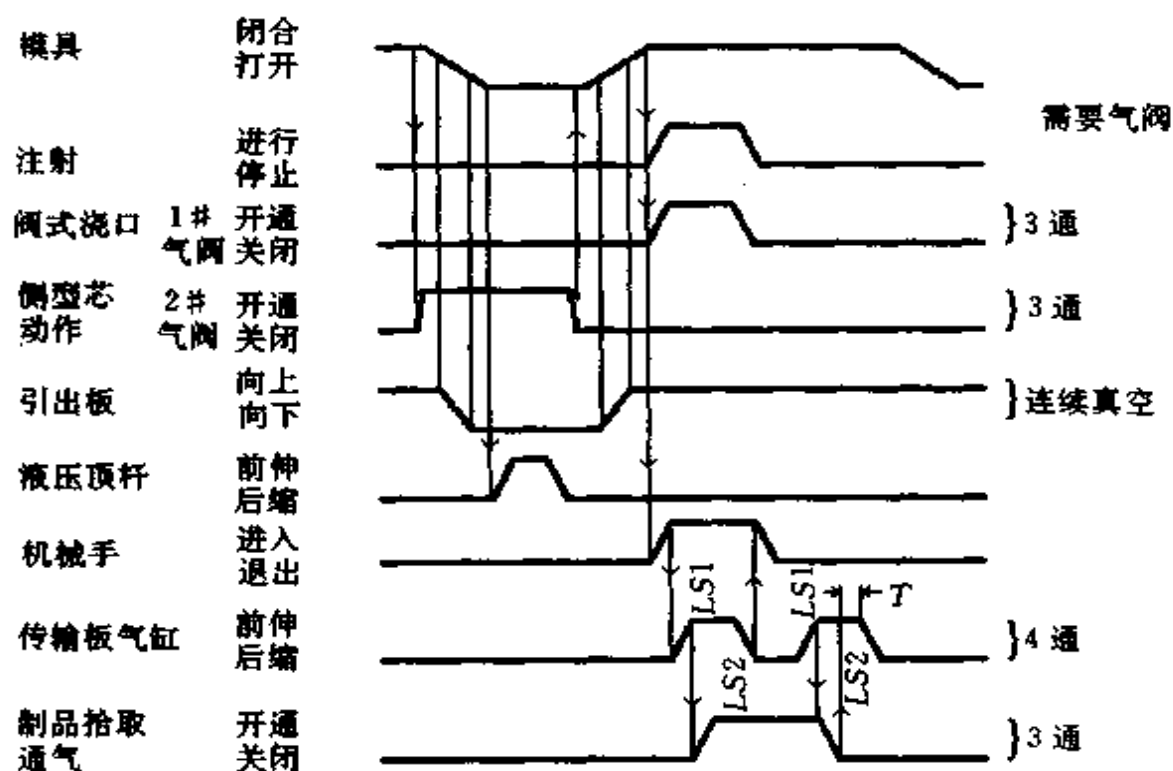


图 7-4 此例表示一个结合了机械引出和液压操纵机械手的模具

图 7-4 所示的热流道有一个单动式的驱动器（3 通阀）。引出板采用一个真空系统连续运行。传输（机械手）板向前运动，夹具拿起制品；板又回移，借助于机械手旋转，再继续行进，夹具放开制品。板

又为下一个循环做好了准备。传输板上需要 2 个行程开关 LS1 和 LS2 来发出其行程结束的信号。

在图 7-4 所示的机器组装中，引出板的运动与合模运动是机械连动的，无需控制器。气阀 #2 在开模前必须是开通的，在合模之前必须关闭。传输板的所有动作在引出板再次上来之前必须完成。此例中，时间足够了。

第八章 塑料收缩

下面将从两个角度来阐述塑料的收缩：理论方面，即影响收缩的因素；实际方面，用实例来说明。设计人员在盲从地遵循一些公式之前，必须首先弄清什么是收缩及其影响因素（这些公式在给定的情况下，可能适用也可能不适用）。

8.1 理论方面

收缩就是在高温和高压注射下，注入模腔的塑料所成型出来的制品比模腔尺寸小的数量。为了实用，收缩通常都以 mm/mm (in./in.) 或 % 给出^[1]。

原则 1：在压力 (P)、体积 (V) 和温度 (T) 之间有一定的联系，这种联系对不同的塑料来说是不一样的。影响温度、压力 and 时间的任意及所有条件都会影响收缩。

原则 2：当一定体积的塑料受热时，它就会膨胀。当它冷却到原来的温度时，也会收缩到原来的体积。

原则 3：当对一块塑料加压时，其体积会缩小。当压力降至原来的压力时，它又回到原来的体积。

下面的示意图将以夸张的手法对上述三个原则进行描述。

①设想有一个固体容器。用一箭头 V 表示体积为 V 的位置。

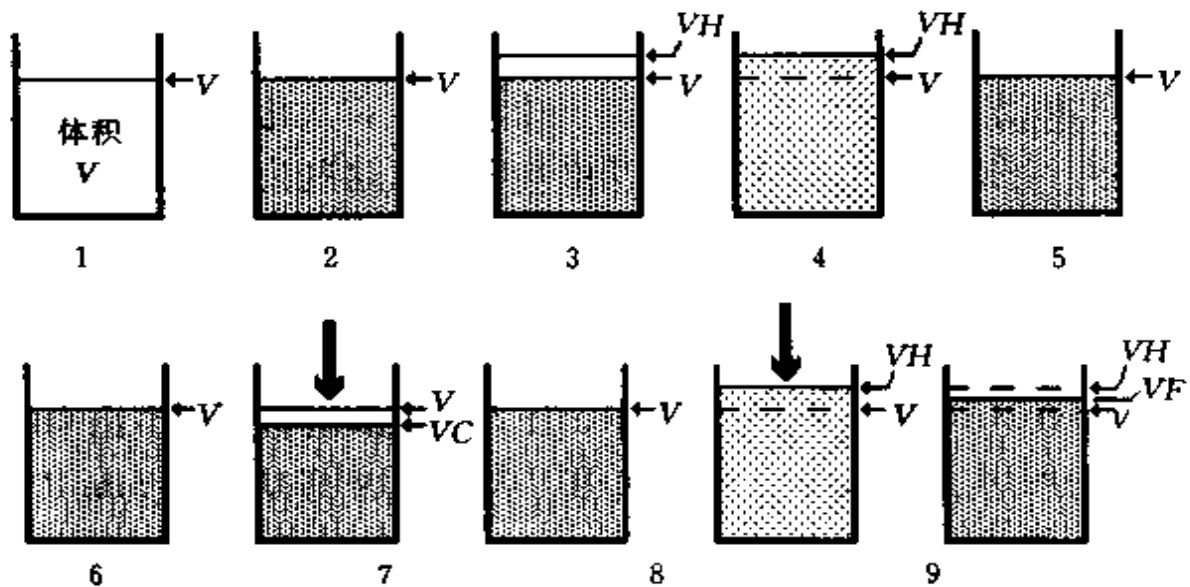
②一定数量的固态冷塑料充满了体积 V 。

③塑料受热，就会膨胀到体积 VH 。与起始时温差越大， VH 和 V 之间的差值也越大（热膨胀）。

热膨胀系数： $\frac{(VH-V)}{V} \times 100$ ，以体积百分数表示。

④将一定体积的热塑料倒入这一容器（或模腔）中达到标记 VH 处，放在那儿让其冷却。

⑤现在，热塑料就会收缩。其收缩量要取决于倒入时的热塑料与冷塑料（通常为室温）之间的温差。如果这块冷塑料在其完全冷透之前从容器（模腔）中取出（顶出），在容器之外，它将继续收缩直至温度达到室温。



⑥容器中放入与上述示意图 1 等量的塑料。

⑦所有的塑料都是可压缩的。当其承受一个压力，就会收缩到一个较小的体积 V_C 。力越大，收缩越大。

⑧当这个力解除时，塑料又会回到其原来的体积 V 。

⑨当塑料受热，它就会膨胀至体积 V_H 。如果现在再对其施加压力，它就会收缩到另一个体积，而不是原先的体积。

⑩当塑料在加压下冷却时，它会收缩少些而达到一个较大的最终体积 V_F （所加压力可能是满负荷的“注塑压力”或者是压力较低的“保压压力”，或是两者的结合）。有人可能会说，将更热一些的塑料压入模腔，只要在塑料上保持一定的压力（如通过敞开的浇口加压），那么所要采用的“收缩因子”就会因此而小些。

如果压力较低（或为零，当喂料不足时），塑料就会几乎或是根本不受压。那么它就会收缩得更多，而结果其最终体积 V_F 就会更小些，所要采用的“收缩因子”也因此要大一些。（喂料不足就是注入模腔的体积正好等于充满模腔的体积，因而就不会在模腔内产生任何压力。）

小结。

①温度 注塑塑料的温度与室温的温差越大，收缩就越大。

②压力 作用在塑料（模腔中）上的压力大，产生的收缩就较小。压力较低，塑料收缩就较大。

③时间 模腔中塑料上的注射压力保持时间越长，收缩就越小。

④塑料特性 每一种塑料都有其特定的温度（热）膨胀系数。有些塑料的热膨胀系数小，另外一些则相当大，这些塑料除了膨胀系数大之外，对不同的供应商或不同的出厂批次（甚至所提供的技术规格都完全相同）其膨胀系数不是一个常数。

从前面的讨论可清楚地了解，由于塑料的收缩取决于众多因素，因此在多数情况下，要定量预测一种塑料的准确收缩是不可能的。在下一节中将会更详细地表明这一点。

8.2 实际应用

收缩取决于下列各变量（这里有几点的讨论是重述前面的内容，以示强调）。

①材料（塑料） 不同的材料有不同的热膨胀系数。然而即使化学特性和物理特性都完全相同的材料，其热膨胀系数都会有显著的差别，因而其收缩也有显著的差别。

②制品尺寸 这主要是指壁厚以及表面形状、筋的形状等变量。

③模具设计 设计人员必须将收缩考虑在内，特别是在模具中的冷却方案设计，流道和浇口（压力降）的几何形状以及热流道中加热的均匀性等方面的设计。

④成型条件 这包括机器设备、模具冷却温度、塑料的湿度、循环时间因素、注射压力和保压压力等，以及工厂的环境。

⑤注塑机类型 注射速度，可以达到的注射压力，时间、温度和压力的控制精度，包括闭环控制，所有这些都影响收缩。

⑥注塑机和模具的状况 一台被闲置的注塑机可能会有不可靠的控制元件或磨损的逆止阀等。一副模具也可能会有阻塞或腐蚀了的冷却管路。

8.2.1 注塑变量和收缩

将热塑料注入模腔时，直至模腔充满之前没有什么阻力，充模时也只有相当低的压力。只要塑料与凉的模腔壁一接触，塑料冷却就立即开始。由于一定的体积随着温度的降低而收缩，因此固态塑料比熔融塑料所占空间小。

在塑料充满模腔后，就立即产生压力。这就压缩了模腔塑料。因此，模腔中的压力是影响成型收缩的一个重要因素。一般地，这一压力要保持到浇口冻结或是浇口关闭(阀式浇口)，将材料封闭在模腔中。从这时起，模腔内的压力就会随着塑料的冷却和收缩而下降。因此，在恒定的模具和熔融温度下，注塑压力和浇口封闭的时间，这两个变量是影响收缩变化以及出自同样腔的制品的尺寸差别的最重要因素。

8.2.1.1 厚壁制品

塑料碰到冷模腔壁时开始固化，也就开始收缩，只要在塑料上保持有压力(浇口打开时)，就会有更多的塑料充填入模腔空间。当充填压力很快停止时，温度越高，收缩就越大。

8.2.1.2 制品的顶出

当制品相当硬了，不会在顶出过程中变形或损坏时，就可立即顶出，这也是减少循环时间所期望的。但由于材料尚未达到室温(在模腔空间的限制形状之外)，制品将继续收缩。

但如果制品保持在(冷的)模腔中超过可以顶出的时间的话，制品就可冷却得更充分些，并且甚至可能会达到冷却介质的温度。那么制品就会具有内部钢件(模芯)的尺寸和(或)钢件间(如两个销钉位置)的距离。这不仅会造成成型周期不必要的延长，而且可能会在制品中产生过大的应力，这样的应力可能会引起制品马上或过早地失效，这要取决于所成型的塑料类型(也就是说，一种脆性塑料可能在顶出过程中就会开裂，或可能会在制品的拐角处产生危险应力，在使用中受力时这些拐角处就要破损)。

8.2.1.3 收缩的时限

大多数材料在顶出后的几小时之内就会达到收缩量的90%，剩下的10%收缩量将在随后的10天之内完成。其余的少数材料则要花上

几个月才能完全收缩到位。

8.2.1.4 制品的退火

将制品在高于室温下进行退火可以加速“松弛”过程而终止收缩。吸湿性材料还会有尺寸变化，这要取决于其吸收水分的数量。

8.2.1.5 制品厚度

制品厚度也会影响收缩，特别是当成型塑料的导热率较低时（PP、PE等）就更为明显。冻结的表皮隔离了内部材料向周围模芯和模腔壁的散热，顶出之后两层冻结表皮之间的塑料仍会长时间保持热度。制品通常表层一坚硬就可以顶出。

这些制品从模具中顶出时就已冷到了可触摸的温度，但仍比较热，这是因为其内部材料还在向外表皮传递热量。这种残留热量的一个优点就是能够消除制品中所不期望的应力。

通常厚壁制品的收缩要比薄壁制品大。在规定一个收缩范围或用单位厚度的收缩数值表示时，大多数收缩数据资料都是符合这一事实的。

在相当平整的制品中（特别是那些带方形的制品），如果其四周是一圈厚壁的凸缘或在靠近制品周边处有其他厚截面形状（图8-1），则由于不均匀壁厚造成的不同收缩就会引起麻烦。当顶出时，平整的表面已是相当的冷了，但其凸缘或厚截面处在顶出后仍将收缩，并在制品内产生应力，从而导致平整表面的变形或扭曲。



图 8-1 一个具有厚凸缘的平整制品，由于不均匀壁厚在顶出后可能会发生扭曲

在对一个模具的产量进行预测时，如果没有预见到这一点的话，就会惊奇地看到这样一个不愉快的结果——模具不得以相当低的循环速度运行，以保证制品顶出后不发生扭曲。这在成型软质塑料时比硬质塑料的情况更为糟糕。

另一方面，厚截面的收缩也可能是希望发生的，就像咖啡听的盖子那样，盖子需要一个往内收的凸缘以便在盖到咖啡听的凸缘时产生一个必要的握紧力，增大卷边的厚度，凸缘的收缩以及所得到的前束角就会增大（图8-2）。

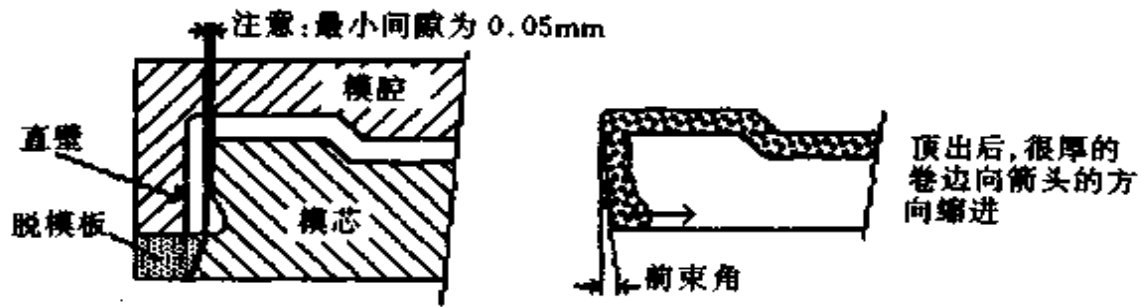


图 8-2 在这个咖啡听的盖子模具中，收缩正是希望发生的，盖子缘口在收缩时会向图中箭头方向缩进而形成一个适当的前束角

总的原则是：任何制品最好都是壁厚均匀的。制品的壁厚要求肯定是由客户提出的，但设计人员有责任向客户指出，通常在制品设计上局部作些改动可能会防止不均匀收缩、改善冷却时间并且减轻制品重量，因而提高模具的生产效率，降低制品的成本。

上面的原则对于任何内部的厚截面部位也是适用的，这种厚截面可能是加强筋的交汇处，也可能是需要承接紧固件的轴壳、凸起或其他制品的厚截面。在可能的情况下，这些厚截面处应除去芯部材料，使其获得更快冷却，尽管这样会增加模具的成本也必须如此（图 8-3）。

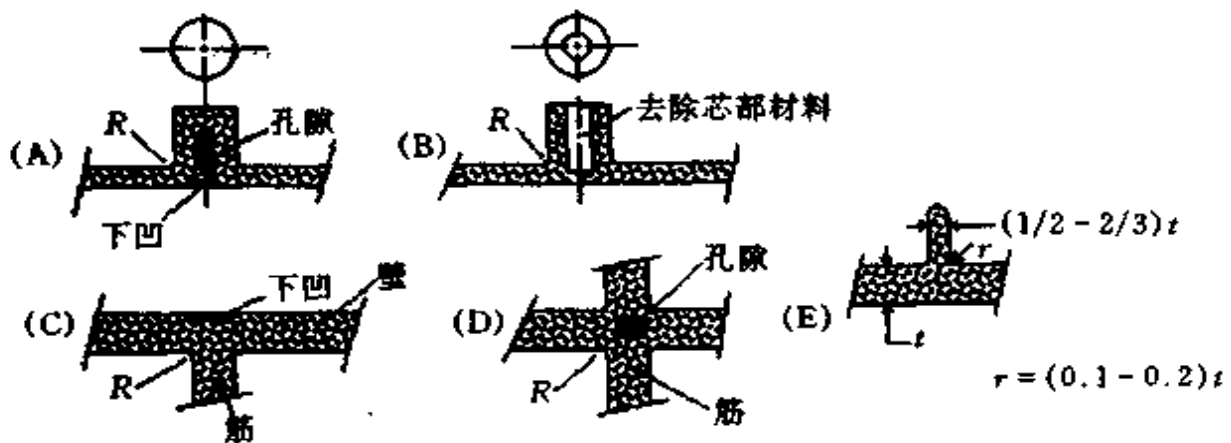


图 8-3 有不均匀收缩的几种截面图形，会在制品中产生下凹和孔隙
 (A) 在一个凸起处既有下凹也有孔隙；(B) 在凸起处去除芯部材料防止下凹和孔隙；(C) 在加强筋交汇处产生下凹；(D) 在加强筋交汇处产生孔隙；(E) 防止下凹的筋的比例
 注：在凹角处需要有个圆角 R 来减小应力，但 R 太大会增大该处的塑料体积，同时也会增大出现下凹和孔隙的可能性

厚截面除了会在制品内产生所不期望的应力以外，还会比制品的其他截面收缩更多，而造成下凹（在表面上）或孔隙（在厚截面的内部）。由于外表的要求，表面下凹是不允许的；而孔隙则会在制品内造成弱点。

8.2.2 收缩的基本公式

下面的图和定义的变量是用来计算收缩因子 S 的。公式如下：

$$D_c = D_p + (D_p \times S) + (D_p \times S^2) \text{ 或 } D_c = D_p(1 + S + S^2) \quad (8-1)$$

在实际应用上，由于 S 通常很小， S^2 就可以忽略不计，于是公式就简化成：

$$D_c = D_p(1 + S) \quad (8-2)$$

有时我们必须对轴向收缩（发生在塑料流动方向的收缩）和径向收缩（与流动方向垂直的收缩）加以区分（图 8-4）在制品公差很紧时，以及塑料在这两个方向上的收缩差别很大时，这一点就很重要。这两个方向收缩差别是由注射过程中塑料的长链状分子的取向造成的。

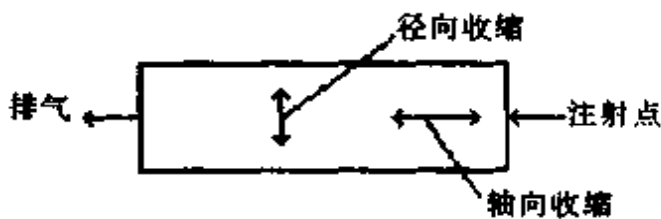
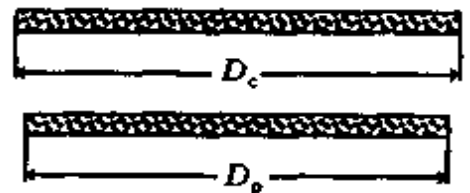


图 8-4 轴向收缩、径向收缩与塑料流动方向的关系示意图



注： D_c 为模腔和模芯的钢模尺寸；
 D_p 为制品尺寸； S 为收缩因子
(mm/mm, in/in 或%)

下面是有关收缩的典型例子，例子中还包括了关于设计人员

如何解决收缩问题的一些建议。

例：一块 LDPE 板，上面有许多间距要求精确的孔。在设计模具时，假定收缩是一个定值，而用来确定 D_c 。在按预计的循环成型时， D_p 的尺寸是正确的。但这样顶出的制品已相当地冷了，实际上本应早点顶出以提高产量。如果在制品还较热时就早点顶出，其收缩就要大些， D_p 就太小了。现在的问题是，要么模具运行慢一些（制品成本较高），要么重造模具（模具成本增加）。很显然，如果产量高，尽管模具成本高，也得重造。

对于低产量的要求，模具还能照样正常运行。

这个例子的重要一点就是表明了收缩和循环时间有一定的联系。这种联系对于收缩因子较大的材料（如 PP 和 PE）则更显著。那么设计人员就有责任了解，预计或给定的收缩值对制品精度和模具生产率的要求来说，会不会不准确，在要求苛刻的地方给一个允许范围，以便模具更易修改。

如果模腔小了，再加工掉一些模具材料，往往比较容易。如果模腔大了，要再往上加一些钢材实际上是不可能。尽管有时可能通过焊接或镀铬来进行一些补偿，通常也是不提倡的。如果仅仅把模具材料加工掉一些不能得到修正的话，就要制造一个新的部件或新的镶件。

在图 8-5 中，当 D_p 等于 D 时，如果所选的收缩比预计的大，而要改变销的直径 D 就困难了，此时孔直径 D 也要加大。设计人员可以预见这种可能性，而使得 $D_p > D$ ，从而只要更换镶件（销）就可以了，而不需更换所镶嵌的那个模具零件。类似地，如果间距要求严格，就可采用台阶式销钉（图 8-6），万一原先的距离不正确时，允许位置有些偏离。如果偏心销钉是圆的，必须谨防其旋转。

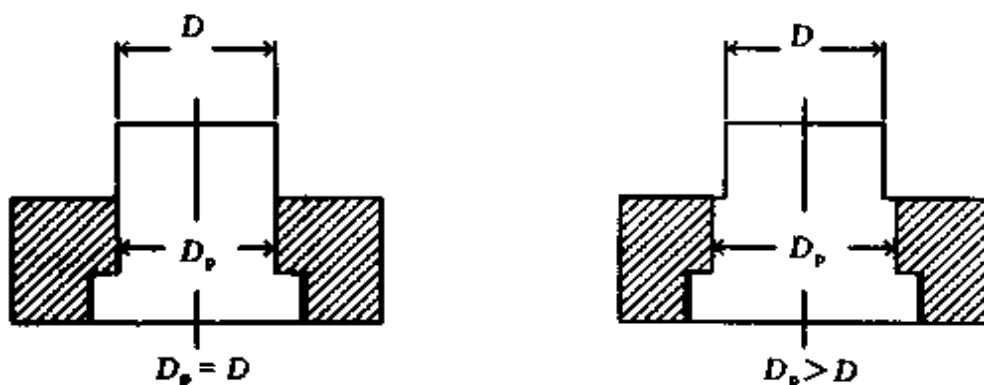


图 8-5 为了避免费用较高的返工需要增大销子的直径 D （左），设计人员可以增大 D_p （右）来防备意想不到的收缩，从而只需更换镶块就可更正销子的直径



图 8-6 为了保证的孔间距，普通销子（左）
要换成偏心销（右）从而允许制品收缩

8.2.3 对收缩负责（收缩因子的选择）

一般来说，模具制造商对选择已用过的收缩因子不能负责。如果订购合同要求模具制造商承担这一责任，就必须明确地特别注明。通常，模具的报价应包括模具试用以后由于收缩而作一些必要改动的预备价格。

8.2.3.1 钢模型腔尺寸

有时，往往客户在以前用过类似模具的情况下，会提供一些或全部钢模型腔尺寸。尽管这些资料很有益处，但当模具在更高的注塑速度和压力下或顶出提早的情况下运行时，其收缩仍可能不同。此外，不同的冷却设计方案或冷却条件也可能会导致收缩的差异。因此，即使客户提供了钢模型腔尺寸，在购买订单上仍需对制品尺寸提出明确要求。

8.2.3.2 成型材料

模具制造商采用与最终生产中所用的材料完全相同的塑料（相同的性能指标，相同的供应商）来试模是很重要的。有时，不同供应商所提供的塑料收缩差异很大。有时即使是完全相同的性能指标，来自相同的供应商，甚至一批材料与另一批之间差异都很大。

在设计之前就应明确了解这一点，特别是在制品有严格的公差要求时更应注意。在有些情况下，客户可能想要用同一副模具加工两种不同的材料。在模具设计进行之前，由于不同材料可能具有不同的收缩，而对制品尺寸的影响应明确规定，并获得客户的认可。

8.2.3.3 影响收缩的其他原则

以下原则适用于收缩因子的选择。

- ①通常收缩很难预见，并且需要与客户密切合作。
- ②由于收缩的原因，往往具有平整表面的制品较难成型。

③只要有可能（或如果公差许可的话），如果两件制品必须匹配（如一个容器和盖子），最好先制造出较复杂的模具并生产出制品，然后再来确定另一个（较简单）模具的最终尺寸。即使第二个模具尺寸不合格，那么对较简单模具进行修正也比较容易，并且成本也较低。

8.2.4 收缩对开模和脱模力的影响

例如圆柱形容器这样的制品在注塑时，由于受到高压塑料熔体的力的作用，其模腔会膨胀而模芯则收缩，即所谓钢的弹性变形。因此，一旦注塑压力建立了，模腔的空间比注塑开始时的就要大些。

在塑料冷却过程中，如需要的话，高压注塑应在（较低的）保压压力下保持很短一段时间。塑料上的压力停止后，模腔和模芯上的弹性变形就要回到原来的尺寸，从而减小了模腔空间。只要塑料制品的收缩量比模腔和模芯的弹性变形量大，就没有问题。

但如果材料的收缩量比钢材的弹性变形量要小的话，制品就会被夹紧在模腔和模芯之间（挤压住）。如果注塑压力较高，模腔壁太弱，制品壁厚又较小，从而制品的实际收缩就很小，这种情形下，夹紧就会发生。

这种情形如果出现在薄壁容器的侧壁几乎没有或完全没有脱模斜度的情况下那就糟透了；注塑机甚至没有足够的力打开模具。所需的开模力是制品的摩擦系数（塑料与钢材之间）与挤压力（来自于弹性变形的模腔作用于塑料上的力，这个力垂直于开模运动方向）的乘积。注塑后如不能打开模具，模具就只有报废了。

在较高的成型压力下，特别是在薄壁制品的成型中，模腔（实体或镶件）的设计必须使其膨胀尽可能地小（加大壁厚），并且模芯也必须充分刚硬而不过度变形。

弹性变形量与力成正比，与弹性模量 E 成反比。例如，在相同的注塑压力下，一个铍铜合金做的模芯（ $E=1.03 \times 10^5 \text{MPa}$ ）的压缩量或伸长量将是钢制模芯（ $E=2.06 \times 10^5 \text{MPa}$ ）的两倍。

收缩还会影响到制品从模芯上脱模所需的力。仍处于温态的制品倾向于握紧模芯，就像一个拉长的橡皮带。制品脱模所需的力等于握紧力（与塑料的收缩及弹性模量成正比）乘以摩擦系数（塑料和钢材）。

制品如果是温态的，脱模力就较大。如果制品在模芯上已完全冷却了，实际已没有残余收缩的话，则所需脱模力就非常小。

但制品如果有卷边或倒陷（如咖啡听盖子），则塑料越冷，所需的脱模力就越大。如果冷塑料回弹性不足的话，制品还会开裂。

8.2.5 收缩设计的实用化建议

到此为止，概括地说，我们已讨论了收缩的定义、收缩对成型的影响以及设计人员应了解的有关收缩方面的内容。下面两条准则告知设计人员如何计算收缩尺寸以及如何图纸上表示收缩（这对不同的模具制造商来说可能会大同小异）。

一个专用 CAD 系统可以用已选好的收缩，通过其专用程序自动将制品的所有尺寸计算出来，这就免除了人工计算钢模型腔尺寸的工作。

制品图纸应标明制品的所有尺寸。第二张图纸是标明钢模型腔尺寸的图纸，是制造模具用的。也有的设计人员在制品图纸上用铅笔画出钢模型腔尺寸，但这种做法是不可取的，除非只有很少几个尺寸。

8.2.5.1 制品的公差和收缩

例：一个制品是 $135.50\text{mm} \pm 0.30\text{mm}$ 。加上 1.5% 的收缩，则有：

$$135.50\text{mm} \times (1 + 0.015) = 137.5325\text{mm}$$

及 $0.30\text{mm} \times (1 + 0.015) = 0.3045\text{mm}$

即其钢模型腔尺寸应为 $137.5325\text{mm} \pm 0.3045\text{mm}$ 。略去小数点后最后两位数字，则为 $137.53\text{mm} \pm 0.30\text{mm}$ 。

假如对设定的收缩值以及所得到的制品尺寸的准确性有怀疑的话，可以对钢模型腔尺寸进行修正。将模芯尺寸定在尽量接近制品公差最大值的数值上，而将模腔尺寸定在尽量接近制品公差最小值的数值上。这样一来，如果设定的收缩尺寸不对，就可以对钢件进行必要的切削再加工。

8.2.5.2 螺纹的收缩

有些车床以及许多磨床除了标准螺距外不能改变进刀量，因而不能制造出其他尺寸的螺距。设计人员必须意识到在制品上附加收缩量是十分重要的。

多数情况下，一个螺距是很小的（图 8-7），对于一圈或两圈螺纹来说，收缩的影响会在制品的公差之内。如果螺纹段有多圈（ n ）螺纹，螺距的收缩就不能忽略。

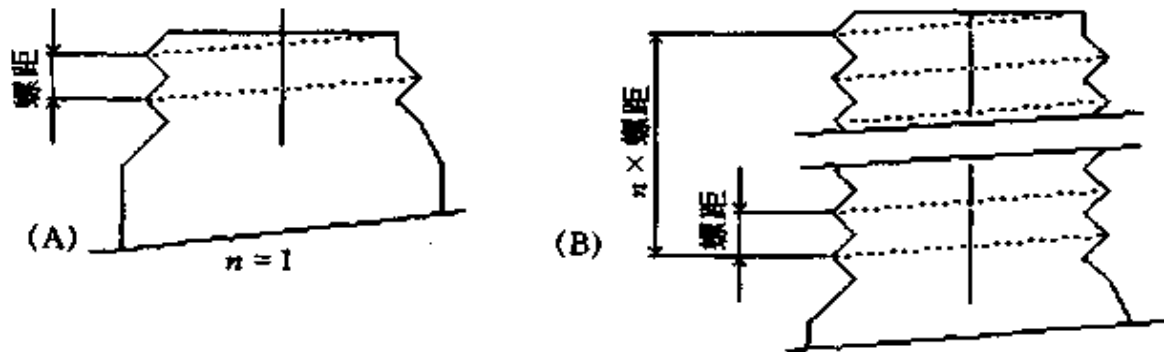


图 8-7 螺纹模芯

(A) 只有一圈螺纹的模芯；(B) 几个螺距螺纹的模芯

模具制造商可能不得不将螺纹磨削加工转包；因此，必须对螺纹的磨削加工（不是由供应商提供的标准螺纹）的可能性进行调查。对这一工序来说，它可能会影响到供应商（及成本）的选择。

8.2.6 部分材料的成型收缩率

表 8-1 仅提供了一些材料的近似收缩率，向模具设计新手展示了同一材料在不同的条件下（例如，制品厚度、取向以及填充物）其收缩率在很大的范围内变化。千万别用这些数值来进行设计——永远只用材料供应商所提供的数值。

表 8-1 各种成型材料的近似收缩率

| 材 料 | 收缩率 | 材 料 | 收缩率 |
|----------|-------------|---------------|---------------|
| ABS | 0.005~0.007 | PE | 0.015~0.050 |
| 聚甲醛，轴向 | 0.021~0.026 | PE，30%玻璃纤维增强 | 0.004~0.0045 |
| 聚甲醛，径向 | 0.018~0.020 | PET（瓶坯级） | 0.005~0.012 |
| 丙烯酸类塑料 | 0.004~0.007 | PP | 0.012~0.022 |
| EVA | 0.007~0.020 | PP，30%玻璃纤维增强 | 0.004~0.0045 |
| 尼龙 6 | 0.006~0.014 | PS | 0.002~0.006 |
| 尼龙 66，轴向 | 0.012~0.033 | PS，30%玻璃纤维增强 | 0.0005~0.0010 |
| 尼龙 66，径向 | 0.020~0.028 | PVC | 0.003~0.008 |
| PC | 0.006~0.008 | PVC，30%玻璃纤维增强 | 0.001~0.002 |

8.2.7 影响收缩的其他因素

在每个制品设计时，下列因素中总会有一个或几个同时存在于设计中，有的甚至是矛盾的：可能一个因素会使膨胀更大，而另一个因素使膨胀更小，明白这一点是很重要的。在任一特定的模具中要准确预测其收缩是不可能的，除非新设计的模具是与一个已经取得收缩数据的模具完全一样。

8.2.7.1 制品的壁厚

对于厚壁制品 ($L/t < 100$)，在入口（浇口）与模腔中远离浇口的各点间几乎没有压力降。在浇口冻结之前，整个塑料中的压力近似相等，于是所产生的收缩也大致相等。

对于薄壁制品 ($L/t > 100$)，塑料从浇口进入模腔内经过狭窄的通道前进时会产生很大的压力降。接近浇口处的压力最高，离浇口最远处压力最低。在浇口冻结之后，塑料内的收缩与压力成反比，因而接近浇口处收缩较少，接近制品边缘处收缩较大。

8.2.7.2 制品形状

如果制品是自由收缩（如个平面圆盘），假定在两边的表面上冷却是相等的，采用中心浇口，塑料制品就会均匀收缩。如果制品的收缩受到限制（例如圆盘有一圈凸缘或在其边缘处有成型销），那么在产生阻碍的各点之间就会产生应力。特别是在这些位置的尖角处就会产生很大的应力集中。尽管这可能会在顶出后产生变形，但也许这还不影响制品的使用。最糟的情况下，在开模时（甚至在顶出前）制品就会开裂。

一般而言，为制品设计出足够的压缩量或斜度（另外在可能的情况下有倒圆），以保证制品在收缩时能从其限制处顺利“滑脱”，而不会开裂或产生次品（带应力制品），这是非常重要的。值得注意的是制品的这些改动都需要征得客户的同意。

例：一个（直径为 D_c ）的塑料圆盘将收缩到直径 D_p 。见下图，其两边所提供的冷却完全相同，圆盘将保持平整。

但如果圆盘的收缩受到制品中其他壁的限制，圆盘就会对这些壁产生拉力而使其变形，在制品中就产生了很大的应力。如果将这个圆



盘设计成曲线型（如下图所示），这个拉力就会大大减轻。由于曲线型表面比平直的大，只要估算或计算正确，成型收缩后制品就会有一个平整的表面。如果制品指定要有较浅曲线，则模具中的曲线就要更深。



在上面的例子中，模具内的这种曲线无需征得客户的同意，然而在制品图中，带有一点轻微的曲线并附上足够的公差是很有好处的。这样一来即使是在所预计的收缩与实际情况不同时，制品仍是合格的。这一点特别是在对容器的体积（容量）有严格公差要求时尤为重要。

这种增大面积原理也可以在较大的面积上应用（主要是当塑料有较大收缩时），其做法是在表面上加上一个或几个波浪或台阶形，如图8-8所示。否则，其上表面就不可能得到平整。不用说，这是制品设计中的重大改动，必须征得客户的同意。

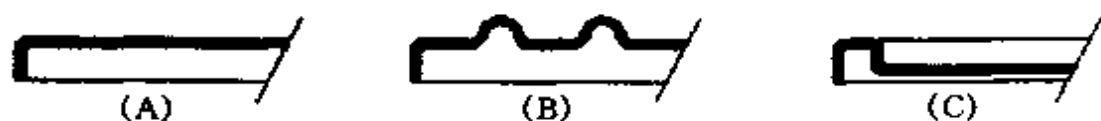


图 8-8 上表面的例子

(A) 平整的上表面对大量收缩十分敏感；(B) 在表面上加上波浪花形增大了面积以减小收缩的影响；(C) 在表面上加一个台阶以增大面积

8.2.7.3 浇口

塑料充填的情况在最近浇口的区域比远离浇口的区域要好得多，这样一来浇口附近处的塑料冷下来之后就阻止了更多的塑料充入模腔以补充收缩造成的体积损失。其结果就是靠近浇口处的收缩小于远离浇口处。

小浇口冻结得要快些。一旦冻结，在保压（填充）期间塑料就不能再充入，制品就会收缩得多一些。

较大的浇口处于开口状态的时间要长些。这些浇口要么冻结得很慢，而留下一个不起眼的浇口残迹；要么就采用热流道系统。如果不允许这样就必须采用阀式浇口。在这种情况下，浇口的关闭是可控制的，浇口残迹也较干净。在这两种情况下，塑料都可通过敞开的浇口在压力作用下不断地喂料，使制品在收缩时仍可得到更多塑料的补充添加。因此，阀式浇口的关闭时间以及保压压力对收缩的位置和大小都有很大影响。

浇口的数量也影响收缩。不止一个浇口的作用就是塑料不需要像只有一个浇口时流动那么远，较低压力就可使模腔很快充满（参见前面所述，填充对收缩的影响）。一个模腔是否要用多个浇口是一个很重要的决定。多个浇口，模具成本较高，但由此带来的生产率的提高，可以大大抵消这种成本的增加。

浇口的位置也影响收缩。对于均匀收缩来说，在中心开浇口通常是最佳的，但由于制品的外观要求或预定的用途，往往不能在中心开浇口。开偏心浇口就会使塑料在模腔内的流动长度不一致，如果同时又存在较大的压力降例如在薄壁制品中，即使模腔是一个规则形状（如方形），也会生产出奇形怪状（如不规则四边形）的制品。

偏心浇口结合以多浇口可以用来纠正上述的变形，但这样做可能还不够，还要对模具外形进行合理的变形才能补偿不均匀收缩（外形的变形如果选择适当的话，就可以得到符合制品图所指定的产品）。值得注意的是，这种补偿方法通常代价昂贵，往往需要反复试验，而要制品公差要求很严时，这种做法应该只能在不得已的情况下才选用。

8.2.7.4 等效冷却

像圆盘（唱片、碟片等）这种平整的制品，对不均匀收缩十分敏感。如果模腔和模芯作用在塑料上的温度不同，以及如果散热的速率不同，而制品在温态时顶出，那么顶出后收缩也会更多，从而使盘片翘曲。

像凸缘（或者说任何较厚区域）这样厚截面的冷却比平直区（或

较薄区域)的冷却更为重要,这是因为在顶出之前要保证厚截面处得到充分冷却,还要保证较薄的壁不能冻结太快而使厚截面处喂料不足。

一般来说,较深的制品对模腔和模芯间冷却的差别不太敏感。在制品收缩时,收缩力将其拉离模腔壁,而主要取决于模芯的冷却。

8.2.7.5 塑料在模腔内的取向

一般来说,塑料沿着流动路线方向上收缩要比垂直于这一方向的收缩大。如果制品是一个容器的话,从浇口到其沿口方向上的收缩要大于垂直于这一方向(即周向)的收缩。

8.2.7.6 操作条件

成型条件对收缩有很大的影响:循环时间,注射压力,保压压力及时间,冷却时间,温度和流量等等都会影响收缩。一副模具可以在一套成型条件下生产出最好的制品,而在另一套不同的成型条件下只能得出较差的制品。这就指出了在试模时准确地记录下这些成型条件是很重要的,并且要让客户知道这些成型条件。

很幸运的是,许多制品的允许公差都很大,从而上述许多成型条件对大多数模具却影响不大。但当制品公差要求严格时,每个因素都必须考虑到。

8.2.8 SPI 标准成型公差

由于许多条件都影响收缩,美国的塑料工业协会(SPI)已经发布了塑料制品(尺寸,材料)推荐公差的数值表(还可参阅第9章,模具表面公差)。所发布的公差都较大,从而影响收缩的所有条件都能轻而易举地处于大公差的“窗口”之内。这通常都能满足于通用制品,如玩具、厨房用具、电器用具、线路元件以及许多其他日用塑料制品。

往往在工程制品中对公差要求较严,诸如在电子、计算机等制品中,但有时即使在罩子等制品中,也需要了解造成收缩的原因和影响收缩的因素。任何可以预料的归因于收缩的问题以及对公差的影响,在模具设计开始之前都必须弄清楚。

8.2.9 收缩对容器形状的影响

本章中所讨论的各种因素可能对收缩都有综合影响。以下列举几个收缩对容器形状影响的例子。

8.2.9.1 圆柱形容器

由于容器的底部填充情况比沿口处要好，在容器的开口端收缩较大，并且容器会产生“前束”，如图 8-9 所示（夸大了收缩量）。

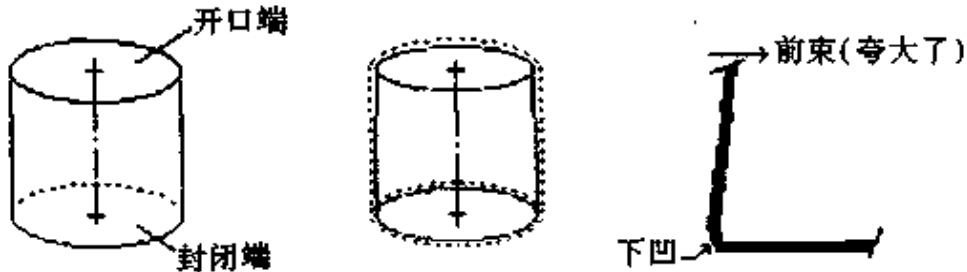


图 8-9 圆柱形容器的收缩在开口端要大得多于是在开口端就产生了前束

在确定钢模腔尺寸时，必须考虑到模具内充填较满处和充填不足处的收缩差别，这是由于塑料沿着侧壁流动时的压力降造成的（图 8-10）。

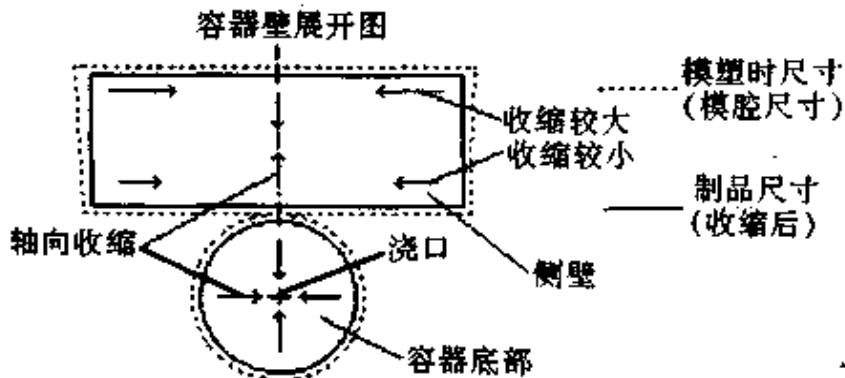


图 8-10 容器的截面图表明在离封闭端越远的区域（朝容器的开口端）其收缩越大轴向收缩和径向收缩都用箭头表明

8.2.9.2 锥形容器

适用圆柱容器的收缩因子同样适用锥形容器。靠近顶部的侧壁会往内收缩较多，表现出明显的前束（图 8-11）。

在这些制品中的卷边、唇边以及迭式台肩（图 8-12）可能会导致更多的前束和其他变形，从而对最终尺寸、体积、配合、迭层间距以及其他关键尺寸产生严重影响。

如前面所见，诸如熔融温度、冷却温度、压力、时间等成型条件以及产生的保压条件可能会严重影响制品的最终形状和尺寸。要准确

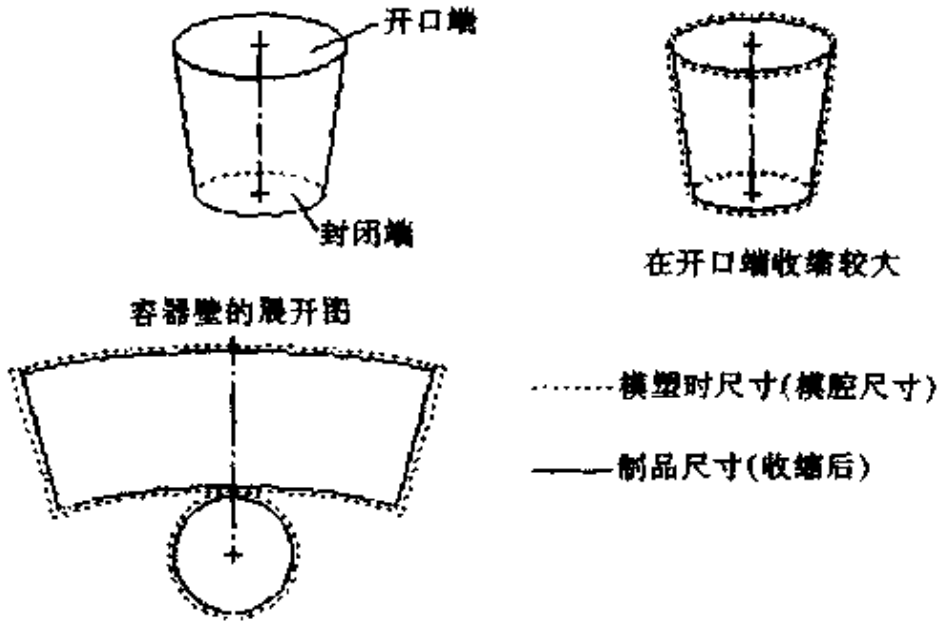


图 8-11 一锥形容器在其开口端收缩更大

预测一个制品的收缩通常不大可能。要能找到以前类似的设计，并且依据其选好的收缩因子（这些经验数据是最好的解决办法）。



图 8-12 容器模具中影响收缩和前束的特征结构
(A) 卷边; (B) 唇边

参 考 文 献

I. Rubin, I. I. (1972). *Injection Molding: Theory and Practice*. John Wiley & Sons, New York Toronto, p. 270.

第九章 模具表面公差

本章论述标注公差的基本原理而不是技术问题。这只适用于影响制品的公差，而不涉及模具内模具零件的装配。

9.1 标注公差的基本考虑

模具设计人员必须在真正需要的地方提出严格的公差要求。一开始，这可能比较困难，也可能要花更多时间，但终究它既会节约许多时间也会节省很多钱。设计人员合理标注公差也会赢得机械师的尊敬。

遗憾的是经常会发生下述情况：

①许多“相同的”零件都被标注了不必要的严格公差。（仅这一点就会增加更多的成本，因为这和较宽松的公差相比需要更多的检验和停工）。

②尽管倍加关注，仍会出现一个或几个这样的零件超出公差。常用检验和（或）监测来指导该做什么（需要写检验报告也会很浪费时间）。

③设计人员思考应该做什么才能解决问题。（浪费更多的时间）。

④在经过仔细审视之后（浪费时间），设计人员可能重新会决定对于这种零件应用较宽松的公差，这样就使得一些（或者全部）不合格零件又可能使用了，又要更改图纸，重标较宽松的公差（浪费更多时间），零件又返回到生产中。

很显然，机械师会感到奇怪，设计人员为什么在一开始不许用较宽松的公差（如果说这些公差是可以采用的）。所有这些时间的浪费和图纸上工作本来是可以避免的。

9.1.1 误解之一

常会产生这样的误解：只要模腔的尺寸（非常精密）都在给定的公差内，一副模具中的不同模腔（或不同模具模腔）成型的所有制品，

实际上都应是完全相同的。

事实并非如此！实际上，不管制品是否出自同一模具（或几副模具）中几个不同的模腔，制品图上所示的公差真正含义是，制品尺寸可以是制品图上限定值之内的任何尺寸（如果有疑问的话，必须向客户询问清楚）。

例：如果制品图上表示一个长度 $L=100\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ，这就意味着出自任意模腔的制品，其尺寸可能是 $99.5\sim 100.5\text{mm}$ 之间任一数值。这并不意味着长度都必须“实际相同”（例如 $L\text{mm}\pm 0.025\text{mm}$ ），只要所形成的长度在给定的 $L=100\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ 之内就是合格的。如果客户要求这样高的精度，则必须在制品图上标明（如 $L=100.000\text{mm}\pm 0.025\text{mm}$ ）。

多数情况下，这样的精度是不可能达到的；如果真是这样的话，模具价格要比公差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 的模具高很多。

9.1.2 误解之二

因为模具制造能保证很严格的公差要求，所以通常就认为赋予模具严格的公差，制品就更可能处在所要求的限度内。这只能说对了一部分。

正如在第八章中作过的详细解释，收缩对于制品尺寸的影响要比模具的模腔尺寸的影响大得多。

什么会影响成型尺寸的精度呢？

●假定的收缩因子。仅这一点而言，要想达到目标尺寸就很困难。因为这是很主观的事情，通常都基于以往的经验，基于实验数据，或是基于材料供应商或客户所给的数据。

●实际所产生的收缩，直接与成型条件（诸如时间、温度、压力、冷却）和成型材料有关。值得注意的是，即使“相同”的材料，从一批到另一批都可能会有性能参数的变化。这些变化中的任何一个都会改变所要求的尺寸。

在模具制造中，一个模腔与另一个模腔也不完全一样（模具公差）。

9.1.3 误解之三

尽管模具制造商有设备能够极其精确地加工出钢模腔尺寸，但这

并不意味着有严格公差要求的加工制造和公差要求较松的加工制造是一样容易，一样经济。这不仅需要加工逐渐接近严格要求的尺寸（意味着需要较多次切削而且要花更长的时间），而且需要更多的检验时间并且会产生更多的不合格品。这样一来其制造成本就要高很多。

这也可能意味着需要采用更精密的设备（如坐标磨床或电火花加工机床），本来这都可以用镗床或铣床来加工的。对于较宽松的公差要求，这些加工就可采用价格较低，并且较容易买到的设备来完成。

为了最有效地利用设备（无论对加工来说还是对制品来说），制品图上所给的每个公差都需要模具设计人员周密的考虑，这可能会需要更多的设计时间（包括对某些给定的公差进行评判分析）。这也需要同客户的密切合作。

这种设计上的额外工作可能只要几小时，而这会使所节约的加工时间达几十甚至几百小时。换句话说，设计人员对任何尺寸给定一个很严格的公差（如 $\pm 0.02\text{mm}$ ）是件很容易，也不需花什么力气的事情。要真正研究图纸并赋予公差则需要更多的时间和经验，这样才能使模具零件便于制造，也能使生产的制品达到给定的尺寸。

在美国塑料工程师协会（SPE）所提议的，与制品公差相关的钢模模腔公差的应用方法中已考虑到了这一点。一般地，他们建议以制品公差的一定的百分数（20%~30%），作为钢模模腔增加的尺寸，如表9-1所示。但这些规律的应用还要受到其他因素的影响。

9.2 制品壁厚的公差

设计人员应意识到制品的壁厚是由两个尺寸满足的：模芯的外部尺寸和模腔的内部尺寸，这一点是很重要的。例如，如果一个容器的总高度为10.2cm，壁厚为0.127cm，图纸标明一般的尺寸公差为 $\pm 0.051\text{cm}$ ，而壁厚的公差要求更严格（如 $\pm 0.051\text{cm}$ ）。尽管如此，模腔的深度和模芯的高度并不能将公差取为0.051cm，正如表9-1中所建议的。

表 9-1 模具制造公差的推荐标准 (in.) (根据 1965 年数据)

| 制 品 | | 模具制造许用的 公差百分数 | 建议的模具公差 (±) |
|-------|----------|------------------|----------------|
| 蓝图尺寸 | 蓝图公差 (±) | | |
| 0~1 | 0.002 | 20 | 0.0004 |
| | .005 | 25 | .0013 |
| | .010 | 25 | .0025 |
| | .020 | 30 | .006 |
| 1~2 | .005 | 20 | .001 |
| | .010 | 30 | .003 |
| | .020 | 30 | .006 |
| 2~3 | .005 | 20 | .001 |
| | .010 | 30 | .003 |
| | .020 | 30 | .006 |
| 3~5 | .005 | 20 | .001 |
| | .010 | 20 | .002 |
| | .020 | 25 | .005 |
| | .030 | 30 | .009 |
| 5~8 | .010 | 20 | .002 |
| | .020 | 20 | .004 |
| | .030 | 30 | .009 |
| 8~12 | .010 | 20 | .002 |
| | .020 | 20 | .004 |
| | .030 | 25 | .0075 |
| | .040 | 30 | .12 |
| 12~16 | .020 | 20 | .004 |
| | .030 | 30 | .009 |
| | .040 | 30 | .012 |
| 16~20 | .020 | 20 | .004 |
| | .030 | 25 | .0075 |
| | .040 | 30 | .012 |

注: 1in=2.54cm.

在上述例子中, 模腔深度和模芯高度这些钢模尺寸应取公差为±0.0127cm。如果这两个尺寸都取极限, 壁厚公差就应该是±0.0254cm, 比制品图规定的可能更小, 也可能更大。对于直径和侧面壁厚来说也应采用类似的考虑办法。

对于所有的多腔模具来说, 壁厚公差要求严格以及浇口的布置是

特别重要的，所形成的填充速度的平衡情况会影响不同模腔中制品的质量和重量。壁厚公差和浇口布置也会影响模塑周期。这一点是最重要的，特别在制造薄壁塑料制品时尤为重要。

对壁厚没有影响的其他尺寸就应采用较宽松的公差。这主要是指位置公差或表示面积和深度的尺寸（例如筋、刻字等）。

9.3 对公差负责

一般来说，预算员有责任在对模具估价之前，仔细审查制品图的公差，并在图纸送给设计人员之前，让客户知道明显不必要的公差。预算员还应对那些不必严格要求的尺寸明确标出来。

但这种做法并不能减轻设计人员（对图纸工作将更专心）对任何公差提出质疑的责任，在公差不要求太严的情况下要放宽公差，节约制造时间。

第十章 浇口和流道

何谓浇口？我们可将浇口定义为塑料流入模腔空间的入口通道。

对浇口的需要是矛盾的。大浇口最为理想，便于填充模腔空间，也能减小制品中的应力。且可以保持缓慢地冷却，并且模腔中收缩的塑料与注射入的热塑料能较长时间地保持连通，便于在浇口冻结之前进行保压（参见第八章）。

小浇口冻结较快，并且会产生较高的模塑残余应力，但是对于下面几点是极为理想的：①便于制品从流道上分离；②可使浇口残迹更不易察觉。热流道模具由于在浇口处能适当控制热量，并采用合适的浇口布置，就可以用较小的浇口，而不会过早冻结。

设计人员应从现有的标准中或建议的浇口尺寸中，为模具选择最合适的浇口结构，或者经计算而设计出新的浇口结构。

10.1 每个模腔浇口的位置和数量

通常，对大多数制品来说，一个模腔有一个浇口就足够了，而且，一般也能避免在制品中出现不理想的焊合缝，但也有例外。在下面几节中，将用实例来解释基本浇口位置选取的一些方法。

10.1.1 每个模腔开一个浇口

10.1.1.1 外侧中心浇口

对于热流道模具或三板式模具来说，应采用外侧中心浇口，从而使从浇口流到制品外侧边缘各处的塑料体积和流经距离都大致相同。将浇口开在偏离制品中心线的位置（图 10-1）有时可能会有助于充模。这必须让用户明白以确保这是用户允许的。由于塑料是朝着分型面流动的，排气一般来说不成问题。如果有死井，这些地方的排气就要精心设计（图 10-2）。

外侧中心浇口也用于细长制品（图 10-3），我们把长度大于直径两

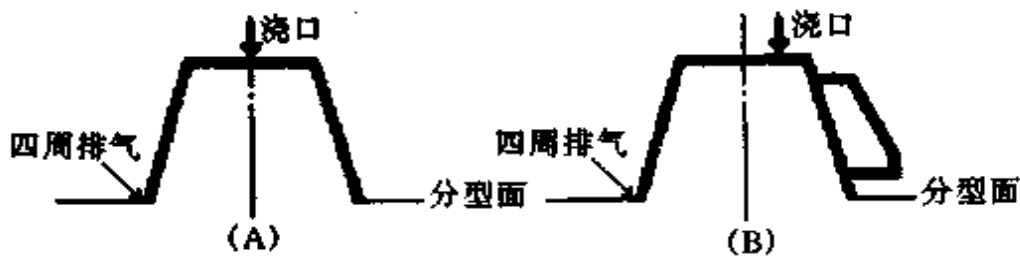


图 10-1 外侧中心浇口的两个例子
(A) 中心开浇口；(B) 偏心开浇口以利于均匀充模

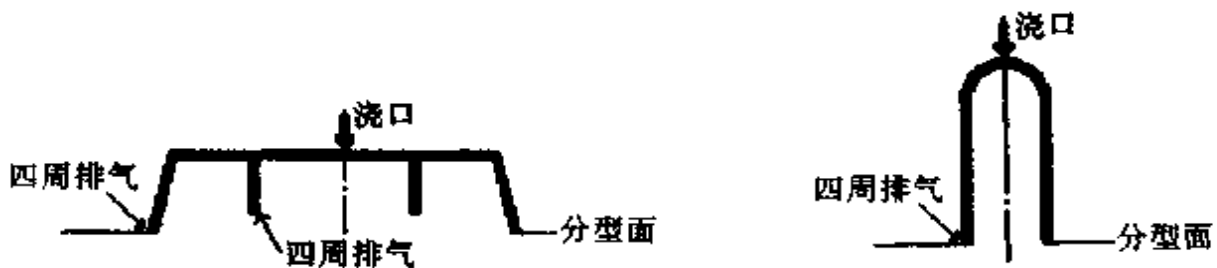


图 10-2 死井应精心设计排气

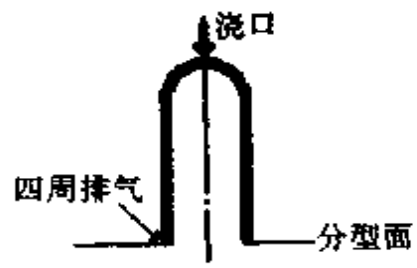


图 10-3 一个管形瓶的外侧中心浇口

倍的制品定义为细长制品，如管形瓶等。

主要问题是模芯位移或模芯倾斜，解释如下。

①模腔的中心线可能会与模芯的中心线不重合，有可能是设计或制造误差造成的，也可能在合模过程中模具和（或）注塑机倾斜造成的。结果是模腔的一边充模比另一边快，这样就会在模芯上施加了一个侧向压力，以致使模芯弯曲。

②两个中心线重合，但浇口偏心布置，正好能够产生类似于上述的结果。

值得注意的是，模芯位移对薄壁制品的影响是相当严重的，这时的注射压力较高，而且此时模芯稍有一点倾斜都会造成壁厚显著变化。模芯位移的影响更糟的是当制品几乎没有脱模斜度时，制品就会被夹在模腔和（弯曲的）模芯之间。这就妨碍了制品从模腔中取出，也影响开模，而需要更大的开模力，并且会导致模腔壁损坏（刮伤）。即使在注射前模芯只存在轻微的位移，注射过程中这种位移也会变得更大。

模芯位移可以看得见、容易测出的影响作用是制品壁厚的非均匀

性。制品顶出之后，仍呈温态的较厚的一侧壁收缩更多，从而使制品向厚壁侧弯曲。制品是长圆柱形时，这一影响会导致制品成香蕉状。（当制品在平整的表面上滚动时，就会很容易看出这一点）。模芯位移还会影响到充模情况，较薄的一边可能不能完全充模。

要保证所有零部件的同心度，究竟应选取多大的公差是有其价格限度的。适当选择实用的公差、精心设计（长而且能正确受预载）定位锥销斜度、选择刚性较好但较贵的模芯材料（例如碳化钨模芯，其弹性模量约是钢的2倍）都需考虑在内。通常浇口的选择（位置、类型）对模芯位移影响最大。如果所有这些都不能解决问题的话，则模芯就不得不紧固在注射一侧，只要对制品设计来说是可以接受的即可以。这样紧固之后会给浇口设计带来很大的麻烦。

10.1.1.2 内侧中心浇口

内侧中心浇口也适用于热流道模具或三板式模具，其位置安排（图10-4）的考虑方法同外侧中心浇口相同。排气问题也相同。所增加的复杂性就是制品的顶出要从注射侧进行，有时难以使制品留在顶出的一侧，同时难以提供足够的冷却（原因是冷却管路会与流道产生立体干涉）。

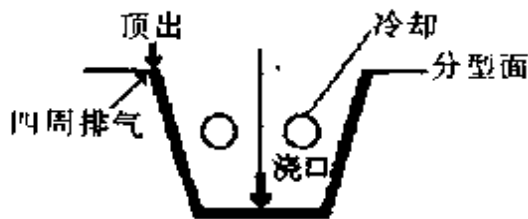


图 10-4 内侧中心浇口

内侧中心浇口只在特殊的应用场合才采用，即在制品的外观要求绝对避免浇口残迹时采用（诸如餐碟、餐碗、价格较高的带螺纹的盖帽等）。

10.1.1.3 靠近顶部的侧浇口

靠近制品顶部的侧浇口（图10-5）可以是热流道边缘浇口，也可以是隧道式浇口。制品设计可能由于美观或性能方面（如光学要求）的原因而不允许在制品顶部有留有浇口残迹。

在充填速度比较重要时，如薄壁制品的模具设计，在侧面开浇口比在靠近沿口处开浇口要好得多。由于浇口开在靠近制品的封闭端（底部），塑料通常会首先填满底部，然后朝沿口流动，流动情况类似于外侧中心浇口。



图 10-5 接近制品顶部的侧浇口

极力推荐侧浇口，如此布置以便使塑料料流不会自由地流进顶部表面，而是直接碰到（至少是部分碰到）模芯。料流也可以直接冲着顶部表面上靠近浇口处的成孔销流动。这就使塑料流动产生湍流，从而在顶部表面避免出现流动条纹。

排气是很关键的，因为塑料会移动，以致会包围一部分模腔空间，而将气体封在这个空间的底部。可用顶杆充当自然排气孔；否则，如果塑料是从所有侧面挤进模腔的，以致模腔气体不能在沿口处排出，就要采用排气销或在镶件中开排气孔（参见第十一章）。

10.1.1.4 靠近沿口的外侧浇口

靠近沿口的外侧浇口（图 10-6）常用在热流道边缘浇口、二板式模具以及隧道式浇口中。它常用于基本的、通用的制品成型，通常适于任意厚度的平面制品。对容器来说这种浇口位置并不可取，尤其是薄壁制品，原因是很难避免焊合缝和夹气。

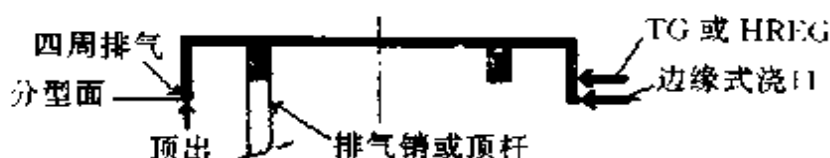


图 10-6 靠近制品沿口的外侧浇口

注：可以是边缘浇口、热流道边缘式浇口或隧道式浇口

排气是非常必要的，尤其是在沿口截面较大的情况。可用顶杆充当自然的排气孔；否则，如果空气不能在沿口处排掉，就必须采用排气销。

10.1.1.5 狭长制品的浇口布置

狭长制品模具可以采用热流道、热流道边缘浇口、三板式、二板式边缘式浇口或隧道式浇口（图 10-7）。通常的原则是将浇口布置在能让塑料流过制品的整个（或几乎整个）长度方向的位置，这样可避免

形成薄弱区域。排气一般不成问题。

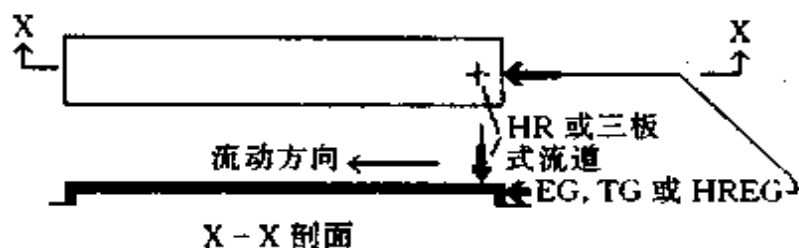


图 10-7 粗箭头表示一个狭长制品各种类型浇口的位置

有浇口的地方总是较薄弱的(图 10-8)。当塑料料流流出浇口时就被分散开来,从而产生薄弱区域,这类似于在缝合处形成的薄弱区域。



图 10-8 箭头方向表示塑料料流在浇口处的分流以及在浇口处形成的薄弱区

10.1.1.6 带有活铰链的制品的浇口布置

这种类型的浇口可以用在热流道、三板式以及二板式模具中。一种“活铰链”(通常用于 PP 制品)就是从制品的一部分(如箱子)到匹配的另一部分(如盖子)之间的一个非常薄的通道,因此在通道的地方形成了一个铰链(图 10-9)。通常浇口位于制品较大的那部分上,制品较小的部分是通过铰链而充模的。

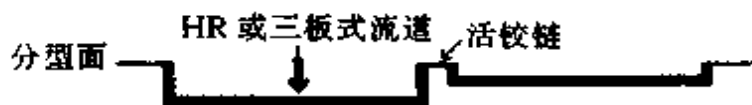


图 10-9 带活铰链的制品适合用一个浇口

通常,应避免在两部分都开浇口,因为这会在铰链上形成一个薄弱的缝合线,从而在使用过程中,铰链折迭不了几次就会断裂。如果因为某些原因必须开两个浇口,那么必须保证从两个浇口中流出的料流绝不能在铰链上形成缝合线。

10.1.2 每个模腔开两个或更多浇口——大制品

对于很大的制品(如汽车制品、装瓶格子箱等)来说,有时需要在每个模腔上开出两个或更多浇口,此时如果只有一个浇口,则塑料

流动距离就会太长和（或）在冻结之前的时间内不能提供足够的充模塑料。较大容器的模具也会采用多个浇口，此时经过两个或三个浇口的料流与只有一个浇口时相比充模速度加快了。

与一个模腔开多个浇口有关的问题。

①浇口的冻结 当一个模腔开多个浇口时，对于冷流道（二板式或三板式）浇口来说，冻结不成问题，因为浇口中的塑料与制品被一道顶出，并且对于下一次循环来说浇口总是打开的。

在带有开式浇口的热流道模具中，依靠塑料压力打开浇口（在上次循环结束时浇口已局部冻结）。如果各浇口处的压力不均匀，或者一个浇口比另一个浇口冷，则塑料就会通过较易打开的浇口流入模腔而使其充满，同时其余浇口就不会有塑料流入。

对于阀式浇口，这就不是个问题了，原因是所有浇口都是机械式打开的，或者配有特别加热器，浇口不会受到压力或温度差别的影响。

②浇口间的最小间距 在热流道浇口中，浇口间需有一个最小间距，这是由热流道零件结构尺寸决定的。

③焊合缝及排气 在两股或多股塑料流会合的前沿，会形成一条焊合缝，与制品其他截面强度相比，焊合缝处强度较低。在制品的表面上也可能会形成难看的焊合缝甚至是空洞。

如果能将夹在两股塑料流前沿间的空气排出的话，就可防止由于焊合缝区夹气和（或）封闭的气体受压产生急剧温升，导致由烧伤所造成的焊合缝强度的减弱，焊合缝区的强度因此而能够得到改善。两股塑料在到达连接点（焊合点）处时具有足够的热度是很重要的，只有这样才能形成可靠的焊合。

在大制品中，从各个浇口到沿口和到焊合处的流动距离应该大致相同（图 10-10）。如果焊合比较薄弱或是焊合缝很明显，建议采用较高的注射温度和（或）成型温度以及较慢的循环周期。



图 10-10 从浇口到连接处和到制品边缘的距离 D 应相等

注： D 为距离

10.1.3 每个模腔开两个或更多浇口——细长的制品

除了在制品的开口端开出两个或更多个浇口之外，成型条件（如前所述）类似于其他细长制品（通常是圆柱形）。这一系统主要限于采用边缘浇口或隧道式浇口的三板式模具；但这样一个三板式系统可以结合一个热流道系统（热注道），利用热流道将塑料输送到分型面。塑料从与模腔相对的一侧进入并朝顶端上升（图 10-11）。作用在模芯上的力是平衡的，模芯上的作用力始于模芯牢固安装的一端（并且不易弯曲），尽管模芯很细长（笔筒等），上升的塑料也能将模芯稳定地包紧在其间。

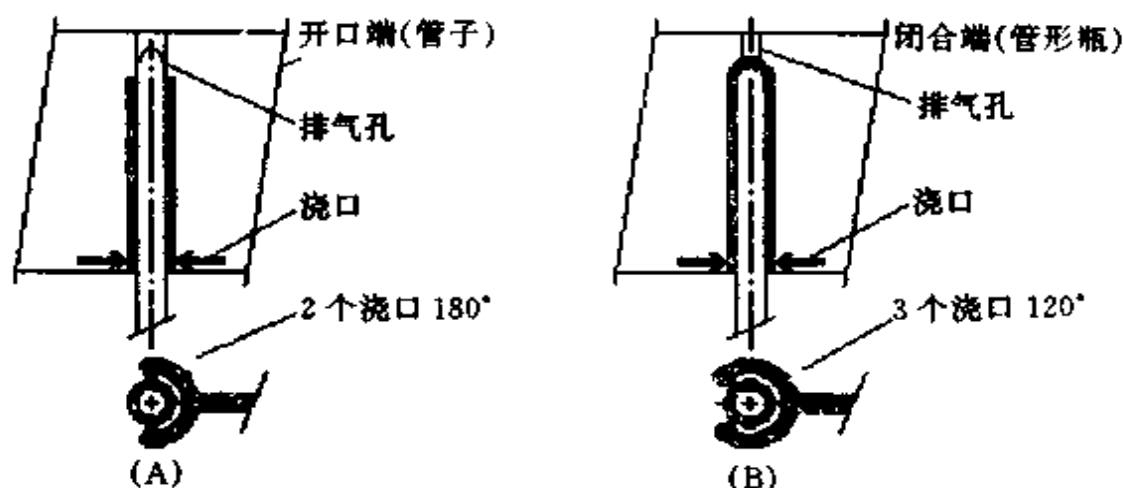


图 10-11 细长制品的多个浇口

(A) 管形制品的两个浇口；(B) 管形瓶的三个浇口

两个浇口间隔 180° ，三个浇口则间隔 120° 。如果对沿着侧面的焊缝要求很高，就要选择连续式浇口，但这样的浇口不能自动切除。另一种办法就是将浇口开到围绕制品的一个整体圆环中，这必须在成型之后用机器切除。

这一方法也使细长管状制品模具易于开浇口。其模芯是插进模腔的，如图 10-11 (A)，并且要安装固定好，以防弯曲变形。要在模芯进入模腔的位置，布置一个热流道通常是非常困难的。

在这种模具中要考虑的最重要的事情就是排气问题，其排气端要求离浇口最远，以保证气体不会被封夹在模腔内。即使是闭端的细长

制品（管状瓶）也可以像这样开浇口，只要用静排气销能进行可靠排气就行了，见图 10-11（B）（采用活动的自清洁排气销更好）。

10.1.3.1 在沿口内侧开侧浇口

这一方法和热流道边缘浇口一起使用，用于制造薄壁容器等制品（图 10-12）。其主要问题是安排合适的冷却管道的空间受到限制（必须同热流道置于同一侧），以及从这一侧进行顶出的空间也受到了限制；同时还有对闭端（制品的底部）的排气和焊合缝问题。该系统的优点是循环周期较快，制品壁厚可以较薄，原因是在这里模芯位移不是严重的问题。

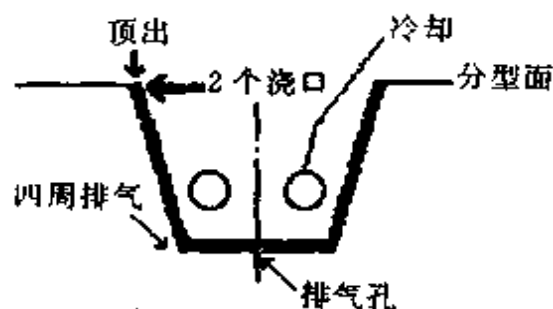


图 10-12 一细长制品在沿口处内侧的浇口开法

10.1.4 浇口残迹

浇口残迹是制品外观上可见的流道与制品间塑料的切断点（断开点）。其外形与浇口形状一致。浇口形状通常是圆形（热流道浇口、热流道边缘浇口、三板式浇口）、椭圆形（热流道边缘浇口、隧道式浇口）、半圆形、矩形或梯形（边缘浇口、隧道式浇口）。当从热塑料上切断时，其浇口残迹的外观有光泽；当从冷塑料上断开时，其外观暗淡。

由于浇口残迹增大而超出（高出），塑料注入处的表面形成了突起。这一残迹突起要取决于注射塑料、浇口长度以及成型条件。

设计人员必须通过选择（有可能的话，从现有标准上选）适合于模塑料、制品类型以及注塑流动速率的浇口设计，并且充分利用制品设计人员所标出的任何一个可允许的浇口尺寸，以使突起处于最小程度。

如果制品设计已给定了允许的突起尺寸，那就没有理由再引入不必要的结构（如阀式浇口）来增加模具的成本。一般来说，合理设计的浇口只会留下最小的突起。

10.1.4.1 浇口的隐藏

无论在热流道模具还是在冷流道模具中，都可以将浇口隐藏在一

个有纹理的闷光的表面内；隐藏在一个字母的封闭部分中，如 D, O, P 等；隐藏在雕刻的装饰图案中，比如在几个同心圆内；或隐藏于一张脸的嘴中或眼中等。这可能会要求浇口不能正好位于模腔中心，而是在适于隐藏浇口的位置。如果偏离中心太远，就可能要影响到塑料的流动和模腔的充模。如有必要的话，浇口可以位于一个带有纹理的（粗糙的）区域，其粗糙度类似于浇口断开处的情况，不太显眼。

在设计人员对有可能对影响制品外观的浇口位置作出决定之前，是否隐藏浇口必须同用户商讨，征得用户的同意。有经验的制品设计人员往往会在制品图上指定浇口的位置以及最大允许突起。

如果制品外侧的任何浇口残迹都有害的话，则：

①对于三板式模具（很少的热流道）来说，设计人员应选择在制品内侧开浇口，这会增加设计复杂性，也会增加模具成本；

②对于二板式模具来说，设计人员可以选择从注射的一侧进行顶出（较为复杂），或者选择“沉陷浇口”或称作“下沉式浇口”。

后面将讨论各种热流道浇口，并将指出宽浇口和阀式浇口的区别。在这里，我们只考虑浇口残迹的影响。

10.1.4.2 缩窝

缩窝是指制品的增厚部分，通常呈半球状，如图 10-13 (B)。它有助于为从浇口流入的塑料提供非限制性流动。如果没有缩窝，则塑料必须绕着尖角流动，这会在流动方式上受到限制，如图 10-13 (A)，并且产生显著的压力降，降低充模速度。缩窝消除了料流绕着尖角所引

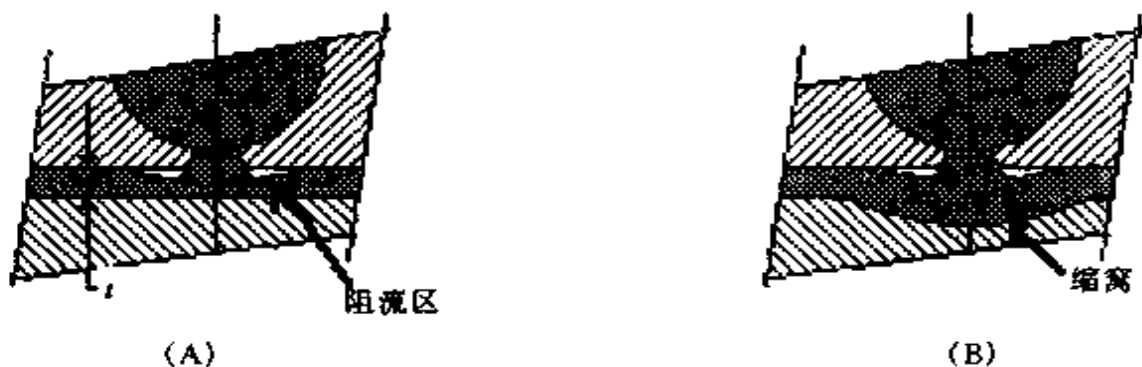


图 10-13 从浇口流出的料流

(A) 受到尖锐拐角的限制；(B) 制品上开设缩窝有助于料流动

起的限制性影响。

缩窝的另一个好处（特别是对薄壁杯形制品）是，在这一点所增加的那部分塑料在顶出后在短时间内仍能保持热度。当其收缩时，浇口残迹就会“往里缩”，几乎消失（图 10-14）。

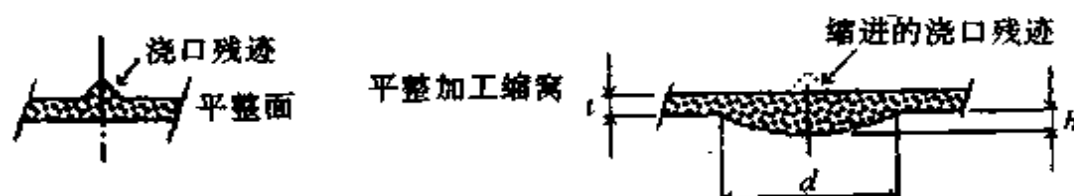


图 10-14 浇口残迹要取决于制品的形状，可能十分明显（左图）或有缩窝时会缩进制品（右图）

一般都应采用缩窝，除非用户极力反对。如果没有缩窝，特别在薄壁制品中，制品质量会受到影响，并且成型周期可能要延长。

缩窝尺寸建议如下。

直径： $d=4\sim 10\text{mm}$

高度： $h=0.75t$ 当 $t<0.75\text{mm}$ 时

$h=1.0t$ 当 $0.75\text{mm}<t<1.5\text{mm}$

对于厚壁制品 ($t>1.5\text{mm}$) 来说，基本不需要缩窝，因为从浇口流入的塑料有足够的流动空间（没有受到浇口的限制）。

10.1.4.3 凹进的浇口

在小区域内可以将制品表面下凹进一点（图 10-15）。这样即使留下了一个浇口突起，也不会超出表面，否则以后倘若要在此贴标签，标签就会被浇口突起弄坏。在诸如饮料杯的底面，也不希望出现一个（尖的）浇口突起。



图 10-15 下凹的浇口
(A) 没有缩窝；(B) 有缩窝

如果浇口可以凹进一点的话，凹进的深度 h_r 至少要等于 t 。对于壁

厚 $t < 1.5\text{mm}$ 来说,凹进量要考虑缩窝,如图 10-15 (B),近似在一个水平面。请注意,图中所示的浇口凹进形状是球面形,实际上只要适合制品,任何形状都是可以的。

10.1.4.4 带有缩窝的热流道边缘浇口

这种浇口留下的残迹类似于冷流道隧道式浇口留下的残迹。该浇口残迹是在开模时由模腔与制品(制品与模芯一起运动)的相对运动,使制品从浇口(只是部分冻结)处剪切下来造成的。该浇口残迹是平整的(没有浇口突起),且比冷态塑料切断后形成的浇口残迹要光亮得多。

实际上,这种浇口不可能隐藏,最好的做法就是使其尽可能地小。在尽可能的情况下,不是采用缩窝,而是基于同样的原理,将塑料进入处的区域加厚一点,或是将浇口开在制品较厚的地方,这是很有用的。

通常在薄壁制品的模具中,除了采用缩窝之外,制品底部的厚度 t 还应增加 $0.025 \sim 0.050\text{mm}$,以便于塑料向侧壁流动。如果制品图标明的底部不是较厚的话,应予建议。需要的增加量可能还在制品要求公差的范围,增加这一厚度后甚至不需要修改技术指标。

10.1.4.5 阀式浇口

阀式浇口的残迹通常是圆形,看起来好像是顶杆留下的印记。在设计阶段,通过对阀杆的设计就可以控制浇口突起的高度。理论上说,不应该有突起;由于存在公差积累,突起应设计成负的(即从零到稍微缩进制品内一点)。这将在后面讨论。

对于所有的浇口(包括热流道浇口)来说,应予说明的一点就是,当塑料料流从浇口进入模腔空间时,应被分散成许多湍流,以免形成流痕和漩纹。最好的做法是将料流直接对着模腔中一个实心的障碍物,诸如模芯或是对着浇口的成孔销。应尽量避免直接向模腔中开阔的空间(诸如制品的平底或筋部)注射(开浇口)(图 10-16)。

对大多数热流道和三板式模具来说,由于浇口直接对着实心的模芯,这一点通常不成问题;但如果有一个很深的筋位于此处,浇口就会直接向开阔的空间注射塑料,在这种情况下最好将浇口移到料流直

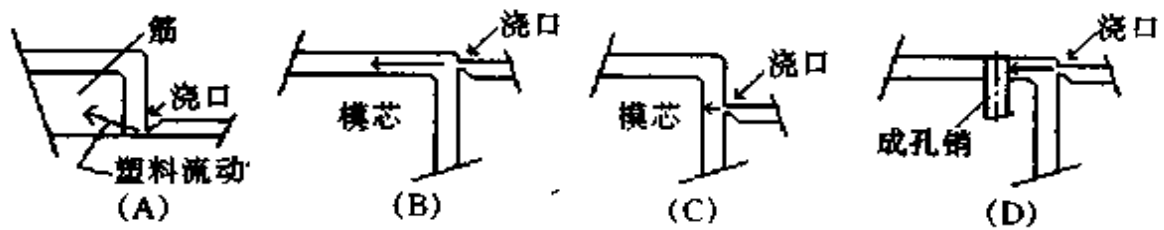


图 10-16 不同位置的浇口影响塑料流动，应避免直接注射进入 (A) 筋部；(B) 开阔的空间，注射可以直接对着；(C) 模芯；(D) 成孔销接碰到模芯的位置。

10.2 热流道浇口的类型和结构

10.2.1 开式浇口

这种浇口对于加压的塑料料流来说是敞开的，但在每次注射（或保压）循环结束时，浇口中的塑料就冻结起来足以充当一个模塞。这样，在模具打开顶出制品时，可以防止流道中的热塑料漏出（“滴料”），进入模腔。

开模时，浇口中的部分材料留在了制品上，从而造成了一个难看的浇口残迹（通常是锥形的）。浇口残迹的大小和形状要取决于浇口的形状以及注塑机的操作条件（温度、压力、时间）；因此也取决于模具设计，同样或甚至更多地取决于模具装配。

在下一次循环时，塑料料流将模塞挤入模腔，浇口又打开，料流又可以充模。模塞通常会熔化并与注入的塑料混合。重要的是模塞必须比正对浇口的制品截面小，以保证模塞可以通过浇口区域（就是说，浇口长度必须比模腔和模芯的间距小）。缩窝则可以提供一个有利的条件。

设计开式浇口的目的是寻找一个几何平衡，即模塞在浇口段能很快冻结但然后又可以很容易地被挤入模腔。浇口段朝着刚流到此处的塑料的部分带有一定斜度，以拓宽流道（在流道中塑料保持很热的“泡沫”状态——流体状态）以备下次循环。在多数情况下，加热的喷嘴梢部会给流体带来额外的热量。

需要重申的是，注塑机的操作条件（即温度、压力和时间）对开

式浇口的正常运作起着非常重要的作用。从模具操作的观点来说，阀式浇口的要求没有开式浇口那么苛刻，但较昂贵。

开式浇口的应用已扩大到 PE 和 PP，一般来说，适用于没有或几乎没有“拉丝”倾向的塑料。（“拉丝”是指当模具打开时，从浇口较热的中心部拉出一条塑料线的现象。）

开式浇口有三种基本类型：

- ①圆形浇口；
- ②环形浇口；
- ③边缘浇口。

10.2.1.1 圆形浇口

图 10-17 表示出了长圆柱形浇口段的缺点。浇口段中的断开点不确定，因而塑料可在浇口段的长度 L 方向上任一点处断开，但断裂处通常靠近热塑料，并在制品上留下一个很长的突起。这种浇口较易于加工制造，但并不好。

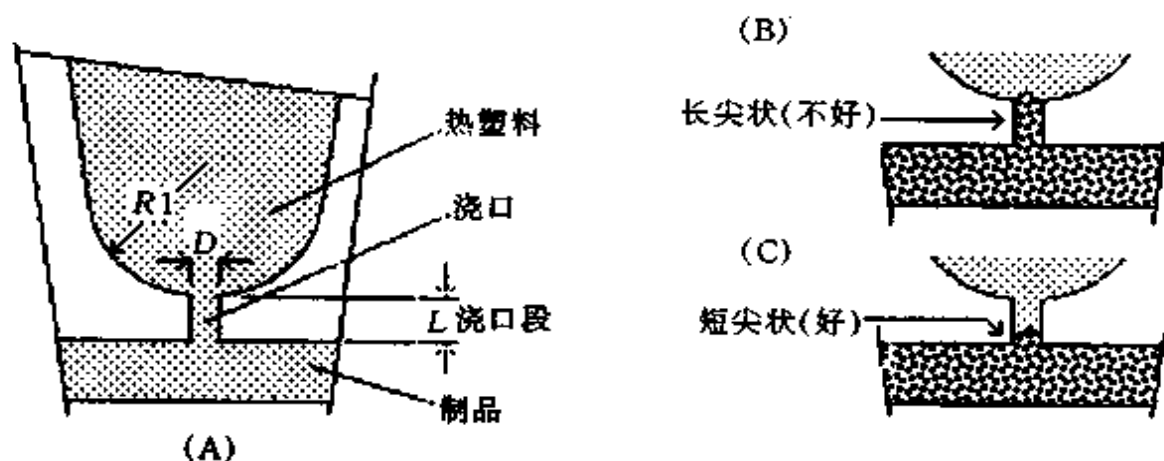


图 10-17 圆形浇口

(A) 长圆柱形浇口段；(B) 注塑后在制品上往往会留下一个长的突起；(C) 短的尖状浇口残迹是满意的，但不能确定

图 10-18 中的浇口设计表明浇口长度 L 很短，从而提供了明确的断开点，它位于高出制品的锥形突起部位。在断开点上方还会有一个小锥形突起（在冷锥上还会粘上一些热塑料），但总的突起部分或多或少可以预测。

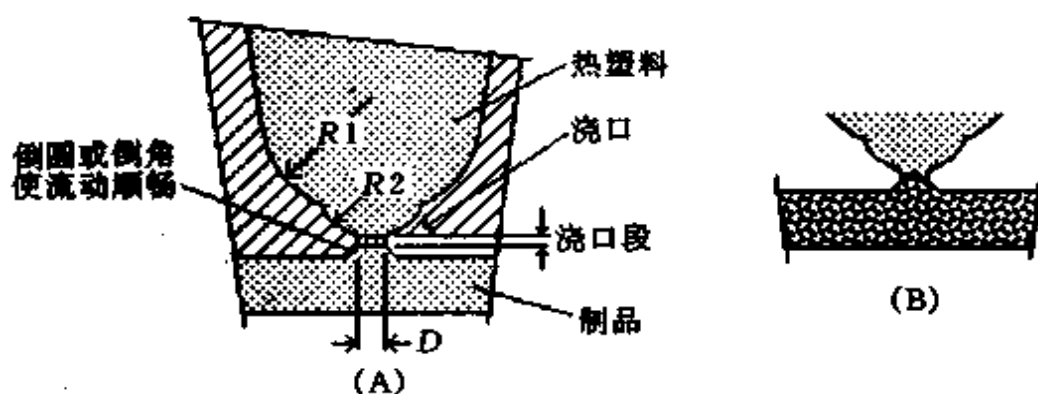


图 10-18 短圆柱形浇口段

(A) 注塑后; (B) 冷却后

对于厚壁制品或采用了缩窝的薄壁制品来说，如果顶出后在制品中（浇口区域）的塑料仍有足够热量的话，浇口突起部分可能会消失。宽浇口的实际形状都是实验和经验的结果。

主要的问题是：

①浇口区的强度：塑料的压力有将浇口周围的钢材推挤向模腔内的倾向；

②对从浇口处向外流失的热量的控制。

图 10-18 中所示的浇口结合了两种半径（ $R1$ 和 $R2$ ），浇口长度也比图 10-17 所示的（只用了一种半径 $R1$ ）短得多，借此增加强度和增加从浇口导入更多热量的能力。设计人员在选择一个已有的浇口尺寸或设计一个新浇口时，必须考虑上述情况。

图 10-19 表示了开式浇口的另一种设计。尽管所示的浇口十分简单，但由于难以控制通过辐射和传导所散失的热量，实现浇口区温度精确控制比较困难。同时也暴露了制品与热喷嘴直接接触的问题。

较好的解决办法是采用如图 10-20 所示的浇口。这种浇口喷嘴与冷却的模腔不接触，而是由一层塑料将其隔离开来。喷嘴和模腔内的温度都能得到较好地控制，也较容易为浇口提供适当的冻结条件。

圆形开式浇口的优点就是它可以做得很小，能很好地适用于热敏性塑料，并且与其他类似的开式浇口相比，其制造成本较低，且更易于操作。

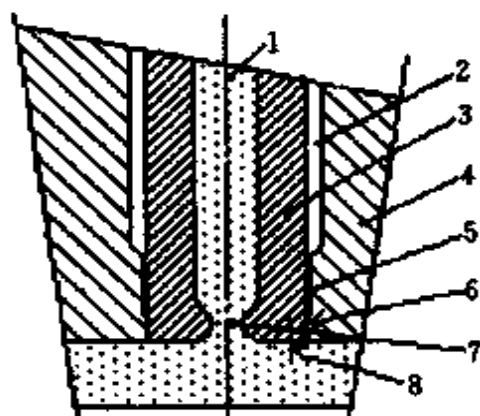


图 10-19 热损失控制较差且注嘴与制品的直接接触的开放式浇口设计
1—制品供料；2—起隔热作用的气隙；3—探头（良好的导热体-镀铜）；4—冷却的模腔（钢等）；5—间隙（辐射热量损失区）；6—良好的接触（高热量损失区）；7—浇口；8—制品与探头接触处的受热区

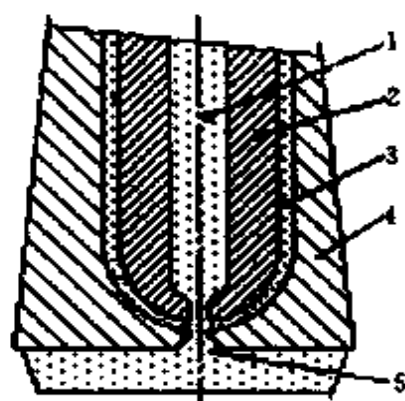


图 10-20 防止制品与热注嘴直接接触以及较易于控制热损失的开放式浇口设计
1—制品供料；2—探头（注嘴）（镀-铜）；3—塑料隔热层；4—冷却的模腔；5—浇口

10.2.1.2 环形浇口

基本的环形浇口实质上是一个在其中心部加入了加热探头的开式

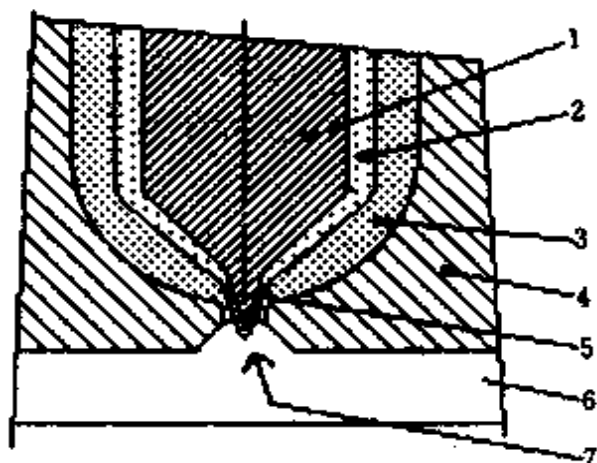


图 10-21 在浇口中心有一个加热探头的环形浇口
1—加热的探头；2—热塑料层；3—较冷的塑料层；4—冷却的模腔（钢）；5—探头的末端或尖部；6—模腔空间；7—浇口

浇口，以防其过早冻结（图 10-21）。需要注意的是浇口形状与注嘴梢部的形状密切相关。

无论在圆形浇口还是在环形浇口中，加热的探头、注嘴或注嘴梢部都位于模腔体的一个井形孔的中心。在井形孔的底端就是浇口，尖锐的注嘴梢部靠近浇口或位于浇口内。

由于注嘴梢部暴露于高速的塑料料流（往往具有磨蚀性）中，因此会渐渐磨损而需要更换。在一些热流道中，注嘴梢部是一个独立的

元件，用螺纹拧进注嘴筒内，易于更换。注嘴梢部的材料通常是铍铜，因为它具有优良的导热性和强度。当预计梢部会发生严重的磨损时或者梢部导热性较低影响不大（从经验得出），而又希望钢材具有较高的耐磨性时，可采用工具钢梢部。热流道元件的制造商们已经开发出了各种典型形状的注嘴梢部和浇口，并在他们的产品目录中都有图示。

在环形浇口中，来自歧管的塑料进入环绕注嘴的回流空间，同时流向浇口。由于注嘴梢部位于浇口内而形成了一个环形通道，进入模腔的塑料就像一个挤出的管子。塑料充满了注嘴和其周围（冷却的）模腔之间的原有的空隙，由于塑料是热的不良导体，几乎不会有什么热量穿过这层“塑料隔热罩”损失出去（图 10-22）。

在加工易降解的热敏性塑料的模具中，我们发现用一个已经成型好的或已经机加工好的高耐热塑料（如 Vespel™）来填充注嘴和模腔的间隙是很有用的。

只有很少的热量能穿过这种注嘴梢部的隔热层传递到冷却的模腔造成损失，同时它可防止热敏性塑料进入开口的空隙（它会在里面降解并可能玷污制品）。

环形浇口的优点有以下几点。

①在截面积相等的情况下，管状通道的壁厚 t 要比圆形浇口的直径小得多。只要稍微增加一些浇口直径，流道的截面积就会增大很多。而在等面积的圆形浇口中，其截面积就会太大而不易控制，并容易产生滴料。流道的尺寸（管形的壁厚） t 在很大程度上取决于注嘴梢部的尺寸和形状，以及梢部在浇口内的轴向位置和同心度。探头的热膨胀对这一通道有很大影响，必须进行计算以达到合适的深度和直径大小。

②浇口完全冻结很少发生。在浇口其余部分已经冻结之后，靠近注道很薄的一层塑料仍保持热量（以及粘度）（图 10-22）；在下次注射

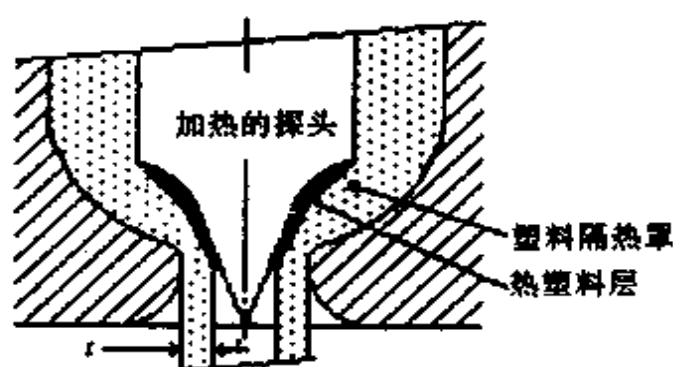


图 10-22 被塑料隔热罩包围的加热探头

过程中，塑料就会很容易进入模腔，因为热的塑料流会很快熔化周围冻结的塑料。

③很少发生拉丝现象，因此，环形浇口一般用于容易产生拉丝且不是非常热敏感的塑料（如PS）。还常用于需要很高的充模速度以获得快速循环的模具，如生产一次性杯子等。

④环形浇口形成的浇口残迹比圆形浇口的小。

⑤环形浇口的采用打开了一个更宽的操作窗口，因为浇口内的温度更便于控制。

环形浇口的缺点有以下几点

①由于来自歧管的塑料将进入到注嘴的中心线处，则必须将该料流经两个或多个分流道从中心向注嘴外侧输送。如果这些分流道太靠近浇口和（或）温度太低，输送的料流可能没有足够的时间熔进管状料流中。可能导致在制品中出现可见的熔合线，这是不能接受的。

②环形浇口并不适用于所有的树脂，因为需要高压来克服狭缝中很高的流动阻力。

③注嘴梢部与浇口间的狭缝很容易被塑料中的杂质堵塞。当使用“脏”塑料时，不能采用环形浇口。

④塑料在长时间受注嘴的加热之后会降解。造成的危害是，一些降解的塑料常常被新鲜的料流冲洗下来，造成制品的污染。

图 10-23 所示（示意性的）是三种常用的环形浇口。图 10-23 (A) 和 (B) 是以前设计中用的，如今大多数设计采用的是类似于图 10-23 (C) 所示的系统。

圆形开式浇口和环形开式浇口都可用于任何一个热流道模具中，但也可用于绝热流道的模具中（在这种模具中，分配塑料的歧管不需要加热）。几年以前，许多模具都采用这种绝热型的热流道系统，它实质上是基于塑料的绝热性。它的歧管不需任何加热器就能将塑料输送到各个注嘴。对于某些塑料并在一定的模腔尺寸和一定的模腔数限额之内，这一系统十分可靠且制造和操作十分低廉，但它对模具和注塑机操作人员有一定的技术要求，否则就不能保证安全操作。这里不作进一步讨论。

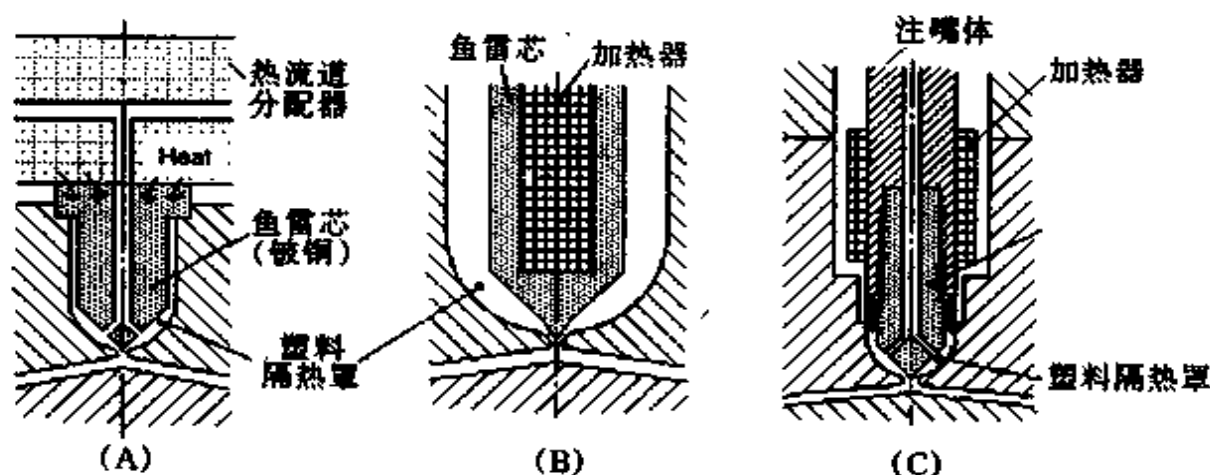


图 10-23 三种常用的环形浇口设计

(A) 由一个热流道分配器传导供热；(B) 鱼雷芯由一个内置筒式加热器供热；(C) 注嘴梢部由一个套在外面的加热圈加热

10.2.1.3 热流道边缘浇口

图 10-24 所示是一个典型的热流道边缘浇口布置。其原理与圆形开式浇口相同。在每次注射循环结束时，浇口中的材料冻结。

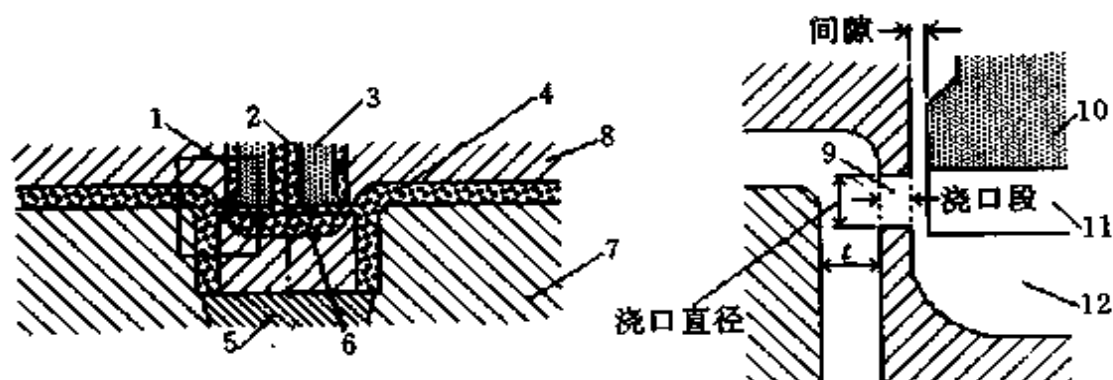


图 10-24 典型的热流道边缘浇口设计

1—隔热层；2—供料；3—导热体（注嘴）；4—制品；5—脱模板；

6—隔热罩；7—冷却的模芯；8—冷却的模腔；9—浇口；

10—注嘴；11—供料沟槽；12—隔热罩

当开模时，制品与模芯一起移出模腔，剪断浇口，在打开的模腔和流道系统内的热塑料之间留下了一个模塞（或称冷料）。模塞防止塑料滴漏进模腔。在下次注射时，模塞被推入模腔空间熔融，通常会消失。

上述示意图中所示的热流道边缘浇口 (HREG) 是圆柱形的, 最好稍微赋予其一点锥度 (每边 5°), 以便模塞能很容易地推入模腔。还需注意的是, 在此图中所示的浇口段方向与模腔壁垂直, 也可以做成一角度 (最大可达 30°) 以形成一个较尖的剪切角来改善浇口的剪断机能, 这样一来浇口残迹是一个椭圆形。浇口一般是圆形的, 也可以是方形的或用电火花机床加工成任何其他形状, 以在注嘴井和模腔间形成一个通道。

对热流道边缘浇口的设计提出如下几条建议:

①“隔热罩”应尽可能地大, 以形成一个不易冻结的塑料池。

②浇口段长度 L 应很小, 在 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ 范围内。越小越好 (图 10-25), 但要受到钢材强度的限制。在图 10-25 (A) 中, 浇口段长度 L 较大以保证在模腔和隔热罩井之间有足够的强度。在 (B) 中, 由于制品的形状变了, 浇口段长度可以较小一些, 不会削弱强度。

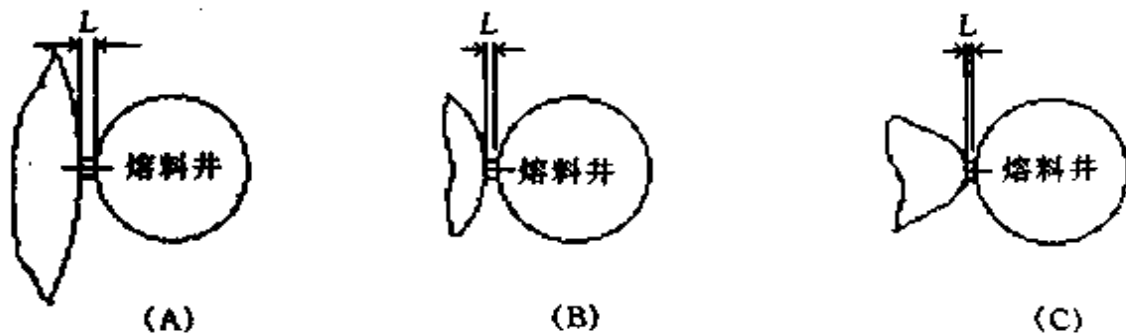


图 10-25 三种不同浇口段长度的热流道边缘浇口的顶视图

(A) 浇口段长度 L 大; (B) 浇口段长度 L 较小; (C) 浇口段长度 L 最小

③浇口段长度 L 必须比制品正对浇口处的壁厚 t 小, 从而在下次注射过程中, 模塞能很容易地被注入的塑料推出浇口。

④图 10-24 中的间隙应尽可能地小 ($0.03 \sim 0.05\text{mm}$), 使导热的注嘴和其热量靠近浇口区的塑料。但注嘴绝不能碰到冷的模腔, 以保证浇口区的温度能进行适当控制。

⑤从浇口注入的塑料的反作用力必须要很好地支撑, 以防造成注嘴弯曲, 偏离浇口。在同一溶井中可设置相对的 (间隔 180°) 两个浇口, 分别为两个模腔供料。也可设置三个浇口 (间隔 120°) 分别为三

个小模腔供料；甚至四个浇口（间隔 90° ）分别为四个更小的模腔供料。如果只有一个模腔，正对浇口处必须安置一个机械支撑，或者注嘴设计得很刚硬，足以承受弯曲力。

10.2.2 阀式浇口

阀式浇口的原理是，浇口打开和（或）关闭的实现与注射压力无关。在有些系统中，注射开始时，浇口在注射压力下打开的。但该浇口不需要借助注射压力将浇口中冻结的塑料推出。浇口的打开和关闭是机械式（用一个杆）或热控式（用一个特殊的加热器）的独立操作。

机械控制的浇口可以单动操作或双动操作。

①单动操作 浇口由加在阀杆台阶上的塑料压力打开，关闭则由以下两种设备。

a. 一根弹簧，当压力降到一定程度后就立即动作。这会产生一个问题：在只需较低的注塑压力时，弹簧必须软一些；对于较高的注塑压力，弹簧必须较硬（例如，注塑压力较高而保压压力较低时，强力弹簧就会过早地关闭浇口）。此外，软弹簧可能没有足够的弹力保证浇口的关闭。在有些热流道系统中还发现弹簧在高温下可能会发生退火。

b. 一个（串联式）气缸或一个楔块（气动或液压带动）在压力降到一定程度后立即动作。

②双动操作 在需要的时刻，浇口的打开和关闭都由串联气缸完成。在注射循环开始时浇口通常都是打开的。在阀杆上没有台阶。

有的阀式浇口系统是用液压方式来操纵阀杆的，但由于和热流道歧管比较靠近，有引起燃烧的危险，因此需要特殊的、不易燃的液压流体，但通常在注塑机的液压系统中不要求这种的流体。有的系统采用不与阀杆串联的气缸，比串联式更占空间。

对于热控式浇口，在浇口中置入一个电加热点，通过控制该点处的加热和温度来打开（熔化）或关闭（冻结）浇口。

10.2.2.1 基本的阀式浇口

图 10-26 所示的是阀式浇口早先的设计形式。一根圆柱形的阀杆进入一个圆柱形的浇口。产生的问题是定位程度差，阀杆弯曲，浇口磨损以及阀杆折断。行程 S 必须保证能离开浇口有足够的距离，以保

证阀杆的端部在浇口内是冷的，回浸到热塑料中又被加热了。

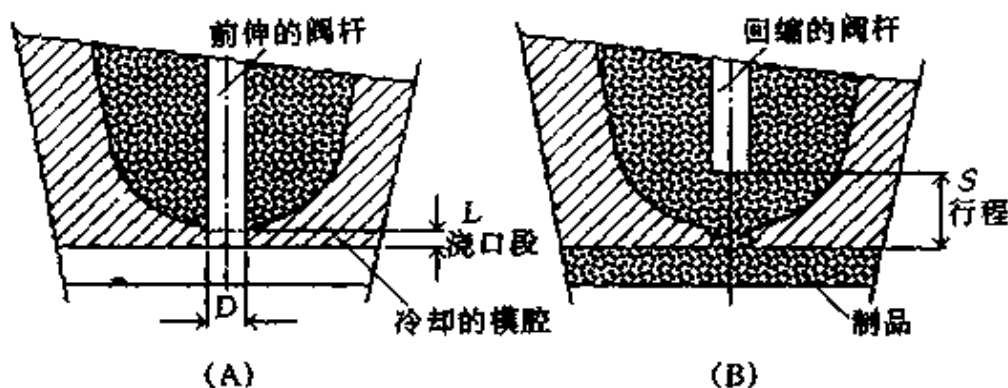


图 10-26 早期的阀式浇口设计

(A) 阀杆前伸关闭浇口；(B) 阀杆回缩打开浇口

与浇口阀座匹配的阀杆端部的锥形（图 10-27）可避免一些定位问题，但又会导致在浇口上产生闭合力的问题。浇口必须要有足够的强度以承受住这个力。

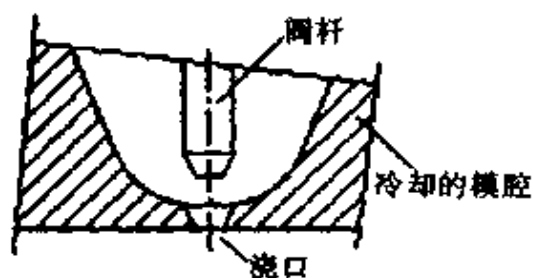


图 10-27 阀杆端部带锥度并有
匹配阀座的阀式浇口

在一些阀的执行装置（气动活塞）设计时，要对阀杆的长度进行计算，从而在满足所有公差要求的情况下，阀杆正好与阀座接触而不会对浇口有向下的压力，但当尺寸不合适时，在阀座处就产生一道小缝。阀座处的一薄层塑料结皮可防止金属与金属的直接接触。在阀的衬套内部有一个制动器限制阀杆行程，以防在浇口上产生过载。当浇口不带脱模斜度而是圆柱形时，制动器也可以限制阀杆的行程，并且在某些浇口结构中，阀杆不座落在浇口上。

阀杆尖端的附加长度在浇口设计中是很重要的。阀杆尖端通常应该穿过浇口伸出一个高度 A ，如图 10-28 (A)，在制品上产生一个很小的压痕。如果阀杆太短，如图 10-28 (B)，塑料就会进入浇口，从而在制品上产生一个倒锥状突起，这个突起会被扯掉而产生一个难看的浇口残迹。尺寸 A 应在 $0.03 \sim 0.25\text{mm}$ 范围内，这要取决于阀杆设计和

阀杆尖端的附加长度在浇口设计中是很重要的。阀杆尖端通常应该穿过浇口伸出一个高度 A ，如图 10-28 (A)，在制品上产生一个很小的压痕。如果阀杆太短，如图 10-28 (B)，塑料就会进入浇口，从而在制品上产生一个倒锥状突起，这个突起会被扯掉而产生一个难看的浇口残迹。尺寸 A 应在 $0.03 \sim 0.25\text{mm}$ 范围内，这要取决于阀杆设计和

制品（浇口残迹）要求。

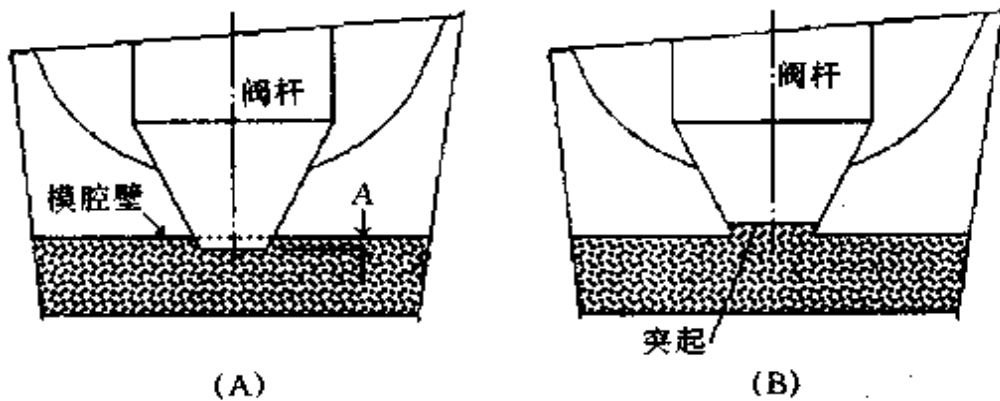


图 10-28 图中表明了阀杆端部的长度
(A) 阀杆穿过浇口并在制品上产生压痕；(B) 阀杆太短，
在制品上形成一个不希望得到的突起

10.2.3 影响浇口尺寸和形状的因素

在讨论浇口实际设计或尺寸之前，我们先列出一些有用的定义和术语。

流变学 研究塑料的变形行为与所施加压力或应力之间关系的一门科学。

熔体指数 (MI) 以数字表示。这些数字表明特定聚合物（塑料）流动的好坏情况。MI 数值低则表明该塑料难以进行注塑。

剪切速率 塑料的流动速度对圆流道半径（离中心线的距离）的变化率。在流道壁上熔体的剪切速率最大。

考察剪切速率对塑料影响的一个简便方法如下：认为剪切速率像速度，当速度增加时，阻止塑料流动的阻力（剪切应力）会增大；如此，粘度减小的结果使塑料的流动性更好。

所有的塑料都是非牛顿流体。非牛顿流体与牛顿流体的区别是牛顿流体（例如水）流动的粘度（对流动的阻力） η 在流道的截面各处是不变的，而非牛顿流体的粘度随温度变化很大，并与剪切速率 $\dot{\gamma}$ 有关 [$\eta=f(\dot{\gamma}, T^{\circ}\text{C})$]。这可用下面的公式来表示

$$\dot{\gamma} = \frac{du}{dr} \text{ s}^{-1} \quad (10-1)$$

式中 $\dot{\gamma}$ —— 剪切速率, s^{-1} ;

u —— 速度, cm/s ;

r —— 流道的半径, cm 。

剪切速率还取决于下列因素:

①塑料的种类;

②加工参数 (注射压力、速度、温度);

③流道壁的状况 (粗糙度、温度)。

计算平均剪切速率有一个方便的近似公式

$$\dot{\gamma} = \frac{4Q}{\pi r^3} \quad (10-2)$$

式中 Q —— 塑料平均流动速率, cm^3/s 。

$$Q = \frac{\text{注射量}(cm^3)}{\text{注射时间}(s)} \quad (10-3)$$

剪切速率 $\dot{\gamma}$ 随着塑料的体积 (流动速率) 的增大而增大, 而且, 像用更高的压力推动等量的塑料 (单位时间内) 通过流道的情况一样; 但随着流道直径 ($2r$) 的减小 $\dot{\gamma}$ 会大大地增大。

下述例子将表明两点有趣之处。

例: 一制品, 质量为 $106g$ 的 PS, 相应的体积为 $100cm^3$, 将在 $1.0s$ 内完成注射, 于是 $Q = 100cm^3/s$ 。所选的浇口尺寸为截面积 $1mm^2$, 相应的直径 ($2r$) 为 $1.27mm = 0.127cm$, 所以 $r = 0.0635cm$ 。

由此可得注塑速度为:

$$\frac{100000mm^3}{1mm^2} = 100000mm/s, \text{ 或 } 100m/s。$$

这个速度约为声速 (1 马赫 = $307m/s$) 的三分之一。如果体积 Q 是此例的 3 倍, 则通过浇口的塑料注射速度就约等于声速。考虑到塑料以这么高的速率流过浇口, 毫无疑问浇口会磨损, 特别是如果浇口很小而塑料中又有磨蚀性时, 磨损会更甚。

用公式 10-2, 可得最大剪切速率为: $500000s^{-1}$ 。这对大多数塑料来说是一个很高的数值, 因此建议必须选择较大的浇口和 (或) 延长注射时间 (超过 $1s$), 将剪切速率值调整到接近塑料的许用值。

剪切应力 受剪切作用的流体上的单位压力。

剪切敏感性 各种塑料对所加应力的反应不同。这种反应与组成塑料的分子结构有关。用于表达这种反应差别的术语称作剪切敏感性。

剪切敏感材料 对应力的表现为其分子链很快地朝流动方向移动，与流动方向趋于一致。

剪切不敏感材料 施加较高的应力只会引起分子纠缠更厉害（例如，像将一根绳子往一个很小的通道里推，使之通过时的情形一样）。无论剪切应力（压力）如何增加，其粘度变化不大。

10.2.3.1 开式浇口中影响浇口尺寸和浇口长度的因素

①**制品的重量和尺寸** 流动长度越长，模腔表面越大，浇口就要越大，以减少充模压力并保证塑料的足够流量，以及防止浇口的过早冻结。

②**制品壁厚** 在注塑循环的保压阶段，壁厚较厚的制品需要一个较大的浇口，为正在收缩的制品提供新鲜的塑料。尺寸过小的浇口会产生一个翘曲的或充模不满的制品。

注：一般来说，浇口直径比制品壁厚 t 小，因为一旦模腔充满并冷却，浇口也必须冻结，以避免制品顶出后形成一个难看的浇口残迹。然而，对于薄壁制品（壁厚 $t < 1\text{mm}$ ）来说，为减小浇口处的压力降，浇口直径常比 t 大。

③**树脂** 如果树脂较粘（也就是说，树脂的熔体流动指数低，分子量分布高），需要较大的浇口和较短的浇口长度以减小浇口区的阻力。参见表 10-1 建议的各种材料的许用剪切速率值。

④**冷却管路的位置（模具温度）** 位置不合适的冷却管路（如果离浇口太近）会引起过早的冻结。如果离浇口太远，会引起滴料。可用选择浇口尺寸来作补偿。对冷却管路靠近浇口的选较大的浇口，管路较远的选较小的浇口。

⑤**注射时间** 快速注射需要一个大浇口以减小浇口处的压力降，并预防塑料的过量剪切和降解。

注：浇口直径增大 10%，浇口长度减短 10%，进入模腔的允许流

速可以增大 47%。

表 10-1 各种模塑材料的最大剪切应力和最大剪切速率值

| 材 料 | 最大剪切应力 MPa | 最大剪切速率 s^{-1} | 材 料 | 最大剪切应力 MPa | 最大剪切速率 s^{-1} |
|------|---------------|--------------------|-----|---------------|--------------------|
| PP | 250000 | 100000 | ABS | 300000 | 50000 |
| HDPE | 80000 | 40000 | PPS | 345000 | 50000 |
| LDPE | 80000 | 40000 | 尼龙 | 500000 | 60000 |
| PS | 250000 | 40000 | PET | 500000 | 6000 |
| HIPS | 300000 | 40000 | PUR | 250000 | 40000 |
| SAN | 300000 | 40000 | PBT | 400000 | 50000 |

⑥熔融温度 如果所加工的熔体已达到最大的可能温度时，模腔仍不能充满，可采用小一些的浇口为树脂传递更多的热量（由于增加了剪切发热量），可以进一步减小树脂粘度使树脂更易流动。

⑦入口效应 尖拐角或窄口都会阻碍树脂的流动，并会引起剪切诱发的降解。在模腔一边的浇口采用较大的半径有助于提供平稳的层流，并防止产生漩纹或泛白。

⑧注嘴梢部位置，梢部类型 如果梢部太靠近浇口，浇口不太可能过早冻结，因此要采用较小的浇口，但要保证最大的剪切应力和压力降不超出范围。

⑨缩窝 更详细的介绍参见前面的内容。如果缩窝太大，会减慢循环。

10.2.4 对正确设计浇口的要求

- ①允许无阻碍流动——最大可能程度上——防止塑料的降解；
- ②防止滴料或抽丝；
- ③提供适当的剪切以适应树脂性能要求，并减小其粘度使其获得尽可能最大的流动长度；
- ④隐藏或分散冷料不阻碍流动。采用缩窝对此有帮助。

采用不适当的开浇口技术会引起：

- 漩纹（从浇口出来的可见的熔合线）；
- 泛白（在浇口周围与浇口同心的云状缺陷）；

- 抽丝（粘在制品上的线状树脂）；
- 翘曲（制品变形）；
- 树脂的降解；
- 不适当的充模（欠注）；
- 浇口过早冻结；
- 很差的浇口残迹。

10.2.5 浇口形状和尺寸

10.2.5.1 浇口长度

浇口的长度尽可能地短，以获得较低的充模压力，通过减小残迹高度又可改善浇口料切除。反对采用短浇口的唯一理由是，这会造成这一区域钢材强度的损失，可能会引起钢材的断裂。据作者的经验，浇口的长度应在 0.13~0.25mm。

10.2.5.2 浇口直径

浇口尺寸太小的话，可以从浇口处的缺陷以及表面缺陷看出来。但是，即使它对树脂没有影响，也会显著地影响注塑压力，从而会造成制品欠注，浇口过早冻结。

浇口尺寸太大，可从难看的浇口残迹上看得出。它影响到闭模时间，需要延长循环时间。若浇口太小还能很容易地将浇口改大；浇口太大则需要更换一个新的浇口镶块（如果没有镶块的话，甚至要更换整个模腔）。

10.2.5.3 剪切效应在确定浇口直径大小时的作用

高剪切速率能够大大提高小浇口处的熔体温度，这样就会减小树脂粘度并使树脂在模腔内更易于流动。高剪切速率能十分显著地改善制品的表观质量，特别是能改善光泽。如果浇口太大，浇口中的剪切效应不能引起温度的升高，可能会导致浇口的过早冻结并在制品中产生凹陷。这可用图 10-29 所示的例子加以解释。

图 10-29 (A) 的浇口可以产生 4 倍于图 (B) 浇口的剪切。图 (C) 中的浇口太大，以致剪切作用（以及对树脂的加热作用）已可以忽略。值得注意的是，这个例子只适用于树脂、制品质量、注塑压力等已指定的情况。这并不表明小浇口就一定比大浇口好，因为大浇口

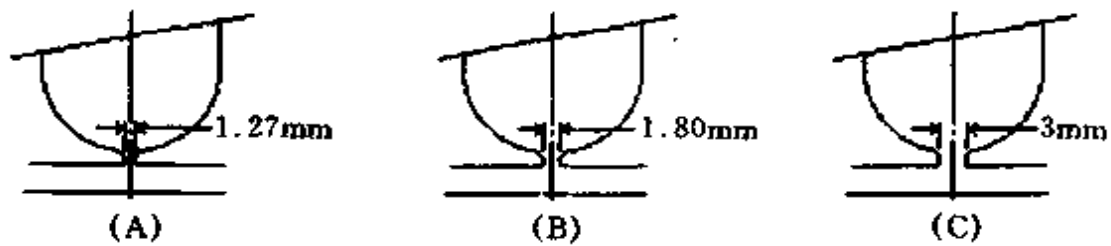


图 10-29 三种不同浇口直径的例子表明了浇口尺寸对剪切作用的影响

(A) 浇口直径最小，产生最大剪切；(B) 剪切比 A 小；

(C) 浇口直径最大，几乎没有剪切作用

虽不易冻结但可形成一个较为清洁的浇口残迹。实际的计算方法在下面予以讨论。

根据经验，我们知道浇口处的剪切速率必须大于 1000s^{-1} 。在薄壁制品的成型中，达到最佳结果（即可以采用尽可能最低的成型温度）可能需要剪切速率在 $100000\sim 1000000\text{s}^{-1}$ 这样的数值范围内。由剪切引起粘度降低通常是必不可少的。高剪切速率（由高速度引起），可引起粘度降低，这可能是用其他方法不能成型的塑料的最有效的方法。但是，要保证树脂不发生降解，可以采用的剪切量是有限度的。

在剪切速率大于 1000000s^{-1} 时将会发生什么情况，还不完全知道，但有一点是肯定的，就是在剪切应力的作用下，分子间不再能发生相对滑动。换句话说，在材料被扯裂之前只能产生这么多的延伸量。

在完全延伸的情况下，粘度已到达其最低点，因为分子已与流动方向最大可能地趋于一致。如果这种情况发生在 100000s^{-1} 时，就不能对材料进行更大的剪切了，因为增大剪切也不会使粘度降低更多。如果我们能够确定粘度延伸极限的话，我们就可得到剪切量的实际极限。

所有材料都有一个最大许用剪切速率，达到这个数值就会发生降解。材料对热越敏感，其许用剪切速率就越低，但应注意，很难确定材料的最大剪切速率，因为降解还要受到该剪切速率下时间长短的影响。

10.2.5.4 剪切作用的时间

一般来说，剪切作用的时间越长，对树脂的影响就越大。这一点需要仔细斟酌。

例如，上游一个较远的扰动（阻流块）产生的影响会被树脂记忆，即使树脂随后又经过了一个粘流段。此外，塑料在浇口处以极高的速率经历短时间剪切所受的影响，没有在歧管中或注道梢部经历长时间剪切所受的影响大。如果说树脂在浇口中只是短时间承受剪切应力的话，这就很难对树脂造成过度剪切。

粘度变化很大也会导致成型困难（例如表面缺陷、不均匀充填、高应力、翘曲、收缩不同）。在《注塑成型》^[1]一书中，作者建议，最好是在剪切速率变化对粘度影响不大的范围内成型（即剪切速率在 $500 \sim 2000 \text{s}^{-1}$ 范围内）。

10.2.5.5 确定适当的浇口尺寸

我们通常用于估算浇口尺寸的方法有三种。

1. 利用以前设计的经验或是由富有经验的设计人员的，或是模具制造商所提供的资料中的经验。这是最常用的方法，往往很实用，但在（错误地）认为所设计的模具类似于另一副模具时，可能会产生误导。

2. 利用先进的计算机分析系统（下面将予以介绍）。这是如今许多模具制造商所使用的（较好的）方法。

3. 利用经验的近似计算（下面将予以介绍），它是基于 R. W. G. Pye^[2]所述的实验而建立的。这一方法可以得出非常好的浇口尺寸，在没有计算机，也没有现成的必要的软件可使用时，可采用这种设计方法。

（1）计算机分析 浇口是热流道的一部分，所以应和热流道系统的其余部分一道进行设计。然后可以对整个系统进行模拟，对整个系统进行压力、剪切应力和温度的检验。

在正确确定热流道歧管中的流道尺寸时，要用到下列限制条件。

压力降(ΔP) $\Delta P < 41.37 \text{MPa}$ (对于一般塑料 $\Delta P < 34.47 \text{MPa}$)。

熔体温升(ΔT) $\Delta T < 15^\circ\text{C}$ ，但对于剪切敏感塑料还应小一些。

剪切速率($\dot{\gamma}$) $\dot{\gamma} = 1000 \text{s}^{-1}$ (塑料歧管，用于浇口的参见表 10-1)。

剪切应力 S ，用于浇口和歧管的参见表 10-1。

模腔的临界充模速率绝不能超过成型材料的最大许用剪切应力（或剪切速率）。如果达到这一数值，就会导致流动诱发脆性（熔体破裂），造成成型困难以及制品质量很差。可利用 Cisigraph 中的关于热流道的二维流动分析软件 Procop 针对整个热流道系统来对这些值进行计算。

(2) 经验分析 用下面的公式来确定浇口直径 d

$$d = NC \sqrt{A} \quad (10-4)$$

式中 A ——制品的总表面积（不是投影面积）， mm^2 ；

N 和 C ——经验参数。

具体取值方法如下（在多数情况下，这种方法能提供一个相当好的浇口尺寸近似值）：

| | | | | | | |
|---------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 制品壁厚 $t(\text{mm})$ | 0.75 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 |
| C | 0.178 | 0.206 | 0.230 | 0.242 | 0.272 | 0.294 |
| N | 0.6(PE, PS) | | | | | |
| | 0.7(PC, PP, 聚甲醛) | | | | | |
| | 0.8(尼龙) | | | | | |
| | 0.9(PVC) | | | | | |

10.3 冷流道浇口类型和结构

10.3.1 概要

下面着重介绍与冷流道浇口有关的一些特点。尽管现在所制造的许多高生产率模具都是热流道模具，然后，设计人员有时会发现，由于某些原因，一些制品不能采用热流道，只好要么选用冷流道，要么热冷流道结合使用。因此，设计人员像了解热流道浇口一样了解冷流道浇口是很有用的。此外，如今制造的大多数模具是满足低生产率要求的，做成冷流道模具比较经济。

小浇口对制品外观质量来说是很重要的，但有一个限度。如果浇口太小，会使模腔充模较慢，甚至在浇口冻结之前不能完全充模。

浇口长度应较短以减小对流动的阻力；但这也有限度，因为必须

考虑模腔材料的强度问题。如果流道末端太接近模腔，模腔壁可能会发生断裂。

浇口段带有锥度是很重要的，这可以保证与制品相连的塑料易于断开。

浇口在进入模腔处应为尖锐的拐角，以保证浇口在该处能干净地断开，不留或只留下最小的突起（浇口残迹）。在大多数模具中，很小的浇口残迹突起是可以接受的，建议在浇口端部采用一个短的平直段（在 $0.1 \sim 0.2\text{mm}$ 范围内），以提供一个近乎尖锐的拐角，这一小段浇口截面是不变的。平直段的长度略有差别不会对塑料流动有太大影响。

在整个模具中，各个浇口尺寸完全相同是十分重要的。要保证进入所有模腔的流量都相等，浇口的加工是很困难的。需要有严格的公差来保证浇口尺寸、浇口长度和形状只有最小的差异。加工过程中，锥度段只要稍微向前移动（沿浇口长度方向），就会造成浇口尺寸增大很多（图 10-30）。

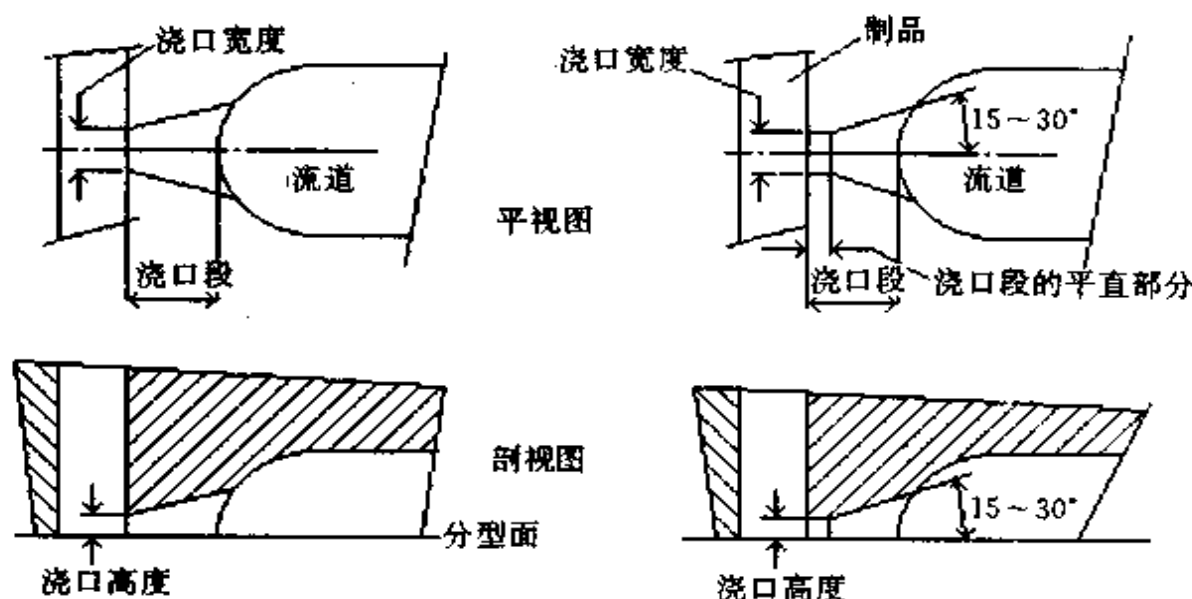


图 10-30 浇口段结构不同的两种边缘浇口，
右图所示的浇口段中有一短平直部分

对于模腔的互换性来说，所有浇口都必须完全相同。可能存在这样的危险：不同浇口处的压力差异，可能足以影响到制品的质量，因此流道设计必须平衡，使到达所有浇口的压力降都是相同的。有些模

具制造商通过调整浇口大小补偿流道内压力降的差异，使所有模腔获得一致的充模，然而，这并不是一个好的做法。

上述内容适用于所有的冷流道模具。

10.3.2 边缘浇口

边缘浇口是浇口中最简单的形式，制品能够或必须从分型面处开浇口时，以及在不需要或不可能进行浇口料自动切除的地方均可采用这种浇口。示意图 10-30 中表示出了理想的、尖锐的浇口结构（左图），以及有一个短平直段的实际浇口的结构（右图）。应注意磨损（特别是来自磨蚀性塑料造成的磨损）会很快磨掉尖角并使浇口尺寸变大。

一般用途的边缘浇口的建议尺寸概括于表 10-2 中。

表 10-2 边缘浇口高度、宽度及截面尺寸的建议值

| 制品尺寸 | 质量, g | 高度 h , mm | 宽度 W , mm | 截面积, mm^2 |
|------|--------|-------------|-------------|--------------------|
| 很小 | 0~5 | 0.25 | 0.75 | 0.19 |
| 小 | 5~40 | 0.50 | 1.50 | 0.75 |
| 中 | 40~200 | 0.75 | 2.25 | 1.69 |
| 大 | 200+ | 1.00 | 3.00 | 3.00 |

①浇口宽度 (W) 和浇口高度 (h): $W=3h$ 表 10-2 中的数值仅是建议尺寸, 可以根据所注射的塑料进行适当调整。对于很大的制品截面, 需要有一个大浇口来保持正在冷却的 (并正在收缩的) 模塑料上的背压。

②浇口段长度 L 对于小制品来说, L 应为 0.5~0.8mm; 而对于大制品, 则取 1~2mm。最重要的是, 对所有的模腔来说这些尺寸都应相同。

③锥度的夹角至少应达 30° (每边 15°), 多用 60° (每边 30°)。太大的夹角会削弱模腔强度; 夹角较小不利塑料流动。

④浇口的截面 在浇口侧面必须稍有一点脱模斜度, 以便流道的顶出 (图 10-31)。有时也用半圆形浇口形状, 但这很难保证所有的浇口都相同。一般来说, 不宜采用。

上述尺寸 (1, 2 和 3) 仅是一个大概准则。可用流动计算公式

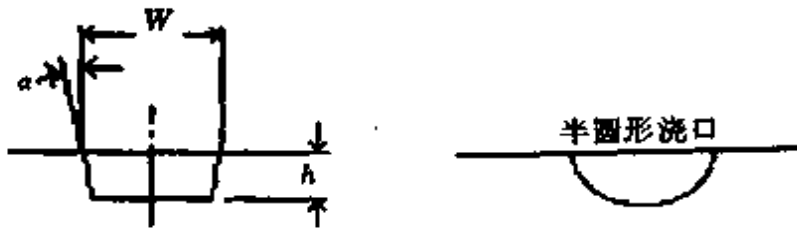


图 10-31 有很小流道顶出斜度的浇口截面图
(左), 以及半圆形浇口的截面图 (右)

注: $\alpha=5^\circ$ (近似)

(在第 10.2.5 节中有解释) 来对浇口尺寸进行计算。如有疑问, 最好开始时用小浇口, 如有必要, 在试模后再将浇口扩大。

10.3.3 扇形浇口

扇形浇口是边缘浇口的变形。浇口宽度 W 远大于 $3h$ 。浇口高度 h 可能只有 0.1mm, W 则可能是 10mm 或更大 (图 10-32)。

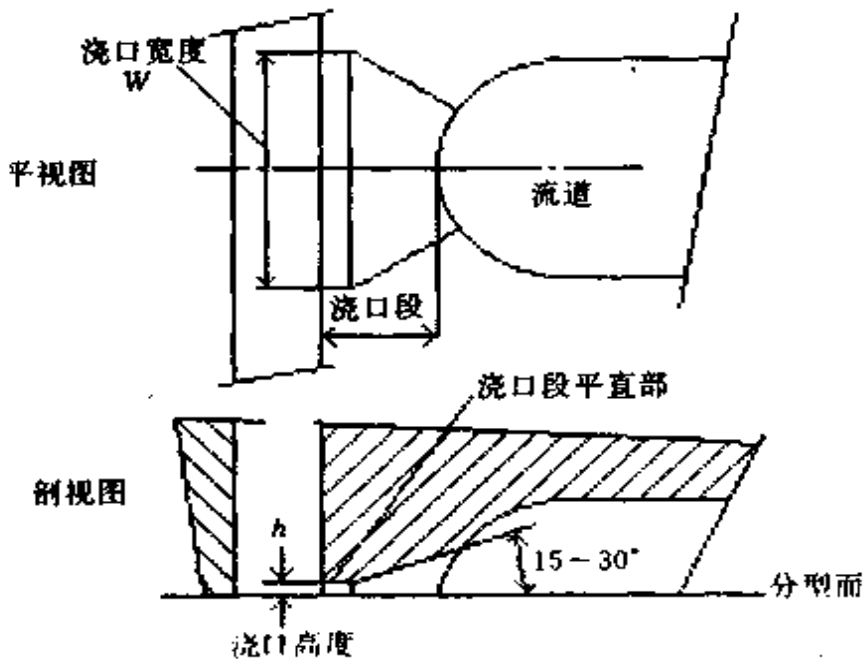


图 10-32 典型扇形浇口的平视图与剖视图

在边缘浇口虽然适用, 但会造成典型的浇口残迹时, 采用扇形浇口。扇形浇口的残迹看起来就像一个溢料痕。

例: 如果建议的边缘浇口尺寸是 $0.5 \times 1.50\text{mm}$, 或 0.75mm^2 的话, 则与之相当的扇形浇口至少也需要同样的截面积, 即 $h \cdot W =$

0.1×7.5mm。实际上，由于较小的 h 产生的严重阻流作用，宽度 W 应扩大到更大的数值（约增大25%~50%），以易于模腔的充模。此例中，实际宽度尺寸应为10mm。

10.3.4 盘形浇口

这也是边缘浇口的一种变形。实际上，盘形浇口是一个环形扇形浇口。这种浇口最简单的形式是一个盘形，这里宽度 W 等于内侧周界的长度。浇口高度通常约为0.1~0.15mm，其形状类似于扇形浇口，从一个盘形或圆形流道到一小段带角度的通道，最后是一个短的水平直段。

盘形浇口可位于制品的内侧或外侧（图10-33），在外侧时由流道系统供料，而不是注道供料。这种类型浇口的最大优点是，不会像只用单一浇口或很少几个浇口那样造成圆形制品变形，它使制品保持圆形。

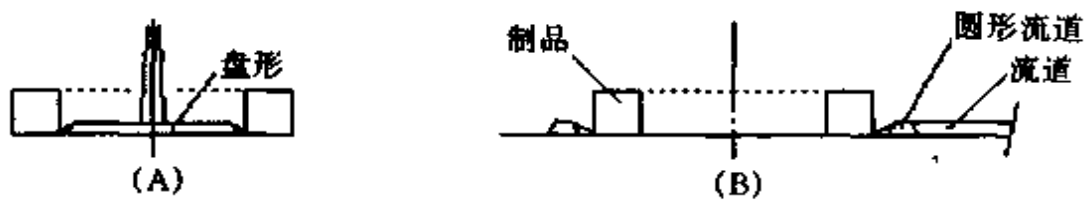


图 10-33 盘形浇口布置示意图

(A) 在制品的内侧；(B) 在制品外侧，由流道系统供料

在以下几例盘形浇口中，塑料经一注道〔可以是个冷注道（三板式）或一个下沉式热流道〕而流入浇口。在图10-34左图，流道是一个实心的圆盘形，这种形状较易于加工，但所含塑料量大，需要增加额外的冷却，而且要回收更多的塑料。

在图10-34右图，两个流道将塑料注入一个分配料流的环形流道，这个环形流道与制品同心，由盘形浇口将其与模腔相连。这种设计要比实心圆盘形的好，特别是对于大制品，它可以减少流道系统的质量。

由于塑料经盘形浇口的整个周界流入全模腔，因而没有焊合缝（薄弱点）（焊合缝在只用一个浇口或几个不同的边缘浇口时是必然要出现的）。在图10-35中，有几个浇口就有几条焊合缝。由于塑料料流在每个浇口都要分成两股料流，因而在每个浇口处还会产生另一个薄弱点，这一点也应考虑到。

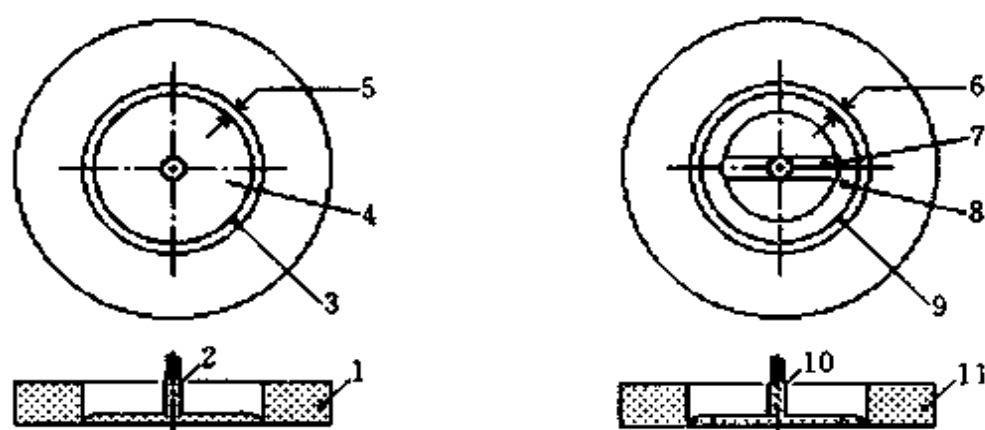


图 10-34 由注道经盘形流道供料的盘形浇口（左），或由注道经环形流道系统（塑料用量减少了）供料的盘形浇口（右）
 1—制品；2—注道；3—盘形浇口内侧；4—盘形流道；5—浇口段；6—浇口段；7—流道；8—环形流道；9—盘形浇口（内侧）；10—注道；11—制品

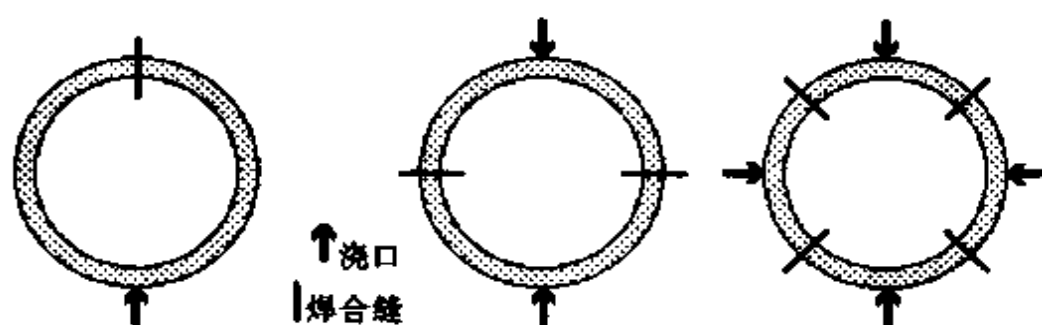


图 10-35 表示从一个浇口（左）、两个浇口（中）和四个浇口（右）供料对一个环形制品影响的剖面图

无论是在冷流道或热流道系统中，对所有的单独浇口都存在着这种浇口位置和焊合缝间的联系，盘形浇口消除了这一问题。有时，可以通过使模具更热些，以保证塑料在冷却前有时间进行适当的熔合，来避免出现焊合缝，但这势必要增加循环时间。

10.3.5 柄形浇口

柄形浇口（图 10-36）有时用于三板式成套制品模具（两个或多个不同形状的制品在同一模具内成型）。这样一来有些制品就可直接从顶部开点式浇口（三板式），而另外一些制品则需开边缘浇口（要么是因为这些制品较小、要么是由于其他一些原因不能开点式浇口）。

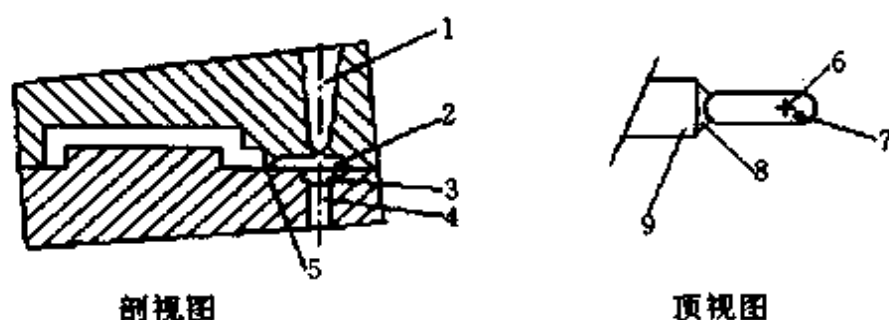


图 10-36 一个冷流道系统中典型的柄形浇口

1—下沉式流道；2—柄形浇口；3—吸料穴；4—顶杆；5—扇形浇口；6—点式浇口（由三板式流道系统供料）；7—柄形浇口；8—扇形浇口；9—制品

其基本的流道系统是三板式流道；必须从边缘开浇口的模腔，在模腔外的分型面上通常有很小的柄形浇口（辅助流道）。三板式下沉流道为柄形浇口供料，柄形浇口由一个浇口（通常是一个扇形浇口，也可以是边缘浇口或隧道式浇口）与模腔相连。

在热流道模具中，当在制品中不允许用热流道浇口或是行不通时，就需要用一个柄形浇口。热流道浇口进入柄形浇口后，与制品相连的可以是边缘浇口也可是扇形浇口。

10.3.6 隧道式浇口

隧道式浇口（图 10-37）是用于二板式模具的，可使制品和流道在模内自动分离（自动切除浇口料）。在大多数模具中，都希望能自动切除浇口料。

除了流道形状通常是圆形以外（其直径参见表 10-3），隧道式浇口的截面类似于边缘浇口。隧道式浇口尺寸可采用边缘浇口尺寸见表 10-2。一样，这里所给的尺寸也只是大概的准则；流动计算公式（参见第 10.2.5）。

重要的是要使浇口直径尽量小，以便浇口剪切后不会产生难看的残迹，甚至引起制品变形。有关浇口尺寸与维持背压的考虑与边缘浇口一样。如果浇口太大，塑料就很难剪切，并可能会造成模具钢体很快发生断裂。

浇口段长度 (L) 应尽可能地小，通常为 0.5~0.8mm，在大浇口

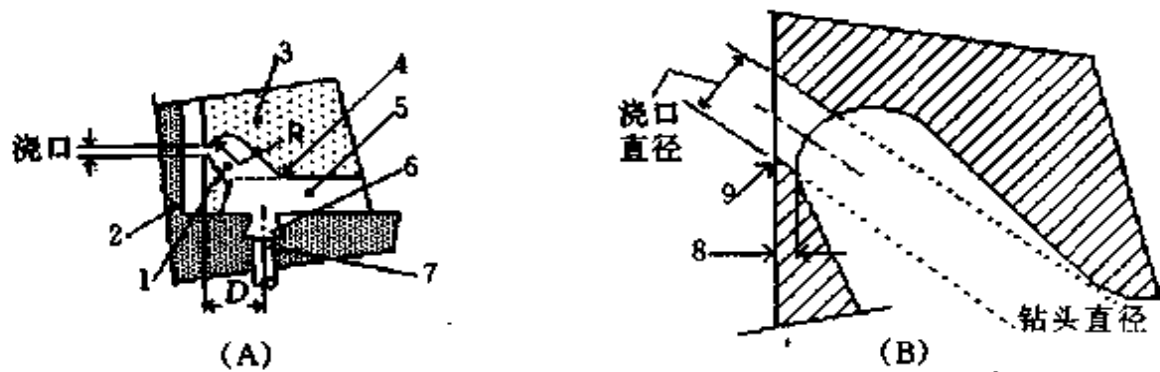


图 10-37 建议的隧道式浇口设计

(A) 过流道的剖面图；(B) 浇口局部放大图

1—流道延伸；2—模芯；3—模腔；4—倒圆（去除尖角）；
5—流道；6—吸料穴；7—顶杆；8—浇口段；9—切料刃口

上也可能会是 1mm。要求是，提供一定的强度保证，防止在此薄弱处发生断裂，并使浇口段长度尽可能小。

流道延伸部分应加工成圆形（如图 10-37 所示），以提供足够体积的塑料防止浇口过早冻结。带锥度的延伸部分尽管较易于加工，但因为易于冻结而并不可取。

开模时制品留在模芯一边（图 10-38），并在浇口进入模腔的尖角处剪切掉浇口。在图 10-37 左边的示意图中，浇口与模腔壁垂直；右边的示意图中浇口与模腔壁成一个锐角，而形成了一个刀口，这就减小了剪切浇口所需的剪切力，同时也增大了浇口残迹。在第一种情况下，浇口残迹是圆形的；后一种情况则是椭圆的。

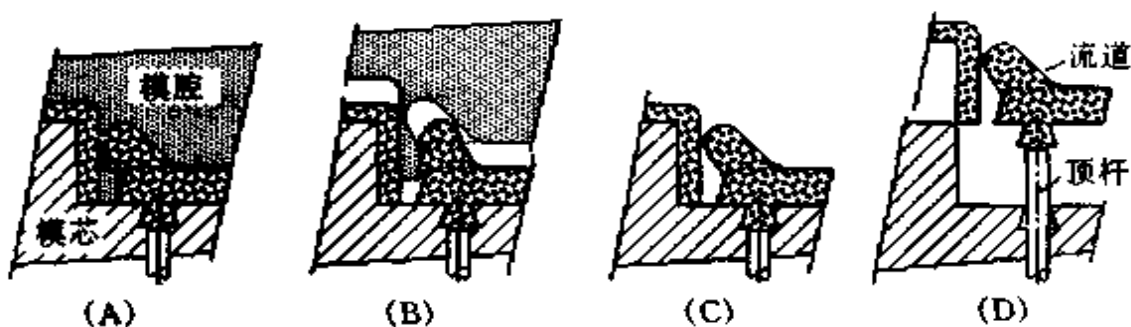


图 10-38 隧道式浇口的运作

(A) 注射；(B) 开模及浇口切断；(C) 模具打开；(D) 顶出

如果浇口段是圆柱形的（如图 10-37 所示），则在流道被推出之后冻结的塑料冷料仍可能留在浇口中。因此，最好是将浇口加工出一个锥度，从而在开模时冷料会与流道延伸部分一起被拉出模腔。

在确定用隧道式浇口之前，设计人员应确信这正是用户想要的。隧道式浇口通常不适用于下列情况：

①在成套制品模具中，制品顶出后，如果自由下落，就很难将制品成套的分开来；

②如果顶出后制品需要保持在流道上，以便装卸和（或）检验；

③如果制品与流道一起运送，以方便最终用户仅在需要时才从流道上取下制品。

流道延伸部分的基部到吸料穴的距离 D 见图 10-37 所示，这个距离取决于塑料柔韧性以及延伸部分的长度。如有疑问，设计人员应做个模型以确定吸料穴的最佳位置，保证延伸部分滑出时不致断裂。如果手头有这方面的设计资料，设计人员应利用以前同种塑料的成功模具设计。

流道延伸部分和流道本身都应尽可能地小，不仅是为了减小用料，便于快速冷却，而且为了使其具有足够的柔软性以便开模时易于拔出。值得注意的是在流道与延伸部分的交汇处，应采用一个大的倒圆半径，这有助于避免此处发生断裂。

模腔壁与流道延伸部分之间的钢材很薄，因此容易损坏，特别当浇口靠近分型面处时更是如此。这种损坏通常是由于操作者试图将已切断的冻结冷料，从圆柱形浇口通道中取出造成的，这也是浇口段应带锥度的另一个原因。

当成型坚硬的和（或）有增强相的有磨蚀性的塑料时，浇口段长度应比以上建议的长度要大，以便提供更大的强度，这主要是指 PE 和 PP。

用于制造隧道式浇口的钢材可能要与其他的浇口不同，因为隧道式浇口区很容易损坏，所以选用的钢材必须韧性较好而不是要硬度很高。选用硬化处理到 HRC46~49 的 H13 就很好。不宜采用渗碳钢，在渗碳过程中，碳从浇口处小钢块的四周渗入钢中，在淬火过程中，这

个小钢块就会完全淬透到 HRC58~60，而变得很脆。

以下再举几个隧道式浇口的例子，并给出对于不同类型制品所采用的隧道式浇口的示意图：

①很浅的制品（浅盖子等）。流道可以在模腔一侧也可在模芯一侧，如图 10-39 (A)，看哪一侧更适合于设计。应注意，位于浇口下方的易损坏部分是很小的，见图 10-39 (B)。在这一设计中，不可避免地要直接向大空腔内注射。



图 10-39 浅制品的隧道式浇口

(A) 在模腔一侧；(B) 在浇口下方的小区域

②完全扁平的制品（圆盘等）。人为地偏置分型面，以便于为流道延伸部分留出空间（图 10-40）。

③较深的制品（工艺制品，容器等）（图 10-41）。当浇口远离分型面时，流道延伸部分和分型面的夹角会接近 90° ，浇口变成更长的椭圆。同时要加工出一个小的浇口以及控制浇口段长度就更困难，因为钻头更长且更细，而难以控制。于是在所有模腔中加工出很好的完全相同的浇口，采用电火花加工是最佳的方法。

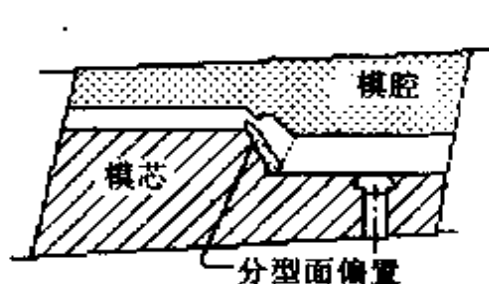


图 10-40 扁平制品的隧道式浇口

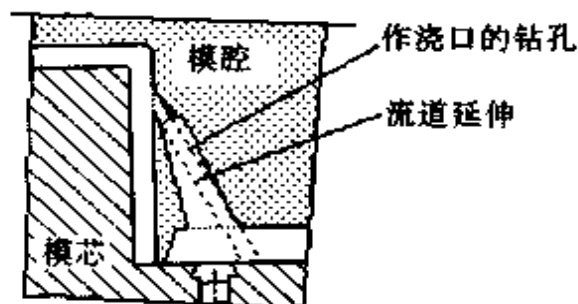


图 10-41 深制品的隧道式浇口
当流道延伸部分与分型面的夹角接近 90° 时，浇口口部就变成更长的椭圆

另一个办法是减小流道延伸部分的角度，但这可能会影响到设计方案——要增大模腔间距，从而导致模具体积很大。对于某些制品来

说，这个问题可以避免，如绕线轴的浇口，见示意图 10-42。流道延伸部分穿过模腔镶块，在镶块上开一个矩形的小缝作为浇口，尺寸类似于边缘浇口，即可将流道延伸部分与模腔连通为一体。

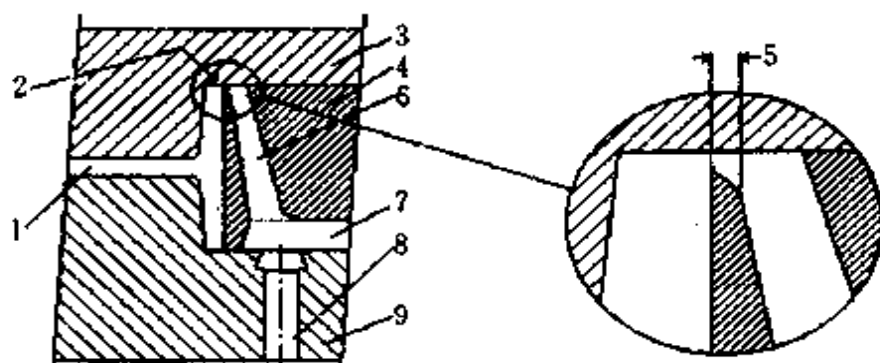


图 10-42 通过模腔镶块，为绕线轴开隧道式浇口

1—制品；2—浇口；3—模腔；4—模腔镶块；5—浇口段；
6—流道延伸部分；7—流道；8—顶杆；9—模芯

10.3.7 复式隧道式浇口

复式隧道式浇口的典型应用就是细长制品（例如管形瓶或注射器的圆筒），制品的端部（开口的或封闭的）远离分型面（参见第 10.1.3 节，每个浇口开两个或多个浇口）。有时要为流入模腔的两股料流提供漩流作用，则两个流道延伸部分的轴线可斜交成一个角度，从而使塑料流以螺旋状方式进入模腔。

我们注意到图 10-43 展示了用吸料穴卡住流道延伸部分的另外一



图 10-43 有 2 个流道延伸部分的复式隧道式浇口

1—模芯；2—模腔；3—流道延伸部分；4—吸料穴；5—脱模板；
6—流道；7—间隔 180°的 2 个流道延伸

种方法；因为这一部分是用脱模板从模芯上顶出的。此外，图上显示的仅有两个浇口，但有时也用三个甚至四个浇口。

10.3.8 弧形或沉陷的隧道式浇口

在制品的侧面开浇口行不通时，可以选用这种方法，例如，一件装饰品（如一块墙板），这里三板式成型方法适合于制品，但从三板式流道系统的同一侧进行顶出是不现实的。流道必须向顶杆孔内伸进一段距离 E （图 10-44）以保证在顶杆从模芯中的顶杆孔中露头时，已将弧形流道完全顶出。这种方法很少使用，因为它主要受到韧性材料的限制。由于需要很精密的模芯镶块（必须分块以便于加工弧形延伸流道），这种浇口十分昂贵。

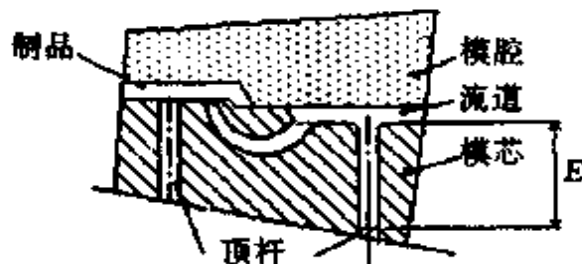


图 10-44 弧形隧道式浇口的一个例子

这种浇口的尺寸和形状类似于三板式浇口、点式浇口、带锥度浇口，并且带有一尖锐的、界限分明的断开点。

10.3.9 三板式浇口

这种浇口本身具有自动切除浇口的功能，因为模具一打开浇口就断开了，制品也就拉出了模腔。重要的是要使浇口尽可能地小，以尽量减小浇口残迹和可能出现的突起。在太大的浇口中（图 10-45）可能会形成较大的浇口残迹和突起。

图 10-45 (A) 和 (B) 表示设计较差的三板式浇口，有许多模具是用这种方法制造。在图 (A) 中，靠近浇口处没有足量的塑料，背压会过早终止。在图 (B) 中，没有界限分明的切断点。浇口通常是一个相当长的突起，在成型后必须修平。

图 10-45 (C) 代表一种理想的情况，但不切实际，因为难以加工并且难以进行有关的检测。图 (D) 则是可行的设计方法，因为这种设

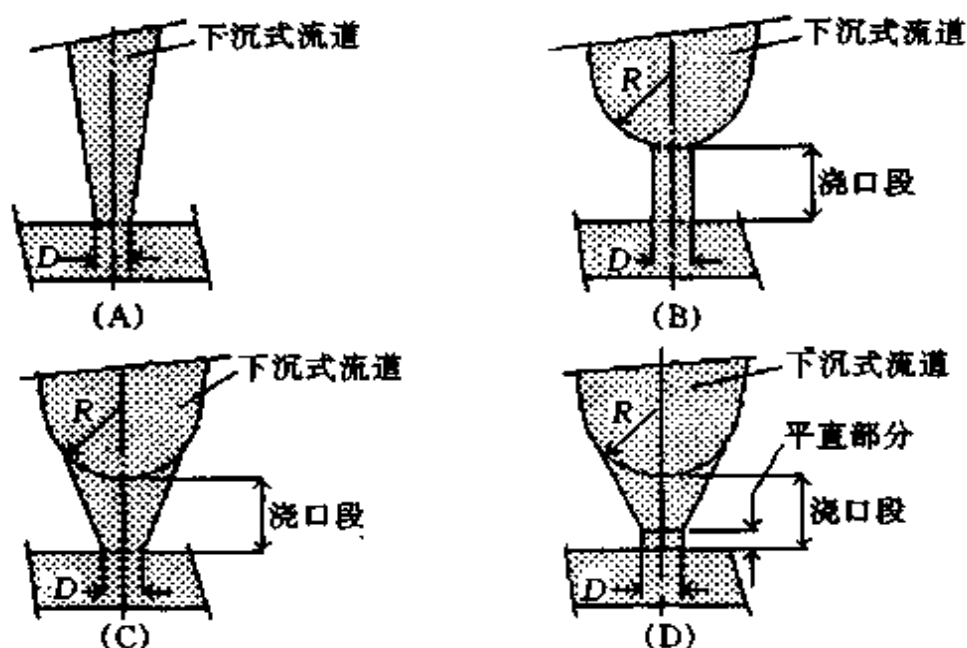


图 10-45 几种三板式浇口的例子

- (A) 靠近浇口处塑料量太少，设计较差；(B) 浇口段长度设计不当；
(C) 虽然理想，但不实用；(D) 推荐的设计

计提供了一个很好的切断点并易于制造（还可参见图 10-30，它展示了一个边缘浇口的形状）。

锥度的夹角应在 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 之间，推荐的浇口尺寸类似于表 10-3 所列的隧道式浇口尺寸，或者再小一些。

10.4 冷流道顶出和拔出器

在冷流道模具中（或者在热流道和冷流道结合的模具中的冷流道段）需要用冷流道拔出器将冷流道移出。设计人员需要考虑的流道顶出元件（用于三板式模具）和吸料销（用于脱模板以及三板式模具），都有一些设计标准。

重要的是：对于自动成型来说，必须要保证流道能被顺利顶出，而不会被挂在模具内需要操作人员将其取出。

总的来说，顶杆的形状和位置要取决于所用的成型材料，凹角 A （见后面的图 10-51 和图 10-53）用于坚硬的塑料，可以比用于较柔软的塑料小一些。

在设计时必须考虑，顶出时所期望的模具温度，以及拔出器处及其周围的塑料体积。即使对最坚硬的塑料，拔出器在塑料太热太软时也不起作用。因此，考虑流道拔出器处的冷却方案是很重要的，要保证流道能迅速冷却下来，并且不会引起成型周期的过度延长。

在成型类似制品时，冷流道模具的成型周期比热流道模具成型周期长，其主要原因是冷流道的重量较大。因此，只要保证模腔能适量快速地充模，使流道的截面（及其重量）最小是很重要的。类似地，尽量将拔出器周围的（或其内部的）重量减小到最小，同时又不致产生阻流也是很重要的。

右图（图 10-46）清楚地表明了，在注道进入流道系统的交汇处聚集了一大块塑料。这样一来，要使这块塑料冷却到足以能进行顶出就要（相当）长的一段时间。选择较小的流道、较小的注道以及较小的顶杆可以减小这块塑料的重量。

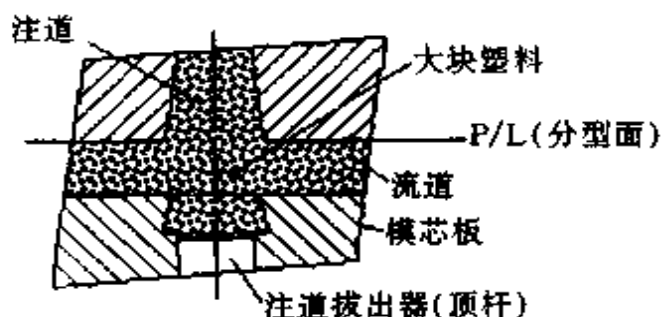


图 10-46 在注道进入流道系统处形成一个大块的塑料

还有许多其他形状的模芯拔出器，这里就不再一一图示。这个示意图（图 10-46）的目的就是要揭示，为减小这个区域塑料体积的设计是十分重要的。

此外还需注意的是，对于热注道来说，应避免注道以及流道的大体积交汇。下面的两个例子对于用热注道或热流道为流道供料是不可能的。

图 10-47 所示的拔出器的设置有以下优点：①减小塑料量；②能对注道和流道的交汇处带来更多的冷却；③消除了顶杆端部的大块塑料。要达到这样的结果有两个方法：采用一块脱模板，如图 10-47 (A) 或者采用一个吸料销加上一对顶杆，如图 10-47 (B)。

上述的两个例子是要表明，对减小塑料量这样一个典型问题如何解决。在一个模具中结合应用热流道和冷流道，就避免了大注道，但这种模具所需的流道拔出器和（或）吸料穴的设计原则与上述是一致的。

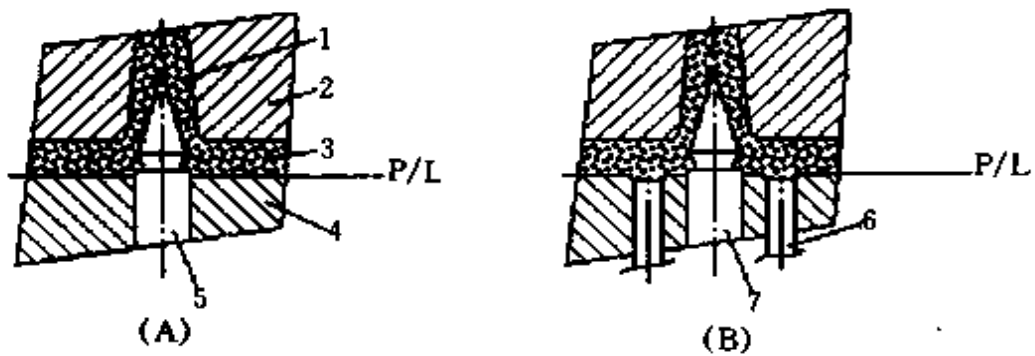


图 10-47 注道拔出器布置的两个例子

(A) 用一块脱模板；(B) 采用一个拔出器和两个顶杆

1—注道；2—模腔板；3—流道；4—脱模板；5—注道拔出器；

6—顶杆（2根）；7—注道拔出品

10.4.1 流道拔出器和流道的顶出

①采用流道顶杆，不需要挂住流道 不管流道截面多大，顶杆都不能伸进流道，反而应短上一段 P (图 10-48)。模具零件是有公差的，所以 P 应在 $0.0 \sim 0.2\text{mm}$ 之间。这样可以防止流道包附到并粘贴在顶杆上。

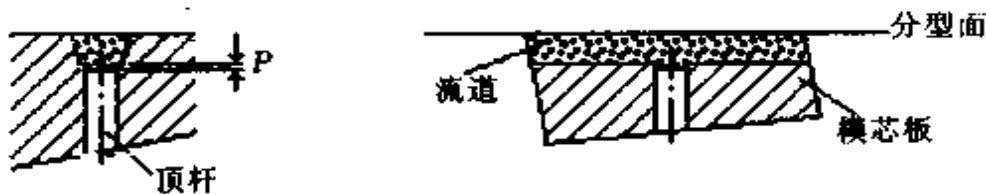


图 10-48 不论顶杆横截面如何，顶杆决不能伸进流道内（流道在模芯板上）

②只用顶杆牵住流道 可以通过在流道靠近顶杆的一侧加设倒陷来实现，如图 10-49 所示，但这只有在吸料穴不能像期望的那样夹住流道时才能采用。应注意到粗糙的流道壁也能起到与机械倒陷类似的作用。

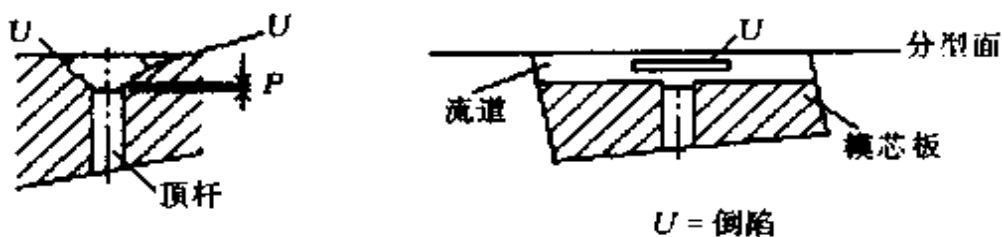


图 10-49 采用顶杆来拔出倒陷流道

作用。

③用吸料穴牵住流道 在许多冷流道模具中，流道被吸料穴挂住（图 10-50）。吸料穴的一个典型形状如图 10-51 所示。图 10-51 中的变量， D 是标准顶杆尺寸，最好不小于 4mm。 W 必须比 D 大，好让顶杆通过。 A 是吸料穴的凹角，取决于好几个因素，前面已作过讨论。

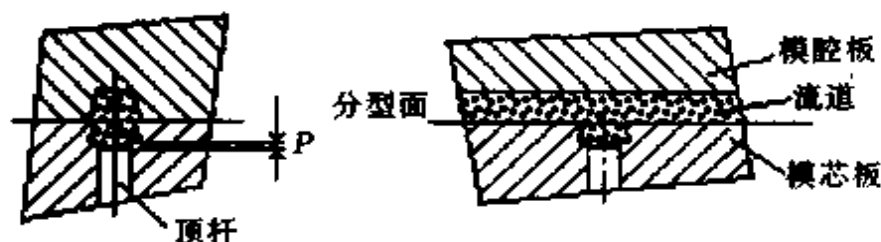


图 10-50 二板式模具中的吸料穴（流道在模腔板上）

④用吸料销牵住流道（在三板式模具以及带脱模板的二板式模具中）开模时，流道留在脱模板上，然后脱模板将流道从吸料销上脱下。重要的是顶出后流道不能留在脱模板上。因此，吸料销必须往流道内伸进一段 P （图 10-52）。因模具零件都有公差，因此 P 应在 0.0~0.2mm 之间。

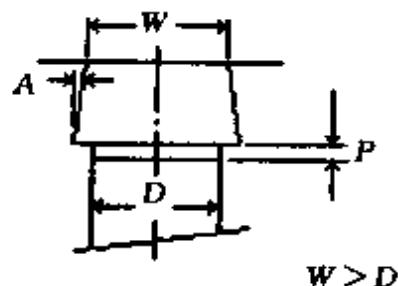


图 10-51 典型的吸料穴的局部放大图

脱模板通常都是淬硬过的钢材：如果用的是预硬化过的钢材，则建议在吸料销周围用一个淬硬的衬套。有时甚至对淬硬过的脱模板，也采用商品化的、极硬的钻孔衬套来尽量减小磨损。衬套必须用台肩、螺纹或挡圈将其固定在位置上。将衬套压入板内是不太好的做法。

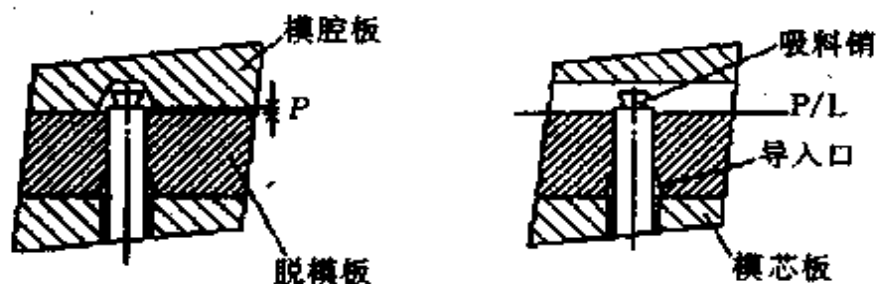


图 10-52 用于拔出流道的吸料销的剖面图（流道必须在模腔板上）

吸料销的直径 D 应尽量大，但必须从销子的标准尺寸（如 4, 5, 6, 8mm 或类似的英制标准尺寸）中选择。应注意吸料销的拉力取决于头部的周长和角 A 。这一点对三板式模具来说特别重要，因为在这种模具中牵住一个下沉式流道（流道朝着浇口的延伸部分）的阻力是很大的，尤其在所选的拔出斜角很小时（为了使下沉式流道中的塑料量较小）更是如此。

如果销子的直径较大，角就可以小一些，这样一来在脱模板向前运动来清除流道时就不大可能将塑料弄断。此外，在角度较小时，基体直径较大的话，销子头部就不大可能断开。

理想的情况是，直径 D_1 应比 D 稍小，角 A 不大于 5° （图 10-53）。于是要想增加所需的拉力，只要增大角度就可以了，同时也不会严重削弱吸料销的强度。

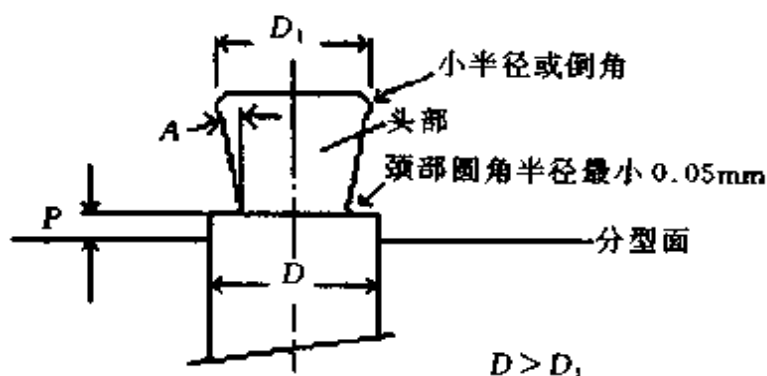


图 10-53 吸料销示意图

销子通常是用标准的顶杆或成孔销做的。如果用顶杆，需要将顶端的尖角和脆性氧化层切削掉而加工出一个圆角（倒角）。

常出现的问题是吸料销拉不住流道或销子头部断开。如果采用上面所建议的吸料销形状，就可以避免这个问题。在脱模板（或衬套）上开设一个很好的入口倒角是很重要的，这不仅便于装配，而且便于在脱模板行程太大时，使每个成型周期中，都会脱离脱模板的吸料销复位（见图 10-52）。通常在操作过程中应避免发生吸料销跑到板外的现象，但也难免偶有发生。

当和顶杆一起使用时，所有的吸料销都必须能在顶杆固定板中自

由浮动，以保证销子能恰当定位而不受任何强制力（强制力会导致销子和（或）衬套的迅速磨损，或销子的断裂）。

10.4.2 吸料销头部周围的塑料流动

由于吸料销尺寸应尽量取大，所以在流道的 N 处销子就会有阻碍塑料流动的危险，如图 10-54

(A)。因而应对料流进行精心的设计，如有必要，流道必须向外拓宽一个半径为 R 的弧，如图 10-54 (B) 所示。

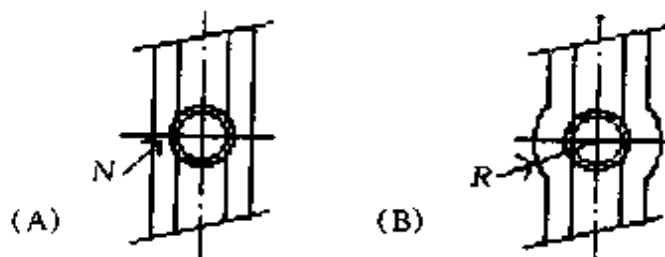


图 10-54 在吸料销头部周围的塑料流动情况

(A) 流道内料流受阻碍；(B) 流道扩大到半径 R 使料流不受阻碍

这对用吸料销挂住正上方的下沉式流道的三板式模具来说尤为重要。销子周围的空隙一定不能太大，因为此处不许有太大的一块热塑料（否则冷却时间就会较长）。保持流道较小是很重要的，但同时又要用大吸料销。

10.4.3 顶出元件、吸料穴或吸料销的位置和数量

无论是顶出元件或吸料穴的位置还是其数量都取决于所用的塑料。设计人员使这些部件的数量尽可能少，不仅是减少零件和机加工的成本，而且是为了尽量减少在板上钻许多孔带来的影响，这些孔有可能会占据良好的冷却管道位置。

一般来说，塑料越硬（在顶出的那一刻），所需的顶出元件越少，从而设计人员在布置顶出元件或吸料销时，就有更大的自由度。

由于流道通常都比制品本身更厚，因此提供良好的冷却条件，以便将塑料的热量带走是很重要的。在流道的下方设置冷却管道是个很好的做法，但这样一来，就无法在流道的正下方布置顶出元件（或吸料销），因而只能在流道的两侧设置冷却管道（图 10-55）。

各个模腔实际上由平衡的流道系统供料的，因此可以将顶出元件（或吸料销）布置在连接流道（桥式流道）的下方，冷却管道则直接布置在流道的正下方（图 10-56）。但这种布置对柔软的塑料可能行不通，这些塑料通常较粘并往往会粘附在流道的表面上（图 10-57）。

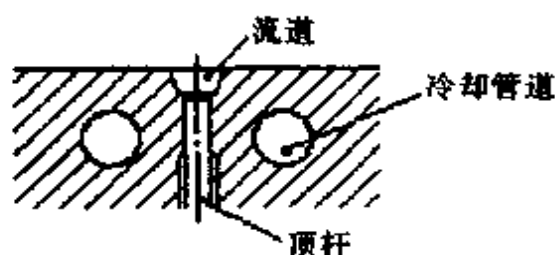


图 10-55 在流道两侧面设置冷却管道，以便在流道下方设置顶杆

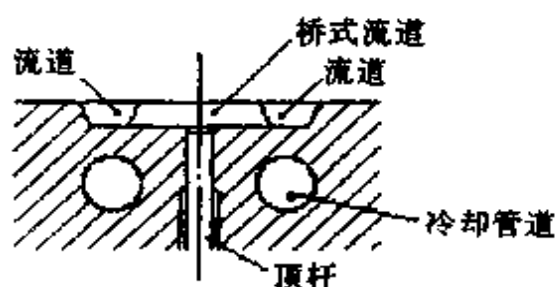


图 10-56 冷却管道可以直接置于平衡的流道系统的流道下方，这时顶杆置于连接流道的下方

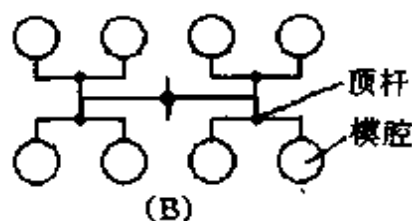
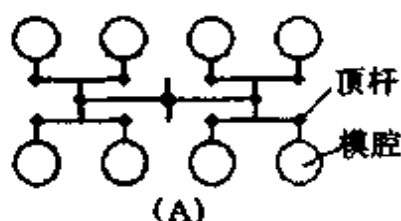


图 10-57 顶杆布置示意图

(A) 布局方案用于软塑料的顶出 (10 根顶杆+1 个吸料穴)；

(B) 用于硬塑料顶出的一个可能方案 (4 根顶杆+1 个吸料穴)

10.4.4 靠近隧道式浇口的吸料穴的布置

在下面的例子中，图示了使用顶杆的吸料穴。吸料销的考虑方法是相同的。

当成型柔软的塑料时，开模时，流道以及下沉式流道由于吸料穴的作用都留在了模芯板上，随后浇口剪掉。由于塑料很软，流道可能会弯成一个半径为 R 的弧形，以让下沉式流道从井中拉出。吸料穴可以置于靠近流道延伸部分的地方（距离 D ）。必须注意的是，流道延伸部分应有一个脱模斜角并具有良好的光洁度，如图 10-58 (A)。

如果将与软塑料相同的方案用于硬塑料的话，塑料则会在吸料穴处发生断裂。因此必须将距离 D 增大到 D_1 ，如图 10-58 (B)，以便在拔出流道延伸部分时为塑料提供足够弯曲长度。这个较大 D_1 尺寸可能就要求有较大模腔间距以及较大的模套。

较大的 R_1 也会有助于延伸流道部分的拔出，不仅因为几何形状而

且因为它形成了较大的一块塑料,这将使塑料保温较长而便于弯曲,但也会延长冷却时间。只有在模具试模后,发现设计人员所确定的距离 D_1 太短或半径 R 太小时,才需要将 R 扩大。

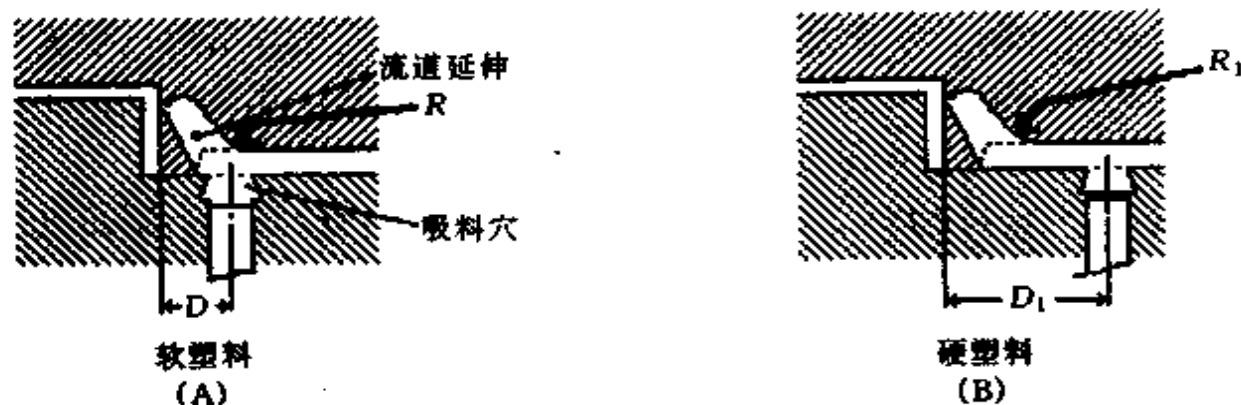


图 10-58 靠近隧道式浇口的吸料穴布置因塑料的软硬度不同而有所差别

(A) 软塑料的 D 小; (B) 而对于硬塑料则要增大到 D_1

10.4.5 用于三板式下沉式流道的吸料销

实际上,二板式流道的吸料销布置的原则同样也适用于三板式下沉式流道。吸料销应尽量大,凹角应尽量小,但要适合于成型塑料的软硬度(图10-59)。

下沉式流道无论在长度还是直径上都应尽量小,以减小塑料用量。建议脱模斜角最大取为 $1^\circ \sim 1.5^\circ$ (每边)。其表面精整要求应是细拉抛光,以减小把下沉式流道从冷料井中拔出所需的力。

圆形流道在下沉式流道处的扩展应足够大,以保证圆形流道的供料能流到每个下沉式流道处,但不能比所需的大,以免塑料过多,冷却缓慢。

吸料销顶部与下沉式流道入口之间的环形隙 C 必须足够大,以保证对流向浇口的塑料料流不致产生阻碍。至于浇口的大小和形状请参见第10.2.5节。

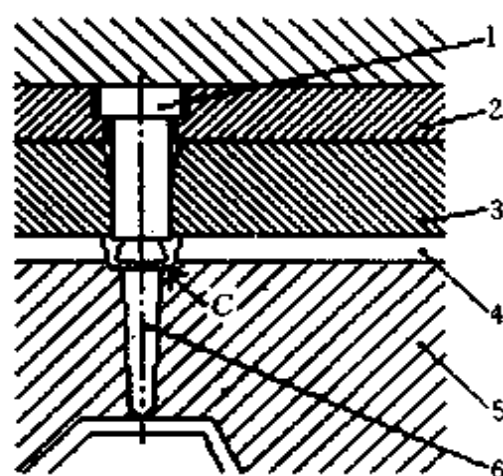


图 10-59 用于三板式下沉式流道的吸料销

1—吸料销;2—吸料销固定板;3—流道脱模板;4—流道(在模腔板上);5—模腔(板);6—下沉式流道

10.5 冷流道模具

这一节将更为详细地讨论冷流道模具。前些年，所有模具都是用这种方法制造的，并且大多数是二板式模具，但偶而也采用三板式模具。采用冷流道模具的主要优点是比热流道成本低，并且能成型任意大小的制品——即使是极小的尺寸。

现在，具有较大生产量的许多模具都是热流道模具。当制品对于用热流道来说太小时或因为其他特殊原因，热流道和冷流道有时也结合使用。然而，即使是在今天，如用热流道模具没有经济优势时，大部分模具仍采用冷流道来制造。这种情况通常是在所需的制品数量相对于模具寿命来说太小，以致用热流道模具会造成制品的单件成本（其中也包括分摊在每件制品上的模具成本）非常高。

前面所述并不是说在低产量情况下就不用热流道模具。通常由于与制品质量和性能有关的原因或是出于测试和实验的目的，也还采用热流道模具。

10.5.1 二板式模具

要了解关于二板式模具浇口的更多情况请参见第 10.1、10.3 和 10.4 节。为简化起见，顶出、定位以及冷却在下面的图中就不再表示出来了。

10.5.1.1 注道式浇口（仅一个模腔）

冷注道直接从注塑机注嘴将塑料流引入模腔（图 10-60）。在模具打开后，制品和注道就被顶出；成型之后，注道应切除，切口通常非常难看。如果要求外观好看，浇口残迹可以加工除掉。

采用外侧中心开浇口，如图 10-60 (A)，冷注道较短，即使由于必要的脱模斜度，使靠近制品处的注道直径增大，注道的质量仍相当小。与注塑机注嘴相接处的注道开口的直径至少应比注嘴大 1.0mm，以防形成一个钩形而可能使注道难于从注道衬套中拔出，这种情况通常在注嘴或模具（注道）定位不好时容易产生。

由于注塑机注嘴孔的直径通常为 3mm 或更大一些，因此在注嘴端注道的直径至少应为 4mm，而在进入制品或流道处较粗一端的注道

直径要更大一些，因为在注道衬套内必须有一个脱模斜度。很显然，注道越长，这一端的直径就越大。

注：注道直径（小端为 3.965、5.55 及 7.137 即 5/32、7/32 以及 9/32in）和脱模斜角（锥度）（夹角为 1.058mm 或 1/24in）都已标准化了。这在各个模具制造商所提供的工厂制品目录中都能查到。由于标准注道衬套的尺寸较大，有些模具制造商就设计了他们自己用的较小的衬套。然而如今冷注道衬套已几乎全被换成了热注道。

在一些典型的例子中，包括大制品（如桶、托盘或大的工艺品）的模具，如果生产的制品数量表明不值得用热流道，或者切除注道的额外劳动可以忽略不计时，那么就可以采用冷流道，因为冷流道成本不高，所需空间也不大。

如果在制品外侧不希望有浇口残迹的话，就要采用内侧中心开浇口，注道必须穿过模芯进入模腔，如图 10-60 (B)。注道变得很长，靠近制品处也很粗，注道的重量也相当大。应尽量避免用这种方法。注道四周模芯的冷却可能比较困难；同时在注道同一侧开设顶出机构也比较困难。采用热注道可以避免两个问题：第一可以避免内侧中心开浇口的冷注道内出现大块塑料；第二可以避免较深制品内侧深处的注道难以切除。但采用热注道增大了在模芯内侧冷却的难度。

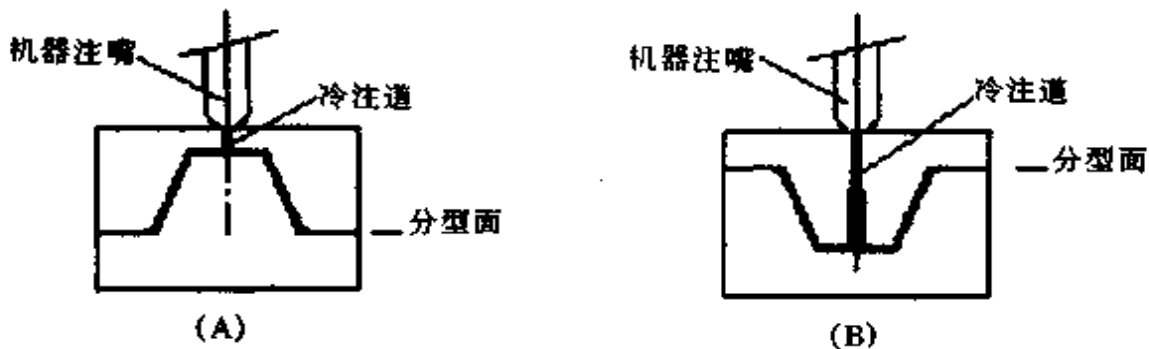


图 10-60 冷注道浇口

(A) 外侧中心开浇口；(B) 内侧中心开浇口

10.5.1.2 简单流道（两个或多个模腔）

为了减小注道的重量，其长度应尽量缩短（图 10-61）。往往可以用一个加长的喷嘴，喷嘴座可以与分型面以及流道更接近一些（图 10-62）。

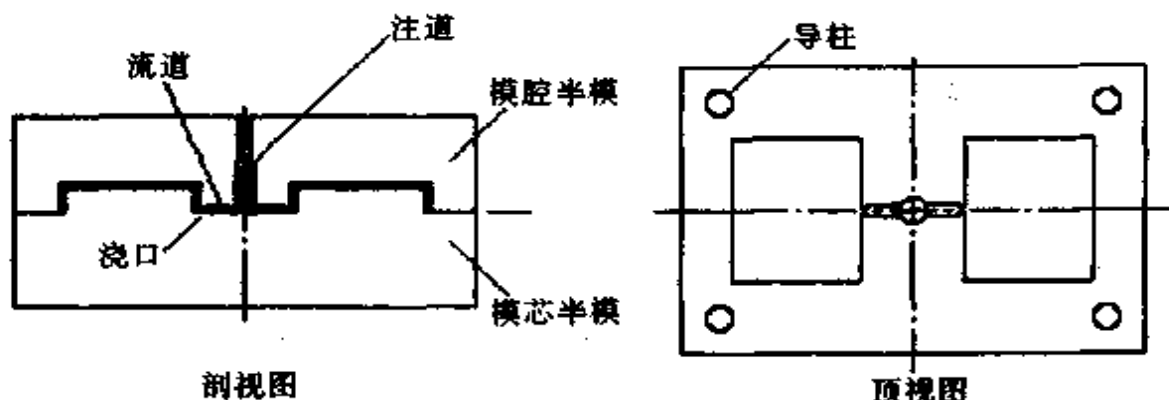


图 10-61 在典型二板式模具中采用的简单流道

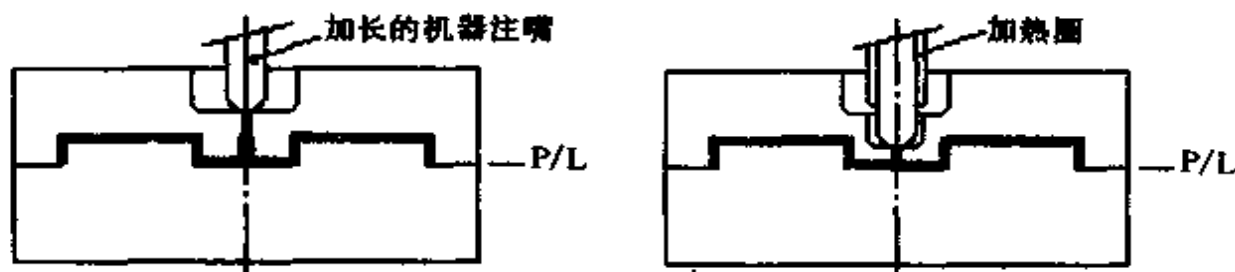


图 10-62 注嘴的变形

注：加长的注嘴缩短了注道长度（左），但如果太长，注嘴可能需要加热

如果有足够的空间，注嘴还可延伸至正好进入流道。在三板式流道中为了自动操作，这是经常采用的方法，这样一来就没有与流道接触的注道了。对于二板式模具来说，只要在模腔之间有足够的空间，设置一个长约 15mm 的短注道还是比较容易的。于是注道与流道的尺寸差不多相同或稍大一点。当加长的注嘴较长时，其外部就要加一个加热圈，因此就比注嘴本身需要更大一点的空间。

示意图中没有画出镶入的注道衬套。通常，要用一个预硬化的衬套，或模腔板必须足够硬以减小注塑机注嘴与模具接触时造成的磨损。

10.5.2 三板式模具

图 10-63 所示的是一个典型的三板式模具。在下述情况，设计者可能会选择三板式模具结构而不是二板式模具结构。

①如果制品必须在顶部开浇口，而不能在边缘或侧面开浇口（用隧道式浇口）。原因主要是在模腔空间内的塑料流动更好。

②如果顶出用的是浮动式脱模圈，它由一道缝隙将其与脱模板分

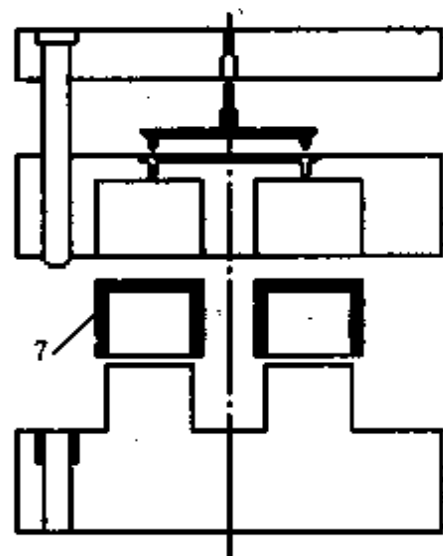
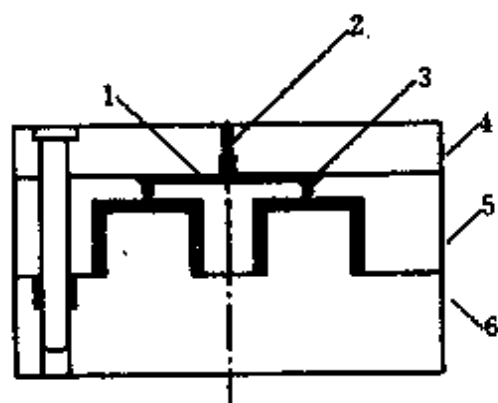


图 10-63 具有简单流道的典型的三板式模具

1—流道；2—注道；3—下沉式流道；4—流道板；

5—模腔半模；6—模芯半模；7—成型的零件

开（图 10-64）。如果用二板式系统，当流道流出的塑料穿越这个缝隙时，就会堵塞缝隙，引起流道挂在模具中，同时使得脱模圈不能自由浮动。缝隙中进入溢料显然是不允许的。

③外观要求采用三板式模具结构。

三板式浇口（点式浇口）往往要比相等流量的边缘式浇口小得多。此外，点式浇口可以很容易地隐藏在模腔的装饰或刻字之中，留下一个“完美”的浇口残迹。小浇口造成的限流作用会增大塑料的流速、提高其温度并便于充模。

④需要自动切除浇口。三板式模具自身就具有自动切除浇口的功能，并且制品的顶出与流道的顶出分开，在开模时能很容易地将他们分别引入不同的容器中。

注：隧道式浇口（二板式模具中）也能自动切除浇口，但流道和制品是在同一平面上一同顶出。

⑤在模腔数是决定性因素时。由于不需要在分型面上为流道提供

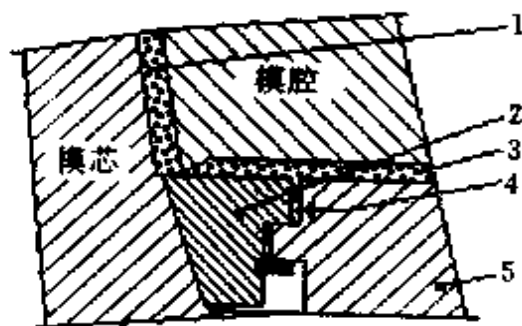


图 10-64 在脱模圈和脱模板

之间有一个间隙将其隔开

1—制品；2—脱模圈；3—流道；

4—间隙（夸大的）；5—脱模板

空间，模腔就可以排布得更靠紧些，这样，在模腔数类似时，需要的压板面积就比二板式模具小。在有一定的生产量的要求时，如果是压板尺寸而不是可得到的合模力（做该项工作的注塑机的合模力）限制了必要的模腔数，那么，选用三板式结构就显得特别重要。

⑥在合模力受到影响的情况下。二板式模具中流道的投影面积加到了模腔的投影面积上，因此，需要更大的合模力。在三板式模具中，流道不与模腔在同一平面上，流道的投影面积不需加到保持模腔夹紧所需的面积上（参见第十五章）。但对很小的制品来说，三板式模具流道的总投影面积可能要比其所有模腔的投影面积还大，在这种情况下，所需的合模力应取决于流道的投影面积，而非模腔的投影面积。

10.5.3 三板式模具的综合评述

三板式模具比较复杂，因此造价比二板式模具高。除了瞬时浇口区和必要的流道顶出机构外，三板式模具与热流道模具很相似。只要模腔间距尺寸足够大，现成的三板式模具可很容易地改成一个热流道模具。为了改善模具生产率也的确常这么做。

10.5.3.1 缩窝

对于薄壁制品来说，需要在浇口的对面开设一个缩窝，类似用于热流道浇口的缩窝，基于的原因相同。

10.5.3.2 流道

在设计模腔板和流道顶出板之间的流道路径时，设计人员必须保证在这两块板的任一块中，流道都不能穿越开口处、接缝处或螺钉孔处（如果经过这些地方，塑料会流进其中并被挂住）。

流道布局设计应尽可能对称平衡。注道与模腔（下沉式流道）之间的流动距离应尽可能地短。一般来说，直线型流道呈X形和H形最好。有时流道也需要曲线段以绕过象螺钉孔这样的障碍，但这会增加机加工成本。

流道的截面应是梯形，在模腔板上切削加工而成，如果模腔镶块穿过模腔板，则流道可能会部分地加工在镶块上，图10-65。流道顶出板总是平的，只有吸料销在下沉式流道处是突出的。

主流道和分流道的尺寸（截面积）可以用一个流动分析程序进行

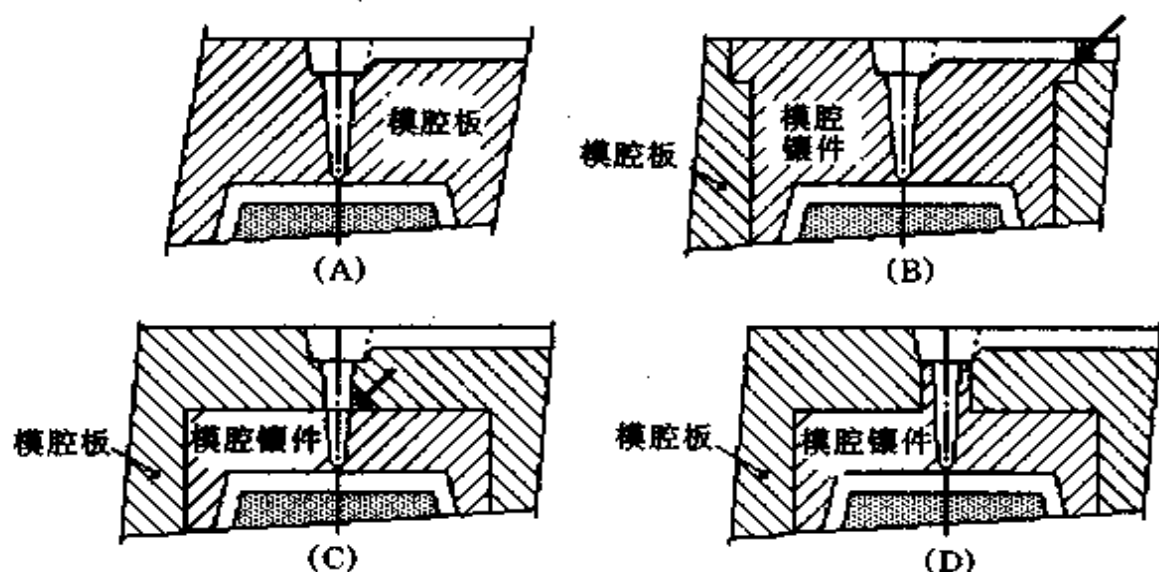


图 10-65 下沉式流道的设计

- (A) 模腔和流道都加工在模腔板上；(B) 模腔是镶于模腔板内的一个镶块，流道必须用模腔板和镶块对齐；(C) 模腔镶块镶入模腔板的盲孔内；(D) 模腔镶块镶入模腔板的盲孔内同时有一块底部伸到模腔板中

确定，也可依据以往的经验来确定。总之，流道应尽可能小，以减小流道所需注塑量所占的百分数（浪费掉的），并减少回收塑料量。

10.5.3.3 下沉式流道

下沉式流道的重量要加到流道的重量上，因此，下沉式流道应尽可能地做小一些。下沉式流道的重量取决于其长度、直径以及脱模斜角。下沉长度是模具设计的一个功能参数，应保持尽量短。下沉式流道直径要取决于塑料的流动特性，类似于流道。脱模斜角是一个加工问题。下沉式流道内部的粗糙度越好，脱模斜角就可以越小。问题是粗糙度差会妨碍塑料的拔出。

在脱模斜角很小时（每边 0.5° 或更小），表面精整必须极好（拉抛），没有刀痕（刀痕会将塑料留在其内）。商品化的注道铰刀的锥度角为每边 $1^\circ 19'$ （ $12.7\text{mm}/304.8\text{mm}$ 即 $1/2\text{in}/\text{ft}$ ），这样会造就一个很大的注道；但注道对它的刀痕不太敏感。

对于小制品、多模腔的模具来说，流道系统中的塑料会相当于或多于所有注塑制品的塑料总量。这通常不是一个设计问题，但它会影响到制品的成本。

在最简单的下沉式流道设计方案中，如图 10-65 (A)，模腔和流道都加工在模腔板上。如果模腔很简单并且不期望因模腔磨损或发生变化而进行更换的话，就可以这么做。注道（下沉式流道）可做得很小。

在图 10-65 (B) 中，模腔被镶在模腔板的贯通的内腔中。模腔中的流道必须与模腔板上的流道对准中心，见图 10-65 (B) 中的箭头。镶块应与模腔板成过盈配合，并需要用键固定使其不得转动。仅压入配合是不够的，从模腔板到模腔镶块的流道内不能有缝隙也不能有倒棱（见箭头）。

在图 10-65 (C) 中，模腔是插入到模腔板的盲孔中，没有必要区分左右模腔。在图 10-65 (D) 中，模腔镶块也是插入到模腔板的盲孔中，但有一小块底部伸进模腔板中，伸进的镶块平端就充当了吸料穴凹角的底部。这也没有必要区分左右模腔。在图 10-65 (C) 和 (D) 中，模腔都是用螺丝固定在模腔板上，仅压入配合是不够的。

将注道与模腔本身做在同一块部件上是比较好的，图 10-65 (A)，(B) 和 (D)。如果做不到这一点，那么在模腔板上的那段注道与模腔本身上的那段注道的结合部应设一个台阶，如图 10-65 (C) 所示，台阶至少应为 0.05mm，以保证塑料能很容易地从注道中拔出。

决定选择哪一种方法通常要取决于模腔所采用的冷却方法，以及在模腔板上的可用空间。需要区分左右模腔的设计应避免采用，图 10-65 (B) 所示。

10.5.3.4 每个模腔的浇口数

通常，一个浇口就够了。然而，对于很大的制品，可能需要提供更多的浇口。

①如果塑料的体积太大，单独一个小浇口会减缓模腔的充模。例如，像一个很重很大的桶的情况，就要在桶底上采用呈三角形布置的三个浇口。

②如果制品很大同时奇形怪状，甚至可能需要三个以上的浇口。当壁厚相当薄（如很大的汽车仪表盘），在模腔内的流动距离可能很大时，在几个等距离的位置上开设几个下沉式流道，模腔的充模效果和充模速度往往都能大大改善。但要考虑两个重要因素：焊合缝和排气。

当一个模腔中采用不止一个浇口时，从每个浇口流出的塑料会在浇口之间流动的途中汇合，这就形成了一道焊合缝。如果到达汇合处时塑料已太冷，就会严重削弱制品在此部位的强度。

在决定浇口位置时必须考虑这一点，要保证焊合缝所在区域对表观和(或)强度都不造成太大的影响。增加此处制品的壁厚可能会有所帮助，因为这样的话塑料就有更多的时间充分焊合。否则，就必须提高熔体温度，因此就会延长成型周期。

除了通常的模腔排气外，特别建议在塑料料流的汇合处，以及来自不同方向的塑料向前流动造成的夹气处进行排气。特别是，如果在浇口区的制品壁厚或筋，会引起从浇口的料流在流向中心处之前很快汇合的。图10-66所示的就是一个典型的情况，在桶底的三个浇口中间设置了一个排气销。

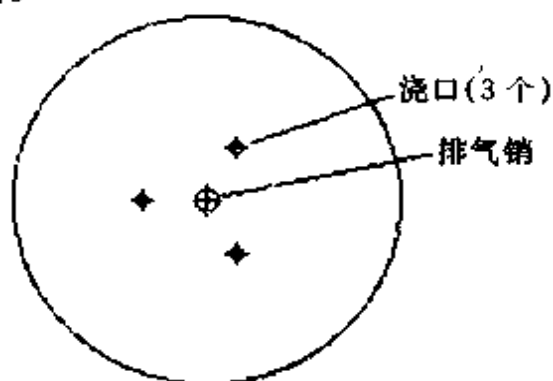


图 10-66 在桶底部的三个浇口中央设置了一个排气销

如今，大制品一般都用热流道模具，而不用三板式模具，但其焊合缝和排气问题是一样的。

10.6 热流道模具

对热流道技术的基本了解将大大有助于热流道模具的设计，下面介绍较重要的几点。

① 料流分配 热流道系统的目的就是将从注塑机注嘴中流出的热塑料，以与注嘴中相同的温度和压力分配到模具的各个浇口。

② 热损失 因为热流道歧管是由冷却的模套包围和支撑的，所以由辐射和直接接触(传导)损失的热量，必须以热流道系统中的加热器来补充。周围冷钢材的保温情况越好，需要为热流道提供的热量就越少。(快速循环时，可能不需要提供热量)。

③ 启动温度 对冷模具来说，在热流道系统中的塑料是硬的，因此必须尽快升温到能使塑料在流道中流动。因为这个原因，加热器应

有相当大的容量。

加热器的容量（功率）越大，模具就能更快地启动。然而，存在着一些限制加热器尺寸的实际因素——加热器大小、控制参数、电源容量等。加热器应使模具能迅速启动，最好使塑料在约15~30min之内从冷态达到操作温度，热流道歧管内的塑料量很大时，时间可能要更长。

④密封及热膨胀 热流道系统（歧管和其他热流道部件）和周围冷却的模具之间的温差(ΔT)取决于所成型的塑料， $\Delta T=100\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。热膨胀必须要进行计算，既要适合于成型塑料的温度又要适合于预期的冷却水温度。所计算的膨胀值适用于以下两个区域。

a. 热流道注嘴和模腔浇口的中心线部位 在热（膨胀的）歧管和模腔中冷（没有膨胀）浇口的中心线必须准确定位。

b. 恰当密封谨防塑料漏失 在许多商品化热流道系统中，各种零部件间都有平座或圆柱形焊合。只有在达到合适的操作温度时，这些焊合才能密封住高压塑料。由于这对于不同制造方法和模式的商品化热流道是有差别的，因此本书就不予一一探讨了。模具设计人员应在研究各种系统的制品介绍之后，为其合理地选择一种。对于所选的适当的模式应绝对按照其制造商的说明来应用，并遵从其指定的间距和配合。

⑤塑料的清洁度 “脏物”在这里指的是，塑料中的任何污染物（例如纸片、烟蒂、木屑、地板灰尘、砂粒、金属屑、焦糊的塑料等）。“脏物”能引起严重的操作故障。在热流道模具中，这种塑料残留在流道系统中，并且不能通过浇口的任何脏物都会在浇口后面的注嘴处积聚，最终将堵塞塑料料流。于是这就需要模具操作人员，打开在注嘴处的热流道系统，以清除“脏物”。这就会造成较长时间停产。

专门使用新料当然是最理想的。但是，即使没有流道系统要回收再用（在热流道模具中），有一小点材料节约也是很宝贵的。不合格制品常常都回收再用，并且有些模具使用者使用旧的、已用过的塑料或购买再生塑料，这都比纯的新材料便宜得多。料斗磁铁只能有助于防止磁性金属进入挤出机，而不能阻止其他的“脏物”。

二级注塑机可在挤出机和射料槽之间加一个过滤器，这样在经常清理过滤器的情况下能将大多数脏物过滤出来。在RS注塑机中，在挤出机和注塑机注嘴之间放一个细的过滤器是不现实的，因为过滤器会造成严重的压力降，在需要较高的注塑压力和快速充模时，不能使用过滤器。

⑥注嘴梢部保温 在有些热流道系统中，注嘴梢部被第一次注射的塑料将其与冷却的模具隔离开来。这对大多数应用来说完全满足要求。但是这里积存的塑料会逐渐降解（分解）并当新塑料夹带一些降解塑料时会在制品上产生可见条纹。如果这是不能接受的，可以插入一种（高热量）保温塑料（Vespel™牌等）以填充注嘴与模具之间的空隙。装配图必须标明是否要装备这种保温塑料。

⑦塑料的质量 即使是新料，每批之间也会有差别；但在多数情况下，这些差别都在合理的范围内，不会影响到热流道的操作和制品的质量。通常，批量越大，变化的程度就越小（这些在产品说明中会注明）。

对于再生塑料，特别是回收料，模具操作和制品质量就很难控制。回用料不仅会损失一些物理性能，而且还会丧失一些加工性能，例如，每次经过挤出机时的易流动性。因此，再生塑料与纯塑料混合会在一定程度上降低塑料的质量。

只要混合料的比例能严格控制，可以通过调整热流道系统的温度和注塑机设定的压力，来保证较低质量的混合料能正常使用。如果混合料的比例不能严格控制，为了避免出过多废品，就要频繁地调整注塑机的设定值。

⑧制品的颜色 预着色的新料是最好的，但很贵，只在很少的情况下才用。最常用的是将新料与适量的色母料混合。色母料的应用如是纯净的，会使颜色变化控制在可接受的范围内。使用回收的着色料，会使配色比较困难。

如果使用粉状着色剂，即使比色母料便宜，也不太受欢迎，因为在装卸粉状颜料时不可避免会混有细小的颜料灰，而且因为所要检测的颜料量太少，难以准确测定。还有其他加颜色的方法，如液体等。

⑨开浇口的方法 在热流道模具中有两种基本不同的开浇口系统（开式浇口和阀式浇口），在第 10.2 节中讨论了这些方法。

⑩动力需求 热流道系统可能会对电源电压的剧烈波动十分敏感。注嘴和歧管的加热器通常额定电压为 240V。而歧管往往由热电偶控制，补偿电压的变化；在许多热流道模具中，注嘴加热器是由百分定时器控制（不是热电偶控制），其输出的热量直接受到电压变化的影响。

例如，只要电压减小 10% 就会影响输出（以 W 计）约 20%。也会使注嘴温度减小同样的百分数，从而需要进行调整。如果知道电源的稳定性不可靠（经常波动），在严重的情况下，还是建议用热电偶来控制注嘴。或者，用户可能安装一台自动稳压器，其额定功率足够为注嘴加热器提供电源。

但即使是用热电偶控制的注嘴，在极低的电压下，如果在满负荷时，注嘴也达不到所需的温度，可能会使启动比较困难（更慢，甚至不能启动）。过高的电压会引起加热器过早烧坏而缩短其使用寿命。

热电偶必须正确地紧固在所控制的部件上。由于热电偶电路的错误连接或连接较差，或者由于热电偶与所控制部件接触不好所导致的错误读数，会导致系统的温度不正确，以至塑料不能成型，或者成型条件很差——如烧焦、溢料、滴料等。对于有些塑料，还可能会产生危险的情况，如快速分解以及向空气中释放有毒气体。

热流道歧管周围的模板必须进行适当地冷却。这些模板冷却不足会影响热流道部件预期的热膨胀，并且可能导致漏料以及某些热流道元件的永久损坏。在模具的铭牌上都应标有正确操作温度一栏，在装配图上也有。

注嘴加热器有如下两种控制方法。

a. 人工控制 控制器是人工设定的从 0 到 100 数字，数字表示的是电源接通状态的时间百分数（例如，60 意思是指有 60% 的时间，电源是与加热器接通的）。一旦模具开始正常循环运行，设定值通常减小到最低，保证所有的浇口不冻结。

b. 自动控制 注嘴加热器由热电偶和自动温控仪控制。某些工程

塑料可能需要注嘴自动控制,也有可能因为电源电压的稳定性不可靠,用户要求使用自动控制。歧管加热器通常采用自动控制(即用热电偶和自动温控仪)。

参 考 文 献

1. Rubin, I. I. (1972). *Injection Molding: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, New York Toronto.
2. Pye, R. W. G. (1989). *Injection Mold Design; Manual for the Thermoplastics Industry*, 4th ed., Halsted Inc., New York.

第十一章 排 气

11.1 背景知识及理论

自有材料被浇注成型，排气的重要性就得到了公认。钟、塑像、大炮等的浇铸，如不在青铜或铁水注入前，在砂或粘土的模腔空间上做好用来排气的通孔，是不会获得成功的。鉴于此，不难理解，为什么塑料工业长期以来，为模具提供排气条件不是作为一种事后的想法，而是作为一种基础的工程要求。

排气的理论很简单：模腔内的气体必须能够逸出，这样注入的塑料才可充满整个空间。空气或任何一种气体都遵循下面的这个简单定律：

$$\text{压强} \times \text{体积} = \text{常数} \quad (11-1)$$

$$\text{即} \quad p_1 v_1 = p_2 v_2 = C \quad (11-1a)$$

举个例子，图 11-1（左）为 $v_1 = 100\text{cm}^3$ ，大气压 $p_1 = 0.1\text{MPa}$ 的模腔，其内的空气无处逃逸，这些空气被注入的塑料挤进一个角落，如果它的体积被压缩为 $v_2 = 1\text{cm}^3$ ，它的气体压强 p_2 将变为 10.1MPa ，这就对塑料向这个角落的充填造成很强的阻力。体积压缩得越小，压强和充填模腔最后空间的阻力就越大，在充模不良的加强筋或凹槽，未

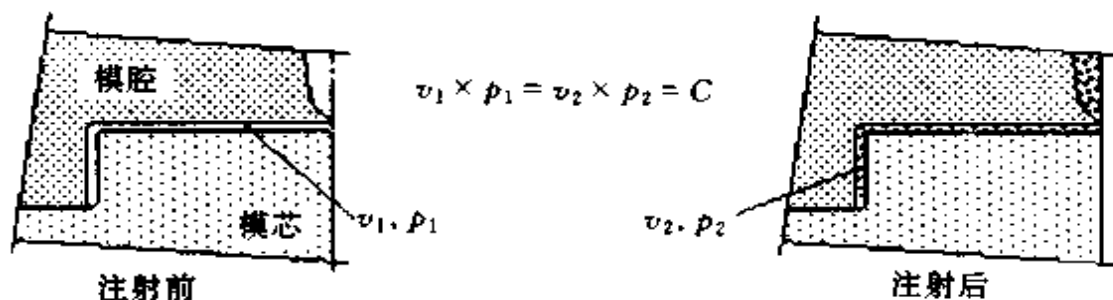


图 11-1 注射前模腔里有空气（左），和注射后的模具（右），这时压缩空气阻止塑料充满模具

充满的尖角或在一些低劣的塑料制品轮廓细部很容易看到这一点。

因为空气被压缩，它的热焓就被集中在很小的体积里，因而造成很大的温升，温度可能会达到数百摄氏度，使注入的塑料前沿灼伤。

以前制造模具的方法是，在试模后发现充填不良的区域和制品灼伤的边沿部位，然后在这些地方设排气位置。然而，在一个工程设计精良的模具中，在模具制造之前，排气的需要应该考虑到，从一开始就应该将充分的排气考虑在模具设计中。尽管有经验的设计师在预计空气可能滞留的大部分地方开设了排气孔，但在试模后往往仍要加上一些排气孔。

排气孔的大小总应该能记录下来，这样如果损坏了，可重新加工一个。在早期工厂里最常用的方法是用手工工具，通过目测或手感的方法来加工排气孔。这种方法应该被坚决阻止。

模具中的排气与挤出机筒的排气是不一样的，挤出机筒的排气是将挤出机筒中因塑料加热和塑化所挥发出来的气体和湿气排出去。同样也不能将其与热固性塑料用的压塑模的排气或“呼吸”相混淆。压塑模在第一次夹紧后大约 15s 打开片刻，空隙为 1~2mm，这是由接触热模具加热的塑料所产生的蒸汽和其他气体，在固化阶段开始前排出去。

11.2 定义及规则

设计者必须熟悉排气系统中的专业术语。

排气孔 两个表面间空气可从中逸出的空隙（深度）。

排气孔长度 排气孔中空气经过的距离。

排气槽 紧贴模腔，排气孔可以伸到里面的集气装置。

排气道 将排气槽与外面沟通的通道。

自然排气孔 由模具部件的空隙生成的排气孔（如顶杆与模芯间的空隙）。

在设计模具排气孔时遵循的规则如下。

①提供对注射塑料和预期的注射压力适当的，使空气的逸出阻力最小的，尽可能大的排气孔，但不能大到塑料可以进入排气孔，形成溢料。

②在预计为各塑料流径的尽头的位置设置排气孔。(在模腔底部和流道处设置排气口也是有用的)。如果塑料流源于两点以上和(或)从浇口分流后重新熔接在一起的,预期会夹入空气的位置必须设置排气孔。

③排气孔的清理是很重要的。很多塑料都会在模塑面上留下少量的残余物,这些残余物,时间长了,就会塞住排气孔。分型面排气孔,在每个模塑周期中都会被打开,可以随时方便地将其上的残余物或溢料清除干净。移动的排气孔,例如由顶杆提供的排气孔,它由于自身的运动可以自我清理。有时如果需要,可以在敞开的模具中对其进行清理。

静排气孔,通常为排气杆或是镶件与一基础件(模腔或模芯)间的排气缝,在使用一段时间后会糊住,需要将其从模具中取出进行清理。因而,或者不使用静排气孔,或者将这些排气孔设计在不需要全面停机就可以很方便地接近并进行维护的地方,这一点很重要。必须指出即使静排气孔也是可以实现自我清理的。如果排气孔短的话(排气孔长度短),从模具中要逸出的空气的压力(和流动),特别是在快速注射时,将把留在排气孔的残留物吹走。将排气道和排气槽做得足够大也是很有益处的,在这种情况下残留物可以在那儿积聚,模具因此不必清理得太勤。

排气孔也可与外界的压缩空气系统连接形成压力,压缩空气可在每次开模时将排气孔吹干净。

真空排气很少使用,仅在一些需促进充模的情况下使用。很显然,如果在模腔内没有空气,塑料流动是不会受到空气阻碍的。但是,排气良好,就可以避免使用真空系统所增加的复杂性和为维持真空所要的密封。

11.3 分型面排气

下面图例展示的是一个圆形模腔,但所作的论述适合于任何形状模腔的分型面。最好的排气孔如图11-2(B)所示,为一种无间断排气孔。它可以保证气体逸出所需的最大的排气孔面积,它的缺点在于模

具闭合时的支撑（接触面积）有一定损失。由于这个原因，在无间断排气孔加工困难时常使用点排气，如图 11-2 (A)。

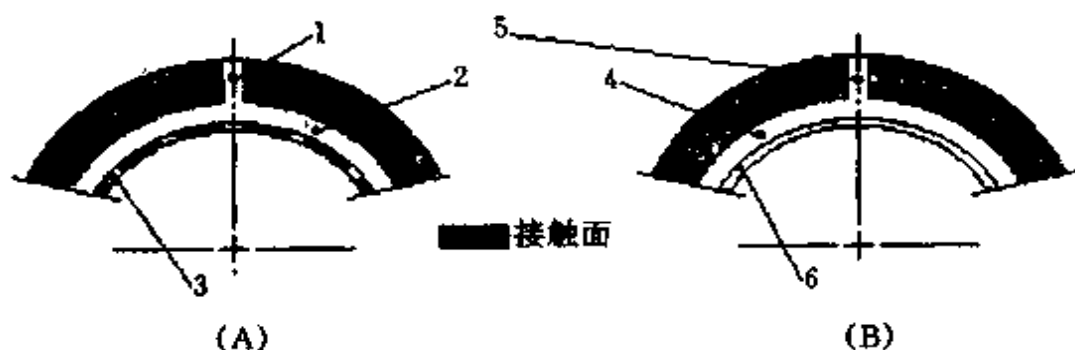


图 11-2 普通排气孔

(A) 点排气孔，沿着分型面间隔分布；(B) 无间断排气孔，沿着分型面连续分布
1—排气道；2—排气槽；3—点排气孔；4—排气槽；5—排气道；6—无间断排气孔

排气槽和排气道可设置在适于模具加工的任何位置。排气孔通常在易于砂轮移动的表面处磨出。图 11-3 展示了无间断排气孔的例子，排气道的横截面积至少要与排气槽的横截面积相等，以便于空气逸出。

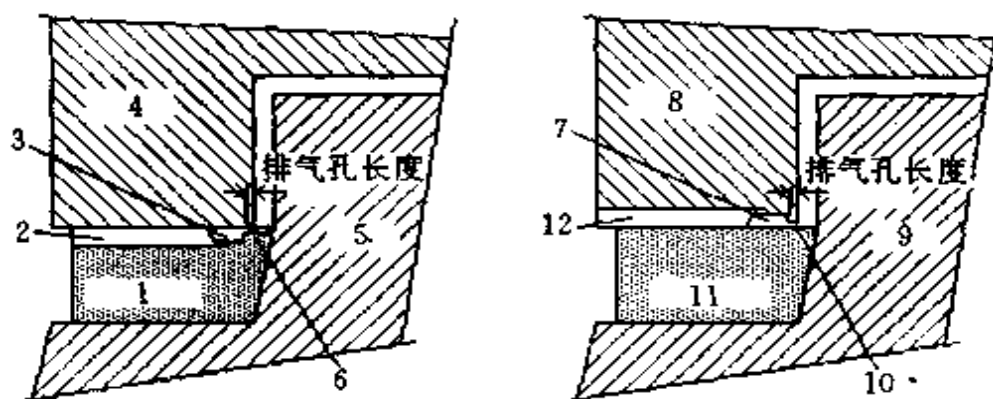


图 11-3 无间断排气孔的实例

1—脱模板；2—排气道；3—排气槽；4—模腔；5—模芯；6—排气孔（夸大的尺寸）；
7—排气槽；8—模腔；9—模芯；10—排气孔；11—脱模板；12—排气道

点排气孔可以与直接通往外面的排气道相接，如图 11-4 (A)，也可以通向排气槽。排气槽从数个排气孔处收集空气，然后由一个或数个排气道将空气排到外面，如图 11-4 (B)。

排气道和排气槽的形状应做成梯形或圆形，以防止模具启动时塑料溢料嵌在里面。梯形的好处还在于即使将分型面修磨多次，其对排

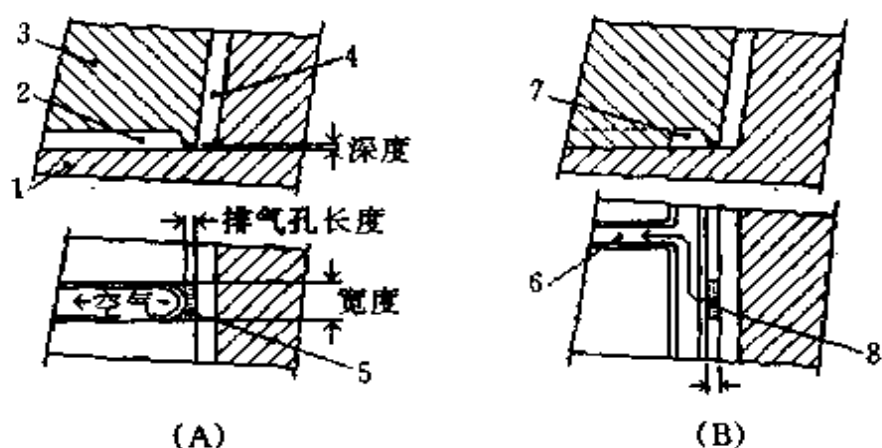


图 11-4 点排气孔的实例

(A) 直接与排气道相连的点排气孔；(B) 与通向排气道的排气槽相连的点排气孔

1—模芯；2—排气道；3—模腔；4—制品；5—排气孔；

6—排气孔；7—排气槽；8—排气孔

气道产生的影响要比圆形的小。下面的示意图（图 11-5）展示了在模具表面逐次磨削后圆形面积减少相对较大的情况。如果在锥形锁紧装置上加工排气道，圆形的较易加工（图 11-6）。

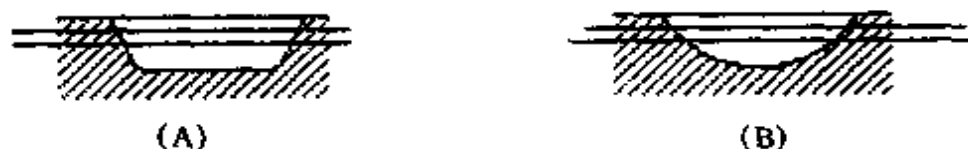


图 11-5 梯形 (A) 和圆形 (B) 排气道的横截面变化显示了在模具表面反复磨削的效果（经过放大）

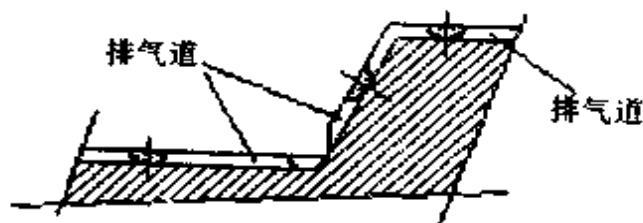


图 11-6 锥形锁紧装置上的圆形排气道

11.3.1 排气道和排气槽

排气道和排气槽的尺寸由进入模腔的塑料的体积和注射的速度来定，对于极快的注射，只要空间许可就要选择尽可能大的排气道。然

而，排气槽不可做得太深 (DG)，或太接近模腔 (L) 以避免削弱钢材的强度；同时宽度 (W) 不可占去太多的接触面积 (图 11-7)。

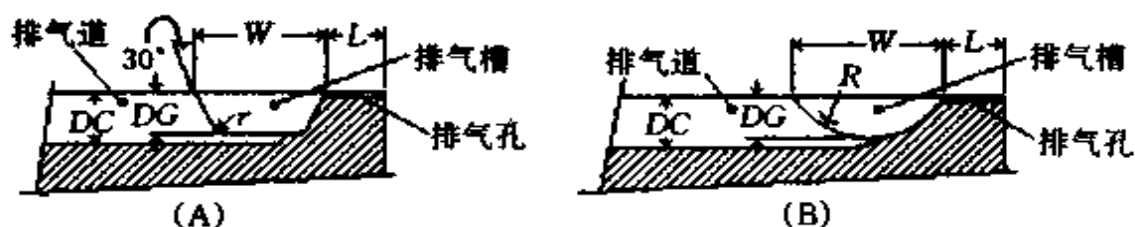


图 11-7 横截面展示了梯形 (A) 和圆形 (B) 排气槽的深度、宽度和离模腔的距离

没有现成的公式和计算机程序来处理这些情况，设计者只能靠自己的常识来选用推荐的标准尺寸，表 11-1 列出了推荐尺寸。

表 11-1 排气孔长度 (L)，排气槽和排气道的推荐尺寸

| 装 置 | 尺寸 | L , mm | W , mm | R , mm | r , mm | DG , mm | 面积, mm ² |
|--------|----|----------|----------|----------|----------|-----------|---------------------|
| 排气槽 | 圆形 | 1.00 | 2.00 | 1.50 | | 0.40 | 0.51 |
| | | 1.50 | 3.60 | 2.50 | | 0.80 | 2.07 |
| | | 1.50 | 5.00 | 3.70 | | 1.00 | 3.40 |
| | 梯形 | 1.00 | 2.00 | | 0.2 | 0.40 | 0.70 |
| | | 1.50 | 3.60 | | 0.3 | 0.80 | 2.50 |
| | | 1.50 | 3.60 | | 0.3 | 0.80 | 3.64 |
| | | 2.00 | 6.00 | | 0.3 | 1.00 | 4.55 |
| 排气道 | 圆形 | | 2.00 | 1.50 | | 0.40 | 0.51 |
| | | | 3.60 | 2.50 | | 0.80 | 2.07 |
| | | | 5.00 | 3.70 | | 1.00 | 3.40 |
| | | | 6.00 | 5.00 | | 1.00 | 4.14 |
| | | | 8.00 | 6.10 | | 1.50 | 8.22 |
| | | | 10.00 | 9.00 | | 1.50 | 10.56 |
| | | | 10.00 | 7.30 | | 2.00 | 13.38 |
| | 梯形 | | 2.00 | | 0.2 | 0.60 | 1.05 |
| | | | 3.60 | | 0.3 | 1.00 | 3.13 |
| | | | 6.00 | | 0.3 | 1.00 | 4.55 |
| | | | 8.00 | | 0.3 | 1.50 | 10.73 |
| | | | 10.00 | | 0.3 | 2.00 | 17.60 |

排气道横截面积至少要大于通向排气槽的所有排气孔横截面积之和。排气道使排气槽与外部连通。对于大的模腔（大量的空气要求被排出），排气道的数量必须增加才能提供足够的横截面积之和。当排气道用倒角或用钻孔来加工时，这同样是适用的。如果排气道比排气槽深，它应像图 11-7 中所示的那样进入排气槽。

排气孔的尺寸应在下面给出的尺寸范围内。

①深度 0.01~0.02mm；由注入的塑料量来定。

②长度 1.0, 1.5 或 2mm；由模腔尺寸来定。

③宽度（点排气孔） 最小为 3mm，优先选用 5~6mm（如果可能，尽量选用无间断排气）。如果制品不允许使用这么宽的排气孔，较窄（1~2mm）的排气孔也是可以接受的。

如果有足够的空间容纳，采用较大的排气道是没有什么错误的，因为这样，较大的工具就可以使用，排气道也容易被加工出来。

例：为一个快速注射，直径为 200mm 的圆模腔选择排气孔尺寸

选 排气孔深：0.01mm

全部排气孔面积： $200\text{mm} \times \pi \times 0.01\text{mm} = 6.28\text{mm}^2$

排气槽： $W = 5.00$ ， $DG =$

0.8mm ，面积 = 3.64mm^2

排气道： $W = 5.00$ ， $DC =$

1.0mm ，面积 = 3.40mm^2

所需排气道数量：最少 2 个

$(2 \times 3.40 = 6.80 > 6.28)$

注意：最好选用 4 到 8 个均等布置的排气道，特别是在注射速度相当快的时候（图 11-8）。

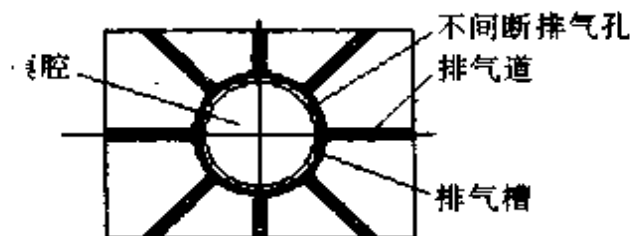


图 11-8 不间断排气孔、排气槽和八个排气道的推荐尺寸（有关尺寸经过放大）

11.4 排气杆和镶件排气

11.4.1 排气杆

排气杆的标准设计是在排气槽以下的孔径部分，有一轻推入的配合（在直径方向上有 0.000~0.005mm 的间隙）来保证排气孔与孔径

同心（均匀分布）。图 11-9 展示了此排气孔和排气孔长度的尺寸。

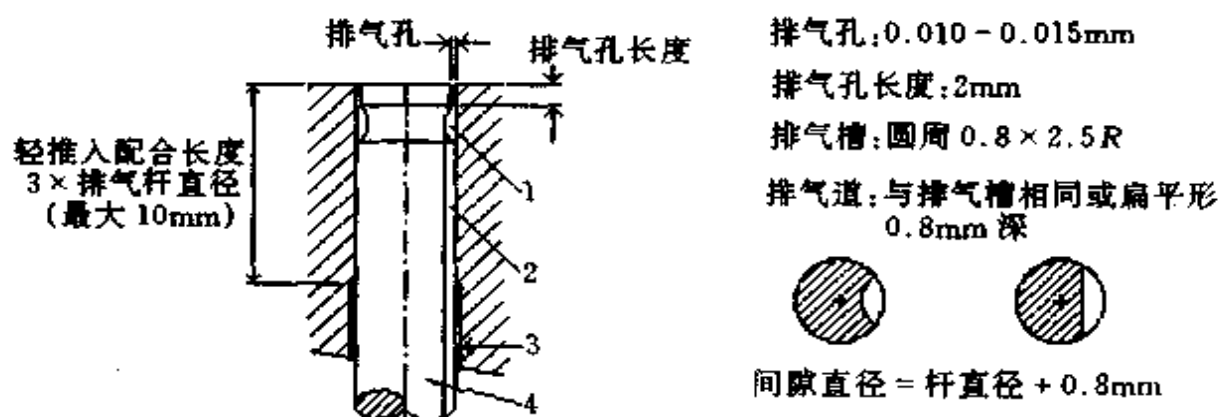


图 11-9 典型剖面及排气杆和排气孔长度的尺寸

1—排气槽；2—排气道；3—间隙直径；4—排气杆

11.4.2 铸件排气

这种类型的排气对保证塑料充满铸件形成的深的加强筋是绝对需要的。因为，如加强筋是整体形成的，只要加强筋的深度大于它宽度的 1.5 倍，加强筋的底部就必须设置足够数量和大小顶杆或排气杆以防止残存空气。

关于尺寸，如果可行，排气孔应遍布铸件整个宽度上，形成最大的空气流动。排气槽和排气道的尺寸应尽可能地大，并与铸件的尺寸保持一致。排气槽和排气道通常在铸件上加工，但也可在周围部件上加工一大倒角形成。只要排气道的横截面积大到足以通过预计的空气流量即可。在所有的情况下，排气道都要与外界空气或压缩空气管线相连，对于实际的排气孔尺寸，可参看上面对分型面排气孔的讨论。

图 11-10 所示的排气孔尺寸，在排气孔与接近的塑料流成一直线时是适用的。排气孔与塑料流成 90° 时，做得比上面所给的尺寸大一些也不会引起溢料。

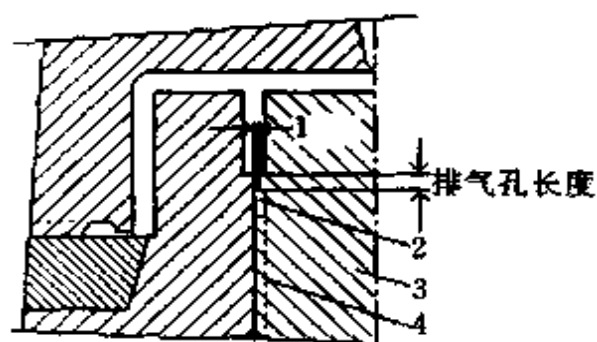


图 11-10 加强筋的铸件排气孔

1—模芯；2—排气槽；3—铸件；4—排气道

对于排气杆和镶件上排气孔的清理，可在排气杆和镶件的底部设置一个塞孔，以便取出进行清理，这是一个很实用的方法。

11.5 混杂排气

11.5.1 流道排气

这种方法可以使被注入的塑料流推向前端的空气，在到达浇口前能够逸出，以利于冷流道系统充模(图 11-11)。这里排气孔尺寸应与分型面排气孔一样，但如果空间不够，它们可以做得窄一些(1~2mm 宽)。

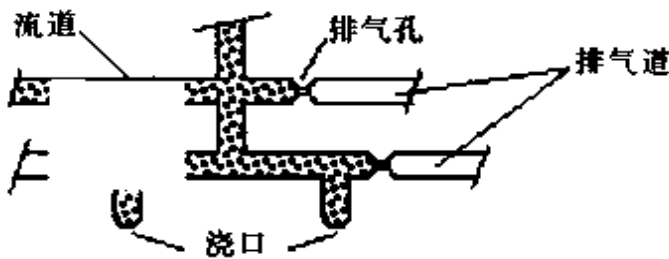


图 11-11 冷流道系统中典型的流道排气孔

11.5.2 模腔底部的排气

对模腔底部进行排气的目的是将注入塑料流前方的空气排出去，与流道排气类似。同时，当打开模具时，排气孔也会破坏模腔中的真空，否则真空会将制品吸在模腔上，因而阻止了正常的顶出。通常，这些排气孔要与压缩空气管线相连，以保证制品松脱模腔。

图 11-12 (A)，排气孔与塑料流成一直线；图 11-12 (B)，成 90°，因而排气孔可以做得大一些，孔洞必须大到不会对快速排气造成限制为好。

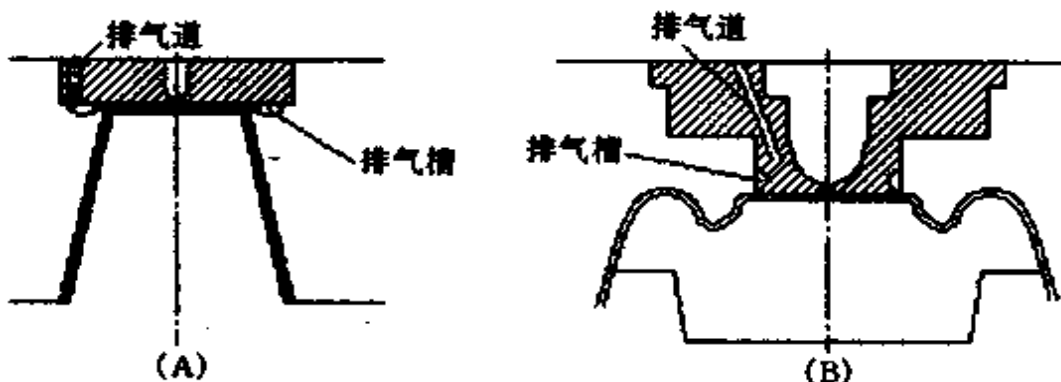


图 11-12 模腔底部的排气

(A) 排气孔与塑料流成一直线；(B) 排气孔与塑料流成 90° 角

第十二章 顶 出

12.1 内容及概念概述

制品在模腔内冷却后，模具打开，制品必须从模腔中顶出。并不是所有模具，都带有机顶出机构。如果模具只是用来生产几件样品，可人工取出制品，避免机械顶出的花费。同样，即使对于生产用模具，将一些形状复杂的大制品从模塑面上取出，也常采用人工的或带有吸碗的机械手方式，而不是都采用机械顶出。为方便制品取出，可用气流直接吹在模芯上或制品的开口端。

设计者必须了解的一些概念和术语：

自动顶出 大多数模具都带有将制品从模塑面，通常是从模芯分开的机械顶出机构。制品的顶出和成型区域的清洁不需要人工劳动。通常，称这种顶出方式为自动顶出。

半自动顶出 机械顶出机构移动制品后，操作者必须打开安全门，并且在下一个循环开始前，重新关闭安全门。也就是说，顶出时必须要有操作者（为了制品的后续工作），这样做通常并不增加制品成本。

然而，不同的操作者，和（或）同一操作者的疲劳，将会改变循环时间并影响制品的质量（制品的滞留时间不同）和尺寸（收缩量不同）。

有两种自动顶出方式：自由坠落（有时称“随机坠落”）和可控移动。自动坠落中，制品自由落到箱子里或传送带上。可控移动方式中，制品在机械手或引出机构的帮助下从成型区域移出。自动顶出的优点。

①循环时间一致，因此，制品一致。

②不需要操作人员，改善了工厂的安全操作环境。

③相对于人工操作，可缩短循环时间。半自动顶出中的操作人员在不过度疲劳的情况下，速度存在极限。不可能大幅度降低循环时间。

12.2 顶出方式的基本要求

顶出的基本规则之一：当模具打开时，制品必须留在具有顶出机构的半模上。如果不是由于制品形状（筋，小锥度等）自然留模，就应该对制品的结构进行改动，例如加上倒陷，使制品留在带顶出机构的半模上。

注塑机通常在合模侧带有顶出驱动器。因此，对大多数模具来讲，在合模侧（动压板）安装机械顶出机构。下列情况例外。

①由于外观的要求，顶出必须与注射在同侧（例如，茶杯内部开浇口，平板或托盘的底部开浇口等）。

②在迭层模具中，模具的一半在注射侧装有模芯。

12.2.1 顶出零件

图 12-1 所示为带顶杆的模具。如果模具必须通过在压板上滑移而安装在机器的压板上，那么为便于模具安装，可使用顶出垫来保持注塑机顶杆与动压板表面一致。

在顶杆托板不能直接起作用的情况下(图 12-3)(例：由于注塑机可能位置不适合)就需要带脱模板的模具，脱模板靠顶杆托板驱动(图 12-2)。

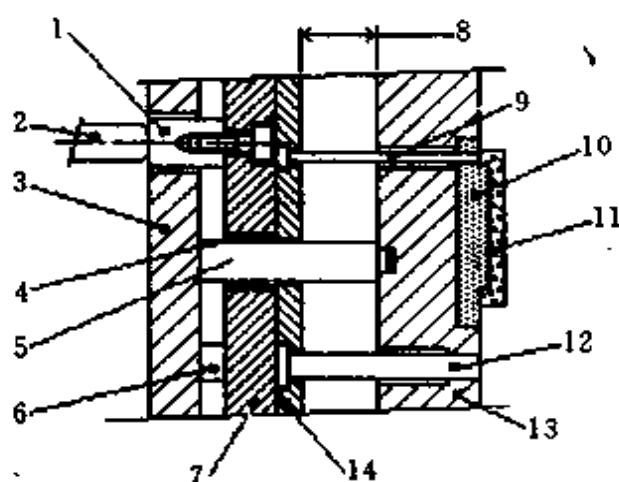


图 12-1 带顶杆的典型模具
1—顶出垫；2—注塑机顶杆；3—模具托板；4—导销套；5—导销；6—挡销；7—顶杆托板；8—顶出行程；9—顶杆；10—模芯；11—制品；12—回程销；13—模芯垫板；14—顶杆固定板

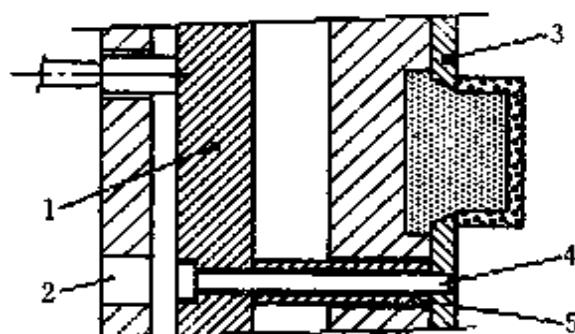


图 12-2 带脱模板的模具，
脱模板由顶杆托板驱动
1—顶杆托板；2—螺杆检修孔；
3—脱模板（带或不带脱模圈）；4—螺杆；5—套筒

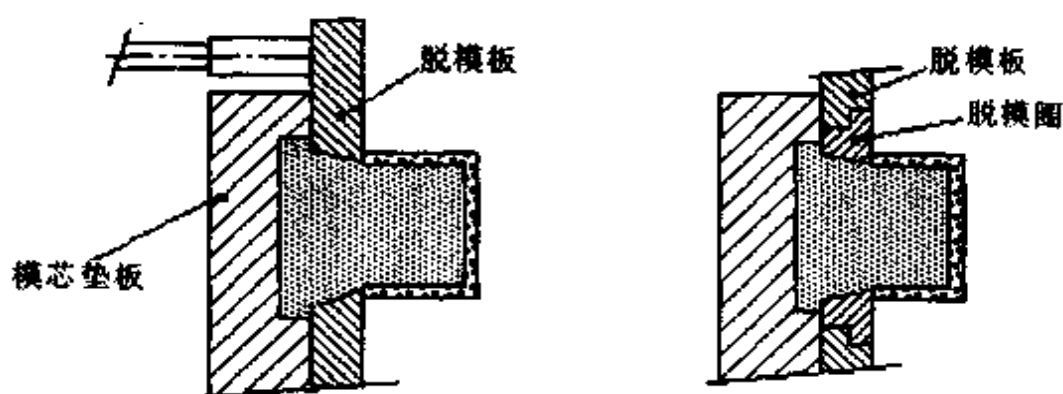


图 12-3 带脱模板的模具，直接驱动

12.2.2 注射机顶出杆的长度

如果模具向动压板移动，能将其安装到注塑机压板之间，并且注射机顶杆可伸长到与顶杆托板或脱模板直接接触，那么就不再需要顶出垫（图 12-4）。这样做比带顶出垫的成本低，但是会给在压板间装入模具带来困难。

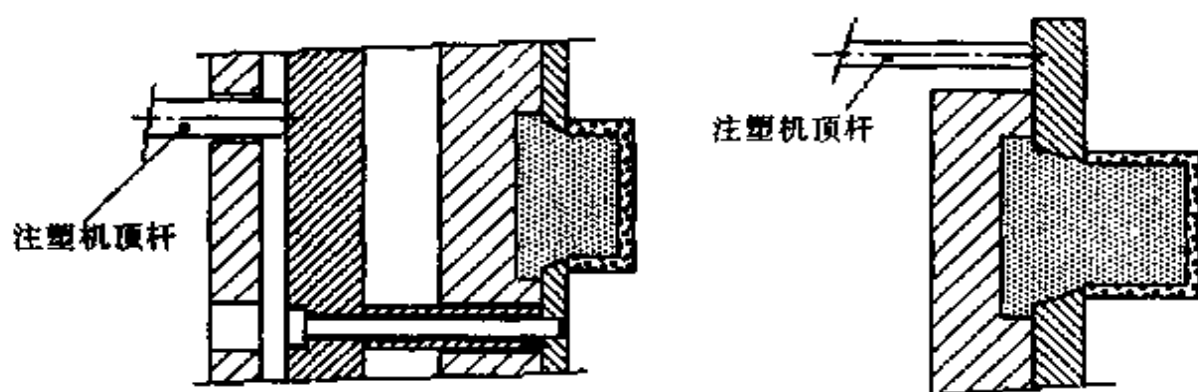


图 12-4 注塑机顶杆能接触顶杆托板或脱模板，不需要顶出垫

12.3 顶出的一般原则

这些原则适用于各类顶出方式，注意，对单层和迭层模具同样适用。

12.3.1 行程、间隙和制品高度

在模芯和模腔间必须有足够的间隙使制品能自由落下，而不被挂住。如果有引出装置，必须有足够的间隙使制品落在引出板上，清空模塑面，不跟模腔和模芯干扰。

大体上，对于深制品行程（ S ）为 $S=2.5H$ （ H 指制品高度）；对浅制品， S 稍大些。塑料容器锥度很小或没有锥度，其顶出行程必须大于自身高度，如图 12-5（A）。带有引出装置的制品要保证这样的行程（ $S=2.5H$ ）或更大些。但是，不带引出装置的模具，跟上述原则有些不同。

锥度相当大的容器易于从模芯上自由落下，因此间隙值可相对较小，如图 12-5（B）。制品安全落下所需的间隙值越小，行程越小，模具运行速度越快。行程小于 $S=2.5H$ 时必须仔细考虑。

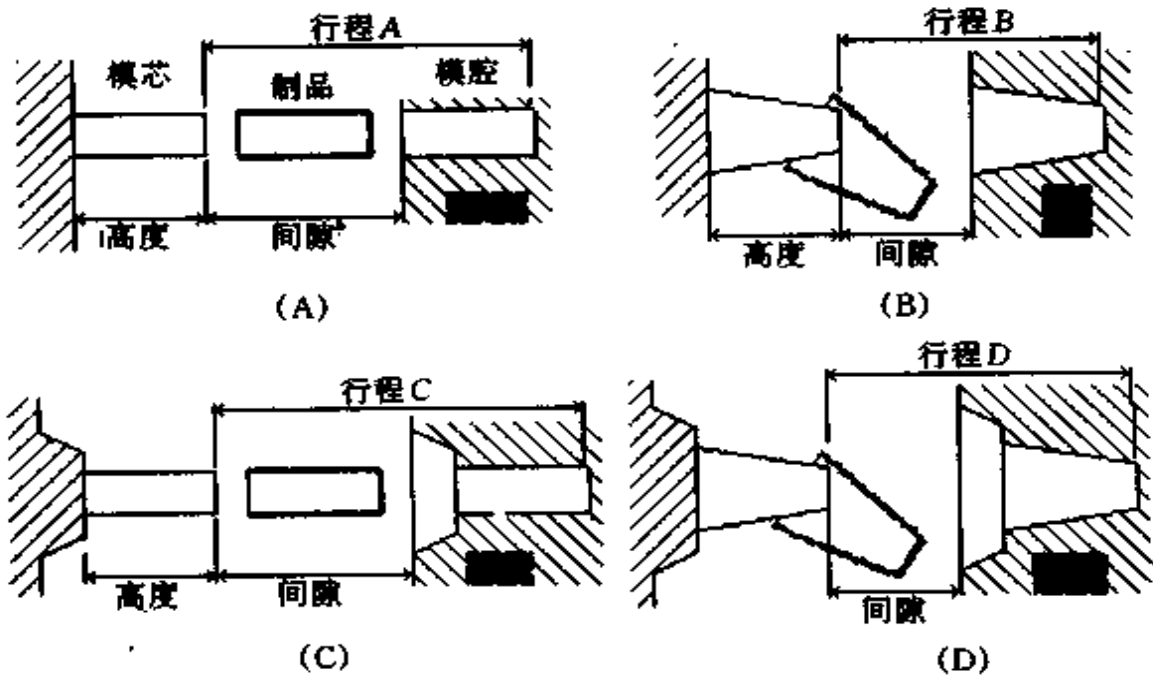


图 12-5 模具行程必须有足够的间隙使制品自由落下

(A) 不带锥度的制品要求间隙等于自身高度；(B) 带锥度的制品要求间隙值较小；(C) 行程必须随着定位锥面高度的增加而增加；(D) 行程包括定位锥面，但对于自身锥度大的制品，允许间隙较小

定位的方法同样影响行程的大小。图（C）和（D）模腔和模芯采用了锥度定位，比较（A）、（B）两图与（C）、（D）两图。由于定位锥面的高度要求，模腔上开有凹槽，为防止制品卡在锥面凹槽内，必须增大行程，增加量等于定位锥面的高度。需注意的是，在图 12-5 中（A）和（C），（B）和（D）各自的间隙值是相等的。

过长的行程除延长循环时间外，通常不带来别的问题。但不必要

的行程延长了循环时间，从而降低了生产率。

可以相信平坦制品的行程非常小（最小行程），特别是在所采用的移出制品的方法不需要很大的开模行程时。

通常在启动阶段，为方便维修将保持行程足够大，至少 152.4mm 是有利的。留有空间使模具技工能看到（通过镜子），并且清洁模具的浇口等部位。模塑区域越大，要求的间隙值越大。注塑机往往能够形成顶出所需的最小行程，使模具以最大的速度运行，而在调整和维修期间增大行程。

如果模具采用专利（Husky）的导轨结构形式，行程可以保持规定的 $S=2.5H$ ，如图 12-6（A）那样低，即仅够导轨（或引出机构）进入，移出制品。因为这样制品顶出后不会翻转。如果制品顶出后可自由落下，不卡在模芯和模腔之间，间隙必须大于制品最大的三维对角线，如图 12-6（B）。

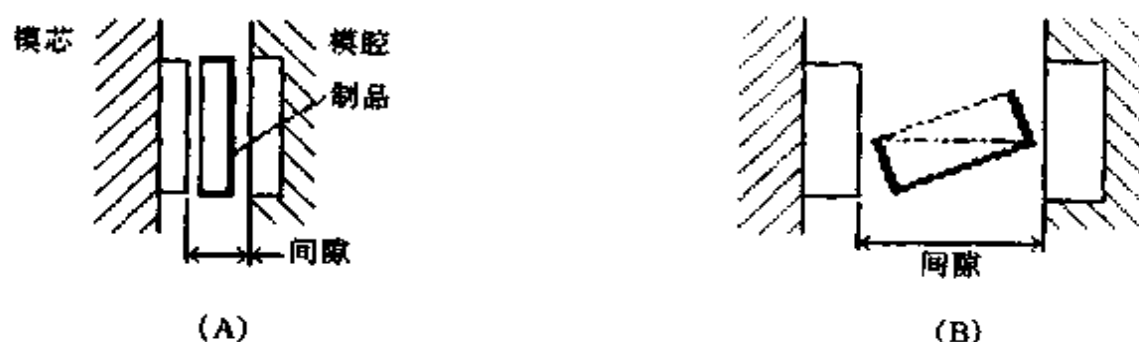


图 12-6 最短行程必须满足

(A) 为防止制品翻转，仅给引出装置留足间隙；(B) 为让制品自由落下防止卡住，间隙值大于三维对角线长度

单层模具中，通常可放大有效开模行程，对于双层（迭层）模具，其总行程，是单层模具行程的两倍，必须小于注塑机最大有效行程。但是，存在特殊情况，如果模具在垂直面分瓣（模瓣水平移动），可不遵循上述要求。

图 12-7（从上看）模芯顶端和模腔表面的间隙小于制品高度，但由于模腔（部分）分瓣，模瓣滑块之间有足够间隙使制品自由落下，清空模具。模瓣滑块间隙必须足够大使制品通过而不被滑块的尖角划伤。

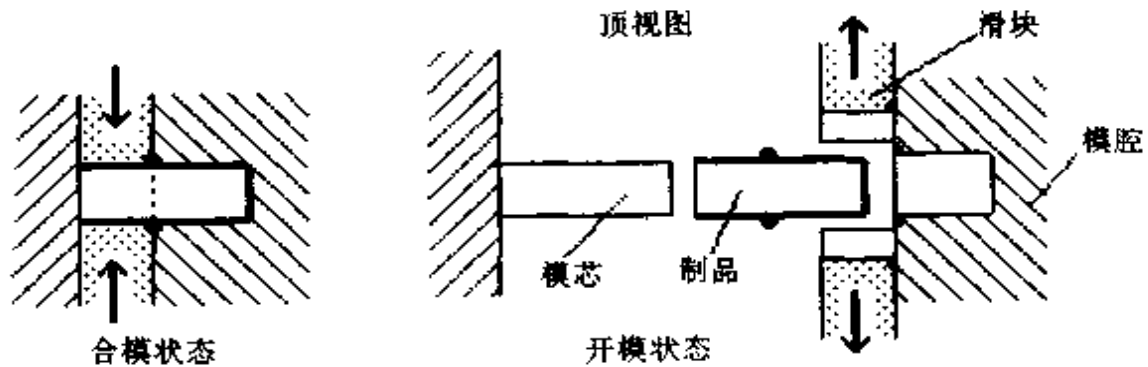


图 12-7 模具模腔沿垂直面分瓣，可使行程间隙小于制品高度

12.3.2 排气

如果顶出时在模芯和制品间产生真空，应重点考虑排气问题。这种情况常发生在帽形和平直的制品上。

图 12-8 显示帽形制品从模芯上顶出时，形成的真空会使制品变形或破裂。对于完全没有锥度的制品，甚至锥度很小的制品在顶出速度很快的情况下，由于突破真空的空气不可能足够迅速地进到边缘，可能引起制品内爆。



图 12-8 帽形制品从模芯上顶出时，顶部形成的真空会使制品变形

如果模塑料有弹性（如 PE），那么顶出后制品回复到其模塑形状；如果塑料呈脆性（如 PS），制品底部可能破裂。类似的情况可能会发生在边缘顶出的平直制品上（图 12-9）。（中心附近的顶杆可起排气作用）。

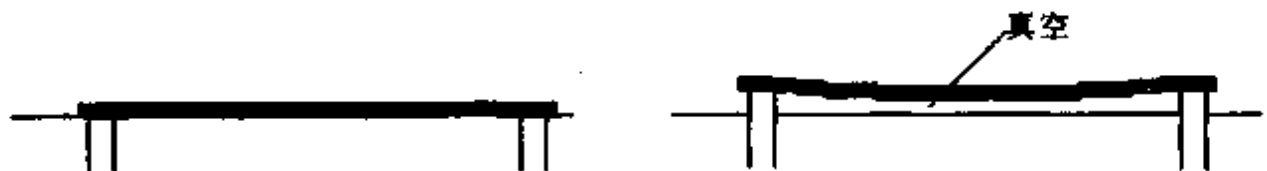


图 12-9 平直制品只在边缘顶出，会引起变形

12.3.3 顶出制品的位置

对于深制品（通常为帽形）一般原则是把顶出部位放在制品最硬

处。图 12-10 (A) 的情况，甚至可以在制品完全冷却前将其顶出，从而节省循环时间。

在图 12-10 (B) 中，顶出位置是不正确的，但奇怪的是很多模具都采用这种方式。这样做不会带来排气困难，但是由于顶杆和制品接触处相对较薄，顶杆经常会将制品顶破而不是顶出。为了使模具正常运行，制品不被顶破，必须延长循环时间使制品冷却充分（强度足够）。然而，过分冷却，制品从模芯上顶出前会产生收缩，使顶出更加困难。

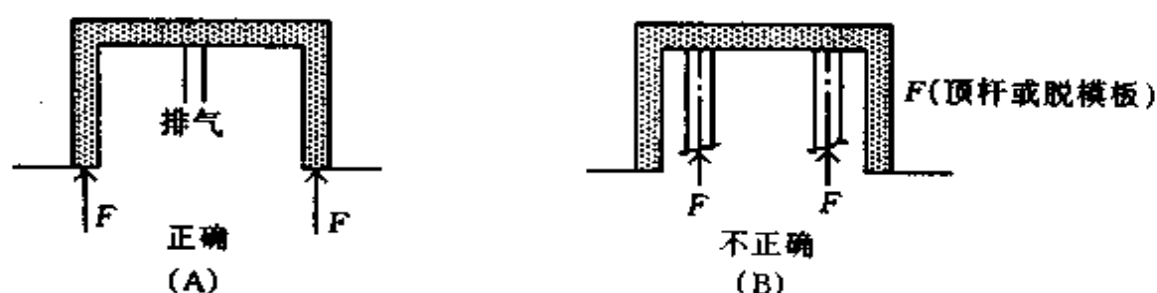


图 12-10 顶出点设在制品的正确位置即最硬处 (A)；
顶出点设置在制品较薄处，不正确 (B)

对于内部有深筋的制品，顶出原则和上述相同。顶出力必须施加在最低点（图 12-11），即制品最硬处。通常采用顶杆顶出。如果制品圆周带筋，最好采用标准顶管或专用顶管顶出。当筋高度小于制品壁厚的 1.5 倍时，通常不需要顶杆，但必须考虑排气问题以防内爆。

对于带筋或不带筋的浅制品的顶出，采用以下原则：

顶杆必须均匀分布，以防顶出后制品翘曲。如果制品带筋或凸台，顶杆必须设在最低处。顶杆和顶管都可“自然”排气。[存在运动间隙（配合），空气可通过]。重点是顶杆配合孔和顶管配合孔必须很短，以保证空气通过时阻力小。

作为一个原则，配合孔的长度应小于 $2D$ (D 是顶杆或顶管的直径) (图 12-12)。由于模芯孔通常采用坐标磨加工来保证间隙精度，所以减短配合孔长度还可以节约机加工时间。

制品上顶杆和顶管的顶出痕迹称为迹线 (witness line)。由于顶杆通常设在制品的内部或底部，顶出痕迹并不影响制品美观。对于某些

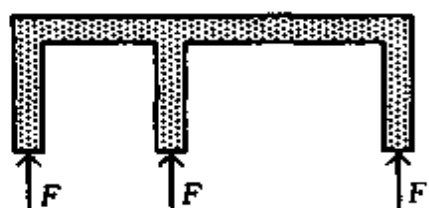
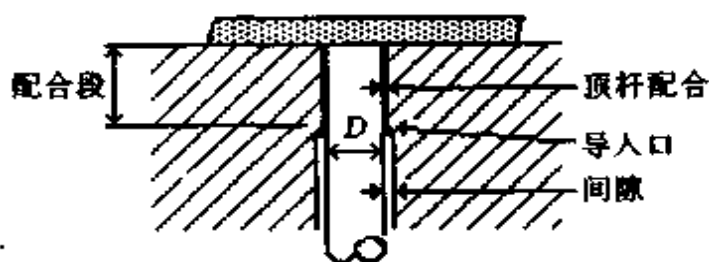
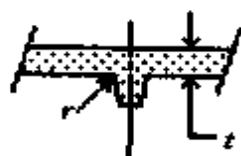


图 12-11 顶杆设在筋部最低点

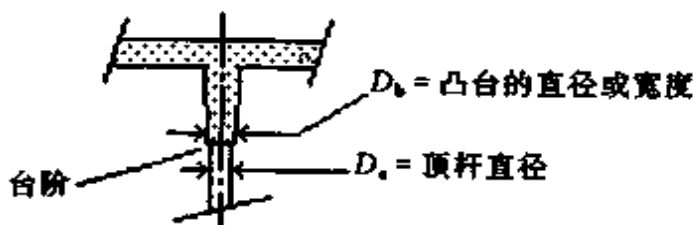
图 12-12 配合面长度应小于 $2D$

制品，必须和客户讨论平面上顶杆的顶出位置，以防止顶出痕迹影响制品美观。

制品凸台的顶出要考虑其形状和坚固性。对于实心凸台（圆形或其他形状），如果凸台相对很浅（即其高度等于或小于其直径或宽度）并且凸台带有很大的斜角（每边至少 5° ），通常不需要在凸台下加顶杆，如图 12-13 (A)。如果凸台高度对直径的比例很大，或者凸台斜度较小，凸台需加顶杆。这不仅用来顶出制品，而且在低处提供排气装置，可保证制品充模良好，如图 12-13 (B)。



(A)



(B)

图 12-13 凸台下的顶杆

(A) 带适当斜度的浅凸台或高度与直径的比例小的凸台，不需要设顶杆；

(B) 深凸台下设顶杆，顶出的同时充当排气装置

顶杆的直径应当是标准顶杆的尺寸，并且总要略小于凸台底部直径（或宽度），保证顶杆顶出推进时不划伤模壁。每边（台阶）尺寸相差至少为 0.12mm 。台阶简化了加工；并且，如果凸台以后需要维修，允许使用尺寸大些的顶杆。

实心凸台带来的问题是制品在凸台根部的体积较大，容易在制品上留下缩痕。经验丰富的设计人员会避免使用直径或宽度大于制品厚度 t 的实心凸台，而是用管状凸台代替，来减小该处塑料体积，这样不

仅可降低制品收缩，而且改善该处的冷却效果。

为提高凸台强度，在凸台和制品壁连接处设计圆角 r ，这样使该处的塑料体积更加增大。如果制品图纸上该处半径过大，应当允许适度减小。

通常，可通过改变模塑参数来避免出现缩痕，但这样将降低循环速度。

有两种类型的管状凸台：一种是通孔，而另一种是盲孔（图 12-14）。通孔凸台的优点是避免了凸台对应的制品表面出现缩痕。盲孔几乎进到凸台底部，可在很大程度上降低，或者说完全避免了在制品上出现缩痕的可能性，并且改善了冷却。因此与实心凸台相比，还减少了循环时间。

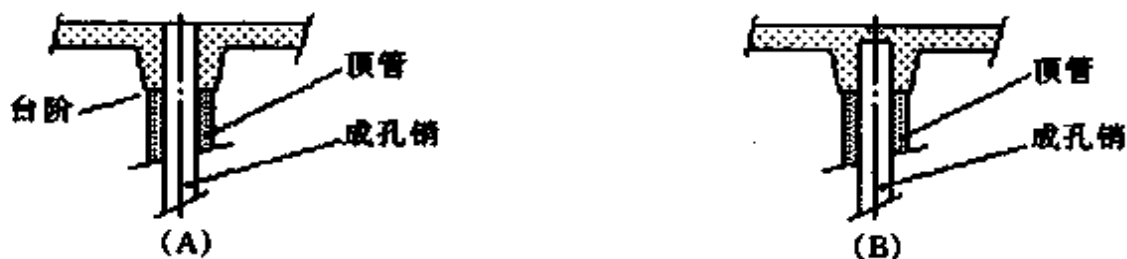


图 12-14 管状凸台
(A) 通孔；(B) 盲孔

一般，即使凸台很浅，不带斜度，也应将其完全顶出。使用顶管顶出凸台费用高，应当避免，如图 12-15 (A)。可能的话，在大型凸台的底部安放几个顶杆来代替顶管，如图 12-15 (B)。但是应避免使用尺寸很小的顶杆，因为会造成维修困难。

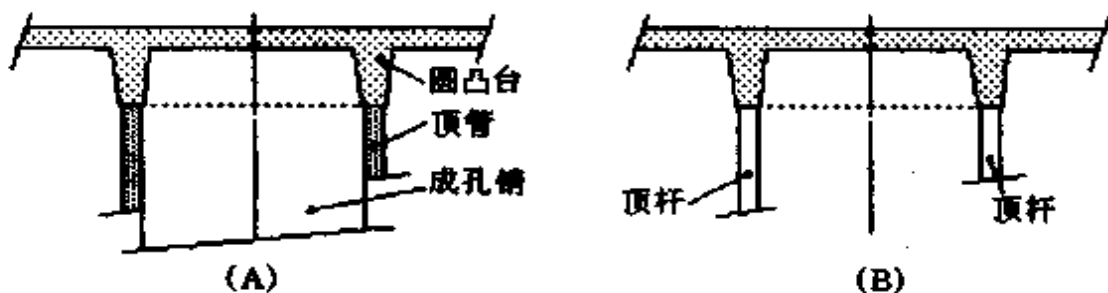


图 12-15 凸台完全顶出
(A) 使用顶管子；(B) 顶杆均布

可能的话，应当规定选用标准的批量生产的顶管。小尺寸的顶管

需专用设备制造，大尺寸的可自制。但是自制费用高且易碎，又要增加模具的维修费用。

12.4 顶杆和顶管

顶杆和顶管适用于各种形状的制品。这种顶出装置的优点是造价便宜且使用方便。并且在易出现夹气、需设排气销的地方，顶杆和顶管可兼起排气作用。

使用顶管和顶杆的缺点是制品被顶的面积相对很小，要求制品必须冷却充分，足够强度，防止在顶出时，顶管或顶杆上的力使制品变形。另外，顶杆和顶管的顶出痕迹可能影响美观。应当仔细考虑顶出位置，必要的话，应同客户商讨。

除顶杆和顶管外，还可采用脱模板或空气顶出。脱模板（见 12.5 节）可以是板状，环状或棒状，当制品的顶出面积相对较大时，通常采用脱模板代替顶管。另外，脱模板顶出后顶出痕迹不明显。但是，它只适用于在分型面处可机加工生成轮廓线的制品。

空气顶出（见 12.6 节），可代替顶杆和脱模板，免于移动大块的顶杆托板或脱模板，因而简化了模具结构。同脱模板和顶杆顶出相比，空气顶出可延长模具寿命。空气顶出使用范围通常局限于某些杯形制品（浅的或深的容器），会在制品的内部，容器的侧壁或底面留下迹线。

12.4.1 顶杆配合间隙和长度

顶杆和顶管的配合间隙，应当由制造商制定。一般地讲，间隙值同排气尺寸相对应，见第十一章。

限制顶杆的配合间隙和配合长度有下面几种原因。

配合间隙 间隙过小，限制顶杆移动，导致顶杆断裂，或加速顶杆和孔的磨损。间隙过大，将导致溢料，特别当注射压力很高，塑料很热且流动速度很慢时。

配合长度 如前所建议的长度应小于 $2D$ [小型顶杆 ($<6\text{mm}$) 的直径]，对大型顶杆而言，不大于 $1.5D$ 。

如果配合面过长，生产费用更高（需更长的座标磨或铰孔时间），并将增加排气阻力，导致排气不良。如果配合面过短，防止制品溢料

的密封作用不够，特别当注射压力很高，塑料很热且流速很慢时，另外，还将加速配合孔的磨损。

12.4.2 尺寸，表面精整和形状

顶杆尺寸 设计者通常采用标准（已列出）尺寸。特殊尺寸自己制造或向供应商采购都很贵。

顶杆精整 为保证较长的磨损寿命，应采用 H13 或类似钢材制造顶杆，进行表面淬火或氮化，使硬度达到 70Rc，然后进行高精度抛光，再用固体润滑剂覆盖其表面。

配合孔精整 配合孔壁必须很光滑，没有磨削痕迹，否则磨痕会像锉刀一样作用于顶杆。建议粗糙度为 $0.4\mu\text{m}$ 或更低 0.0254mm 。配合通常采用座标磨加工，这样就能避免出现钟形口。钟形口会在顶杆或顶管位置处产生不易觉察的溢料（图 12-16）。钟形口是配合孔末端在成型表面，呈漏斗形或钟形，通常是由钻头从制品侧对模芯进行钻孔引起的。

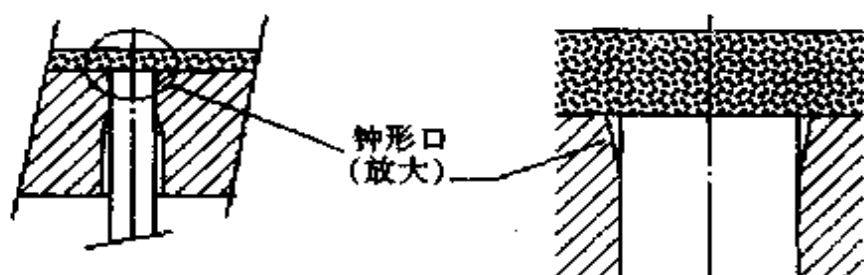


图 12-16 配合孔末端成型表面形成钟形口，引起溢料

如果不能采用座标磨加工，顶出孔必须通过铰孔加工。为避免出现钟形口，经验丰富的模具制造者会从模芯背面钻孔，或者减小尺寸，从模芯内侧钻孔之后再精铰加工。由于从制品侧钻削顶出孔通常很方便，许多设计者向工厂提供图纸时，会在不能用座标磨加工的配合孔处注明：“从背面钻（或铰）孔”。

模芯中顶杆（或顶管）孔的形状 孔在后部必须呈漏斗状，以方便顶杆（或顶管）的装入（同样适用于以后讨论的回程杆孔），如图 12-17。

顶杆尺寸的选择 一般原则是，尽可能地使用大尺寸的顶杆（原

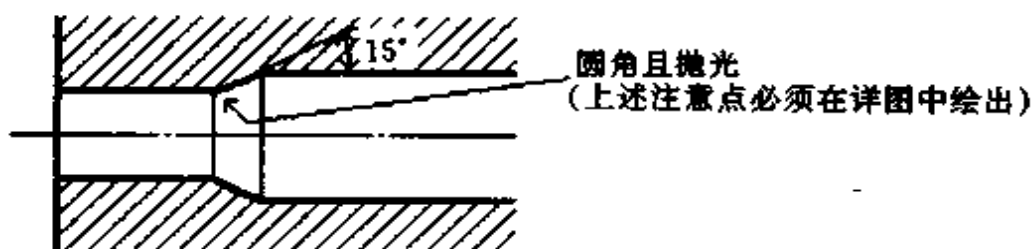


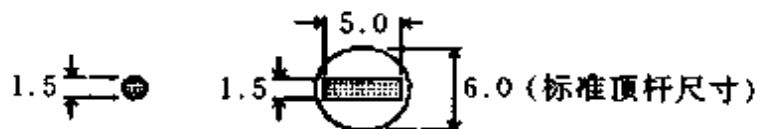
图 12-17 模芯中的顶杆（或顶管）孔呈漏斗形，便于顶杆（或顶管）的安装（因是直径大于 6mm 的配合孔比其他小孔易于加工）。避免使用直径小于 3mm 的顶杆，特别当顶杆长度大于直径的 50 倍时。尺寸小于 3mm（2.5、2.0 和 1.5mm）的顶杆由 3mm 的顶杆进行台阶状加工而成，3mm 顶杆的伸出距离 E 为 75mm。

避免使用长的细顶杆的原因是这样的，顶杆在顶出力作用下有压塌的危险；另外，由于该类顶杆磨损快，需经常更换。对于磨蚀性（如玻璃填充）塑料，磨损是特别严重的问题。

12.4.3 专用顶杆形状

如果在筋底部等处要求的顶杆尺寸非常小，最好使用（如果可能的话）扁平顶杆来代替小型的圆顶杆。

例：如果筋部底部宽度为 1.5mm，最好使用尺寸为 1.5mm × 5.0mm 的扁平顶杆。使用圆顶杆，和塑料的接触面积为 1.77mm^2 ，而使用扁平顶杆，面积为 7.5mm^2 。



接触面积较大，顶出时顶杆不易穿透塑料，特别是在塑料温度仍较高，阻力较小的情况下。而这样做可能会将循环时间缩短几秒钟。顶杆越坚固，越耐用。可能的话，应利用标准尺寸的顶杆或孔销来制造专用顶杆。

模具零件供应商有一系列的标准片状顶杆。设计者应在规定自制专用零件前努力寻找标准尺寸的零件；自制专用顶杆不仅很贵，而且性能不如标准的批量生产的顶杆好，即使同样进行表面氮化和精整抛光。

设计专用顶杆缝口的时候，设计者选用 EDM 加工实体模芯或组

合模芯，或采用两块结构。用 EDM 加工，所选取的顶杆间隙和孔配合面长度应当与较小的缝口相对应的圆顶杆的有关尺寸类似。这样不仅保证足够的密封性和排气长度，而且制造简单，避免专用顶杆过长。顶杆缝口处模芯的背面，依照专门制造的顶杆轴的间隙要求钻孔，如图 12-18 (A)。

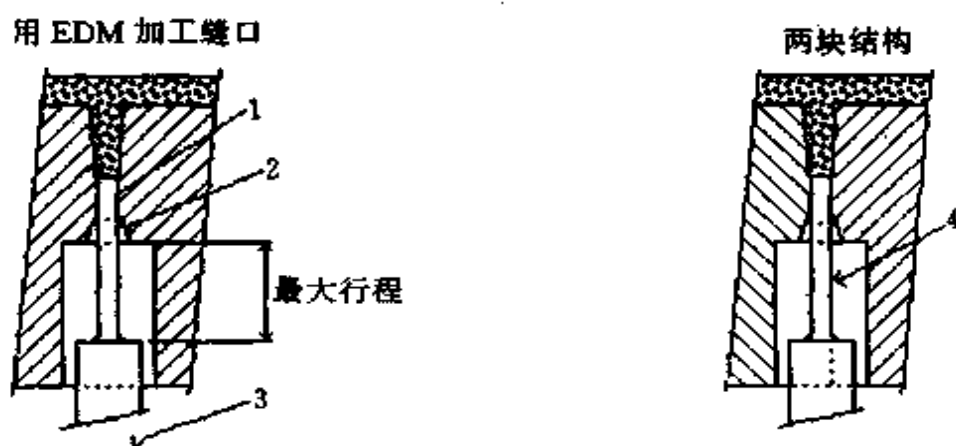


图 12-18 专用顶杆缝口可用 EDM 方法 (左图)；
在整体模芯或两块结构的模芯中加工 (右图)

1—仅在此处设顶杆；2—入口 (圆角且抛光)；3—顶头在固定板
中浮动 (未绘出)；4—在此面上模芯分块

对于两块结构，一块模芯上加工出相对较浅的 U 型槽，配合部分是平面。四面可按需要研磨。顶杆轴要钻的孔和实体模芯相似。

不要试图配合两个相对的 U 形槽 (图 12-19)。没有必要这样做，况且如要配合良好，U 形槽加工精度要很高。

除矩形外，其他形状顶杆当然也可能采用，但加工相应的顶杆缝

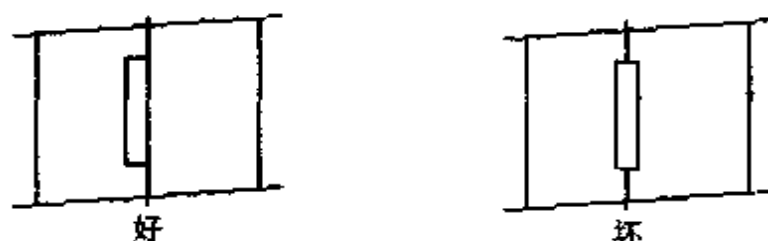


图 12-19 两块模芯结构

注：好的设计 (左) 仅在其中一块上的加工配合槽，坏的设计 (右) 两块上都加工出配合槽，这将造成加工精度的不必要提高

口困难。随着 EDM 技术的发展,即使是畸形孔的加工现在也变得很容易。但是,加工这样的顶杆和顶杆孔的费用是昂贵的,应尽量避免。为达到要求的间隙,必须非常严格地制定顶杆和缝口的公差。间隙值采用与类似的标准顶杆相近的尺寸。

12.4.4 顶杆数量和布置

没有现成的规则限制每个模腔的顶杆数。顶杆数量越多,顶出效果越好,制品越平整。但是任何不必要的顶杆会造成不必要的花费。在首先保证顶出良好,可靠的情况下,应尽可能地降低顶杆数。

例如,对 24 腔模具来说,每个模腔多设两个顶杆,整副模具就会多出 48 个不必要的顶杆。这意味不仅在制造顶杆上造成不必要的花费,而且增加了在模芯,模芯垫板和顶杆固定板上的钻孔费用。并且影响(复杂)模芯和模腔垫板内冷却管道的布置,这同样增加不必要的费用。

顶杆必须布置在需要排气的区域,这些区域不依靠分型面排气:

- 顶杆应布置在制品最低点处,如筋,轮圈和凸台;
- 顶杆可按需要置于或靠近制品拐角处;
- 顶杆应尽可能的对称,均匀地分布在制品上;
- 顶杆应布置在筋与筋或壁与筋的相交点上(图 12-20)。

置顶杆于相交点上,可增大顶杆尺寸,如图 12-20 两例所示。稍微在拐角处增加半径或沟槽尺寸,顶杆尺寸还能增大,这对使顶杆符合标准尺寸是很必要的。

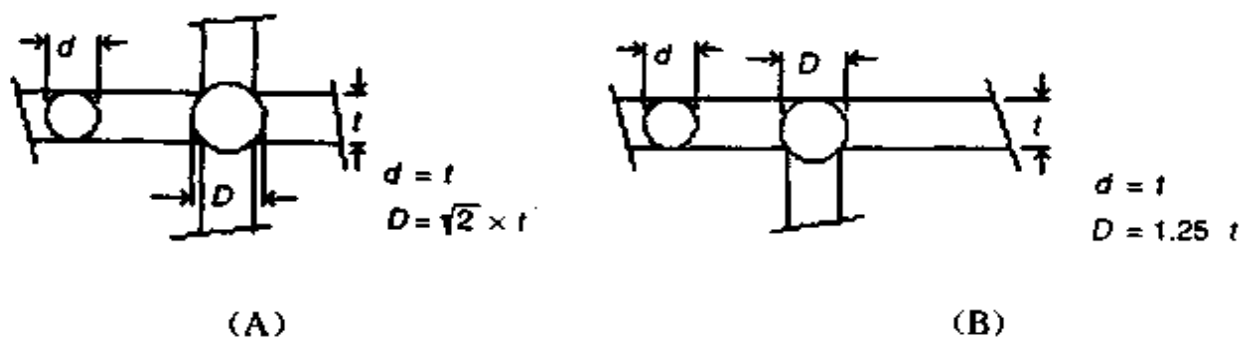


图 12-20 顶杆置于筋与筋 (A) 以及壁与筋 (B) 的相交点上,可增大顶杆尺寸

例：在图 12-20 中，筋宽 1.5mm，则其横截面对角线长度

$$1.5\text{mm} \times \sqrt{2} = 1.5 \times 1.4142 = 2.12\text{mm},$$

不加拐角半径，可选择 2mm 的顶杆。壁处

$$1.5\text{mm} \times 1.25 = 1.875\text{mm}$$

对于 2mm 的顶杆，该尺寸是不够的，但加上 0.15mm 的拐角半径，可使用 2mm 的顶杆。

注：过大的圆角半径增加相交点体积，并且可能增加模塑周期和（或）引起缩痕。

12.5 顶杆和顶杆固定板

有两个力可使顶杆托板挠曲：顶出力和注射力。

12.5.1 顶出力

很难估计作用在顶杆托板上的力的大小。其主要依赖于下列因素。

模芯的精整 一般地说，模芯越粗糙，将制品从模芯上推出的力越大。（例外：为有利于 PP 和 PE 制品的顶出，需要一定的粗糙程度）。

脱模斜度 斜度越小，将制品从模芯上移出的力越大。

制品上有倒陷 有的深倒陷（如像纺纱机绕线管内部）需要的顶出力和合模力一样大。在这种情况下必须在模具上附加高功率的液压驱动器。

制品上没有倒陷 应当在模芯上加倒陷，保证制品留在模芯上，适于顶出。

由于以下因素，制品有留在模腔内的趋势，故需要在模芯上设倒陷。

①模腔内制品底部呈真空状态。这种情况多出现于容器类制品上。

②塑料的粘附性。有一些塑料对钢的粘着性很强。如果塑料对模腔的粘附力等于或大于对模芯的粘附力，那么塑料将留在模腔内。

③模腔内的收缩力（当模腔中有销杆时）。塑料收缩包紧销杆，使制品留于模腔。一般地说，模具布置好，制品自然会留于模芯，但通常是不大可能的。

④以分型面对称（或接近对称）的制品（如：唱片、碟子等）。

以上所有阻碍顶出的力都必须考虑到。由于不可能完全估计出这些力的大小，我们假定顶杆托板上承受的力为注塑机的最大顶出力。

大多数注塑机的说明书列出最大有效液压顶出力。对小型注塑机通常为 58.8~98.1kN，大型注塑机为 98.1~157kN。一旦知道了此力，就能计算出所需顶杆托板的强度。从注塑机的说明书中可获得顶出力的数值。

对于固定（缓冲器）顶出力，当动压板打开，带着模具运动到开模位置，模具中的顶杆托板便接触固定在合模装置中的缓冲器。合模装置继续打开时，顶杆托板朝前移动，顶出制品。这种情况下，碰撞瞬间的顶出力不仅依赖于合模装置液压缸开模力的大小，而且和碰撞瞬间运动物体的速度有关，顶出力能够比液压力大得多。现在很少应用这种方法了。

12.5.2 注射压力

在注射过程中及注射周期结束时，顶杆端面承受注射压力。顶杆承受注射压力的面积越大，就有更多的力通过顶杆传递到顶杆托板上。

由于在承受重载的顶杆下方或附近设置了限位销，这些载荷引起的顶杆托板的挠度可忽略。偶尔，顶出托板直接安装到注塑机压板上（没有模具固定板）。这时，设计者必须保证限位销定位正确，防止限位销和顶出孔，螺钉孔或注塑机压板上的槽口（部分或全部）搭接。否则，限位销将不起作用。

顶杆托板是表面均匀分布顶杆的板，而不是简支梁。这样就使计算复杂化了。如将该板简化为简支梁，能够运用简单公式计算挠度，所得结果比用板的计算公式计算的更严格。由此，设计者最终可确定更坚固一些的即挠度更小的顶杆托板。

顶杆托板的挠度 f 必须控制到最小。通常 $f < 0.1\text{mm}$ 。

12.5.3 与注塑机顶杆相关的顶杆位置的影响

如图示例（图 12-21），顶出力（在模塑表面大致均匀分布）简化为承受均布载荷的简支梁，载荷总值等于注塑机顶出力。

设计顶杆托板必须考虑到相对位置，并且必须保证其挠度尽可能

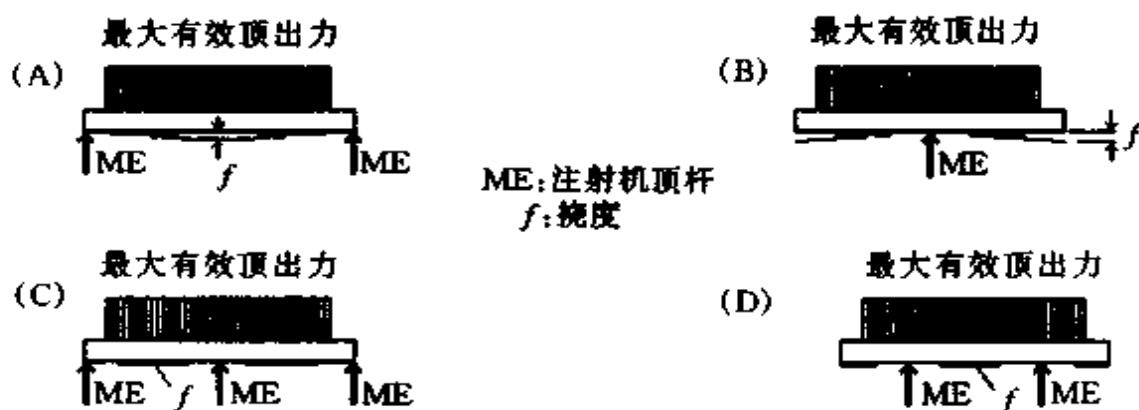


图 12-21 顶杆不同位置示例

- (A) 仅在两侧设顶杆，中心挠度很大；(B) 仅在中间设顶杆，挠度减小，但值仍较大；(C) 在两侧和中心处都设顶杆，挠度很小；(D) 两侧顶杆向中心移，挠度很小，比 C 还要小

的小。可以利用注塑机顶杆的位置来均匀分布顶杆载荷。

特别当注塑机顶杆间的空间很大时，顶杆托板应足够厚，以保证挠度最小。将顶杆托板作为梁设计，不会减少托板厚度。如有疑问，可计算挠度大小。建议最大挠度 $f=0.1\text{mm}$ 。记住，挠度 f 依赖于托板的几何形状和其弹性模量 E ，而不依赖于钢的强度。

注塑机顶杆最好为四个或更多，至少为三个。由于所有顶杆必须同时“撞击”，所以顶杆多于四个会使模具安装更困难。但是，在某些情况如四个顶杆安装空间很大，并且托板挠度超过要求时，顶杆安装也可以多于四个。对于小型模具，允许只使用一个中心顶杆。

12.5.4 顶杆固定板

使用该板的目的是将顶杆（或顶管）保持在顶杆托板上。在某些情况，将顶杆螺接到顶杆托板上，不需要顶杆固定板。这样做并不好，原因是不能保证模芯上孔与顶杆的对准。例如，有时顶杆间距离较大，可使用几个小型固定板代替一个大固定板。

为使顶杆或顶管与模芯的孔对准，顶杆和复位销的头部或顶管在固定板侧面应可以浮动（图 12-22）。固定板上的力很小，通常仅是销孔之间的摩擦力。固定板厚度 t 在头部不需大于 3mm 。轴向间隙很小，大约为 0.1mm 。径向间隙 HC 和 SC 至少为 0.5mm 。

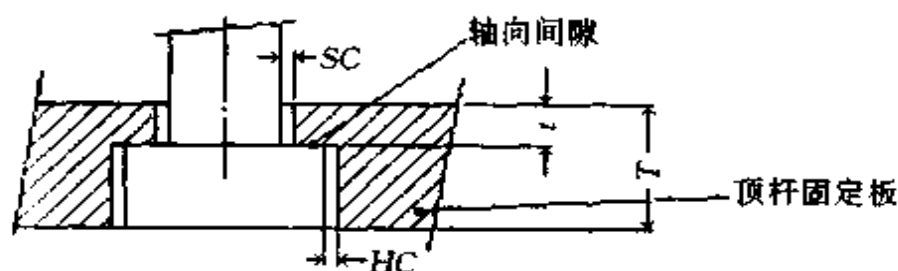


图 12-22 顶杆固定板的横截面显示杆及其头部的间隙
注：SC 为杆部间隙；HC 为头部间隙

12.5.5 防止顶杆偏移转动

对下列情况必须防止顶杆转动：

- 模腔内顶杆顶部形状和制品形状相配；
- 顶杆顶部表面雕刻，与制品有固定关系；
- 大型顶杆兼作复位销。

最好的方法是锁住顶杆头部。可用图 12-23 所示在固定板上开槽的方法。

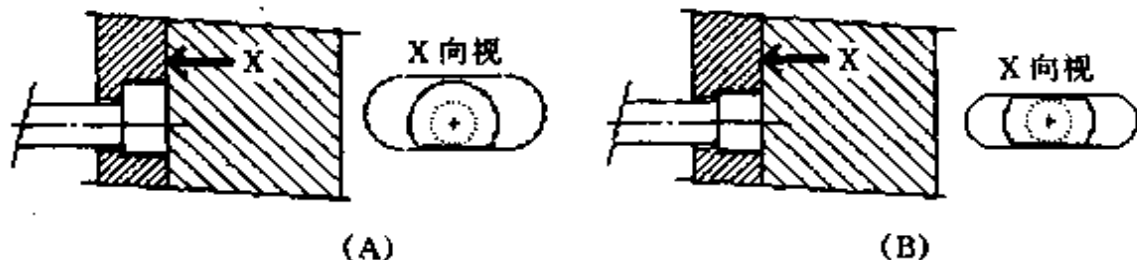


图 12-23 在固定板中开槽防止顶杆转动

图 12-23 (A) 顶杆头部位置没图 12-23 (B) 好。但是 (B) 图中的铣削刀具较小因此加工较慢。同时，可选择镶块锁定 (图 12-24)。不利的是需要增加模具零件；好处是使用大镶块可以加大沟槽，提高铣削速度。多个顶杆可一次锁定，只要他们在一条线上。

顶杆固定板的厚度并不增加托板的抗挠强度。在临界情况下，需要在顶杆托板上开孔，将顶杆和复位销头部置于托板内，而将固定板的厚度减至 4mm (满足螺接要求)。但同时增加托板厚度至 H ，从而增强托板的刚度。因为刚度以厚度的三次幂增长，右图托板比左图刚度大 (图 12-25)。但是，很少采用这种方法。

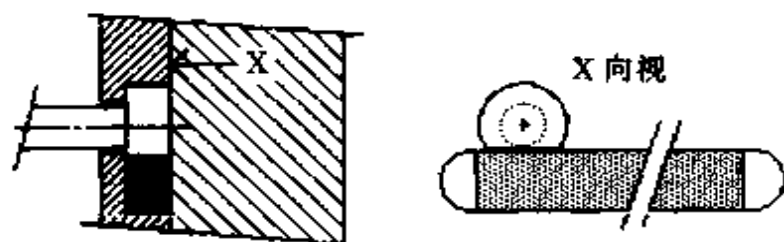


图 12-24 嵌件锁定防止顶杆偏转

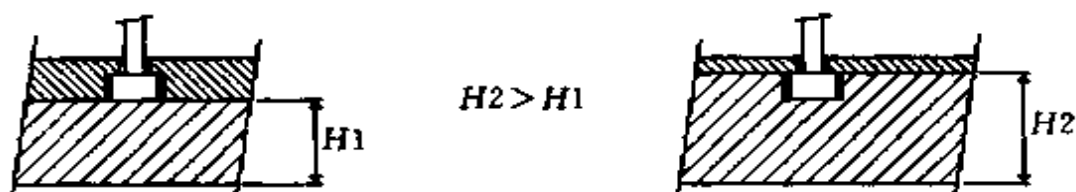


图 12-25 左图显示顶杆托板和顶杆固定板的原始厚度；
右图显示顶杆固定板厚度降低，顶杆托板厚度增加

例：顶杆托板厚度 $H=25\text{mm}$ ，头部厚 6mm ，刚度为 25^3 （三次幂），或 15625 。厚度增到 $H=31\text{mm}$ ，刚度为 31^3 或 29791 ，可见刚度几乎增到两倍。

设计者必须规定顶杆固定板的螺钉的数量和规格。由于受力很小，可使用小螺钉，例如 6.35mm ($1/4\text{in}$)，但为加工方便，最好用 7.95mm ($5/16\text{in}$) 螺钉。由于螺钉布置靠近顶杆和复位销，通常只用几个螺钉。

12.5.6 复位销

复位销的作用是保证在模具合模时所有顶杆都回到原始位置，避免顶杆和相对的模腔表面接触（可能破坏）。通常必须设复位销，即使通过注塑机或其他方法已将顶杆托板复位。

下面列出了复位销的几点设计建议：

- 通常设四个复位销，平均分布，防止顶杆托板翘起。圆形的模具，可使用按 120° 排列的三个复位销。
- 安排复位销的位置时，避免碰到排气道。
- 复位销的最小尺寸是 12mm ，建议采用的尺寸为 16 或 19mm ，复

位销越大，其撞击对对应板表面的损害越小。

●通常采用标准（批量生产的）复位销。

由于复位销周围没模塑面，为获得其在模板中的合理间隙，在板中的复位销孔要稍大于顶杆孔，防止复位销发生磨损或卡位。

一般地说，复位销的长度应小于推动顶杆托板回程所需的理论长度。这说明模板和其他部件留有加工余量是可能的。经验法则是复位销的长度比所需的理论长度小 $0.25\text{mm} \pm 0.005\text{mm}$ 。

复位销最重要的作用是保护模腔壁，防止被顶杆破坏。由于复位销稍“短”，复位后，顶杆将稍微伸出一些。这不会产生什么后果，因为作用在顶杆表面的注射压力会将它们适当就位。

通常，复位销在分型面处与模腔相遇。如果复位销超出分型面，将会与引出装置发生干涉，并影响制品从模具中自由落下，这就必须减短复位销，并在其相对位置另外设置一销杆，模具闭合时，使两销在分型面以下模芯板内接触（图 12-26）。

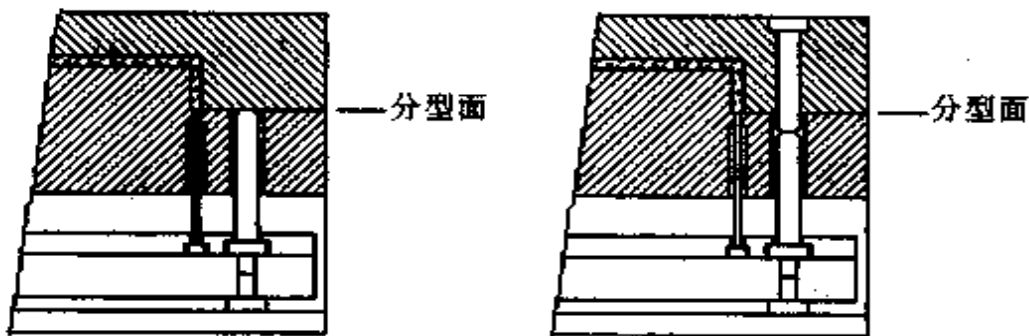


图 12-26 复位通常在分型面处与模腔接触（左图），但如果复位销与引出装置发生干涉或影响制品自由落下，必须在相对位置另设一销，使两销在分型面以下接触（右图）

可使用顶杆兼作复位销，有时，制品边缘形状复杂，无法设脱模板，可以采用大型顶杆。优点是大杆的一部分充当顶杆，表面积更大的剩余部分，充当复位销（图 12-27）。这时，销的长度应保证销在分型面处正好停止。

图 12-27 中，应注意的是，必须锁住顶杆防止转动。顶杆不断地和模腔碰撞，慢慢会产生压痕，如果允许销转动，将会引起溢料。组合

式模具中，可在模腔附近安装限位板（图 12-28）。

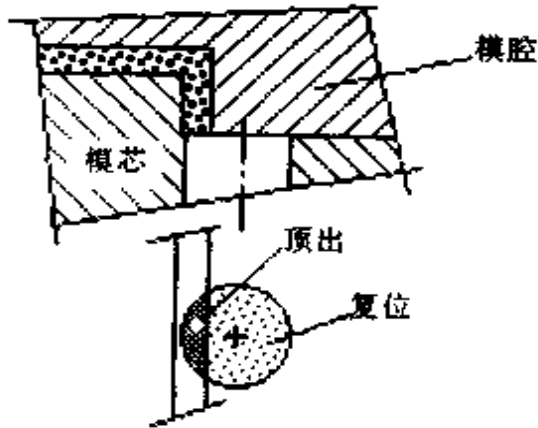


图 12-27 顶杆兼作复位销

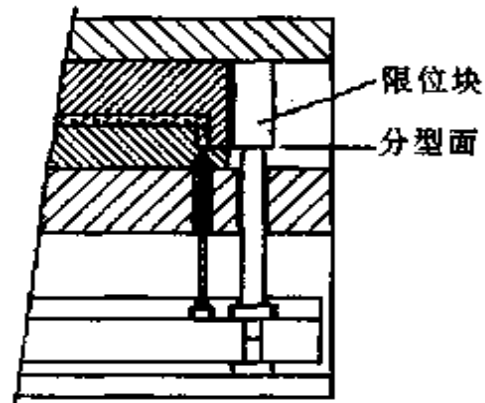


图 12-28 在模腔附近安装限位块

12.5.7 顶杆箱

顶杆箱是模具装配的一部分，它环绕在顶杆托板的周围，对顶杆托板起支承和导向作用。顶杆箱由模具托板，两个平行垫板，以及在平行垫板间距离较大时加在中间的支承柱组成（图 12-29）。

仍然有许多模具是采用这样的方法制造的，即经常使用标准的批量生产的模具装置，不需根据实际情况，只是采用某种标准尺寸的方形模板和圆形支承柱，通过大量的螺钉连接在一起。这常要求设计者选择设计方案，而对于高效模具来讲，这些方案并不是最好的。有时，顶杆托板必须将顶杆非规则设计。

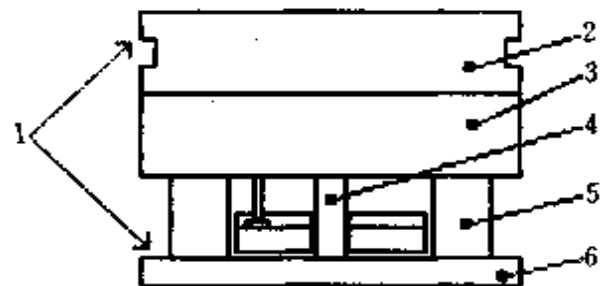


图 12-29 带传统顶杆箱模具的侧视图

1—模具安装突边（合模用）；2—模腔板；
3—模芯板；4—支承柱；5—平行柱

平行垫板；6—模具托板

对于这种情况，为使模芯板获得最大的支承，建议采用专用形状（图 12-30），而不采用矩形的标准尺寸的顶杆托板。

图 12-30 所示已定形的顶杆托板也可能带有独立的支撑柱和平行垫板，用螺钉将它们连接在一起。一些模具制造者发现，将所有的支撑柱和平行垫板做在模芯垫板内，加工费用较低，并且模具较结实。由于在模芯垫板内仅有几个安装螺钉，使得有更多的空间安排冷却和空气管道，这些是获得高效模具的设计方案应重点考虑的问题。

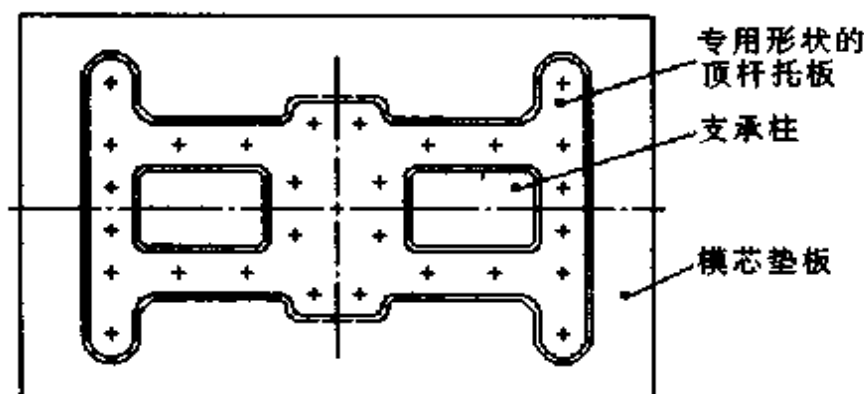


图 12-30 专用形状的顶杆托板上允许顶杆非规则布置

同样可以在模芯垫板上加工安装螺钉的塞孔和安装突块的槽口，这样就不要另设模具托板。另外的优点是降低了模具高度（闭合高度）和模具费用。

需重点注意的是关于顶杆托板和顶杆箱的机加工，对于铣削加工来说，铣刀的直径越大，铣削效率越高。考虑加工深度，槽穴越深，铣刀应越大。

建议，顶杆托板和槽穴的内角半径建立在所选铣刀的标准尺寸的基础上：直径为 3.81cm，5.08cm 和 6.35cm。加工半径越小（铣刀较小），当然会使加工速度越低，从而费用较高。

顶杆托板的外部角要倒圆或倒角，和模芯垫板槽相配合。顶杆托板四周的最小间隙值大约为 3mm。

12.5.8 顶杆托板导向

所有动板必须至少有两个，最好是四个均布的导向设置。在以前的模具设计中，支撑柱用来给顶杆托板导向。今天，通常单独使用导销。如可能，应尽量使用标准的导销（LP）和导套。间隙 C （图 12-31 中详图放大）应约为 0.1mm（或 0.004in）。

安装时，首先放入顶杆固定板，然后将顶杆通过固定板并插入模芯板。最后，顶杆托板沿着导销，推入到位，并用螺钉将顶杆固定板和顶杆托板上固定。在对角用两个定位销将顶杆固定板和顶杆托板校准定位是个很好的惯例。

如果顶出箱做成整体式，装配时常无法从侧面接近帮助校准顶杆

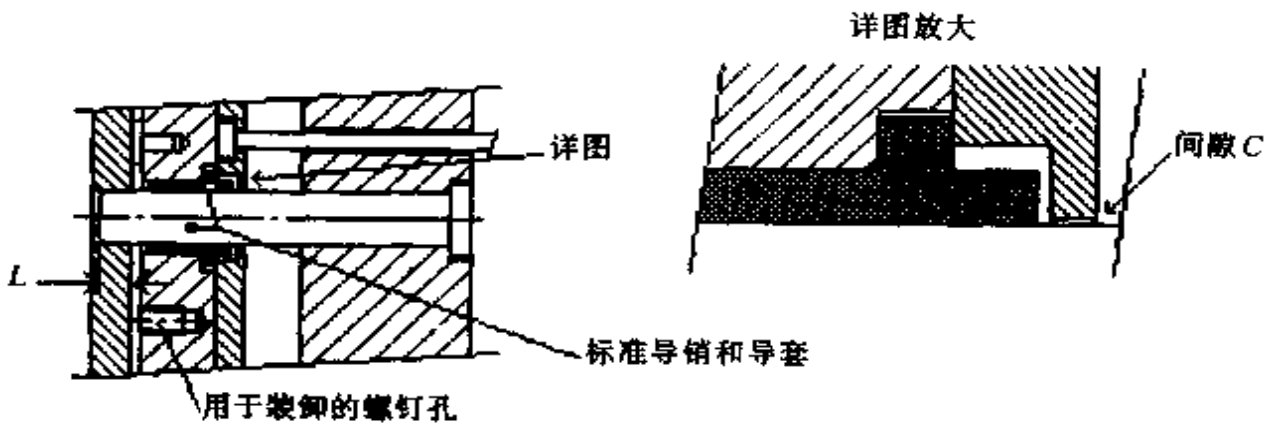


图 12-31 顶杆托板的典型导向方法

托板。由于这种原因，必须使导销足够长（见图 12-31 中的尺寸 L ）超出顶出箱的底面，使安装工能在错过顶杆托板固定位置前，使定位套进入导销定位。另外，由于顶杆托板在顶出箱内部，应在其底部至少开一个螺钉孔，以方便顶杆托板从顶出箱内取出。

不装模具托板的模具，顶杆托板必然是由模芯垫板通过脱模板螺杆支撑（图 12-32），并且导销呈悬臂状态，也由模芯垫板支撑。采用脱模板螺杆时，螺杆头下部必须有空隙。操作时，顶杆托板靠在限位销上。脱模板螺杆除了在装卸时防止顶杆托板掉下来外，不承受任何载荷。对小托板，通常两个脱模板螺杆足够，对较大托板，应增加脱模板螺杆数。

顶杆托板可用边缘悬挂（为安装），但必须在顶杆箱上开口，以便接近螺钉摘除吊环螺栓（图 12-33）。

12.5.9 顶杆托板的复位

理论上，使用复位销后，没必要再设额外装置使顶杆托板复位。模具闭合，复位销引导顶杆托板回到其“休息”位置，靠在限位销上。但是，这仅适用于合模速度很慢时。仅当顶出行程很短或模具闭合行程的最后阶段模具移动非常慢时，允许使用上述方法。

正常情况下，顶杆伸出很长，复位销在合模速度仍然很快时，就会碰到模具模腔一侧。这不仅会带来很大的噪声而且将破坏复位销及其接触表面，特别当顶出系统部件很大时。出于这种原因，必须在复

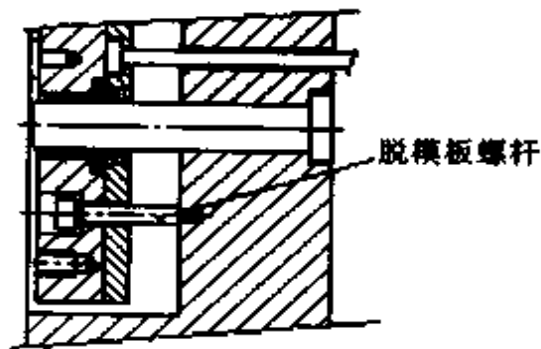


图 12-32 没有模具托板的情况下，
脱模板螺杆支撑顶杆托板定位

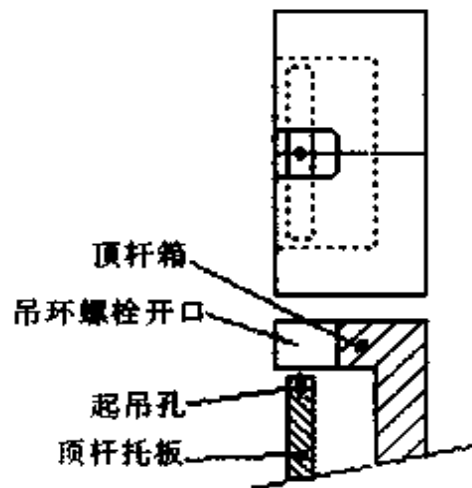


图 12-33 顶杆箱上的吊环螺栓开口

位销与相对模块接触前，采取独立的方法使顶杆托板复位。（有时使用术语“安全销”来代替“复位销”，意思是复位销是必需的安全装置，以防常规复位方法失效。）

可使用下列方法将顶杆托板复位：

- 将顶杆托板连接在注塑机上；
- 用联动装置连接到模具上；
- 使用复位弹簧；
- 顶杆托板上安装气缸。

12.5.9.1 顶杆托板与注塑机顶杆连接

该方法通常使用液压机械顶杆，称为“推-拉”装置。在安装时必须小心，要在模具完全闭合前，顶杆托板缩回，停在限位销上。缺点是需要在模具和机械之间增加连接，这将延长安装时间。该方法不适用于固定缓冲器顶出。

12.5.9.2 联动装置连接到模具上

顶杆托板的顶出和复位运动和模具行程有关。为避免联动装置遭到破坏，该方法要求往复行程精确。必须细心，保证模具开模行程不超出联动装置的设计范围，必须限制注塑机合模行程。如果联动装置仅用于顶杆托板向前运动，必须使用弹簧或压缩空气使板复位。

12.5.9.3 复位弹簧

包括内复位弹簧和外复位弹簧两种。使用内复位弹簧时，必须用脱模板螺杆，防止在拆卸模具时弹簧将顶杆托板弹出太远。

在模芯板和顶杆托板间布置弹簧很简单（图 12-34），但有不便利之处，特别对于顶出行程很长时。为获得有效复位，必须有足够的力将顶杆托板固定在限位销上，并考虑弹簧公差，弹簧必须预载（ L_1 ）大约到其最大长度的 10%。为延长使用寿命，弹簧压缩量必须小于最大长度的 25%（ L_2 ）。因此，有效行程必须小于最大长度的 15%。这意味着顶出行程为 30mm 时，标准中等压力模具弹簧应为 200mm 长。这种长度通常很难安装到有效空间内。

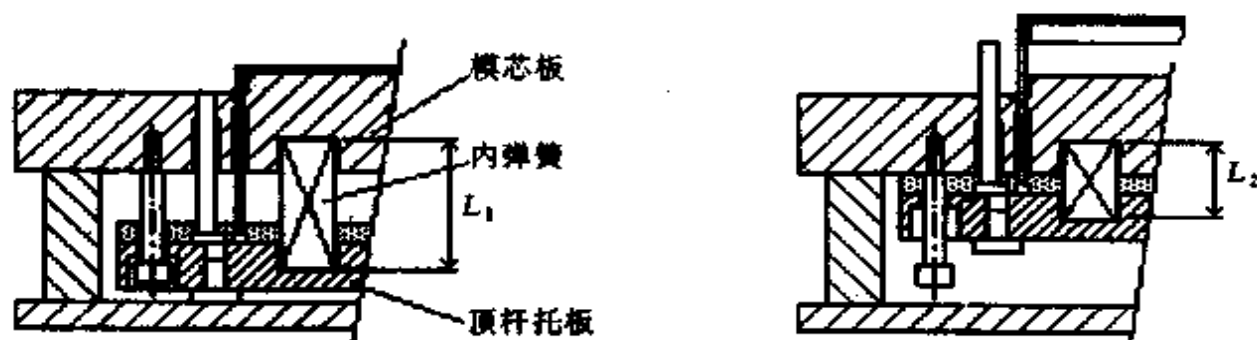


图 12-34 在顶杆托板和模芯板间安装内复位弹簧

注： L_1 为预载的弹簧长度； L_2 为压缩的弹簧长度

最好的规则是按照弹簧制造商提供的标准模具弹簧曲线图的指导原则去做。但不幸的是，模具设计者通常忽略这个简单的规则，结果在相对很短的操作后，弹簧应力过大而产生疲劳破坏。由于弹簧掩藏在模板之间，损坏不易发现，就只剩复位销使托板复位了。

注意：不加导杆的弹簧（未支承），其长度应小于直径。如果行程较大，弹簧必须加杆（内部）支撑。

如果顶出行程较长时，使用弹簧，应将它们安装在模具外面，这样有足够的空间并易于发现已损坏的弹簧。使用四个弹簧，位置在顶杆托板边角附近。

注意：图 12-35 是草图示意。实际结构随着模具布置不同而不同。

为防止弹簧失效时可能造成的损害，每个外部的弹簧都必须加护

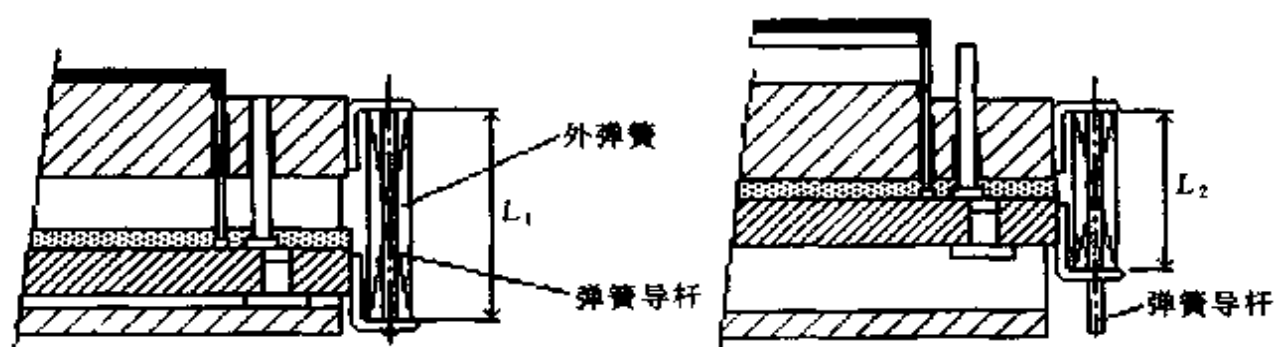


图 12-35 在顶杆托板边角附近安装外复位弹簧

罩，例如，加伸缩管。为防止损害应当在模具上贴警示标志：“用于顶杆托板复位的弹簧”。

对于小模具，只要动压板有大的合适的中心空隙，可以只使用一个中心弹簧。该系统的不利之处是，这种突出的弹簧在贮藏或将模具吊起放到注塑机中时易损坏。

注意：图 12-36 同样只是草图示意。实际结构随模具布置而变化。如果注塑机中心顶杆和中心复位弹簧一起使用，顶杆托板延长部分（和弹簧导杆）的强度应足够，以防止在注塑机顶杆的碰撞下发生弯曲。

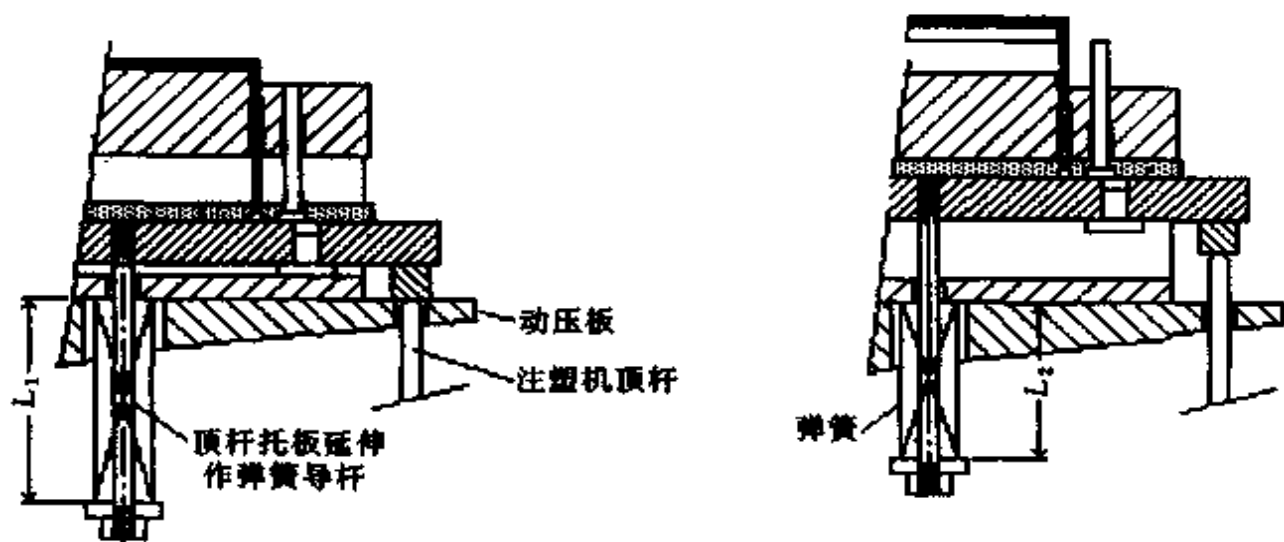


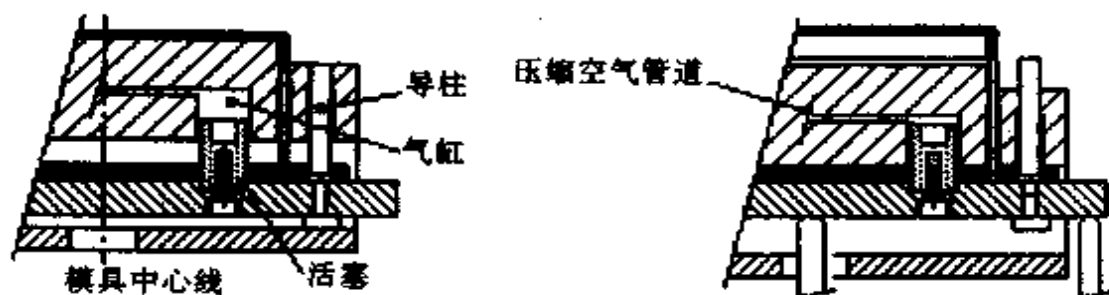
图 12-36 复位弹簧和注塑机中心顶杆一起使用，必须有强度足够的顶杆托板延伸作导向的杆

如果遵循最基本的指导原则，使用弹簧的优点是便宜和使用方便。一般地讲，弹簧适用于短行程。例如，如果要求行程为 9mm，弹簧长

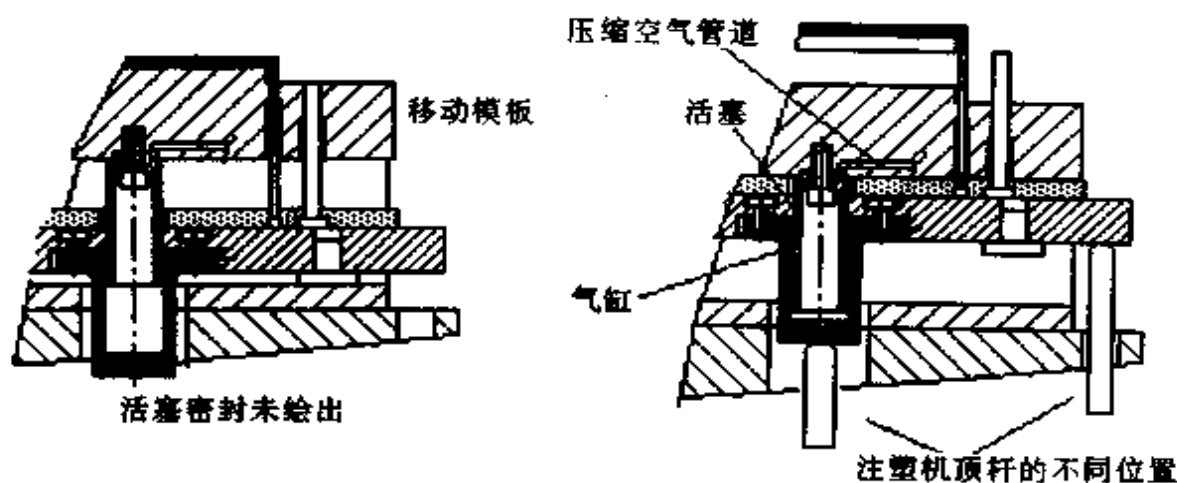
度应为 60mm，因为最大压缩量应为其长度的 25%，还应对弹簧施加 6mm 的预载。

12.5.9.4 气缸

气缸产生力的主要优点是在整个行程中力很稳定，不像弹簧，在拉伸时弱，而压缩状态时强。顶杆托板上附加气缸的两个典型例子的插图解释如下。



例 1: 在顶杆托板的四角附近安放四个气缸，使托板受力平衡。该例是使用气缸将顶杆托板复位的典型布置。在左图中，活塞使托板停在限位销上。右图中，注塑机顶杆推动托板前移。图示显示出中心顶杆和外侧顶杆两种情况。通常，只出现其中的一种情况。



例 2: 一个气缸布置在中心（仅用于小模具）。这种情况下，活塞安装在模芯板上，气缸和顶杆托板相连并随其一起运动。

在以上两例中，压缩空气可长期连接气缸（没有控制）。气缸相对注射机顶杆力要小得多，因此，不会明显降低有效顶出力。另一方面，应当在模具上加一块“警告”牌，告诫在模具上工作时应将空气压力释放掉。

12.6 脱模板

和顶杆相比，脱模板（板、圈、杆）更适用于顶出。顶出时推动制品的面积相对较大，顶出力均匀分布。另外，顶出痕迹通常不易发觉。

但是，脱模板仅（应该）适用于分型面处的形状易于机加工获得的制品。脱模板必须带斜度，必须施加预载以防止在脱模板和模芯之间产生溢料。今天，带斜度合模沿口的畸形的脱模板可采用现代技术，如线切割，CNC 铣削和磨削加工出来；但是，这些加工方法很昂贵。一般地讲，脱模板应具有简单的几何形状（圆形或直线形）易于采用普通的铣削和磨削加工。

图 12-37 示出同一非圆形制品的三种不同顶出方法。制造这些脱模板的复杂性和困难程度不同是很明显的。有关斜度预载的更多论述，见 22.8.2 节。

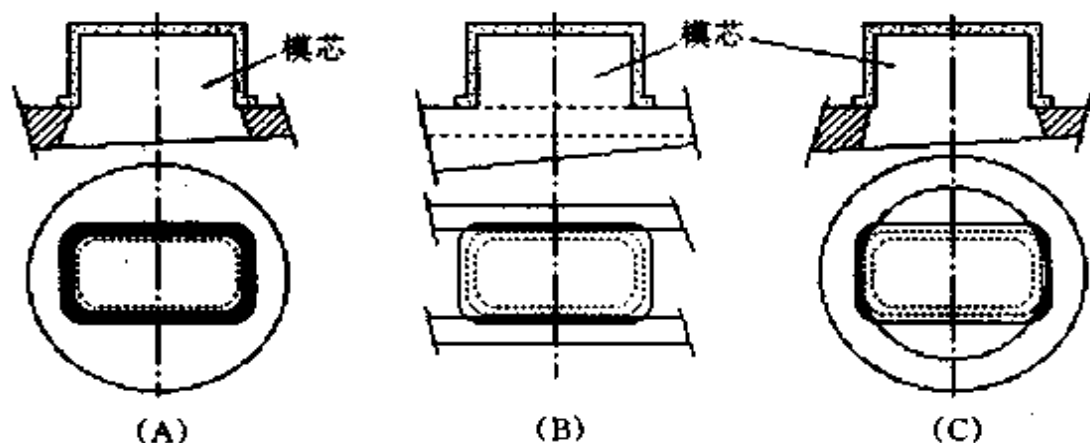


图 12-37 使用脱模板顶出塑料制品的三个例子

(A) 按制品形状加工的脱模板；(B) 脱模杆；(C) 圆形脱模圈，仅在角部脱模

有的情况下，制品的一部分由脱模板成型，但应多加小心，保证制品在顶出时不会挂在脱模板上。如果制品质量小，不能利用自重脱离脱模板，就是难题了（图 12-38）。

图 12-38 中，大型容器件易于从脱模板中脱落。小型制品则可能挂在板上，应当采用一些方法，比如气吹，甚至机械引出装置，来保证

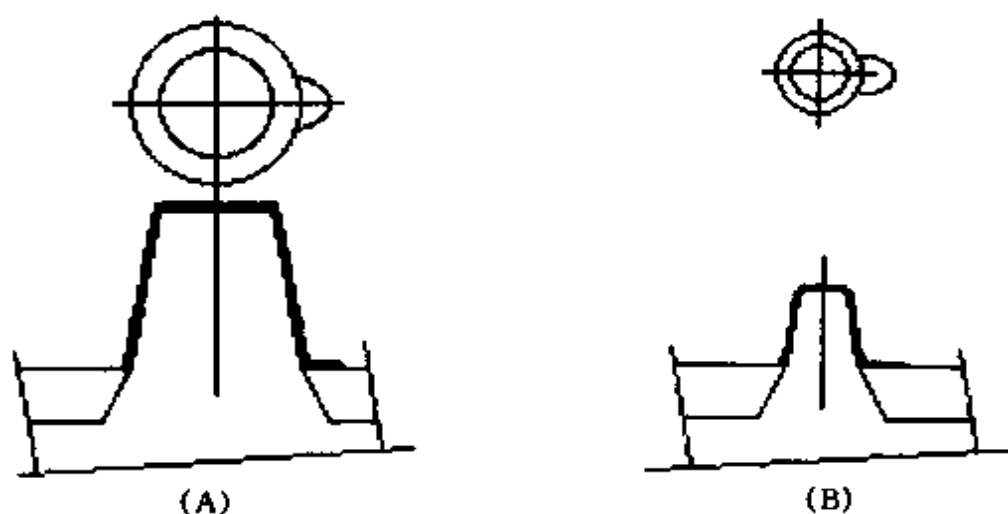


图 12-38 大型容器件 (A) 比小型容器件 (B) 体积大，不大可能挂在脱模板上

制品在每次循环中都能可靠地与脱模板分离。如果制品突出部（柄部等）不和脱模板在一个平面而是凹入其中，问题就更难以解决了。

12.6.1 脱模板的一般准则

模具中的脱模板设计有几点准则。如下所示：

- ①脱模板和模芯间必须畅通；
- ②脱模板必须定位在斜座上（建议采用斜合模沿口）；
- ③不主张使用圆柱形合模沿口。

脱模板沿模芯移动时，在脱模板和模芯间必须有最小间隙 0.25mm（维修时或其他特殊情况可小于此值）。这个间隙可防止在定位不良或脱模板导向不稳时，模芯或脱模板边缘可能造成的划伤或破坏。对于没有或侧面斜度很小的模芯，以上显得更为重要，如图 12-39 所示。

批量生产的通用顶管是脱模板必须采取斜面定位的唯一例外。允许这样是由于顶管很

便宜并易于更换。另外，它们表面粗糙度很好，不易磨损或破坏模芯

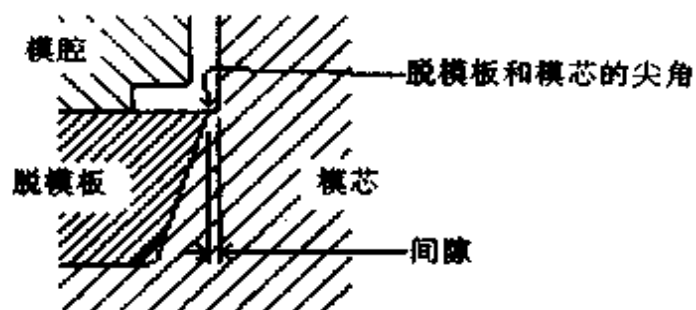


图 12-39 脱模板和模芯间必须畅通

上的孔。自制的用于组合模芯的顶管（如用于深腔制品的二级顶出等），必须采用斜面定位。

不使用圆柱形合模沿口的几点合理性解释。

①脱模板沿模芯滑移时圆柱形合模沿口将发生磨损（图 12-40）。磨损会产生溢料。配合前即使是新的良好滑动配合，间隙仍太大，不能阻止塑料进入（溢料）。由于脱模板和模芯间能相对移动，若一侧的间隙值为零，对应侧有两倍的径向间隙值，从而导致溢料。

②如果制品顶出行程长，圆柱形合模沿口要离开其在模芯上的位置，复位时，模芯上尖角易被破坏。

③脱模板一旦磨损，不能进行修复必须更换。

垂直合模沿口的唯一优点是便宜。如果模具只是用来生产样品，则可采用圆柱形合模沿口。

在性能良好的模具中，斜合模沿口的斜度有惯用标准。角 α 通常在 $5^\circ \sim 15^\circ$ 之间（图 12-41）。如果出现诸如脱模板厚度不足，不能采用标准角度，否则较大斜角端的钢板太薄时，可适当降低斜度，但必须标明。如图 12-42 所示，适于自制的顶管斜度的情况是：顶管厚度不够，不能在内部设大斜度（见箭头）。

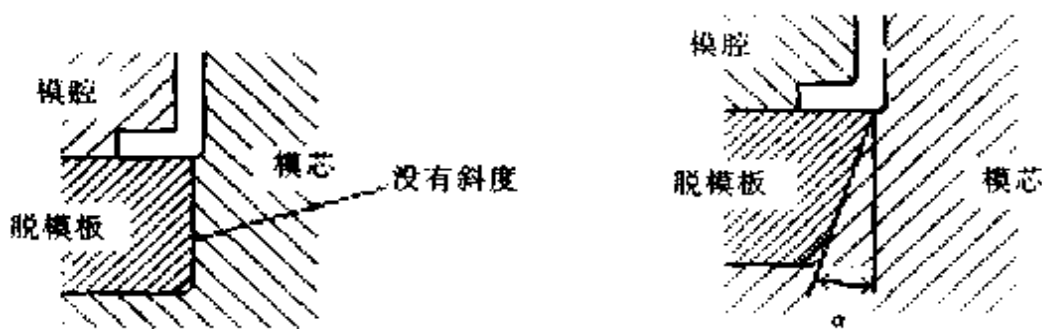


图 12-40 不主张采用圆柱形合模沿口

图 12-41 脱模板的斜合模沿口

脱模板基座上应施加预载，即使预载值很小。没有预载，脱模板将产生溢料。对预载的进一步论述及如何计算可见第 22.10 节和第十八章。

使用斜合模沿口的优点是，斜度能保证脱模板向模芯上的斜度移动时，脱模板和模芯的危险边不发生碰撞，防止边缘破坏。另外，如果脱模板的尖角损坏了，通过磨削斜表面或分型面重新获得尖角，也

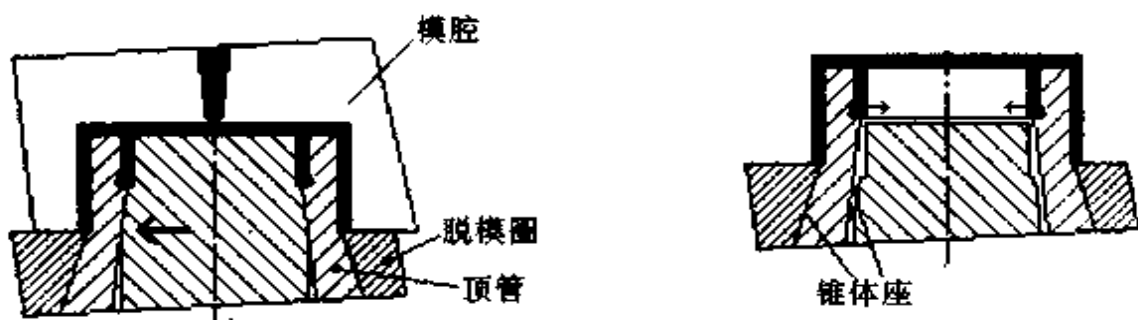


图 12-42 自制顶管（左图）按标准斜度不允许有间隙，
因此要专门加工成较小斜度（右图）

相对较容易。但是这可能需要对模芯重新加工，防止制品出现台阶（图 12-43）。

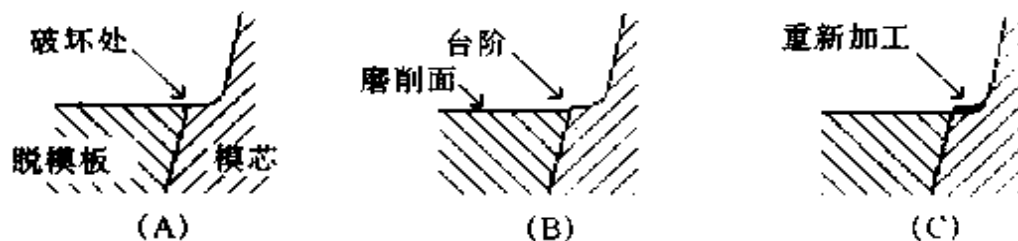


图 12-43 脱模板和模芯上的损坏可修补
(A) 被损的脱模板；(B) 重新磨削脱模板在脱模板和
模芯间产生台阶；(C) 重新加工模芯，消除台阶

如果斜面配合松了，通过磨削脱模板下部重新修复也相对容易。与上例中顶面磨削相似，会出现台阶，可重新加工模芯来消除。

需要注意的是，以上做法将改变制品长度。如果不允许改变，模芯应当按脱模板的减薄量缩短。若更换脱模板，就应当讨论更换脱模板与重新加工模芯，抛光模芯，和重给模芯镀铬相比是否便宜。（如果模芯重新镀铬，在加工前应剥掉镀层。）

有些时候，脱模板和模芯（尖角或斜度）被破坏，但还要求它们重新工作，这样就需要制造一个新脱模板。

12.6.2 脱模板导向

必须沿模具轴向对脱模板导向。这可保证在不碰到模芯的情况下，斜座能正确进入接合处。可通过不同方法进行导向。

方法之一是使用模具导柱进行导向。适用于整块脱模板或带脱模

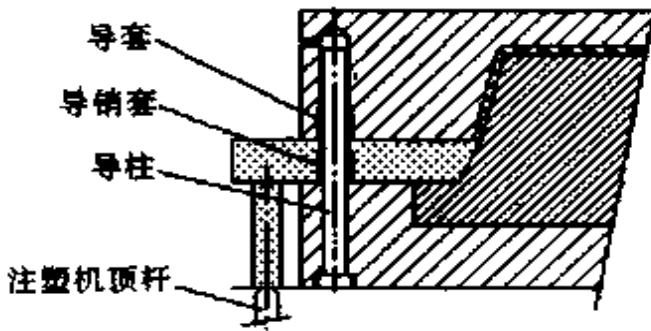


图 12-44 模具导柱用于
脱模板的导向

位问题，但可能引起制品壁厚不均。这种方法只适用于侧壁厚度允许误差很大的情况。

由于导销套的宽松量，脱模板“挂”在导销上，当模具闭合时脱模板顶部的定位斜面就会先碰击，不久将发生磨损。为减少这种情况的发生，在热流道或三板式模具中，用浮动脱模圈代替直接作用的脱模板。

另一种方法是对脱模板使用独立导销。这通常适用于三板式模具，或者由顶杆箱内的顶杆托板驱动的脱模板或脱模圈。导柱 LP_1 定位模具（图 12-45），并且对第三板（模腔板）和流道顶出起导向作用。导销和导套定位脱模板且保护模芯。这里的问题和脱模板由模具导柱导向时相似。需要使用浮动脱模圈；否则，斜面配合将干涉导套的定位。

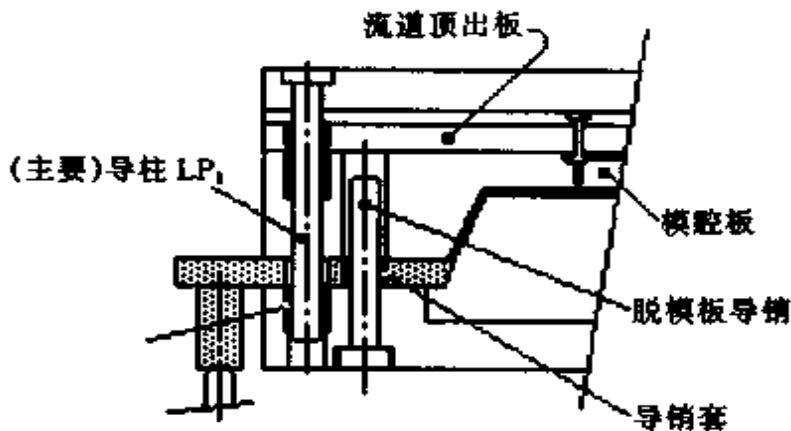


图 12-45 在三板式模具中使用独立导销用于脱模板导向

圈，脱模杆的结构（图 12-44）。

该方法的缺点是导柱的定位会和脱模板斜度的定位“打架”。为避免该现象，脱模板上的导销套应比标准的销宽松些，给脱模板复位时一个大致位置。

“宽松量”或导销套的附加的间隙必须小于导柱和模芯间的位置公差。浮动模芯可解决定

需注意的是，以上所列的脱模板导向例子，必须有一个行程限位螺杆，以防脱模板向外推出太远，脱离导柱（图 12-46）。偶尔在清洁脱模板后面的模具部件或装卸（起吊）打开的模具时会发生这种情况。顶出行程必须小于脱模限位螺杆长度，使脱模限位螺杆不承受顶出力。

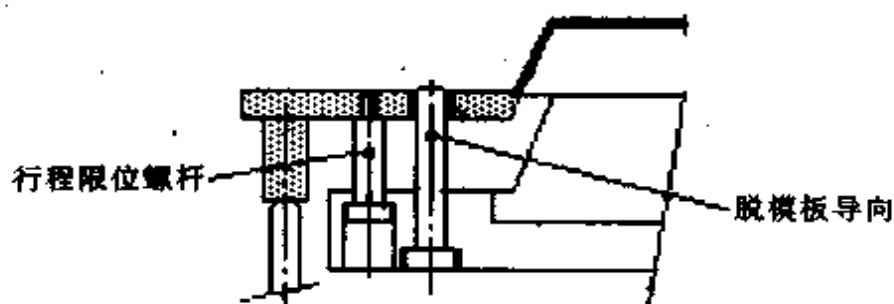


图 12-46 行程限位螺杆防止脱模板脱离导销

还有另外一种方法，可使用顶出箱对脱模板导向（图 12-47）。这种情况里，模具导柱 LP_1 和上例的作用相同。惯例是增设 LP_2 保护模芯；在模腔板内不用设导套。脱模板由模芯垫板中的导套导向。由顶出箱控制行程，不需额外设置限位螺杆。

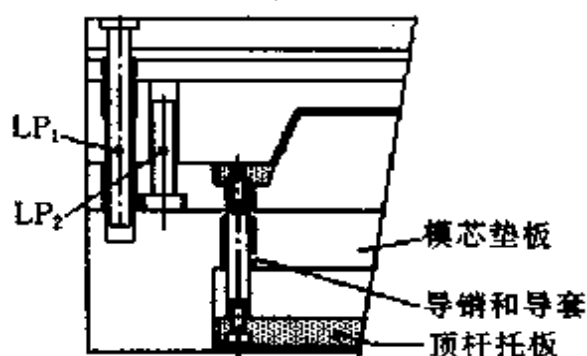


图 12-47 在三板式模具中脱模板由顶杆箱导向

在顶出箱内导向，不需要使用限位开关。导程很长，能严格防止脱模板离位；如果太短，也不会碰到（停止）什么地方。

导柱必须由淬硬钢制造，导套润滑困难，应当采用含油滚珠导套或塑料导套。除了使用浮动脱模圈外，滑动配合应当足够大，以使脱模板中的锥度不和导套的定位相干涉。

今天，只有在使用淬硬脱模板费用差别小，甚至比使用软板镶淬（镀）硬外圈的更低时，才使用不带脱模圈的脱模板（例如，在大型单型腔模具中）。

12.6.3 脱模圈

12.6.3.1 固定脱模圈

固定脱模圈是软模板中的淬硬嵌件。优点是脱模圈磨损量小于软

脱模板，而且损坏后易于更换。缺点是整个脱模板中的锥度定位可能和导柱或导销定位发生干涉。

除了大型、单型腔模具（如桶形模具等）或带有浮动模芯的组合以外，很少使用固定脱模圈。固定脱模圈通常用于二板式模具，其中流道必定穿过脱模板与脱模圈之间的缝隙。如果脱模圈是浮动的，其缝隙中将充满塑料。因此应避免使用浮动脱模圈。另外，流道将在缝隙处中断，并且妨碍模具实现自动化（第 10.5.2 节图 10-64）。

图 12-48 的设计中，脱模圈都靠在脱模板上。左图费用低，但斜面很短；右图斜面长是适宜的。



图 12-48 固定的脱模圈设计

螺钉不承受脱模力；只用来将脱模圈固定在其位置上。从底部用两、三个或更多的螺钉将脱模固定。在分型面上不应当有孔洞，否则塑料溢料（通常在启动时）会被挂住。

也有例外情况，有的模塑工喜欢从上面将脱模板移掉进行清理。但在操作时，螺钉容易松动，会给模腔和脱模板带来严重破坏。螺钉布置相隔不能超过 100mm。

12.6.3.2 浮动脱模圈

如果脱模圈能自由移动，浮动的脱模圈将在模芯的锥面上定位。需要重新定位的脱模圈质量远小于脱模板质量，重新定位的力相对于整个脱模板定位所需的力来说是小的。其缺点是，存在间隙，不适用于二板式模具。下面讨论浮动脱模圈的几个例子，图示如下。

用脱模板螺杆安装，其缝隙值和图 12-49 所示的螺钉间隙值相等，为 0.25mm。这种方法既简单又便宜，但不推荐在高产量的模具上使用，因为脱模板螺杆不能正确紧固，虽然在样机或低产量模具中可采

用 Lostte™ 产品可靠旋紧。

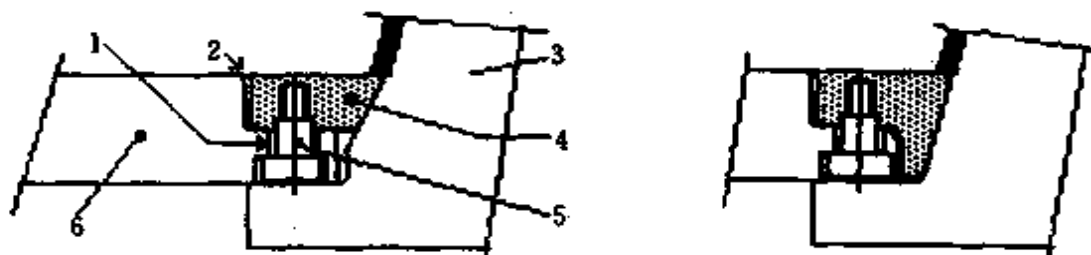


图 12-49 脱模板螺杆安装

1—间隙；2—缝痕；3—模芯；4—浮动脱模圈；5—脱模板螺杆；6—脱模板

脱模板螺杆圆柱部分的长度应保证脱模圈通过螺杆头部与脱模板之间的间隙值可以浮动，但不能轴向移动。为实现正确定位，脱模板螺杆应插进脱模圈至少 2mm，以达到正确定位，原因是脱模板螺杆的螺纹部分并不是经常和圆柱部分保持同心。

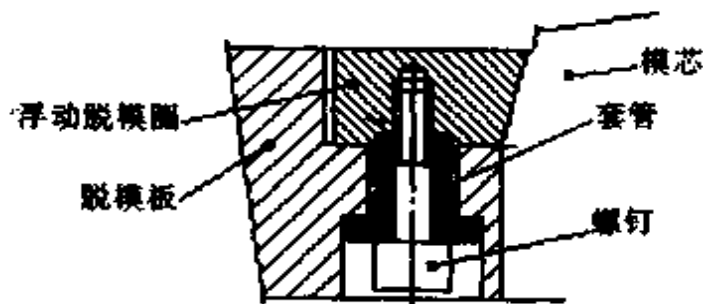


图 12-50 带套管和螺钉的浮动脱模圈

带“套管和螺钉”的结构（图 12-50）要比脱模板螺杆强得多，因为前者能实现螺钉正确上紧。如果安装空间有限，这种方法可能不适用。

另一种方法是使用弹簧圈和槽固定脱模圈，与轴承中轴的侧向固定类似。图 12-51 的弹簧圈是标准外用型。脱模板中的内径应足够大以便适应弹簧圈安装时胀大。

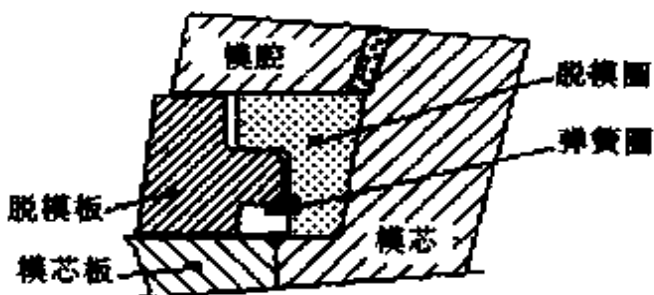


图 12-51 弹簧圈通过与外槽的配合来固定脱模圈

对于弹簧圈，应遵循制造商的设计说明书中的尺寸、间隙和制造公差。应注意图 12-52 中正确浮动的“重要尺寸”。如果需要的话，弹簧圈为达到精密公差要磨扁。

这种方法很好，特别对小于 150mm 的小尺寸范围来讲。大

尺寸的弹簧圈不易获得，且价格昂贵。

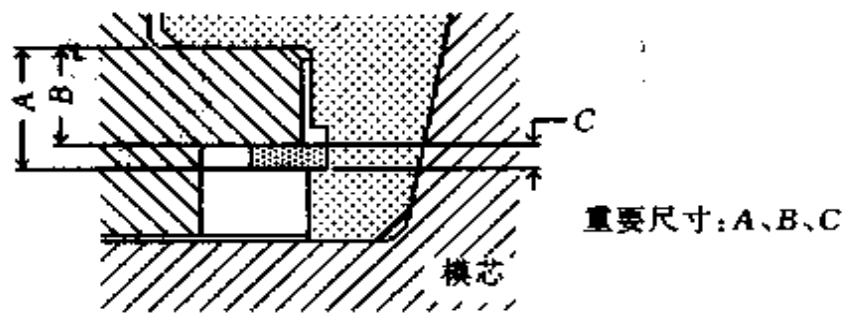


图 12-52 简图示出了弹簧圈的尺寸关系

需注意的是，脱模圈在克服了锥度预载之后，就位于模腔和模芯的平面及斜面。而脱模板在模腔和模芯之间产生间隙，不能支撑合模力。如果脱模圈的安装面积很小，不能安全支撑合模力，应当增设支承面。

上述方法的缺点是脱模圈受重力影响会自然向一边移动，每次移动后都要重定位。要解决这个问题，可施加弹簧力，作用方式像“刹车”，使脱模圈不易从对准的位置滑开。

图 12-53 所示为与浮动模芯安装相似的方法。产生的问题是空间不足。

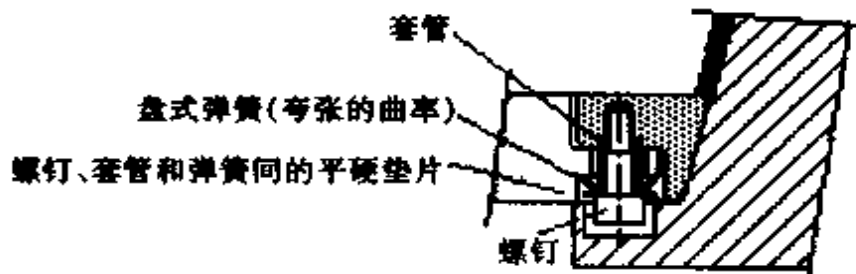


图 12-53 螺钉与弹簧间的盘式弹簧和垫片使浮动模芯的安装稍有不同

弹簧圈的一种变化形式是带凹陷的弹簧圈。由凹陷形状形成的弹簧力拉脱模圈就位，在脱模板上（图 12-54）。这较以前的设计要简单得多，但这种类型的弹簧圈，特别是大尺寸的，不易获得，且价格昂贵。

过去，只能生产模芯上的带锥座的环形脱模圈。利用现代技术，现在能生产形状更复杂的模芯座和脱模圈。

12.6.4 脱模杆

脱模杆可视为内半径为无限大的 ($R_i = \infty$) 的脱模圈, 适用脱模圈的所有原则, 包括导向, 行程限位和斜座都适合脱模杆。但是, 脱模圈可自然“套”在模芯上, 而脱模杆需要额外的力 F 使其就位。该力必须由模芯上托住和密封脱模杆的外侧斜面提供 (图 12-55)。导向装置必须不与斜面发生干涉, 但不能像脱模圈那样浮动。导向装置必须有足够的间隙。

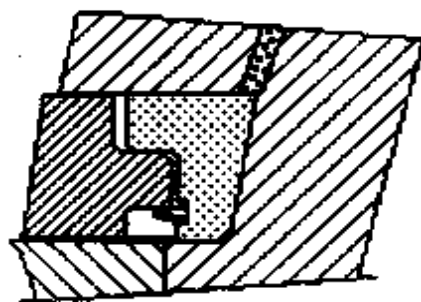


图 12-54 带凹陷的弹簧圈

图 12-55 的 A 处, 脱模杆托起两个制品, 两个相反斜面保证模芯上的正确定位。两模腔间的力相互平衡。在 B 处, “外侧”脱模杆只托起一个制品, 外斜面提供必须的平衡力 F 。在简图说明中, 斜面切入模芯模块中, 也可做成独立斜楔, 装在模芯板内。

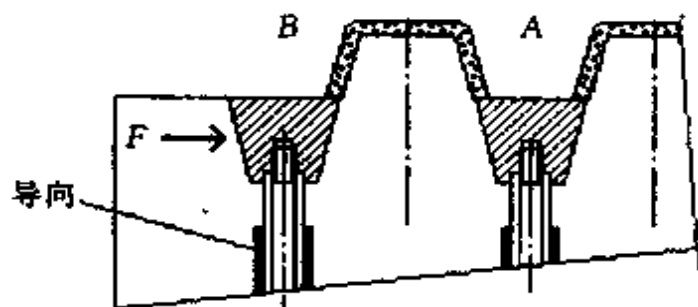


图 12-55 脱模杆

有时一些长制品必须用脱模杆脱模, 而不用顶杆顶出。制品能一个挨一个地布排, 模芯之间装脱模杆, 如图 12-55 所示, 或者只使用两个外侧脱模杆将一系列制品从它们的窄端顶出。这种方法同样可用于必须从模芯上脱下的制品, 但是该种用途的脱模圈形状很难加工且维修困难。

12.6.5 从注射侧脱模

通常由于制品美观 (外表) 的需要, 或考虑到制品的功能, 必须从制品的内部 (或下部) 开设浇口。有的帽状制品的外部必须触摸起来很光滑或者要装饰, 因此出于美观原因, 不能在外表面顶部出现浇口痕迹, 需要在内部设浇口并在同侧顶出。

在成型晚餐器皿 (盘或托盘) 时, 考虑到其作用, 不能在盘子上留下浇口或顶出痕迹, 必须从下部顶出; 如果制品为将其保持在注射侧而设有加强筋或倒陷的话, 应从筋底部或靠近倒陷处顶出。

无论是用顶杆或脱模圈，其原则和从模芯侧顶出相似。但是为容纳顶出系统，必须延长注射侧深度。即增加热流道或三板式模具的注入长度，或二板式模具的注道长度。从注射侧顶出制品额外增加了模具结构的复杂性，这将在一定程度上增加模具成本。

在规定这样的制品要求时，制品设计者（或顾客）有时并没有意识到，与从移动的半模侧顶出制品的传统方法相比，从注射侧顶出的复杂性和成本有所增加。经验丰富的预算者或模具设计者应当向顾客指出，并可以建议对制品进行改动（例，将浇口痕迹掩藏在装饰花纹处等）。这样就能制造更合惯例的模具，从移动的半模侧顶出制品。这样不仅降低模具成本，且降低生产成本（循环周期短，减少维修，延长模具寿命）。

将在压缩空气顶出一节的后面部分讨论在注射侧的空气顶出。

12.7 压缩空气顶出

压缩空气顶出适用于任何杯形制品。当压缩空气进入模芯和制品之间时，并不会像在平板形状中那样，立即散失到空气中，而是有足够的时间在制品下产生压力将制品推出模芯。

12.7.1 空气顶出带来的问题

斜度很小，倒陷很大的容器件紧紧地包在模芯上，可以使制品内部产生很大的压力（图 12-56）。如果制品强度不够的话将发生爆裂。

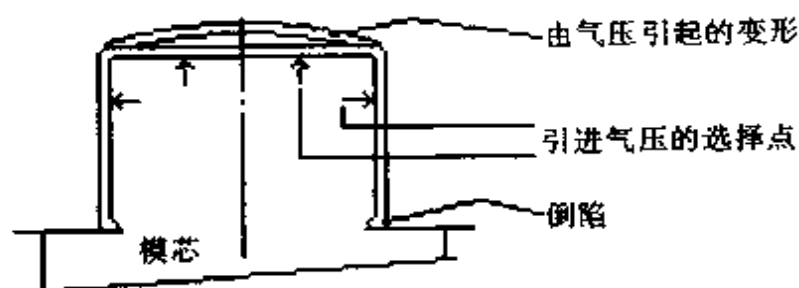


图 12-56 制品内部高气压

制品由于受力可能突然从倒陷处挣脱飞向模腔侧。这样制品就可能留在模腔内阻止机器进行下一个循环，或者当它撞到模腔时会遭到破坏（划伤）。降低空气压力可解决这一问题，但制品将不能从倒陷挣脱，从而不能顶出。这种情况下，应使用机械顶出装置使制品从模芯

上脱开，保证即使空气压力很低也能将制品可靠顶出。

带小斜度或不带斜度的容器件，没有倒陷，那么如图 12-56 所示，使用空气能很成功地顶出，许多模具都使用这种方法。

使用空气顶出时必须考虑伯努利 (Bernoulli) 效应。侧壁在一定的角度范围内，如果空气进入制品下部的地点不对，将发生这种效应。空气沿制品和模芯之间流出，在制品的开口端，在制品内侧将会形成低压状态，这将抵消压缩空气施加在制品上的力 (图 12-57)。

这种效应带来的后果是制品顶出一段距离后停止，然后飘浮在空气中，不从模芯上落下。吹气口可防止这种效应的发生，气压的改变和引发的空气流动也可有所帮助。从模芯和制品的缝隙方向通过小喷嘴 (小的，尺寸仔细调整的孔) 吹入空气 (如图 12-57 所示) 可获得良好顶出。注：喷射顺序的时间安排很重要。

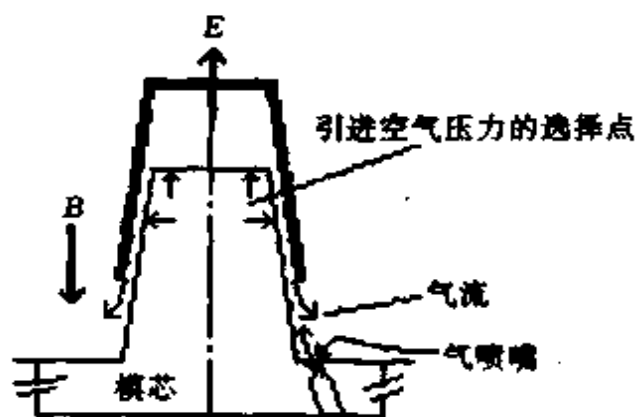


图 12-57 侧壁带角度的制品内的伯努利效应

在典型装置中，模芯中空气吹入的持续时间为 0.2s，喷嘴喷射处的持续时间约为 0.3s。这样短时间的喷射也足以获得良好的顶出。

注：E 为气压产生的顶出力；B 为伯努力；当 $B=E$ 时，塑件在气流中漂浮

如果在容器制品的底部开有孔，设计者必须遵守以下原理。只要进入模芯和制品间的空气总量大于从孔中漏出的空气量，这样仍能形成气压顶出制品。如果制品带有倒陷，则需更大的力，另外可能还需要机械辅助装置。

这里重述一遍，吹气口即空气进入点的位置很重要。如果空气正好在开孔进入，则形不成压力。如容器件底部带孔，则不存在伯努利效应。

12.7.2 压缩空气顶出的基本要求

空气供应必须非常充足。每副模腔中的空气逸出量必须均衡，这样在多模腔模具中，即使一部分或大多数制品已经顶出，在管道中仍

应该有足够的压力能够将其余的制品顶出。

为避免塑料溢入，必须保证吹气口和喷嘴的尺寸的均匀性，同时必须保证有足够的气体流过吹气口和喷嘴。

气体必须经过净化（过滤），无灰尘、油滴或水分。必须可靠控制气压，实现连续、无故障顶出。

应注意的是：一些医用或食品用制品顶出时，普通（未经消毒的）的车间压缩空气不能和制品的里外表面接触。在这种情况下，设计者应考虑选择不用气体或气体辅助的顶出方式。

无机械辅助装置的气体顶出的优点：

- 模芯半模构造简单；
- 移动的质量小（节约能源）；
- 闭合高度降低；
- 模具质量减轻；
- 无碰撞噪音和顶出装置的磨损；
- 无材料磨损，该情况常在脱模圈的锥座中出现；
- 维修时间，特别在分型面处的维修时间减少。

空气顶出的缺点：

- 需要大量的压缩空气，费用高。另外，现有设备的压缩空气供应能力可能不够；
- 为开设排气口，特别对多模腔模具，要求在模芯和（或）模芯板上开设复杂精细的管道（这样再加上冷却管道，更增加了模具布置的复杂性）；
- 需要增加控制装置如管道、软管和阀门等。

但是，空气顶出的优点通常大大多于缺点，因此有越来越多的模具使用空气顶出，且不带机械辅助装置。

12.7.3 阀杆顶出

这是空气顶出中最古老的方法。今天很少单独使用该方法，而是通常和空气吹气口或机械顶出装置联合使用。

在注射时，阀杆在模芯的顶部用锥座固定，防止塑料进入气动系统。模具开启后，阀杆向前移动 SE 距离（图 12-58）。

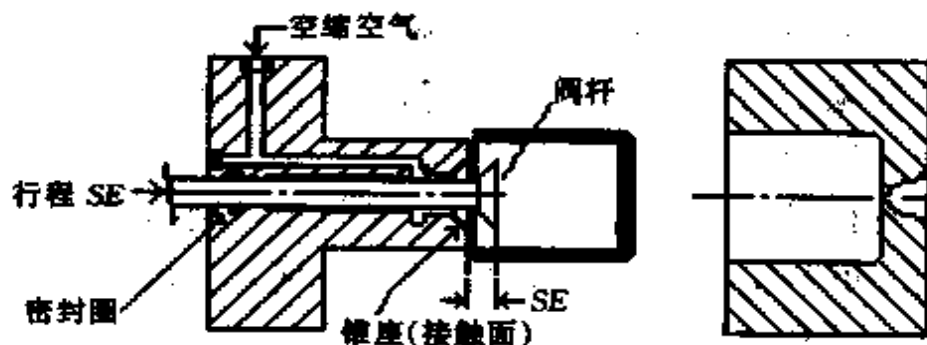


图 12-58 阀杆顶出

推动阀杆向前是靠阀杆底部的气体压力和（或）从冷却系统获得的压力（见下）。在这两种情况中，行程 SE 很小，大约是 0.25mm 。

阀杆还可由模具的顶出装置（机械和空气顶出混合装置）驱动。有的设计在阀柄的基部使用了一个双动气缸作用在上面，基部面积大于阀杆本身，可获得更多的力。这样就不再需要一个单独的机械驱动器。阀杆周围的空气密封圈可防止空气的逸出。这种设计的主要缺点是阀杆不能被冷却，但阀杆又急需冷却（例，在浇口对面），这样将延长成型时间。图 12-59 示出了一种更好的简单方法。

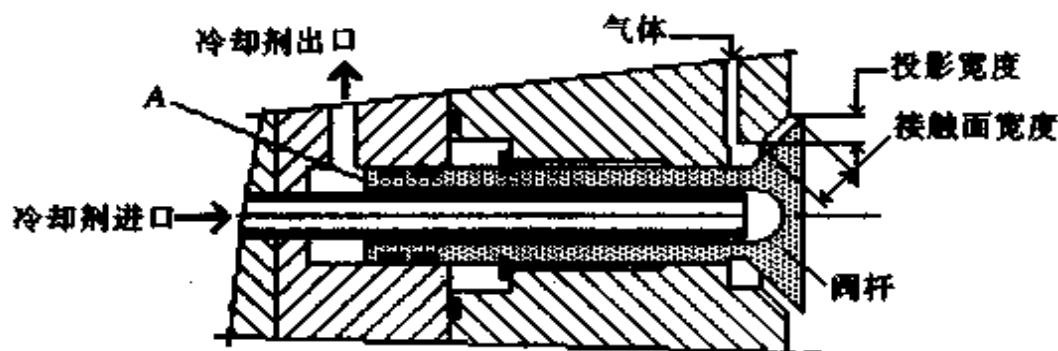


图 12-59 带冷却系统的阀杆顶出

图 12-59 中阀杆冷却效果良好。冷却水的压力作用在 A 面上，即使在没有气压的情况下也能使阀杆开启。注射开始时，塑料将使阀杆关闭。这种设计的主要优点是结构紧凑。在很小的空间内将气道和冷却系统较好地分隔开来。阀杆用弹簧圈定位。

12.7.3.1 阀杆设计原则

由于阀杆应布置在浇口对侧，因此涌入的塑料将使阀杆关闭，并阻止塑料进入气道。

如果阀杆不设在浇口对侧，可用弹簧关闭阀杆，保证塑料不进入阀杆下部。必须正确设计弹簧，使弹簧具有足够的力保持阀杆的关闭状态，并有足够的长度保证其不产生疲劳破坏。

如果阀杆位于浇口对面，行程 SE 必须小于制品在该点厚度的一半。必须有足够的空间容纳浇口内的冷料并使其自由顶出到浇口和阀杆顶部之间。通常选择 $SE=0.25\text{mm}$ ，除非有确定的回程动作。

市售的通用阀杆——阀杆和弹簧组装成一个单元（图 12-60）——可以压入模芯的适当位置。要移动，必须钻孔。

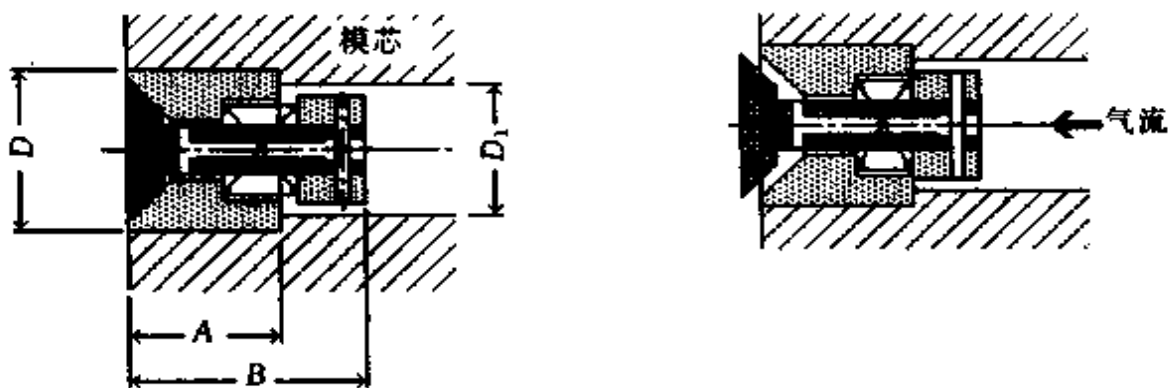


图 12-60 典型市售的阀杆

注：典型尺寸 $D=1.270\text{cm}$ ； $D_1=0.953\text{cm}$ ； $A=1.270\text{cm}$ ； $B=2.362\text{cm}$

阀杆座（接触面）的尺寸和其他承受注射或合模压力的定位座相似。载荷应当是定位座两接触材料中较软材料屈服强度的 5%。计算时，采用投影面积，而不是实际宽度（见图 12-59 中的“接触面宽度”）。

设计者必须保证塑料不进入气道。否则将显著减少连续生产时间且增加模具维修费用。

关于阀杆正向回程，如果所需阀杆行程 SE 较大，阀杆必须在与模腔接触前回程。保证阀杆和模腔表面不受破坏。通过将阀杆和模具顶出系统相连，或者使用独立的双作用气动（或液压）驱动器直接作用在阀杆上，可以机械地控制阀杆前进或回程的行程。

12.7.3.2 双作用驱动器的阀杆

双作用驱动器的阀杆由双作用活塞驱动，活塞由弹簧圈固定。空气流动顺序如下（见图 12-61 中的箭头）：

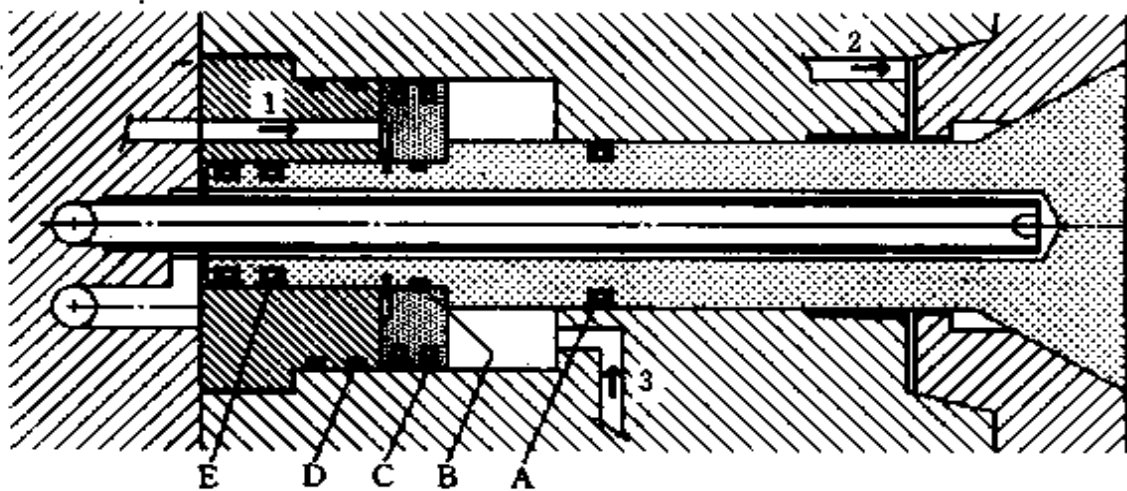


图 12-61 双作用阀杆驱动

1—活塞前进；2—喷射空气；3—活塞复位；A—双层 Delta I 密封圈；B—O 型密封圈；C—Glyd 密封圈；D—O 型密封圈；E—双层 Delta I 密封圈

- ①活塞前进；
- ②喷射空气；
- ③活塞复位。

可能实现 1 和 2 同时动作。

这种设计必须正确选择密封元件。以作者的经验，轴向运动密封时，T 型密封装置要好于 O 型密封圈，但 Teflon™（聚四氟乙烯）型密封装置，如 Glyd™ 密封圈和双层 Delta I™ 密封圈，效果也很好。推荐图 12-61 的密封设计如下：

- A——双层 Delta I 密封圈；
- B——O 型密封圈；
- C——Glyd 密封圈●；
- D——O 型密封圈；
- E——双层 Delta I 密封圈●。

12.7.4 吹气喷嘴

从吹气喷嘴（孔）来的气流的强度或力随着离孔的距离而明显降

● 可能是一种石墨-甘油润滑脂的密封圈（译者注）。
● 可能是一种用铜锌合金制的密封圈（译者注）。

低。喷嘴应离成型表面足够远，这样塑料就不会由于疏忽进入并堵住喷嘴，甚至更糟糕的情况——进入气道（图 12-62）。只能在模腔离开以后和（或）在脱模板前移一定距离后才暴露喷嘴。

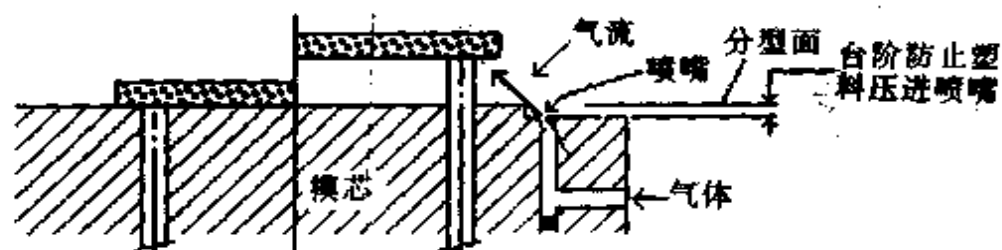


图 12-62 吹气喷嘴防止塑料进入喷射口中

喷射气流（从制品底部直接喷）用来从顶杆或脱模板上分离制品，制品可能粘附在上面（图 12-63）。如果脱模板由顶出箱驱动，通常要

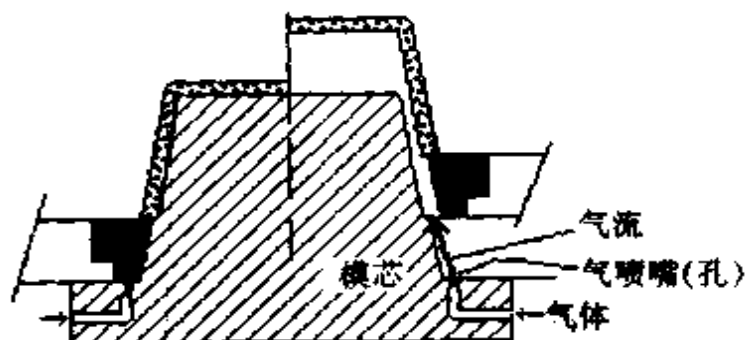


图 12-63 直接在制品底部设吹气喷嘴可防止制品粘附在脱模板上

求保持很小的模具闭合高度，而喷射气流设置允许脱模板的顶出行程小于正常值。脱模板只移动很短的距离，最终的顶出通过从制品底部喷射气流获得。缺点是，由于脱模板推进，喷射口喷射距离增大。

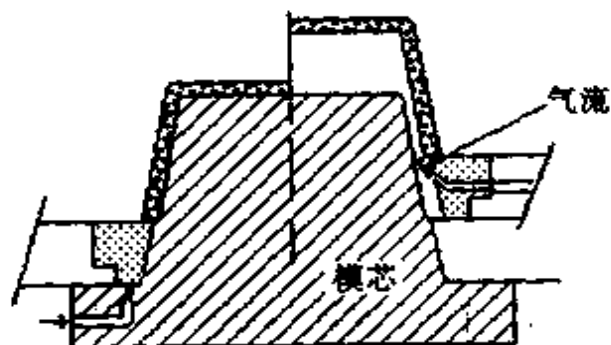


图 12-64 吹气喷嘴设在脱模圈斜座内

在下例中（图 12-64），喷嘴设在脱模圈斜座内部，喷嘴离分型面的距离不会变化。只有在脱模装置带有脱模板，且脱模板中可开设必需的空气管道和密封装置时（未绘出），这种方法才是可行的。

通过给制品下部施压可获得相似的效果。这时脱模圈下面的空间应密封，保证获得气体压力（图 12-65）。

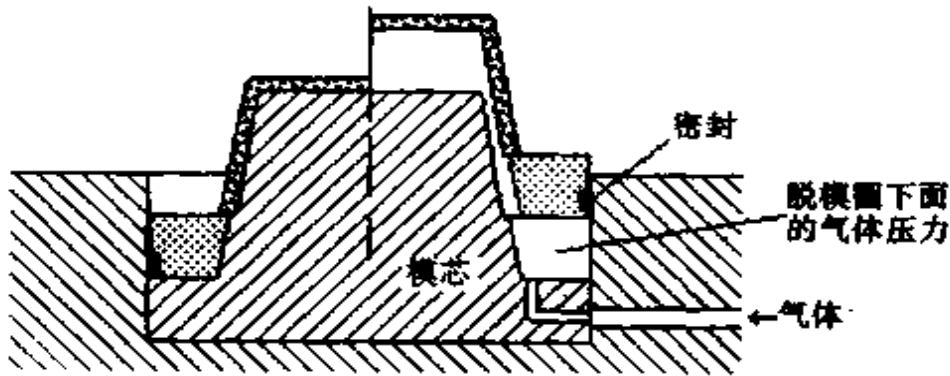


图 12-65 脱模圈密封后，在其下面形成气体压力

12.7.4.1 吹落

吹落是指顶出装置（脱模板或顶杆）向前推出后，如果制品仍粘附在顶出装置上，让气流或空气射流从外部吹向制品，使制品移去。以前，通常在试模结束之后安装吹落装置。但是，吹落装置常常需要预先准备，并做为模具设计的一部分。

这里有两种常用的吹落方法：单个开式喷嘴和吹落帘。单个喷嘴直接吹向制品顶端（有时可调节），获得最大的力量将制品吹离脱模板。以前设计中使用的开式喷嘴，通常用挤压软铜管端部制成。这种方法很简单，但有明显的缺点：

- 如果压力高于 207kPa，安全规则不允许压缩空气自由逸出；
- 压缩空气逸出的噪声很大，通常超过法定要求；
- 气体通过喷嘴很难控制；
- 操作费用高。

例：在 552kPa 压力下通过 0.635cm 的铜管的气体逸出量是 934dm³/min。如果每 2.832×10⁴dm³ 的大致花费是 0.25 美元，一个这样不断打开的喷嘴的费用：

$$(934\text{dm}^3/\text{min} \times 60\text{m}/\text{h} \times 24\text{h}/\text{d} \times 5\text{d}/\text{周} \times 50\text{周}/\text{a} \times 0.25\text{美元}) / 2.831 \times 10^4\text{dm}^3 = 2970\text{美元}/\text{a}$$

喷嘴通常小于 6.35mm，但这尺寸仍然很大，浪费了许多能量和

资金。

较好的喷嘴是 Exair™ (伊塞尔) 喷嘴, 将在图 12-66 中讨论。(此处给出的资料是有关 Exair 的简要数据。) 这些喷嘴利用“Coanda (柯恩达)”效应 (高速流体附壁效应)。

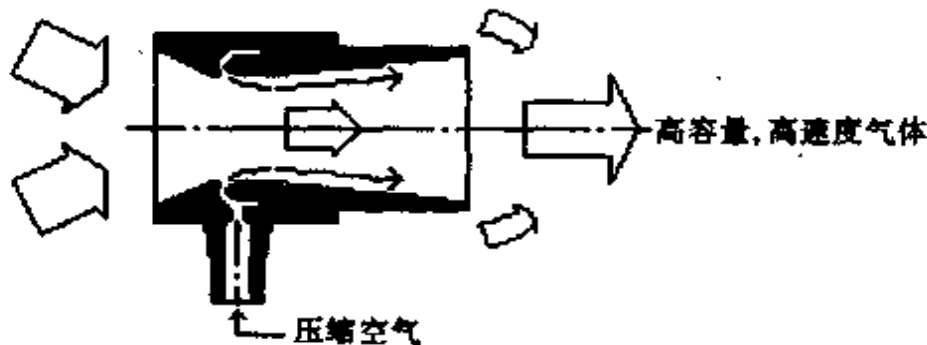


图 12-66 Exair™喷嘴的横截面

压缩空气由细环形喷嘴喷射。环形气流沿着喷嘴的外壁流出, 周围的气体卷吸进入喷射气流中。在消耗最小的情况下, 这一卷吸的气流与从中心孔射出的气体混合, 可形成高容量高速率的气流。

伊塞尔 (Exair) 声称这种喷嘴使用的压缩空气量只有同等开式喷嘴的 20%。另外, 噪声水平低于 90dBA, 且出口处的空气压力低于容许的 207kPa。要获得更多有关 Exair 喷嘴的数据, 可参照制造商数据表 (Exair 公司, 1250 Century Circle North, Cincinnati, OH45246)。

吹落帘是气流喷嘴的第二种方法。和使用单个喷嘴不同的是吹落帘不断地向模具表面吹气。当模具开启时, 制品接触到吹来的空气流并被吹落。

即使制品易于顶出, 有时也使用气帘, 来避免制品与模腔侧碰撞。气帘也有助于制品落入滑槽。有两种使用方法。

①高容量, 低压气帘。低功率的鼓风机安装在模具上并向模具吹出稳定气流。(鼓风机比压缩喷气流经济, 但在一些情况中效率不高。) 这种方法的优点是噪音低; 另外, 能量消耗可忽略不计。由于鼓风机可一直运转, 不需要定时装置。

缺点是气压 (气体速度) 低且可能不能将某些制品完全顶出。另外, 鼓风机体积很大, 难以安装。今天, 已很少使用这种方法。

②Exair Knife™ (伊塞尔刀)。其原理和伊塞尔喷嘴相似。所用的是一个有连续窄缝的通气盒,窄缝宽度大约为0.5mm,通气盒的标准长度15.2~76.2cm。从窄缝排出的气体卷吸周围气体,形成高容量、高速率的、噪音相对低的气帘。详细情况见Exair公司提供的数据。

对吹落方法一般关注的是制品被比其自重大的力吹出,比其单独的自由落下更可能受损伤(擦伤)。采用空气顶出时,不允许向食品或医用制品直接吹气,原因是存在受到车间脏空气污染的危险。在设计模具顶出系统前必须考虑到这一点。可能需要增加滤网等设施,或者必须使用其他不需要压缩空气的可靠的顶出方式。

12.7.5 吹气缝

开式缝在注射期间呈开启状态,即使开式缝设在模腔并承受注射压力。如果开式缝太大,塑料可能会进入缝中或气道内。闭式缝在注射期间呈闭合状态,模具开模后呈开启状态。这样就没有注射期间塑料溢入的危险,且闭式缝可比开式缝张开得更大,允许更多的气体通过。闭式缝的缺点是需设移动部件,会受到磨损。

12.7.5.1 开式吹气缝

有三种基本类型的开式吹气缝:

- ①圆柱形;
- ②模芯顶部附近边缘;
- ③模芯基部附近边缘。

图12-67所示为圆柱形的开式吹气缝。优点是设计简单,模具刚性好。主要的缺点是吹气缝的周长相对较小,且位于浇口附近,塑料在此处最热且粘度最低。塑料更有可能进入吹气缝。窄缝和小周长降低吹气缝的总横截面积和气体通过量。不推荐单独使用圆柱形的开式吹气缝,但可和脱模板一块使用,用来破坏制品内的真空,辅助顶出。

图12-68所示为模芯顶部附近的边缘吹气缝。优点是边缘吹气缝的周长较长,且该处的塑料已经稍微冷却。塑料溢入缝中的可能性降低,可以将缝增大。这有助于增加气体通过量。缺点是模芯顶端边角处的冷却效果不好。建议模芯顶端使用铍铜合金。

图12-69所示为第三种方法,模芯基部的边缘吹气缝。这种方法的

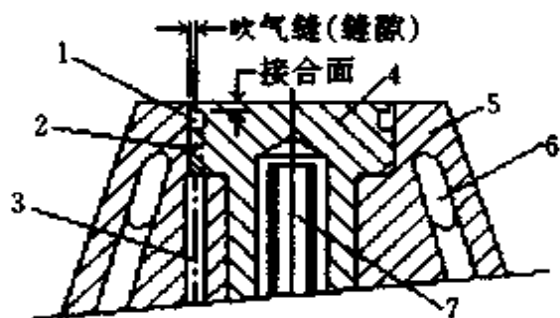
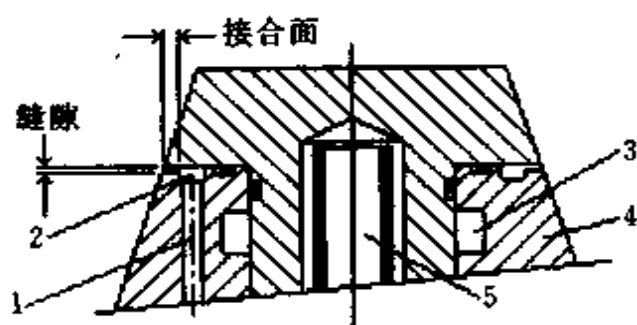


图 12-67 圆柱形吹气缝

1—气槽；2—气道；3—气管；4—模芯
 镶件；5—模芯；6—冷却管道；7—
 气泡器（冷却对面的浇口）

图 12-68 模芯顶部附近的
边缘吹气缝

1—气槽；2—气管；3—冷却管道；
 4—模芯；5—气泡器（冷却用）

优点是吹气缝条件比在模芯顶部的好；模芯顶部能较好地冷却。缺点是吹气缝应设在模芯高度的三分之一上部。如果吹气缝太靠近制品的开口端，气体逸出太快，使制品难以顶出。

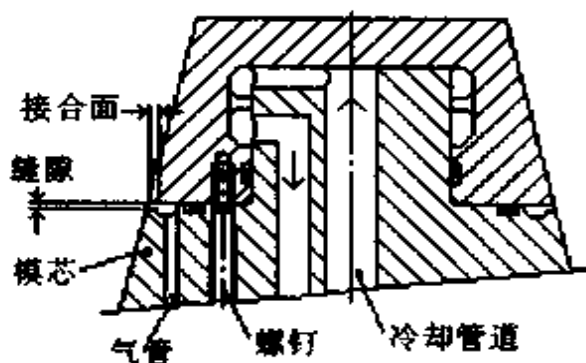
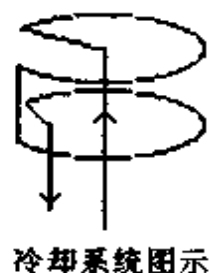


图 12-69 模芯基部附近的边缘吹气缝



冷却系统图示

以下所示为吹气缝的建议尺寸：

| | |
|--------------|----------------|
| 缝（圆柱形） | 0.01mm； |
| 缝（边缘，模芯顶端附近） | 0.015~0.020mm； |
| 缝（边缘，模芯基部附近） | 0.025mm； |
| 接合面 | 1.0mm； |

缝接合面后的气槽的形状和排气槽相似。

除此之外，还有许多种方法，但原理通常一样。缝的大小（开式缝）也取决于塑料的类型和成型条件（温度和压力）。在操作温度和压力很高而塑料的粘度又很低的情况下吹气缝必须小于高粘度的塑料和

(或) 操作温度及压力较低时的缝。由于以上因素通常不易控制, 因此常采用闭式吹气缝, 即使闭式吹气缝稍微复杂些 (且较贵) 并且更易磨损。

12.7.5.2 闭式吹气缝

图 12-70 所示为典型的带闭式吹气缝模芯的简图。模具开启后, 由于气流作用在罩内侧的“大槽”很大的表面上, 而打开吹气缝。气体压力产生足够的力将罩升到其短行程的终点。行程通常为 0.125mm。模芯圈一经升起, 吹气缝就打开, 气体可自由进入模芯和制品之间。

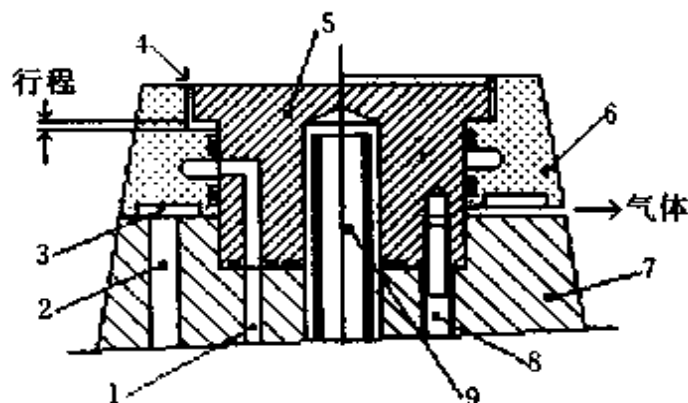


图 12-70 闭式吹气缝

- 1—模芯圈冷却；2—气管；3—大槽；
4—间隙；5—模芯镶件；6—活动
模芯圈上位（顶出）；7—模芯基
体；8—螺钉；9—起泡器

图 12-71 中, 在活动罩和固定模芯镶件之间需要有间隙。间隙值必须足够小, 使塑料不会溢入其中, 但又应足够大, 使罩圈不致卡住。间隙也可用作附加 (开式) 吹气缝, 如图所示, 带有与大槽相连的气槽。

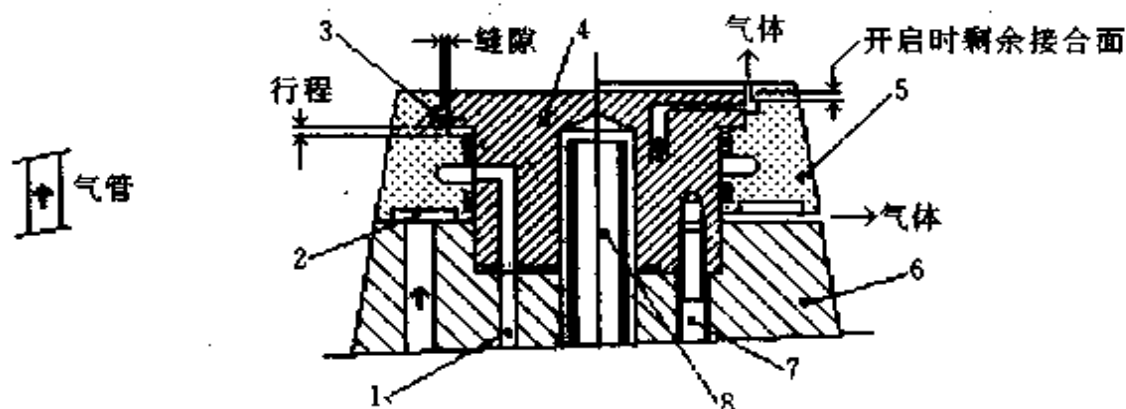


图 12-71 附加开式吹气缝的闭式吹气缝

- 1—模芯圈冷却；2—大槽；3—气槽；4—模芯镶件；5—模芯圈上位
(顶出)；6—模芯基体；7—螺钉；8—起泡器。

如果模芯顶部空间的真空带来问题，这种方法可能是必需的。在注射时，由于塑料压力，罩会回到原始位置。缝结合面必须足够宽，防止在罩就位以前，塑料进入缝内。

结合面的尺寸必须由设计者决定。在闭式缝的设计中，其开启后在结合面产生的空气流动阻力比开式缝要小。但，结合面的尺寸很重要，原因是它承担着作用在活动圈上的注射压力。通常，应计算结合面的尺寸，使其压缩载荷小于两接触部件（圈和模芯）中较软部件的屈服强度的5%。对于这一设计有许多不同的方法。

图 12-72 中，活动圈很细且轻，内部无冷却结构，这使其加工性比带冷却结构的容易些。图中吹气缝的尺寸夸大了。塑料压力使圈复位。图 12-73 是一例带有相对很小的活动圈的闭式缝的设计，模芯罩冷却良好。模芯的安装比图 12-72 中的复杂。

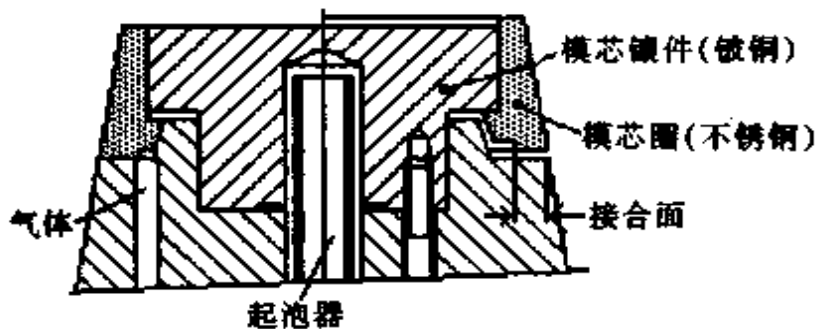


图 12-72 带有细且轻的模芯圈的闭式吹气缝不需要内部冷却结构

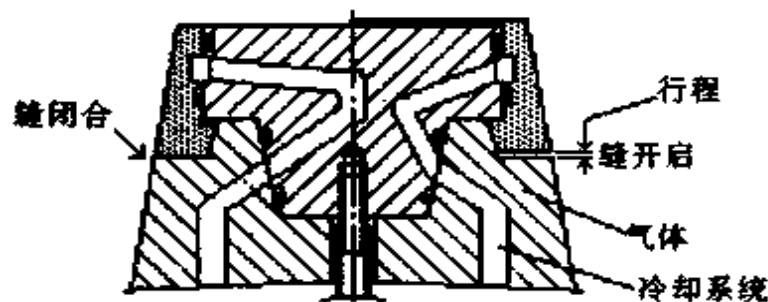


图 12-73 带冷却模芯罩的闭式缝设计

另外，也可能将开式缝顶出和阀杆顶出结合起来。阀杆的设计如前所示，由冷却剂控制阀门的开启（图 12-74）。

阀杆的行程很小（0.25mm），边缘吹气缝通常开到 0.025mm。气

槽的尺寸与排气槽尺寸相似。

由于模芯罩（O型圈以外）悬在模芯基部的上面，建议将吹气缝分几段制成（图 12-75），这样至少有部分模芯罩可座落在模芯基部下，气体供应槽之外。这可防止罩挠曲和缝失效。

12.7.6 从注射侧进行空气顶出

与从注射侧用脱模板或顶杆顶出相比，这种顶出方式要简单得多，并且不需要增加闭合高度来容纳气道。从模芯侧进行空气顶出的所有基本原则都适用于这种顶出方式。

在温度高的一侧增设气道，再加

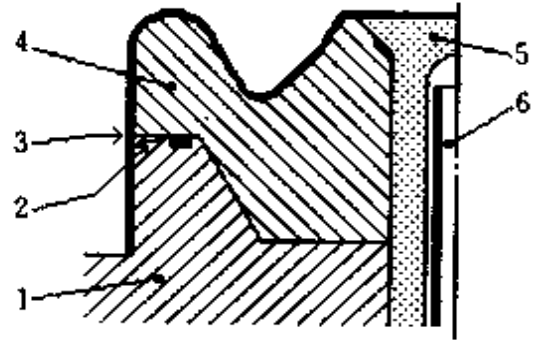


图 12-74 开式缝顶出和阀杆顶出结合使用

1—模芯基体；2—气体供应槽；3—分段的开式周边吹气缝；4—固定模芯罩；5—阀杆；6—阀杆冷却装置
注：为简明省略了模芯基体和罩内的冷却系统

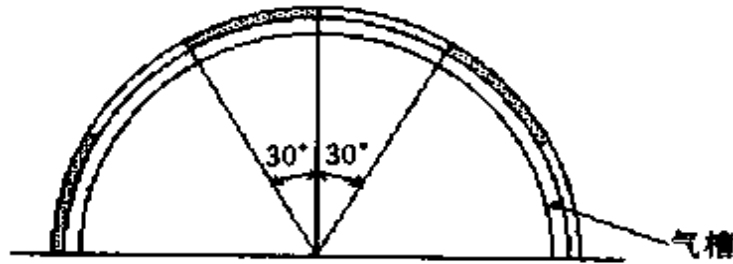


图 12-75 分段的吹气缝的平面图

注：模芯罩座落在模芯基部气槽之外，阴影区为吹气缝，60°典型隔离

上流道和冷却管道，都将使模腔和浇口套的布置变得更加复杂。例如，气压可能要直接加到移动的模腔中的制品上。图 12-76 简图显示怎样使用气体压力帮助制品底部严重的外倒陷（筋）脱开。

模具打开时，模腔跟随模芯并向前充分移动，使外筋在模腔壁间受到挤压，这时注射侧的气体压力将制品固定在模芯上。然后将制品从模芯上顶出（用气阀杆），并且外筋将恢复到模塑时的形状。

这种设计的优点是模具很简单，而在其他情况下，为了筋部的顶出需要使用分瓣式模腔。向前移动不应当依靠模腔后的气体压力，而必须加上驱动器，这在图 12-76 中未绘出。

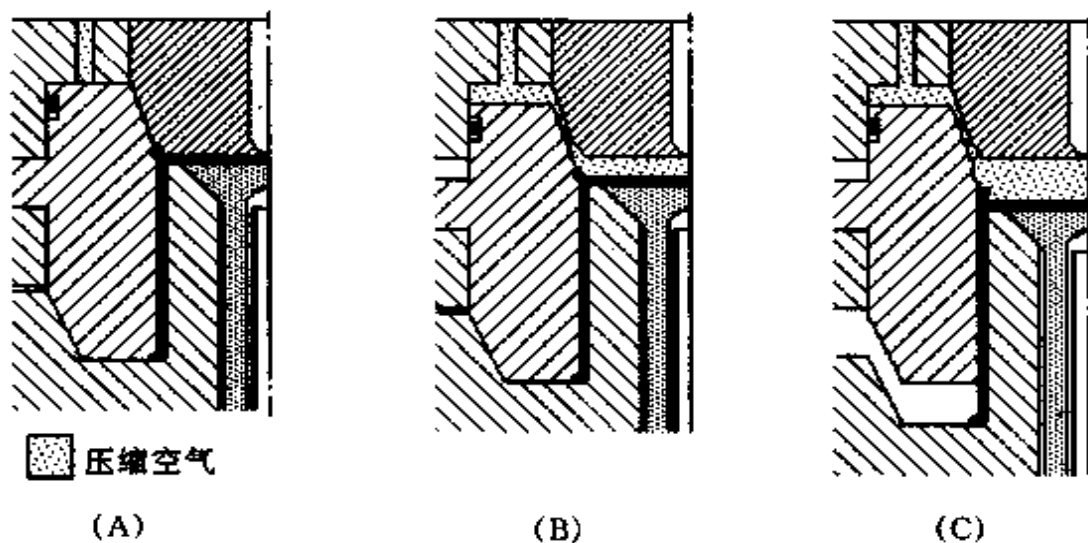


图 12-76 从模腔内进行空气顶出

(A) 模具闭合；(B) 气压将制品留在模芯上时，模具打开使筋部脱开；(C) 制品随着模芯一起运动，同时筋部受到模腔壁的挤压

12.7.7 机械和空气联合顶出

当讨论不同的顶出方式时，可能重复以前已讨论过的有关内容。任何自动化顶出的基本原则要求制品一直能够（每次 100%）可靠顶出，也就是说，模具闭合前，必须清洁成型面。如果在每 10,000 次循环中，制品只卡住一次（可靠度为 99.99%），这往往也不能被接受，原因是，迟早会导致机器停机。设计者必须注意到这种情况的重要性，并保证所选的顶出方式能一直发挥作用。（见第 2.5 节，制品的顶出。）

机械顶出装置（顶杆或脱模圈）通常能满足这一要求，特别对于制品的质量大于 10g 时。对于较轻的制品，以至是较重的制品，由于制品的形状会使其卡在某地方，或是塑料会粘附在顶杆或脱模圈上，必须使用一些附加的顶出方式保证顶出 100% 可靠。空气顶出或空气辅助，如空气喷嘴，空气帘或制品下的气压，都是较好的解决办法。

空气顶出的可靠性不是 100%，有时模芯上的倒陷可能会阻碍制品与模芯分离。在这些情况下，机械顶出（例如，行程足够长的顶杆、顶杆及脱模圈），甚至在行程很短的情况下，都可用来帮助空气顶出。

12.8 多次顶出行程

今天，所有注塑机都有一个特性，即在模具开启后机器顶杆的允许行程次数不止一次。有的制模工利用这一特性将偶尔卡住的制品“摇”松并吹落。注塑机通常允许的行程次数为十次。

这种方法有时可成功地使设计不良的模具完全自动化运转（无操作者），但从根本上说，是一个不好的做法。原因如下。

①即使在第一次行程中，制品已顶出，顶杆仍多次不断前后移动，使制品变松，这增加的顶出移动浪费了循环时间。（需注意的是有的制模工启动注塑机顶杆不只两次，而是多次。）

②注塑机和模具的额外磨损。

③安全受威胁。通常，模具关闭后，安全门打开，而这样的模具要在安全门打开时打开。（如果注塑机是半自动的，这样做可节省几秒钟时间。）虽然有的注塑机在安全门打开后，所有动作都停止；但在许多机器中，安全门的打开并不能使顶出运动停止。当操作人员在安全门打开时去接触模具，就可能被顶出机构碰伤。如果为半自动的注塑机设计模具（如：镶件必须用手放在模具中或制品必须用手移走），设计者必须保证在安全门打开时，注塑机和顶出装置都不运动。

制品在第一次顶出行程中都必须 100% 顶出。

12.9 专用顶出方法

在可能的情况下，设计者应当采用前面讨论的顶出方式中最简单的一种（如，顶杆、脱模板或空气）进行设计。但是，在有些情况下这些方法都不适用，或可靠性不够，那么就必须使用专用方法。

只要能保证最低的模具成本和最低的维修费用，并达到最基本的要求：模具操作的 100% 可靠度。设计者的智慧是无限的。以下用简图示出了几种专用设计的例子。

12.9.1 颈圈顶出

这种方法适用于要求在半径面上无迹线的情况，图 12-77 中用 X 表示。标准顶出方式是顶管或脱模圈顶出，在这里不适用。

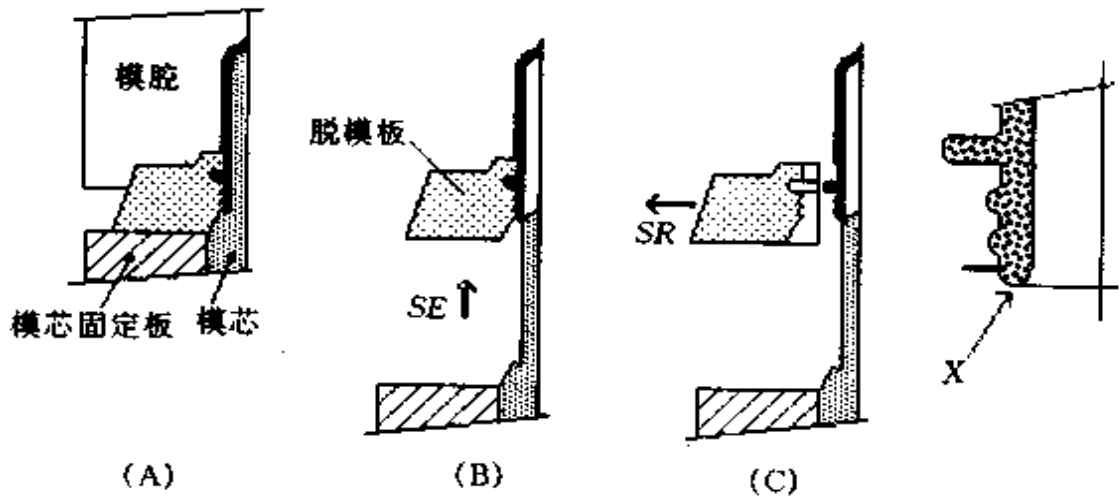


图 12-77 颈圈顶出

(A) 模具闭合；(B) 颈圈前进；(C) 颈圈完全分离

模具开启后，颈圈（与顶出机构相连）立即前进（SE）。当制品依然在模芯上时，模具中的斜导销首先将颈圈轻微分离，以防止制品粘附在颈圈上。随着颈圈前进，制品脱离模芯（图 12-77 中，瓶的预成型）。在行程末端附近，斜导销沿径向松开螺纹和圈，使颈圈完全分离（SR）。然后制品能自由落下或由机械手移走。

12.9.2 分瓣顶出

在下面的例子中，需要制造一个闪光灯泡用的立方体的小型多腔模具。问题是制品所需的四个模瓣，在正常情况下沿四个方向滑动，因此传统滑动设计和驱动装置需要占很大的空间。这将需要一个很大的模具来容纳设计中的模腔数，这样的模具将远远大于按很小的注射量所要求的小型注塑机的尺寸。

如果采用图 12-78 的设计，模具开启需要的空间较小。制造四个“瓣”，随垫板合拢形成制品的外围形状，如图 12-78 (A)。模具打开后，模瓣被推出垫板，沿着与模芯中心线成一定角度的方向滑移，如图 12-78 (B)。这样倒陷被松开，模瓣的运动还使制品从模芯上拉出，能够自由落下。

为防止溢料，模具的制造精度要求高。另外，模瓣不能冷却。然而，由于模瓣和垫板紧密接触，由此产生的冷却效果已满足要求。若

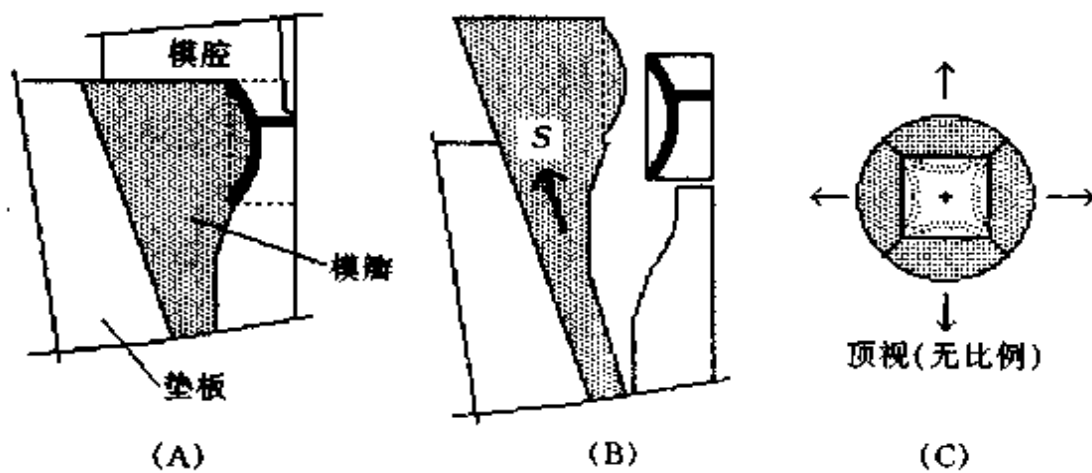


图 12-78 闪光灯的瓣顶出

(A) “瓣”在垫板内形成制品形状；(B) 模具开启，瓣沿一定角度向前滑移使制品拉出；(C) 闭合模具的顶视图

该制品采用结晶聚苯乙烯制造，这种模具的循环时间大约为 4s。理论上讲，这种设计适用于任何数量的瓣。

12.9.3 拉模芯顶出

这种方法有时用在制品必须沿着投影面积最大的方向分离，并且不允许留下顶杆痕迹的情况下，或者用在由于塑料的性质，制品用顶杆不能可靠顶出的情况下。

在图 12-79 所示的例子中，选择这种方法的决定性因素是塑料软且呈橡胶状，使用普通顶杆不能将制品可靠顶出。

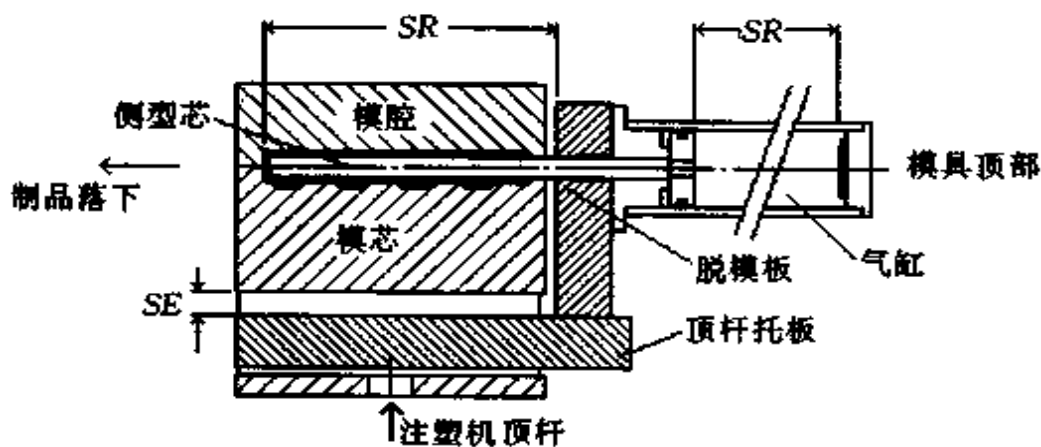


图 12-79 拉模芯顶出

模具开启后，注塑机顶杆驱动顶杆托板前移，将制品从模芯上顶

起。然后，气缸到行程顶端，制品与脱模板接触后，被拉出侧型芯。模具很简单，且在制品上无顶出痕迹。

相似的设计可适用于很长的，小直径的管轴，需要强度很高的瓣模成型。瓣模应很坚固，需抵抗注射压力引起的挠曲。

在模芯拉出结构中，管轴沿分型面躺放。与在分瓣模腔设计中的较大的侧型芯力比较，这里的侧型芯力相对较小，与管轴的边缘尺寸成比例，甚至仅和管轴中孔的尺寸成比例。另外，在管轴的工作面上无顶出痕迹。

12.9.4 摆杆顶出

这种方法适用的制品如带柄咖啡杯或者其他相似的，模腔必须分瓣的制品。模腔瓣由连杆驱动。当模具开启时，连杆围绕其中心旋转，使模腔瓣从注射侧和移动侧分开，模腔瓣同时分离。一根附加的连杆 L_1 （和 L_1 长度相等），安装在模腔瓣的顶端，和另一根连杆 L_1 一起形成平行四边形，将模腔瓣作直线运动拉出（图 12-80）。

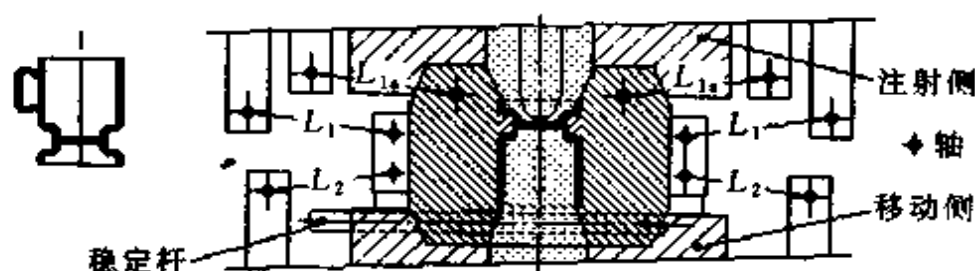


图 12-80 带柄制品（左）的摆杆顶出简图（右）

模腔瓣的每一侧都安装两根连杆，长度分别为 L_1 和 L_2 。长度的选择应能使模腔瓣获得正确的运动，使模腔瓣在从注射侧和移动侧移走时，能将制品从模芯上拉出。可用计算机模拟选择 L_1 和 L_2 长度，也可以使用包括必要元素（注射侧和移动侧，连杆和两个模腔瓣）的纸板模型，在模型关节处使用销来模拟选择。

重点要考察的是，在模腔瓣旋转闭合的时候，模楔角部不发生干涉。必须使用弹簧加载的销来保证柄部不随模腔瓣一起运动（图 12-81）。每一个弹簧销都得排气且弹簧销应易于接近，便于维修（清洁），保证动作正常。由实践发现，最好将杯柄设计在各模腔的顶部而不是底部。

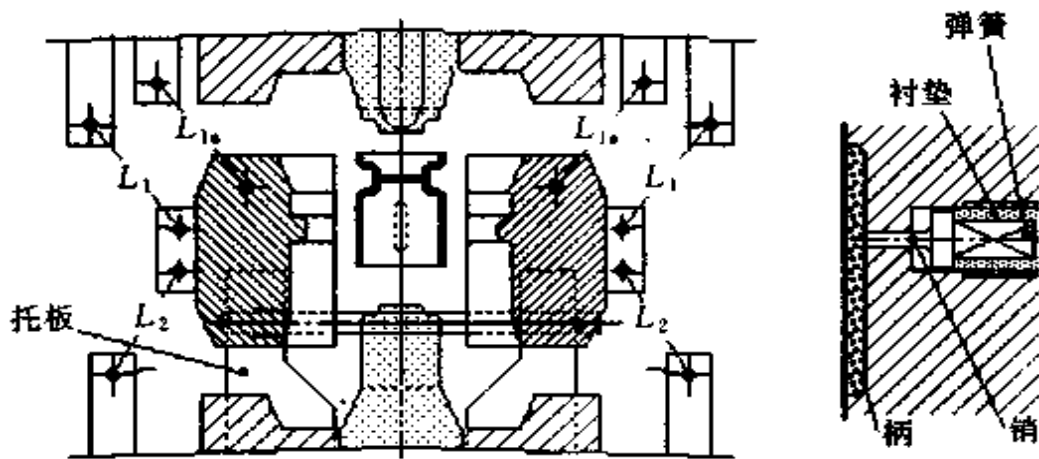


图 12-81 在摆杆顶出时，重模瓣由托板支撑（左），
而弹簧加载销保证制品柄部不随模瓣运动（右）

为获得平行运动，稳定机构（导销和导套）安装在一个瓣模上，而在另一瓣模的导套内滑移。只需要一个导销时，必须将它安装在模瓣的顶部，防止在顶出时被制品碰到。

重的模瓣必须附加托板支撑（图 12-81 所示）。该板如果妨碍制品落下，可能不得不将其省去。由于瓣模在其支撑物上滑移，所以必须采用合适的材料制造，最好是用自润滑材料聚四氟乙烯（Teflon），石墨填充聚酰胺纤维（Nylatron）等覆盖在钢的表面，或者在钢表面镶青铜或用青铜导轨等办法使其获得润滑。

模具的最终定位方法是在模瓣进入模芯套上的圆柱或锥形座之后用模楔锁紧。模楔预载必须足够大，防止注射压力将模瓣分开。另外，模瓣应足够厚，使其在注射时的挠度最小。模具顶部附近的两根导销（图 12-80 和图 12-81 中没有绘出）定位注射侧和活动侧。

与斜导销驱动的侧型芯相比，这种设计的优点是结构更简单，前者需要附加机械顶出装置。这种方法非常适用于两个或四个模腔的大杯形模具。模腔必须垂直在一条线上。

12.10 两级（和多级）顶出

两级（和多级）顶出是在一副模具中，同一制品上，联合使用两种（或多种）机械顶出系统。带“吹脱”或“吹落”方法的机械顶出

不是两级（或多级）顶出。另外，带空气顶出的脱模板或顶杆的一次顶出，也不算两级顶出。

在本文中，模具一级顶出中带机械手或其他引出装置的，也不算两级顶出。有的情况中，由于制品的形状需要，即使制品是由机械手取出的，也必须使用两级顶出，原因是，即使没有机械手，模具也必须能自动化运作。

两级顶出联合方式如下：

- ①顶杆-顶杆；
- ②顶杆-脱模板；
- ③脱模板-顶杆；
- ④退螺纹-脱模板；
- ⑤退螺纹-顶杆；
- ⑥侧型芯-顶杆。

时间顺序通常是两个系统一起启动，然后一个停止，另一个继续，或者是一个在另一个开始后或行程结束后启动。

这些系统的驱动方式如下：

- ①注塑机顶杆（通常液压）；
- ②固定（缓冲器）顶杆（目前很少使用）；
- ③斜导销；
- ④空气驱动器（气缸），内部的或外加的；
- ⑤需要很大的力时使用液压驱动器。

使用全机械顶出时，有效力为注塑机顶杆力。使用空气驱动器时，必须计算所需力的大小，提供足够的顶出力保证顶出100%可靠。

如果在模具内或模具上没有足够的空间容纳空气驱动器则可使用液压驱动器，液压驱动器也常用在操作平稳性很重要的地方。液压驱动器无突然动作（在空气驱动器中是常见的），另外，可获得良好、精确的速度控制，其缺点是模具成本较高且制品可能被油污弄脏。

应根据所使用的方法控制两级驱动。如果两级运动都是机械方法控制（例如，利用斜导销的空动或短停顿），就不再需要增加控制器来操纵两级顶出。通常比较喜欢采用这种方法，但不一定都行得通。如

果机械方法不实用或不可能采用，就必须采用空气或液压驱动器，增加管道或控制器。

12.10.1 使用两级顶出的原因及场合

使用标准顶出（一级），无论是机械顶出或空气顶出，制品脱离模芯后不能自由落下时，就使用两级顶出。带倒陷的制品即为这种情况，如下面的典型例子（图 12-82）。

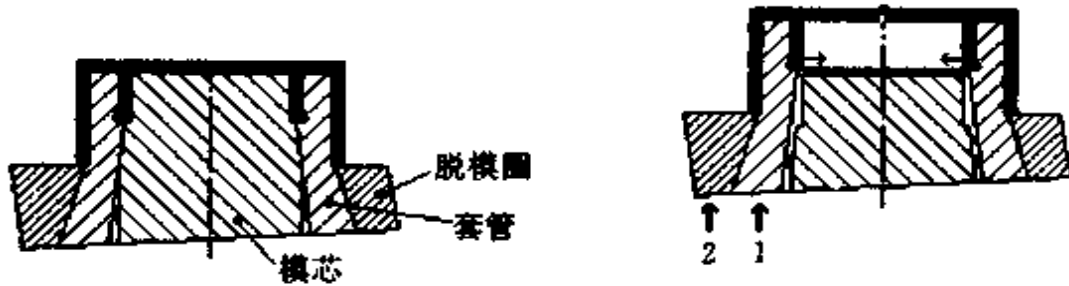


图 12-82 带倒陷制品的两级顶出

1—套管和脱模圈将制品边缘抬高离模芯；2—脱模圈继续将制品顶离沟槽，实现自动顶出

如果只使用脱模圈，不能正常顶出制品，如图 12-82 中内圆柱体的外边缘将卡紧，接着会破裂或变形。两级顶出，套管和脱模圈首先一起运动（箭头 1 和 2），将制品抬起来使其边缘在模芯之上。此时，套管（1）停止运动，脱模圈（2）继续推移制品。这将使内圆柱体（和边缘）稍受挤压（如箭头所示），边缘滑出其成型的沟槽。两级顶出可实现制品在无损害情况下自动化顶出。

即使制品不带倒陷，如果壁厚与模芯和套管之间的衔接深度相比很小，可能挂住制品，顶出时必须使用以上的或与其相似的方法。另外，由于塑料的粘接（或溢料），可能使制品粘附在脱模板或顶杆上时，也应使用两级顶出。换句话说，使用脱模板或顶杆可能一级顶出的制品，采用两级顶出可获得更可靠的顶出效果。

12.10.2 典型的两级顶出驱动器

脱模板和顶杆使用两个注塑机顶杆驱动。图 12-83 中脱模板由一个注塑机顶杆驱动，而顶杆托板使用另一个；例如，用固定的（缓冲器）和用液压顶杆驱动。这可能是最简单的方案，但今天很少使用。

使用与上述方法相似的两个注塑机顶杆，但作用于两个顶杆托板，

因而顶杆作用相互独立（图 12-84）。两顶杆托板都需要复位杆。该系统很简单，但现在也很少使用。

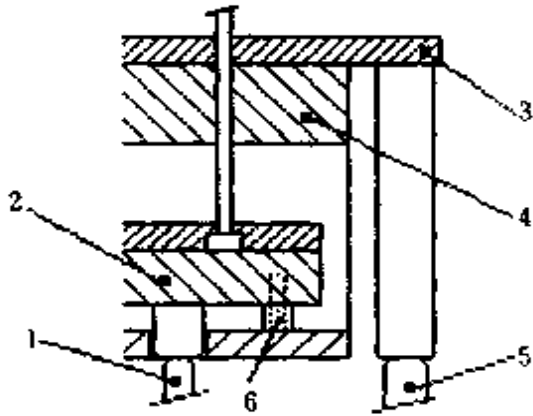


图 12-83 两级顶出，脱模板和顶杆由两个注塑机顶杆驱动

1—注塑机顶杆 A；2—顶杆托板；3—脱模板；4—模芯垫板；5—注塑机顶杆 B；6—限位块

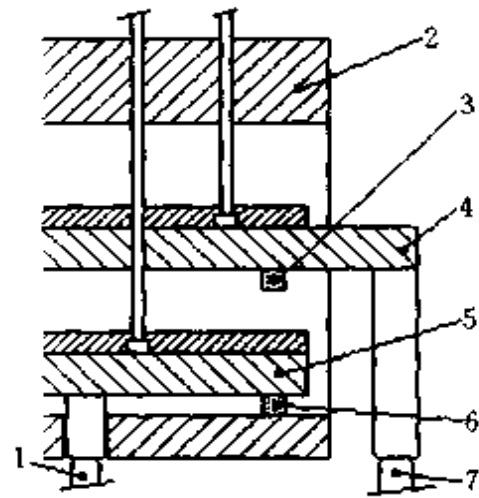


图 12-84 两级顶出，使用注塑机顶杆作用于顶杆托板上

1—注塑机顶杆 A；2—模芯垫板；3—上顶杆托板限位块；4—上顶杆托板；5—下顶杆托板；6—下顶杆托板限位块；7—注塑机顶杆 B

下例是两级顶出，但只使用一个注塑机顶杆驱动。所示为中心顶杆，但也可使用一套四个或其他更多的外侧顶杆。绘出有肩螺杆，只是简化说明。通常必须选用螺杆-顶管结构。标准的带肩（或脱模板）螺杆一定不能用在这些机构中。

包括弹簧和空动的两级顶出如图 12-85 所示。如果当注塑机驱动器前移时，驱动 B 板；借助弹簧力，A 板也向前移动。当 A 板到达模芯垫板 C 板时停止，但 B 板继续朝前移，压缩弹簧。该法很简单，但弹簧必须有足够强度来移动 A 板和克服顶出力。至少必须使用四个弹簧并均衡布置。如果弹簧强度太大，A 板停止后推动 B 板，可能会耗尽注塑机顶杆推力。

（图 12-85 中未绘出固定板和顶杆托板之间的螺钉以及复位杆。只有 B 板需要复位杆。A 板由连接 A 板和 B 板的带肩螺杆拉回。这些螺杆还给弹簧提供必要的预载。）

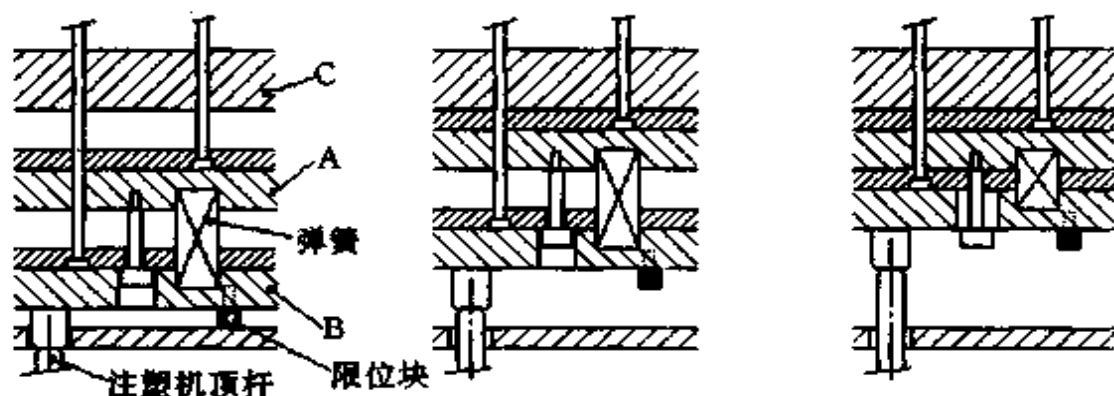


图 12-85 两级顶出，使用弹簧和空动

A—顶杆托板；B—顶杆托板；C—模芯垫板

虽然此法简单且经常使用，但并不推荐采纳，原因是使用预载弹簧具有潜在危险。另外，弹簧限制行程。

如果用拉杆和空动代替，进行顶出，如图 12-86，就不需要使用弹簧。时序和弹簧驱动不同。注塑机顶杆首先驱动 A 板，B 板不动，当脱模板螺杆头接上，拉着 B 板和 A 板一起运动，直到 A 板（和 B 板）停止。

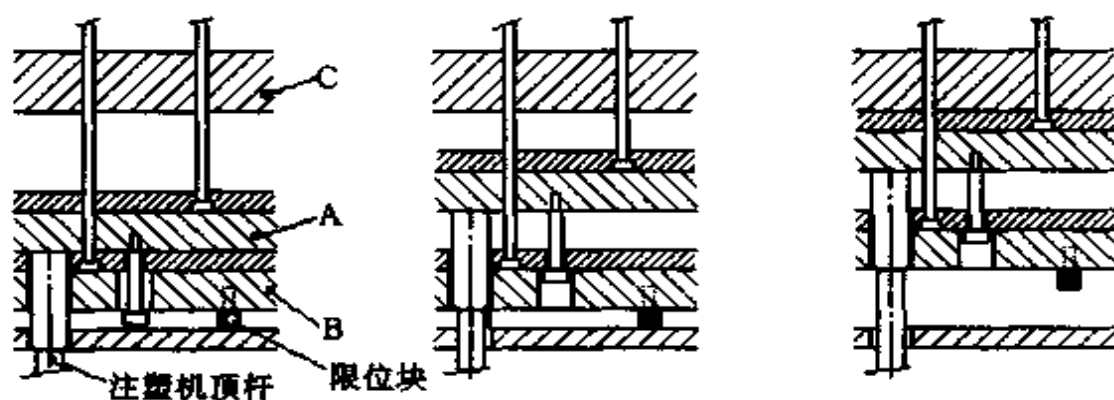


图 12-86 两级顶出，使用空动和拉杆

A—顶杆托板；B—顶杆托板；C—模芯垫板（注意与图

12-87 比较三个活动部件的不同位置和运动）

在所有例子中，顶杆托板或脱模板都必须由弹簧或空气驱动器准确复位，简图中未示出。还要有复位销，保证复位系统失效情况下的安全。

另外一种不同的两级顶出是使用啮合凸轮。有几种经济有效的模具附属装置与两个顶杆托板啮合，实现顺序动作。（首先，两板一起运

动，然后下板独自运动。) 在所有的这类设备中基本运动是相似的，且和图 12-87 中的方案相似。由于凸轮上载荷很高，凸轮应选择特殊材料(或) 润滑良好，以防止凸轮关键面早期磨损。

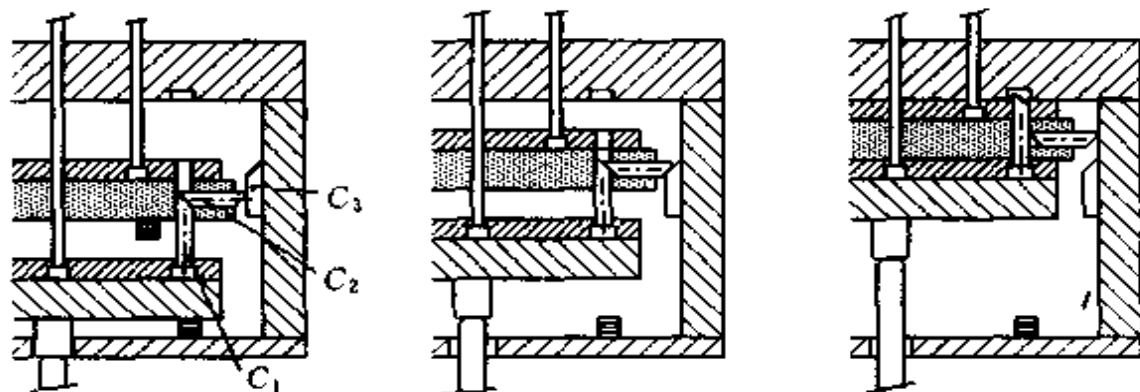


图 12-87 两级顶出，凸轮啮合使顶杆托板顺序动作

当注塑机顶杆前移时，驱动下顶杆托板，但也通过凸轮 C_1 、 C_2 和 C_3 驱动上顶杆托板。只要 C_2 靠在 C_3 上，就全阻塞 C_1 前移并使上顶杆托板被推向前。 C_2 一到达 C_3 斜面位置，即会侧向移动，让 C_1 通过。这样下顶杆托板就能与上顶杆托板接触。这里每个顶杆托板至少必须有四个这样的凸轮系统，以保证平稳前进。

这样的标准装置可从模具装置供应商处获得，但他们提供的通常比图 12-87 显示的小得多。如果在小型模具中出现有效空间不足的情况，可使用这样的标准装置。

需注意的是模具制造者供应处还提供标准的顶杆复位安装和加速顶杆方面技术。这对遇到一些模具空间布置问题的设计者，很具实际意义，并且设计者乐于采用购买方便的标准件而不进行单独设计。对于生产率特别高的模具，模具又必须长期在恶劣的环境中工作，设计者必须保证任何购买的装置在这些环境中足够坚固，不会经常发生故障。

利用空动的两级顶出也可以使用杠杆操作。图 12-88 简图所示为典型结构安排。使用连杆和杠杆的数量可能不等，但原理通常一样。为简化图示，顶杆固定板和其他结构细节未绘出。

模具开启后(沿分型面)，杠杆由连杆拉着，和顶杆托板 A 上的滚

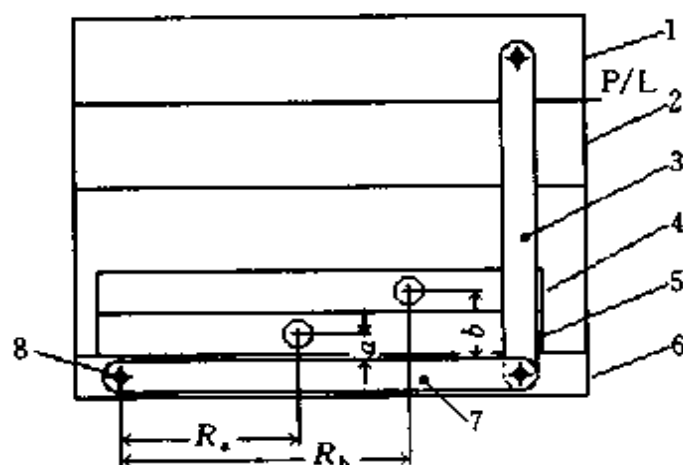


图 12-88 杠杆空动操作的两级顶出

1—模腔板；2—模芯板；3—连杆；4—顶杆托板 B；
5—顶杆托板 A；6—垫板；7—杠杆；8—支点

注：a, b 为到杠杆边缘的距离

轴接触，开始将 A 板和 B 板一起抬起。模具继续开启，杠杆和顶杆托板 B 上的滚轴接触，并由于离支点的距离较大，B 板（继续前进）将与 A 板分离。

需注意的是，由于要分开 A 板和 B 板，并在其后部自身的挡块上支撑 B 板，可能的运动如下：A 板首先运动，A 板和 B 板一起运动，B 板与 A 板分离。杠杆和连杆的形状，以及滚轴位置 a 、 b 、 R_a 和 R_b ，都取决于模具的需要，必须由设计者制定。

使用链杆和杠杆工作应遵守的准则。

①要在板对应的两侧（通常是前侧和后侧）安装连杆-杠杆对，每侧必须至少有一对，最好是两对，保证板能平行抬离到垫板。

②板必须准确复位。由于行程通常相当短，在板内使用弹簧复位是可行的，只要弹簧设计合理且承载足够强度。由于带杠杆传动装置，通常模具外侧设有足够的空间安装复位弹簧。另一种选择是使用（内）空气驱动器。

③滚轴（通常是凸轮随动器）强度必须承受足够预期的力。如果每块板上有两个滚轴，则每个滚轴考虑承受一半的模具开模力。但是很可能不是这种情况，滚轴往往低于工程要求（太弱）。

④滚轴和连接点的润滑非常重要。

- 滚轴：使用装有持久润滑的针状轴承的标准凸轮随动器。
- 支点：使用持久润滑的针状轴承。如使用铜套或钢套，就需要润滑，或是在连杆和杠杆上钻孔，或是使用单独的管道。

滚轴和杠杆接触面很难润滑。滚轴是淬硬钢，杠杆也应该是淬硬钢（至少接触面），以降低长期运转带来的磨损，磨损会引起顶杆托板驱动的不平衡（闭锁）。

12.10.3 活动模腔

该方法并不是主要的顶出方法，但能够联合使用，实现制品从模腔侧的最终顶出。这样，活动模腔可以作为制品从模腔侧进行两级顶出时的第一级顶出装置。

就浇口套而言，“活动模腔”本质上是指模腔的有限运动。通常应用在制品出现如图 12-89 所示的“假底”时，特别当制品在该点的壁厚和深度的比例超过 1:1 时。该运动使制品分离并防止它遭到撕裂或破坏。也用于倒陷的脱离。另外，活动模腔的重要特点是使空气进入模腔内，打破真空状态，也可以防止制品脱离模芯。

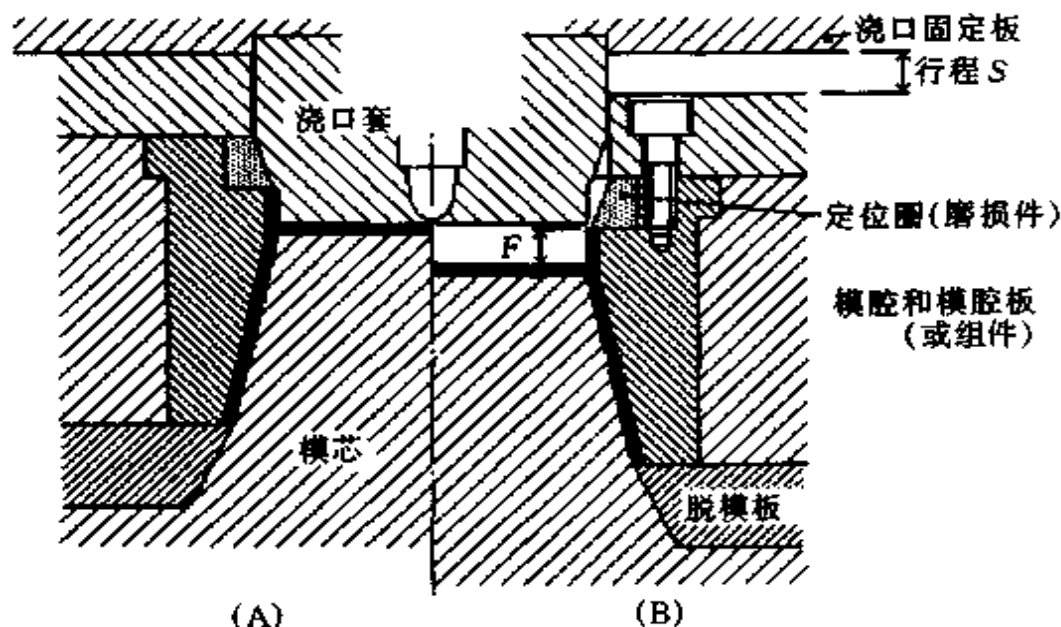


图 12-89 活动模腔两个半图的简图
 (A) 模具闭合；(B) 模具开启，模具板移动
 注：尽管图示为脱模板，同样适用于气体顶出

图 12-89 示出了活动模腔的必要部件。模具开启时 (B) 图, 模腔板 (或部件) 随合模机构运动距离 S , S 必须足够大, 使卡在模腔和浇口套之间的制品脱离。如果制品没有脱模斜度或斜度很小, 如图所示, 或者模腔内的倒陷要求制品凹进部分的壁部脱离模腔时受到挤压, 行程 S 应稍大于 F 。在许多模具中, 距离 S 并不需要和凹深 F 一样大, 稍微移动 2~3cm 就足够了。

活动模腔的驱动方式有许多种。

●机械方式, 利用模具外侧的搭钩, 将其和模具开启运动连接起来, 但这可能和冷却水管、电线、机械引出装置产生干涉。也可利用弹簧来保证行程 S , 但可能和一些模具保护方法产生干涉 (两种方法都不被推荐)。

●液压方式, 在模具边缘提供 (市售的) 液压驱动器。优点是便于控制运动, 特别当行程很大时; 另外, 使用较小的驱动器能产生大压力。缺点是需设置管道等, 难以使它们不产生干涉, 并且还要考虑流量和压力控制器的成本。

●气动方式, 在模具内设计压缩空气驱动器。下面列出了两种典型方式的概要和图示。

①在模板中设计四个或更多的压缩空气驱动器 (图 12-90)。图 12-90 仅为简略草图。为使图示简洁, 略去了流道系统, 冷却管道等。左边, 模具闭合; 右边, 模具开启且刚好到达驱动器的行程端点。在歧管板或浇口固定板上开的洞为气缸 (通常设在板的四角), 且活塞杆安装在模腔板上。该设计中, 活塞杆同时充当限位装置, 防止模腔板移动太远。

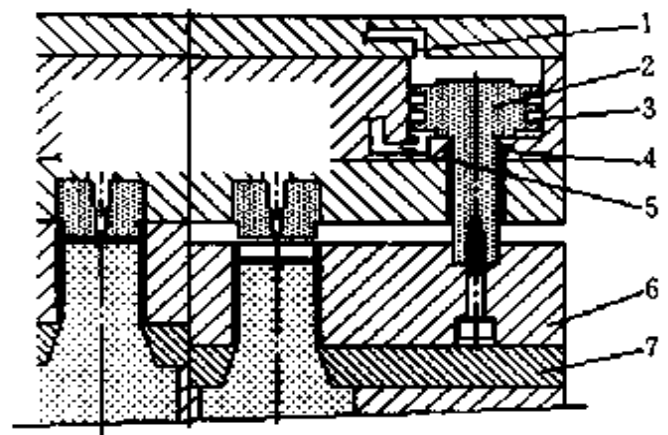


图 12-90 在模板中使用气动驱动器驱动活动模腔

注: 左为模具闭合, 右为模具开启且处于驱动器行程终端; 尽管图示为脱模板, 同样适用于气体顶出

1—气体 (前进行程); 2—活塞; 3—Glyd 圈;
4—T 型圈式双 Delta I 圈; 5—气体 (复位行程); 6—模腔板; 7—脱模板

②使用所有或至少四个浇口套作为“活塞”。气缸是在模腔板上为浇口套开设的孔（图 12-91）。该系统中，当模具开启时，气体驱动模腔板向前移动，但合模机构将使模腔板退回。通常适用于行程 $S \leq 6\text{mm}$ 的情况。需要单独设限程装置。

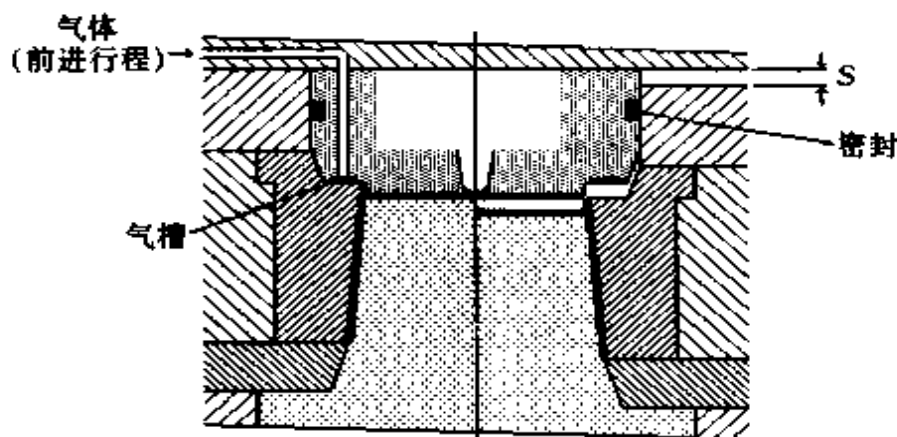


图 12-91 使用浇口套充当活塞的活动模腔的驱动

注：左为模具闭合；右为气体推动模腔向前

气槽很重要，将提供足够的面积使模具部件分离。如图所示，在例 1 和例 2 中，连接气体的操纵器设在模板中。

虽然浇口套充当活塞，结构比例 1 那样在角部增设操纵器简单，但不推荐使用该结构。原因是，如果某个模腔未充满，气体将逸进该模腔，模板不能移动，这样会使其他模腔中成型制品的移出发生困难。

例 1 和例 2 必须遵守驱动器设计的一般原则。在保证正确顶出的情况下，行程 S 应尽可能小。

应采用合适的密封方式，移动轴和孔之间的密封应为聚四氟乙烯 (Teflon) 类，如 Glyd 圈或双层 Delta I 圈。

O 型圈只适用于气体的静态密封（一板的气槽与另一板的气槽连接）。通常，O 型圈不能用于动态密封。如果气体从两个模具零件之间通过，零件接触表面经过磨削，可将 O 型圈省略。但是，如果附近有冷却管道，就必须增设 O 型圈，即使冷却管道有自己必备的 O 型圈。

在两板存在“呼吸”可能性的地方（例，合模压力消除后两板分离），必须使用 O 型圈。如使用 O 型圈，必须将其尽可能地紧靠承受气体压力的区域设置，以减小产生在该区域的压缩空气力的作用。

驱动器的面积必须足够大以克服预计的开启阻力,预测是困难的,且经常低估阻力的大小,这样在试模后还需要费用很高的重复工作。通常一旦模具完工,再增大驱动器的尺寸,或者增设驱动器都是非常困难的。

通常,对于小型模具,使用四个直径 75mm 的驱动器已足够。但有的模具可能要安装六到八个驱动器,直径达到 100mm。驱动器的数量和尺寸的选择只能依据于所需力的大小,驱动器太小太少这是很经常的事,原因是原计划的模具有效空间有限。为克服该常见错误,不得不选用比计划尺寸大的模板,或者必须使用液压驱动器代替空气驱动器。

气体管路的尺寸(直径或长度)必须相互平衡,使所有的驱动器在同一时间承受同样的气体压力,防止模板产生翘曲或卡住。典型布置方案和管道尺寸如图 12-92 所示。如果不能合理平衡,模具中压缩空气主管道,必须比连接主管道和驱动器的支管道大很多。

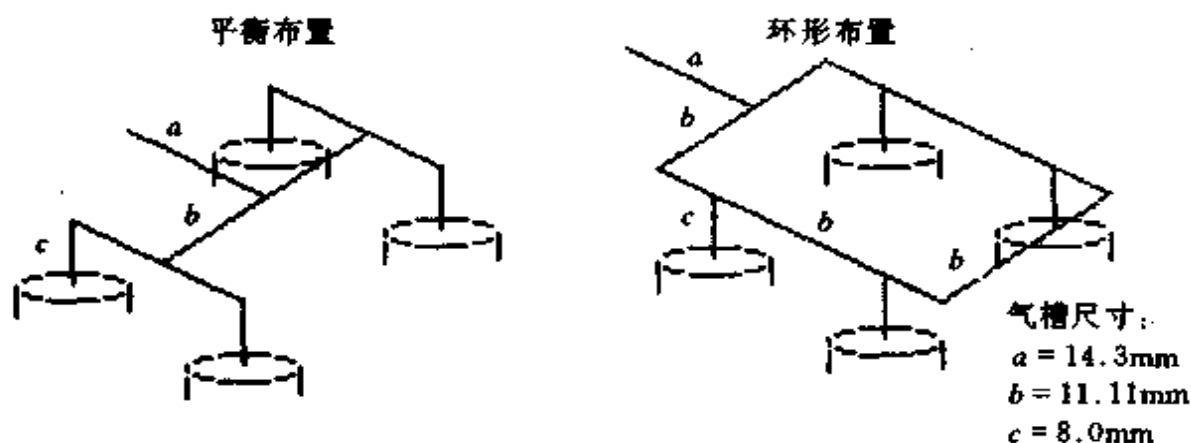


图 12-92 气体管道的典型布置和气槽尺寸

直径 11.11mm 和 14.3mm 对应的螺孔分别为 6.35mm 和 9.53mm (NPT)。主管道的直径不需要比连接模具和机器空气供应的软管的内径大。对应的软管名义尺寸为 9.55 和 12.7mm。如果为加快动作使用空气储存器,空气软管分别使用下列名义尺寸为 12.7mm 和 19mm,空气储存器和控制器应当紧靠模具布置,以减少驱动时间。

注: NPT = 美国标准锥管螺纹

12.11 成型面的精整

成型面的精整和顶出存在联系。设计者必须明白精整越好，模具越贵。

尽管现在一般用较快的，性能较好的机械方法或通过精良的 EDM 方法大量代替了以前的手工抛光，良好的精整加工时间仍然多于一般的精整。制品需要的特殊的表面精整要求应在制品图上绘出。如果没有，设计者应当询问模具的表面精整要求，为便于脱模，能不能削弱。并与客户一起讨论。

下面列出有关表面精整一般指导原则。

①特殊细加工便于顶出，例如，在模芯，成孔销或侧型芯的撤回方向进行研磨或磨石拉抛。

②开模时，不能自然留在模芯上的制品的某些部分，应规定较粗的精整面，并在与撤回方向垂直的方向磨削，以便让制品留在设计面上。极端情况下，应专门在制品上增设倒陷，但必须与客户讨论倒陷的尺寸，数量和位置。

③采用尽可能粗的 EDM 精整加工，以便提高 EDM 的加工速度，减少机加工时间。

④为便于脱模，有些塑料（如 LDPE、PP）需要粗精整面。典型的是：为获得这样的表面，对 LDPE 上盖模芯进行蒸汽珩磨（喷砂）。通常，操作一段时间之后，手拿细砂纸将模具表面重新打磨一下，以获得必需的粗糙面。

⑤模腔应进行镀铬或进行 Poly-Ond™ 或 Dicronite™ 处理，以使制品留在模芯上。

12.12 顶出顺序

（详细介绍，请见第七章）。从模具开始打开时刻一直到模具再次闭合的一段时间称为“损失时间”。如能让这段时间减短，循环时间将更短。该段时间由下列四个因素决定：

①合模速度；

- ②开模行程；
- ③顶出方法；
- ④顶出时间的安排。

机器运动的速度（空循环）是注塑机的特性，且通常在一定的范围内能进行调整。模塑周期（模具闭合一直到冷却循环结束，图 12-93）短时，更需缩短空循环时间；因这时损失时间在整个循环中占较大比例。

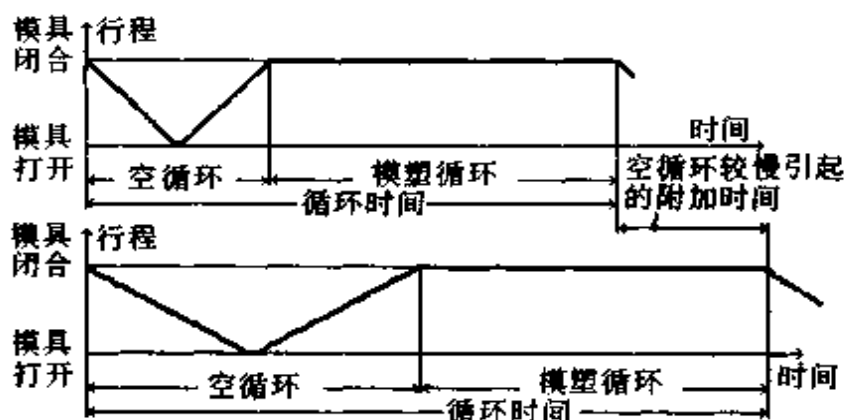
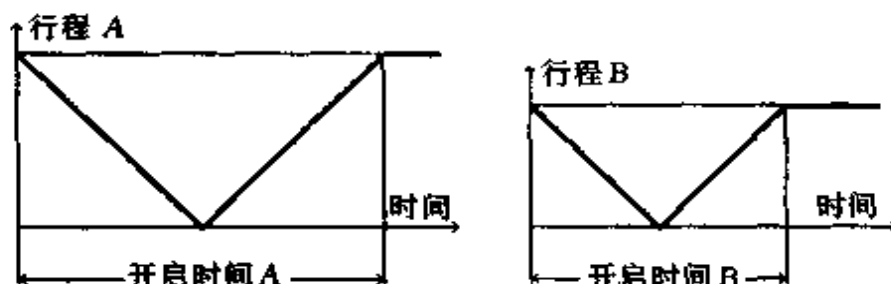


图 12-93 时间图解显示合模速度对模具循环时间的影响

满足正确顶出要求的开模行程（图 12-94）通常是制品设计决定的，同时也依赖于模腔的数量（例如，开模行程必须满足制品从最高模腔落下到脱离模具最低边缘距离要求）。进入打开的模具，接住制品的引出板所需空间也将影响模具开启行程。通常设计者要规定模具所需的最小行程，模具固定在注塑机上，该行程也就是最佳行程。



行程 $A >$ 行程 B ，因此开启时间 $A >$ 开启时间 B 。

图 12-94 时间图解比较不同于开模行程以及它们对模具开启时间的影响

注：行程 $A >$ 行程 B ，因此开启时间 $A >$ 开启时间 B

顶出方法也将影响循环时间。有时制品可以在很短的时间内迅速顶出，而另一些制品不得不缓慢顶出，以防制品发生破坏或变形。这由制品设计决定，超出了模具设计者的控制范围。

关于顶出时间的安排，快速成型的原则是，顶出启动越迅速，越好。可以当模具打开程度刚够就开始顶出，以保证制品留在模芯上不被推进模腔。在非常快的作业中，甚至应当安排顶出时间，以便在模具已进入闭合过程时，制品仍可下落，只要这时模塑面已没有制品，引出装置正在模具闭合点附近，如图 12-95 (A) 和 (B)。

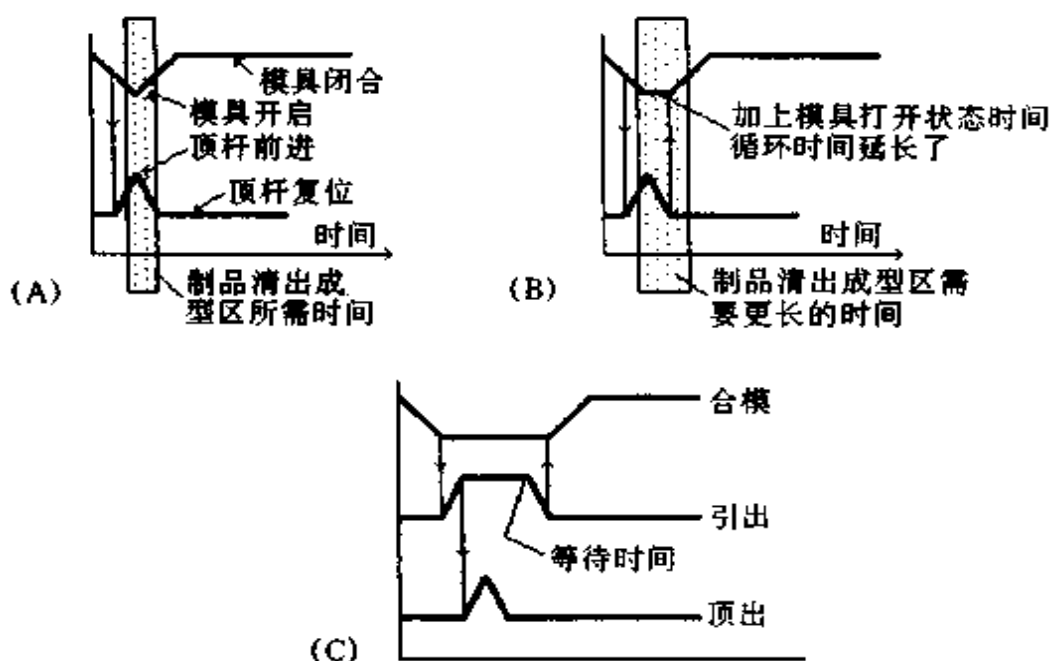


图 12-95 时间图解显示不同模具操作安排之间的联系

(A) 理想循环时间，顶出完成且制品清出模具，不存在模具打开状态时间；

(B) 有些模具需要清除制品的打开状态时间；(C) 模具完全打开才顶出，需要模具打开状态时间较长，如当使用机械手或引出装置时

图 12-95 (A) 所示为理想情况，这里当模具到达完全打开位置时，顶出已完成，制品脱离成型面。模具能够不停顿地立即重新闭合。这种方法称为“飞逝”循环。

图 12-95 (B) 为一般情况，在模具到达完全打开位置之前，已开始顶出，但是将制品清出成型面需要更多的时间。有时在模具再次闭合之前，必须延长模具打开状态时间。

带有机械同步（联锁）的引出系统，其“插入”和“退出”运动在合模装置开启和闭合过程中进行，如图 12-95 (A) 和 (B) 的时间安排是可能的。但是有的情况下，在顶出能够开始之前，如图 12-95 (C)，必须将模具完全打开，并且要在模具打开期间全部顶出。这是最不理想的情况，原因是所要求的损失时间最长。例如，使用压缩空气，液压或伺服电动机驱动引出装置 (TO)，很容易发生失效（两半模“咬”住引出板）。因此，必须有 TO 等待时间，并且在 TO 处于“退出”位置之前不能开始模具闭合作业。

显而易见，效率最高的成型方法是“飞逝”操作，如图 12-95 (A) 所示。另外图中应加入其他考虑因素，如顶出保护，即在合模装置再次闭合之前制品必须全部顶出。所有这些设计都必须考虑到。一张时间安排表将清楚地显示怎样调整机器才能获得最迅速、最安全的操作。

12.13 可拆分模芯

由于制品有大且硬的突缘伸进模芯，不能脱模顶出，因此模芯不能从制品上脱开，这种情况下应使用可拆分模芯。典型应用有大尺寸的硬质螺旋盖，例如用在咖啡罐上的螺旋盖，其周围的螺旋不需达到完整的 360° 。

这一设计也能用于内部带深突缘的容器，或其他模芯大不能从窄开口颈部撤回的制品。后一种制品在其他情况下只能吹塑成型，其制品的最终形状（里面和外面）依赖于内部吹气压力，而不是固定模芯。另一种选择是分成两部分单独成型，然后必须将它们焊接或粘结在一起。

图 12-96 所示为螺旋盖模具。螺纹在两处被截断，否则中心模芯 (CC) 后退时会遭到破坏，因此必须修整螺纹。截断的螺纹可以以半径结束，如图所示，或者伸进中心模芯。这样较容易制造，但会在与中心模芯接触处产生尖角。通常允许螺纹只占圆周的 $65\% \sim 80\%$ 。

图 12-96 仅示出了可拆分模芯的基本原理，没有详细介绍有关冷却、驱动、模芯导向以及制品脱模等方面的情况。即使是对于非常有

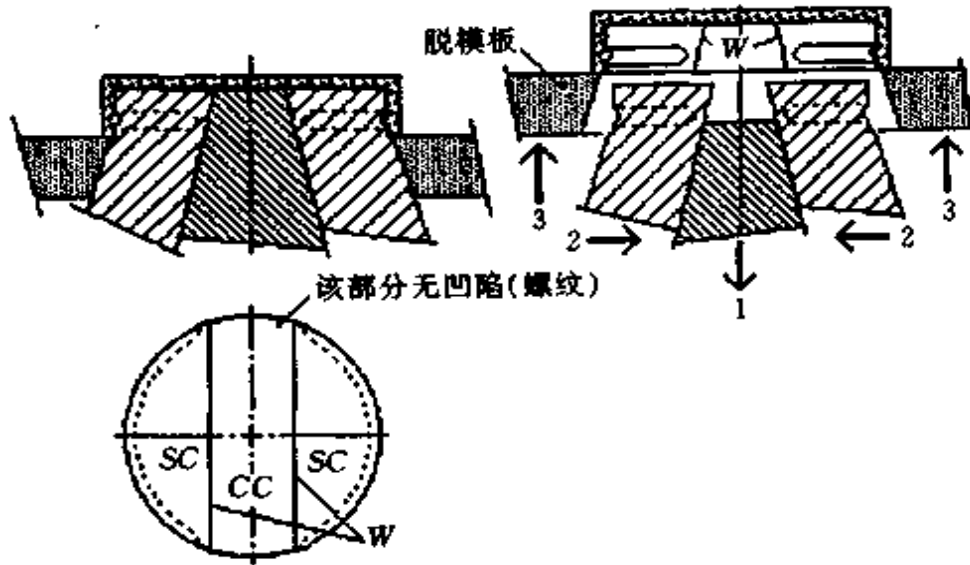


图 12-96 螺纹盖模具

1—中心模芯后退；2—两侧模芯后退；3—脱模；SC—侧型芯；
CC—中心模芯；W—制品内的边线

经验的模具设计师，这种模具的设计难度也是很大的。

在作业中，模具一开始打开，中心模芯就相对于两侧型芯后退，让两侧型芯向模芯的中心运动，从而脱离倒陷的螺纹。第三次运动是制品的脱模。

所示的例子（图 12-96）中，模芯仅有三个活动部件组成；其他情况可能需要五个，甚至更多的部件，以便从整个圆周将倒陷撤出。这个结构非常复杂，原因是所有部件之间的滑移要求磨损最小，且相互间锁紧，以防止产生间隙使塑料在注射期间溢入。模芯必须导向良好，支撑稳固以承担注射压力。角部必须是尖角，从而使模芯部件接合处在制品表面留下的痕迹最短。为使模塑性能最佳，模芯每部分内部都应设置冷却管道。

可拆分模芯比退螺纹模具简单，且制品的最终形状要比吹塑成型好得多，缺点是：

- ①模芯至少有三部分组成，装配复杂；
- ②部件驱动及锁紧困难；
- ③滑移面的磨损，以及难免的溢料危险，使模芯维修费用高；
- ④活动模芯部件中设计冷却装置困难；

⑤循环时间长，模具成本高。

利用可拆分模芯成型的制品可能需要进行某些改动，以适应模芯的局部设计；这将需要与制品设计者密切合作。

12.13.1 斜向运动模芯

这不是真正的可拆分模芯，但原理相同。通常用于内部带有一个或几个严重倒陷的模具，该类模具不能用传统方法脱模。

顶出过程，活动模芯向前并侧向移动，而顶杆一直朝前移动（图12-97）。活动模芯的行程应当刚好让倒陷退出（没有图示的远），顶杆必须继续向前顶出制品，使制品不致于悬挂在活动模芯上（两级顶出）。

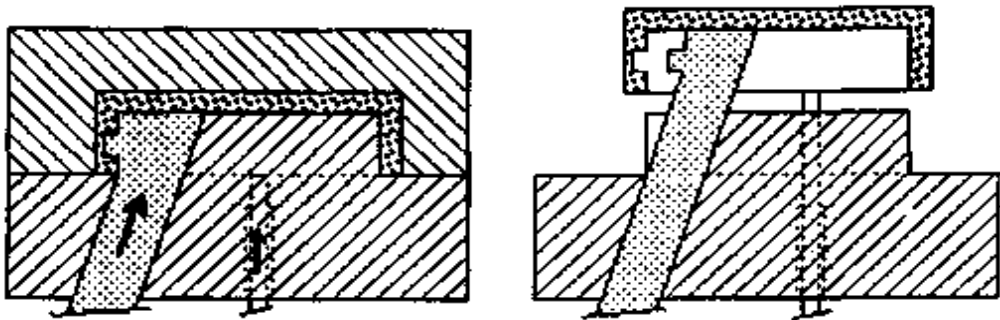


图 12-97 斜向运动模芯顶出的简图

模具闭合（左）顶出一直向前，模芯以一定角度前移（右）

12.14 退螺纹模具

通常，退螺纹是指将内螺纹制品从模芯上取下，而螺纹的精度要求又不允许模腔分开。偶尔退螺纹也指外螺纹制品从模腔中取出。典型的例子是汽车计程器齿轮。退螺纹有两种基本方式：传统退螺纹方式，即在固定制品的内部旋转模芯；哈斯科TM（HuskyTM）退螺纹方式是将制品从固定模芯上取下。

12.14.1 传统退螺纹方式

模芯旋转从制品上退螺纹时，制品不旋转。这里有几种方式旋转模芯和顶出制品。图12-98所示使用齿条和小齿轮旋转模芯。

模芯旋转时，由于套管垫板下的小弹簧的压力，顶管固定板和脱模板前移。该运动也可以由伴随退螺纹运动的机械同步的前移产生。在

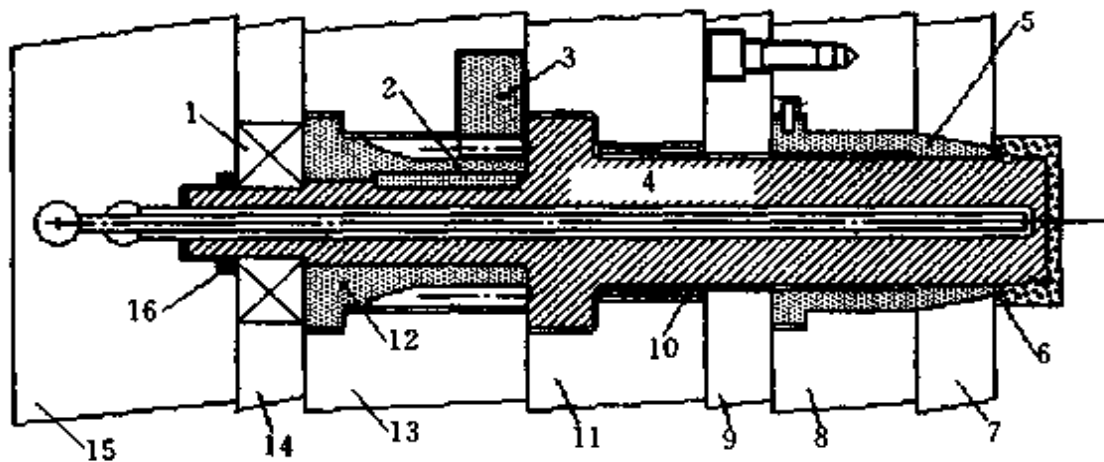


图 12-98 齿条和小齿轮系统旋转模芯

- 1—柱力轴承；2—键；3—齿条；4—旋转模芯；5—带齿套筒；6—齿；7—脱模板；
 8—套管固定板；9—套管垫板；10—轴承；11—模芯固定板；12—小齿轮；
 13—齿条固定板；14—轴承固定板；15—模芯垫板；16—旋转密封

有的系统中，模芯被固定在小齿轮下面的导杆螺母上，这样模芯正确后退，不必依靠弹簧或其他脱模板部件的同步前移。

套管底端的齿（或其他突缘）使制品不发生旋转。退螺纹的最后阶段，脱模板前移，使制品从齿上脱下。齿有时也用来防止制品自由落下。

齿条通常由模具外的液压缸驱动。最早的退螺纹系统和一些实验模具中，退螺纹运动用手柄驱动齿轮来实现。有的系统使用布置于模腔圆周的太阳轮装置，或者使用液压马达驱动的复杂齿轮系统。另外，有的模具利用模具的开模和闭模运动旋转齿轮，方式是使用大导程螺杆、螺母。螺杆和螺母联接齿轮驱动模芯。

这些是系统的常见问题。

①和模具相连的机械驱动系统承受温度变化。

②轴承需要润滑，密封必须很严，使得在注射期间不致溢入塑料，而且也必须足够宽，以防止润滑不良的模具材料发生擦伤，润滑不良可能由带有润滑剂的制品的污染引起。

③冷却系统必须带有旋转密封，根据以往的经验，即使只使用相对很短的时间，这里仍是常发生渗漏的地方。

除了这些问题，实际运行中有很多是性能良好的退螺纹模具。有的模具制造者专攻该领域，使用他们自己的模芯装配和驱动标准等，在这样基础上生产的模具很具竞争性。

这种模具的最大优点是，安装该模具，标准的注塑机有足够的容纳空间。

12.14.2 哈斯科 (Husky) 独创的退螺纹模具

该系统只适用于哈斯科退螺纹注塑机 (图 12-99)。详细情况见第 12.14.3 节。该系统和传统方式不同，其退螺纹过程和成型过程分开。模芯不动，系统中只有两块模板，而传统退螺纹模具中使用多块模板。

这些模具需使用一个特殊的三连杆退螺纹机构 (图 12-100)。模芯板 A 在成型区域以外处于退螺纹状态，而模芯板 B 处于成型位置。模芯板 A 和 B 是相同的，并且通过第三连杆的旋转交替固定在成型位置。

当一板内的模腔注射且部分冷却时，处于退螺纹位置的另一模板

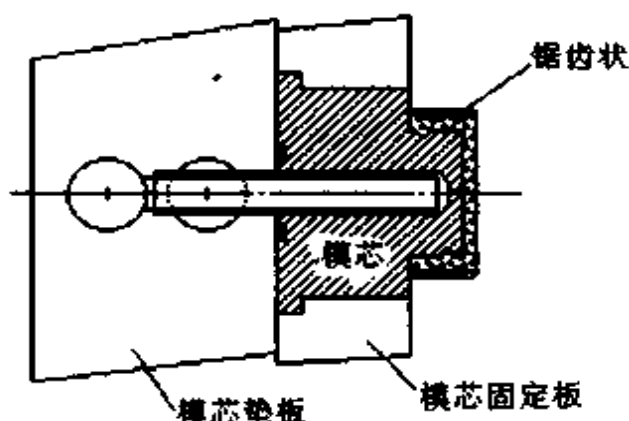


图 12-99 哈斯科退螺纹机构模具
注：模芯冷却只绘出简图

与退螺纹头相对，退螺纹头带有和模具的模腔形式相匹配的卡头。当板 B 上的制品充分冷却，可从模腔移走时，注塑机打开，旋转机构使模芯板旋转 180°，仍然留在模芯上的制品，内部仍与模芯接触继续冷却，因此，增加了一些冷却时间。

当模具再次闭合到处于成型位置的“内部”板上时，相同的模具闭合作用使“退螺纹头”

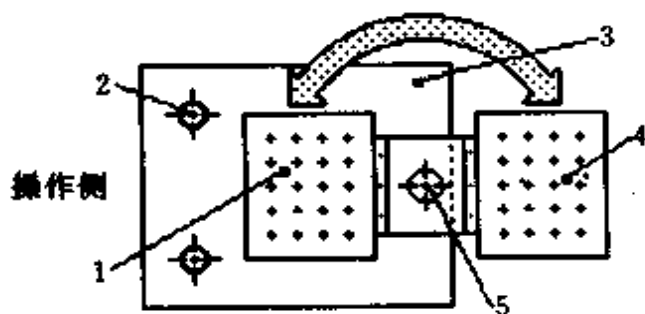


图 12-100 带三连杆系统的退螺纹机构的简图

- 1—模芯板 B；2—两根标准连杆（较小）；
3—注塑机压板；4—模芯板 A；
5—第三连杆（较大）

向成型区域外边的板移动。弹簧加载的卡头沿锯齿（或其他突缘）滑动，啮合制品传递必需的转矩，使制品从模芯上退出螺纹。

退螺纹转动由定时器启动，使冷却时间可能最长，以保证制品足够坚硬，能承受退螺纹的力（转矩）。制品在模芯上退螺纹运动和被退螺纹螺距协调一致。这是注塑机部分功能。

然后，卡头从模芯板向后短距离移动，这样做的结果，制品被卡头内部的顶杆顶出。应注意的是，退螺纹卡头与制品相匹配并属于模具。可以设想，只要重要尺寸相同，在几种模具中可以使用相同的退螺纹卡头。

哈斯科系统的优点。

①模具简单，牢靠，不带活动部件，且不需要旋转密封，成本相对便宜。

②由于模具内部没有退螺纹机械，相对于传统的退螺纹模具容易在成型区域布置更多的模腔。

③由于模芯冷却效果很好，成型时间非常短。另外，由于模具开启后，制品在退螺纹开始前一直留在模芯上，将延长冷却时间。增加的时间，大约 3~5s，允许缩短模具闭合（冷却）时间。

④由于模腔数量较多且循环较快，该系统的生产率比传统退螺纹系统高得多，系统主要用于生产量以百万计的制品生产。例如，牙膏盖的生产，一台机器的生产量易达到每小时 42000 件，即每年 2.26×10^8 件，甚至更多。

哈斯科系统的缺点。

⑤需要专用注塑机，带有三个连杆和旋转机构，另外还需要增加与模腔数量及模腔布置相匹配的退螺纹机构（退螺纹头）。这意味着多组模腔的不同布置方式需要不同的退螺纹头。

⑥每副模具需要一个模腔板和两个相同的模芯板，虽然这样，仍比传统退螺纹模具便宜得多。

⑦使用该系统成型的制品形状有一定的限制。总的说来，只有能准确抓住的制品（典型的，带有锯齿形状）才便于使用该方法实现退螺纹。特例：在注塑机上有一有利的特征，可使退螺纹卡头总是以相同

的角度停住，这样，非圆形外形的制品或者制品上有一个或多个特殊点（洞、凸台等）的，便可使用退螺纹方式生产（例，里程计齿轮、椭圆形盖等）。

⑧某些形状，例如圆柱形盖，周边光滑，不能使用哈斯科方法实现退螺纹。

12.14.3 哈斯科的新退螺纹模具系统

该系统采纳第12.14.1节的传统退螺纹方式及第12.14.3节哈斯科旋转模具方式的优点，使退螺纹系统有了相当新的发展（专利）。简单介绍该系统功能如下：

①像传统的退螺纹模具一样，制品在开口端必须带齿，这样制品盖才能旋转并从模芯上退螺纹；

②与在旋转模具系统一样，模芯固定（不旋转），因此能够实现良好冷却，且避免了产生连接渗漏的危险（这是采用旋转模芯的传统退螺纹方式的两大缺点）。

在脱模圈顶端制品被合紧抓牢；模具打开后，脱模圈旋转。当脱模圈使制品退螺纹时，固定脱模圈的脱模板与螺纹的螺距同步向前移动。制品从模芯螺纹上脱离啮合后，从模具中自由落下。

该系统的主要优点：

- ①模具适合于常规注塑机（不需要专门的“退螺纹机器”）；
- ②模芯静止，冷却良好，没有冷却管道密封的问题；
- ③实际的各种螺纹形状都能用该系统成形。

这在第12.14.2节所述的系统中不可能实现。

生产率比传统退螺纹模具高，且比哈斯科独创的退螺纹系统更具有竞争性。

主要缺点：

由于模具内部有用于旋转脱模圈的机构，模腔空间（和模具布置）不可能像哈斯科独创系统那样小。

第十三章 模具冷却

13.1 引言

本章为模具设计者提供模具冷却设计的一些准则。模具设计者在工作中将会遇到各种各样的情况，且没有简单的规则可循。许多生产同一制品的模具，无论从哪点来看，其生产出的制品都很理想，看起来也都是良好的合理设计，但令人吃惊的是各模具的产量却大不相同。设计者必须从一开始就要了解影响模具冷却设计（未必便宜）的各种参数。

需要考虑的典型参数有（未必就只有下列几种，或许还有其他参数尚未列举在内）：

- 要模塑的材料；
- 模具的材料；
- 模具所用的注塑机；
- 期望得到的生产率；
- 模塑制品的预计成本；
- 制品形状；
- 模具成本；
- 维修费用；
- 操作和维修模具的人员数。

根据以上所述，简单的无所不包的规则是不存在的。对模具设计者来说，掌握模具中发生的热和热交换及其对模具的影响，这样一些基本原理会更有帮助。这样设计者就能独立评判，对特定模具所作的冷却设计的价值。

但这不能解释为设计者就可以随心所欲地得到他们想像的最终冷却设计结果。因为设计者无论怎么做，都不能超出生产车间实现经

济生产能得到冷却系统的实际能力的限制，它必须基于生产车间的现有水平，并对最终使用者适用。

例如，在一个塑料展览会上，展出了一个6腔模具，就有52条软管与各个模腔和模板相连。当然，看起来这是一个冷却效果很好的模具，但连接所有软管所要做的工作和操作中模具无法接近的结果，清楚地表明了设计者根本没有考虑过他所设计的后果。

所要考虑的重要一点就是模具的总生产量：这种制品是只持续生产很短时间（或一个季节），还是在以后多年内仍要一直生产呢；模具的总生产量仅限于几种样品或短期生产，还是制品将照样长期生产。

可能已有成型同种或类似产品的其他模具或先例。但这并不意味着其冷却设计都是合适的。可能是正确的，但可能做过了头（浪费了钱），或是模具可能并不能很好地冷却，从而造成了成型周期的不必要延长。

例如，一个模子成型周期一般要用6s，如果冷却再好些，它可缩短到5s。尽管最初造价要高一些，但它可使产量提高17%，在长期的生产中，能节约大量的资金。因此在重新设计前，所有的因素都要考虑到。

有许多纯理论的方法可用来确定冷却的最佳条件，同时还用来确定往往会被忽视但又极其重要的材料强度。这些数学运用通常都是由在塑料工艺方面作特殊研究的一些大学完成的。尽管这些研究往往对模具设计者没有多大的实际意义，但它确实指出了设计者设计中应注意的区域。

此外，这些计算中所用的一些参数，尽管理论上很重要，但由于影响其数值的因素（比如塑料的批次之间存在的差异），很难确定，因而还不能用于实际。甚至工厂大气环境的差异（比如不同地点甚至是在同一个房间湿度及环境温度的差异），都应予以考虑。

设计者不要偏离设计的目的——设计一副模具，是为了使模具能装在指定的注塑机上（或几台注塑机上），并能最经济地生产出想要的制品。如果仅在几个小时或几天内就能事先了解到，这样设计的一副“理想”模具，可以使制品获得其在寿命周期内所需的全部性能，那么

再花费大量时间和金钱去设计和生产最佳冷却、高质量、能持续使用很多年的模具（如能用于长期生产可以实现最低制品成本）是毫无意义的。

13.1.1 模具设计的目的

模具设计的主要目的是：

- ①生产出形状和精度满足要求的制品；
- ②生产出成本最低的制品（成本包括模具成本以及注塑机用于制品生产的机时成本）；
- ③不出现次品；
- ④实现经济地维修；
- ⑤实现最经济的循环周期；
- ⑥实现经济地制造。

好的（足够的）模具冷却设计要满足最后两条。

13.1.2 可利用的帮助

设计模具冷却系统时，设计者可以从个人经验、计算机程序、参考书或课程学习中得到帮助。设计者都有自己的偏好，有时可以依赖于过去的老经验，而不一定非要与模具制造的最新方法的实践相联系。而对于在此领域毫无经验的设计者，他们应该怎么办呢？他们应该到哪儿寻求帮助呢？

有一些计算机程序可供他们使用，但这些程序仅能告诉所选择的冷却系统对某一实际情况是否适用，如果以此作为所选设计方案的检验方法是不会有错的。

参考书（比如课本）仅笼统地讲述这些问题。如果能讲到进一步的细节，它们通常又太理论化了，需要大量的数学计算，并只能涵盖冷却设计中一些特定的小区域。只有在设计方案选定以后，参考书才显得有用。

行业杂志上不时会登出一些关于某些特定情况下模具冷却设计的好文章，有经验的设计者可以收集这些文章以备将来参考。然而，这种资料也存在着一个大问题：其内容往往是文章发表前几年的经验，新经验和新工艺可能已使这些文章的内容过时了。

一些大学或学院开设了有关这个领域的课程，但从实用的观点来说，他们所讲的很多东西都是令人失望的。其内容不是太复杂、太数学化，就是跟不上该领域的实际应用，但他们确实能教会你理解冷却设计的基础。

本章的意图是为模具设计者提供一些基础认识：模具冷却设计过程中需要些什么？并用最少的理论和数学知识，综合了设计模具冷却系统前应考虑的所有要点。过去的老经验表明，根据这里所说的原理所设计的冷却系统，经计算机分析系统检验，确认为是“好的设计”。

13.2 注塑模为什么要冷却

模具使注射进入的热塑料成型为所要的制品。为了能够顶出，制品必须能够承受顶出力，且不发生变形。正因如此，顶出时塑料温度必须比注射时的要低，但不必完全冷下来。简言之，模具是一个热交换体。

设计者应知道成型周期相当大的部分，有时可占到成型周期的80%，要用于冷却。因而对于生产率要求较高的模具，将这种“损失”时间控制到最小是绝对必要的。然而，设计者在设计模具冷却系统时，还有很多其他因素必须考虑。

表13-1列出了一些原材料所需的注塑温度和模具温度。表中数据表明，甚至在同一组材料中，温度的变动范围仍会是很大的。可能需要有经验的模塑工人或者原材料供应商的技术代表，提出对特定原材料和特定成型制品最合适的温度的建议。这里的例子表明，成型材料不同，其模具的冷却设计也要不同。

有经验的模塑工人（或模具设计者）知道成型制品的实际质量和（或）外观常依赖于模具的冷却速率。举个例子，如果冷却太快或温度太低，模塑制品会变脆或达不到所要求的粗糙度；如果冷却太慢或冷却不足，将会出现不想要的结晶现象。

还有其他一些要考虑的因素，如空气的湿度。水蒸气会在模具上发生冷凝，如果模具打开时间太长，冷的冷却介质仍在模具中循环时，模腔或模芯的表面上也会发生水汽的冷凝。在没有空调或湿度控制的

成型室内，这一点应予特别关注。

表 13-1 不同的模塑材料需要的注塑和模具温度

| 材 料 | 注塑温度, °C | 模具温度, °C |
|--------------|----------|----------|
| 聚乙烯 (PE) | 170~320 | 0~70 |
| 聚苯乙烯 (PS) | 200~250 | 0~60 |
| 尼龙 (Nylon) | 240~320 | 40~120 |
| | 230~260 | 50~80 |
| 聚碳酸酯 (PC) | 280~310 | 85~140 |
| 聚甲醛 (Delrin) | 180~230 | 70~130 |
| 聚丙烯 (PP) | 180~280 | 0~80 |
| ABS | 180~240 | 50~120 |

13.3 影响模具冷却的因素

影响模具冷却的众多因素：

- ①从“入口”到“出口”，冷却介质的温升 (ΔT)；
- ②从“入口”到“出口”，冷却介质的流量，冷却介质的化学成分；
- ③模具零件的导热率；
- ④从注射到顶出，塑料的温差；
- ⑤流道系统（尺寸，布局）；
- ⑥流道类型（热流道或冷流道）；
- ⑦与成型制品直接接触部件内的冷却管道（尺寸，布局）；
- ⑧模板中的冷却管道的尺寸和布局；
- ⑨进出软管的尺寸（直径）和数量。

在下述的解释中，有些观点是基于一定理论基础的（物理的和数学的），所述观点应予接受。如果希望得到进一步的了解，可参考教材。

13.3.1 冷却介质的温度

冷却介质通常是水，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的污染，以及减少水中的其他物质（这些物质可能会腐蚀冷却管道）的存在。这些污染还会使冷却管道壁上产生沉淀，这将会降低热传导的能力，并会阻塞管道。

水温太低或供水管道暴露在结冰温度下，冷却水里要加入防冻剂。

但在大多数情况下，冷却水温度一般都控制在 5°C 或 5°C 以上，因而不需加入防冻剂。防冻剂的加入对冷却水带走热量的能力稍微有些影响，但这一般来说是可以忽略不计的。

在极少数情况下，冷却水直接从井中抽上来或使用城市供水，其温度即为这些水源的温度。这样往往费用很高。

在大多数的成型设备中，模具的冷却水可由蓄水池、冷却塔或制冷系统来提供，可以是一个中央系统，也可以是单独的制冷系统，仅为一台或一小组注塑机提供冷却水。最理想的情况是整个工厂的冷却水使用同一水源、相同的水温。但在很多情况下，这是不可能的。因为工厂模塑制品所用的原材料需要不同的冷却条件。因此设计者必须了解模具安装处所用冷却系统的情况。

13.3.2 塑料的温度——热平衡

将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挤出机中。能量主要由螺杆所做的功来提供，它将机械能转化为热能。另外挤出机机筒上的加热器也提供热能。

塑化过程中供给塑料的热量必须在模具内将其散发掉，在成型周期内冷却系统将完成这一散热任务。

注意：在整个周期时间 t 之内都会有热量从模具里被带走，并不是仅发生在冷却时间 C 里（图13-1）。这可解释如下：模具装入注塑机，并与辅助装置相连后，它处于室温，一旦冷却供水开通，在注塑开始之前，模具温度渐渐会与冷却水温度（低于或高于室温）达到一致，一直到热塑料注射进模具之前都保持此温度不变。

在注射周期内，虽有冷却水不断地将热量带走，模具的温度仍会升高。注射完成后，不再有其他热量输入模具，但冷却水在下次注射开始之前，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。

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

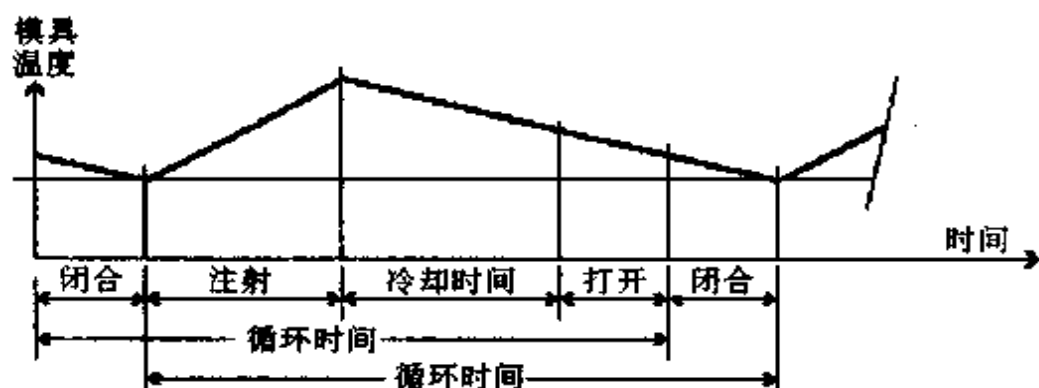


图 13-1 时间曲线图显示在模塑循环时间内模具温度变化的情况

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。对这种情况应该增加冷却时间（图 13-2）。

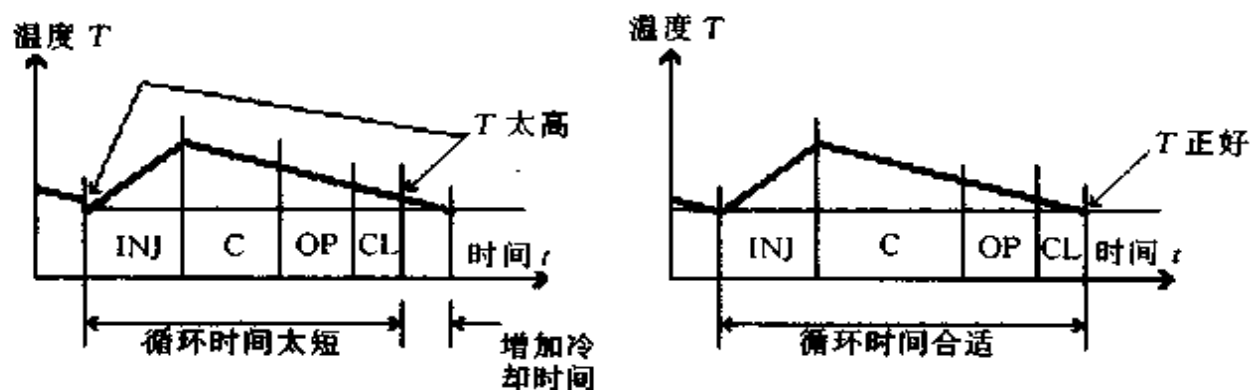


图 13-2 时间曲线图显示在循环时间末端冷却不足（左），

必须增加冷却时间（右）

INJ—注射；C—冷却；OP—打开；CL—闭合

如果循环时间太长（如在顶出开始前热量被带走的时间），模具将浪费时间并无效操作。应该减少冷却时间（图 13-3）。

为了缩短循环时间，有许多方法可供选择，如图 13-4~13-7 所示。下面将以图示举例法对这四种模塑循环情况加以描述。注意：四个例子中的冷却水温是一样的。要用到的变量有：

t ——整个循环时间；

A ——模具闭合过程时间；

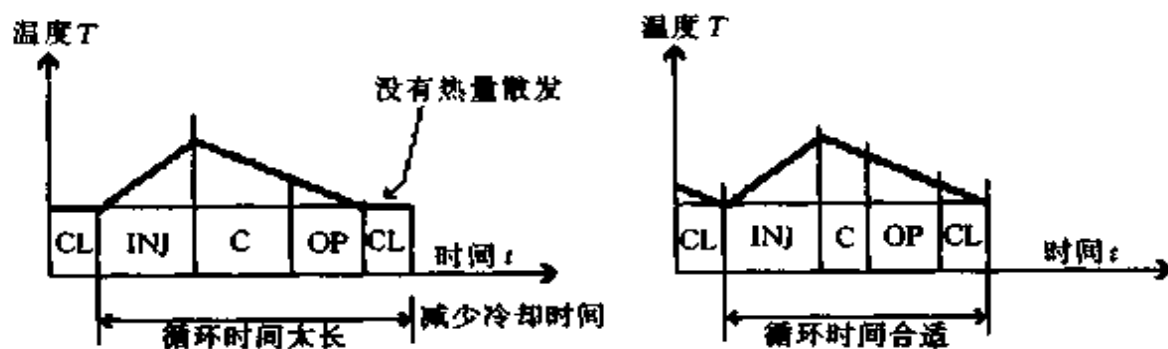


图 13-3 时间曲线图显示冷却已经提前完成 (左), 可以减少冷却时间 (右)

INJ—注射; C—冷却; OP—打开; CL—闭合

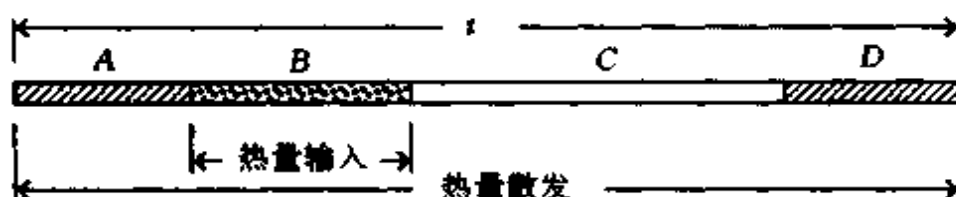


图 13-4 在低速注塑机上的典型模塑循环

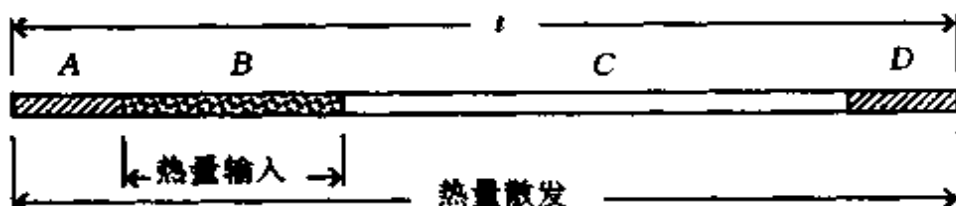


图 13-5 同一副模具使用快速注塑机的模塑循环

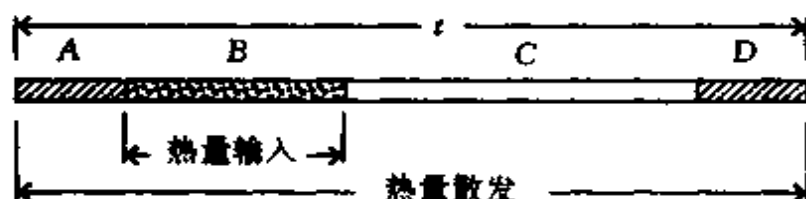


图 13-6 同一副模具提高了冷却效率的模塑循环

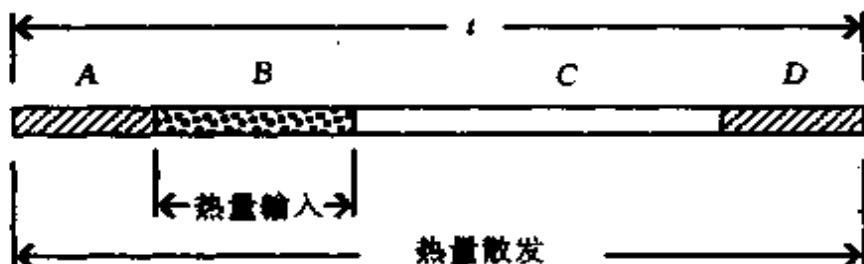


图 13-7 同一副模具使用了更好的注射装置的模塑循环

B——注射时间（热量加入）；

C——冷却时间；

D——模具打开过程和制品顶出时间。

A 取决于注塑机，即设定的合模速度。*B* 则取决于塑料原料、注塑机和模具。*C* 取决于模具（冷却布置、模具材料的选择）以及所成型的塑料。*D* 取决于注塑机的设定速度以及从模具中顶出的方法。在下列各图中，假定在模具打开过程中顶出已经完成。

图 13-4 中，*A* 和 *D* 相当长（低速注塑机），*B* 为任意选定的一段长度，*C* 也为选定的一段长度（如图示）。

图 13-5 所示的是同一副模具，但用的是较快的注塑机。*A* 和 *D* 较短，冷却时间 *C* 必须加长到能提供足够时间使其在循环时间 t 内将热量带走，循环时间 t 将保持不变。所以选择较快的注塑机并不能缩短循环时间。

图 13-6 所示的仍是同样的模具，但改进了冷却系统的布置，这里的 *C* 比图 13-5 中的要短，由于冷却效率的提高， t 缩短了。

图 13-7 中还是同样的模具，但使用了更好的注射装置，这种装置允许在较低温度下注射，因而输入的热量和所需的冷却都大大地减少了，故 *C* 和 t 缩短了。

关于上述各图的总的说明必须考虑闭模和开模时间、注塑时间和冷却时间。闭模和开模时间应控制到最小，然而开模时间受到制品（和流道，如果有的话）的顶出和清理成型区域所需时间的限制。

注射时间受注射量、塑料粘度、所用注射装置和流道系统的影响，注射量取决于要注射的塑料量。塑料量越大，注射时间就越长。

塑料的粘度及其他特性对于不同的塑料以及不同的批次来说都是不相同的。选用不同级别和（或）其他供应商提供的同种塑料可能会实现，在较低的温度下注射。

每副模具都要选用最合适的注射装置。较高的注射压力和注射速度，有助于缩短注射时间。同时设计良好的挤出机螺杆又可保证塑化得更迅速更充分。

还应选用功效最高、运行最经济的流道系统。冷流道（二板式或

三板式设计)需要的冷却时间较长,因为进入模具的材料较多(制品加上流道),因而要带走的热量就更多。此外,冷流道中塑料流所受的阻力又降低了充模时推进料流通过浇口的压力。所以,只要制品结构和模塑材料允许,经济条件也允许,应选取热流道。

由上述内容可明确地看出,当模具闭合和打开时间以及注射时间缩短之后,要想缩短整个循环时间,提高冷却系统的功效就变得相当重要了,因为相对注射时间来说只有比较短的循环时间可用于冷却(冷却与注射时间有关)。当在高速注塑机上(注射时间相当短)成型薄壁制品时这一点是很关键的。尽管这些制品通常很轻,但单位时间内的产量很高,这样的模具需要最大的冷却。

在有些实际应用中,为了与下一个循环同步,很长的冷却循环时间可用转移部分冷却时间来进行补偿。在有回转模板或转动架的注塑机上,成型制品只需要冷却到能从模腔中移出即可,而不必冷到能从模芯上顶出的程度。模芯板带着制品整体移到另一位置,另一块装着同样模芯的模板将装入模具,于是下一个成型周期开始。在模具外,模芯板上制品的冷却在下一个成型周期内仍在继续,直到它能被顶出为止。最典型的例子是用 Husky 方法进行螺帽的成型。

对于多工位注塑机来说,数套合在一起的模芯和模腔从注塑位置挪开时,又一套新的模腔和模芯会进入这一工位。在冷却周期结束时模具打开,并将制品顶出。这需要在圆周上安置多组模具,有时多达 30 多组。

这种延长冷却时间的办法经常在塑料制鞋工业中用来生产合成橡胶制品,这些制品所需的冷却时间往往是数分钟而不是数秒钟。但由于这种注塑机较复杂,且主要用于这些特殊产品的生产,所以这里就不再作过多阐述。

还有其他一些后冷却的方法,这时制品仍很热(但已可以操作),就要顶出。可以用引出装置将成型好的制品移出并放到冷却传动装置上;或者引出板本身就可以为热制品提供额外的冷却(如 PET 预制品)。其他方法则用手工(或引出装置)移出制品放在冷却(或收缩)架上。还可以让制品自由落入冷却水容器中(水槽),这种方法虽然效

率高，但需要对湿制品进行干燥。这种方法有时用来处理厚壁尼龙制品，这些制品除需要冷却外，还要吸水来增大强度。

13.3.3 热量、温度和能量的基本原理

13.3.3.1 热量

热量就是从一个热物块传递给一个冷物块的能量。温度是物块的一个特性，它决定着与其他物块接触时热量是流出还是流进的热流方向。

温差用 ΔT 表示，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。上面的原则同样可适用于冷却。从塑料上移走一些热量（把热量传递给模具和冷却介质），就可以降低塑料的温度。从塑料上传递来的热量可以使冷却介质的温度，以及模具和注塑机周围的空气温度升高。

能量是做功的能力，热量是能量的一种。

从一个位置流动到另一个位置热量的大小 (q) 正比于：① ΔT ；② 热导率；③ 热量流过的横截面积 (A)；而反比于流动距离 (L)。这可用下面的公式来表述 (f 意思是“正比于”)：

$$q = f \frac{A\Delta T}{L} \quad (13-1)$$

在模具中，热量由塑料流进模具，然后由模具流进冷却介质中，只有很小一部分进入空气和注塑机的压板。

13.3.3.2 温差

模具设计者必须考虑三个 ΔT ：塑料由注射到顶出的 ΔT ，冷却介质进入模具和离开模具时的 ΔT ，冷却时塑料与冷却介质间的 ΔT 。

塑料由注射到顶出的 ΔT 取决于（看 13.1 节）制品的形状和成型条件。举例来说，截面或通道很小就需要塑料加热到较高的温度来降低粘度，以使塑料更易流动。

冷却介质流过模具，吸收热量，温度升高，这就产生冷却介质从“进”到“出”的 ΔT 。对于许多“通用”模具来说，这个 ΔT 要控制在不超过 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ 。如果 ΔT 太大，就会引起模具冷却不均匀，同时也延长了成型周期。

高产量的模具（如生产瓶坯的模具），这个 ΔT 就要控制在 3°C 以

下,更好一些控制在 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 之间。这应严格考虑,因为要获得这样小的 ΔT ,要求有大量的冷却介质均匀地流过模具。维持这种流动的能量及所需的泵和管道的费用,可能超出所能获得的利润。特定的应用情况,特别是要求高生产量的情况,如生产瓶坯,就必须进行细致的分析,并应借助计算机进行模拟。

最后塑料和冷却介质之间的 ΔT 也必须考虑到。塑料与冷却介质之间的 ΔT 越大,在一定时间内流走的能量就越多。所以,如果温差大,塑料就会比温差小时冷却得快。一旦塑料冷却下来了,这个 ΔT 将会越来越小,实际应用时,这点可不考虑。

13.3.3.3 热导率

热导率是材料将热量由热的地方向冷的地方传导的速率的度量。不同材料的热导率是不同的,它们的实际值可在参考书上查到。模具设计者要考虑塑料和模具材料的热导率。

塑料一般是热的不良导体,不同塑料的导热情况可能有很大差别。然而在大多数情况下,我们可以忽略这种差别。

重要的是模具设计者必须意识到,接触模腔的塑料层比模具材料的热导率要低得多。这层塑料构成了塑料主体与冷的模具钢之间的隔热层。这比模具温度、模腔材料对冷却速率的影响要大得多。对于厚壁制品或有孤立区的制品(孤立区较厚且不能进行适当的冷却)的模具设计,考虑这一点至关重要。

模具材料的热导率同样很重要。由于实际的原因(成本、强度、耐磨性、易切削加工性),模具一般都用钢材来制造。用于模具制造的不同合金钢的热导率是不同的。但除非在特殊的应用场合,这种差别并不重要。

作为一种典型,薄壁制品是一个特殊的应用情况。因为塑料太薄,在冷却时其隔热效应(上文所述)就变得微不足道了。这样有效地将热量从模腔壁上带走就变得很重要。这可能意味着要引进比钢材的热导率更高的模具材料,如铍-铜合金。这样,冷却管道的数量和尺寸必须比原先通常认为已经足够的情况有所增长,或者冷却管道要布置得比原先通常布置的情况更贴近成型表面。这些解决办法都会增加模具

的成本，但是可以大大提高生产率。

13.3.3.4 热焓

任何材料温度的升高，都需要一定数量热量（能量）的注入。升高相同的温度所需注入的热量对不同材料来说是不同的。要使塑料达到成型温度，就要对它注入一定的热量。热焓伴随着塑料进入模腔，为使塑料回复坚硬状态以便顶出，这些热量还需要从塑料上移走。

热量通过模腔壁向外散发，主要进入冷却介质——其他一部分辐射到空气中去了，一部分传导到注塑机本身。出于实用，后两项可忽略不计，我们仅考虑冷却介质。

设计者对上述情况必须有清楚地了解。举例来说，对于很少运转，运转一次也仅生产几件样品的试制模具来说，可能就不需要任何冷却，因为注射的塑料实体（及其热焓）与使模具实体热起来所需的热量相比，已显得微不足道。

在这一点上我们应该明白，熔化塑料所需的热量与要熔化的塑料质量成正比。由于冷却从已成型的塑料上带走的热量应等于注入到塑料中的热量。这里假定了原材料的温度和顶出的制品温度是相同的。但大多数情况下，制品在相当热时就被顶出，因而它还包含着塑化时所加入的一部分热量，这些热量将辐射到工厂周围的空气中去。

设计者还要认识到非晶态塑料（如 PS、乙烯基树脂、ABS 等）温度的升高（和开始熔化）与所加热量成正比；温度的下降与冷却介质带走的热量成正比（图 13-8）。结晶型塑料（如 PE、尼龙、PET 等），在达到一定温度时，需要一定的热量来熔化晶体，而塑料的温度不会升高。只有在晶体完全熔化，成了非晶态塑料后，温度的增高才与所加热量成正比（图 13-8）

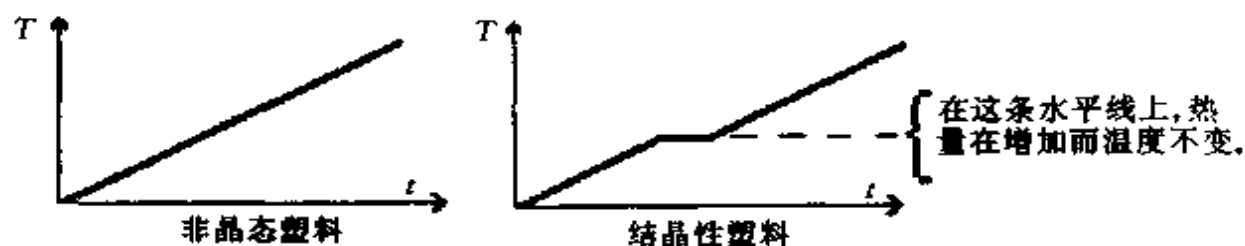


图 13-8 非晶态塑料（左）和结晶型塑料（右）温度升高对时间的曲线

冷却过程也类似。冷却经过塑料的结晶区时，热量释放，但塑料温度保持不变。只有过了结晶区，塑料才能进一步地冷却。对于实际情况来说，这意味着熔化一定量的结晶材料比熔化同量非晶态材料所需加入的热量（能量）多，因此，结晶材料冷却时需移走的热量（能量）也多。

13.3.3.5 冷却水的流动

影响冷却水从模具中流过的因素很多。从模具上要带走的热量正比于塑料与冷却水的温差 ΔT 。只有被加热的冷却水流走，并有新的冷却水流入，模具才会被冷却。因此，我们主要考虑冷却水的流动及其影响因素。

一般来说，下列因素影响冷却水的流动：

- ①进水管与出水管间的压力差 (ΔP)；
- ②水道横截面积；
- ③水道长度及其设计布局；
- ④冷却介质的粘度；
- ⑤冷却管道的状况；
- ⑥雷诺数。

(1) 供水管与出水管压力 基本上两者间存在着压力差 ΔP 。出水管压力一般稍微高于大气压强——只要足以保证冷却水流回水源（蓄水池）。通常模具入口的供水压力为 0.49~0.58MPa。压力越高，水的流动越好（这是理想的），但出于实际原因，工厂采用这样的压力范围。

(2) 水道横截面积 很容易理解，大横截面管道与小横截面管道相比，可以使更多的液体通过。流动速率大致与水道直径的平方成正比，也就是说 $\Phi 10\text{mm}$ 水道的流量大致是 $\Phi 5\text{mm}$ 水道的 4 倍 ($10^2 = 4 \times 5^2$)。

布置水道时，考虑这些因素很重要。设计者和模塑工主要考虑带走模腔和模芯附近的热量所需要的冷却水量。需要冷却的地方必须供给足够的冷却水，并且冷却水要均匀分布。如果有些地方供水不足就会在模具内出现热点或冷却不均的现象。

(3) 冷却管路 流动长度的作用是线性的，就是说，流动的阻力

与水管长度成正比。然而，除极少数情况外，长度的影响可以忽略。因为，除非是在特别大的模具中，一般来说，一个模具水管的总长度并不大。在冷却管路交汇处发生的流动方向的改变增加了流动阻力，从而减缓了冷却水的流动。“当量长度”是指，例如 90° 弯曲的流动（最普通的）相当于一定长度的直流路径。当量长度取决于水管直径和水的流量。切记，流动方向变化很少有利于冷却水的流动，特别是对小横截面的水管，更应该注意这一点。

(4) 冷却介质粘度 尽管从理论上来说冷却介质的粘度会影响其流动，特别在含有高比例防冻剂或其他添加剂时，但实用时其影响可以忽略。

(5) 冷却管道的状况 冷却管道上的污垢和污染会严重影响冷却效率。很容易理解，这些沉积物会对冷却系统的作用构成双重不利影响：首先，沉积物减小了水道的横截面积，因而减缓了冷却介质的流动；其次，一般来说沉积物的热导率比模具材料低得多，从而减少了从塑料传递给冷却介质的热量。在使用小冷却管道（圆的或扁的）时，这一点尤为重要。这些小水道应设计成可以不时进行清理的结构。

(6) 雷诺数 Re 不涉及理论来说，这个（无量纲）数是水道中液体速度、水道直径、单位密度和单位粘度的冷却介质对冷却效果影响的度量。研究发现，当雷诺数超过 3200 时，由水道壁向冷却介质的热传递效果可得到很大改善。低于 3200，我们称之为层流；高于 4000，称之为紊流。很多计算机程序运算结果所推荐的理想的雷诺数是 $Re > 4000$ ， $Re > 10\ 000$ 则更好。

在示意图中（图 13-9），可看出在层流中只有贴着水道壁的冷却介质可将热量带走，而其余的流体只是流过水道。在紊流中，由于涡流作用使得冷却介质都参与了冷却。

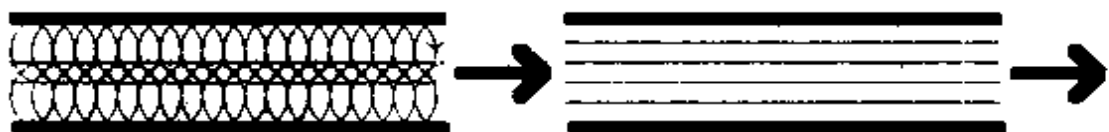


图 13-9 紊流（左）和层流（右）冷却示意图

雷诺数间接受水道表面状态的影响。表面越粗糙，雷诺数就越高，这是产生良好冷却效果所希望的。然而，这种粗糙表面也会助长腐蚀和利于沉积物的滞留。一般地，冷却水孔应采用钻削加工，并且最好用一层镀层来防腐，如化学镀 Ni 处理 (ENP)，或者选用不锈钢模具零件以达到防腐的目的。

模腔和模芯以及镶件上的冷却管道都必须产生紊流状态。在大直径的水道内，流动可能成为层流，但这些大直径水道主要是用来为实际的冷却管道分配冷却介质，实际冷却的水管小得多，可以提供所需的紊流。

13.3.4 流道系统

热流道或冷流道系统对模具的冷却产生不同的影响。在冷流道系统中，从注塑机注嘴（或从热注道）到模腔的塑料，必须以类似于所成型制品的冷却方式进行冷却。这样一来冷流道可以同所成型制品一起被顶出。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。然而，这些模板也要避免过度冷却以保证在冷流道凝固之前，塑料能够充满模腔。必须在冷流道尺寸（它影响流进模腔的塑料流量）和冷流道周围冷却量（它主要取决于冷流道的塑料量）之间找到适当的平衡。

一般来说，冷流道在能满足适当充模和保证流道能正常顶出的情况下，应尽可能地小。这也降低了冷流道周围模板冷却的复杂性。

在热流道系统中，从注塑机注嘴到模腔之间的塑料都保持热态（熔融态）。包括塑料流道的歧管系统，必须保持在一定温度下，使塑料在到达模腔的路途中既不损失也不获得任何热量。因为歧管和相关的热流道部件都是由周围的模板夹持的，只要有一些热量跑到模板上，都会使模板升温。这样一来就使这些模板必须进行冷却。热流道系统设计得越好，散失的热量就越少，但散失的热量怎么也不会小到可以忽略的程度。

13.3.5 模套的温度

设计者必须考虑对组成模具的所有模板进行恰当的冷却，这些模板的功用就是用来支撑和固定模腔和模芯、容纳流道系统（冷的和热

的)和顶出机构,包括侧型芯机构等,并提供正确的定位。

正如前面所讲,模具上的大部分热量是通过对模腔和模芯的冷却而移走的,但一部分热量却传递到了支撑模腔和模芯的模板上,特别是热流道部件周围的那些模板,还有一部分传递到了注塑机的压板上,从那儿又辐射到工厂的空气中。

两个半模必须保持基本相同的温度,它们之间如存在温差,将会严重影响导柱和导套或锥体锁定装置的定位,从而造成这些部件或模具本身的快速磨损。(欲知详情,请参见第14.4节的举例)。

在很多情况下,模腔、模芯冷却水的供水管路往往钻在模板上,为这些模板提供了一定的自然冷却。但如果冷却水是直接供给模腔的(通过软管),且导柱及导套安装在未冷却的模板上,设计者必须保证这时两个半模间没有过大的温差。

有时模腔和模芯间不可避免地存在温差。典型的例子就是设计和制造注吹模具时,对模芯加热来保证在吹塑前型坯处于热态,而对注塑模腔和吹塑模腔却要进行冷却。除了对各个模板(出于定位的要求)要进行良好的冷却外,加热部件的支承和安装必须进行很好地隔热处理,以减小其向冷模板的热散失。

13.4 冷却通道的设计

13.4.1 钻孔通道与其他通道以及模壁间的距离

关于钻孔通道间的距离没有固定的规则可循,只是利用一般常识。以下几点实用的建议会有所帮助。

13.4.1.1 钻孔长度

钻孔越长,钻孔偏斜就越大。这里我们建议,在钻长孔时,所钻的孔离其他的开口至少应有6mm的间距;对于短孔($L \leq 6D$)来说,这一间距有4~5mm就足够了。使用枪钻可以很大程度上减小钻头的偏斜。

出于强度方面的考虑,间距不宜太近,特别在淬硬钢中更是如此。如果截面上的 X 太小,如图13-10(A)~(C),成型过程中所产生的应力可能会相当高,孔内的腐蚀可能会造成应力集中点和钢材裂纹

(可以参阅第十八章)。而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。

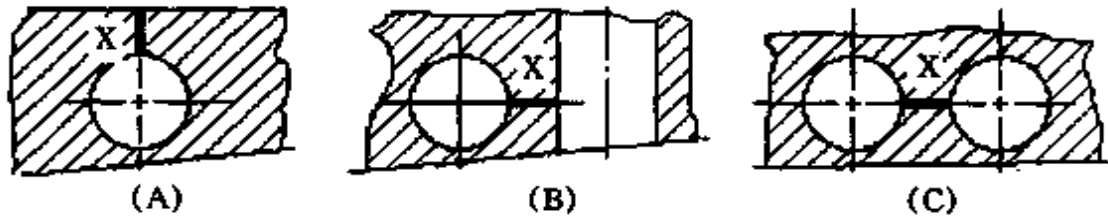


图 13-10 截面图表示

(A) 钻孔和模壁；(B) 钻孔和其他管道；(C) 两个钻孔 之间的距离 X

13.4.1.2 钻头尺寸

使用标准的、通用的钻头尺寸。

13.4.1.3 配合尺寸

在孔端部用标准的配合尺寸；设计者可以考虑采用国家标准的管螺纹 (NPT) 与配件，或 O 型圈螺纹与配件。

(1) 管螺纹及其配件 对于直管件接头，其与障碍间的最小距离由紧固管接头和软管配件的扳手大小来定。这两个扳手不一定是一样大小。对于弯管接头，要考虑将其拧进模具零件时所需的转动空间。对于插接形管接头，就没有这种问题。

我们必须注意，管螺纹的外径要比钻孔孔径大。在紧固时施加很大力的情况下，由于加工螺纹时所产生的缺口和插接接头的插入动作的共同作用，如果钻孔周围没有足够的基体材料，该力将会将钢材撕裂，如图 13-11 (A)。

为了提高密封的质量，在攻丝前，孔的管螺纹部分应进行锥形铰孔，螺纹孔的尺寸大时更应如此。标准的锥度是每边约为 3.5° ，如图 13-11 (B)。

(2) O 型圈配件 有时用 O 型圈配件来代替锥管配件。这种配件比较昂贵，钻孔和槽形加工成本因为更高的精度要求也偏高。但这种配件至少有两个优点。

① 因为螺纹不带锥度，紧固时就很少有插入的动作，所以孔的位置可以离模壁或其他孔更近。

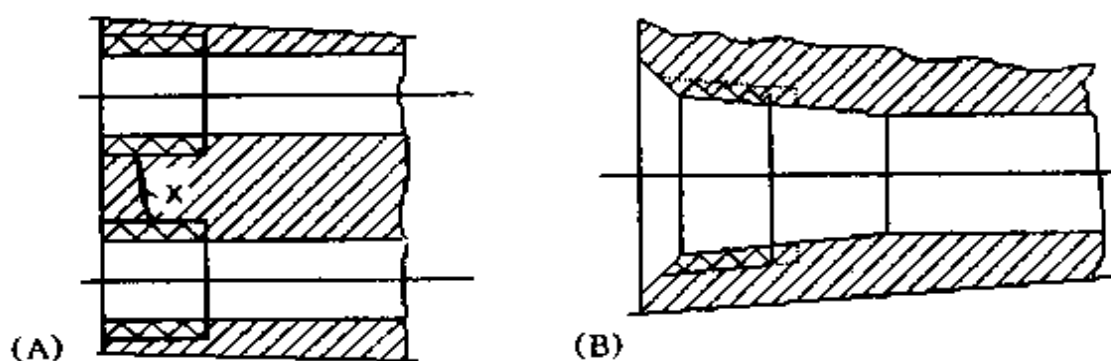


图 13-11 管螺纹

(A) 管螺纹间的距离至为重要；(B) 大尺寸的螺纹孔应进行锥形铰孔

②很少会漏水，特别是在振动的情况下，如将软管接到运动的滑板上等。

这种配件在液压（油压）歧管上很常见，但在冷却连接上很少用到，一般来说，这种方法不推荐。

13.4.1.4 冷却通道间的距离

冷却通道离成型表面的距离和冷却通道彼此间的距离必须加以考

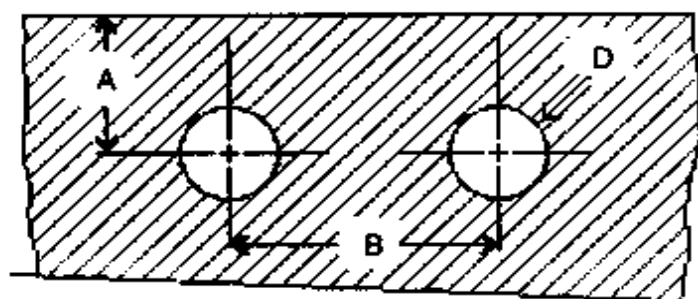


图 13-12 冷却通道的截面图

A—为通道离成型表面的距离；

B—为通道彼此间的距离

虑（图 13-12）。有关这一方面的建议是以理论为基础，以产生最佳的近乎均匀的表面温度为目的。然而，这里提供的距离公式在很多情况下不适用，但应该明白冷却通道离表面越近，接近冷却通道的表面的冷却效果就更好，而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，但冷却通道的增加会增加模具的成本，并且对冷却介质流量的需求（可能不需要）会更大。

推荐的距离为 $B \approx 2.5 \sim 3.5D$ 以及 $A \approx 0.8 \sim 1.5B$ 。

13.4.1.5 模具材料的强度

模腔（或模板）必须承受注射时塑料产生的各种力。这些力非常大，可达到 137.3MPa，在薄壁成型时，可能会更高。此外，这些力是

周期性的（即在每个成型周期内，它们的变化是 $0 \rightarrow \text{最大} \rightarrow 0$ ）。

在循环力的作用下，钢中安全的许用应力必须控制在模具材料屈服应力的 10% 以下。如果遵循图 13-13 给出的推荐数值（对钢），就不再需要计算应力。而对于其他材料和其他比例，必须计算应力以避免不希望出现的情况发生，诸如产生塌陷或表面裂纹。

在图 13-13 (A) 中，推荐尺寸为 $S \geq L$ 且 $A \geq 0.66L$ 。注意，这是适用于矩形通道的。如图 13-13 (B) 所示的圆形通道的结构相当坚固， S 可小到 $0.6L$ 。

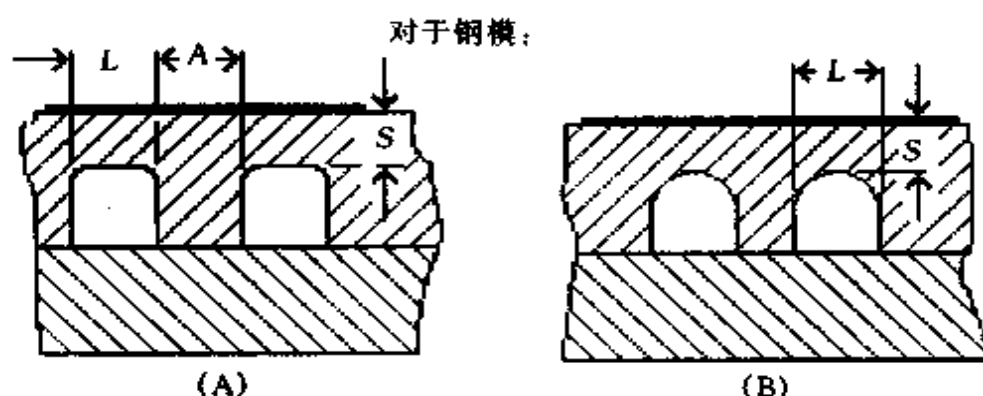


图 13-13 钢模中冷却通道的推荐尺寸
(A) 方形通道横截面；(B) 圆形通道横截面

13.4.1.6 冷却通道的效率

图 13-14 (A) 和 (B) 中的冷却通道的横截面积以及离成型制品的距离都相等，然而，图 13-14 (A) 中的有效冷却表面（图中粗线所示）却大约是图 13-14 (B) 中有效冷却表面的 3 倍。原因在于：

- ① A 中靠近成型面的冷却通道表面约是 B 的 3 倍；

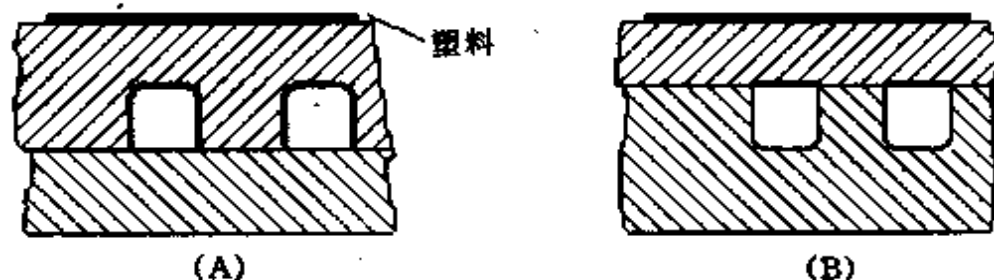


图 13-14 通道相同以及与成型制品的距离相等的情况下不同的截面图
(A) 在模腔中有 3 倍于 B 的冷却通道表面积；(B) 通道只有一边与模腔接触

②B 通道只有一边直接与模腔钢材相接触，并且热量要穿过模腔钢材与下面模板的接触区。此接触区域的热导率即使在最理想情况下（干净的金属，加载状况下）也只有整体模板的 50%。一般来讲，这意味着冷却通道应尽可能设在与塑料接触的模具零件中，而不设在与之相邻的模板中。

13.4.2 模板中的冷却设计及尺寸确定

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。热量源在哪里？由于对模腔和模芯的供水流经模板，是不是已能产生充分冷却？

如果模腔和模芯仅是通过相邻的模板的接触来冷却的话，这样的模板（通常是托模板）必须得到良好地冷却，并与模腔或模芯保持良好接触。模芯或模腔在装入模板时，与模板的接触必须由足够数量的固定螺丝或紧配合来保证，或两种方法同时采用。

模板冷却应考虑的其他方面：

- ①布局简单；
- ②对称性；
- ③保证均匀冷却所需的冷却回路数。

通常模板的冷却体现了下列各方面的综合考虑：

- ①模板尺寸和注塑机上可用空间；
- ②模板上所用螺丝的大小与数量；
- ③导柱和导套的位置和尺寸；
- ④最佳冷却效果；
- ⑤成本。

13.4.2.1 模板尺寸和注塑机上可用空间

冷却设计尺寸常因注塑机压板的尺寸和拉杆的位置而受限制。这一点在决定冷却管路的进出口位置时很重要。

13.4.2.2 螺丝的大小和数量

将各模板连成一体以及固定模腔和模芯的螺丝的大小和数量取决于如下几个力：开模力和热膨胀造成的扭曲变形力。开模时，将模腔和模芯拉开（特别是在充模过度时）的拉力可能相当大，这种情况最

典型的是发生在成型深的制品时，比如脱模角很小的容器。

热膨胀造成的扭曲往往发生在大模板以及大而平整的模腔和模芯上，所以应采用数量足够、布局合理的螺丝来防止（由于模板的扭曲变形而导致的）模板（或模腔）的分开以及冷却回路的渗漏。

在这个区域无需作综合考虑。模板不分开、不出现渗漏，模具就能正常运行。可通过估算模板的分开力来确定螺栓的强度。

13.4.2.3 导柱和导套的位置和尺寸

导柱和导套的选择与模具冷却无关，但它们的位置会影响冷却系统的设计布局。

13.4.2.4 最佳冷却

由于上述基本原则中所概括的可能的限制条件和其他可能的限制条件，理想的冷却是不可能实现的。但富有创意的设计者可以设计出提供最佳状态的冷却布局（回路）。

13.4.2.5 成本

很明显，成本受冷却回路复杂性的影响。正如引言所指出的，所有的设计参数都必须考虑它所能提供的冷却质量与其所耗成本。

就上述各点而言，如何进行综合考虑，这就是设计人员的责任。

13.4.3 串联冷却和并联冷却

冷却介质像任何液体一样，总是沿阻力最小的方向流动。图 13-15 所示是一个典型的串联冷却布局。这种流动仅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。因

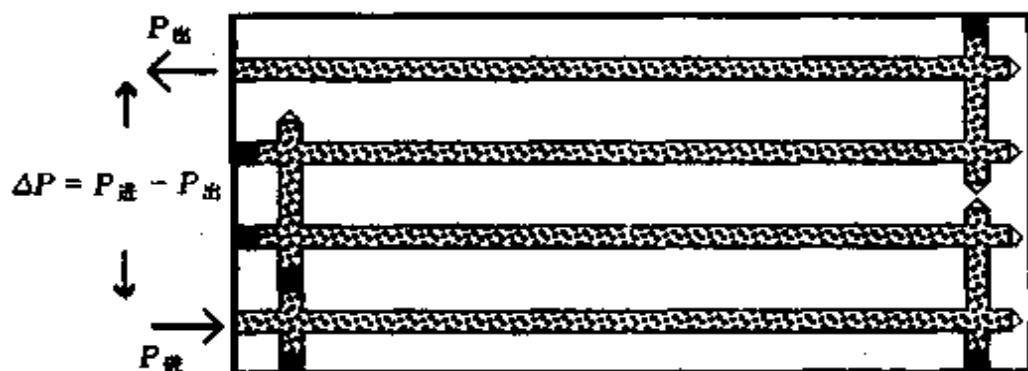


图 13-15 典型的冷却通道串联布局

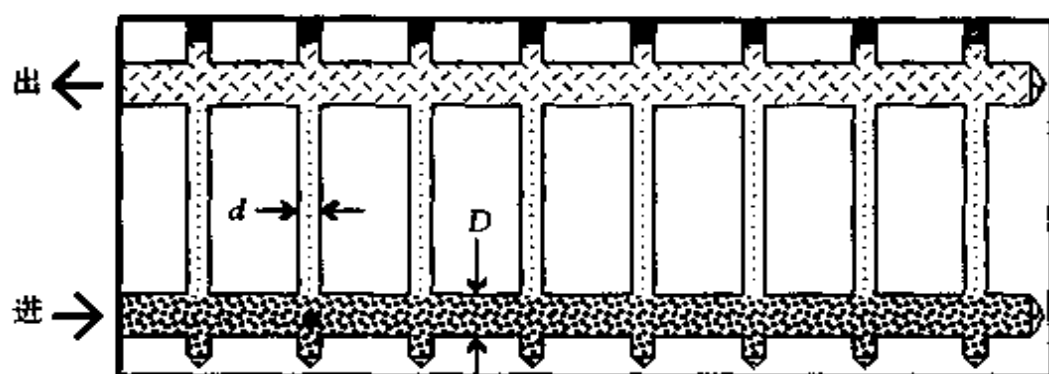


图 13-16 典型的冷却通道并联布局

而，入口附近（热塑料与冷金属间存在较大的 ΔT ）的冷却效率比出口（此处冷却介质已较热）附近的高得多。这就是为什么要建议进出口间的最大温差要保持在 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$ 以下的原因。

对于冷却通道的并联布局来说，如图 13-16，有一点很重要，就是要求进出通道的横截面 (D) 要比并联支管横截面 (d) 的总和还要大。如果 d 与 D 一样大，冷却介质就会抄捷径，从第一个支管直接流向出口，使模板的其余部分得不到冷却。

记住，冷却效率不仅取决于 ΔT ，而且还取决于流过每个通道的冷却介质的多少以及冷却介质所能接触的面积。冷却介质的多少又取决于通道的横截面积。如果是圆形通道，则它与 d^2 成正比。

接触面积与 d 成正比。换句话说，就是所冷却的面积只随直径增大而增大，而通道的截面积（即流量）是随直径平方的增大而增大的。例如，通道直径扩大一倍，流量会增加到原来的 4 倍（近似），但接触面积只会增加 1 倍。这就是为什么在流经系统的冷却介质流量相同的情况下，许多小通道的总冷却效率要比少数几个大通道的效率好的一个原因（见雷诺数一节）。通道（钻孔）尺寸的选择还要考虑尽可能采用标准钻头尺寸的要求。

图 13-17 所示是并联-串联混合型冷却管路布局的示意图，并给出了一种计算各支管相对尺寸的相当简单的方法。在此例中，支管的数目 N_1 、 N_2 、 N_3 分别是 1、2、6，其直径分别是 D_1 、 D_2 、 D_3 。为了求得两个较小通路的直径 D_2 、 D_3 的近似值，可用下面的公式：

$$D_2 = \sqrt{\frac{D_1^2}{N_2}} \quad D_3 = \sqrt{\frac{D_1^2}{N_2 N_3}} \quad (13-2)$$

式中 D_1 = 入水管直径, 且 $12\text{mm} < D_1 < 50\text{mm}$ 。为了便于加工, D_2 、 D_3 应最好大于 6mm。

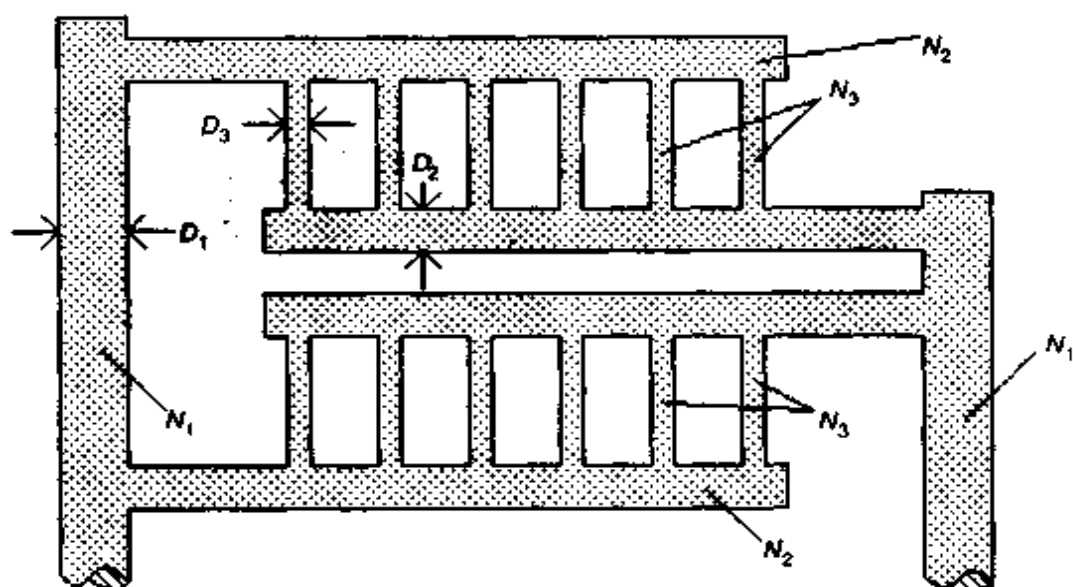


图 13-17 并联-串联混合型冷却通路布局示意图

并联-串联混合型冷却在很多模具上都有应用。例如, 所有模板可能都用串联冷却, 但模腔和模芯可能采用串联冷却和 (或) 并联冷却。采取何种冷却往往取决于以下几方面:

- ①所要求的冷却质量;
- ②可用的空间;
- ③模具材料的强度;
- ④注塑机上能提供的冷却回路数量;
- ⑤简化安装对冷却回路的数量要求。

13.4.3.1 模板中的导流塞

冷却通道通常采用钻孔或镗孔的方法加工的, 因此其截面为圆形, 通道的入口处一般装上管接头或用塞子堵上。

模板中为了形成冷却剂的流动路径, 钻孔往往要相交, 这往往出现在同一钻孔平面上。但在某些情况下, 常需将钻孔中心线进行偏移。重要的是要保证从一个孔到另一个孔的通道不对流动产生限制, 并保

证除去偏心交汇处的钻孔毛刺。

图 13-18 所示的是典型的模板（局部图）端部：孔端堵上塞子，导流塞引导着流动方向。图中所示的导流塞安置方法是最常用的。导流塞通过销子或螺丝紧固在一根杆上，或直接焊到上面去。杆是用来保证导流塞处于正确位置的。这种方法费用低廉，并且标准化的市售配件都可以买到。

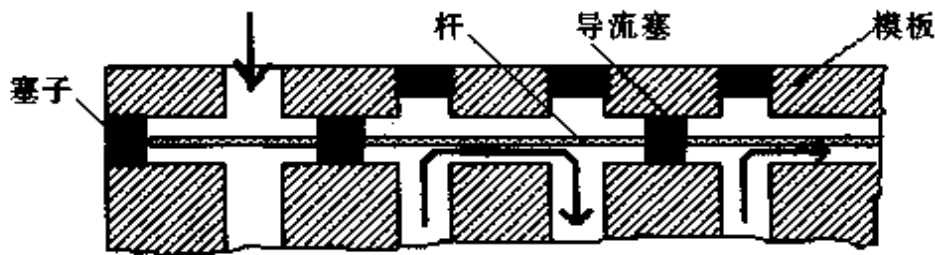


图 13-18 典型的模板导流塞安装

但这种方法的缺点在于它们往孔内安装时必须很松，才能安装上。而模具用了一段时间后，孔的表面会逐渐地被沉积物和铁锈覆盖，导流塞又很难抽出进行清理。

图 13-19 所示的是导流塞的另一种安装方法，它不存在上述的抽出问题。导流塞所处的位置是其中心线与冷却通道的中心线大致相交处，只要导流塞的直径和长度选得比通道的直径略大，就可以完全阻住流动。导流塞上的螺纹孔便于其取出。模板的侧面装一个塞子切断了导流塞与外面的连通，因而消除了潜在的渗漏。

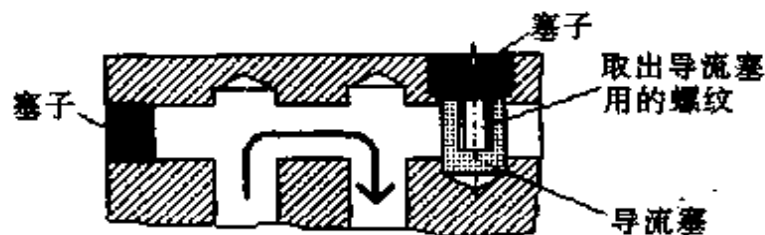


图 13-19 导流塞中心线与通道中心线相交阻止流动

图 13-20 所示的是图 13-19 的一个变形，在模板厚度不够用来加工管螺纹或拧塞子时，就采用这种方法。导流塞直径比要堵的孔的直径略大，且其端部至少要超过 1mm 的水孔，插塞子的孔必须光滑，入口的倒角是安装时对 O 型圈起保护作用的。

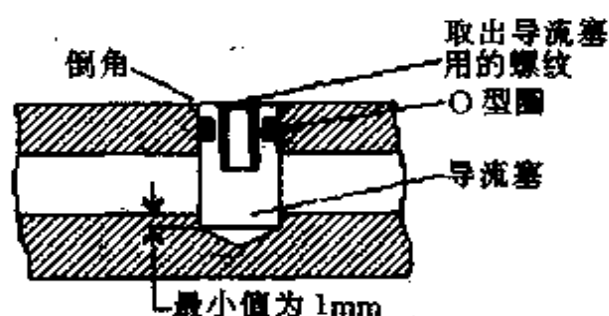


图 13-20 在螺纹塞不适用的地方使用 O 型圈和入口倒角安装的导流塞变形

在图 13-19 和图 13-20 中，导流塞与其所在的孔的配合必须是滑动配合 ($h6H7$)，以保证塞子容易取出。这两种方法的费用要比杆和导流塞方法稍微贵一些，但在不想使用或不能使用杆和导流塞的情况下，常用这两种方法（可参看第 22.13 节关于模具的钻孔）。

图 13-21 所示是为了避免装导流塞，实际常采用的从模板两侧钻孔的方法。然而，只有在还要从模板两侧钻其他一些孔时，才用这种方法，这样省下来的额外的机器装夹时间，要比一个导流塞值钱得多。

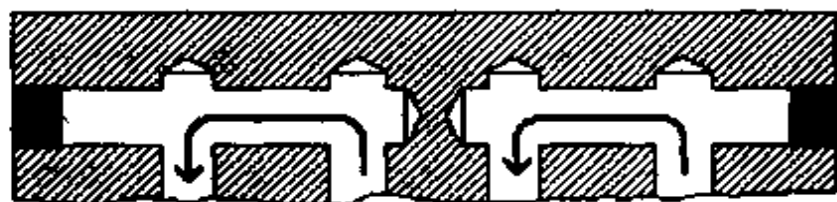


图 13-21 为了避免装导流塞而从模板两侧钻孔

图 13-22 所示是当冷却管路穿过孔洞（如安装导柱或导套的孔）时，钻孔的处理情况。冷却水孔的中心线并不绝对要与孔洞的中心线（图示情况是导套的孔）相交。示意图中已有了明确的解释，但必须记住，设计中要应用有关冷却介质流动和模具材料强度的所有规则。

图 13-23 所示是有时用来绕过障碍物（导柱等）所采用的方法。因为这种方法需要额外进行钻孔。

平底扩孔和斜角攻丝，要比直角 (90°) 钻孔贵得多，除非没有其他解决办法可用时才采用。

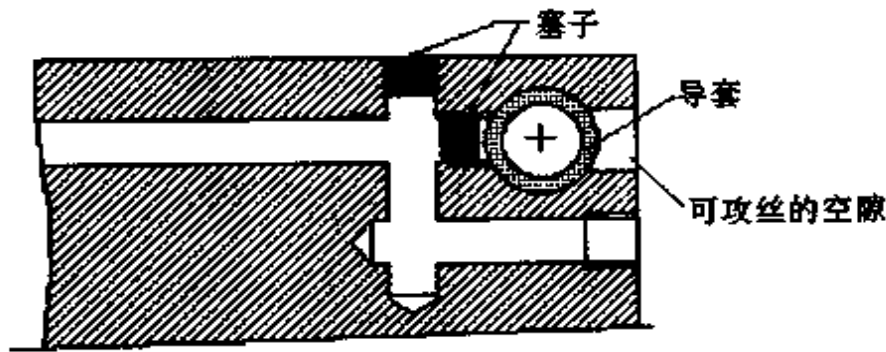


图 13-22 冷却通道穿过一个导套的孔

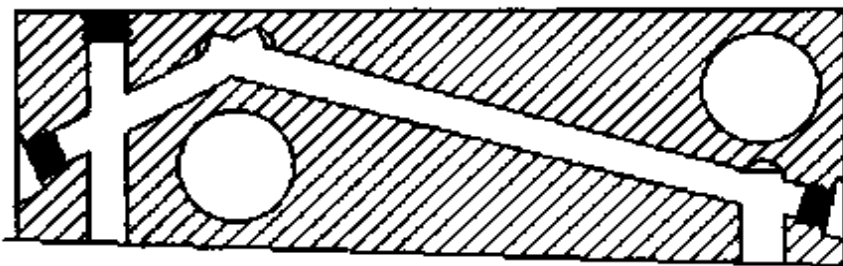


图 13-23 冷却通道绕过模板上的障碍物

13.4.4 三板式模具中的流道与模腔板

这种模板的冷却属于特殊情况，因为这种模板里既含有流道（到模腔去的下沉式流道）又有模腔。流道和下沉流道的冷却要和模塑制品的冷却一样快，以免延误顶出。这一点很重要，因为在大多数情况下，下沉流道比制品的壁要厚，因而冷却较慢。此外，在吸料销的头部燕尾周围有一大块塑料（吸料销是用来吸住流道和下沉流道的），如果这个区域不能很好冷却，成型周期将取决于流道的冷却而不是取决于制品的冷却。

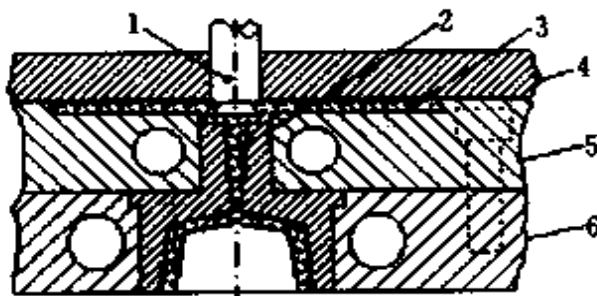


图 13-24 三板式模具部分截面，模腔固定板和流道的冷却通路设置

- 1—吸料销；2—下沉流道；3—流道；
4—流道脱模板；5—流道模板；
6—模腔固定板

如果这个区域不能很好冷却，成型周期将取决于流道的冷却而不是取决于制品的冷却。

图 13-24 表示三板式模具的部分截面，有分开的流道和模腔固定板。如图所示，流道模板必须进行冷却，特别是在下沉流道周围。

图 13-25 所示的情况与图 13-24 的布置相似，不同的是这里模腔

与流道在一块模板上。设计者应在实际允许的情况下尽可能使冷却通道靠近下沉流道，以保证该区域的良好冷却。这种设计用在相对便宜的模具上，短期运行，且不打算更换或维修。而在制品的形状不允许使用镶件时，也可采用这种设计。

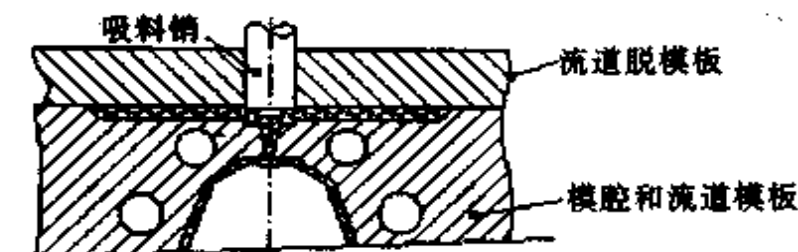


图 13-25 三板式模具部分截面，模腔和流道在一块模板上冷却通路的设置

图 13-26 所示的是扁平制品的成型。保证制品两侧都同等良好冷却是很重要的。如果采用模腔和模芯镶件，因为有不平衡或不均等的热膨胀，必须保证镶件和模板都得到良好冷却。

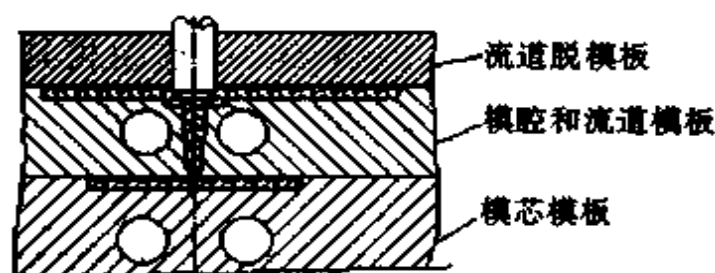


图 13-26 显示扁平制品模具中模芯模板以及模腔和流道模板的冷却通道的部分截面

所有模板的热膨胀都要考虑到。导柱通常装在未加冷却的垫模板上。因而要对模腔和流道模板提供足够的冷却以保证模板不发生膨胀，从而保证在开模、合模时导柱不受制约。如果这些模板得不到足够冷却，就必须对垫模板进行冷却，如图 13-27 所示。

吸料销固定板和流道脱模板应尽可能设计得薄些（由于模具的闭合高度、重量和成本的要求），通常不进行冷却。如果垫模板旁有一个热流道歧管，则垫模板应该冷却。

13.4.5 与模塑制品直接接触的模具部件内的冷却通道尺寸布置
可以采用的模具结构种类是无限的，这要取决于制品的形状、尺

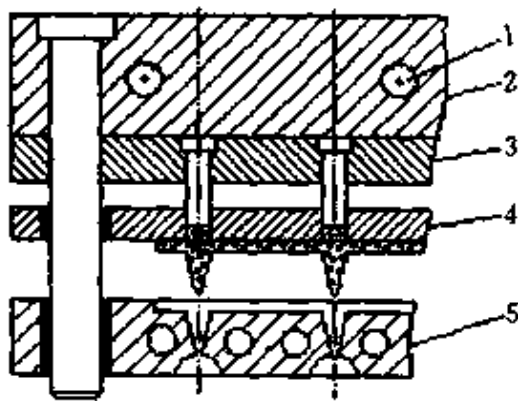


图 13-27 显示除了模腔和流道模板之外的垫板冷却通道的模具部分截面
1—垫板冷却；2—垫板；3—吸料销固定板；4—流道脱模板；5—模腔和流道模板

寸、塑料、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。

根据模塑制品的形状，可将模具分成最基本的三组。

①扁平制品如图 13-28(A)。两侧(模腔与模芯)形状近似，这组模具的典型制品有唱片、光碟、托盘、盖子、试片等。

②杯形制品如图 13-28(B)。这组代表了模具中的大多数。模腔凹入，模芯伸进模腔。这组模腔的典型制品有杯子、水桶、瓶盖、瓶坯、磁带盒等许多。

③扁平-杯形复合制品如图 13-28(C)。这组模具的制品为了冷却，结合了上两组的特性，其典型制品往往是一些“技术”用品、线圈轴及有凸壳的盘子等。

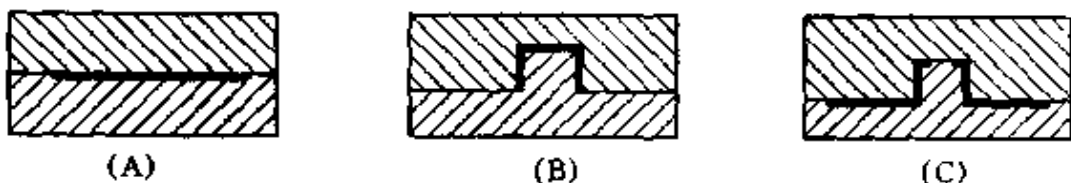


图 13-28 制品的典型形状

(A) 扁平形；(B) 杯形；(C) 扁平形和杯形的结合

前两组将作详细的介绍，以突出表明适当冷却的特性。有关讨论内容同样也适用于第三组。请注意所有的基本原则在模腔、模芯、浇口套等部件中都同等适用。

13.4.5.1 塑料的压缩率与收缩率

在进行详细讨论之前，必须弄清这两个特性。在第八章收缩中，对这两个特性已作了详细解释，这里就不再赘述。

在热塑料进入模腔时，它是热的(膨胀的)并承受着一定程度的

高压力（被压缩）。当注射停止，塑料冷却下来，它就收缩到原先的较小的冷态体积；但同时压力也减小了，塑料的体积又有所胀大。

通常在这两种影响因素中，收缩的影响较大，结果是在冷却时，塑料与模腔壁脱离接触，但仍紧贴着模芯，好像在模芯上收缩一样。这种状态对模塑制品的冷却有很大影响。

参照上面的图 13-28(A)，可看出扁平形制品在各个方向均可自由收缩。如果制品厚度相当小，收缩与压缩对与模腔、模芯相接触的扁平表面的影响也会很小，扁平形制品两面的冷却效率也就会趋于相同。但在收缩时制品的长度（或直径）将会减小。

设计扁平形制品的冷却时，制品两面得到同等良好的冷却是很重要的。这可从图 13-29 中看出来，它表示扁平形制品一面冷却较差的情况。为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时就立即进行顶出。在这种情况下，冷却效果差的一面要比另外一面更热些，当制品在模具外冷却时，温度较高的一面继续进行收缩，使制品发生翘曲。

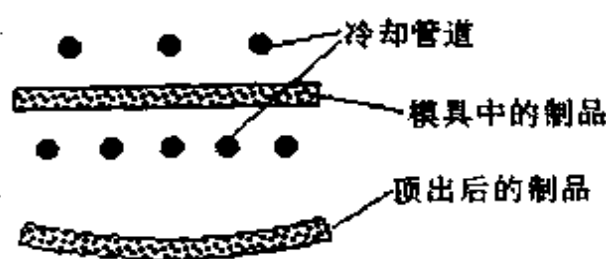


图 13-29 扁平形制品不均匀冷却（上）造成制品上翘（下）

请注意，虽然图 13-29 是过分夸大的情况，但它清楚地表明了扁平形制品如不进行均匀冷却，将会产生的结果。这一情况对于第三种情况，如图 13-28 (C)，扁平形-杯形结合的制品来说也会产生同样的结果。

有些情况，模具中要求设计局部收缩量不同，如生产快门盖子。它的表面必须是平的，但其缘口较厚，冷却缓慢，从而为制品形成需要的反锥。这样的“前束”可用冷却量和冷却时间来进行控制，冷却时间越长，前束越小。

现在我们参照图 13-28 (B)，运用同样的收缩原则，可以看到，冷却时制品发生收缩，并紧贴在模芯上，同时脱离与模腔壁的接触。在提高了模芯冷却效率的同时也就降低了模腔的冷却效率。结果模腔的冷却不能像模芯的冷却那样有效。

对于薄壁制品，模腔与模芯冷却效率的差异并不十分明显，因为冷却时间很短。制品收缩贴到模芯上保证了在顶出时能停留在模芯上。模腔与模芯应进行同等良好的冷却。

对于厚壁制品，情况就不同了。制品在冷却时，脱离与模腔壁的接触，因而模腔冷却效率会有所下降。这样成型周期将主要取决于模芯的冷却质量。可惜这里情况很不理想，因为比制品大的模腔可以很容易找到空间布置冷却系统，而模芯则困难得多，模芯越小，冷却越困难。

模芯的最小形式可能只是一个小销子。设计者的任务是要找到一个途径，为这样一个小模芯既能提供最大的冷却效果，又能使模芯有足够的强度承受模塑中的周期性载荷。这种载荷可能会引起模芯断裂、弯曲和塌陷。正如所有的设计问题的解决一样，最后的答案都是冷却效率与材料选择以及模具零件形状之间的综合考虑。

这些描述不但适用于模芯，而且适用于模芯镶件和侧型芯（可动的）。成型的周期时间取决于整件制品的冷却，因而制品上任何冷却效果不良的部分，都将是影响模具生产率的关键性因素。

因为模腔和模芯的冷却形式有无穷多种，所以就不再讲述具体的模具冷却设计。有许多书专门讲述了一些典型设计，但设计者要谨慎参阅，不要盲从。对于某一种制品和某一种材料适合的设计，对类似制品和另一种材料来说就不一定适用。在模仿任何设计之前，尽可能进行研究，以确定所示的冷却是否有潜在的问题。

13.4.5.2 模腔、模芯、镶件、浇口套和脱模板的冷却

这种冷却适用于与成型制品相接触的所有模具部件。下面描述的是适用于任意制品（扁平形、杯形或两者的复合形）的一些具体因素和安排，并配以示意图来突出显示这些结构。

(1) 串联，串联-并联和并联冷却设计

串联冷却 图 13-30 (A) 所示的是串联冷却的布局。只要有足够的流量来保持入口与出口的温差 ΔT 约为 5°C ，这种设计就没有太大的争议，且这种设计制造起来简单、便宜。

串联-并联冷却 图 13-30 (B) 所示的是类似模具进行串联-并联

冷却布局的情况。供水管和回流管必须比支管粗，以保证每个支管中的流量相等。这种方法要钻更多孔，但其冷却效果比串联冷却要好，多用于多腔模具的冷却。

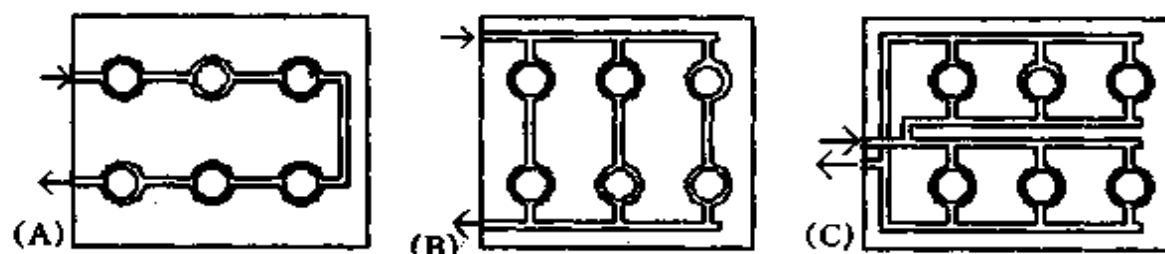


图 13-30 接触成型制品的零部件的冷却布局

(A) 串联冷却；(B) 串联-并联冷却；(C) 并联冷却

如果模腔太多，供水管应尽可能进行分支，以便更为均匀地供水，如图 13-31 (A) 所示。如果供水管可做得足够大，也可采用图 13-31 (B) 所示的冷却布置。

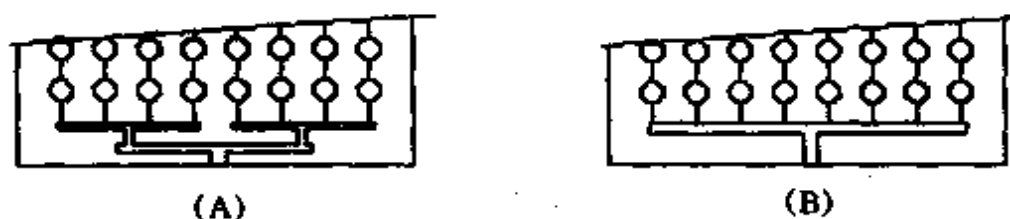


图 13-31 多腔模具的冷却供水通道

(A) 支管供水使供水更均匀；(B) 供水管较大可不用支管

应该明白，模腔和模芯侧的冷却布置不一定要相同。往往模芯进行并联冷却很容易，但对模腔来说就很困难。常用的方法是，模腔采用串联或串联-并联冷却，模芯采用并联或串联-并联冷却。因为在大多数模具中（除了生产薄壁制品和平碟形制品的模具），模芯的冷却比模腔的冷却更重要，所以这种方法可被广泛接受。

模腔和模芯也可通过冷却垫模板进行间接冷却，这种方法较便宜，但这种模具的运行要比模腔、模芯分别冷却的模具运行慢。然而，有许多情况，通常是需要许多镶件的工程制品，在它的模腔或模芯体内提供冷却不现实或不可能，因为它的模腔或模芯往往不仅含有许多镶件，而且含有固定螺丝、顶杆以及为浇口供料的下沉流道。这些组合

体常用的冷却布置，是在每块部件四周布置冷却水管，而中心部件和镶件的冷却却主要是通过通过与冷却的垫模板的接触来实现。

并联冷却 图 13-30 (C) 所示的是一种典型的并联冷却布置。只要支管尺寸的设计可以保证对每个模腔（或模芯）的流量相等，则所有的模腔就都能获得同等程度的良好冷却。这种布置最有效，也是最昂贵的。

在高生产率、高速成型中，如生产薄壁一次性使用的制品时，并联冷却总是第一选择。因为制品壁薄，从模腔和模芯上带走的热量必须很快，才能缩短成型周期。冷却极差的模腔总是制约着成型周期的长短；在每一模腔和模芯的入口处提供温度相同的冷却水的并联冷却，是最有效的冷却系统。

水道中的节流器 有时用节流器来保证通过各并联支管的流量相等。一般来说，如果水管的尺寸原先设计得好，可以不用节流器。然而，这种情况并不总是可能的，节流器可能是更正不良流动状况的唯一途径。图 13-32 所示的是一个简单有效的固定节流器的设计。

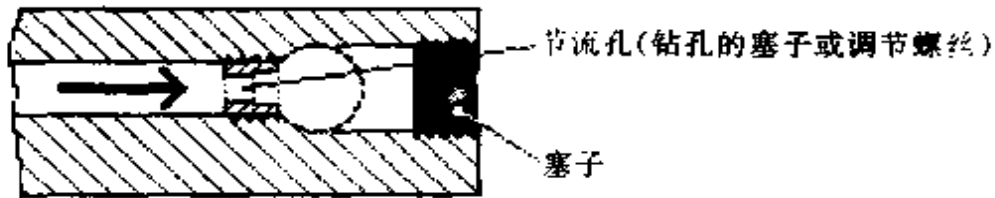


图 13-32 通道中简单的固定节流器

注意：优先采用固定节流器，而不采用可调节流器，不是因为它简单，而主要是因为其可避免非专业人士对其作调整。

节流器的尺寸在试运行时慢慢放大，实现最佳的模具冷却后，不再作改动。

注意：节流器一般安插在水道支管的出口端，以保证冷却水流的背压。这样也能保证水管里的冷却水可以与水管壁完全接触。

模板与模板间水管的密封 一般在密封处插入 O 型圈进行密封，这适用于模具中的所有位置。冷却回路中所用的所有 O 型圈密封都认为是静密封。O 型圈槽的尺寸和粗糙度，是采用 O 型圈制造商提供的标准。O 型圈可进行平面密封和周向密封。

平面密封 O型圈置于平整的表面间,在模板连接时会受到压缩。图 13-33 (A) 表示常用的布置。在 O 型圈槽与冷却水管之间要留有一定的材料 (至少 1mm)。

图 13-33 (B) 所示的是,在 O 型圈槽与冷却水管间没有足够的空间来留出一定材料时,采用的一种方法。O 型圈槽底部要加工出斜度,防止 O 型圈滑进冷却水管。这种方法经常用在液压回路中。加工 O 型圈槽特定形状的工具已有商品出售。

图 13-33 (C) 所示的是一种不能采用的不良做法的例子。在这种情况下,O 型圈可能会吸进冷却水管,并被冷却水带走。

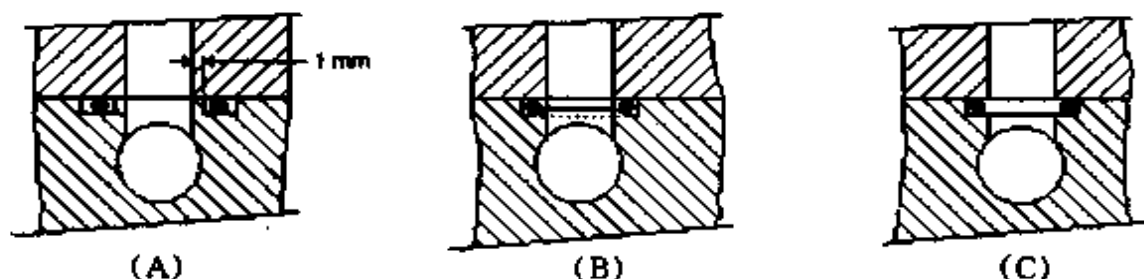


图 13-33 三个平面 O 型圈密封的例子

(A) 合理的设置; (B) O 型圈槽底部加工出斜度防止密封圈滑走; (C) 不良的设置会造成密封圈滑进水道

图 13-34 (A) 所示的是,用一个普通 O 型圈密封两个或更多水管的布置。这种方法可以采用,因为水管间的渗漏是可以不予考虑的。它的缺点是 O 型圈围起的潮湿的区域会发生锈蚀。如果这成为影响使用

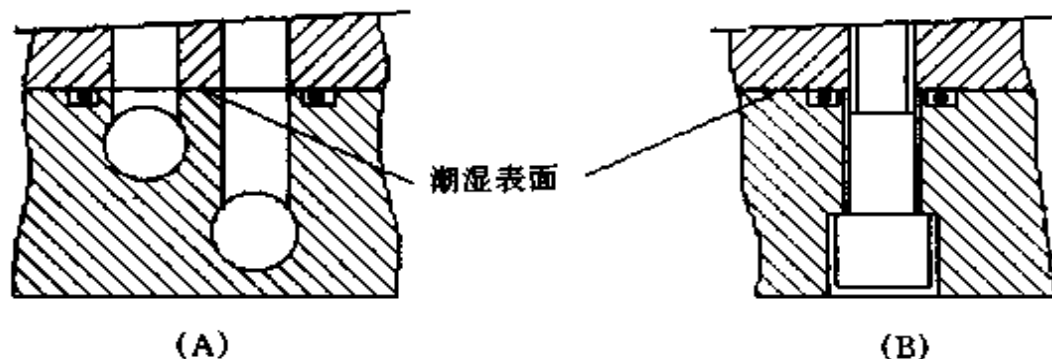


图 13-34 潮湿表面的两种密封处理

(A) 一个密封圈围两个冷却通道 (封住潮湿表面);
(B) 在潮湿区域密封螺丝位置防止腐蚀螺纹

寿命的因素，模板就应镀镍或选用防锈材料。

潮湿区域内的螺丝必须用 O 型圈密封以防止螺纹锈蚀，如图 13-34 (B)。在这种情况下，可以采用类似于图 13-34 (A) 的布置方法。

周向密封 O 型圈置于圆柱形的表面间，在镶件安装时它将受到压缩。

主要问题是装配时，O 型圈可能会受到损坏。例如，必须对安装模腔镶件的钻孔的尖锐边缘进行倒圆或倒角，以防 O 型圈装配经过此处时受到损伤。

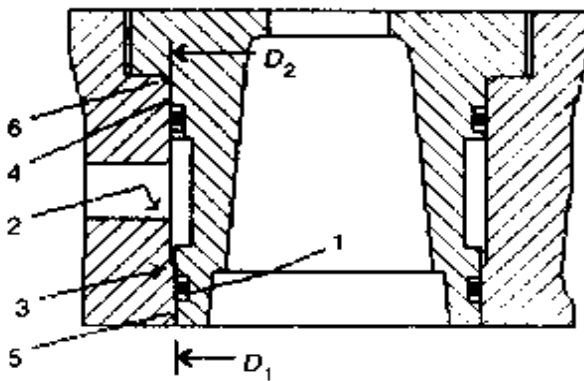


图 13-35 模腔镶件孔
周向密封的截面图

图 13-35 表示的是采用两种直径把镶件装入模板的正确方法。 D_2 较大，以保证槽 1 中的 O 型圈不受压缩，并在插入的过程中，在快到装配孔端头时，也碰不到孔壁或是进水管 2 的入口。倒角 3 使 D_2 平滑过渡到 D_1 。在凸缘的下方必须有一定的圆弧并且在孔边要有倒角 6。镶件在孔内的精确定位区域——4 和 5 要保持干燥以免锈蚀（可参见第 22.12 节）。

(2) 扁平制品的模腔和模芯 一般认为扁平制品的模腔和模芯是完全相同的（如唱片、平板、测试片等），或其投影面积的大部分区域是平整的表面，并在冷却后仍保持平整。任何冷却布置必须保证从所成型的制品两面带走的热量完全相同。在下列情况下，做到这一点有些困难。

- ① 在三板式模具或热流道模具中，浇口区是热量额外输入源。
- ② 顶出机构（不管是脱模板还是顶杆）都会与冷却水管争夺空间。
- ③ 固定螺丝需要密封以防渗漏。
- ④ 镶件和（或）成孔销的存在，造成很难实现对称、均等、平衡的冷却布置。
- ⑤ 模塑制品的厚截面处理要与制品设计人员讨论，让他明白，这

些因素对模具的生产率会造成怎样的影响。在制品中作一些简单更改，如去除芯部或改用加强筋，就可以减小壁厚并提高所设计模具的生产率。

扁平模腔（或模芯）可用下面三种基本方式来提供冷却水（图 13-36）。图 13-36 (A) 所示的是直接从外部（通常从边缘处）供水的模腔体内的冷却水通道。这仅适用于模腔少的情况。图 13-36 (B) 所示的是通过垫模板内的水管（带有密封）供水，对模腔体进行冷却的情况，这是常用的布置方法。

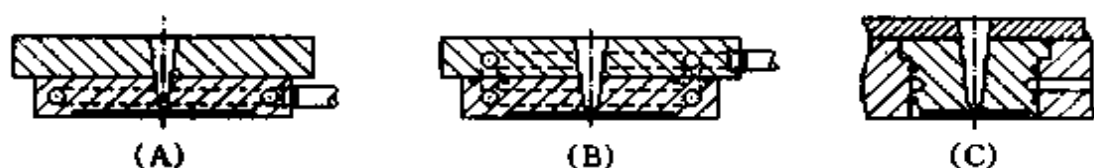


图 13-36 对扁平模腔的冷却剂供应

(A) 从外部用水管直接连接模腔体的冷却通道；(B) 通过垫模板连接模腔体的冷却通道；(C) 通过模腔固定板连接围绕模腔的环形冷却槽

图 13-36 (C) 所示的是镶入的模腔体（圆形）。图中所示的完全扁平的制品很少用这种结构，但对于小型扁平制品或杯形制品却是常用的。模腔体通过其周向开设的环形槽进行冷却。冷却水经过模腔固定板进出。用 O 型圈防漏。

将冷却水分成围绕模腔体的两个对称水路，其流动方式与图 13-30 (A) ~ (C) 所示的类似。重要的是分到每边的流量要均匀。有时流动方式像一个希腊字母 Ω ，也就是进出水管排列很近，并且只有一支水流流过大约周向的 80%。环形冷却槽里设置导流塞来引导水流环绕镶件流动。

扁平模腔里冷却回路的布置 安装扁平模腔体时，必须用足量的固定螺丝将其牢固地固定在垫模板上。这些螺丝的布置不能严重影响冷却水管的布置和对称性。设计者必须对所用螺丝数量、大小、位置以及冷却水管的位置进行综合考虑。如果采用开式通道，如见图 13-37 (A)，必须用 O 型圈或塞子来防止冷却水通过螺孔发生渗漏，如图 13-37 (B)、(C) 所示。塞子所需空间较少，但这样螺丝会处于“潮湿”状

态，时间长了会发生锈蚀，使拆卸发生困难。

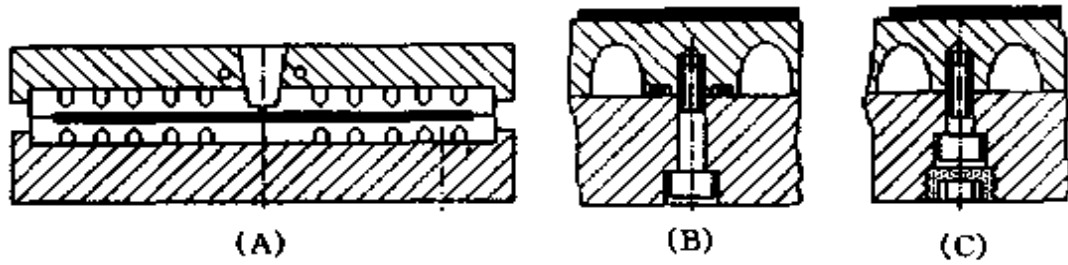


图 13-37 扁平模腔的冷却剂回路

(A) 对称开式通道；(B) O型圈密封防止冷却剂通过螺丝孔渗漏；(C) 塞子防止冷却剂通过螺丝孔渗漏

下面列举几种常用的模具模腔（或模芯）的冷却回路。选用何种冷却回路通常由设计者决定，并且还要取决于现有的模具加工设备和所期望的模具生产率。通常，要求冷却效果越好，制造模具就越复杂、越昂贵，甚至要使用十分复杂的设备。

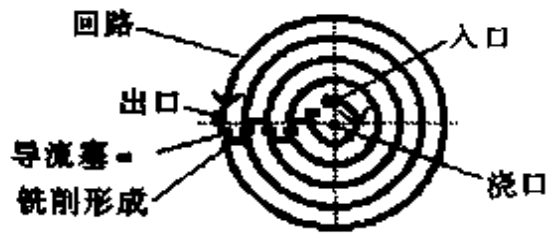


图 13-38 常用的模腔同心冷却回路

图 13-38 所示的是经常使用的同心冷却回路。圆形槽在车床或铣床上就可以很容易地加工出来。跨接水道是采用铣床加工的。如果环形槽是车削加工的，就必须插入导流塞（如图所示）来引导水流。对于铣削加工来说，如果圆周上仅铣出约 $330\sim 340^{\circ}\text{C}$

的槽，就可避免使用导流塞。但铣削要比车削慢。这种冷却可以采用，但没有螺旋回路（图 13-39）效果好。

图 13-39 (A) 所示的是典型的单螺旋回路。可用仿形（铣）机床或数控加工中心加工，在数控加工中心上可以确定螺旋槽数。圆形槽和单螺旋槽的缺点在于入水口对浇口来说是不对称的。

图 13-39 (B) 所示的是典型的双螺旋回路。在这种设计中，冷却水的入口对称地布置在浇口两侧，可以比单螺旋回路提供更好的冷却。螺旋回路的数量和它们间的距离取决于模腔的尺寸、材料的强度、螺丝的数量、尺寸和位置。采用铣削加工的槽子可以让设计者将冷却通道绕过螺丝。但在苛刻的成型条件下，这会影响所需的冷却均匀性。

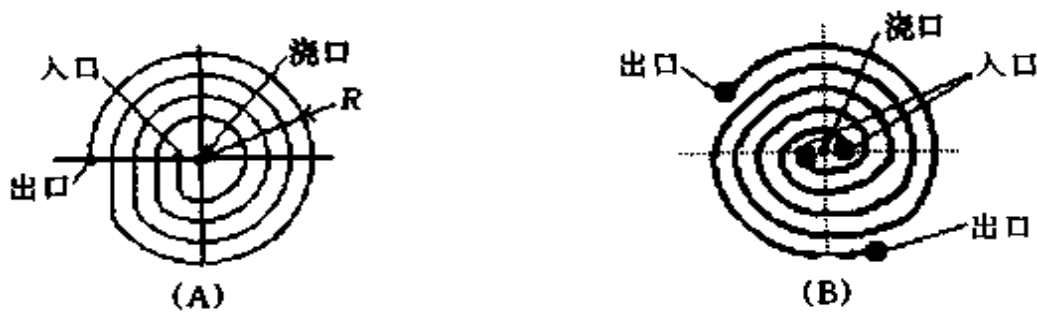


图 13-39 螺旋冷却回路

(A) 单螺旋; (B) 双螺旋

图 13-40 所示的是大型扁平制品简单的冷却布置，这种设计很常用，它设计简单，费用低廉，但它有缺点。

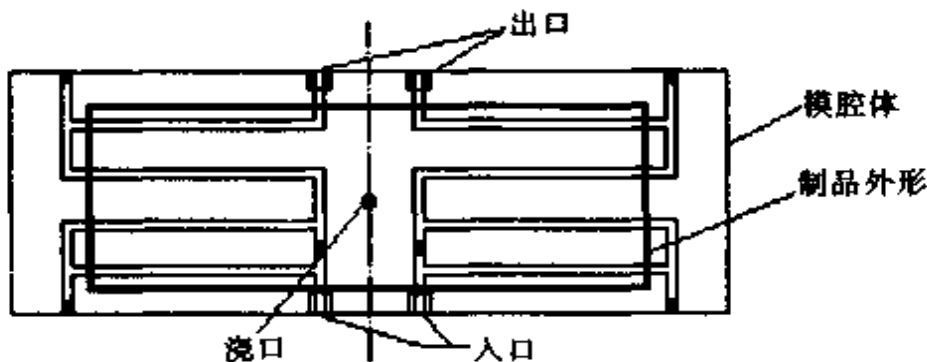


图 13-40 大型扁平制品简单的模腔体冷却布置

在所有模具中，冷却水要从接近浇口处流入，然后向制品的外侧扩展。这很容易理解，因为塑料在进入模具时最热，同时这个位置的冷却水也是最冷的 (ΔT 最大)，所以此处塑料将较快地释放出更多的热量。同时，当料流被模具冷却时，其在模腔壁间向制品边缘推进将变得很困难，因而为了更易于充模，在接近塑料流径末端的地方应提供弱一点的冷却。

前面所述的内容适用于任何形状的模具模腔，不管扁平与否。

图 13-41 所示的是两种常用的冷却布置，其冷却水入口与浇口更近，但其成本也较高（钻孔、导流塞、塞子在这两个示意图中都略去未画）。

(3) 杯形制品模腔的冷却 模腔通常采用下面两种形式：

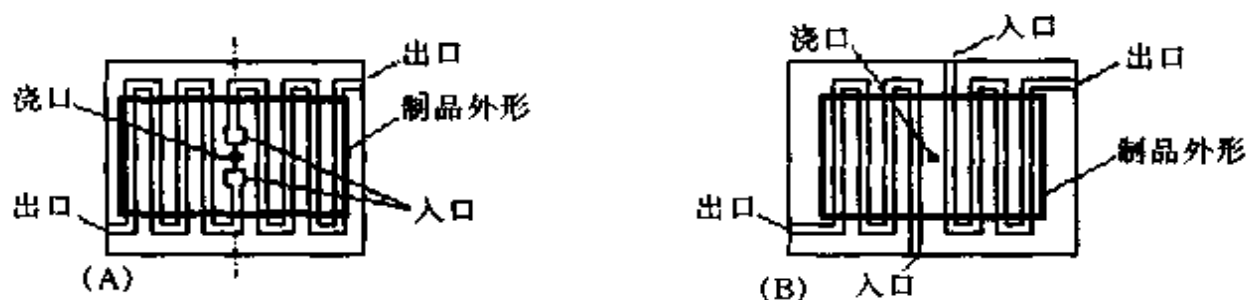


图 13-41 通用冷却布置截面图

(A) 冷却剂入口很靠近浇口；(B) 冷却剂从模壁不同边靠近浇口进入

- ①模腔镶入一块模板中（模腔固定板）；
- ②装在垫模板上的组合模腔。

就冷却而言，这两种方法的主要区别在于向模腔体或镶件提供冷却水的方法不同。对于较浅的制品（磁带盒等），这两种方法就没有多大区别，如图 13-36 所示。下面的例子讲的是深制品，如瓶盖、杯子、一般的容器、管形瓶和瓶坯。

模腔镶件 镶件用于生产瓶盖、管形瓶、瓶坯等制品的模具上，制品常是圆形，通常模腔数很多。

图 13-42 表示的是三种最常用的设计的剖面图。模腔固定板为模腔提供冷却。（注意：三板式和热流道模具的垫模板必须进行冷却；冷流道——隧道式浇口——模腔的垫模板不需要冷却。冷流道边缘浇口也同样不要冷却，这里没画示意图。）

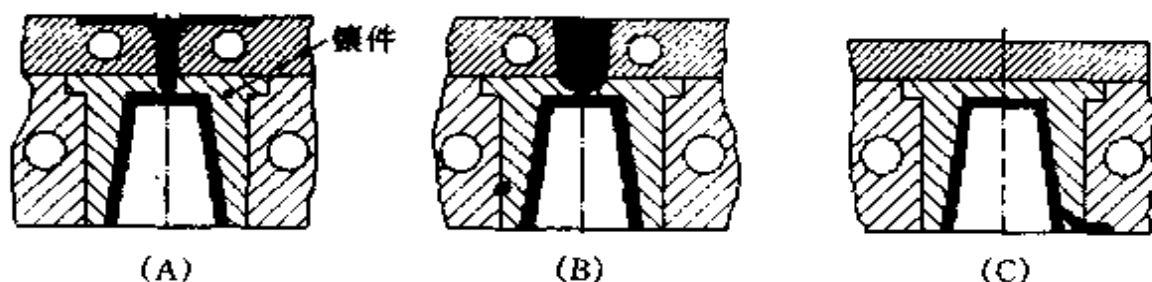


图 13-42 三种通用的模腔镶件冷却布置截面图

(A) 三板式模具；(B) 热流道模具；(C) 冷流道模具（隧道式浇口）

在固定板中设置冷却水管，虽说成本低廉，但效果不太好，这从图 13-43 中可以看出（所示为模板在水管处的剖面图）。

这种设计可以为模板的自身提供相当好的冷却，但从模腔传出的热量必须通过模腔插入模板形成的接缝，此处产生了一个热屏障。此外，模塑制品的四周到冷却水管的距离也不等。

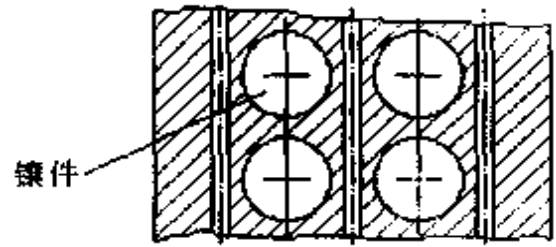


图 13-43 在模腔固定板中通过的冷却通道顶视截面图

再者，模板区域也没能很好利用。模腔间距（至少在一个方向上）比其本来应有的间距要更大，以便为冷却水管提供位置。

但这种系统简单，不存在渗漏问题。这种设计已成功地应用于低生产率模具，在此，通过牺牲部分冷却效率而换取模具低廉的成本。另外，对于厚壁制品，模腔壁的冷却通常没有模芯冷却那样重要。

图 13-44 所示的是经常使用的更好的设计方案。模腔镶件四周的环形槽将冷却水流分成两支，所有支管的截面积总和等于或小于钻孔管路的截面积，以防止一半冷却得不如另一半，这一点很重要。模腔四周可能不止一个冷却槽，进水管和回流管也可能不在同一层上，如图 13-45 所示。在环形槽和钻孔管路上铣削连通槽并用导流塞来引导水流，使其按要求的方向流动。

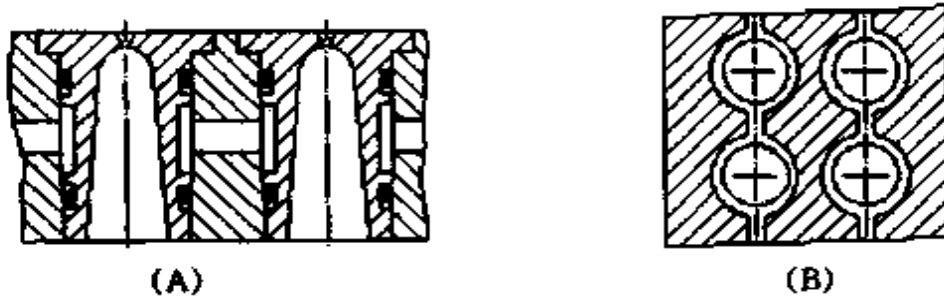


图 13-44 模腔镶件中连接冷却通道的环形槽
(A) 横截面图；(B) 顶视图

生产管形瓶和瓶坯的模腔可以使用比图 13-45 还要多的冷却回路。有时用螺旋回路来代替环形回路，这就免除了从一环到一环之间要铣削连通槽以及插入导流塞。

通常用得较多的是冷却水从模腔的闭端（接近浇口处）进入，然

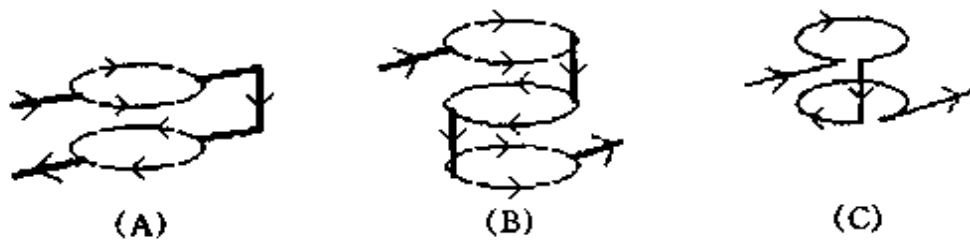


图 13-45 冷却剂通过环绕模腔镶件的冷却槽路径示意图

(A) 两环槽用连通槽连接；(B) 三环槽用连通槽连接；

(C) 两个不完整的环围绕镶件形成一条冷却路径

后流向模腔的开口端。这通常可使用并联冷却，进水管设在上层，出水管设在下层，如图 13-46 (A)。对于串联冷却（在一支管路上有两个或两个以上的模腔），由于实际的原因，各个模腔的入水口是交替式的，就是说，冷却水从顶部进入一个模腔，然后从底部进入下一个模腔，如此等等，如图 13-46 (B)。

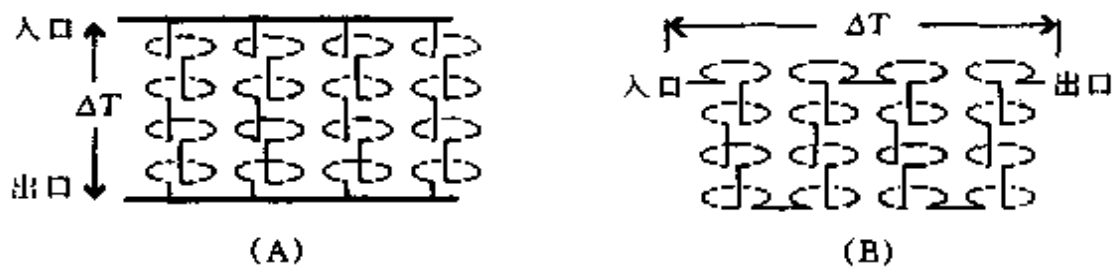


图 13-46 冷却剂入口和出口不同

(A) 并联冷却入口在模腔闭端；(B) 串联冷却入口交替于模腔顶部与底部之间

如果温差 ΔT 能控制在不超过 5°C ，图 13-46 所示的两种布置都是很好的。并联冷却中的水槽的截面，如图 13-46 (A) 必须比串联冷却的小，如图 13-46 (B)，这样，在两种布置中从“进”到“出”的总流量都是一样的，从而所有的模腔都可以获得同样多的冷却剂。

图 13-47 表示的是双螺旋冷却。“进”“出”水管都在同一层高度上。图 13-47 (A) 是串联冷却，图 13-47 (B) 是并联冷却。如前面所解释的那样，并联冷却水槽的截面必须小一些。

有时，模腔镶件采用钻孔水道进行冷却。如果模腔镶件里的模腔是偏置的，就可用这种方法冷却，这样可以为薄壁制品提供所需的最

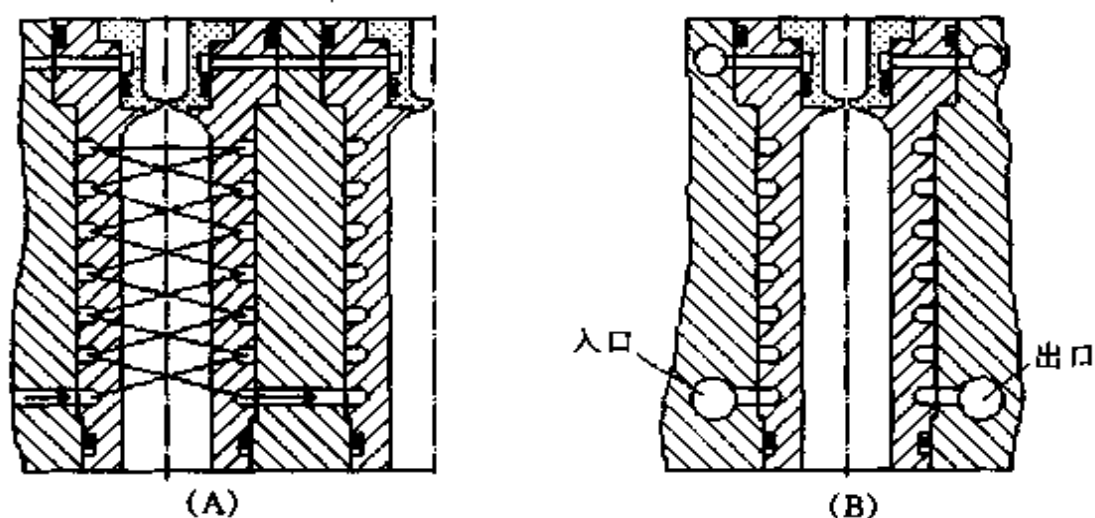


图 13-47 双螺旋冷却

(A) 串联冷却; (B) 并联冷却

佳冷却。本例中，所讨论的制品是一次性使用的带把杯子，如图 13-48 (A)，图 13-48 (B) 是其冷却水管布置的示意图。

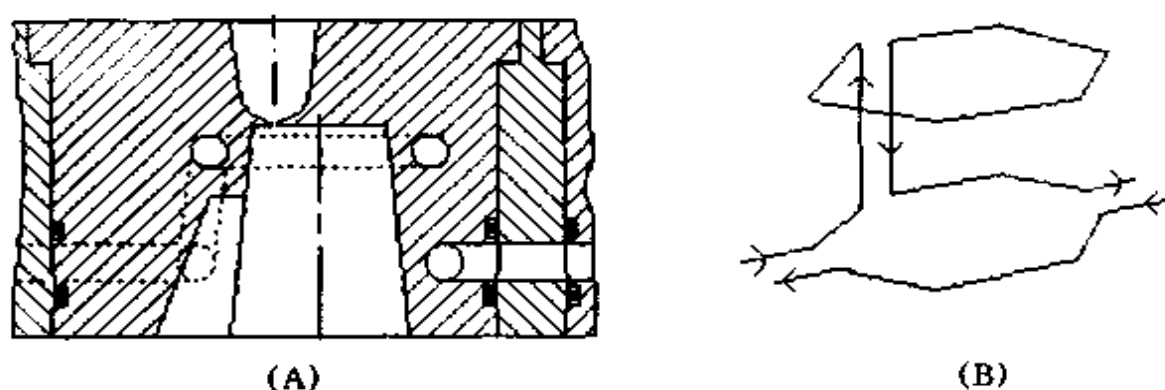


图 13-48 用钻孔通道的偏置模腔

(A) 通过通道的截面; (B) 冷却布置示意

还有其他一些可能的冷却水管布置方法也常用。选择最合适的布置是设计者的责任，设计者要常常牢记，在模具成本合理的前提下，为每个模腔提供适当的、足量的和均等的水流是最基本的要求。

定位 用定位销或键来定位模腔镶件以保证模板上的冷却水管与镶件的冷却通道准确对接。

配合与间隙 图 13-49 所示的是有两种不同配合的剖面图。A 和 C 指的是模腔镶件在模板上的定位部分，这种配合必须是紧配合（但不

是压入配合) 以保证其在模板中的准确定位。典型情况下, 孔径为“基准尺寸 $+0.010\sim+0.015\text{mm}$ ”, 模腔镶件外径为“基准尺寸 $-0.005\sim-0.010\text{mm}$ ”。

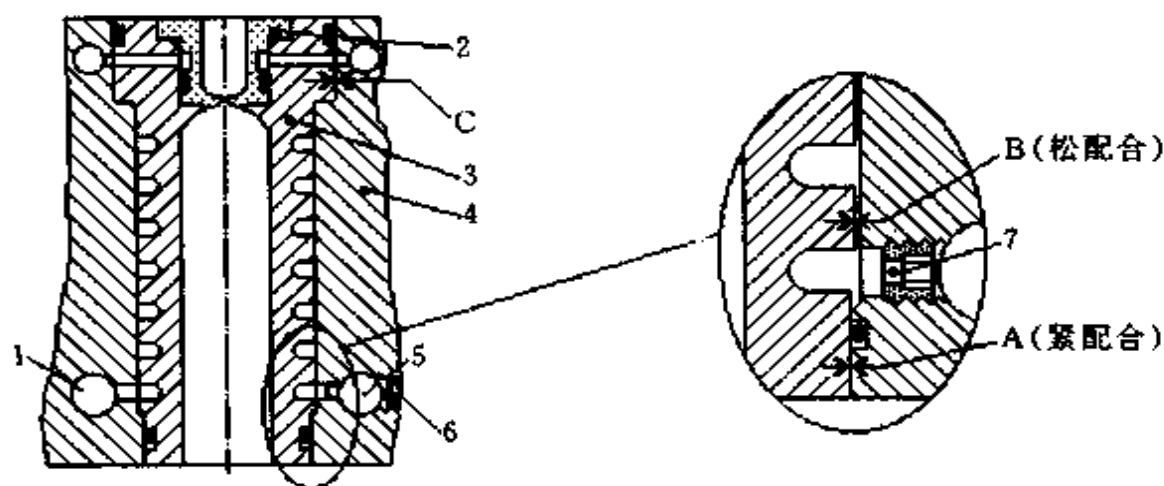


图 13-49 两处配合

箭头 A—模腔镶件的紧配合; 箭头 B—冷却通道间的松配合; 箭头 C—浇口附近模腔镶件的紧配合; 1—入口; 2—浇口套; 3—模腔镶件; 4—模腔固定板; 5—出口; 6—塞子; 7—节流孔

B 采用松配合, 每边可有 $0.015\sim0.045\text{mm}$ 的间隙。这种间隙并不太大, 不会让冷却剂产生大量的流通, 但可以保证镶件在模具长时间运行后仍能容易地取出。出于同样的原因, 也不需采用 O 型圈来分开模腔和浇口套的冷却回路。

节流孔(节流器) 图 13-49 所示的节流器是用来保证通过所有并联支管的流量均等的可能办法, 对于分流问题, 这并不是一个好的解决办法。主要的原因是, 环绕模腔的水道中的流动由于节流器的插入而减慢了, 这还导致雷诺数和冷却剂效率的降低。因而, 最好是计算好, 并准确确定为所有模腔、模芯提供均等流量的水槽尺寸(可参看 13.4.4.2.1 节)。

组合模腔 组合模腔通常是指圆形、方形或矩形模块, 固定在垫模板上, 每个模块包含一个模腔, 但有时也可能是包含两个或更多的模腔的组件。

组合模腔冷却水的供应。

①用软管供水 这种方法一般用于模腔模块数量不多时，通常是1到4件，更多的情况很少用。其可能的优点是可以避免在垫模板上钻孔而节约成本，还可以使垫模板做得更薄些——减轻重量以及降低闭模高度。此外，它还可以实现对每一模腔分别进行流量控制，但经验表明这没有必要。

它的明显缺点是大量的软管使模具显得很杂乱（使模具难以接近），并且安装这些软管也需要大量的时间。一个很显著的例外就是每个模块里都开设永久通道，并连接到装在模具边缘的歧管上的情况。但这样连接的模腔数受到模块排数的限制，超过两排，中间的各排将不易或者根本就不能与外侧的管路相连。

②通过垫模板供水 采用钻孔连接，用O型圈密封。在垫模板上交叉钻孔，将供水管及支管连接起来。进入模腔的水流既可布置成串联冷却，也可布置成并联冷却。对组合模块进行冷却有下面两个常用方法。

(i) 模腔是镶入的 组合模块与模腔镶件的固定板类似，这种布置用在需要有最大冷却效率的情况，如生产一些薄壁容器的情况。

(ii) 交叉钻孔 组合部件上模腔四周的钻孔应尽量对称。有两种不同的基本方法a和b皆可使用。看下面的例子。

a. 冷却水管与分型面平行（图13-50）。在方形模块中，只能采用方形钻孔。在圆形模块中，钻孔方式既可采用方形也可采用六边形。就冷却而言，六边形要比方形好一些，如图13-50（B）和（A）。

当采用几层冷却通道时，层与层之间的连通（竖管）采用垂直的钻孔，并在需要的地方设置导流塞，钻孔的入口用塞子堵住。这些连接孔可能会产生额外的不均匀冷却。而在多数情况下，保持模块的温度平均、均匀才是重要的。

b. 冷却通道与分型面垂直或冷却通道与分型面近似成直角。两种方法中选用哪一种要取决于所要求的冷却效率。第一种方法较便宜；而第二种方法冷却效果较好，特别是对容器制品较深的模腔很适用，但实际上并不是总能达到实际效果或者可能也不必要。这种冷却通道布置通常用于较大的深模腔，并需要最好的冷却，如生产薄壁容器的情况。

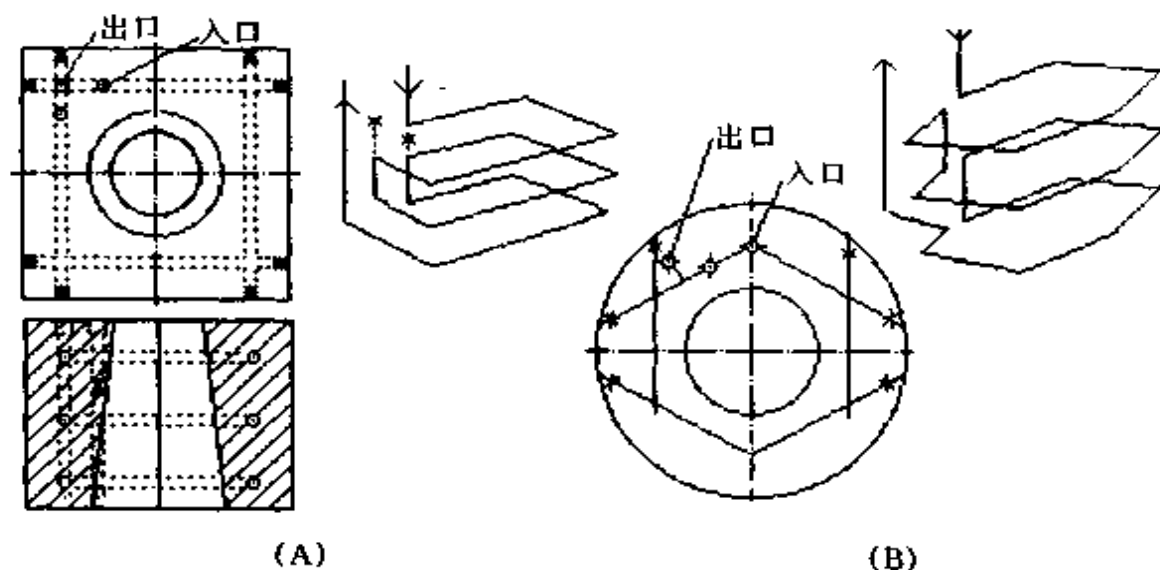


图 13-50 与组合模腔分型面平行的冷却通道
(A) 方形钻孔方式; (B) 优选的六角形钻孔方式;

况, 这时两种方法的区别才很重要。

在图 13-51 (A) 中, 冷却通道与分型面成直角, 因而离制品封闭端塑料较远, 离制品的口缘较近。这种冷却效果没有图 13-51 (B) 和图 13-51 (C) 中的好, 但通常来说已够好了。这种方法是三者中最简单的, 它没有复杂的角度。

在图 13-51 (B) 中, 冷却通道与模腔壁(锥形容器、桶等)平行, 与分型面成一定角度, 这种布置可在整个模腔长度上提供更好的、更接近模腔的冷却水, 这是一个常用的方法。

在图 13-51 (C) 中, 冷却通道从模腔壁中岔开, 这种(专利的)方法很少采用, 但在接近制品封闭端(浇口处)的冷却要求较高, 而开口端冷却要求较低, 以促使塑料流到开口边缘的情况下, 可以考虑采用。

注意: 为了简化, 上面的示意图在每块模块中只表示出了 6 对“曲曲折折”的钻孔。钻孔的数量可以并且往往都很大, 这需取决于模块的尺寸(以及所要求的冷却质量)。

(4) 模芯冷却

扁平制品 扁平制品的模芯冷却基本上与模腔冷却相同。然而, 如果顶杆要从冷却通道间穿过时, 模芯冷却难度将会增加。如果冷却通道是铣削加工的(见图 13-37), 顶杆要像螺丝那样用 O 型圈密封以防

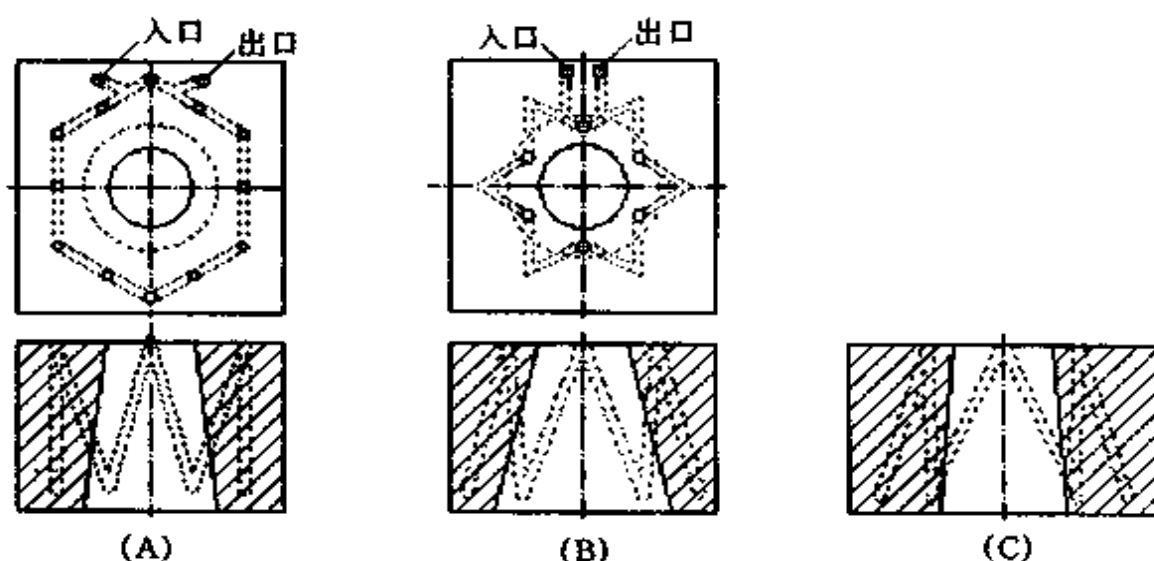


图 13-51 与组合模腔分型面垂直的冷却通道
 (A) 与分型面成直角的通道；(B) 与分型面成一个角度而与模腔壁平行的通道；(C) 模腔壁岔开的通道

渗漏，见图 13-34 和图 13-37 (B)。

在正对浇口处设置额外的冷却“点”往往是必须的，且也是能做到的，特别是在冷却回路（钻孔或开水道）不能设置得离浇口区太近的时候更需如此。这种冷却点使用起泡器来实现。图 13-52 显示了扁平制品组合模芯带有钻孔通道和一个起泡器的典型的冷却布置。

并联冷却是较多采用的布置方法，即每一个模芯由一个共用的供水管供水，由一个共用的回流管将冷却水排出。图 13-52 (A) 中的起泡器与下文图 13-53 中描述的一样，采用一个管子（喷头）引导冷却水流向浇口区，然后由管子的外侧流回。

如果设计者仅考虑对正对浇口的小区域进行冷却，可采用图 13-52 (B) 中所示的较便宜的布置。这种布置还允许在一个冷却通道中以串联方式安装多个起泡器，导流板或分流板（一个扁平片）与塞子固定在一起，重要的是要保证导流板在起泡器中取向合适，以提供所需的流动。在这种方法中，导流板左侧和右侧的流道必须与模板中的钻孔通道保持一致（串联冷却）。

杯形制品 杯形制品根据尺寸可划分为三组：小制品（管形瓶、瓶盖、瓶坯等）；中制品（杯子、小型容器等）和大制品（桶、盒子等）。

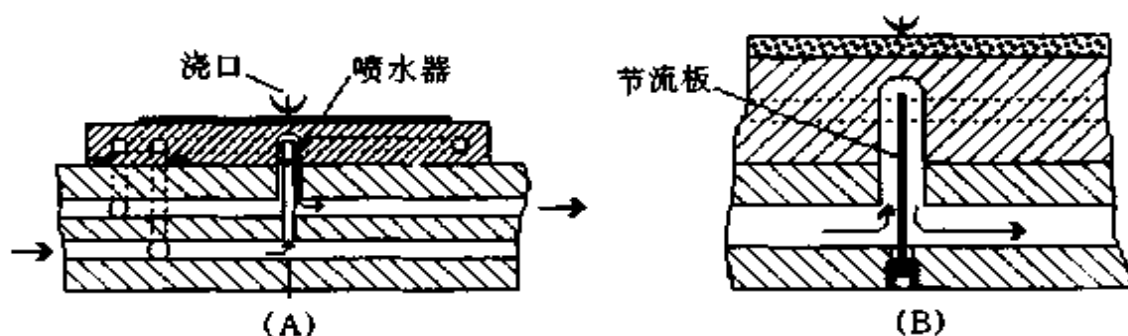


图 13-52 采用起泡器的扁平组合模芯典型的钻孔冷却通道布置

(A) 靠近浇口的冷却点用一个起泡器冷却；(B) 节流板固定在塞子中在浇口附近导流

小制品的模芯。由于这些制品的尺寸（通常是圆形，但并非圆形不可）太小，冷却的选择受到限制。在多数应用中，采用起泡器对其进行冷却是可行的，并使用常用的冷却介质——水。然而，有些情况，由于尺寸的原因而不能使用水，将采用后面介绍的其他的方法。

图 13-53 (A) 和 (B) 所示的是细长的小模芯中的起泡器的典型布置。要遵循下面的要求。

①孔内管子的稳定性 特别是对长模芯，在管子外加上支脚或使管子

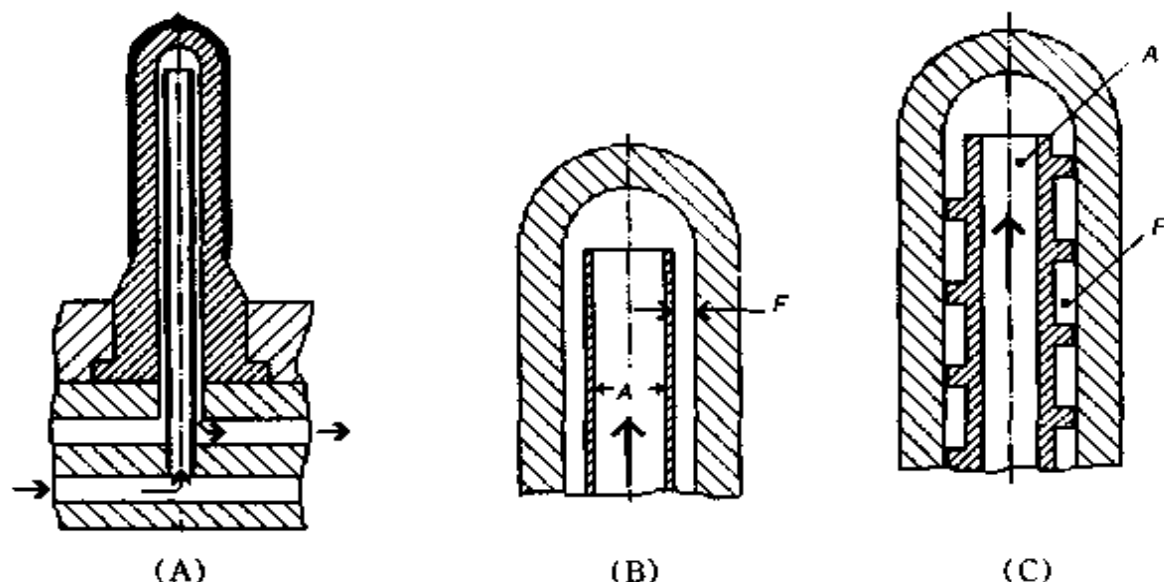


图 13-53 典型的起泡器布置

(A) 起泡器整体剖面图；(B) 内部面积 A 必须等于最好大于环形面积 F ；(C) 冷却介质沿着一个螺旋水道回流，管子的面积 A 应该等于或大于螺旋水道的面积 F

的端部向外扩成喇叭形，使管子处于钻孔的中心位置，是很重要的。

②图 13-53 (B) 中喷头供水的内部面积 A 至少要等于管子外径与模芯内径间的环形面积 F ，最好比 F 大。如果忽略了这一点，管子周围的冷却水的流动将不是对称的，因而不能对制品进行均匀冷却。如果冷却水离模芯的外壁很近，即离塑料也很近时，这一点显得尤其重要。图 13-53 (C) 所示的是一种固定管子的解决办法，使冷却水沿着一个螺旋通道回流，这里管子的面积 A 必须等于或大于螺旋水道的面积 F 。

长模芯的不均匀冷却对制品的影响 在图 13-54 中可示意性地看出不均匀冷却的影响。制品在没有完全冷下来之前就顶出，较热的一边在顶出后将收缩，而较冷的一边则不收缩或很少收缩，这样就形成了一个弯曲的制品，即成了“香蕉”状。

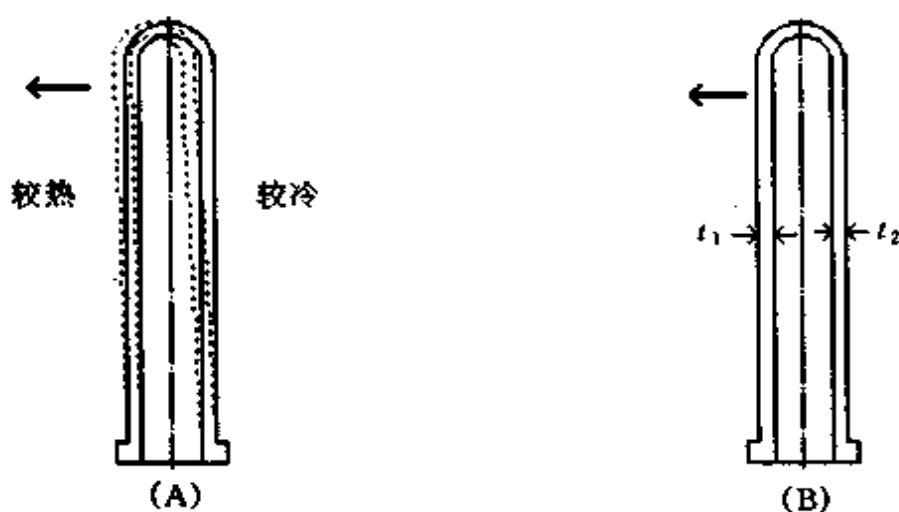


图 13-54 用长模芯冷却制品

(A) 不均匀冷却造成弯曲；(B) 不均匀壁厚 $t_1 > t_2$ 造成相似的弯曲

值得注意的是，由于制造工艺较差或塑料充模不均匀使模芯移位，造成制品成型时壁厚不均匀，其影响结果与上面的情况类似，如图 13-54 (B)。由于厚截面 t_1 的质量大，其含有的热量也比较薄截面 t_2 的多，在顶出后，它将继续收缩，并使制品沿箭头方向发生弯曲。

起泡器中的分流板 这种类型的起泡器，如图 13-52 (B) 可以满足正对着浇口的模芯顶部区域的冷却，如图 13-52 (A)，但通常它不能

用于长模芯的冷却，因为模芯的周向存在着先天的冷却差别，如图 13-55 所示。然而，如果不能采用其他冷却或经济上行不通，就必须使用这种起泡器。

图 13-55 所示的是模芯内装有分流板的流动形式的剖面图。主流（椭圆形）流速较快，可以对靠近它的那部分制品进行较好地冷却。偏流在靠近分流板拐角处流动较慢，对制品的冷却作用较小。注意，对很多使用场合来说，这种不均匀冷却可能根本没有影响，完全可以采用这种结构。

图 13-56 所示的是一个小而狭长的杯形制品。图 13-57 表示冷却这种制品所采用的典型方法。图 13-57 (A) 所示的是装有两个起泡器的布置。图 13-57 (B) 所示的是一种常用的方法——两个钻削的通道往浇口区交汇，只要两个钻孔间的闭端角不太尖锐，这种方法对浇口区的冷却要比用两个起泡器的方法好。如图所示，冷却水的主流将寻找阻力最小的路径，绕着两孔交汇处较低的部分流动，使接近浇口地方的冷却水产生滞留现象。此外，冷却介质所接触的通道表面积也要比其他两种方法小。

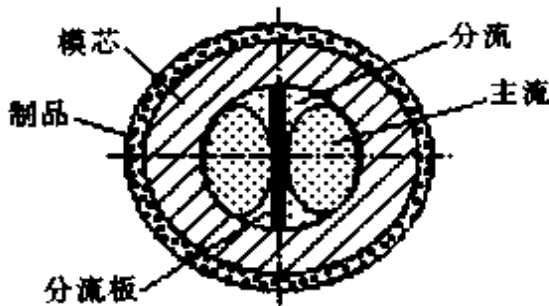


图 13-55 模芯内装有分流板的流动形式剖面图

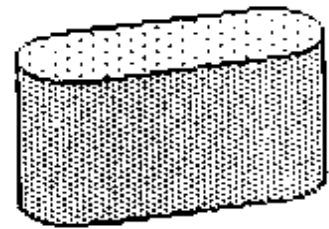


图 13-56 小而细长的杯形制品

图 15-57 (C) 表示在同样的模芯中开设冷却通道的另一种好方法。但它需要在成型表面上堵塞一个通道（通常将塞子烧焊或锡焊在模芯上），这会在表面留下痕迹。在有些制品中，这样的缺陷是不能接受的。

O 型圈的放置。在三种冷却情况下，各个水道中的 O 型圈都在图中给出了示意。O 型圈对减少该区域受到的腐蚀能起到很好的作用。然而，在小模芯中，没有足够的空间来安装两个 O 型圈，必须用一个 O

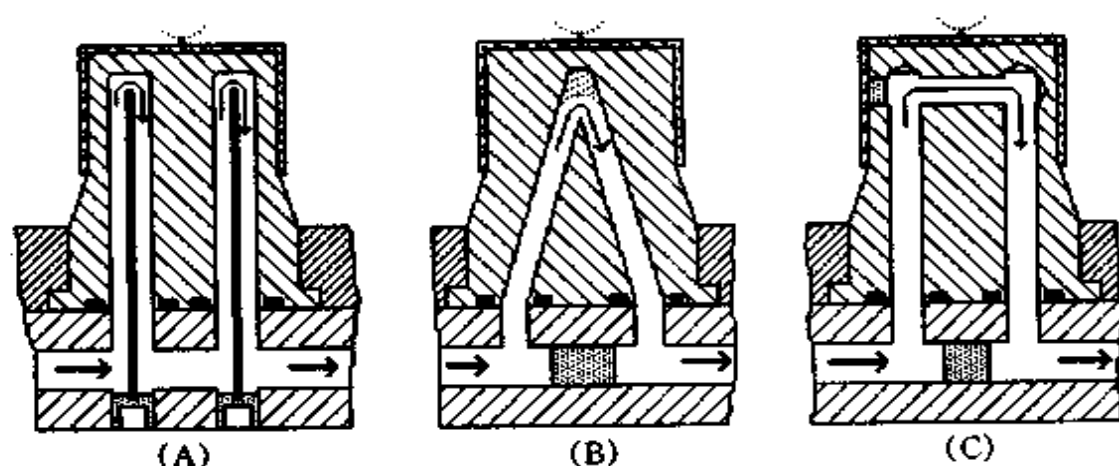


图 13-57 三种典型的冷却细长杯形制品的方法
 (A) 两个起泡器；(B) 两个往浇口区交汇的钻孔通道；
 (C) 在成型表面上堵塞一个通道

型圈将两个通道都圈在一起。

极小制品的模芯 “小”与“极小”制品的区别很难定义，但根据所讲述的冷却，我们认为如果用常规冷却剂以及交叉钻孔或起泡器都不能对制品进行冷却时，就是“极小”制品。

模芯的强度和起泡器内冷却管的现有尺寸常对冷却设计产生限制。

对模芯钻孔将会：

- ①降低抗挠曲刚度，但仅是相当少的变化（记住：刚度与模芯外径的四次方或模芯外径与内径四次方之差成正比）；
- ②降低在注塑压力下的破碎抗力。

皮下注射用的不锈钢针头，可以用作起泡器内的小供水管。然而，在其他问题变得突出之前，供水管的尺寸究竟能小到什么程度也有一个极限。如冷却水中的污染，它要求对供水管进行经常性的清洗。

实用的替代方法可能要用到其他冷却介质，如压缩空气、二氧化碳或氮气。冷却受这些气流的影响不大，因为带走热量的气体质量（单位时间）很小，但当压缩气体在这种情况下从喷嘴进入较低的大气压空间，将会产生深度的冷却效果。

曾经有人建议模具的一部分或全部改造成类似于冰箱上使用的

“蒸发器”。例如，液态的致冷剂在压力作用下可以输送到模具中，并通过喷嘴进入模芯，在那里进行迅速膨胀，因而可以对模具进行冷却。已变成气态的致冷剂通过通道回到压缩机中，在那里重新变成液态，通过冷却器后，再次被泵吸入模具。这是一个完全封闭的回路，存在的主要问题是，每次换模要进行连接、密封及充气工作，这将引起严重的环境问题。

另外，专利冷却系统 (Logivac™) 主要适用于细长的模芯，如生产笔筒用的模芯。模芯的端部与模腔接触或进入模腔以形成管形制品。冷却剂从模芯中流过，然后进入模腔，不再回到模芯中去。流动是在真空条件下进行的，所以当模具打开时，不会有冷却剂渗漏。这种系统在很多应用中都发挥了它的优点。

有时还有一种方法，就是使用冷空气射流从模具外面正对着模芯冷却的方法。这在回转式成型中更突出，例如当一套（或多套）模芯在成型区外长时间处于等待状态时采用。

极小模芯冷却的其他方法与铸件冷却相似，将在后面进行讨论。

上述小模芯的冷却方法给设计者提供了许多可以权衡的选择方法，设计者要考虑该选择何种方法。有时几种方法结合使用才是解决某一问题的正确答案，例如将交叉钻孔水道与设置起泡器两种方法结合使用。

中等大小制品的模芯。中等大小制品是指那些模芯较大，用生产小制品的一个简单的起泡器无法进行冷却的制品。这类的典型制品是杯子、容器等。形状可以是圆形、椭圆形、矩形或异形，其成型深度一般在开口端直径的一半到两倍的范围内。

一般原则。

① 浇口所对的区域必须进行恰当的冷却。供给模芯的冷却尽可能首先引入对着浇口的区域，然后再去冷却模芯的其他部分。如果由于某种原因，这种方法实现不了，应在浇口区设置一个独立的起泡器。

② 对模芯的其余部分也要提供足够的冷却。有很多为模芯提供冷却的办法，选择哪一种要取决于所要求的冷却效率。一般来说，薄壁制品高速成型时要求冷却效率最高，因为赋予模芯冷却的时间极短，并

且单位时间的塑料总量又很大。在这种情况下，超常的冷却费用是合理的。

厚壁制品和带凸台的制品，不能进行快速冷却，通常不需要精心设计冷却布局。只要回路中有足够的冷却能力在设计循环时间内将热量带走，模具就能很好地运作，不必把钱浪费在过于复杂的冷却布置上。

通过模芯进行排气（请参看第十一章）。在继续下文前，必须讲一个模具中非常重要的特性——在顶出过程中杯形制品内部的排气。这在高速成型中是绝对必要的，在高速成型中成型制品只要硬到能够承受顶出时所加的力，就要立即进行顶出。

排气与模具冷却有何关系？在模芯内部布置通道时，必须留出空间来开设排气销和（或）排气缝，以及在钻孔通道或开式通道间开设连接气路。还必须为密封用的 O 型圈留出空间，以防冷却水渗进排气气路中。

下面几个图示意地表示了中等大小制品模芯冷却的几种例子。应该明白，有很多方法可用来完成这些设计，设计者应常回过头参考文件中或一些参考书上好的设计例子。

如果不允许模芯上有痕迹线，一般就要采用单件模芯。内部的塞块要用不锈钢制造，做成锥孔以便取出。图 13-58 (A) 是一种简单设计，类似于起泡器方法，塞块上的槽子可以是螺旋式的，也可以由一些圆形槽构成，其间用铤槽连接，并用导流塞引导水流以形成所需的流动形式。这种方法便宜，但冷却效果不太理想（可参见图 13-14）。

槽 C 的截面要等于或小于 B 的截面。B 与 A 之间的关系要取决于由 A 处供应水的并联冷却方式所冷却的模芯数，如果模芯采用串联冷却，则 $A=B=C$ 。模芯中塞块的配合是一轻度滑动配合。间隙 F （每边） $=0.010\sim0.015\text{mm}$ 。

图 13-58 (B) 是图 13-58 (A) 的一种变形，其冷却效率得到了改进，但费用较高。通道的截面和模芯内塞块的配合与图 13-58 (A) 中的相同。

图 13-59 所示的是这种设计的一种变形。在前两例中，冷却通道离

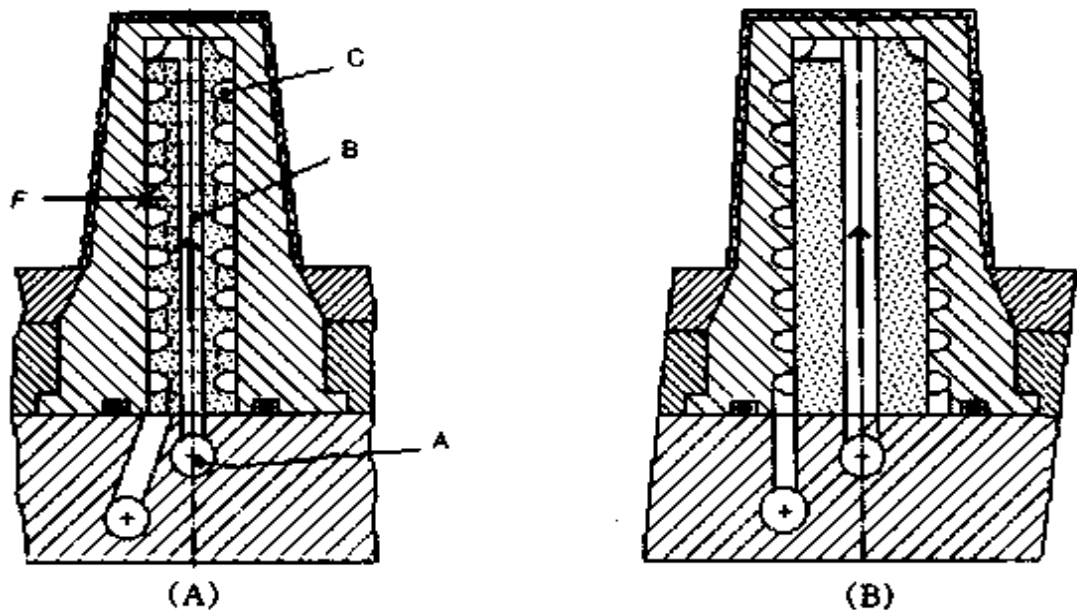


图 13-58 单件模芯

(A) 塞块上的螺旋式槽子由铣槽连接并由导流塞引导水流；

(B) 图 A 的一种变形，模芯中有较大的冷却表面

成型表面的距离在模芯开口端要比在模芯封闭端远，而在本例中距离保持不变。有关通道截面和配合的使用仍与上图相同。图 13-59 (B) 示意地表示了为了获得均匀流动，环形槽的连接及导流的情况。

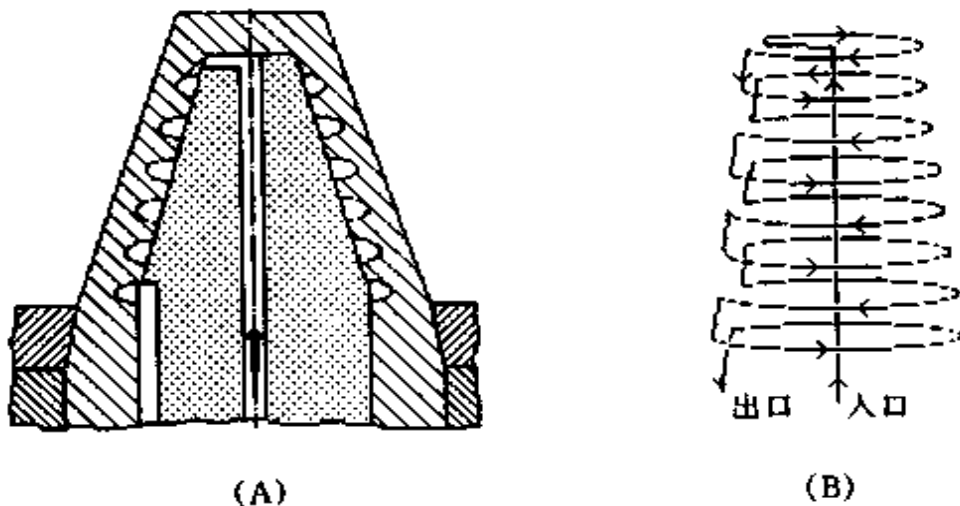


图 13-59 另一种单件模芯

(A) 冷却通道与成型表面保持一定距离的截面图；

(B) 通过导流塞引导水流的方向的示意图

图 13-60 所示的是一种不同的设计——水槽与模芯壁平行，这是效率比较高的方法，但制造成本很高。水槽是采用 EDM 方法加工在模芯内侧，在模芯强度允许的范围内水槽应尽可能贴近模芯壁并彼此靠近。(C) 的截面总和要等于或小于 (B) 的截面，以保证冷却水流过所有的槽子。这种设计在高速成型一次性使用制品的模具中已得到成功应用。

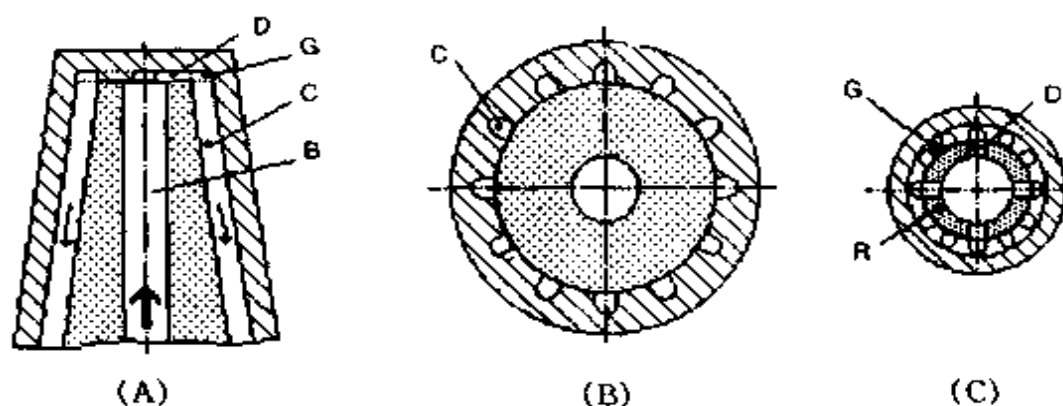


图 13-60 单件模芯

(A) 冷却通道靠近模芯壁的截面图；(B) 模芯周围通道空间位置顶视剖面图；(C) 辐射槽和圆形槽的位置分布

用四到六个辐射槽将供水管与一个圆形分流槽 G 以及水槽 C 连通，图 13-60 (A)、(C)。模芯的顶部由 R 区支承。槽 C 之间在顶部靠得很近，在底部离得较远，因而冷却效果的变化是理想的。然而，由于 R 区较小，所以只有极小的空间来布置排气销。

在图 13-59 和图 13-60 的设计中，锥形塞块采用紧贴配合对支撑水槽之间和 R 区上的模芯有利。

两件模芯设计在成型薄壁制品的高速模具设计中有特殊的意义。有许多不同的设计，但所有的设计都为了达到同一目标：在成本合理的条件下，实现浇口正对区域和沿模芯壁的良好冷却。还要考虑模芯侧面或底面的合缝情况。

图 13-61 (A) 所示的是一个廉价的设计，它曾经成功地应用过，但不值得推荐。用轻度的压入配合来固定镀铜顶部镶件。冷却水的压力不会大到将其冲掉，注射的压力可以使其保持在原有位置。

图 13-61 (B) 和 (C) 所示的是一种有效的冷却设计, 这种方法很常用, 但有两个缺点:

①用来提供冷却水和将顶部固定在模芯上的螺纹管承受巨大的应力, 需要经常更换;

②分流槽 D 使镀铜镶件的中心强度降低。

注意, 在上述两例中, 经过中心 B 的流量至少要等于通过所有通道 (孔) C 流量总和。

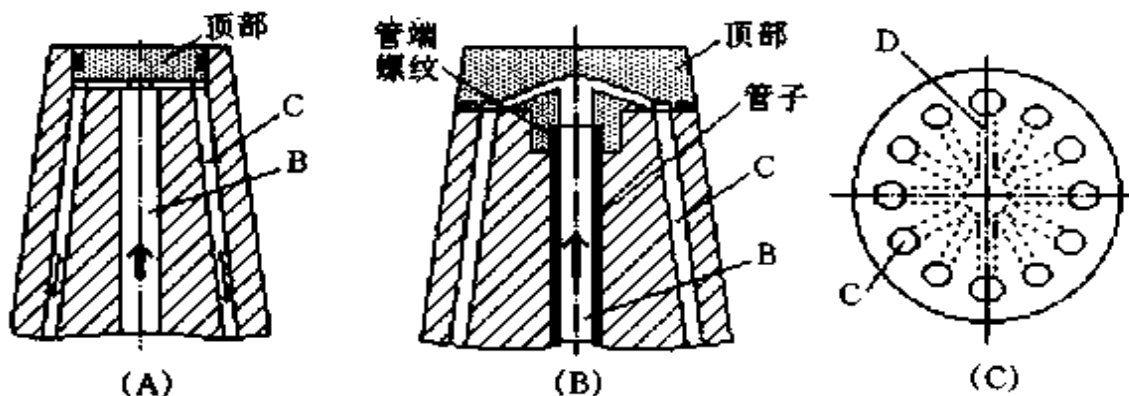


图 13-61 两件模芯

(A) 用轻度的压入配合固定端部镶件; (B) 由固定顶部的螺纹管提供冷却水; (C) 通道的截面图

图 13-62 表示了克服上述两缺点的冷却布置。在中心处, 用固定螺栓代替管子来固定顶部, 顶部通常用 (但不一定必须用) 镀铜合金制造如图 13-61 (B) 和 (C)。流过通道 (孔) C 的冷却水被分成两组, 如图 13-62 (B): 第一组包含四对独立回路 C_1 和 C_2 (图中仅表示出了一对), 第二组仅包含两个回路 C_3 和 C_4 (图中仅表示出了一对)。这样一来顶部开有四个孔, 在与浇口正对的区域交汇, 同时侧壁仍有 12 个水道冷却。

前面介绍的例子是为了向设计者表明, 在设计模芯冷却时有很多方法可用, 因而可能总存在着更好的解决方法。在所有的情况下, 设计者必须考虑模具的排气、冷却通道的数量及其离模芯壁的距离和它们彼此间的距离。必须为气道 (排气) 和必须安置的 O 型圈留有足够的空间, O 型圈是用来防止冷却水渗漏到气路中以及模芯外侧。

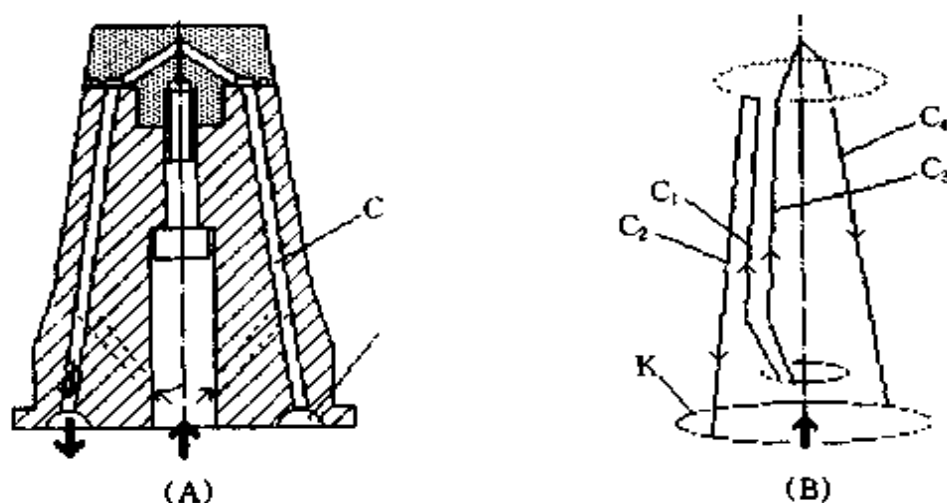


图 13-62 两件模芯的布置

(A) 中心螺栓固定顶部；(B) 冷却水流被分成两组

两件模芯的另一种布置是用来生产相对较平的制品，如容器的盖子，它需要很有效地冷却。这种制品往往是用 PE 或 PP 制成的，这些结晶型材料具有较高的热焓。这些制品一般都薄壁并希望高速成型，因而，每小时要加工大量的塑料。材料收缩较大，包紧模芯有利于热传导。

图 13-63 表示的是一个模芯端盖的典型设计。这个零件通常用铍铜合金 B-25 制造以求良好的导热性。在大制品中，端盖有时用压铸制造，但这样会存在铸造孔隙的问题。如果可能，最好用实心冷拉棒材或锻制棒料机加工制造。螺旋通道与前面所讲的扁平制品相似。

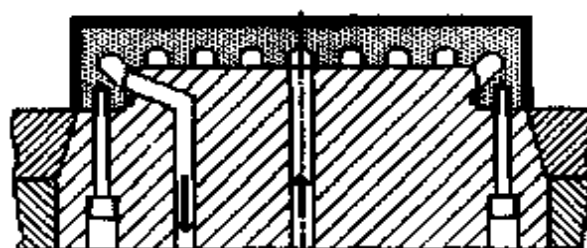
图 13-63 典型的端盖截面图
显示扁平制品中两件模芯的
螺旋回路中的通道

图 13-64 所示的是模芯端盖设计的一种变形。凸缘 P 很薄，用铍铜合金来制造要冒一定的风险。镶件可以采用图 13-64 (B) 所示的形式进行交叉钻孔。请注意，几条曲曲折折的水道汇聚在接近浇口区的布置方式。此外，只要使用铍铜端盖，脱模圈座就只能设在模芯的钢基体上，而不能设在铍铜合金上。

大型制品的模芯。中等大小制品与大型制品间并没有明显的界限。

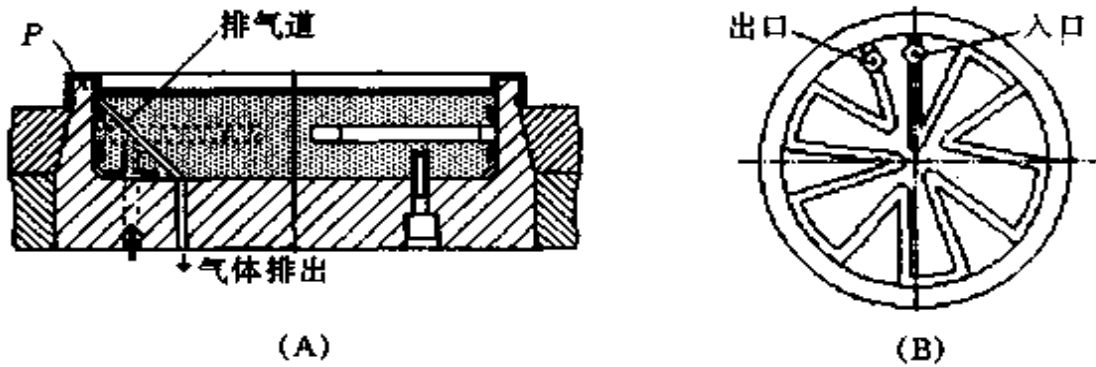


图 13-64 另一种端盖设计

(A) 模芯的截面图；(B) 镶件采用交叉钻孔的模式

适用于中等大小制品的方法同样适用于大型制品。如果存在明显的差别，那就是成型的速度不同。大型制品由于壁较厚，成型速度往往较慢。尽管成型的制品较重，但每小时注入的塑料量却较少，这并不是说冷却就不重要了。尽管生产大型制品的模具要比生产小制品的慢，但冷却不好肯定会使情况更糟。

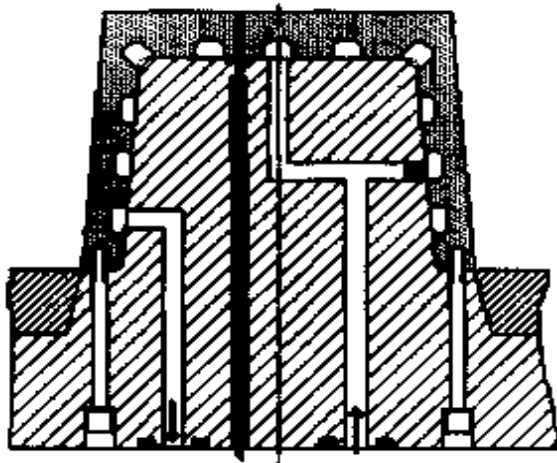


图 13-65 典型的使用螺旋式冷却水槽和活动排气销的端盖

图 13-65 表示了用于大型制品的一种典型的端盖。冷却水（在用铣槽连接，并安有导流塞的同心水槽里）从制品的中心螺旋式流向制品的边缘。排气通过排气销来实现。

许多大模芯，特别是不圆的大模芯，为了冷却要进行交叉钻孔并要在浇口正对区域设置起泡器。如果钻孔的入口能被恰当焊合或能用压入式塞子堵好，交叉钻孔是非常满意的。这里容许制品在焊合处出现迹线。

(5) 镶件的冷却 从冷却角度来说，我们可以将镶件定义成小模芯。镶件可以位于模腔里也可以位于模芯里。不论在哪种情况下，它既可以是固定的，也可以是可动的。选用镶件而不在实体中加工出所需的形状是因为在模具完工后，可以方便地替换损坏的销子和改变镶

件的形状或大小。

通常，如果不带走热量，镶件由于块小，其温度会升得很快。只要尺寸允许，镶件就可以采用交叉钻孔或起泡器进行类似小模芯的冷却，可以使用常规的冷却剂或是气体，前面已作过描述。

在有些应用场合，可以考虑使用“热管”。然而，通常如果有足够空间安装“热管”的话，也就能安装起泡器，起泡器的冷却效果要好得多。

有时用铍铜合金制造镶件，这有助于将镶件上的热量带走。但这种材料的低强度和高磨损却是严重的问题。铍铜合金的导热率是钢的4倍，但它的弹性模量 E 只是钢的 $1/2$ ，它的抗冲击性能比工具钢低得多。

固定式镶件 图 13-66 给出了镶件冷却的几种典型例子。图 13-66 (A) 中，镶件通过向设置冷却的模板进行热传导来实现冷却。图 13-66 (B) 中所用方法稍微好些，它采用冷却水从镶件基座流过的方法对销子进行直接冷却。图 13-66 (C) 中，在镶件基座中设置一个起泡器，并使其尽可能接近镶件。而在图 13-66 (D) 中起泡器则完全设置在镶件内，这是最有效的冷却方法，但镶件的尺寸和强度可能不允许这样做。

如果打算对镶件进行内部冷却，如图 13-66 (C) 和 (D)，重要的是必须保证镶件内部的小水道能获得足够的流量。如果需要，必须提供附加的冷却回路。

镶件不良而导致冷却的不利后果是，要使镶件在每次注射后完成

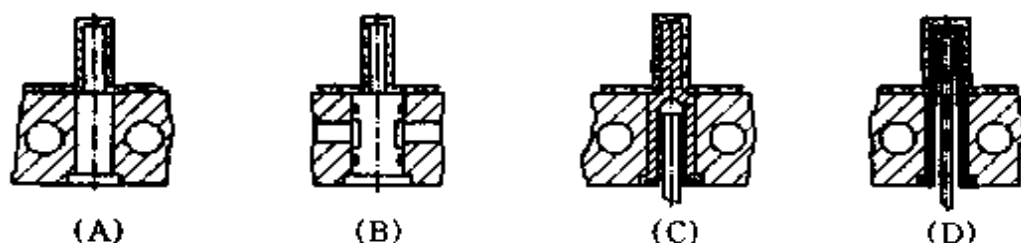


图 13-66 镶件冷却的典型例子

(A) 镶件通过冷却的模板来实现冷却；(B) 直接对销子的基座冷却；(C) 通过起泡器冷却镶件基座；(D) 装入起泡器对镶件进行完全的冷却

冷却，必须延长成型周期。否则，在制品其他部分已适于顶出了，镶件周围的塑料还没有达到足够的冷却。过早地顶出会破坏镶件所形成孔的形状。典型的情况是，一些熔融的塑料会形成拉丝或/和堵塞这些成型很差的孔。

可动镶件，包括侧型模芯 可动镶件可以设置在模具轴线上，像二级顶出那样。这些镶件在开模时必须从塑料中退出；镶件也可以（通常，但并不一定）与模具轴线成直角，就像模腔和模芯中的侧型芯那样，它们与固定式镶件的冷却原则是相同的。

复合镶件 有些镶件会安置在另一些镶件内，或是几个镶件并列地固定在一块。关于它们的冷却没有一定的规则。其冷却完全取决于制品的设计和镶件特殊冷却的可行性。如果模具由于非同寻常的冷却布置而变得太复杂的话，它可能太昂贵以致无法制造和维修。较好的解决办法可能是牺牲一些冷却效率接受一个较长的循环周期。

图 13-67 所示的例子是一些常见形状镶件的冷却。设计者应该知道给出所有可能的镶件或模具形状的例子是不可能的。

图 13-67 (A) 表示有柱状冷却通道的柱状镶件，采用在两处 (W) 焊接的方法在镶件周围形成了一个柱状套。冷却水从底部钻孔通道供入，必须注意使用槽或导流塞来防止冷却水出现滞留穴，以实现正确的流动。图 13-67 (B) 给出了类似的设计，但它是为了避免焊接，冷却通道是从底部曲曲折折钻上来的。图 13-67 (C) 所示的是用交叉

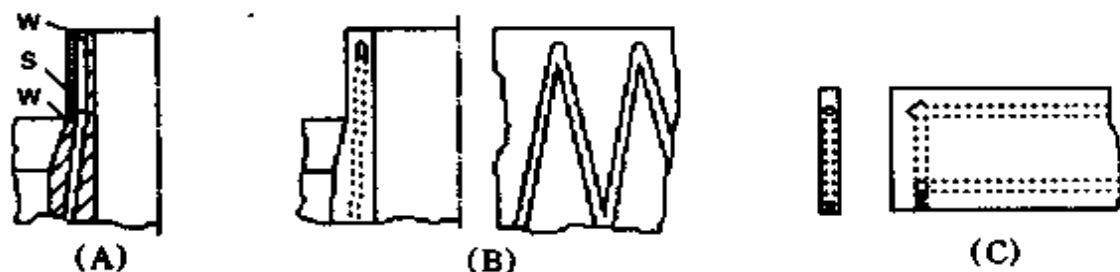


图 13-67 各种不同形状的镶件的典型冷却
 (A) 使用柱状通道的柱状镶件；(B) 使用曲折通道的柱状镶件；
 (C) 通过交叉钻孔和焊接塞子冷却平的镶件

钻孔和焊接一个塞子来冷却典型的扁平叶片的情况。如果不允许焊接，就要从底部曲曲折折地钻孔（图中未表示）。

（6）浇口套的冷却 浇口套是模腔中的一个镶件，包围着浇口区。这个区域由于下面所列的原因将作特殊地描述。在热流道模具中，一直到浇口处的塑料都是处于热态的。对开式浇口（非阀式浇口），在制品冷却时，浇口必须要凝固。如果该区没有正确冷却，浇口将不会凝固（关闭）。在开模时，热塑料就会从浇口中滴出。在薄壁制品中，这样的滴料已能导致不合格制品出现或使注塑机停止工作。

在阀式浇口模具中，阀杆的尖梢（用它来关闭浇口）必须进行冷却以便正对浇口区的那部分制品能够有时间进行固化。阀杆的冷却是通过与冷却的浇口套接触来实现的。在三板式模具中，较粗的下沉流道的热焓必须很快带走，以便在制品满足顶出要求时，流道和下沉流道也会冷到能够被顶出的程度。

为什么要使用模腔（浇口套）镶件？对有些制品来说，不允许使用浇口套，在模腔镶接处留下迹线。这样一来，模腔必须对浇口区提供足够的冷却，通常是通过交叉钻孔或用环形水槽来实现。然而，需要用浇口套有如下几点原因。

①浇口的磨损 尽管有时可用焊接和重新加工的方法来修理损坏的浇口，但一般来说更换较小的浇口套要比更换整个模腔更为经济。

②浇口套的材料可以与模腔材料不同 例如，为了改进冷却效果，浇口套用铍铜制造，而模腔用的还是淬硬的模具钢。在一些特殊情况下，浇口套也可以用耐磨性较高的工具钢，而模腔却使用另外的较软的材料，如铸造铍铜、预硬化钢。

③排气 高速模具的模腔排气与模芯排气同样都很重要。浇口套镶件四周的环形排气狭缝很容易制造和维修。

④可实现差异冷却 不必采用独立的浇口套冷却回路，通过对通道尺寸的设计或在模具最初调试时，使用节流器作永久性的调整就可实现模腔和浇口套冷却的合理分配。这消除了对浇口套和模腔冷却回路进行独立控制的要求。并可通过将所有的冷却关闭一小段时间，避

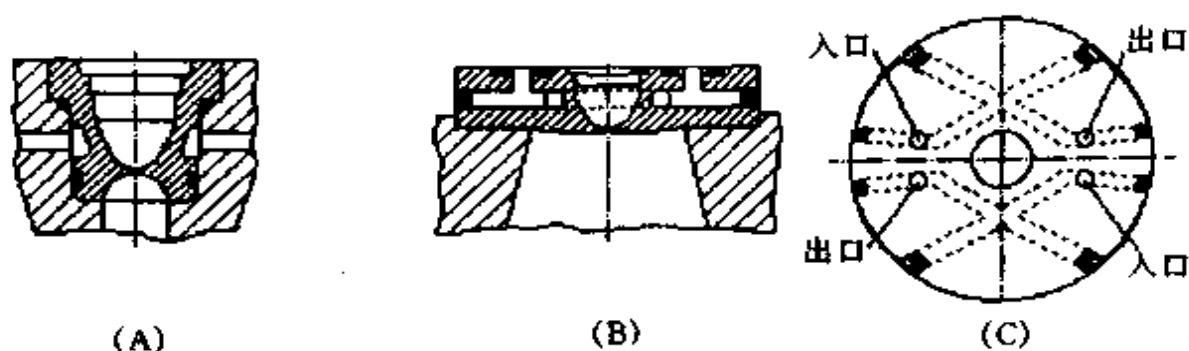


图 13-68 浇口套冷却的例子
 (A) 含有冷却槽的浇口套；(B) 含有交叉钻孔冷却
 通道的浇口套；(C) B 中交叉钻孔通道的模式

免由于浇口过冷引起的启动问题。

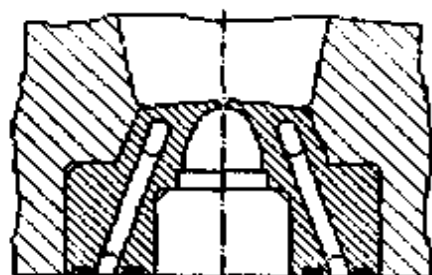


图 13-69 使冷却通道紧
 靠浇口的另一种钻孔模式

图 13-68 (A) 表示的是含有冷却槽的浇口套。图 13-68 (B) 和 (C) 表示的则是含有交叉钻孔冷却通道的浇口套。

图 13-69 所示的是另外一种钻孔形式，它使冷却通道可以紧靠浇口。这种形式类似于模腔的冷却，如图 13-51 (B) 和 (C) 所示。这些设计还有许多变形，选择最合适的布置就是设计者的事了。

13.5 供水管路（软管）的尺寸和数量

直到现在我们仅考虑了各种模具部件的冷却。现在我们要纵览一下整个模具。单层模具由装有模腔的固定半模（注射侧）和装有模芯的活动半模（顶出侧）组成。迭层模具有一个附加的浮动模具部件，该部件含有两层模腔，并处于静模和动模之间，静模和动模上各带有一层模芯。特殊模具，如用在有转位式、梭式或摆动式模板的注塑机上的模具，要使用两套或更多套注射或顶出的模具部件。在所有这些情况中，冷却的“进”“出”管路都必须与每个模具部分进行连接。这些冷却管路必须足够大，以便为每个模具部件提供所需的足量的冷却剂。

我们可以从经验中得出或计算出每小时所需的冷却水量（见第

13.6节), 每小时冷却水量与每小时模具中所加工的塑料量成正比。

没有哪个地方曾建议或暗示我们, 必须对模具中的每一冷却回路进行单独控制。因为我们现用的方法已在实际上运用了多年。这里存在一个问题: 我们需要重新考虑一下连接方法。不要在注塑机上或注塑机附近用歧管将大量的软管连接到模具上(否则软管就像“灌木丛”一样既难看又不实用)。歧管可做成模具部件的一部分, 专门提供冷却水, 重要的是与这些歧管相连接的软管的尺寸必须足够大, 以便为各分支回路提供所需的总流量。

这些歧管可集中在模板中(加工), 为通向模腔或模芯的各个水道提供冷却水; 或者作为辅助歧管(一般由铝制成)用螺栓固定在模板的侧面, 并用O型圈密封或用固定的外部管子与模板中的钻孔通道连接。

这种方法的优点是如下几方面。

①将每次更换模具时必须连接的软管数降到最低: 每个模具部分仅有一个“进口”和一个“出口”。这样可以降低软管的总数。例如, 引言中所讲的模具, 软管数可由52个降到4个。很少有需要这么多软管连接的模具, 有12到16个软管的模具很常见。

②关于使用大量软管的争议往往在于, 操作者可以使用阀分别对通向各个模具部件的冷却水的流量进行调节。运用模具中热交换的知识, 通常可以计算出冷却通道的尺寸和各种冷却支管的冷却分配率。在很少的情况下, 使用固定的节流器在最初试模时进行调整。之后, 则只对模具实施“进行冷却”和“关断冷却”两种操作。

③模具操作者不能改变冷却流动形式。一个模具要经过安装连接、启动和运行四个阶段。模具的冷却十分重要, 不能留待那些不懂得冷却要求的人去作调整。如果冷却操作中出现問題, 如通道堵塞, 模具就要进行修理了。

④自动模具安装。这是一个很重要的问题, 即使软管数量很少, 但软管连接到模具上仍会占去大部分安装时间。当每个模具部件仅有两个管路时, 连接还可以做得更快, 特别是使用“快换接头”的时候, 连接就更为方便快捷。模具移动到位后, 安装就相当容易了, 甚至可以

实现自动化。

⑤可接近。制品自动装卸需要在成型区下面放置传送带或引出装置，需要从模具上部或后部进入成型区，这一点尤其重要。气路或电线连接也需要空间，这些限制了可接近性。

⑥大量小软管和接头的实际成本和维护费用，要比二个或四个大软管和接头的费用大得多。当然，歧管也要增加费用，但从总体来看，最好还是使软管数量最少。

13.6 一副模具冷却介质的需求量

经常有人提出这样的问题：

- ①一副模具需要的冷却介质质量为多少 (L)？
- ②所需的冷却介质温度为多少？
- ③需要制冷机吗？
- ④这种模具需要多大的制冷机？
- ⑤这种模具的冷却管路要多大？

13.6.1 引言

一副模具就是一个热交换器。在注塑机料斗到注塑机注嘴的路途中，加到塑料上的能量（以热能和电能的形式）被用来将塑料从室温 (T_r) 增加到注射所需的温度 (T_i)。这些能量（以热量形式）在模具进行冷却时必须从塑料上转移走，以便最终制品变得足够硬，能被顶出。

如果我们假定没有热量因辐射和传导从注塑机上散失，那么用于塑化的能量的实际量就可以测出和计算出。对于这些计算，要考虑的几个重要方面是：

①挤出机（加上二级注射系统中的注料筒）所用加热器的实际功率 (kW)。

②每一次循环中，用于挤出机塑化树脂和用于加热器、驱动马达运作的实际能量（用 kW 表示），或更准确地说，在一小时的操作中，注塑机处于“循环状态”时（即不作进一步调整的运行和生产）所用的实际能量（用 kW 表示）。

这样的计算通过读取电动机的电流，对电力驱动的挤出机是相当

容易的。这对液压马达驱动的螺杆来说就较困难了，因为液压泵与螺杆液压驱动马达间存在着能量损失。用加热器加上电动机的全部连接负载，而不考虑它们“关闭”的时间，这样的计算肯定是错误的。因为大多数能量可通过螺杆驱动马达提供给塑料，仅有一部分由包着挤出机机筒的加热器来提供。它们之间的比率很大程度上依赖于挤出螺杆的设计（螺槽的结构），螺杆设计得越好，需要机筒加热提供的能量就越少。

注意，热流道系统（歧管和喷嘴加热器）中的热焓不可加到这些计算中去。在设计良好的热流道系统中，它的加热器仅用来维持从注塑机喷嘴到浇口间的熔体温度（使用大额定功率的歧管和喷嘴加热器的原因，是为了使模具从冷状态快速启动。如果模具处于运行中，则加热器只需使用它们额定功率的10%。在快速运行的模具中，甚至要将其全部关闭。）

上面的测量和计算，只能确定模具制成后的功率消耗和冷却系统的热负载。

13.6.2 输入热量的计算

这里介绍的方法尽管非常精确，但它取决于一些主要通过（用相似的模具和塑料生产相似的制品的）经验来假定的因素。

①估算的循环时间取决于：

- 制品的形状
- 壁厚
- 顶出方法
- 注塑机特性（合模速度、注射速度和压力）
- 塑料类型（熔融指数、热焓量、热导率）

②估算的冷却效率取决于：

- 设计（冷却布置）
- 模具材料的选择
- 估计的注射温度 (T_i)
- 制品顶出时的估计温度 (T_e)
- 冷却介质的温度和压力

● 模塑工厂的估计环境温度

例：一定质量的塑料从 T_1 加热到 T_2 (ΔT_h)，接着在模具中，这些塑料要从 T_2 冷却到 T_1 (ΔT_c)，每个循环的塑料质量 (M_s) (注射量) 等于制品的质量 (M_p) 乘以模腔数 (n)：

$$M_s = M_p \times n \quad (13-2)$$

每小时的塑料总量 (M_h) 等于注射量 (M_s) 乘以每小时的注射次数，如果用秒来估算周期时间 (t_c)，则：

$$M_h = M_s \left(\frac{3600\text{s/h}}{t_c} \right) \quad (13-3)$$

13.6.2.1 比热容

比热容可用两种方式表达。

①它是使一定质量的材料温度升高 1°C 所需热量，与等量的水温度升高 1°C 所需量的比值 (水的比热为 1)。大多数常用塑料的比热在 0.25~0.55 范围内。

②它也可用确定的单位表示，可用 BTU/lb · °F，也可用 cal/g · °C。

一些重要材料的比热容值在 22.11 节给出。

因为各温度的比热容不是定值，一般用将温度从 14.5°C 升到 15.5°C 得到的比热容值来确定。1 卡 (cal) 就是将 1 克 (g) 水从 14.5°C 升高到 15.5°C 所需要的能量 1cal 等于 4.1868 焦 (J)。对于其他形式的能量换算，可参见 22.13 节。

例：一 PS 制成的制品 ($C_p=0.34$) 质量为 35g，它是在一个 16 个模腔的模具中，在 6s 的周期中模塑成的。

注射量： $M_s = 35\text{g/腔} \times 16 \text{腔} = 560\text{g}$

注射次数/h： $\frac{3600\text{s/h}}{6\text{s/次}} = 600 \text{次/h}$

模塑量/h： $560\text{g} \times 600 \text{次/h} = 336000\text{g/h}$ (或 336kg/h)

热量/h： $336000\text{g/h} \times 0.34\text{cal}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C}) = 114240\text{cal/h} = 478.3\text{kJ/h}$ (每升高 1°C)

这就是将该质量的塑料温度升高 1°C 所需的热 (能)。

因为塑料必须熔化才能注射，所以它的温度必须从室温 $T_i = 22^\circ\text{C}$ 升高到注射温度的估计值 $T_i = 280^\circ\text{C}$ 。其温差 $\Delta T = T_i - T_i$ ，在本例中， $\Delta T = 280^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C} = 258^\circ\text{C}$ 。用 ΔT 乘以每小时塑料总质量升高 1°C 所需的能量，就得到 1h 内塑料需输入的总能量：

$$478300\text{J}/(\text{h} \cdot ^\circ\text{C}) \times 258^\circ\text{C} = 123401400\text{J}/\text{h} = 123\text{MJ}/\text{h}.$$

$1\text{MJ} = (1/3.6) \text{kW} \cdot \text{h}$ ；因而所需的总能量为

$$\frac{123\text{MJ}/\text{h}}{3.6\text{MJ}/\text{kW} \cdot \text{h}} = 34.17\text{kW}$$

13.6.3 冷却需要量

为了使模塑制品（相对较硬）能从模具中取出，加到塑料中的热量必须在成型过程中被移走。上面所给的等式同样可用在这里进行计算。

在大多数情况下，并不是需要将塑料冷却到 T_i ，只需降到一个合适的 T_e （估计值）。 T_e 可以比 T_i 高很多，只要能保证塑料硬到能够承受顶出力，并且热态顶出后不发生变形即可。因而，并不是所有加到塑料上的热量都要通过冷却水从模具中移走，大多数残留的热量将散发到周围（工厂或仓库）的空气中，部分热量还通过模具和注塑机辐射到工厂的空气中。

顶出的热制品在其完全冷却下来之前，仍继续进行收缩，这将会影响制品的尺寸，在制品尺寸要求精确，如容器与其盖子配合的情况， T_e 的温度将是关键的。对收缩率大的材料（PE、PP 等），顶出后的收缩影响要予以特别重视。

例：继续上面的例子，336kg 热塑料，现在已成型为制品，需要从 $T_i = 280^\circ\text{C}$ 冷却到安全的顶出温度 $T_e = 50^\circ\text{C}$ ：

$$\Delta T = T_i - T_e = 280^\circ\text{C} - 50^\circ\text{C} = 230^\circ\text{C}$$

像前面一样，计算要从模具中移走的热量：

$$478300\text{J}/(\text{h} \cdot ^\circ\text{C}) \times 230^\circ\text{C} = 110000\text{kJ}/\text{h} = 110\text{MJ}/\text{h}$$

从冷却水中移走的热量是：这些热量都转移到冷却塔、制冷机或两者结合使用的设备。

$$\frac{110\text{MJ}/\text{h}}{3.6\text{MJ}/\text{kW} \cdot \text{h}} = 30.55\text{kW}$$

在模塑和冷冻技术中，热量往往用“冷吨”表示，其定义为将 1t 0°C 的冰融化为 0°C 的水所需的热量换算因子为：

$$1 \text{ 冷吨} = 3.516 \text{ kW} \quad (1 \text{ kW} = 3413 \text{ Btu/h})$$

在本例中，我们需要 $30.55 \text{ kW} \div 3.516 \text{ kW/冷吨} = 8.7 \text{ 冷吨}$

13.6.4 冷却水的温度

要从模具中的塑料上转移走热量，通过冷却水流经模具并流回冷却系统（如制冷机或冷却塔）带走。模具进出口处的冷却水温差 ΔT 是根据过去的经验来设定的。在许多情况下， $\Delta T_c = 5^{\circ}\text{C}$ 就是很好的选择，但有时也需要 $\Delta T = 1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 。在有些模具中 ΔT 可达到 10°C ，这也是可以接受的。可参见第 13.6.7 节，冷却效率。

冷却水是很冷还是中等程度的冷并不很重要。从热塑料转移到冷却水的热量，在很大程度上取决于注射的塑料与冷却水间的温差，还取决于冷却通道的设计、模具零件材料的选择。

假定（如上例） $T_i = 280^{\circ}\text{C}$ ：

冷却水温度 $T_c = 5^{\circ}\text{C}$ ，则 $\Delta T_c = 280^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = 275^{\circ}\text{C}$

冷却水温度 $T_c = 10^{\circ}\text{C}$ ，则 $\Delta T_c = 280^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 270^{\circ}\text{C}$

这表示在冷却的上限仅有大约 2% 的差别，当在冷却的下限（即这时的塑料几乎已完全达到在模具中的最终温度），估计 50°C 时顶出，这时的差别是：

冷却水温度 $T_c = 5^{\circ}\text{C}$ ，则 $\Delta T_c = 50^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = 45^{\circ}\text{C}$

冷却水温度 $T_c = 10^{\circ}\text{C}$ ，则 $\Delta T_c = 50^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 40^{\circ}\text{C}$

这表示在冷却的下限会有大约 10% 的差别。

事实上，使用较高的 T_c 仅稍微增加塑料冷却所需时间，在很多情况中，使用很冷的冷却水所增加的（设备和动力）成本被证明是不经济的。

13.6.5 露点

露点是空气中的水蒸气（用相对湿度表示）发生冷凝的温度。工厂空气中的相对湿度（%）越高，露点就越高。如果冷却水的温度低于露点，水蒸气将会在冷却水通道和模具上发生冷凝，引起滴水 and 腐蚀。

冷却水温度低于露点也会给成型带来麻烦：假定空气湿度较大，冷却水温度低于露点，在制品顶出后，模具再次闭合前，模腔、模芯在极短的暴露时间内，就会有大量的水滴在冷的成型表面冷凝，引起制品上出现严重的斑点，造成废品。这实际发生在退螺纹式模具上，在螺帽松开后，模芯板在转位和到达正确模塑位置之前，会在空气中暴露 3s。有些时候，模具能正常工作；另一些时候，制品就报废了。调查结果表明，这些质量变化与气候有关，在干燥的日子里，生产的制品是好的，但在潮湿的日子里就会出问题。不管空气的湿度如何，只要冷却水温度升高几度，超过露点后，一切就工作正常了。仅有的牺牲是循环可能被延长约 1s。

13.6.6 所需冷却水的量

使用与前面相同的公式来继续进行计算，但要倒过来使用，并使用上面开始的例子。已知每小时要有 110000000J/h（或 110MJ/h）的热量从模具中移走。如果假定冷却水进入模具时为 5℃，然后在模具中升高到 10℃， $\Delta T_c = 5^\circ\text{C}$ 。本例中每小时需要多少升水呢？

$$\frac{110000000\text{J}/(\text{h} \cdot ^\circ\text{C})}{5^\circ\text{C}} = 22000000\text{J}/\text{h} = \text{加热 } X \text{ 升水所用能量。}$$

将其换算为热量：

$$X = \frac{22000000\text{J}/\text{h}}{4.1868\text{J}/\text{cal}} = 5254609\text{cal}/\text{h}$$

因为水的比热容 (C_p^*) 等于 1，所以：

$$\frac{5254609\text{cal}/\text{h}}{1\text{cal}/\text{g}} = 5254609\text{g}/\text{h} = 5254\text{L}/\text{h} \text{ 水}$$

因为冷却水的流量往往用分钟来度量：

$$\frac{5254\text{L}/\text{h}}{60\text{min}/\text{h}} = 88\text{L}/\text{min} = 23.3\text{U. S. gal}/\text{min}$$

这仅是些理论数值，还必须将其调整为实际用量，第 13.6.7 节，冷却效率，有此方面的解释。然而，在讨论效率前，我们必须考虑一些有关上述冷却介质（水）的理论值的注释。

①如果在模具进出口处的冷却水温差 ΔT_c 选用 1.5℃ 来代替 5℃，则每小时所需的冷却水量将以 5 : 1.5 的比例增大，即：

$$23.3 \text{ U. S. gal/min} \times \left(\frac{5^\circ\text{C}}{1.5^\circ\text{C}} \right) = 77.6 \text{ U. S. gal/min} = 293.7 \text{ dm}^3/\text{min}$$

②如果 ΔT_c 选用 10°C ，所需的冷却水量会以 5 : 10 的比例减小，即：

$$23.3 \text{ U. S. gal/min} \times \left(\frac{5^\circ\text{C}}{10^\circ\text{C}} \right) = 11.65 \text{ U. S. gal/min} = 44.1 \text{ dm}^3/\text{min}$$

③类似的原理也适用于顶出温度 T_c 。如果 T_c 较高，比如说 60°C 来代替 50°C 的话，所需的冷却水量就较少。相反，如果 T_c 较低，比如说 40°C ，所需冷却水量就较多。

④比热容因子较高的塑料，如 PP 和 PE ($C_p = 0.50 \sim 0.55$)，所需的冷却水量是 PVC ($C_p = 0.25$) 等塑料的 2 倍。不同的塑料和其他一些材料的 C_p 值可参见第 22.11 节的表 22-3，也可向塑料供应商核查。

⑤如果循环周期不是估计的 6s (上面的例子) 而是 9s，那么每小时的注射次数将由 600 变为 400，这样需要从模具中移走的输入热量仅为原先的三分之二。

⑥相反，如果模具运行较快，比如说周期由 6s 变为 4s，则每小时的注射次数变为 900，所塑化的材料应达到 504kg，即超出估计值 50%，因此，这就需要每小时提供更多的冷却水。

13.6.7 冷却效率

如果这里不考虑流过模具冷却系统的冷却水量的话，从模具上移走的热量的理论值，实际上就是必须从冷却水上移走的热量的真实值。但只有在从塑料到冷却水的热量转移发生在限定的周期时间内时，这样才能确定冷却水的正确用量。

在冷却布置很差的模具中，热量从热塑料向冷却水转移得很慢，冷却所需的时间要比预期的数值及上述热交换计算中所用的值大得多。在冷却布置良好的模具中，热交换所需的时间可以大大缩短，它可以等于预期值或更短，因而，可以使周期更短些。

然而，即使在一个冷却布置良好的模具中，希望用理论算得的冷却水量，在它流经水道时，能在预期的周期时间内吸收所产生的全部热量也是不现实的。因而，所需的冷却水量很大程度上取决于模具转移热量的冷却效率 (E_{cm})。

E_{cm} 取决于模具结构的各种特性、所选冷却介质的化学性质、冷却介质的热导率和模具中冷却介质的速度和流动行为（紊流或层流）。注意，冷却水的流动（速度）主要取决于流入的冷却水压力与返回冷却水源的回流管压力之间的压力差。

概括说来，冷却效率 E_{cm} 受下列因素影响：

- ① 模具材料（热传递）；
- ② 冷却通道与成型表面的接近程度；
- ③ 冷却通道的大小和平衡，要保证所有通道能有效地、均匀地从所要冷却的区域将热量带走；
- ④ 冷却通道的表面状况（锈、污点）；
- ⑤ 冷却通道的流动类型（紊流或层流），本身又取决于通道的尺寸和进出口处冷却介质的压力差；
- ⑥ 冷却介质的化学性质（比热、粘度等）。

我们不可能对一个模具的冷却效率 E_{cm} 给出一个确定值。我们仅仅知道伴随热塑料进入模具的热量的确定值（可计算出）以及必须被冷却水带走的热量（通常要小一些）的确定值（可计算出）。在实际操作中，流经模具的冷却水要比计算的理论值大得多。实际的 E_{cm} 可以通过测试不同的已造好的模具来确定，首先要计算出对某种材料和周期时间所需的冷却水的理论值，然后在模具以限定的周期时间进入循环状态时测量其所需的冷却水流量，这样就可求得：

$$E_{cm} (\%) = \frac{Q_c}{Q_a} \times 100 \quad (13-4)$$

式中 Q_c = 冷却水的计算量， Q_a = 冷却水的实际量，或：

$$Q_a (\%) = \frac{Q_c}{E_{cm}} \times 100 \quad (13-5)$$

继续使用前面的例子，计算得出的冷却水量 $Q_c = 88\text{L}/\text{min}$ 。假定 $E_{cm} = 50\%$ ：

$$\frac{88\text{L}/\text{min}}{0.50} = 176\text{L}/\text{min} = 46.6\text{gal}/\text{min}$$

注意：冷却水量的增加将会降低进出冷却水的温度差，但如前所

述，转移到冷却水上的热量仍与计算值一样。

13.6.8 冷却水的供应

冷却水供应的问题通常是模具要不要设置制冷机，要用多大的制冷机。这些问题在这里将作出回答，以便在关于这个问题上给设计者一些基础知识。但认真的学者应该参看有关冷却的专门文献。

如果供给工厂的水量充足，温度较低，成本也较低，就不需要使用制冷机。可以设想模塑工厂建在紧靠一个水温低且相当衡定的大湖边，工厂可以使用大的抽水机来提供所需的流量，但这是不太可能实现的。另一种情况就是利用“城市”供水来满足温度和流量的需要，但往往成本太高。偶尔小型注塑机或实验装置可以使用这种方法，但对于工厂，一般来说，这样做是不切实际的。

13.6.8.1 冷却塔

当热水以小股形式瀑布般流过冷却塔时，它就会暴露在外面较冷的空气中，并使空气从水面上吹过。这使得部分热水发生蒸发，蒸发热量又冷却了剩余的水（这个过程就像用吹气来冷却一勺子汤一样）。如果不是全部，则绝大部分模塑工厂都会使用冷却塔冷却，并将水循环用于冷却注塑机中的液压油。在许多工厂中，模具冷却的总负荷并不高，或供给模具的水温变化要求不严，模具也可以直接用冷却塔水冷却。在冷却塔里蒸发掉的水必须由工厂水源（城市供水或井）（自动地）补足。通常是用一个大的贮水罐，使其水位保持不变；或者将水存贮在塔旁的水池里，它也可以通过蒸发作用对水进行冷却。

很容易用泵抽进大量的水使其流经一个或一系列的冷却塔，但冷却过程还很大程度上取决于外界的温度和湿度，所以从冷却塔来的水不能为模具提供所需的恒定水温，这些温差在用于机器冷却时，通常是可以接受的。若使用水冷制冷机，可以自动补偿这些温差变化。

冷却塔相当便宜，要用电力来带动吹气机（通常是 0.373~1.49kW 的电机，每个水塔有一个或多个）和循环泵使工厂供水管路保持所需的压力，通常在 275.8~344.7kPa。所需的水量越多，水泵就越大。在许多模塑工厂，并联布置了许多水泵，通常留一个后备泵以备负荷高峰时或其他水泵有一个停转时使用，使工厂不会由于一个水泵

的停机而受到影响。每一个水泵电机通常是 22.37~74.57kW。

13.6.8.2 制冷机

所有的制冷机都有以下几种单元。

①一个冷却系统。它把来自模具的热量交换到“冷却塔”的水中或工厂周围的空气中；

②一个循环泵。它为进入模具的已冷却的水提供必要的流动（压力）；

③一个控制台。用必要的传感器、开关和阀门来调整流量和温度。

制冷机基本上有：空冷制冷机和水冷制冷机（常使用水塔水）两类。此外制冷机可划为两个等级：

①专用制冷机（即一个制冷机只为一副模具服务（位于机器旁边））；

②中央制冷机（即一个或多个制冷机集中布置在一起为一组机器或整个模塑工厂提供服务）。

两种类型（专用式或中央式）既可是空冷的也可是水冷的。中央制冷机多用水冷。在夏天空冷制冷机将热空气通到外面去；在冬天通入工厂的加热系统中去。专用制冷机既可用空冷又可用水冷，但通常，如果其容量超过 10t，为了不给工厂空气增加过多热量，就采用水冷。

下面有一些支持和反对使用专用或中央制冷机的理由。专用制冷机有如下优点。

①每个模具可以拥有自己的冷却水温。这可能是也可能不是真正需要的，这种需求要认真考虑。

②一些制冷机装有加热器，可以提供升温的冷却剂，有时这是需要的（如对 ABS、PC 等）。

③不需要昂贵的输送冷却水（和回流）的保温管。

④在制冷机停机时，仅有一台注塑机受影响。

专用制冷机有如下缺点。

①注塑机上需要更多的电力。

②它们在工厂中占用注塑机处的空间，增加了工厂的拥挤，降低了注塑机的可接近性。

中央制冷机有如下优点。

①只要安装正确，完全停机的危险几乎是不存在的。至少要有一个制冷机处于“备用”状态以备别的制冷机停机时启用。大多数工厂，加上备用制冷机，一般以并联方式装备两个或两个以上的制冷机。

②制冷机、水泵和空气压缩机在远离注塑机的中心位置，有利于车间内的可接近性。只要规划正确，在不扰乱车间正常布局的情况下，可以轻松地加入一些辅助设备。

③对于每吨冷却输出来说，固定式的（中央）制冷机要比移动式的专用制冷机成本低廉。

中央制冷机有如下缺点。

①需要工厂为其单设房间。

②管子成本很高。除了需要两条管路为注塑机提供水塔水外，还需要两条保温良好的管路，使冷却水在通过工厂的热环境时产生的热损失最小。

③所有模具使用的冷却水温度都相同，模具温度的调整只能通过调整冷却水的流量来实现。

许多有中央制冷机的工厂还使用辅助的专用制冷机为一些模具供水，以保证所有的模具在运作过程中都处于最佳的冷却水供应状态。

13.6.8.3 所需制冷机的大小

在前面的例子中，需要 30.55kW（或 8.7 冷吨）的冷却容量。在不同的制造商处，制冷机有这样一些标准额定值：3，5，10，15，20，……，等吨容量。此外，专用制冷机还配备具有额定功率的循环泵，电功率在订购时确定（如在预定压力下有 0.735 (1)，1.471 (2)，2.206 (3)，2.942 (5)，1.735 (10)，……，等 W（马力）或 gal/min 的流量）。每一个制冷机都有自己的表示泵容量、压力和冷却容量之间关系的数值曲线，这一点超过了本书的范围。在决定要订购多大的制冷机和泵时，建议向该领域的专家进行咨询。

注意：关于制冷机的大小，最好留一些保守容量，而不是让制冷机在其额定的功率下工作。还有另外一些热量必须从模具和冷却水中转移走，有如下几种热量。

①由热流道系统输出的热量。前面已经讲过，热流道的加热器只增加很少的冷却需求量。（模具仍是冷的时候，加热器全部“接通”，将流道内的塑料熔化。在这段时间内，注塑机还没开始操作，注射装置还没有给出需要转移的塑料的热量。）然而，即使在模具操作过程中，加热器额定容量的一小部分仍处于“接通”状态，它的量也是很小的。例如，如果前面的例子中16个模腔中每个加热器是250W，而歧管加热器总共是6000W，则总容量是 $(250\text{W}/\text{腔} \times 16\text{腔}) + 6000\text{W} = 10000\text{W} = 10\text{kW}$ 。合理的估计是在模具运作时仅有10%的容量是“接通”的，即将有1kW来自这些加热器，但与塑料上的30.55kW相比还是一个很小的值。

②循环泵在泵水通过模具时也会给水增加热量，但这些热量仍是相对很小的。

对先前的计算数值加上25%的安全系数，结果就差不多正好了。在本例中， $8.7\text{冷吨} \times 1.25 = 10.87\text{冷吨}$ 。实际上，10t的需求可能差不多正好；否则就要选用15吨的。对于中央制冷机，10.87t将加到工厂已有的容量上。如果没有足够的保留量，就必须增加一个冷却装置来满足这个需要，并为将来容量的增加提供保留量。

所有模具同时运作时，总冷却容量应该进行计算，看看冷却水的总需求量是否在中央系统的制冷机容量之内，这是工厂管理的一个很重要的内容。

13.6.9 冷却管路的大小

这不但在将水分配给注塑机，并从注塑机中引出冷却水的管路中，而且在连接主通道与模具进出水的软管的管路中，都要考虑。详细的细节已超出了本书的范围，但设计者必须明白管路——管子、软管、配件和开关阀门——在设计时所有部件应该足够大，允许所需的冷却水能按规定的量，到达不同的冷却回路中。

在许多模塑工厂中，视注塑机的数量而定，从冷却塔到注塑机的供水管路尺寸为12.7~20.32cm或更大；通向每台注塑机的分支管路尺寸（取决于注塑机的大小）为2.54~5.08cm或更大。制冷机冷却水的管路的尺寸与此类似。回流管路一般比供水管路大2.54~5.08cm，

以保证这些管路内几乎没有背压。背压会影响冷却水流过模具或注塑机的冷却回路。

推 荐 读 物

1. Bernhardt, E. C. (1987) *Application of Computer Aided Engineering for Injection Molds*. SPE/Hanser Publishers, Munich.

2. Tseng (1984) . *Computer Cooling Analysis to Select Bubbler or Baffle*. ANTEC.

3. Singh (1984) . *Computer Software for Plastic Cooling Analysis—A new approach*. ANTEC.

4. Menges, G. ; Mohen, P. (1992) . *How to Make Injection Molds*. 2nd Ed. Hanser Publishers, Munich.

5. Rubin, I. I. (1972) . *Injection Molding; Theory and Practice*, J. Wiley and Sons, New York.

6. Oberg, E. ; Jones, F. ; et al. (1994) . *Machinery Handbook*, Industrial Press Inc. , New York.

7. *Modern Plastics Encyclopedia*. McGraw-Hill, New York.

8. *Mold Cooling Analysis Program (MCAP)*, General Electric Company.

第十四章 热膨胀

14.1 影响热膨胀的变量

任何材料在温度升高时都会膨胀。沿着一个方向的膨胀叫“线性”膨胀，膨胀量可用 $\text{mm}/(100\text{mm} \cdot ^\circ\text{C})$ 表示，也可用 $\text{in}/(\text{in} \cdot \text{F})$ 表示。表 14-1 列出了一些模具所用材料从室温升高到 290°C 时的近似值 k 。其他材料的 k 值可在参考书中查到。

表 14-1 模具材料从室温升到 290°C 的线性热膨胀系数 k

| 材 料 | 线性热膨胀系数 k | |
|-------------|--|--|
| | $\text{cm}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C})$ | $\text{in}/(\text{in} \cdot \text{F})$ |
| H13 | 0.00001224 | 0.0000068 |
| P20, 4140 | 0.00001139 | 0.00000633 |
| 420(SS), A2 | 0.00001152 | 0.0000064 |
| 铸铁 | 0.00001179 | 0.00000655 |
| 铝 | 0.0000224 | 0.00001244 |
| 黄铜 | 0.000018 | 0.00001 |
| 铜 | 0.0000162 | 0.000009 |
| 铍铜 258.3 | 0.0000176 | 0.0000098 |

在模具中不可避免出现温差（比如，在热流道歧管、注嘴和周围模板之间）时，就必须考虑热膨胀产生的力。在相当冷的模板中也要考虑热膨胀造成的位移，这时的温差可能很小，但模板尺寸很大；这就会造成温度高的模板尺寸比较冷模板尺寸增大较多，以致模具零件间出现不匹配现象。

材料强度与热膨胀间的数学关系如下，物体根据此公式（线性）膨胀

$$e = Lk\Delta T \quad (14-1)$$

式中 e ——膨胀；

L ——长度；

ΔT ——温升。

物体受外力 F 作用时，会被拉长（或压缩），变化量 f 可由下式计算：

$$f = \frac{FL}{AE} \quad (14-2)$$

式中 L ——物体长度；

A ——横截面积；

E ——弹性模量。

表 14-2 列出了一些模具材料的弹性模量 E 的近似值。其他材料的 E 值可在参考书中查到；如果需要更精确的数值，可向制造商查阅性能表。

表 14-2 各种模具材料弹性模量 E 的近似值

| 材 料 | 法定计量单位/MPa | 英 制/psi |
|---------|------------------------------|----------------------------|
| 碳钢 | 2.0×10^6 | 30×10^6 |
| 不锈钢 | $(1.9 \sim 2.0) \times 10^6$ | $(28 \sim 29) \times 10^6$ |
| 铸铁（宽范围） | $(0.8 \sim 1.4) \times 10^6$ | $(12 \sim 20) \times 10^6$ |
| 可锻铸铁 | 1.7×10^6 | 25×10^6 |
| 铸钢 | 2.0×10^6 | 30×10^6 |
| 铝 | 0.7×10^6 | 10×10^6 |
| 铜，铍铜 | 1.2×10^6 | 17×10^6 |

物体所受的应力 S 表示为：

$$S = \frac{F}{A} \text{ 或 } F = AS \quad (14-3)$$

将 (14-3) 式中的 F 代入 (14-2) 式中，则：

$$f = \frac{ASL}{AE} = \frac{SL}{E} \quad (14-4)$$

例：将一个模块放在两块模板间，并用螺丝夹紧（图 14-1）。假设模块高度 (L) 与它所放的模板之间的高度相同，当模块被加热，而模板仍保持原有温度时，由于 ΔT 造成的热膨胀将会产生如箭头方向的力 F 。这个力将由螺丝承受。如果螺丝强度比力 F 大，距离 L 将保持

不变，而加热模块被压缩的量等于其热膨胀量。如果螺丝强度不足，模板将会被分开。（这里假定模板强度很大，不会发生拉伸或弯曲。）

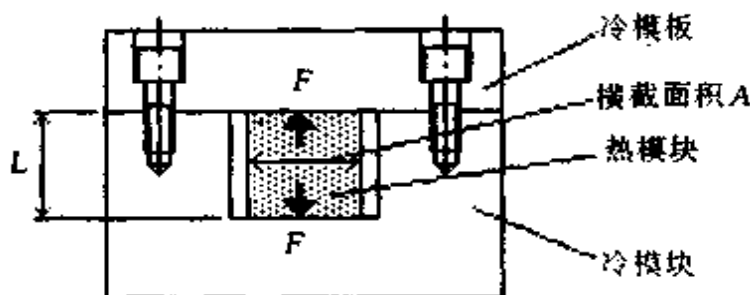


图 14-1 一个热的模块装在两块冷模板之间

被加热模块的膨胀量为 e ，这可以通过式 14-1 计算出来。但因为包围这

个块的冷模板不会屈服于它所产生的力，这个力将物体压缩了，压缩量为 f （见式 14-2，作为 e 也同样适用）。

将式 (14-1) 与式 (14-4) 相等：

$$Lk\Delta T = \frac{LS}{E} \text{ 或 } S = k\Delta TE \quad (14-5)$$

式 (14-5) 表明长度 L 和面积 A 对块上的应力没有影响，换句话说，如果超出了许用应力 S_p ，增大面积或改变长度对它都是毫无意义的。只有材料选择（影响 E ）、许用应力 S_p 和温差 ΔT 才是重要的。

表 14-3 公制和英制计量单位

| 计 量 单 位 | 法定计量单位 | 公 制 | 英 制 |
|-----------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 温度 T | C | C | F |
| 热膨胀系数 k | cm/(cm · C) | cm/(cm · C) | in/(in · F) |
| 弹性模量 E | MPa | kg/cm ² | psi |
| 应力 S | MPa | kg/cm ² | psi |
| 面积 A | cm ² | cm ² | in ² |
| 长度 L | cm | cm | in |
| 力 F | N | kg | lb |

注：1kg/cm² = 14.7psi = 9.81 × 10⁻²MPa。

14.2 许用应力中的因素

14.2.1 材料选择

有时可能会选取高屈服点的淬硬钢。然而，设计者必须考虑到，在

温度升高的条件下操作，许多模具钢在超过一定温度时，它的拉伸（和屈服）强度会发生很大程度的降低。这可从制造商提供的数据中看出。如果在材料所受应力超过屈服点，材料将会发生永久变形。

设计者也要考虑到，承受应力的零件经常要承受周期性载荷而不是稳定的载荷，这会引起钢的疲劳，应考虑在理论屈服点上加一个宽松的安全因子（见第十八章）。安全因子至少要选用 5，如果这是不实际的，在选择任何较低的安全因子时，都要仔细考虑它对模具寿命的影响。为了对模具零件提供准确的强度，可能需要进行多次重新设计。

14.2.2 “冷间隙”的产生

冷间隙是在被加热零件的长度小于两个支撑冷模板之间的距离时产生的，这时整个系统还是冷的。当对系统进行加热，被加热的零件伸长，直到它接触模板，并开始受到压缩。由于长度的一小段增长是自由的，所以被加热零件在达到它的最终（操作）温度时仅有一部分膨胀力对它施加作用。

在许多热流道系统中，需要用这个力来进行密封，以保证塑料在压力作用下通过接触面时不会逸出。只要有足够数量的螺钉，并且拧紧后产生的预载足以抑制膨胀，各零件之间就不会被分开。在注射时，模具被合紧，合模力与螺钉的力的作用方向相同，将模板合在一起；一旦合模力撤走，就必须用螺钉固定模板，抵抗热膨胀力（参见第十九章）。

在设计热流道系统或其他零件温度不同的模具组件时，弄清楚上述的关系很重要。模具中的许多问题就是因为没能弄清楚热膨胀的影响造成的。

每当组件中各零件的温度不同时，就必须进行热膨胀和冷间隙的计算，这里存在的最大问题往往是对温度的估计。

例：一个模具零件（比如在长度方向上截面一致的实心或管状圆柱体）被夹在两块模板之间。模板间的冷态间距 L_c 为 100mm，模具零件的长度 L_p 也为 100mm。模具零件要达到的温度 T 为 250℃。所选材料（在 500℃时）拉伸强度为 1667MPa，屈服强度为 1373MPa。安全因子选用 3，许用应力限制在 457.7MPa。

使用式 (14-1), 100mm 长的模具零件的热膨胀 e 为:

$$e = 0.0000114 \text{cm} / (\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}) \times 100 \text{mm} \times 250^\circ\text{C} = 0.285 \text{mm}$$

如果 $L_p = L_c$, 模具零件的应力将为

$$S = 0.0000114 \text{cm} / (\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}) \times 250^\circ\text{C} \times 196133 \text{MPa} = 559 \text{MPa}$$

这比所选许用应力 (457.7MPa) 大得多。因此, 模具零件的长度必须减少以提供一个冷间隙。如果 L_p 缩短膨胀量 (0.285mm) 的 60%, 成为 L_{p1} , 模具零件的长度将为: $L_{p1} = 100 \text{mm} - (0.285 \text{mm} \times 0.6) = 99.829 \text{mm}$ 。这样所产生的应力只是上述计算应力的 40%, 即 $559 \text{MPa} \times 0.4 = 223.6 \text{MPa}$, 这是可以接受的。

应力也可通过式 (14-1) 和式 (14-4) 计算出来, 即 $e = 0.285 \text{mm} \times 0.4 = 0.114 \text{mm}$ (仍对模具零件起压缩作用的热膨胀部分), 它等于模具零件被压缩的量 f

$$e = f = \frac{L_p \Delta t}{E} \quad (14-6)$$

现在解出 S :

$$S = fE / L_{p1} \quad (14-7)$$

$$S = \frac{0.114 \text{mm} \times 196133 \text{MPa}}{99.829 \text{mm}} = 224 \text{MPa}$$

注意: 模板间距尺寸 (100mm) 和模具零件的长度 L_{p1} (99.829mm) 要受到加工误差的影响。设计者必须计算一个最坏的情况 (即冷间隙为最小的情况) 来保证应力仍是可接受的。还要计算相反的最坏情况 (即冷间隙最大的情况) 以保证仍有足够大的力来维持密封, 这对于热流道部件可能需要。

14.3 热 梯 度

如果一个模具零件处在一块热模板 (被加热的) 和一块冷模板 (被冷却的) 之间。模具零件接触热表面的区域, 保持与热模板同样的温度; 同样, 接触冷表面的区域, 保持与冷模板同样的温度。为了简化计算, 可以忽略辐射损失和其他因素, 假定模具零件温度为 T_p , 这是热模板温度 (T_h) 与冷模板温度 (T_c) 的算术平均值:

$$T_p = \frac{1}{2}(T_h + T_c) \quad (14-8)$$

图 14-2 示意了一个例子。式 (14-8) 是一个简单的近似。然而, 当模具零件形状和横截面较复杂时, 如热流道座套, 它有许多不同的壁厚, 就需要较复杂的方法来确定冷间隙。

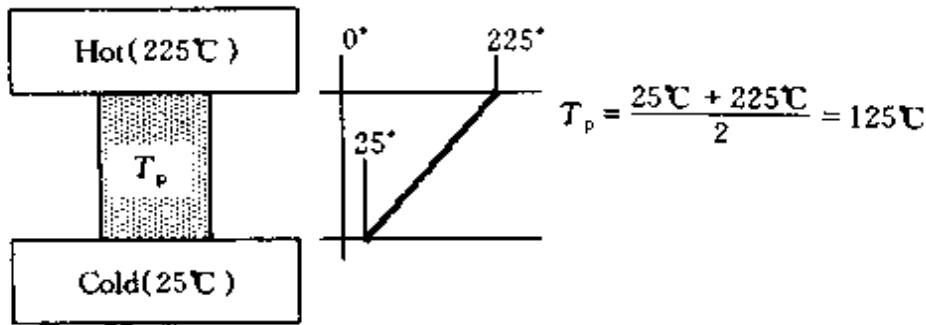


图 14-2 模具零件夹在热模板和冷模板之间, 热梯度如图所示

14.4 模 板

组成模具组件的模板之间的温差可能是另外一个问题源。理想的情况是, 每个模板都应具有相同的温度, 以保证所有的定位要素都正好达到所要求的位置。

用个典型的例子来解释一下这种说法。

例: 一块模腔板上带有两个导套, 一块与其相匹配的模芯板上有两个导销, 导销中心线间距为 400mm。当模具达到操作温度时, 模腔板温度要比模芯板高 20°C, 导套分开的距离要比导销的大, 用式 14-1:

$$0.000011394\text{cm}/(\text{cm} \cdot ^\circ\text{C}) \times 400\text{mm} \times 20^\circ\text{C} = 0.091\text{mm}$$

考虑到导套与导销间的常规间隙仅约 0.025mm (在直径上), 本例中的导销不会很容易进入它们的导套中的。合模力将迫使它们进入, 这样就逐渐地将衬套磨损掉了。

为了能用这些导销进行正确的定位, 两模板间的温差不可超过 5°C。如果模板很大, 热膨胀的效果也将会成比例地增大。

为解决上述问题, 请考虑下面的选择:

①模具中所有支承定位零件（导销、锥销、定位销等）的模板保持同一温度，这也许是不可能达到的。

②不用大间隔的导销来定位，而要：

●使用图 14-3 所示的四联锁装置，或者

●对每一个模腔（模芯）实行独立定位，再紧固，这样它们在各自的垫模板上是浮动的。

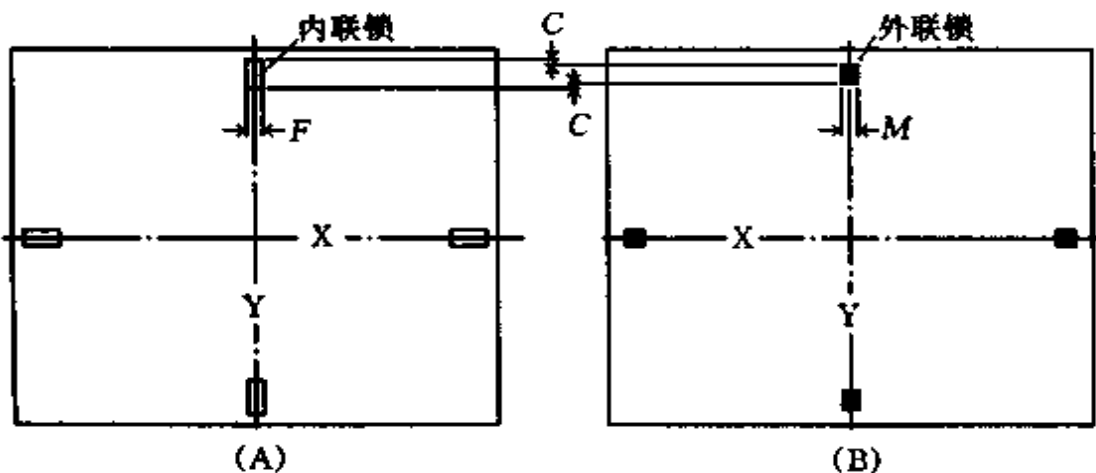


图 14-3 典型的模腔和模芯模板上的联锁装置

(A) 内联锁；(B) 外联锁

14.4.1 联锁装置

图 14-3 中的联锁装置，实际上是一个“矩形”导销。在一条轴线上紧密（滑动）配合，在另一条轴线上可以自由移动。内外联锁部件都采用精密公差，并紧配合在它们各自的模板上。如果模板间温度发生变化，较热的模板尺寸会增大（从中心向外），但不会引起联锁装置像圆导销在类似情况那样，产生“咬合”现象。不管温差有多大，模具的 X 和 Y 中心轴线仍保持在原有位置。

典型地， $M=F=25\text{mm}$ （标称尺寸）， $C=1\text{mm}$ 或更大， F 与 M 的总间隙在 0.045mm （最大）和 0.020mm （最小）之间。

14.4.2 模块的各自定位

各模块（组件）定位的常用方法：

●模腔、模芯和（或）脱模圈采用锥度配合。

同样，对小型的，工程用的模腔模块层常用：

- 定位销或小型导销，或
- 模楔，或模楔与定位销或导销结合应用。

上述情况的定位精度取决于配合零件间的精度。

在锥锁或模楔中，外锥温度的升高会减小或可能消除特意设置的预载，因而失去了锥形的定位特性；内锥温度的升高会增大预载，这会破坏模具或使模具无法闭合。

在使用定位销或小导销时，如果有一个零件温度较高，则销与套之间的距离就会改变。在大多数模具中，这些距离是小的，但在所有的情况中，冷却管道的布置必须经过很仔细地考虑，以便给模腔和模芯提供足量的冷却，使温差控制到最小，特别是在一边紧靠热流道的情况下。

在上述的每一种情况下，模芯（很少是模腔）采取浮动安装，必须通过模具闭合压力进行定位。这种安装设计将模芯装在垫模板上，它能向侧边移动一小段距离，但在开模时，它被限制在模板上而不会掉下来（图 14-4）。

在图 14-4 中，每边浮动量 $C=0.1\text{mm}$ 。LT 是定位过渡配合。通常冷却水供应是从垫模板进入模芯的，用这种方法，如果模芯脱离模板，冷却水就会渗出。固定模芯的力必须足够大，以防开模时，模芯与垫模板脱离（由于模具的开模）。向一边浮动距离的极限，通常每边不超过 0.1mm ，这种限制是很重要的，它可以保证定位零件在不损坏模芯或模腔的情况下，使模芯回到原位。

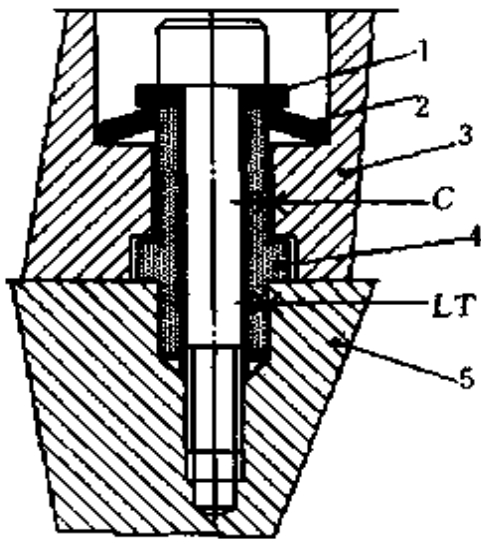


图 14-4 模芯在垫模板上的浮动安装

- 1—垫圈；2—弹簧垫圈；3—模芯；
4—套筒；5—模芯垫板

14.4.2.1 垂直合模

垂直合模用在采用浮动安装的模具中，或模芯与模腔匹配精度很重要的模具中（甚至不用垂直合模）。对于锥度合模，任何定位零件都是适用的。如果一个锥体用来进行定位，它的锥角必须

小于合模角 α ，以便在“危险点”到达同一水平面之前起作用（图 14-5）。如果不可避免地要采用垂直合模，则定位零件在危险点接触之前起作用是绝对必要的。对于导销，导销间隙要比模具闭合时模芯与模腔间的闭合间隙 C 小，但一般来说，应避免采用垂直合模。

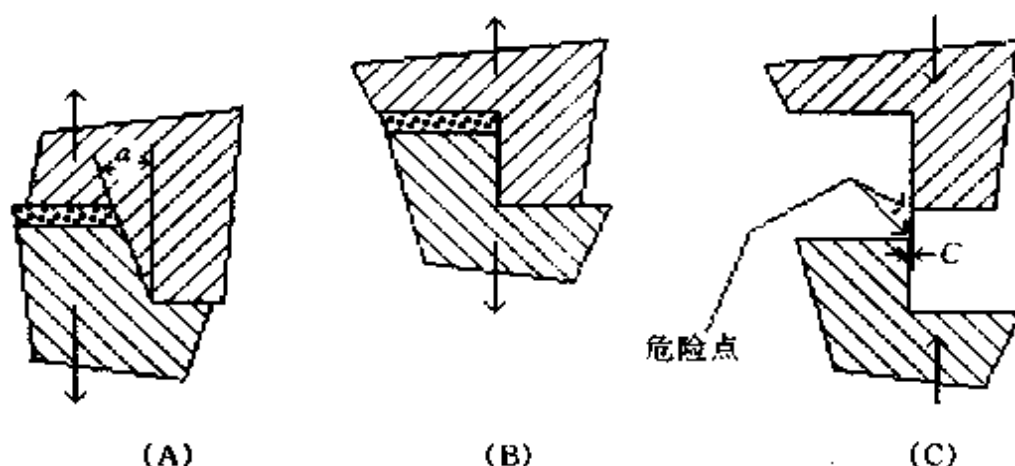


图 14-5 合模

(A) 锥度合模；(B) 垂直合模；(C) 垂直合模的危险点由中间箭头标明

14.5 热流道歧管

今天，热流道技术的发展已很完善了，通常模具制造商不再去设计热流道系统，而是从专业生产热流道系统的厂商那里购买所有的部件（实际上，今天没人再去设计它们自己的比如螺丝、阀门等零件，可以把它们作为已有的标准件从零件供应商那儿购买）。

热流道供应商还可以提供复杂的技术援助，以帮助确认所设计的模具是否配备了最合适的热流道系统。因为热流道设计是塑料工程非常专业化的领域，对此领域不熟悉或没有配备制造该系统零件所需的工程和生产设备的模具制造者，应该从“作坊式制造”中走出来，与这个领域的专家们携手工作。模具制造者应把精力放在模具的其他方面，这才是他们的工作。

这里我们仅考虑一个领域，它不但适用于热流道，还适用于会产生热膨胀的其他部件，那些在设计一个零件之前，必须先计算热膨胀量的地方。在许多热流道系统中，热流道注嘴中心设在被冷却的歧管

模板上，气体活塞（用于阀式浇口）则设在被冷却的垫模板中，热流道歧管设在这两个模板间的凹穴中，并保持其中心与注塑机注嘴中心重合。

当歧管被加热时，它将从中心点向外侧膨胀，朝向注嘴位置。为了使歧管上塑料流出孔的中心线与注嘴及气体活塞中心线取得良好的定位，歧管（冷态时）上的距离要比所考虑的操作温度下的距离小。

重要的是在设计阶段之前要知道：

- ① 模具温度（冷却的）；
- ② 塑料温度。

14.5.1 模具温度

有些制品或模具使用冷却过的大约 5℃ 的水进行操作。而对另一些模具，可能不得不在较高的温度，可能是 50℃ 或更高的条件下进行操作。因为我们的兴趣在于冷却的模板（和模腔）与被加热的热流道歧管间的 ΔT ，所以这个差别是很重要的。

14.5.2 塑料温度

这可能是设计者最难估计的问题。这个温度即使是对不同供应商供应的“完全相同”的塑料，也会有所不同。模塑工人可能想用同一副模具来生产多种塑料。热流道系统的设计特性可能会影响注射温度。生产率也可能会影响这一温度。由于收缩因子不同，不同尺寸的制品也可能需要不同的温度。

这些可能的情况以及温度的差异可能会导致上述的中心线不重合；这可能会引起塑料的挂料并慢慢降解，降解的塑料最终会污染制品。对于有些材料（PE、PP），这可能并不是什么大问题，但对于热敏材料来说，如 PET 以及其他工程塑料，这就是严重的问题。因此，对于歧管设计人员来说，在设计歧管之前，掌握尽可能多的资料是十分重要的。

14.6 注吹模具

注吹模具（IBM）实际上是两步成型：在成型的第一步是模塑瓶坯，然后将瓶坯（套在模芯上）输送到成型的第二步，在这里瓶坯被吹塑

成最终形状。在这一系统中，模腔和模芯都进行加热以使其中的塑料保持热态以供吹塑成型，但成型瓶坯的瓶口的那部分模芯，在将瓶坯输送到吹塑工位之前，必须进行冷却以形成一个冷瓶颈。注射一侧相对较热，而模芯一侧则既供给热流体又要通过冷却水。

加热介质可能是热水，用于 100℃ 以下的温度要求；亦或是热油，用于更高的温度要求。这里提出这一点仅是为了指出，在普通模具中应尽量保持各模板处于相同的温度，通常用水作为模板的冷却介质；而在注-吹模具中，不可避免地要在静半模和动半模的模板中使用不同温度的冷却介质。

于是对于设计者来说，主要问题是如何在模板和温度不同的零件间保持良好的隔热，并计算出各种膨胀，从而在模具运作过程中，让所有定位点都能处于其正确的位置。

第十五章 迭层模具

15.1 迭层模具理论

对迭层模具技术的理解有助于迭层模具的设计。理论上合模力 F 等于各拉杆上反作用力 R 的总和，由此产生每个模具所需的夹紧力。假如有一套以上的模腔和模芯模板(如图 15-1 所示)，作用在左边模芯模块上的力 P 的和等于 F ，作用在右边模芯模块上的力 P 的和等于反作用力 R 的和；在模腔模块左、右方向上的作用力 P 是彼此平衡的。这样有效成型面积扩大了一倍，并且机器额定合模力对各模腔、模芯层均是适用的。

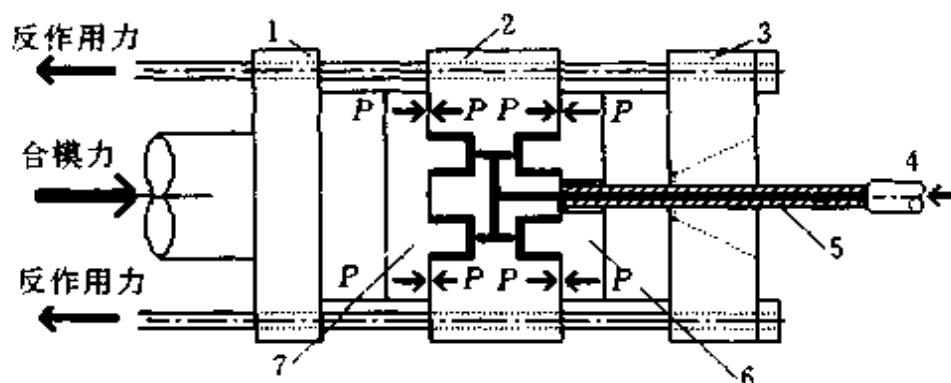


图 15-1 典型的迭层模具布局示意图及其中的合模力、反作用力和锁紧力

1—动压板；2—模腔块；3—静压板；4—机器喷嘴；5—注道

延伸；6—带有顶杆的模芯模板；7—带有顶杆的模芯模板

在注塑机上可以有任意数量的迭层，在一些橡胶模具中，可达到十层之多。

15.2 定义和名称

由于考虑到注塑，迭层模具通常仅由两个单层的模具背对背安装

而成。在本书中仅讨论热流道迭层模具，尽管这些技术源于冷流道模具，但对于高速作业，冷流道模具是不经济的。

15.3 结构布置

两个模芯部分中的一个被安装在动压板上（就像在单层模具中一样），另外一个安装在静压板上（如图 15-2）。模芯部分指的是在模具中与设置有浇口（模腔）的部分相对的那部分。

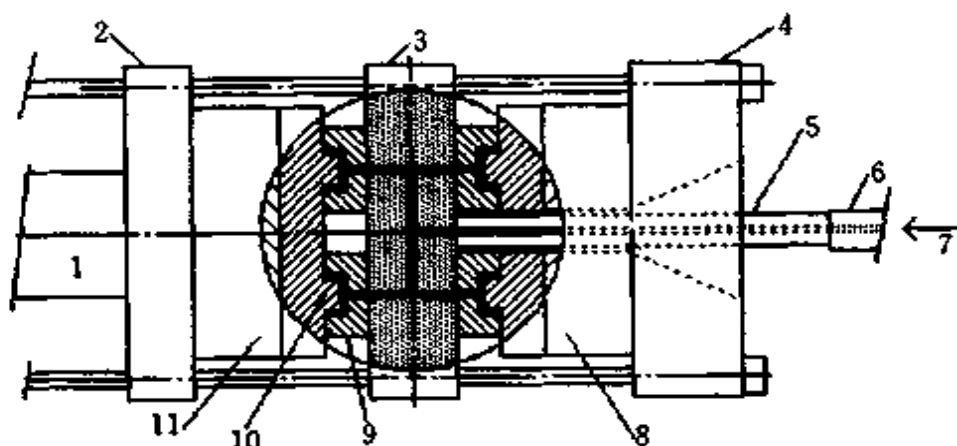


图 15-2 典型的注塑机迭层模具截面图

- 1—合模机构；2—动压板；3—带有热流道系统的中间部分（浮动）；
4—静压板；5—注道杆；6—机器注嘴；7—注嘴力；8—顶杆
箱；9—模腔；10—模芯；11—顶杆箱

模腔（随同浇口）被背靠背地安装在中间部分，即所谓的模具的浮动部分，这个浮动模板处于两个模芯部分之间。通常浮动部分由下部的几个拉杆支撑。

塑料从注塑机的注嘴出来，通过伸长的注道套（称为注道杆）进入模具，注道杆穿过安装于静压板上的模芯部分，牢固地安装在热流道歧管中。仅当模具闭合时，被加热的注道杆才与注塑机注嘴接触。

注道杆在模具的定位圈范围内被导向。在操作过程中，注道杆不能拉出导套之外，若合模行程过大，开模时就会导致这种情况发生。

15.4 行 程

在开模、合模过程中，中间部分的行程是动压板行程的一半，它

们之间的同步可以由齿轮、齿条装置来获得，如图 15-3 所示，或采用第 15.9.7.4 节中所描述的杠杆平衡机械。

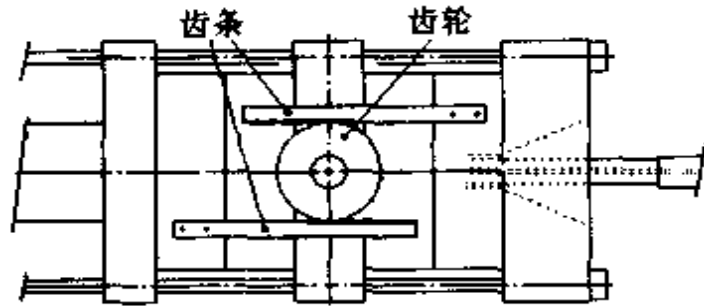


图 15-3 在开模、合模过程中用齿条和齿轮来控制模板的移动

当模具打开时，下部的齿条以合模机构的速度移向左边，而上部的齿条则固定在静压板上，这造成齿轮转动并实现中间部分以合模机构移动速度的一半向左边移动。

一副模具内有两套齿条，一套在模具前部，一套在后部。后部齿条与前部齿条是相反的，这样，在后部，左边的齿条就在顶部，而静止一侧的右边齿条就在底部。

这种布置也有多种变形；例如，为了改善可接近性常在齿轮和齿条之间引入一套空转齿轮，以使齿条接近拉杆，远离操作者。在另一种变形中，与通用的模具支撑结合，将齿条安装在机器上而不是模具上。

15.5 支 撑

模具的中间部分，它包括模腔和热流道，通常重达 2000kg (4400lb) 或更重，为了确保与模芯部分的定位，必要的支撑是很重要的。支撑件的任何一点偏斜都可能严重地影响到模具定位零件的寿命（导柱、导套和（或）锥锁）。这也可能导致模腔、模芯的损坏。特别对于成型薄壁容器或甚至是较深的厚壁制品时，这种情况更易发生。下面的一个例子很好地说明了注塑机刚性的必要。

只是为了示意的目的，假设注塑机的四根拉杆由合模机架和定模板的基座予以支撑。支撑体间距一种情况是 $L=72\text{in}$ (183cm)，另一种

情况是 $L=96\text{in}$ (244cm)。如图 15-4, f_1 是由拉杆自身重量产生的挠度, f_2 是由动压板加上动半模的重量在两支撑点约中心处产生的挠度。这大致相当于半模合模前动压板的位置。

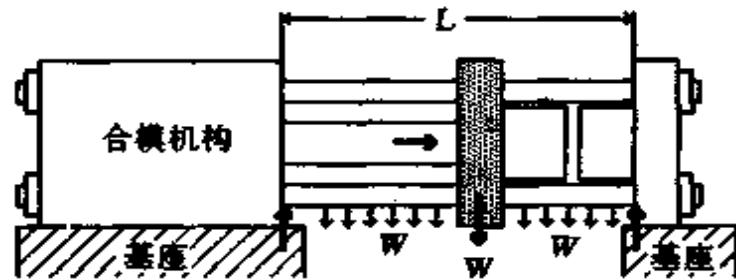


图 15-4 拉杆由合模机架和定模板的基座来支撑
由拉杆自重产生的挠度:

$$f_1 = 0.208 \times \frac{wL^4}{Ed^2} (\text{in}) \quad (15-1)$$

式中 w ——材料密度 (如钢 $\approx 0.3\text{lb}/\text{in}^3 = 2.07\text{kPa}$);
 E ——弹性模量 (对钢来说, $\approx 30\,000\,000\text{psi} = 207\text{MPa}$);
 d ——拉杆直径。

这个公式常量 0.208 由一个梁 (圆杆) 的挠度公式得来。
 由动压板和半模产生的挠度:

$$f_2 = \frac{WL^3}{48EI} = \frac{WL^3}{2.35Ed^4} (\text{in}) \quad (15-2)$$

式中 W ——模具重量;
 I ——圆杆的惯性距。

表 15-1 是在假想 $L=72\text{in}$ (183cm) 和 $L=96\text{in}$ (244cm), 拉杆直径分别为 3, 4, 5in (7.62, 10.16, 12.7cm) 时的挠度计算值。为简便起见, 假设动压板再加上半模共重约 909kg (2000lb), 每个拉杆承受约 227kg (500lb), 拉杆的总挠度等于 f_1 加上 f_2 。

从表 15-1 我们可以看到, 挠度的数值和它导致的合模时不能正确定位的情况是相当严重的。对于设计人员来说, 重要的是要了解这方面的计算以及了解相关的重量。假如机器挠曲严重, 再好的模具也不

能工作。增大拉杆直径可以减小挠度，但这可能仍不能满足正确定位的要求。通常，导销或锥锁必须提升要进入的半模进行正确定位。这就产生了磨损，并且对于长圆柱形制品或脱模斜度小的制品，可能由于模芯刮擦模腔壁，对成型面造成损坏。对于薄壁制品，如果定位不好，要防止模芯和模腔的相碰是不可能的。

表 15-1 已知 $L=72\text{in}$ (183cm) 以及 $L=96\text{in}$ (244cm)，
不同拉杆直径的挠度计算值

| 拉杆挠度 | 拉杆直径 d , in | | |
|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| | 3 (7.62) | 4 (10.16) | 5 (12.7) |
| f_1 (拉杆自重产生的) | | | |
| $L=72\text{in}$ (183) | 0.006 (0.01524) | 0.0035 (0.00889) | 0.002 (0.00508) |
| $L=96\text{in}$ (244) | 0.019 (0.04826) | 0.011 (0.02794) | 0.007 (0.01778) |
| f_2 (5001b 载荷产生的) | | | |
| $L=72\text{in}$ (183) | 0.033 (0.08382) | 0.010 (0.0254) | 0.004 (0.01016) |
| $L=96\text{in}$ (244) | 0.077 (0.1956) | 0.024 (0.06096) | 0.010 (0.0254) |
| f_1+f_2 (总量) | | | |
| $L=72\text{in}$ (183) | 0.039 (0.09906) | 0.0135 (0.03429) | 0.006 (0.01524) |
| $L=96\text{in}$ (244) | 0.096 (0.2438) | 0.036 (0.09144) | 0.017 (0.0438) |

注：括号内法定单位计量值，cm。

有些注塑机把动压板直接支撑于机器基座上，通过在支撑道上滑动来使挠度最小（图 15-5）。注意，上、下拉杆都是由动压板间接支撑的。

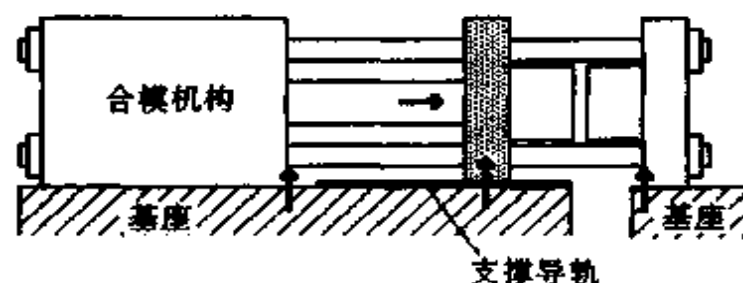


图 15-5 动压板直接支撑于机器基座上并在支撑道上滑动

在一些注塑机上，下部的拉杆本身由一些支撑物支撑着，动压板在下部拉杆的顶部滑动，拉杆不穿过压板。实际上，在这种情况下，下

部的拉杆就是支撑道，上部拉杆则穿过压板（图 15-6）。

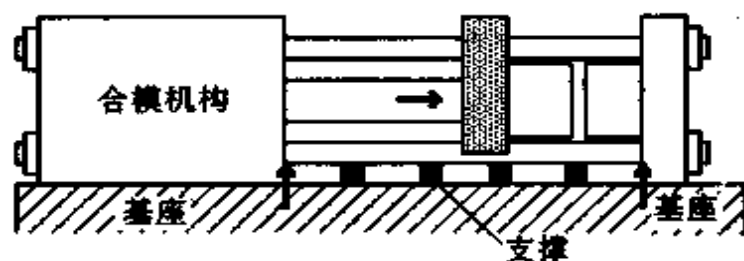


图 15-6 被支撑的下部拉杆能让动压板将其作为支撑道滑动

通过这种支撑方法，动、静半模的定位和啮合与动压板没有支撑的情况相比得到了显著改善，这确保了相配合的模具零件的准确定位，并防止了它们过早地损坏。

对于成型相同的制品，迭层模具的动、静压板间距比类似的单层模具要大得多，故迭层模具就更易由于拉杆的变形而产生定位偏差。通过支撑下部拉杆（图 15-7），拉杆几乎不产生变形。动压板和模具中间部分在拉杆上滑动。

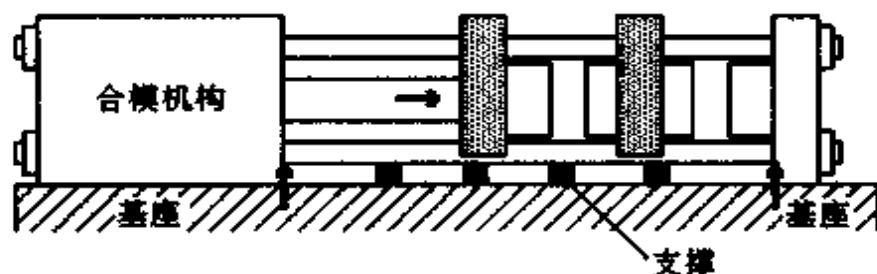


图 15-7 支撑下部拉杆把其作为支撑滑道使动压板和模具中间部分在上面滑动

注塑机的拉杆应该用于引导压板和（通过拉伸）提供需求的合模力；它们不应被用于支撑压板或模具而承受变形。

生产高精度产品的模具的定位不应该依赖拉杆。拉杆套磨损引起压板“下沉”，偏离它的理论中心线，会导致压板定位不准。在为拉杆没有支撑的注塑机设计迭层模具时，给下部拉杆设计一些固体支撑以避免拉杆的过度变形，是很重要的。

15.6 合 模 力

迭层模具的每一层都像单层模具一样需要一个力来防止在分型面上溢料。因为迭层模具的两层是背靠背安装的，所以在中间部分内的压力互相平衡。

在单层模具中，注嘴的压力是由安装在静半模上的注道衬套承受的，注道衬套被紧固在静压板上。因此，注嘴的压力不影响合模力。

在迭层模具中，总的合模力与具有相同投影成型面积的单面模具是基本相同的；然而，注嘴压力作用在注道杆上，而注道杆安装在中间部分。这样，这个力就传递到了动压板上并加到了注塑压力所产生的力上，这个力有将模具中间部分与静半模分开的倾向。

注嘴压力通常在 15~20t 之间。假如由于注塑压力产生的模具分离力已接近注塑机的额定合模吨位，那么这个附加的力就非常值得注意，它可能导致模具溢料。模具设计者必须从客户手中获得所有注塑机的详细说明。

为了防止在分型面上溢料，合模力设计必须考虑使模具分开的力，使模具分开的力可以这样计算得出：取两层模具中模腔投影面积较大的一层的面积和乘以模腔中预计的注塑压。当然，注嘴压力必须加上去。

投影的成型面积可能不相等。假如较大投影面积在合模一侧，并且由面积差产生的力比注嘴的压力大，那么，注嘴的压力就可忽略。在成套制品模中，这较重要，其两面成型的产品是不相同的（例如，在盘模具中，一面成型底，另一面成型较大的盖子）。

对于小型注塑机，注射装置的力通常最大只达 98.1kN，而较大注塑机则高达 196kN。根据经验，估计迭层模具所需的合模力比有相同投影面积的单层模具所需的合模力大 10%，是比较安全的。

假如没有更大型的注塑机（指更大吨位）可用，我们可以用下面的两种方法中的一种来解决问题：

①采用不同直径的热流道注嘴梢孔。靠近合模一侧的孔较大（如 0.152cm），接近注射侧则较小（如 0.114cm）。这在模具完工后通常很

容易做到。

②在制品底部处采用不同的模腔空间。略微增加靠合模一侧模腔的底部空间 t_1 ，可以保证在两层模具中成型的制品有相同的底部厚度（如图 15-8）。即使模腔空间不同，但两层模具中的制品有相同的底部厚度。

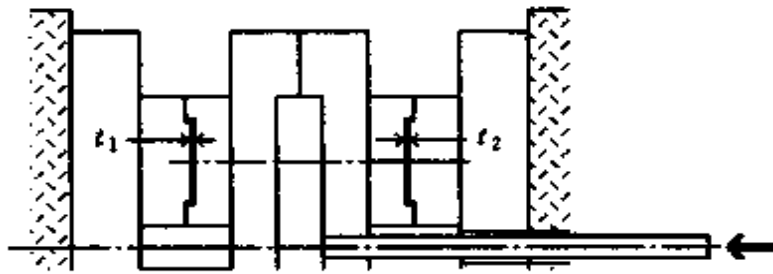


图 15-8 制品底部不同的模腔空间

注： $t_1 = t_2 + B$ ； $B = 0.001 \sim 0.002 \text{in}$ （ $0.025 \sim 0.05 \text{mm}$ ）（经验值）

在设计中，到底是采用不同的模腔空间还是不同的热流道梢部，或者两者均不采用，必须仔细考虑，因为这种设计要求不同的模具部件，这将影响模具的互换性。

15.7 非对称布置

大多数的迭层模具是对称布置的（即，两层中各模腔的中心线都是对应在同一条直线上的）。然而，对于某些具有阀式浇口的模具，由于阀驱动装置的影响，有可能要使模具的中心线偏置（如图 15-9）。

尽管力不在同一条线上，但力的总量仍然是相同的。它产生的影响就是使压板承受轻度偏心的载荷以及在热流道歧管内产生弯矩 $M = FA$ 。因为，偏心通常都较小（小于 50mm），所以，弯矩可以忽略不计。然而，应该在穿过热流道歧管的模板间提供良好的支撑，以便将这个弯矩的影响减小到最低。

作为另一种方案，通过在注塑机中心线两侧对称布置模腔避免压板承受偏心载荷是可能的（图 15-10）。这样压板中心受载，但模腔和模具的布置可能会变得更困难。这种方法建议在偏心矩 A 较大时采用。

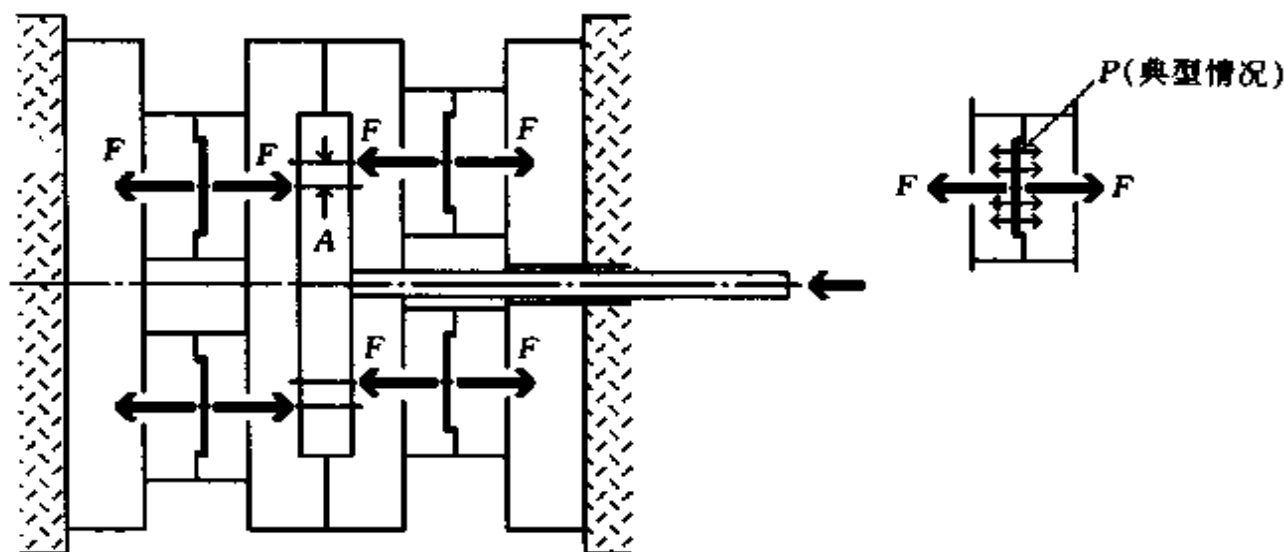


图 15-9 具有阀式浇口的迭层模具中心线偏置

注： F 为分离力； A 为喷嘴中心偏置； P 为注射压力

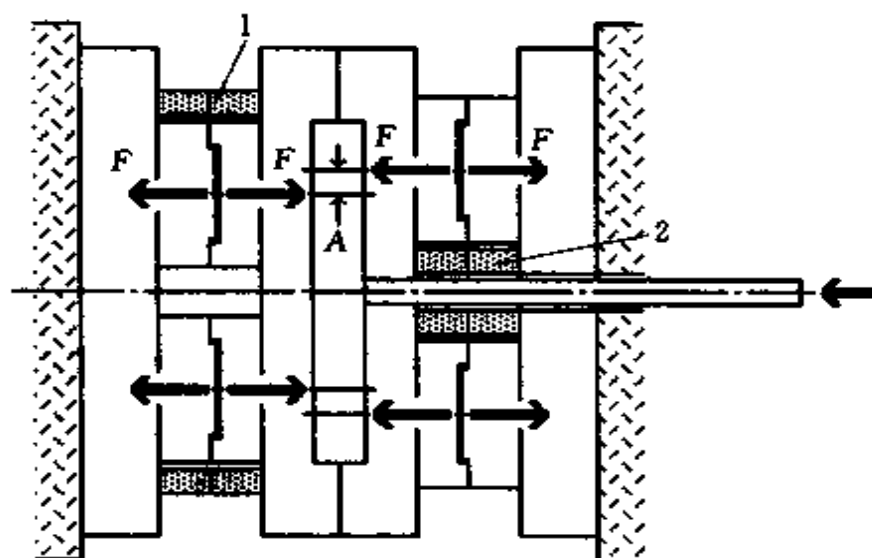


图 15-10 在机器中心线周围对称布置模腔的偏置量

1、2—附加衬垫是为增加模腔调整的有效空间，使模板承受相等的载荷

15.8 注塑机和模具的其他重要特性

15.8.1 注射量

注射量必须是单层模具成型相同制品时所需的两倍，当然这两种模具每层的模腔数是相同的。

15.8.2 收得率

由于注射量是相似的单层模具的两倍，也要求塑化装置有足够的回复能力，以便及时地准备下一次的注射。否则，由于要等待回复，就会延长成型周期，那么迭层模具的优势就会被减弱。

15.8.3 注射速率

注射速率是一个重要指标。用与和单层模具相同的时间，注射相同的注射量（用最佳的速度和压力充填所有模腔），在注塑机的注嘴处就要有两倍于单层模具的注射速率。这样，注塑机的注射回路就需有足够的油量（泵和蓄压器）以满足这种需要。

假如注射速率太小了，就不能成型某些薄壁件，因塑料在充满模腔前就已凝固；就须使用较高温度的原料和冷却，这会延长成型周期。增大注射压力有助于成型薄壁件，但为了防止溢料，就需要更大的合模力，这样，只有把模具安装在更大型的注塑机上了。

15.8.4 注射量和产品质量的可重复性

为了确保这两项指标，要求收得率不应高于挤出机对模塑材料额定塑化能力的90%。（这适用于所有模具，而不仅是迭层模具）。

15.8.5 注道切断

注道切断即注塑机在注射结束，打开模具之前“突然后缩”，将注道拉离注道杆。这个动作防止了合模时注道杆内注道残料与注塑机注嘴相碰，可能产生的释放压力的作用。模具为准备下一次注塑合紧后，注射装置由于这样的注道切断能向前移动与注道杆接合，封住塑料防止了注嘴座处漏料。

15.8.6 热塑料的压力释放

热流道歧管内的大流道和长注道杆均是被塑料充满的，在注塑过程中它们都是受压的（塑料是可压缩体，在通常的注塑压力下，可被压缩1%~2%）。注道切断时，注塑机注嘴拉离注道杆，热流道系统内部的压力被释放了。这样内部的塑料将会膨胀，程度与被压缩时一样，这些体积过量的塑料将以两种途径离开热流道系统。

①假如模具有开式浇口，一部分塑料在模具打开时会滴进模腔，这会影制品的质量。剩下的那些释压塑料将滴到注嘴座上而浪费材料。

②假如模具有阀式浇口，当模具打开时浇口关闭，释压塑料仅滴在注嘴座上。

为了防止滴料，可以在注道杆的端部安装“防滴料套”。当注射装置后退（即注道切断）时，防滴料套在热流道系统内塑料的压力作用下，与注塑机注嘴一起后退（一有限距离）。当防滴料套在注道杆内移动时，在注道杆内就产生一额外的空间，它可以容纳部分或全部膨胀的塑料。然而，仍然有小部分塑料通过开在防滴料套上的塑料通道孔溢出滴料。

“回抽”是机器的一个功能，能辅助系统的释压。挤出机螺杆（或二级注射系统中的注射活塞）在注道杆与注嘴分离之前，即在注塑机注嘴退回之前拉回。这种方法与防滴料套的作用类似。它释去作用在注塑机注嘴及挤出机机筒内塑料上的压力，增加塑料膨胀时进入注射装置的可用空间。

15.8.7 开式注嘴注塑

模具在螺杆回复前必须是闭合的。只有当螺杆拉回（即释压）时，模具才可以打开。这在成型那些注塑保压结束后，仍需长时间冷却的制品时很成功。模具打开期间，挤出机必须停止。

15.8.8 截流式注嘴注塑

在这种情况下，注射装置在注道切断后即刻退回。在注塑保压时间过后，截流式注嘴还保持打开状态一会儿以使塑料释压。在这段短时间里，注嘴就关闭了。注道切断使注射装置退回，回复就能够开始了。模具打开时，挤出机仍可以运作，直到模具闭合等待下一次注射。这种方法为螺杆的回复大大地延长了可用时间，这对于短周期成型是必不可少的。

不是所有的注塑机都装备有这种功能的。假如没有的话，它们就有必要被改装来适应这种要求，否则注塑机将在生产率和产品质量方面大大降低。

15.8.9 压板间距、闭合高度和合模行程

图 15-11 表示了模具各部分厚度、模具内部间隙和合模行程、闭合高度之间的关系。变量均在示意图上作了定义说明； D 是模具的压板

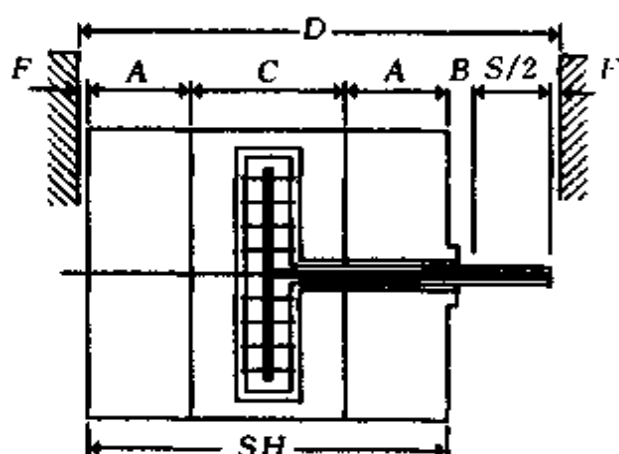


图 15-11 模具闭合时模板截面图表示了组成压板间距的厚度和间隙总和注： $D=2F+2A+C+B+S/2$ ；其中 D 为压板间距， F 为两边的间隙， A 为模芯部分厚度， C 为中间部分厚度， B 为标准注道的许用尺寸， S 为合模行程， SH 为闭合高度

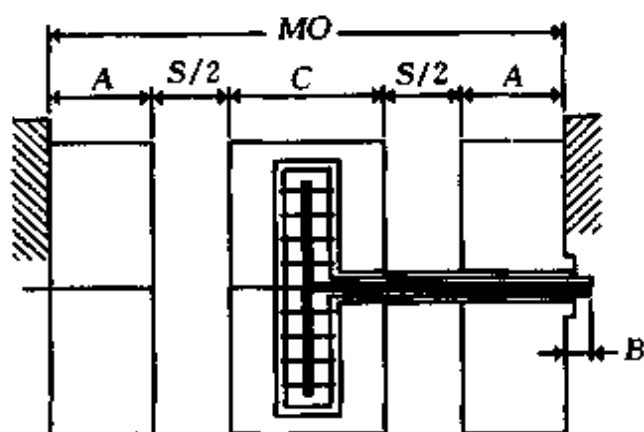


图 15-12 示意图表示模具打开时压板 $MO > D$ (见图 15-11)
注： $MO=2A+C+S$ 。为使模具安装方便， MO 必须大于 D ，即 $MO-D=S/2-(B+2F) > 0$ 或 $(B+2F) < S/2$ 。
其中， F 至少 10mm， B 为标准注道杆的最大许用尺寸

间距。

15.8.9.1 压板间距

压板间距是指动、静压板间的最大间距。通常间距都是足够整体安装模具的，但偶尔，模具也有太大的，那样，就只能分段安装了。

机器的压板间距需比尺寸 MO (见图 15-12) 略大 (约大 20~25mm)。这使得在正常成型周期下，在合模机构到达最大压板间距前就能满足开模的要求。使用标准尺寸注道杆，尺寸 B 由设计者按标准选择。

15.8.9.2 行程限制器

注塑机应装有机行程限制器用以防止无意的过量的开模行程。

15.8.9.3 闭合高度

闭合高度是指闭合模具的高度 SH ，不包括高度 $B+S/2$ ，见图 15-11， $SH=2A+C$ 。

15.8.9.4 合模行程

模具总行程等于生产相同制品的单层模具保证制品顶出所需行程

的两倍。行程过量可能会损坏模具，开模行程不足又会影响制品的正常顶出和用机械手自动移出制品，等等。

15.8.10 注射滑座的移动

采用这样（常用的）设计的迭层模具与单层模具相比，注塑机喷嘴与注道杆的接触点离静压板背面远得多。这要求滑座必须能够向后移动。后移距离可能比注塑机厂商所能提供的要大得多。

对于挤出机，必须确保其有足够的行程与支撑，这是很重要的。假如需要的话，需用附加的滑轨来为注射装置提供充足的后移行程。在某些情况下，甚至需要在挤出机下面增加支撑或加长机器的机架，以确保挤出机在工作时不会由于向后移动过多而脱离机器。液压传动装置的位置及液压管路等都有可能需要改变，以适应需要。

15.8.10.1 注射滑座前冲制动

注塑机很有必要设一机械限位装置，以防止注射滑座向模具方向移动过多。假如没有限位装置，在合模时，喷嘴会与注道杆发生严重碰撞。

15.8.11 无人防护区

大部分注塑机上，所防护的区域仅是靠近静压板后部的区域。因为注道杆长度加长，新的无人防护点可能勉强在已有无人防护区内，有时甚至超出防护区。无人防护区需进行扩展以对所有危险区进行有效的防护（例如防止塑料飞溅出无人防护区）。

15.8.12 顶出装置

迭层模具与单层模具的顶出装置没有什么不同，只不过迭层模具有两套模芯从而有两套顶出机械装置。用机械顶出装置的迭层模具，因通常静压板上不设机器顶杆，这样，就需要一些驱动静压板上模芯内顶杆的设置。动压板一侧的注塑机顶杆是可以利用的。在静压板一侧需要结合气动或液压驱动。注塑机内控制回路的连接应在装配图上表示出来。在某些模具里，顶杆托板的动作能够与模具中间部分的驱动通过机械杠杆和凸轮联动起来（见第 15.9.7.4 节）。

15.8.13 中间部分的支撑

中间部分有四种常用的支撑方法：

①模板自身由拉杆支撑。这会使拉杆受拉，尽管以前许多模具都用这种方法，但通常不推荐用这种方法。

②垂直模具支撑。中间部分由两根独立的精确安装于上、下拉杆间的垂直的梁杆支撑，一根在操作者一侧，一根在后部。这种支撑是模具装置的一部分，但它在模具下落到位之前就已被安放在注塑机上了。模具随后被紧固在这些支撑件上。这种方法主要用于模具能够从上部两根拉杆之间穿过的情况。

③水平模具支撑。中间部分由一根安放在下部两根拉杆上的水平梁支撑。在模具顶部，两个滑动模套与上部两拉杆对齐。这种支撑是模具装置的一部分，但在模具滑到位之前，将其先安放在注塑机上。这种方法主要用于模具不能从上部两拉杆之间穿过，必须从注塑机的一侧安装的情况。

④通用模具支撑。这是一个取得专利的 Husky™ 构件。就功效上来讲，它与垂直模具支撑相似，但它不是模具装置的一部分而是注塑机的附件，它与中间部分的驱动系统（齿轮和齿条或操纵杆）连在一起。它可能被用于其他一些迭层模具，只要模具是设计成用这种支撑的，因此节约了模具成本。

15.8.14 下落限制器

每个中间部分都应在模板顶端安装一对“翼”。这些“翼”不与拉杆接触但非常接近它们（间距为 1mm 以内）。它们的目的是防止中间部分在拉杆之间发生意外的脱落。比如，由于操作者没有遵照安装手册操作，或者吊装中间部分的起重机可能在所有固定螺钉就位紧固之前下降太多了，均可导致这种情况的发生。图 15-13 表示了这种方法的一个典型例子。

垫块及其固定螺钉必须有足够的强度以支撑整个模具的，而不只是中间部分的重量。在模具安装过程中，就可能有这种要求，当起重机缆索松弛以后，整个模具的重量就全部落到了垫块上。

15.8.15 开模力

开模力是指制品冷却后，使模腔和模芯分离所需要的力。它不像合模力（压力），单层模具和具有相同投影面的迭层模具的合模力是相



图 15-13 下落限制器安装在模板顶部防止中间部分从两拉杆间脱落

同的。开模力是外加的，且是拉力。也就是说，迭层模具与相似的单层模具相比，需要两倍的开模力。开模力对于深度较大和脱模斜度较小的制品或模腔和模芯内均有倒陷的制品是很重要的。这些情况都会需要更大的开模力。开模力与使制品脱离模芯或模腔的顶出力是不一样的，不能混淆它们。某些注塑机可能不能提供足够的开模力，那么，就需在模具上或机器上安装附加的动力装置（如液压缸）以辅助开模。

15.9 迭层模具设计原则

15.9.1 模腔布置

使用注道杆方法的问题是注道杆不能穿过注射一侧的制品，除非制品是马蹄形的（开式马桶坐圈等），开口朝上，那样制品就能自动地脱落（图 15-14 左）或开口朝一侧，使机械手取走制品时不会碰到注道杆（图 15-14 右）。



图 15-14 马蹄形制品：顶部开口允许自动脱落（左）开口在一侧，允许水平取出（右）

对于用机械手卸下制品的模具，在试模时若不用机械手制品可能会挂到注道杆上，或至少在清理模具时要碰到热注道杆。在特殊情况下，这样试模是可接受的，但在开始设计前，应该讨论这种情况。通常，这是不允许的。

一般来说,出于对称性考虑,在注道杆侧至少要布置两个模腔,图15-15示意了从2个到12个模腔的布置。通常,六个模腔的水平布置是不推荐使用的。

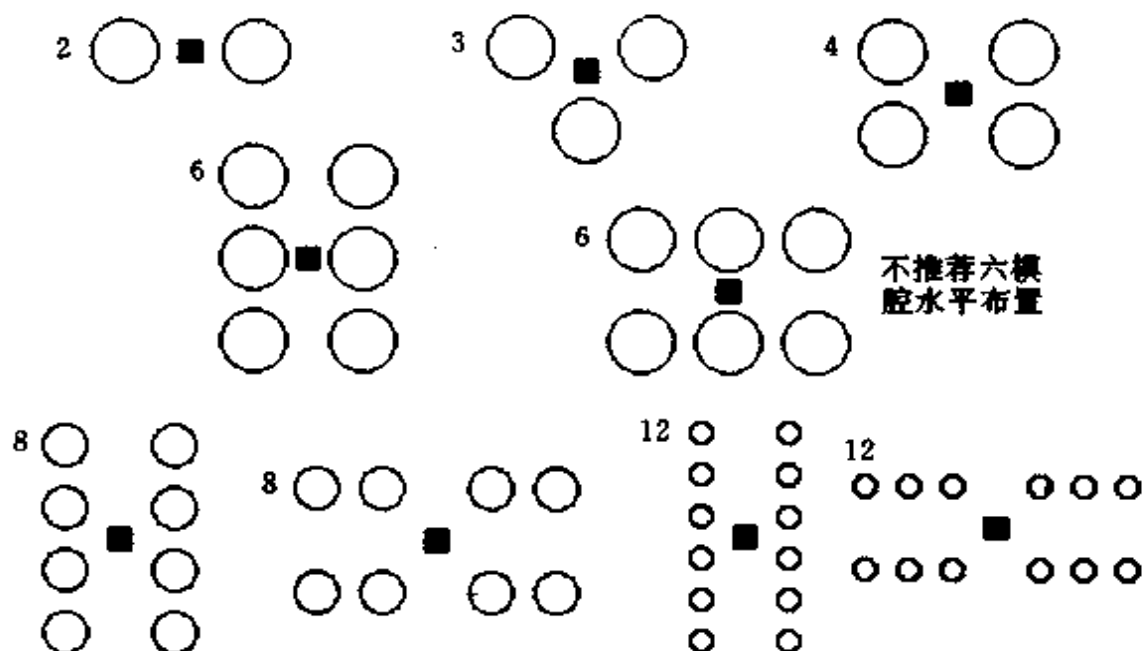


图 15-15 注道杆周围布置 2 个到 12 个模腔的示意图

注意大数量模腔 (8 个以上) 的水平布置比垂直布置的占用空间大,但由于模腔水平布置时最高位置的制品从模具上脱落所需时间较短,这种布置的模具注塑就较快。

因为非常大的制品只允许在注射一侧有一个模腔,那样,注道杆就有可能要在模具中偏心设置或整个注射装置偏心设置以使注道杆从模腔外部进入 (模具合模一侧中心只有一个模腔往往是允许的)。这种少有的特殊情况就不进一步描述了。

15.9.2 注道杆长度

注道杆不能太长,这样模具闭合时,注塑机注嘴才不会朝注射装置凸出过多。在极端情况下,注射装置不能移动得离模具太远,这就可能要改造注塑机,以使模具能安装进去并运行起来。这些需在设计模具时就确定好。

注道杆又不能太短,保证模具打开时,防滴料套的位置仍在静压

板上的锥形块内，这样从注道出来的滴料就不会滴到注嘴位置上。不同注塑机的静压板上锥形块是不一样的。在某些注塑机中，就根本没有锥形块。操作过程中，注道杆应始终不能离开注道杆导套。

15.9.3 注道杆的加热

在模具操作过程中，注道杆只要很少的热量就能维持内部塑料的温度，但在冷的模具开始工作时，则需要很高的温度来熔化注道杆内部的塑料。注道杆应有两个加热器，流道的两边各一个。这样做是必要的，因为单边加热，造成钢材热膨胀，会使注道杆发生弯曲。

15.9.4 意外接触注道杆的防护

当模具打开时，注道杆的一部分（在注射一侧）是暴露的，为了防止操作者碰到高温的注道杆，它必须有防护罩。热防护罩同时也防止了从注射一侧的上部模腔落下的制品碰到热注道杆。

对于热防护罩有专门的规定：

- 欧洲 (EN201—1985)：热防护罩的温度必须低于 80°C 。
- 美国 (ANSI B. 151—1, 1984)：热防护罩需能防止伤害。

15.9.5 注道杆导向

因为注道杆相当长，它又只是固定安装在歧管上，所以，它离开模具的一头必须采取导向措施（如图 15-16）。

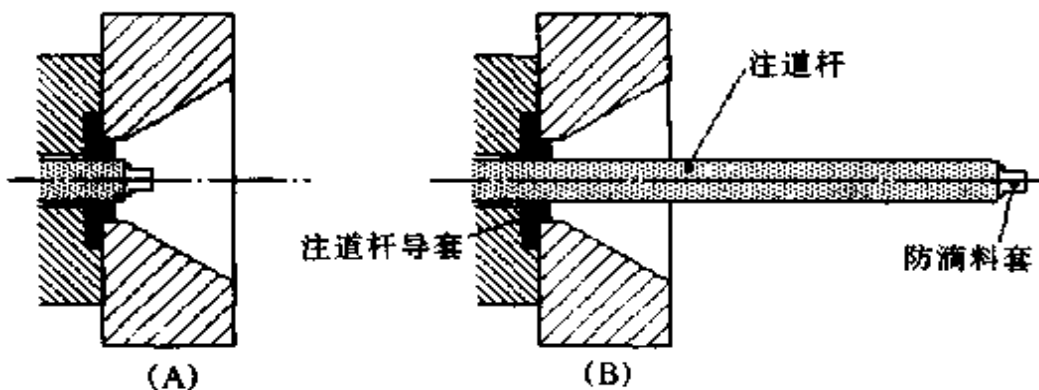


图 15-16 注道杆导向
(A) 开模位置；(B) 合模位置

15.9.6 合模行程

迭层模具的合模行程除了总行程是单层模具的两倍外，其他是一

样的。两层的行程应保证绝对一样，即使这不是制品顶出所要求的。例，一个盒子在一面高度是 40mm，其盖子在另一面，高度是 20mm，则每面的合模行程应以大的为准。产生不同的行程是可能的。（如通过采用具有不同传动比的齿轮和齿条装置或采用第 15.9.7 节介绍的其他方法，顶出机构的驱动，采用不同比率的控制杆。）

15.9.7 顶出机构的驱动

适用于除气动顶出机构外的所有顶出方法。只要可能，就应以气动顶出机构代替机械装置。

注塑机不像压塑机，本身就在两侧带有顶出驱动装置，它只在动压板一侧有顶杆。

因此，迭层模具要求在静半模上安装模芯，要在静压板上安装某种顶出机构驱动脱模板或顶杆托板。下面讨论几种可能的驱动方法。

15.9.7.1 链条或拉杆

链条或拉杆可以固定在动压板上，并与静压板上的顶杆或脱模板连接。当模具打开足够距离，可以从静止侧脱模时，模板就会被拉动以实现制品脱模。这种方法费用低，但较原始，很少被采用，与其他装置相比，这种方法使模具变得更难接近。

15.9.7.2 加在静压板上的顶出系统

通过在静压板两个相对边上安装商品化的驱动油缸或气缸，可以把顶出系统加到静压板上，并且把它们与脱模板和顶杆连接起来，或通过把气缸（通常是四个专门设计的气缸）放置于静压板内部的适当部位，以使活塞杆像动压板上的注塑机顶杆一样活动。假如，注塑机常用于没有驱动装置的各种迭层模具，那么这种方法是比较好的。

气缸比油缸弱一些，通常体积大一些。此外，即使可能的话，获得一个平稳运动的气缸也较困难。通常，油缸用得较多。

15.9.7.3 模板内的驱动缸

这是常用来代替联动机构的一种方法。缸体被装在静半模的模具垫板上。

15.9.7.4 与模具运动联系在一起的顶出

这儿有许多适用的联动顶出的方法。所有方法都是利用注塑机运

动来驱动顶杆的。

图 15-17~图 15-20 示意了几种联动的方法,各种连杆不同的功效有很大的作用范围。驱动连杆有时装有空动元件(与沟缝和(或)弹簧连接)按需要延迟顶出。

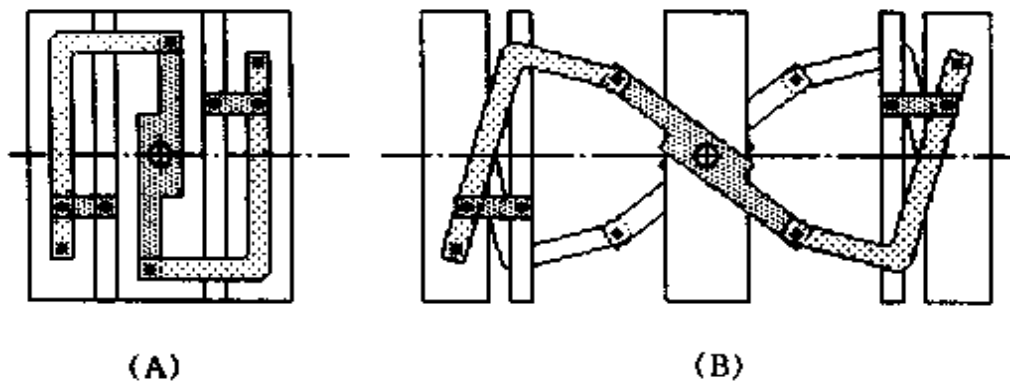


图 15-17 用于小型模具的联动顶出装置也可以移动中间部分
(A) 模具合上; (B) 模具打开

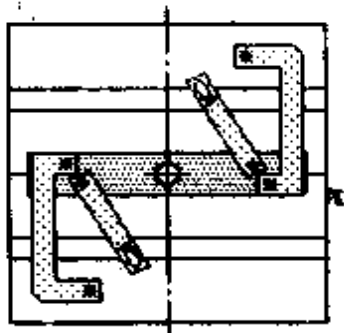


图 15-18 联动顶出装置
用驱动连杆把摆臂和
模芯板以及顶杆或脱
模板连接起来

图 15-17 所示的方法被用于小型模具。联动装置不仅驱动两边的顶出机构也使模具的中间部分移动。图 15-18 表示了驱动连杆把中间板上的摆臂与模芯板以及顶杆或脱模板连接起来。

图 15-19 表示了连杆与凸轮滚子组合的使用情况。图 15-20 则是齿条与齿轮的组合应用。齿轮通过连杆与顶杆或脱模板连接。

这些系统的优点是通常能提供足够的顶出力。即使机器的实际开模力不够,可以在联动装置中设置杠杆以提供所需的更大的力量。此外,因为开模是与注塑机行程机械相联的,这些系统因此也就不需任何的定时装置。

联动方法的缺点是,由于顶出机构与注塑机的运动紧密相联,一旦模具停止运动,顶出机构也就停止工作了。此外,机器的开模行程必须严格地控制,以防止由于过大的行程而损坏联动装置或由于不足

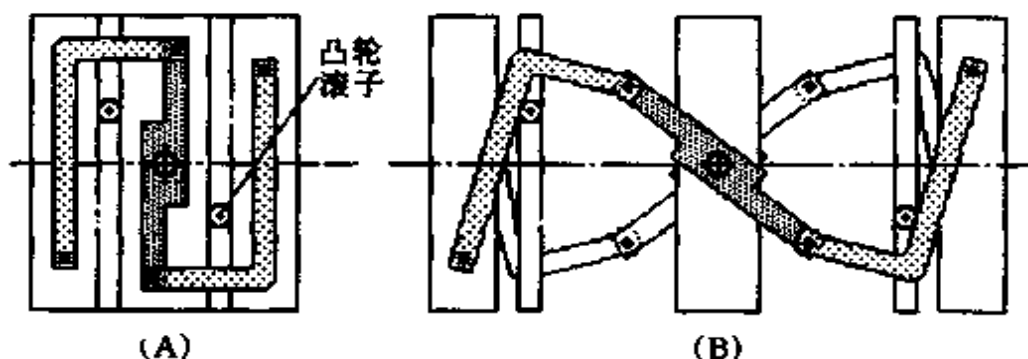


图 15-19 连杆和凸轮滚子组合使用
(A) 模具合上；(B) 模具打开

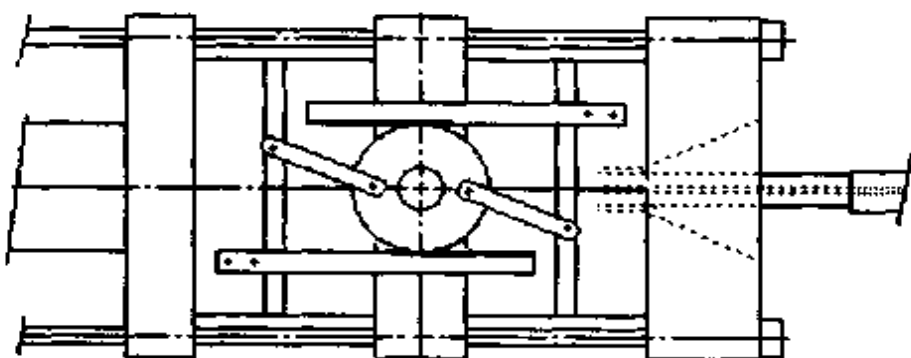


图 15-20 齿轮和齿条组合应用，齿轮通过连杆把顶杆或脱模板连接起来的行程而使制品不能顶出。还有一些问题，摩擦点，如各种杠杆的支点，凸轮滚子的滑动点，需要适当润滑。

15.9.7.5 两步顶出

两步顶出可以利用上面的一些装置组合得到，与单层模具类似。气缸能被设计到动半模一侧，就像在静半模一侧一样，用来提供两步顶出的动力或作为模具打开停止后顶出的动力。然而，对于大部分高效的模具操作，顶出过程应在模具完全打开时就已结束。模具打开状态时间应该为零。

15.10 模具中间部分的水、气、电供给

保证模具中间部分的温度与其余部分的温度一致是很重要的，这可以防止模板的不均匀变形（膨胀）和造成模具定位部件的过度磨损，比如模具导柱、导套、锥锁。

包含热流道系统的中间部分比别的模板更易引起温升，迫使拉杆外移，引起模具运动部分卡住。这需要安排合适的水管和电源接头来解决这个问题，当然，这不能妨碍制品的顶出。

在自由下落顶出系统中，制品出模时能自由下落在溜槽或输送装置上，因此在模具底部不应有水管和电线。对导轨来说也有同样情况，制品也是从底部出来，落在某种输送设备上，这些运输设备可能会与水管和电线发生干涉。

机械手可被用来摘取制品，制品由引出板移出，引出板从注塑机非工作边移进来接收制品，然后带着制品返回到模具外。这样，水管和电线的干涉点在注塑机的后面。偶尔，模具上部可能要求腾空，因为某些机构需安排在那儿。

通常没有固定规则来设计电源接头的安放位置，但建议设计者把热流道加热电源接头设置在模具上部。中间部分的水管接头不要从侧面接入，因为与模具的搬运和模板运动机构有干涉，故也应放置在模具顶部。

这可能会引起一些问题，因为在安装或操作过程中漏出的水可能会进入电源接头处。若是这样，推荐采用防水电器配件及接线盒。设计者必须确保在安装模具过程中，万一漏水，水不能进入电源接头处；因为这可能引起电气和电子设备的损坏，也可能万一有高电压（110V或更高）会造成人身伤害。

15.10.1 模具维修

常规的安全原则都适用于对气、水管路及电路的布置、支撑以及维护保养。但由于下面两个因素，使这些问题更复杂了：

①热流道系统的电力和热电偶电线及操作阀式浇口系统的气或液压管路都要引入到中间部分。而且一些模腔排气用的气路通常也引入到中间部分。

②由于中间部分运动的操作机构，往往还有顶出机构都是在模具的前后两侧，所以，所有的供应线路只有从模具的顶部进入。

为了防止这些线路和模具及其它运动部分碰撞，它们应该被悬挂在专门设计的电缆吊架上。

第三部分 针对模具设计者的问题

第十六章 模具材料规格

16.1 材料比较

表 16-1 和表 16-2 给设计者综述了几种普通模具材料的规格和性能，数据是近似值，且随着生产厂家的不同有所变化。其中表 16-2 中的序号 1~14 为表 16-1 中的材料类型。

一般，原材料（钢，铍青铜等）的成本要占模具整体成本的 10%~15%，选择级别低的材料能达到节省成本的目的。但在长时期的运行中，模具必须有长的寿命，因而应选择高性能的材料，成本通常较高。

当然，在不需要的地方，不要选择高性能的材料，以免造成不值得的浪费。因而，对于模具设计者来说，了解模具对材料的基本要求和选择恰当的材料是很重要的。

钢材的成本是相对的，因为在基本价格之外，钢材的成本还取决于许多其他要求，例如对钢材的质量、尺寸、切削和处理等要求就存在额外费用。订购的钢件越大，单位质量的成本就越低，每年如果需求量都很大，可与商家达成成本愈加接近基本价格的合同。

16.2 模具材料选择准则

在模具制造过程中，很难说哪一种材料最适合何种零件，多数是根据模具制造者的经验，或者是根据库存、供应厂商处获得的品种，来选择材料。

选择材料时必须要考虑防止擦伤和胶合，如果用于两表面存在相

对运动的情况，则不能选择具有同样组织结构的材料，然而，也存在许多例外的情况，例如，至少有一面可以施镀或者氮化，以至于两面具有不同的表面结构（例如，市售的顶杆由 H13 制造且氮化，完全适合于在 H13 材料的孔中滑动使用）。

表 16-1 常用模具材料的规格

| 推荐项目牌号 | 设计类型 | AISI 钢代号 | DIN 钢代号 | 硬 度 (rc) |
|------------------|-------|-------------|--------------|--------------------|
| 1. 预先热处理 | 4140 | 1. 7225 | 42CrMo4 | 30~35 |
| 2. | P20 | 1. 2330 | 40CrMnMo7 | 30~35 |
| 3. 不锈钢 预先热处理 | 420SS | 1. 2083 | X42Cr13 | 30~35 |
| 4. 渗碳钢 | P5 | | | 59~61 |
| 5. | P6 | 1. 2735 | | 58~60 |
| 6. 油淬 | O1 | 1. 2510 | 106WCr6 | 58~62 |
| 7. 空淬 | H13 | 1. 2344 | X40CrMoV51 | 49~51 |
| 8. | A2 | 1. 2363 | X100CrMoV51 | 56~60 |
| 9. | D2 | 1. 2379 | X155CrVMo121 | 56~58 |
| 10. 不锈钢 (SS) | 420SS | 1. 2083 | X42Cr13 | 50~52 |
| 11. 马氏体时效钢 | 250 | | | 50~52 |
| 12. 马氏体时效钢 SS | 455M | | | 46~48 |
| 13. 高速钢 | M2 | 1. 3343 | S-6-5-2 | 60~62 |
| 14. 铍青铜 | BeCu | | | 28~32 ^① |

① 用洛氏“C”硬度等量数值与工具钢的硬度作比较。

表 16-3 列出一些模具部件的优选材料，具有应用情况下推荐的硬度、热处理 (HT) 和其他处理，且出据选择理由的评价。表 16-4 提供了实际材料规格的比较。

在模具材料方面，厂家在一直不断地研制开发，高性能的模具材料不断出现。接连出现新材料，声称性能得到提高。如果这些材料有利于模具性能和寿命的增加，且更易于加工，成本低，应该对此深入探讨，积极使用。当然，在被列入到标准模具材料之前，这些新材料的优异性能还得经过一段时间的实际验证。

表 16-2 模具材料性能比较 (P=差, F=一般, G=好,
VG=非常好, E=优秀)

| 性能 | 表 16-1 中的项目号 | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 耐磨性 | F | F | F | VG | VG | VG | G | E | E | G | G | G | E | F |
| 韧性 | VG | E | E | G | VG | F | VG | F | F | G | E | E | E | P |
| 抗压强度 | F | F | F | G | G | E | VG | E | VG | G | G | G | E | F |
| 热硬性 | F | F | F | G | G | G | VG | VG | VG | VG | VG | VG | E | F |
| 耐蚀性 | P | F | G | F | F | P | F | F | F | VG | F | E | F | G |
| 导热性 | G | G | F | F | F | G | F | F | F | F | F | F | F | E |
| 切削性 | P | P | P | E | VG | G | G | F | F | F | F | F | F | E |
| 切削性 | G | G | F | EE | E | VG | E | VG | F | VG | F | F | F | E |
| 抛光性 | G | VG | E | VG | VG | VG | VG | VG | G | E | VG | VG | G | E |
| 氮化能力 | F | G | VG | VG | VG | F | E | VG | E | VG | E | N/A | E | N/A |
| 可焊性 | F | F | F | E | VG | F | G | F | P | G | G | G | F | VG |

表 16-3 材料选择指南

| 模具零件 | 材料和性能 | 评价和建议 |
|----------------------------|---|--|
| 模块零件 模腔, 模芯, 镶 件, 销等 | AISI H13 真空熔炼 49~51Rc (2次回火) AISI 420PQ 真空脱气 不锈钢 49~51Rc (Stavax ESR) Dievac™ (AISI H13) 49~51Rc (2次回火) 高速钢 (CPM RexT15) 61~63Rc (三次回火) | 热作模具钢, 淬透性好, 韧性好, 热处理 变形小, 易于抛光, 适合于细微部件成型 高耐腐蚀, 耐磨性, 抛光性好, 用于腐蚀 材料, 例如 PVC、PC、丙烯酸等塑料 适于抛光要求高(光学质量)的药水瓶、 petri 盘等 适于小、长的模芯(例如试管)坚硬、不 脆、成本低于硬质合金 |

| 模具零件 | 材料和性能 | 评价和建议 |
|----------|--|---|
| 模块零件 | | |
| 模腔镶件 | BeCu25 | 最佳热传递、适宜快速循环模具和其他特殊部位的快速冷却 |
| 模芯镶件 | 36~41Rc | |
| 模芯盖帽 | | |
| | AISI H13 真空熔炼 49~51Rc (2次回火) | 见上术模腔、模芯 |
| 模芯塞子 | SS 型 420 预先淬火 260~320BHN | 高耐腐蚀性、用于有水等腐蚀可能破坏基准的地方。避免塞子的移动 |
| 浇口镶件 | BeCu B25 36~41Rc AISI H13 真空熔炼 49~51Rc (2次回火) | 最佳热传递 如果浇口磨损成问题，需要更好的冷却方案 |
| 锁 圈 | AISI A2 56~59Rc AISI H13 49~51Rc (2次回火) | 高强度，耐磨性好大圈 较小的圈 |
| 颈 圈 | AISI H13 49~51Rc (2次回火) | 通 用 |
| 颈 圈 | AISI 420PQ 真空脱气 不锈钢 49~51Rc (Stavax ESR™) | 耐腐蚀 |
| 带有模塑面的滑块 | AISI A2 52~55Rc AISI H13 49~51Rc (2次回火) | 冷作工具钢，良好的耐磨性，热处理变形小，较低的成本 可代替上面的材料 |

续表

| 模具零件 | 材料和性能 | 评价和建议 |
|---|---|--|
| 模块零件 脱模圈 | AISI A2 56~59Rc AISI S7 56~58Rc | 冷作工具钢、良好的耐磨性、韧性、热处理变形小 韧性较好的材料，适于配合圈，抗震 |
| 薄壁套筒 | AISI D2 58~60Rc | 精密部件，能承受严重磨损，稳定性好 |
| 模板 一般用途 | AISI 4140 预先淬火 260~320BHN AISI P20 预先淬火 260~320BHN AISI 420F-Mod 预先淬火 270~340BHN Ramax S™或 Thyroplast 2316™ | 良好的强度，对于一般用途成本低 同样强度，成本比 4140 略高，应用于大空壳类零件，扭曲变形小 较高的强度，成本略高，好的耐腐蚀性，加工性能与 P20 相同，热处理后硬度可达 40~42Rc |
| 模具附件 吹气销，包括气活塞，在模芯基部 | AMPCO 18™青铜 | 无润滑耐磨性好 |
| 凸 轮 | AMPCO 18™青铜 AISI 4140 预先淬火 260~320BHN AISI M4 62~64Rc | 若满足强度要求，即可用 有更大的力起磨损作用时，使用该材料 成本高 |
| 冷却歧管 顶 杆 气 活 塞 支 柱 夹 条 滑 轨 | 铝合金 6061-T6 AISI 4140 预先淬火 260~320BHN | 质量轻，易于加工 韧性可加工性，低成本，仅适于非钢滑块，对于钢滑块，需用磨损条 |
| | AMPCO 18™青铜 | 整块夹条，高成本 |

| 模具零件 | 材料和性能 | 评价和建议 |
|----------|------------------------------|----------------------------------|
| 模具附件 | | |
| 运动滑块的止动销 | 工业标准 | 与导柱相同 |
| 导柱 | 工业标准 | 耐磨粒磨损, 芯部韧性高 |
| 导套 | 工业标准 | 与导柱相同 |
| 提升杆 | CRS | 不热处理 |
| 定位圈 | AISI 1015 或 1020 | 成本低, 任何钢都行 |
| 恶劣条件的滑块 | AISI 4140 预先淬火 38~40Rc | 需要有 AMPCO 18™ 青铜磨损垫; 或在低负荷时用尼龙 6 |
| 隔板 (低强度) | 铝合金 6061-T6 | 质量低, 易于加工 |
| 楔块和磨损板 | AISI M4 62~64Rc | 耐磨粒磨损性能高, 热处理稳定性好, 韧性低, 加工性差 |

16.3 热 处 理

热处理 (HT) 本身是一门科学, 它自有专家来处理。设计人员应该在最小的范围内选择钢材, 以避免许多热处理问题, 通常每一种钢的热处理情况都是不同的。在这方面设计者和热处理工都只就要熟悉钢种, 大多数 (不是全部) 的模具制造者是靠外协来热处理的。

有时两种钢, 甚至是具有同样的 AISI 号码, 可能要进行不同的热处理, 来获得最佳性能。按照常规, 设计者仅表明零件所需的硬度, 而不必表示如何获得。

然而, 一些别的说明应标注在图纸上, 特别是当不同的热处理方法能取得同样的硬度时。例如, 钢的耐磨性和韧性可以通过二次或三次回火获得提高, 而硬度并不改变。对于特别用途, 可以按钢材制造者的建议进行。在热处理工艺方法中, 一次回火是最常用的, 且最便宜。(回火指钢经淬火后, 再加热到指定的温度, 然后以一定的冷却速率缓慢冷却的过程)。

16.3.1 消除应力

对于设计者应当特别注意, 对于较大的和/或“形状奇特的”(复杂) 工件在粗加工后, 都存在着变形的问題, 即存在应力, 设计者必

须标明回火或其他方法，来消除应力。

表 16-4 模具材料规格比较

| DIN | | AISI/SAE | |
|---------|--------------|--|-------------|
| 材料代号 | 类别 | 成分, % | 类别 |
| 1. 1401 | C15 | C0. 15, Si0. 25, Mn0. 55, P≤0. 045, S≤0. 045 | 1015 |
| 1. 1730 | C45W3 | C0. 45, Si0. 30, Mn0. 70 | 1042/1045 |
| 1. 2080 | X210Cr12 | C2. 1, Si0. 3, Mn0. 3, Cr12. 0 | ≈D3 (30403) |
| 1. 2083 | X42Cr13 | C0. 42, Si0. 4, Mn0. 3, Cr13. 0 | ER420 |
| 1. 2162 | 21MnCr5 | C0. 21, Si0. 25, Mn1. 25, Cr1. 2 | 5120 |
| 1. 2210 | 115CrV3 | C1. 20, Si0. 25, Mn0. 30, Cr0. 60, V0. 10 | 50100 |
| 1. 2311 | 40CrMnMo7 | C0. 40, Si0. 30, Mn1. 50, Cr1. 90, Mo0. 20 | P20 |
| 1. 2312 | 40CrMnMoS86 | C0. 40, Si0. 40, Mn1. 50, Cr1. 90, Mo0. 20, S0. 06 | ≈P20 (模套) |
| 1. 2343 | X38CrMoV51 | C0. 38, Si1. 0, Mn0. 40, Cr5. 30, Mo1. 20, V0. 40 | H11 |
| 1. 2344 | X40CrMoV51 | C0. 40, Si1. 0, Mn0. 40, Cr5. 10, Mo1. 20, V1. 0 | H13 |
| 1. 2436 | X210CrW12 | C2. 10, Si0. 30, Mn0. 30, Cr12. 0, W0. 70 | D3 |
| 1. 2516 | 120WV4 | C1. 20, Si0. 23, Mn0. 28, Cr0. 20, V0. 10, W1. 0 | O7 |
| 1. 2601 | X165CrMoV12 | C1. 65, Si0. 33, Mn0. 3, Cr11. 5, Mo0. 6, V0. 3, W0. 5 | D2 |
| 1. 2764 | X19NiCrMo4 | C0. 19, Si0. 25, Mn0. 40, Cr1. 25, Mo0. 20, Ni4. 0 | P6 |
| 1. 2767 | X45NiCrMo4 | C0. 45, Si0. 25, Mn0. 40, Cr1. 35, Mo0. 25, Ni4. 0 | 4340H |
| 1. 2826 | 60MnSiCr4 | C0. 60, Si0. 90, Mn1. 0, Cr3. 0 | S4 |
| 1. 2842 | 90MnCrV8 | C0. 90, Si0. 25, Mn2. 0, Cr0. 35, V0. 10 | O2 |
| 1. 4541 | X10CrNiTi189 | C≤0. 08, Si≤1. 0, Mn≤2. 0, Cr18. 0, Ni10. 5 | 321 |

16.3.2 渗碳

钢至少含有 0.35% C，就能淬火硬化。低碳钢和一些含碳量低于 0.15% C 的模具钢，除了退火外，不能用作模具，原因是它们太软。渗

碳工艺即是在零件的加工表面渗入碳原子的过程，设计者不必考虑如何实施，只要规定渗层深度即可，一般，渗层深度为 0.5~1.5mm，有时也可达 2mm。

16.3.2.1 渗层深度

渗碳的作用随着渗层深度的增加而减小，热处理后获得的硬度也将随之而降低。关于渗层深度，要注意以下问题。

①在热处理过程中，大的零件趋向于体积增加或（和）翘曲，这取决于它们的形状。如果大尺寸工件（如大模腔）存在“拱起”现象，在最终的机加工前，一定要去除应力而减小热处理中产生的扭曲。热处理操作人员采取压力校正的方法，尽可能恢复原来状态，当然，这也需要操作人员相当的技巧。这也会产生新的应力，但能在随后的磨削加工以至在模具使用中消除。在校直后，有可能避免另外的应力松弛，但是，这种方法是不可靠的，也不希望。

生产图纸必须在热处理前说明，工件应留有多大余量，以至于热处理后和磨削时，确保达到所需要的尺寸，这需要实际经验和一些估算。

②热处理后的磨削可去除一些最硬的外层，对于大工件来说，必须首先保证达到所需尺寸，为此，最硬、有用的表层或多或少被去除，这就意味着，较小的工件，其形状没有扭曲很多，比大工件的渗碳时间短，成本低。

③低碳合金钢例如 P5 或 P6 相对比较软，适合铣削，且易于加工，但是它们的极限硬度仅有 30~40Rc。由于硬化的表面仅局限于渗层范围内，钢表层下面仍保持相对软，因此，尽管表层硬度高达 61Rc，零件在重切削力下比整体淬火钢（硬度达 50Rc），更易于加工。

16.3.2.2 薄截面和螺纹局部渗碳

对于一模具零件来说，在其表面的某些区域要求硬，某些部分要求软。渗碳前，将一些地方保护（防渗）以避免碳原子渗入，随后的热处理在这些地方则不产生硬化效果。需保护的地方须在模具图纸上标出。

在工件薄截面的地方，渗碳则从暴露在富碳气氛中的两边进行，如

果这些截面非常薄（小于 2mm），且渗层是 1mm 或多，这样渗层贯穿整个截面，则无软的心部支持硬的表面，热处理后，这些区域整个变得硬而脆，从而失去了钢表面硬化的吸引力。

渗碳工艺也应用于模具的螺纹零件，它们的截面通常很小，以致于在螺丝的侧面间无软的心部可留，螺纹变得太脆，很容易在工作过程中失效。因而，模具零件的螺纹在渗碳过程中应加以保护。

16.3.2.3 为何一定使用渗碳钢

选用渗碳钢的主要原因是由于这些钢经受住时间的考验，而如今又无合适的模具钢来选择。再者，这类钢加工简单，相对便宜，可得到许多规格尺寸，具有极好的可抛光性，且非常适于要求耐磨性良好的场合，如导销和衬套，或者凸轮，这些部分要求外表硬而耐磨，心部软而有韧性，从而起到抗冲击载荷的效果。

鉴于上述原因，推荐模具材料的表中略去了渗碳钢，即便是许多（经常是大的）模腔和模芯都是由这类材料制造的。这类钢的另外一个重要用途就是用于滚削（见 32.1 节）。

在一般模具制造过程中，可用降低钢材的成本来降低模具的成本。由于渗碳热处理较高的代价，使得渗碳钢良好的加工性很容易丧失（由于热处理工序的增多），且热处理后增加了变形和在大的合模和注射力作用下崩塌的风险。

16.3.3 氮化

在这种热处理方法中，硬化的工件被放置在一定温度（500～550℃）和富氮气氛围中，氮原子渗入钢的表面，形成了非常硬的（高达 70Rc）氮化物。硬度的提高和表面晶体结构的改变，使得两种相同的钢，一个氮化处理，另一个没有氮化，能够发生相对滑动而不出现咬合。

注意工件必须有合适的硬度，如果基体材料软，负载时氮化表层就会崩塌，这与表面硬化钢类似。

一些合金很容易氮化，另外的则完全不能。氮化钢，例如表中所列的 AISI H13 能够容易进行氮化。重要的问题是，钢应具备这样一个特性，即在氮化温度下它不能发生退火。

氮化层的深度可以通过控制钢在炉内的时间来掌握，设计者应了解，0.3~0.5mm 的深度需要 30h，0.7mm 则需要 100h。显然，在炉内停留的时间越长，成本增加更多，0.3~0.5mm 甚至再少些的深度，对于模具来说一般是足够的。

当氮原子渗入时，钢件表面有轻微的“肿胀”，在原始表面上形成了相对软的一层，因此，工件的尺寸发生变化。这个“肿胀”很容易看作为白亮层，大约 0.02~0.03mm 厚且比较软，必须被磨掉以恢复到工件原始（精整）尺寸（图 16-1 所示）。

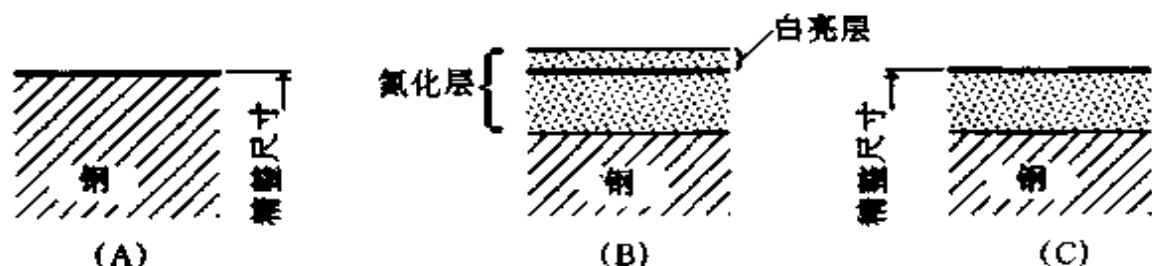


图 16-1 氮化的步骤

(A) 氮化前的精整尺寸；(B) 氮化后的表面白亮层；
(C) 氮化和研磨后的精整尺寸

去除掉较软的白亮层，不仅恢复工件原始尺寸，也显露了白亮层下氮化表面最硬的一层。氮化层的硬度随离表面距离增加而降低，或者说，氮化后磨掉的越多，氮化的硬化效果就越低。正如渗碳一样，薄的截面和螺纹也要保护，防止两面都氮化而脆性加大。

16.3.4 火焰淬火、感应淬火

火焰淬火，就是利用气体燃烧火焰直接对着需淬火的工件表面，钢（至少含有 0.35%C）一加热到指定温度（根据火焰下钢的颜色来判断），然后喷水急冷，完成表面淬火，其他区域则达不到淬火目的。这种方法是粗糙的，不适合于模具零部件处理。火焰加热还可利用来回火已淬火区域而达到规定的硬度。

对于感应淬火，工件（通常是圆柱状或平板状）在感应圈中心移动，当交变电流通过感应圈，即发生电磁感应，工件上产生非常大的感应电流而使表面迅速加热。根据电流和工件与感应圈之间的间隙，可

以准确地控制加热温度和硬化层深度。当工件通过感应圈加热后，立即喷水进行均匀地冷却，从而实现淬火，获得所要求的表面硬化层，然后再通过感应圈时可实现回火。

感应加热方法是相当精确的，且成本不贵，对于那些直的、对称的零件（如定位销）使用渗碳处理，也可用感应加热表面淬火。设计者必须规定所需硬化层深度。在大多数情况下，0.8~1.0mm 的深度足够。感应加热淬火还没有用于模腔表面的零件。

16.4 模具精整

16.4.1 模具表面精整

所有模具零件上都必须标明所需精整的规格和附加的精整要求，例如喷砂、蒸汽珩磨、布轮抛光等。表 16-5 列举了许多工业精整类型和相关的加工方法及典型应用。

16.4.2 模具表面精整符号

即使仅有一个或几个地方需要精整说明，也必须用符号和标注来表示精整，而不是在那些区域直接写上说明，如图 16-2 所示。

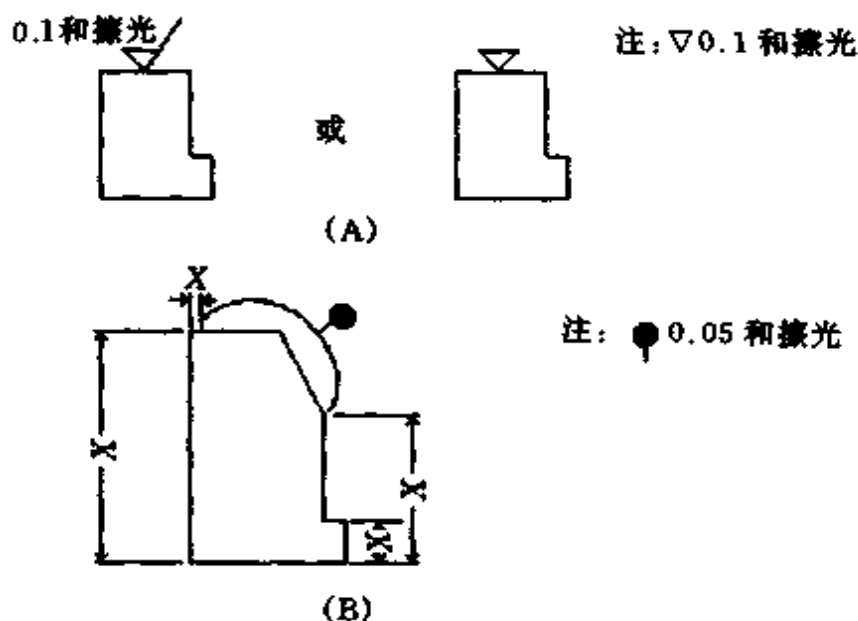


图 16-2 图纸上的精整符号

(A) 表面精整符号与类型；(B) 精整记号涉及的范围

表 16-5 各种模具零件精整的典型加工方法和应用

| 精 整 | | | 加工方法 | 规 定 | 典 型 应 用 |
|---------------|----------------|---------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|
| μm | μin | SPI# 当量 | | | |
| 0.025 | 1 | | 研磨 8000 金刚石 | 0.025 | Petri 盘光学 质量 |
| 0.05 | 2 | 1 | 900 磨石 8000 金刚石 抛光 | 0.05 且抛光 | 试管 |
| 0.08 | 3 | | 900 磨石 3000 金刚石 抛光 | 0.08 且抛光 | 水晶玻璃杯 |
| 0.1 | 4 | 2 | 600 磨石 3000 金刚石 抛光 | 0.1 且抛光 | 不透明,发亮的表面 |
| 0.1~ 0.2 | 4~8 | 3 5 | 900 拉磨石 900 拉磨石和蒸汽珩 磨 | 0.1~0.2 0.1~0.2 蒸汽珩磨 | 不透明表面 无光泽表面 |
| 0.10~ 0.15 | 4~6 | | 900 拉磨石 和蒸汽珩磨抛光 | 0.10~0.15 和蒸汽珩磨抛光 | 半透明 精整 |
| 0.2 | 8 | | 600 拉磨石 3000 金刚石抛光 | 0.2 且抛光 | 一般用途 |
| 0.2~ 0.3 | 8~12 | 4 6 | 400~600 磨石 400~600 磨石和喷 砂 | 0.2~0.3 0.2~0.3 且喷砂 | 工程产品,规定精整 织构精整 |

如果零件有几处需要精整说明,要精整的每个表面只需一个符号指出。

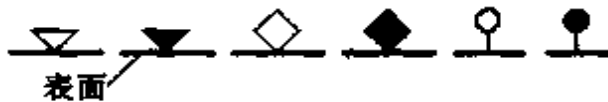


图 16-3 用于模具图纸上的典型精整符号

设计者给出符号的形状,符号的意义在标注中解释。典型符号见图 16-3,没有标准意义附加在这些符号上,只有每次使用时在图纸上加以解释。别的形状的符号也可以

用,只要标注清楚哪个表面需精整。

16.4.3 特殊结构

像篮子编织图案、皮革的粒面等一样的织构是供应商制成的,模具表面的织构是通过化学蚀刻方法将表面部分材料去除而形成的。织构已有规定的标准,由名称和代码来标定。除非它是明显的,否则,设

计者必须要规定结构的面积范围，以及表明结构的应用深度。

如在产品图上没有恰当地表示好，图 16-4 清楚地反映出什么样的结果。图 16-4 (A) 中，制品的高度 h 包括结构，(B) 中， h 包括结构和制品的高度。由于结构的深度（或高度）通常是 $0.05 \sim 0.1\text{mm}$ ，甚至多些，蚀刻深度的错误标定就会影响到制品的高度和重要的外观，会导致模具零件的报废。

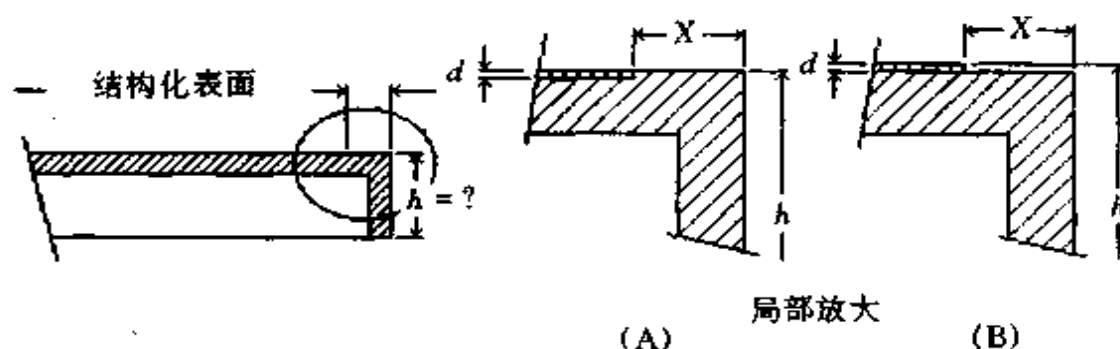


图 16-4 零件图没有标高度 h ，产生两种可能
(A) 结构高度 d 包括在高度 h 内；(B) 结构高度 d 凸出于表面

注意：蚀刻过程起始于模具零件的表面并深入钢材内部，深度必须标注清楚，要么标注出尺寸线如图 16-4 所示，或者用注释作结构的详细说明。

16.4.3.1 EDM 加工结构

对于结构或是其他任何模型，都能被加工成进行电火花加工的电极，这个电极能满足模具表面所要求的精整。在电火花加工过程中，电极深入到模具钢（通常已淬过火）中。

16.4.3.2 EDM 精整

用光滑的电极靠近相配的工件光滑面，就可以进行精整。在整个与电极接触的区域产生均匀的精整。精整的晶粒大小通过控制使用的电流强度掌握。要规定和检查精整的程度，可使用 VDI（德国工程组织）颁布的切片比较（图 16-5），这种方法虽具有主观影响，但是对于大多数应用还是满意的。

16.4.4 喷砂和蒸汽珩磨

这种方法精整是用于机加工和热处理之后的，使得无光泽的表面

| VDI3400Ref. | | | | | | | | | | | | 前 | |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|
| | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 结构图示 |
| | | | | | | | | | | | | | |
| Ra μ m | 0,40 | 0,56 | 0,80 | 1,12 | 1,60 | 2,24 | 3,15 | 4,50 | 6,30 | 9,00 | 12,5 | 18,0 | 后 |
| Nr. | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 39 | 42 | 45 | 示意图没有比例 |

图 16-5 EDM 精整切片比较

达到模塑面要求。在垂直或接近垂直的模塑面，这样的粗糙度会阻碍顶出。

对于低密度聚乙烯 (LDPE) 和少数其他塑料 (例如聚氨酯 PU 等) 的产品，顶出实际可通过模具表面的一定粗糙度来加以改进。如果需要亮面，在喷砂之后还要擦光。这样的粗糙度使用过程中会被磨掉，所以，必要时模具也要表面粗糙化处理，以保证作业时不出现顶出问题。

16.4.4.1 喷砂

四个等级的氧化铝 (磨料) 是喷砂时常用的，分为 #80 (最粗)，#120，#180 和 #240 (最细)，别的一些级别也有使用 (喷砂被固定用来清理热处理留下的氧化皮)。

16.4.4.2 蒸汽珩磨

使用“蒸汽”术语确实用词不当，因为不涉及蒸汽。用一个手持喷管将非常细的“玻璃粒”吹打到模具表面，采用 552~689kPa 压力的压缩空气，整个过程凭视觉来控制。当整个表面呈现无光泽时，这个过程即结束。需要处理的地方须在图纸上明确标出 (尺寸范围)。

16.4.5 抛光和擦光

抛光是借助于介质和工具，通过带到工件上的自由磨粒作用，使金属去除的方法。这些方法之间的差距仅在于去除的程度。

抛光过去需要一定的技艺，操作者花上数小时，对模具的零部件

进行手工抛光。如今，很多是由机器来完成的，仅有少数零部件，由于形状复杂，不能在机械抛光设备上完成，而采用手工进行。

一般来说，抛光机和研磨机可获得较规则的（较细小、平的或圆柱形的）表面，要是采用手工精整的话，特别是那些不熟练的操作者，容易造成表面波纹程度加大，甚至给原先平直并不粗糙的表面也增加了波纹。

16.4.5.1 抛光的原因

抛光的几条理由列举如下：

①抛光可以使产品获得某些特别的光学性质，当光束照射到其壁上（petri 盘，管形瓶，CD 盘和镜子等）任何不平或波浪的地方都会造成光束畸变，因而造成产品性能变差。

②抛光可以提高产品的外观质量。对于塑料模具来讲，这是最起码的要求。然而，应当注意外观常常是指可见的外部，对于产品可见（非正常）的内部（模芯）则不必抛光，而且，精整未必比产品在模具中易于顶出更重要。

另外：对于透明的塑料制品，内部精整的状况会影响到外部的的外观，内部必须如产品的外部一样进行精整。

③抛光会有利于顶出。这一般指模芯，包括侧型芯。在有些情况下，产品上有模腔深槽形成的凸起（筋等）和（或）规定的脱模斜度较小，模腔也必须抛光以便于顶出（见下述拉抛）。

④抛光可以避免产品应力升高，一般在磨削过程中会在淬硬钢模中形成尖锐的锯齿或拐角，将会增加应力集中引起破坏的危险。这样的拐角必须被抛光以去除尖锐的“凿口”，参阅十八章，可获得详细说明。

16.4.5.2 抛光的成本

即便是提高抛光过程的机械化程度，仍然需要很长时间来“精整”模具。图 16-6 图解说明了精整质量与所需时间的关系。

由图 16-6 可知，最佳（理想）的精整耗费时间无限长，一般情况下，抛光时间取决于操作者技巧、精整质量、操作顺序以及被抛光材料的质量和硬度。

通常，机加工过的表面可以完全适合产品的外观和顶出要求。设计人员应当规定最小精整程度，并且使模具每个零部件的加工都和产品质量要求相适应，因此经常采用精细磨削或EDM加工表面。太精细的精整会使成本大为增加，反而不可取。过度抛光实际上破坏了原先的平面，使较软的表面区域产生波纹，这称为“橘子脱皮效应”。

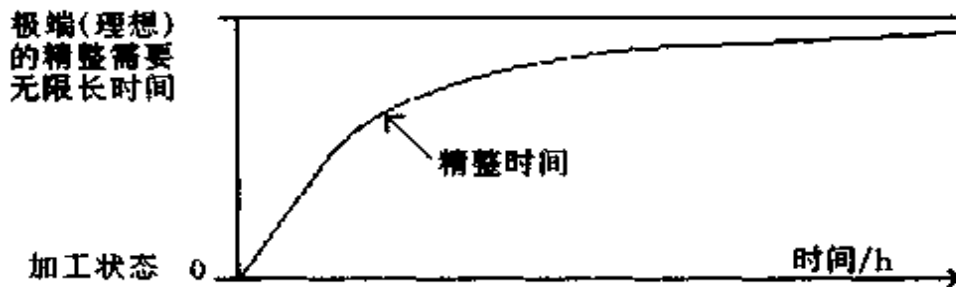


图 16-6 产品精整质量与时间的关系图

16.4.5.3 拉抛

在与顶出方向成直角方向上的旋转加工（碾磨和研磨），表面产生的脊起（沟槽），对于顶出则产生严重的问题，在有深槽的地方甚至会阻碍和破坏塑料件成型，这个问题必须通过在可能产生这些问题的模具零件上沿顶出方向的抛光来解决。普通的抛光只能抹平脊起，波纹仍然存在，仍会影响顶出。

拉抛影响模具性能，具有最小斜度的模具表面的图纸上必须规定采取拉抛，附加产品规定的精整。

16.4.5.4 金刚石磨料

抛光是借助于介质或工具，使带到工件上的磨料产生作用而使金属分离的过程。磨料的介质常用金刚石磨料，用筛孔尺寸来划分其级别，表 16-6 列了常用抛光的磨料尺寸。

擦光分为两步，首先是“切削”，通过去除表面缺陷或划痕，使表面精制，从而获得相对平滑的表面。第二步是“着色”，切削过的表面进一步精制，产生最大的光泽。金刚石磨料在不同工具情况下的嵌入情况如图 16-7，图 16-8 表示了各种磨料同毡一起返回的工作过程。

表 16-6 抛光磨料尺寸

| 磨料 (no) | 最终操作 | 范围 (μm) | 筛孔近似值 | 色泽 |
|---------|------|----------------------|-------|----|
| 1 | 高级精整 | 0~2 | 14000 | 白 |
| 3 | 超级精整 | 2~4 | 8000 | 黄 |
| 6 | 镜面精整 | 4~8 | 3000 | 橙 |
| 9 | 高级抛光 | 8~12 | 18000 | 绿 |
| 15 | 精密精整 | 12~22 | 1200 | 蓝 |

表面材料的去除量取决于植入“工具”中磨料的尺寸。当磨粒切削时，它们旋转，然后从结合带松开到后部，并且随金属颗粒落下。磨粒植入比较硬的基体，例如木材、铜、铁或钢，在其脱落之前，使模具表面去除更多，但是脱落的磨粒有可能使表面刮伤。

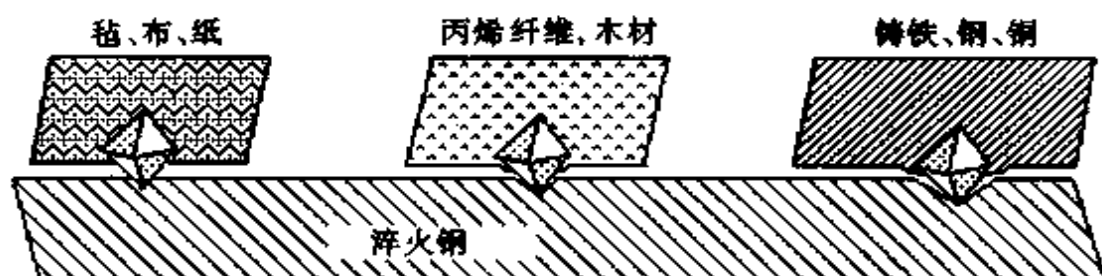


图 16-7 用软（左）、中等（中）和硬（右）“工具”将金刚石磨料嵌入淬火钢表面

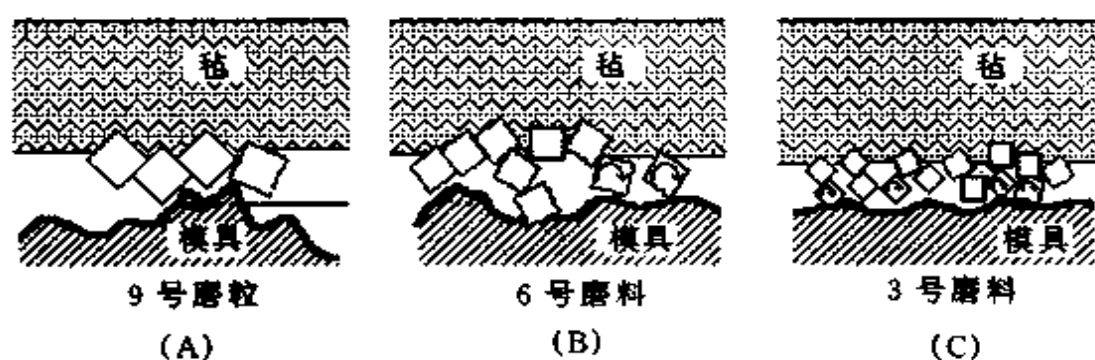


图 16-8 用于抛光和擦光不同阶段的不同磨料与毡一起返回的情况
(A) 抛光；(B) 切削；(C) 着色

16.4.5.5 测量粗糙度

粗糙度是表面凹凸峰元距其中心线的最大偏差量；用 μm 或 μin

来表达。图 16-9 反映了模具零件表面的情况。表 16-7 则是 μm 和 μin 的换算表，换算规则是 μm 值除以 0.0254 等于 μinRMS 量。

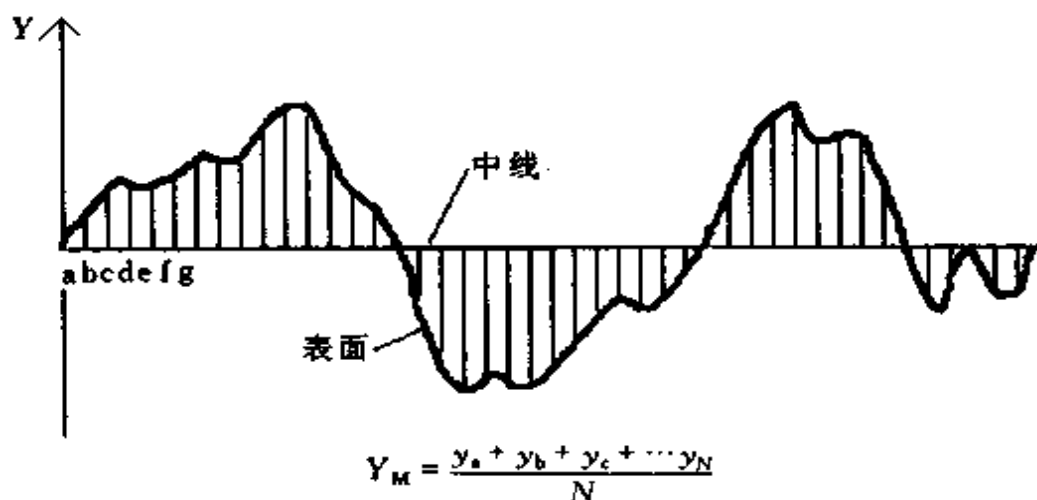


图 16-9 模具零件表面测量图

通常用三种方法测量粗糙度：

- ① 光学干涉技术；
- ② pieco-电接触；
- ③ 视觉检查。

方法 1 和 2 是客观的，然而，视觉方法是实际可行的，且比较快。

对于视觉检查，要收集到足够的模具钢的典型精整情况，并标有精整规程。如有必要，检查人员可与适当的精整样品来比较工件的精整情况。

表 16-7 μm 与 μin 的换算表

| μm | μin | μm | μin |
|---------------|----------------|---------------|----------------|
| 0.025 | 1 | 0.3 | 12 |
| 0.05 | 2 | 0.4 | 16 |
| 0.08 | 3 | 0.8 | 32 |
| 0.1 | 4 | 1.6 | 63 |
| 0.2 | 8 | 3.2 | 125 |

16.4.5.6 抛光术语和操作顺序

自动磨石磨 需要的地方就用这个方法。在锥形或圆柱形工作表

面上，抛光磨石沿着轴向运动时，模具（圆形）零件跟着旋转，实际磨石作用在与拉磨方向成小角度的方向上。许多情况下，这是能接受的。如果不行，在拉磨方向还需最后手工磨石磨。模腔底部和模芯顶部也用机器精整，使用的是“旋转机器”，工件被固定在旋转心轴上，操作人员使用小的研磨砂盘。

手工磨石磨 对于抛光机器不能接近的地方，采用手持振动工具（Diprofile™）进行手工磨石磨，振动的行程和速度可根据操作者需要改变。

蒸汽珩磨 喷砂可能影响尖角，并且需要用磨石去除所有毛刺。

刷光 采用手持旋转刷，去除磨石痕迹，刷子由马鬃、黄铜或钢制成，长度各不相同，且使用糊状金刚石#9。

擦光 采用手持旋转毡轮，进行精细精整，使用糊状金刚石#15、#9、#6和#3，工件可旋转也可静止。


拉光 手持毡棍在模具的拉磨方向上运动，工件固定，采用和擦光同样的糊状金刚石。

机械精整的成本要大大低于手工精整，模具设计者必须确定要得到抛光的规格。总是要问这样一个问题：“就产品来讲，规定的精整真有意义吗？过多的精整浪费了很多时间”。

16.4.6 非模塑表面精整规格

一般，不与塑料接触的模具零部件的表面的精整不标注，也有采用普遍的标记见左下图：

除另有标准，
全部表面粗糙度均为 $1.6\mu\text{m}$




比 $1.6\mu\text{m}$ 要好的是 $0.8\mu\text{m}$ 和 $0.4\mu\text{m}$ （见表 16-6），例如右上图：模具标准件可能需要比 $1.6\mu\text{m}$ 更好的粗糙度，以至达到模塑面的粗糙度要求。需要更好的精整，也可能是为了减小模具零件应力集中处的应力（见第十八章）。更好的粗糙度要求必须被直接标注在零件图

纸的关键位置上，类似于对模塑面的精整要求。

16.4.6.1 尖角的抛光

尽管这个问题不是本章节（模具精整）的部分，设计者应记住这样的事实，特别是淬火工具钢，存在应力或腐蚀时，尖角往往导致开裂。即使规定有小半径圆角，但是，车削或铣削的沟槽，以及磨削产生的划痕，都具有尖角一样差的结果，沟槽和划痕必须用抛光去除。希望承受的载荷或腐蚀的危险越高，就要采取更好的抛光，以确保最小的开裂的可能。见十八章。

第十七章 模 板

17.1 用途和材料选择

组成完整模具的所有板都叫模板，模板（没有模腔和模芯）的组装件常称为“模套”。

过去，甚至今天，在低成本模具中，常使用低碳钢模板。按常规，这些模板由热轧或冷轧 AISI 1015 钢制成，更好的是由易切削钢如 AISI 1130 等制成，这是最便宜类型钢（锅炉钢板等），且来源易保证。这些模板对于大批量生产用模具往往硬度不够。

按照常规，模板上是不加工成型面的，然而，对于非常大的模具，或者是小批量生产用模具，模腔，有时也有模芯被直接加工在模板上。在这些情况下，钢的质量是重要的，必须具有良好的抛光性，而且无杂质（可能在制品上留下印记的）。

用于模具的所有模板的主要要求是：

- ①良好的可切削加工性（加工时间短）；
- ②满足模具的硬度要求；
- ③钢的材质均匀（例如，无有害于加工的硬点）；
- ④良好的耐腐蚀性；
- ⑤易于获得；
- ⑥如开设模腔或模芯，还要求内部干净（没有夹杂或脏物）；
- ⑦低成本。

为改善钢的性能，可使用比低碳钢好的易切削钢，如 AISI 4140，预先热处理后，硬度达 260~320BHN（相当于 896~1172MPa 拉伸强度）。这种钢能满足上述的许多要求，但它往往含有杂质且易生锈。

更好的钢是为模具特别研制的易切削钢 P20，与 AISI 4140 钢一样，能用来加工模腔和模芯。P20 满足上述的大多数要求，但也太容易

生锈。要防止锈蚀，钢件必须施镀，最好的是化学镀镍（ENP），确保内部管道也可以得到保护。镀覆增加了钢的成本。有的模塑工人仅用油漆对模套进行外部涂刷，但这不能防止冷却管道的腐蚀。

不锈钢（SS），如 AISI 420 F Mod.，预先热处理至 270~340BHN，就能满足腐蚀防护和其他所有要求。虽然 SS 钢的成本比 P20 钢要高得多，但通过选择一定的标准模板尺寸和大批量订购，有可能大大地降低钢的价格（同 P20 等量比较），同时，因为无需再施镀，也可以节省成本。要想充分降低钢的成本，设计者必须规定好留有最小加工余量的钢材尺寸。

17.2 模板挠曲

建议设计人员，要熟悉有关材料强度的基本知识。这可从任何地方，如机械手册或是工程教科书上获得。与模板有关的重要论述列出如下：

①任何板受载时都会挠曲，模具设计人员主要考虑的是，将挠度控制在不影响模具定位的范围内。

②如果模板挠曲超出范围，优选方案是增厚模板，而不是另增加一块模板，这能从挠度公式中看出，挠曲抗力与模板厚度的三次方成正比。

例：有两种情况，一是 100mm 厚的一块模板，二是两块 50mm 厚的模板组合。

对于 100mm 厚模板：

$$100^3 = 1\ 000\ 000$$

对于两块 50mm 厚的模板组合：

$$2 \times 50^3 = 2 \times 125\ 000 = 250\ 000$$

由此可见，即使总厚度一样，但两块 50mm 板的组合仅是 100mm 板的强度的 1/4。在同等载荷下，两块薄板的挠度将是一块厚板的4 倍。

③只有弹性模量（ E ）影响挠度，钢的硬度没有影响。如果模板在低于屈服强度载荷下挠曲，载荷去除后，模板则恢复到原来的形状。因为较硬的钢比较软的钢的屈服强度高，后者在同样载荷下将产生永久

的挠曲，而较硬的钢，同样载荷去除后，则恢复到原先的形状。

所有钢的弹性模量 E 都近似相同，相差在 $\pm 5\%$ 范围，只有碳化钨硬质合金例外，它的刚度是工具钢的 2 倍。确切的数值见材料规格表，钢的 E 值约为 19.61MPa (30000000psi)。

④要防止循环载荷引起的失效，模板的最大许用应力不能超过模板材料的疲劳强度。这里的数据都是室温下的，温度升高 (200°C 或更高)，强度将下降，每种材料的规格表中列出了这些数据。

⑤很难计算出各处模板的确切挠度，实际也没有必要。要确保模具具有足够的“刚性”，可使用“最坏情况方案”作出假设，即：假设在一个区域是单点载荷（在模腔中心），而不是分散载荷；假设模板是简支梁，仅在两端自由支承。根据这两种假设的结果比其他精确方法所得到的结果还严密，且对于过多的挠度可确保安全。

⑥比较好的方法是根据所需形状（如：顶杆托板或热流道歧管），切割加工整块板（保留更多的支撑面积），从而使模具刚度更大；而不使用圆或方形切块，并为支撑过于分散的载荷加上柱子。虽然这可能要去掉大量材料，但在长期运行中还是划算的，且这样的模具比有许多松散零部件（柱子等）的更易于安装。

这不是说决不可采用支柱。采用“穹拱”板或是简单框架（具有平行和（或）大切块）和支柱与否，根据生产实际情况，最终取决于设计者。有时，用支柱来引导顶出托板的运动，在这种情况下，柱子必须淬火并磨削，类似于导柱。确保所有支柱，当其直接座落在机器压板上时，是安装在压板的坚固材料上，而不是在孔或槽口上（切记检查机器压板的布置！）。

17.3 作用于模板的力

合模力给模板加载，这个力比注射时要打开模具所产生的分离力还大。分离力等于整个设计模腔面积乘以模腔内塑料的注射压力。

由于流道和浇口处存在压力损失，模腔内的压力经常低于注塑机喷嘴处的注射压力。压力很难估计，且随着模具和塑料类型的改变而变化，实际上也得不到精确数字。模腔内的压力取决于许多因素，如

流道系统内的流动阻力，塑料粘性，熔化温度，冷却温度，注射速度，浇口尺寸等。如果有疑问，可以与熟悉制品的人讨论，来估计模腔压力（这个问题的进一步讨论可参见 18.1 节）。

17.4 模板挠度和应力的简化计算

17.4.1 挠度

图 17-1 中的挠度 f 及其相关方程表明 I （转动惯量）公式是建立在单位宽度（纸面方向）基础上的，其总载荷 W 也必须被换算成单位载荷，即是整个载荷被模板的宽度相除。

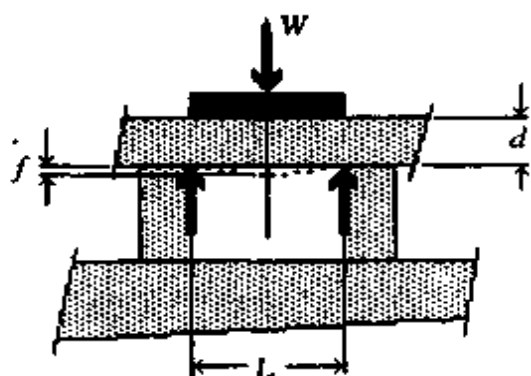


图 17-1 模板的挠度

计算时，保证使用合适的测量单位，英寸或米制单位。任何模板的挠度 f 不应超过 0.05mm (0.002in)。

图 17-1 所示模板的挠度，计算单位用 mm 或 in:

$$f = \frac{WL^3}{48EI} \quad (17-1)$$

E 是弹性模量，转动惯量 I (mm^4) 的计算公式是:

$$I = \frac{1d^3}{3} \quad (17-2)$$

17.4.2 应力

应力计算如下，图 17-2 给出其示意图。载荷为 W ，最大应力 S_{\max} :

$$S_{\max} = -\frac{WL}{4Z} \quad (17-3)$$

Z 是截面模量，其必须建立在同样的“单位宽度”1 上，正如转动惯量 I 一样。

$$Z = \frac{1d^2}{3} (\text{mm}^3 \text{ 或 } \text{in}^3) \quad (17-4)$$

S_{\max} 必须小于或等于钢的允许疲劳应力。

17.4.3 设计校验

使用上述两个保守公式，设计者能轻易地检查出，对于特定的模

具模板是否够厚。最小挠度将导致长的模具寿命和高的制品精度，这对薄壁制品更重要。

注意：要正确使用单位。如 E 和 S 用 MPa， d 和 L 用 cm。对于英制，用 psi 和 in，正如下面的例子。

例：假定模腔面积是 $2\text{in} \times 4\text{in}$ （纸面方向），注射压力为 10000psi；

$2\text{in} \times 4\text{in} \times 10000\text{psi} = 80000\text{lb}$
 通过除以 4，设计者得到单位载荷 20000 lb，可代换到 (17-1~17-4) 公式中得到挠度和最大应力，对于这个例子，挠度和应力都在可接受范围内。假设允许应力 S_s 是 30000psi，从 (17-4) 公式

$$Z = \frac{1 \times 2^2}{3} = 1.33\text{in}^3$$

$$\text{从 (17-3) 公式, } S_{\max} = \frac{20000\text{lb} \times 4\text{in}}{4 \times 1.33\text{in}^3} = 15\,038\text{psi}$$

由于 $15\,038\text{psi} < 30\,000\text{psi}$ ，所以 S_{\max} 是可以接受的。模板的挠度必须小于 0.002in ，从 (17-2) 公式

$$I = \frac{1 \times (2\text{in})^2}{3} = 2.67\text{in}^4$$

从 (17-1) 公式, $f = \frac{20\,000\text{lb} \times (4\text{in})^3}{48 \times 30\,000\,000\text{psi} \times 2.67\text{in}^4} = 0.000333\text{in}$ ，低于 0.002in ，因此，可以接受。

在上述例子中，设计人员能做出决定，是否接受模具寿命等的设计方案。如果最大挠度和应力的数值高于许可值，设计人员必须作出一些对策。首先，如果接受范围与计算值的差别小，设计人员要列举理由证明在强度方面仍就留有足够余地，因为前述假设对设计者有利；再者，如果模具仅计划用来加工一定量的制品，其循环过程不到疲劳极限（比 2000000 循环次数少得多），这样钢就不会发生疲劳。但是，如果制造的模具要满足大批量生产，唯一恰当的方法就是重新设计。

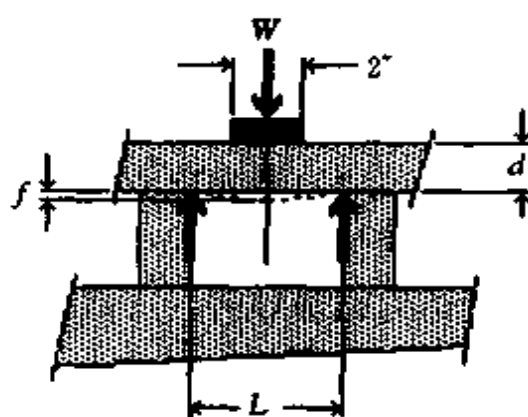


图 17-2 模具典型的设计校验，应力和挠度计算示意图

(如：逐渐增高模板强度，重新计算，直至达到允许的挠度和应力条件。)

17.5 动模板的导向

17.5.1 导向支承

在模具操作过程中（打开、关闭、滑动），需要运动的所有模板，必须得到正确导向。不能采用较弱的模具零部件（顶销、复位销、活塞杆或活动镶件）来制导模板。独立的模板制导必须确保那些较弱零部件精确定位。只要有一个或多个这样的零部件被安排在模板上，它们就都必须装配成“浮动的”，这样每个零件都能根据与其滑动相匹配的模具零件来确定他的正确位置。如果因缺少浮动而造成定位失准，这些零部件就可能遭受严重的侧向力，从而引起过度磨损，运动受卡和折断。

这种“浮动”是可以接受的，因为通常这些零部件质量很小，重力使它们定位失准的影响也小。然而，如果是一个大质量的滑动模具零件，就必须进行制导，通常被固定在一块模板上，通过销杆等来导向。

动模板的导向通常可用下列方法之一来实现：

- ① 模具导柱销；
- ② 辅助导销；
- ③ 用作导销的支柱；
- ④ 夹条。

用驱动器（活塞、凸轮等）来制导模板是不能接受的，这些模板必须由一些独立的导向件支持，这样在驱动器上就不会有侧向载荷（由定位失准或重力造成），这种载荷能够造成密封或气缸壁过早的磨损。一些需要导向的动模板和零件是：

- ① 顶杆托板；
- ② 脱模板；
- ③ 移动模腔板；
- ④ 带模具镶件的滑板；
- ⑤ 机械手引出板；
- ⑥ 侧型芯和滑块；

⑦移动模芯和模芯套；

⑧活动模芯。

一般来说，一块模板应由 3~4 个销和套支持，但对较小模板或零件仅有两个也是可接受的。

17.5.2 模板导向

如夹条被用来导向滑块，它们的有效长度至少和它们的相互距离一样大，尤其是仅有一个驱动器（活塞、凸轮等）来移动滑板时（图 17-3）。如果夹条间的距离大于有效长度，则必须使用两个同样的驱动器，每个销附近放一个，以避免翘起和卡住（图 17-4）。图 17-5 显示顶出托板的导向，一般，应有四个导向件，但在特殊情况下，三个甚至二个都可以。

图 17-5 中的顶杆可在顶杆固定板和模芯垫板里浮动（即可以向两边自由移动），活动范围半径约为 0.5mm (0.020in)。因而，约 0.13mm 的定位失准不会卡住。在顶头下面，应存在一个小的轴向间隙，约 0.025~0.05mm (0.001~0.002in)。

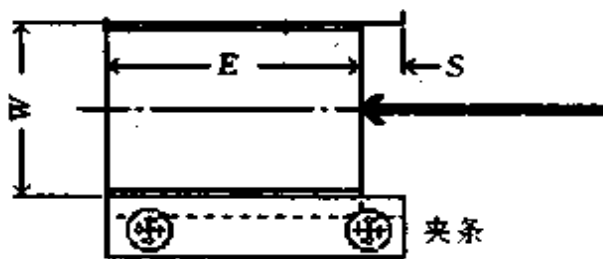


图 17-3 一个驱动器，中心固定，
控制移动模板

注： $W \leq E$ ， E 为有效长度（在夹条内），
 S 为行程

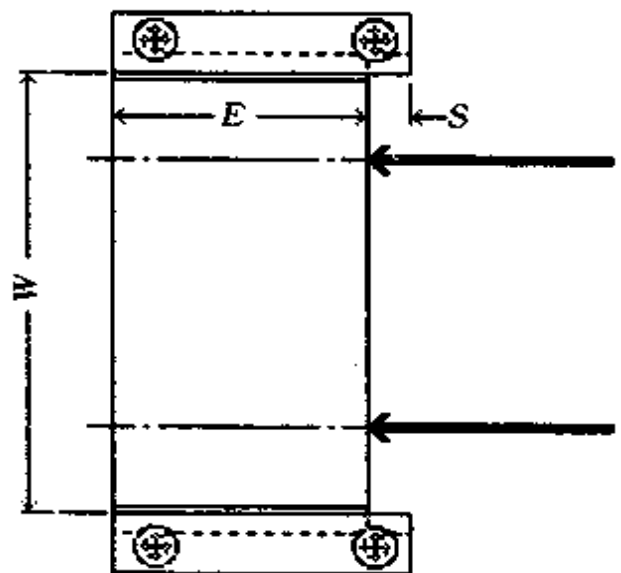


图 17-4 每个夹条附近装一个驱动器，
使模板平稳滑动

注： $W > E$

将顶杆固定板与模芯垫板定位好，便于模具装配；与顶杆托板定位好，可确保顶杆等维持与顶杆固定板孔洞的同心，且保持它们的浮动。做到这些很重要。如图 17-5 所示，在导向支柱上采用短衬套，径向间隙约为 0.13mm (0.005in)，可使模芯垫板定位。这样避免了同为顶杆托板提供的基础定位“打架”。用顶杆托板进行定位也有作用。其他保证恰当浮动的方法如下（选用何种方法受到可利用空间的影响）：

①两个定位销在模芯垫板上松，在顶杆固定板上紧。在装配期间，当顶杆插入时，这些销进入模芯垫板，接着将顶杆托板用螺钉固定于顶杆固定板上。

②顶杆托板的衬套可抵达顶杆固定板内，且衬套的外面是松的，与固定板有 0.13mm (0.005in) 的径向间隙。

③两个定位销在顶杆固定板上松，在顶杆托板上紧，可保证顶杆固定板定位在正确的位置（见图 17-6）。

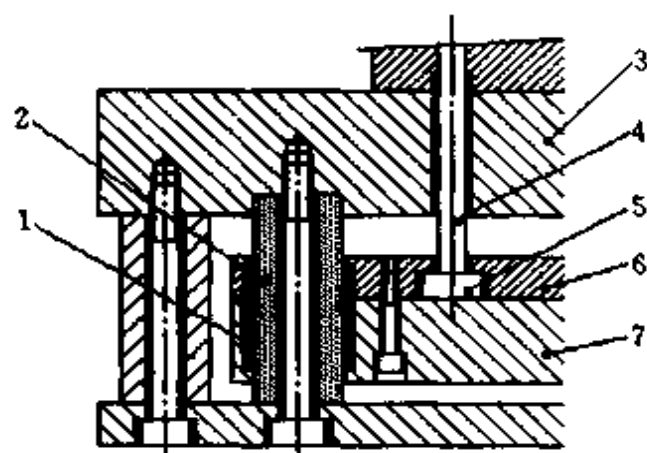


图 17-5 浮动顶杆的截面图和顶杆托板的导向

1—导向套；2—套筒支柱；3—模芯垫板；4—浮动顶杆；5—浮动顶杆头；6—顶杆固定板；7—顶杆托板

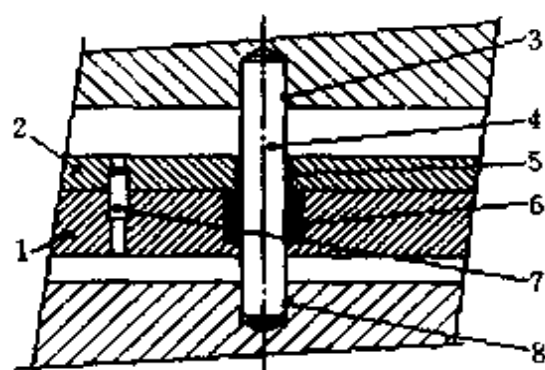


图 17-6 顶杆固定板和顶杆托板用定位销定位

1—顶杆托板；2—顶杆固定板；3—压配合；4—导销；5—径向间隙（约 0.5mm ）；6—衬套（标准间隙）；7—滑动配合；8—定位销

图 17-6 显示了简单实用的模板导向设计。注意，用于导向移动模

板的任何衬套，在两端都必须挡住，可使用凹槽，邻接板，D型压板等，没有安全保证的衬套压配合是不行的。

下一个图（图 17-7）表示的是典型的移动模板，带有驱动器（气缸）、行程限制器、导销和导套。至少应有 3 个，最好有 4 个驱动器，布置在（尽可能远的）拐角处，以尽量减小模板翘起的可能。

注意：在活塞的顶端和气缸的底部必须有最小的空隙 C ，至少有 1.0mm，同时活塞也不应用来限制模板行程。正如图所示，各分开的行程限制器（最少 3 个，最好 4 个）必须保证运动停止在限制器上，而不是在活塞上， A 必须永远比 B 大（图 17-7）。

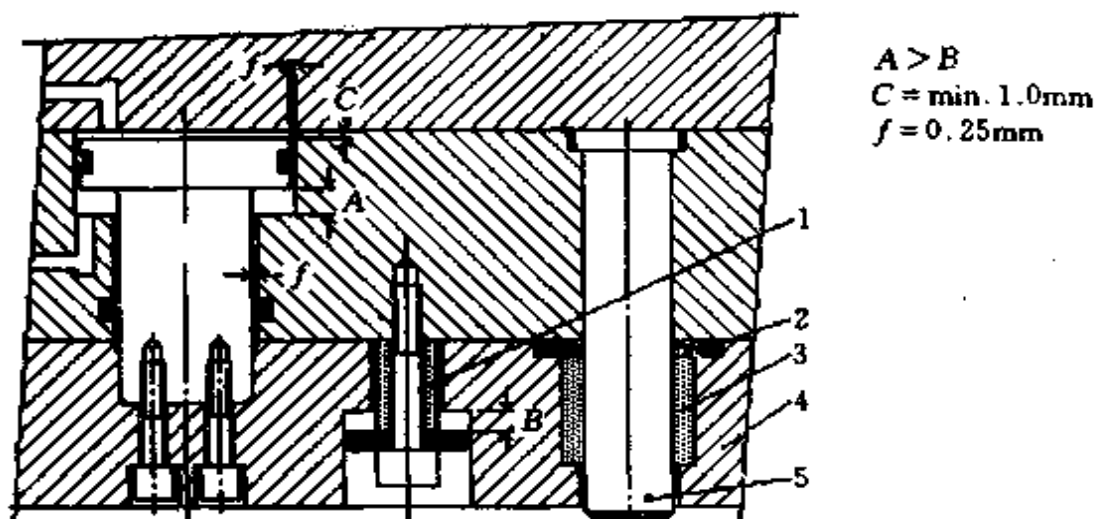


图 17-7 典型由销和衬套导向的移动模板，带有驱动器和行程限制器

1—行程限制器；2—D型压板；3—导套；4—移动模板；5—导销

不管密封件生产商的推荐尺寸如何，活塞和活塞杆与周围模板之间的间隙必须是 0.025mm (0.010in)，以防止活塞、活塞杆和模板之间的擦伤和咬住（这种附加的间隙对密封不造成影响，已在实际中得到证明），模板上的密封槽（用于活塞杆和活塞上的密封）的直径及拐角半径，都必须与密封件的规格相一致，以免密封过早失效。

导销和行程限制器设置应尽可能接近驱动器。至少有 3 个，最好是 4 个，以保证在活塞杆和密封件上无侧向载荷。

对于小工作量和短行程，若无空间来布置分开的定位销，可将行程限制器设计得能执行定位销的工作。如图 17-8 所示，套筒与动模

板中的衬套充当定位销作用，进入静模板的套筒长度至少和其直径一样大，并采用与同等尺寸定位销一样的轻度静配合进行装配。

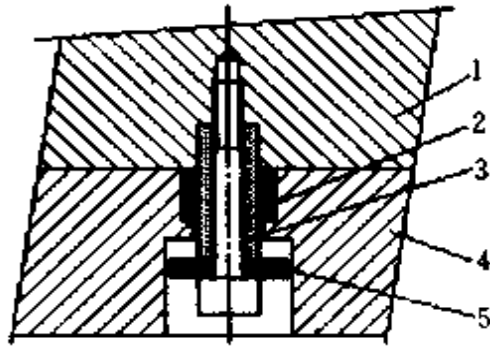


图 17-8 对于小模具短行程行程限制器充当定位销
1—静模板；2—衬套；3—淬火套筒；4—动模板；5—硬垫圈

第十八章 金属疲劳

18.1 材料力学性能

在讨论金属疲劳和如何影响模具结构寿命之前，先回顾一下有关材料强度的基本原理，以及适用于所有实际应用材料的各种相互关系和术语。

在模具上，设计者最关注的材料是钢，偶尔有铍青铜、铝合金，还有一些青铜和塑料都具有特别的性能，例如耐磨性。图 18-1 表示的是应力-应变曲线，涉及到的有关术语如下：

应力 单位面积上的力（用 psi 或 kg/cm^2 ）。

单位应变 试样在受力方向发生的长度变化值，除以原始长度（一般简单地称为应变）。

比例极限 应力-应变曲线上开始偏离直线的那一点。

弹性极限 当力撤除后，仍然恢复到原始形状所能承受的最大应力。对于钢，比例极限和弹性极限可认为是相同的。

屈服点 应力-应变曲线上，应力没有相应提高，应变就突然增加的那一点，对于钢，屈服点和弹性极限也基本相同，不是所有材料都有屈服点。

屈服强度 S_y （用 psi 或 kg/cm^2 ） 不发生永久变形所能施加的最大应力，也就是具有弹性极限材料的弹性极限应力值。模具所有计算应依据屈服强度值 S_y 。

最大强度 S_u （用 psi 或 kg/cm^2 ） 应力-应变曲线上最大应力值， S_u 被称为最大拉伸强度（UTS）。

弹性模量 E （用 psi 或 kg/cm^2 ） 低于比例极限时，应力对应变的比率。

对于大多数钢，其 E 值基本相同，不论是软还是硬，特别例外的

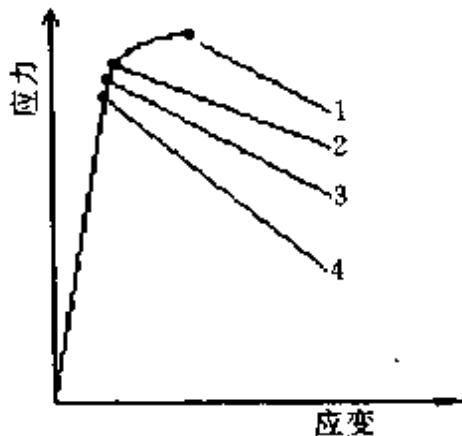


图 18-1 钢的应力—应变曲线

1—极限强度；2—屈服点；3—
弹性极限；4—比例极限

是 WC 硬质合金，具有相当大的数值。 E 值见材料数据表。

软钢(低碳)和淬火钢有明显差异，后者的拉伸强度(和屈服点值)要高得多。换句话说，淬火钢能承受更高的应力，在作用力撤除后，将仍然恢复原先形状，低碳钢承受同样的力，将伸展变形，不会回到原先形状。对于淬火钢，最大强度和屈服强度基本一样(即是：淬火钢到达屈服点后通常即断裂)。

另外一些指标对于模具设计者也有意义，它们是抗压强度和剪切性能。

压缩强度 由抗压试验，可以测定压缩屈服应力 (S_{cy}) 和压缩最大应力 (S_{cu})，对于脆性材料，这些值通常就像拉伸应力值一样，即 (S_y) 和 (S_u)，韧性材料受载时，就肿胀或弯曲，没有断裂。

剪切性能 剪切试验测定剪切屈服强度 (S_{sy}) 和剪切最大强度 (S_{su})，还有刚度模量 (G)，剪切应力与应变比率，低于比例极限。对于大多数钢， G 约是 $0.4E$ ， G 的实际值见材料数据表。

18.2 金属疲劳

许多模具因金属疲劳而失效，为防止模具失效，要求设计者很好地利用一些技术来避免金属疲劳的发生。

冶金学家对于金属疲劳认识深刻，所有设备的设计人员也考虑此问题，如飞机、汽车等，这些金属失效的地方会产生严重的后果。疲劳会产生于任何金属制品，特别是钢。

下面将解释金属疲劳，运用的是最小理论，在有些情况下，设计者必须接受这些论述，也可以通过有关的书籍和论文作更详细的研究。

下面使用的方法类似于 Engineer to win^[1] (为赛车设计人员所写) 提及的方法，用简明扼要的话和易懂的图来解释复杂的问题，应

用到模具设计上。

18.2.1 什么是疲劳

当一个结构稳定受载，且其部件保持正常尺寸，这实际将维持很久。然而，当其反复地改变载荷的大小和方向时，部件就可能早期失效。

“规则：在反复（‘循环的’，或连续的）应力下，金属的承受能力逐渐丧失，且（大多数情况下）不能复原”^[1]。

承受波动载荷的金属，在经过有限次循环受载后断裂，即使应力大大低于金属的最大强度，这就是所谓“疲劳失效”。试验也表明，承受固定载荷的钢件在两百万次循环后，不会发生断裂，一点也不会失效。

这如何同模具发生联系，见第八章。模具零部件承受以下载荷：

- 压缩；
- 拉伸；
- 弯曲；
- 剪切；
- 扭转。

这章将不讨论复合应力情况，例如拉伸和剪切或拉伸和压缩，这些都复杂。任何螺丝扭转时，受到拉伸和扭转（剪切）载荷。然而，扭转一停止，扭转力就不存在，螺丝仅受拉伸载荷。这就是为何螺丝要很好润滑，以降低扭转应力。

规则：对于要发生的疲劳失效，整个过程的时间或是加载间隔时间都不重要，仅是循环的次数才有意义。

例如：一个“缓慢”模具，以 15s 循环运行，将在 173d（24h 计）内完成一百万次循环。但是，一个“快速”模具，以 3s 循环，在 34d 就产生同样的循环次数，这两种情况下，模具的疲劳效果是同样的。

18.3 四种基本类型载荷

18.3.1 轴向载荷

轴向载荷如图 18-2 所示，按规定，压缩应力为（-），拉伸应力为

(+), 截面应力分布均匀。

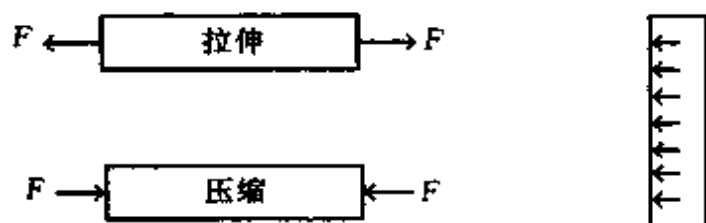


图 18-2 模具轴向受载

注：截面应力分布均匀

18.3.2 弯曲载荷

弯曲载荷如图 18-3 所示，截面的应力分布从轴心为零到表面最大值。

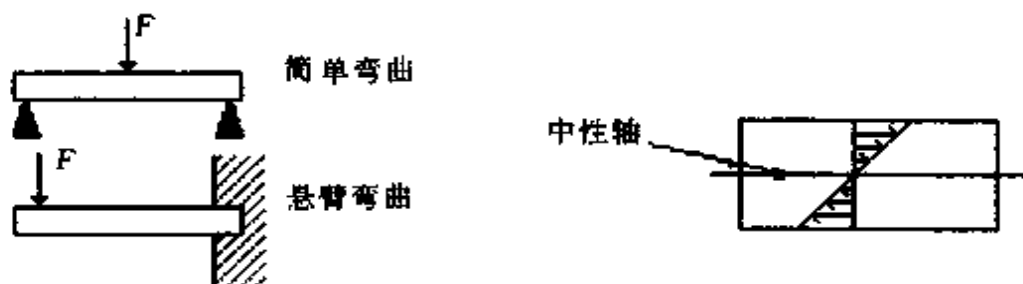


图 18-3 弯曲载荷

注：中性轴到表面的截面应力分布从零到最大值

18.3.3 剪切载荷

图 18-4 表示的是螺栓销杆的剪切应力，截面的应力分布均匀，截面 A 处于剪切状态。

18.3.4 扭转载荷

旋转件的扭转应力如图 18-5 所示，截面应力分布从中性轴零变化至边缘最大值。

18.4 载荷波动、尺度和方向

重要的是要理解，如果载荷从 0 变至 100%，例如：从 50%~100%，或者从完全拉伸到完全压缩（+100%至-100%）等，金属（钢）的晶体结构会受到不同的影响。图 18-6 显示出 6 种不同情况的差异。应力比 R 等于最小应力除以最大应力，比率越大，越好（如图 18-7 曲线所示）。每副模具中都发生 0~100% 的载荷变化。

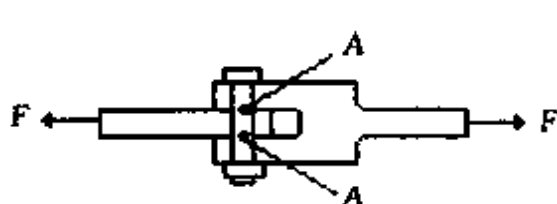


图 18-4 销杆剪切应力

注：销杆截面应力分布均匀，
截面 A 受剪切力

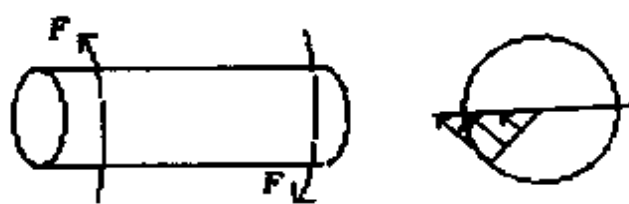


图 18-5 扭转载荷

注：中性轴到外表面的应力分
布从零到最大值

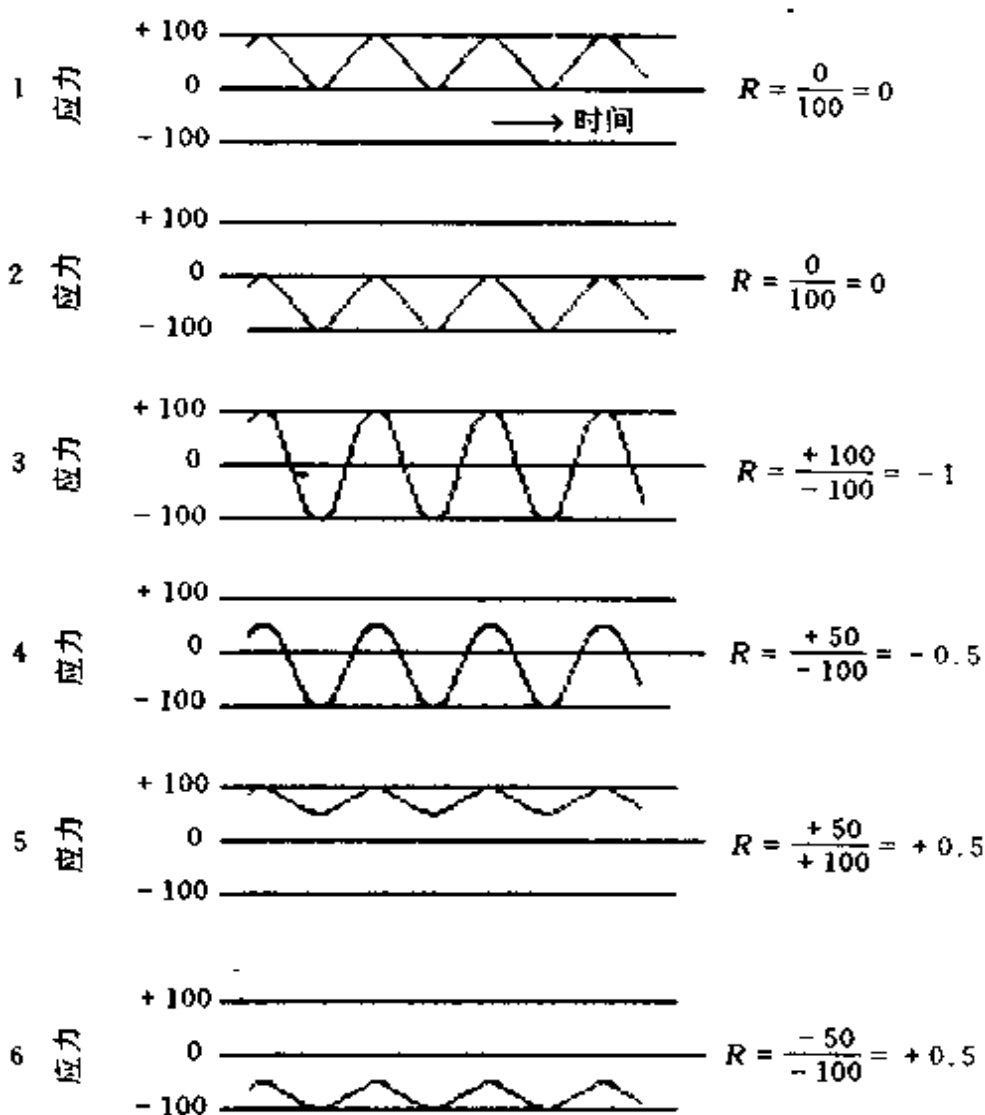


图 18-6 波动载荷的应力比

图 18-7 表示了（对于一种专门钢，用特殊方式处理）在不同的应力比下，应力 S 和失效的循环次数 N 之间的关系，称为 $S-N$ 图。最好

的情况是应力一点不变（静载）或应力波动很小时，最坏的情况是应力由+100%变至-100%，称为“应力反向”（ $R=-1$ ）。作为一个例子，这种条件在机械手上发生，是由于加大和减少质量造成的，也和脱模板一样。

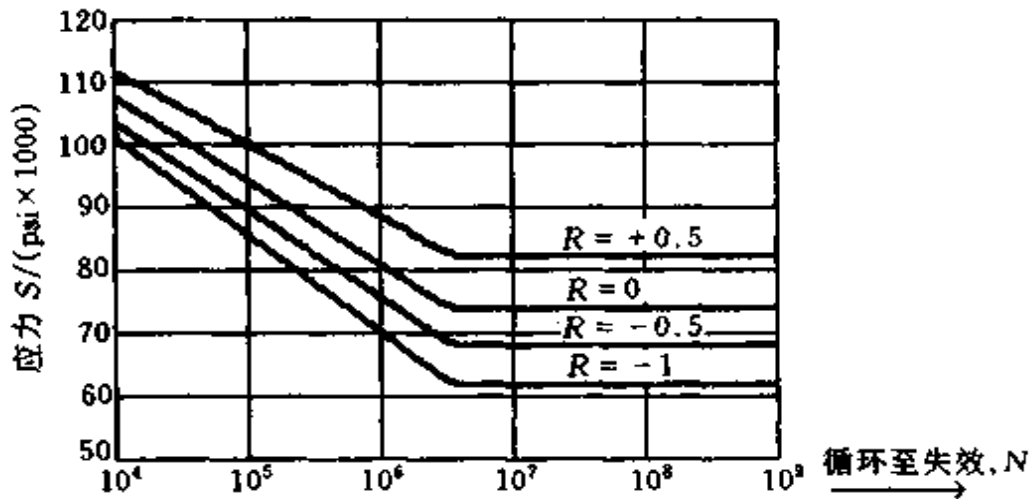


图 18-7 不同应力比下的应力与疲劳寿命关系曲线

注：1psi = 6.894757×10^3 Pa

18.5 疲劳寿命曲线

在图 18-7 例中，在大约两百万次或更多次的循环中，应力比为 $R=+0.5$ 和 $R=-1$ 的曲线，可看出许用应力分别为 565.37MPa 和 427.47MPa（疲劳强度的剧烈降低）。

图 18-8 解释了疲劳的作用，试验一截面积为 6.45cm^2 的 AISI 4130 钢棒，这个棒的最大强度为 620.53MPa，当即刻加上 400.34MPa 或多点的载荷（A 点），钢突然失效。假定棒被循环加载，载荷变化在 0~100%（应力比 $R=0/100=0$ ），且处于 551.58MPa 应力水平，钢棒在 10^4 次循环后很快就失效（B 点）。

通过在 A 与 B 间插值，对于这个试棒，当应力达到 586.05MPa，仅循环 200~300 次后（C 点）就失效（注：循环次数—失效曲线的刻度采用对数式，好让那么大的循环次数能够记录在曲线上）。通过外推方法（点线），也能看到，应力为 517.11MPa，试样棒在失效前循环

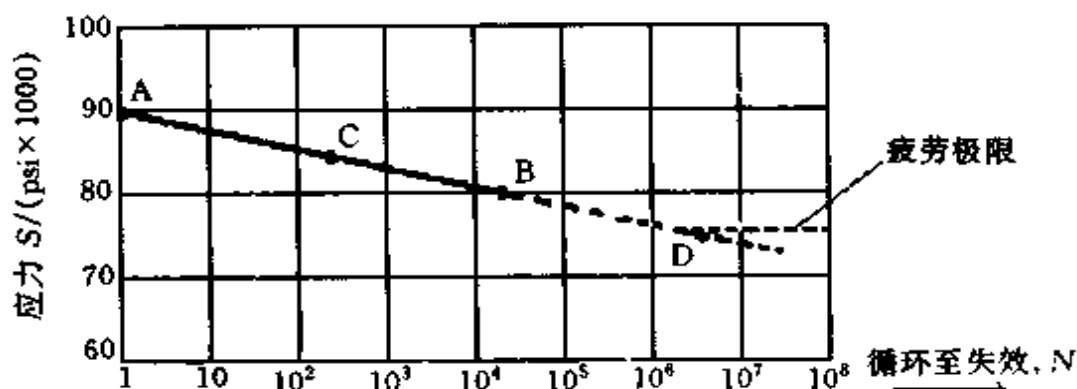


图 18-8 $R=0$, 疲劳对钢棒影响的疲劳寿命曲线

4500000次。事实上,一旦零件受载超过两百万次,只要应力(D点)低于 517.11MPa (水平点线),它就完全不会失效。

断裂试棒表现出典型的平滑和渐近的“海滩痕迹”,这是疲劳失效的记号,即是一些粗糙的结晶表面,表明失效最后的情况(见图 18-9)。如果在 10^4 次循环之前停止试验,检查试棒,失效最终发生地方的疲劳裂纹可从表面看出。在模具上,渗水就表示裂纹起源于流水的地方,而且已达到模具零件表面。

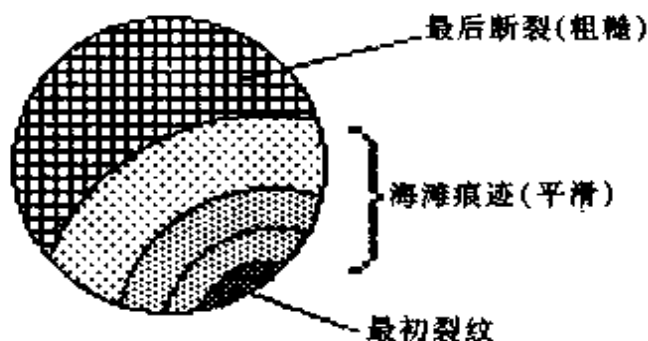


图 18-9 疲劳断裂示意图

设计者从供应商那里得到的所有数据,都是根据实验室试验且处于良好控制条件下得来的。即使是这样,相同疲劳试验的结果也是不同的。正如图 18-10 所显示的散布情况。一般,数据“曲线”是通过获取试验结果的平均值得到的。试验样品比较小,即意味着在材料服役中有比较好的也有比较差的结果。

从实际情况看,真实零件的疲劳寿命要比从标准试样得出的低。例

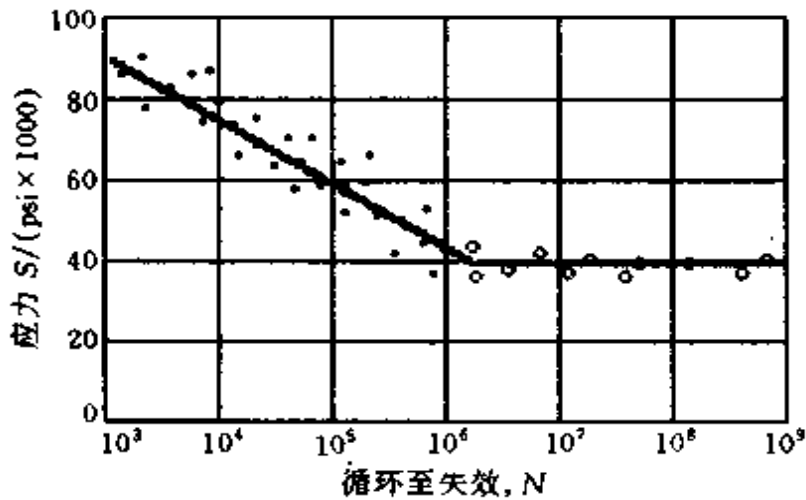


图 18-10 各个试样的疲劳寿命曲线

($1\text{psi} = 6.894757 \times 10^3\text{Pa}$)

· — 失效试样；○ — 未失效试样

如，低合金铬镍钢经淬火并回火，最大抗拉强度(UTS)为 827.37MPa，用反向扭转进行试验 ($R = -1$) 标准尺寸试样 (6.452cm^2) 具有疲劳极限 248.21MPa。然而，同样钢 3.05cm 直径 (7.290cm^2) 的大试棒，显示出真实的疲劳极限为 213.73MPa，4.45cm 直径 (15.55cm^2) 的更大试棒，疲劳极限仅有 179.26MPa。

设计人员应当要认识这样一个事实，实验室的试验和“真实寿命”的性能毕竟不同。当然，并不意味着实验室试验无用。另外一方面，它们可以很好地用来进行各种材料比较，但是数据表的结果使用起来必须斟酌。

· 到目前为止，钢的疲劳曲线看起来都比较相似，即它们呈直线下降，直至达到不论循环次数如何增加，强度不再降低的那一点（水平线）。有色金属的疲劳曲线很像双曲线，说明它们不会达到曲线完全水平的那一点，换言之，疲劳应力随着循环次数增加而减小（见图 18-11）。

对于快速循环模具，一百万次循环很快达到。如果一个钢的零件安全达到两百万次循环没失效，就认为其疲劳寿命无限长了。

总结前述的“理论”介绍可知，每一种材料都有其强度特性，可

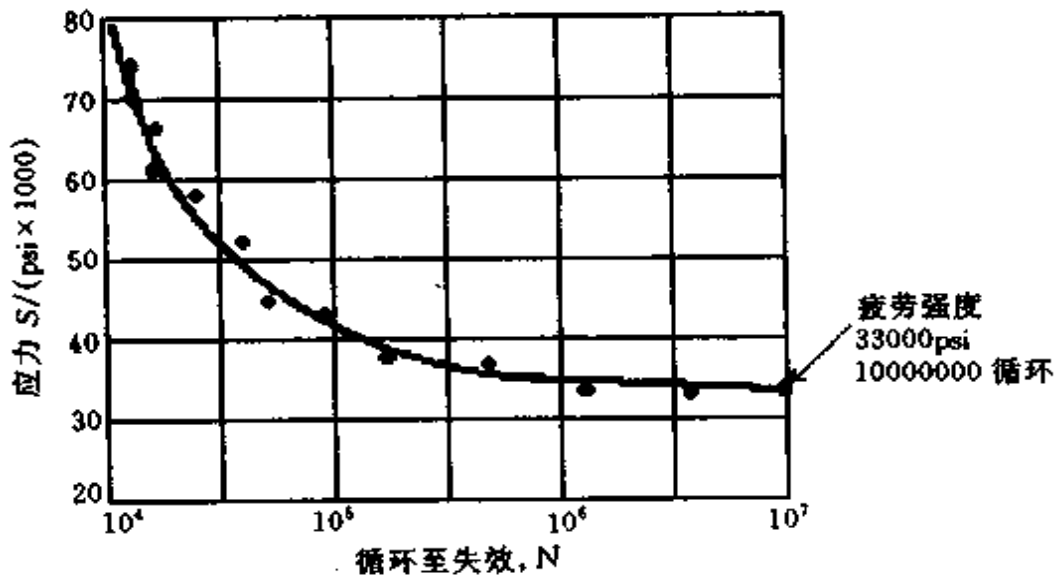


图 18-11 有色材料的疲劳寿命曲线

从手册中查到，但最好是从小材料供应商的数据表中获得（如疲劳数据没规定，可要求提供）。

图 18-12 表示的是钢的典型 $S-N$ 曲线的示意图，在 A 点，一个循环，疲劳应力等于 UTS（最大抗拉强度），曲线是直线（横坐标为对数刻度），到达最小值约两百万次循环的 B 点曲线变为直线，B 点以下即表示钢不会失效了，其循环次数就不考虑了。在拉伸、压缩或弯曲情况下，略低于这个应力即是安全应力（或疲劳极限）。

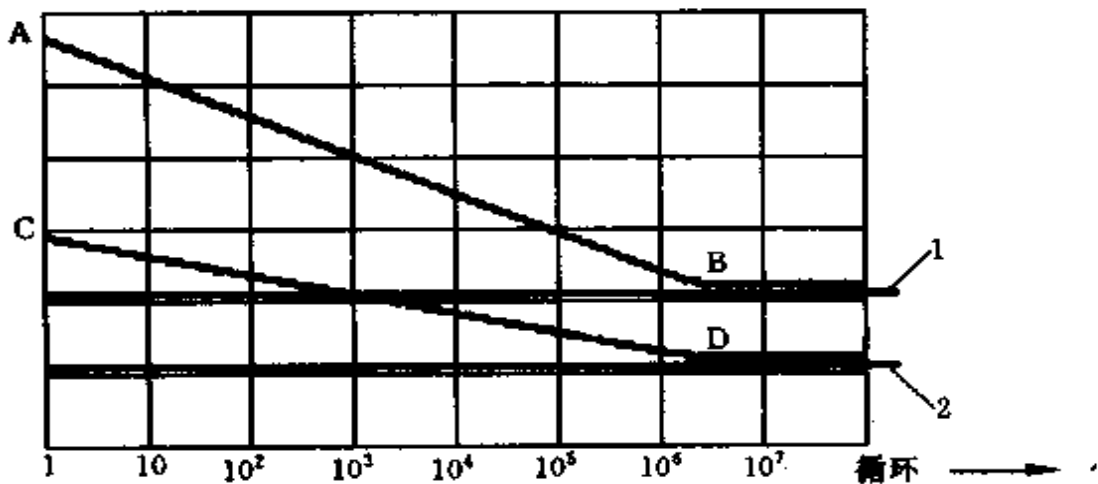


图 18-12 钢的典型 $S-N$ 曲线

1—安全疲劳极限（拉伸、压缩、弯曲）；2—安全疲劳极限（剪切、扭转）

在C点开始的曲线应用了剪切和扭转状态下的剪切应力，最大剪切应力总体比UTS要低得多，这个应力也按直线变至D点，从此，应力保持恒定，不考虑循环次数。略低于这个应力，是剪切或扭转的安全疲劳应力或疲劳极限。

UTS和安全应力有很大差异，即是设计者使用安全因子(SF)的原因，这取决于材料的特性和载荷类型。对于屈服强度，经常用的SF值为2~6(或更大)，以保证零件计算强度，使之不会在服役中失效。但是安全因子太大，带来的问题是零件非常重，这是不希望的，且不实际。

18.6 避免模具疲劳失效

以上的例子都是用简单的圆试样，实际中，模具零件具有各种奇特的形状，如带拐角、缺口、钻孔、螺纹、雕刻和其他设计特性，而且零件表面也受到切削和磨削痕迹、热处理应力、刮痕等的影响，所有这些影响零件的疲劳寿命。

18.6.1 材料选择

较硬的材料通常比较软的材料，具有较低(相对屈服强度而言)的疲劳寿命(见图18-16)。另外，硬的表面是常需要的，以满足模具其他方面的要求(例如：磨损、耐磨粒磨损、抗滚削等)。要减小低于疲劳强度的应力水平，设计者必须增加用钢截面。

18.6.2 精整

由EDM和电镀进行的精整，对零件表面和其疲劳寿命都有反作用。由于这些过程不能避免，设计人员必须努力去减小零件的应力水平，通常增加其厚度。

18.6.3 产品形状

一般，设计者不能改变产品形状，已经由用户规定好了。但是，如果设计者确信诸如尖角或粗糙表面精饰的特性会严重影响模具寿命，这就意味着可以提出改变产品设计。用户一般理解这个问题，同意提高模具寿命的建议。

设计者重要的是要熟悉每个模具零件的应力状态如何(尺度、方向、加载频率)，以至可以预测载荷对设计零件的影响。许多模具部件，

如模板，不必特别考虑，因为它们足够大，仅存在轻微的应力，且通常也不淬火，因此，疲劳性能好。然而，如果一个模板带有交叉钻孔和其他空穴，其疲劳寿命必须检查，防止其塌陷。所有零件如模腔、模芯、镶件和受周期性载荷的小件，特别是淬过火的（热流道零件、脱模圈、定位圈、镶件等），都必须仔细检查疲劳寿命。

18.6.4 应力集中

所有模具零件都受到应力集中或“应力集中源”的影响，模具零件的多数断裂情况与应力集中有关。设计者应能认识到何处可能会产生应力集中，确保能避免其发生或在数量级上减少应力集中的程度。

即使设计者已经选择了安全应力水平（低于疲劳极限），零件仍然受到应力集中的严重影响。切记，所做试验用的是平滑、抛光的样品，数据仅反映这些试验的结果。模具零件总是存在拐角、缺口和孔洞等，因此在考虑模具寿命更高的部位，试样不必进行抛光。

应力集中源起源于一定范围：它们可以是在钢本身之内或由设计不好引起。首先，回顾少数典型的例子（图 18-13）。

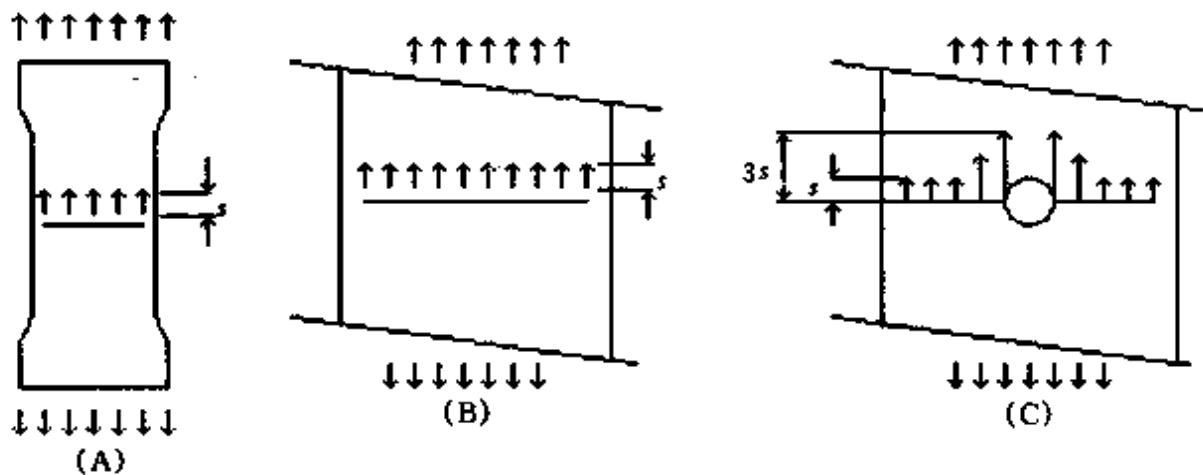


图 18-13 试片加应力值 S 和加孔的典型情况

试片应力达到 s ，如图 18-13 (A)、(B) 图示意，当加上一孔时，孔附近的应力 s ，如 18-13 (C) 是加孔前出现的平坦分布应力的三倍大，见 (B) 图所示。

实际值 ($3s$) 不是那么重要。事实上孔的边缘的应力要大得多，因此会引起失效。例中，试片的疲劳极限要比没有孔的低（坏）

很多。

在模具设计中，实际上是不可避免有应力的零件带孔（例如：水管、安装孔等）。但设计人员通过孔的精整，可改善（坏的）条件，这可从图 18-14 清楚地看出。这是 4140 钢条的 $S-N$ 曲线，钻有 0.25in 孔（数字说明真正的试验结果）。

但是钢的本身还有别的不易发现的问题，一些钢存在杂质（夹杂物），影响到疲劳寿命，甚至超过钻的孔。作为例子，图 18-15 反映了相同钢（4340）的 $S-N$ 曲线，一个真空熔炼，一个空气中熔炼，差异是很大的，就疲劳而言，真空熔炼的钢几乎是空气中熔炼的钢的两倍。

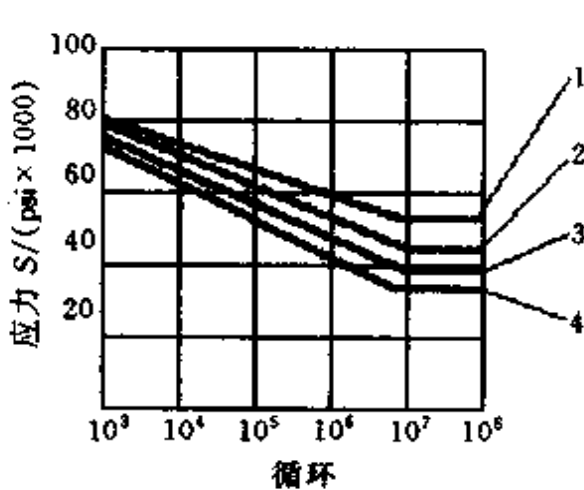


图 18-14 4140 钢条 $S-N$ 曲线

- 1—未钻孔零件疲劳极限 54000psi；
2—钻-孔边缘修圆并抛光；3—钻-孔
边缘抛光；4—钻-孔边尖锐

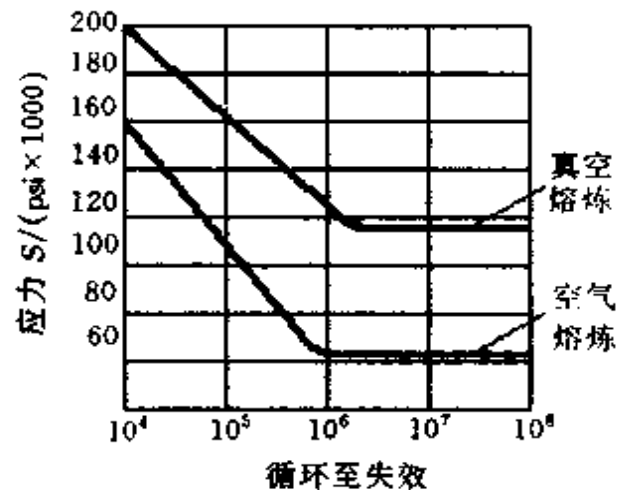


图 18-15 4340 钢 $S-N$ 曲线

18.7 硬度对疲劳极限的影响

例如 SAE1020 这样的低碳钢，应力集中源是不重要的。相比之下，应力集中源使淬火钢的疲劳极限减少很多，应用时疲劳寿命较短。图 18-16 是根据实际疲劳（实验室）实验得出的曲线。在疲劳方面，热处理的钢仅比冷拔 SAE1020 钢强一点。低碳钢不用在模具上，但是图 18-16 表明要改善疲劳强度、增加硬度是无助于事的。

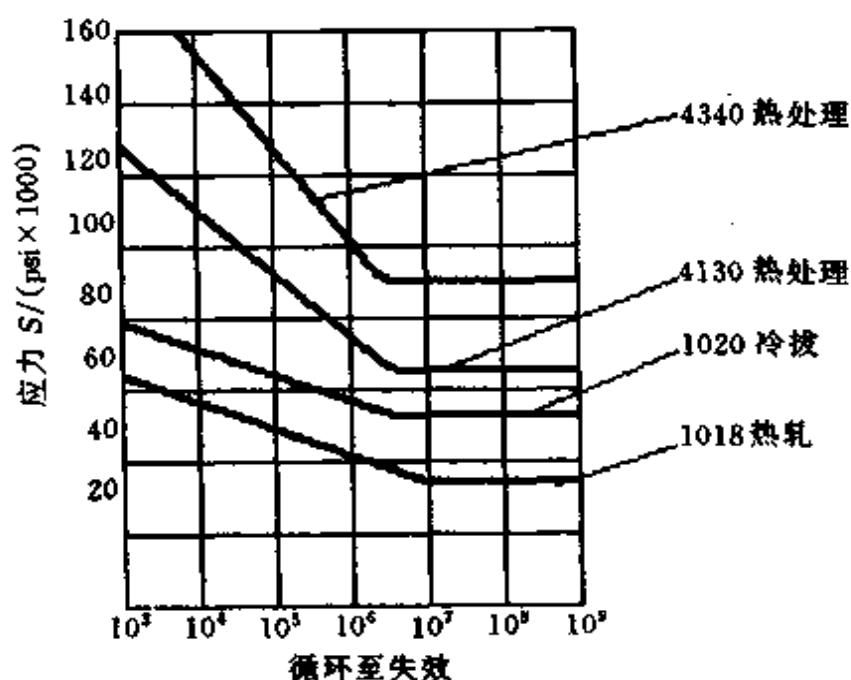


图 18-16 几种钢的 S-N 曲线

18.8 精整的影响

图 18-17 显示了淬火圆棒的表面精整对疲劳寿命的影响，UTS 是 1586MPa (230000psi)，承受最差情况载荷，即反向扭转应力。

正如图示，粗旋转试样的疲劳强度减小到 UTS 的 18%，且高度抛光样品也仅有 UTS 的 22%。在两种情况下，安全因子至少 5~6 才合适。如果有额外的应力集中源，需要更高的安全因子。

图 18-18 表示了合金钢试样表面精整对疲劳寿命的影响，试样被热处理到不同的强度和硬度水平。注：在模具的使用范围，硬度可以大致和抗拉强度对应，1Rc 对照 34.473MPa (即是 30Rc 等同于 1034.21MPa，45Rc 等同于 1551.32MPa)。在应力方向上，磨削或磨石产生的

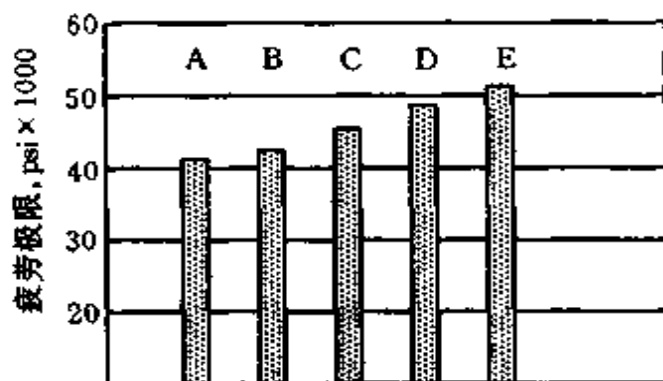


图 18-17 淬火圆棒的表面精整对疲劳寿命的影响

A—粗旋转精整；B—平滑旋转精整；C—研磨精整（圆周）；D—研磨精整（纵向）；E—高度抛光精整（纵向）

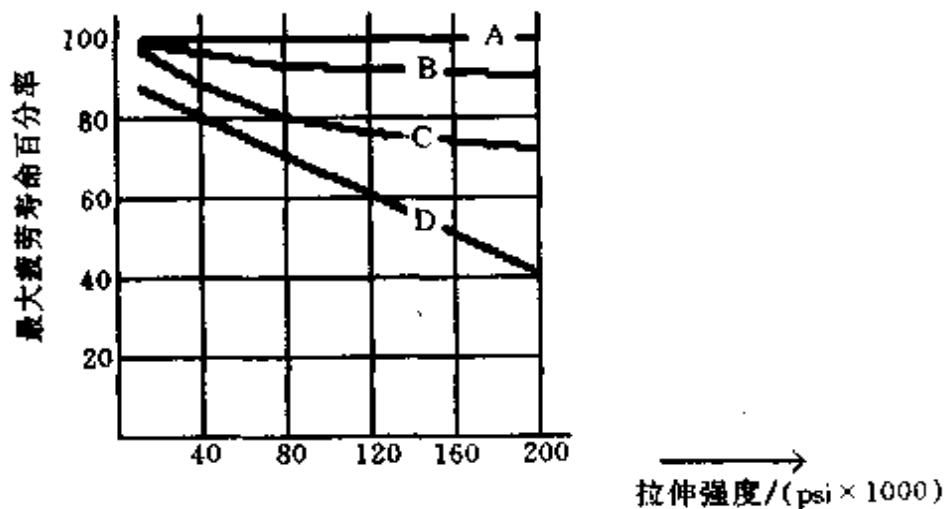


图 18-18 不同强度、硬度合金钢表面精整的影响

A—表面抛光；B—表面精磨；C—表面切削加工；
D—60°V形缺口，缺口深度为试样直径的1%

痕迹，比那些横着应力方向的破坏影响要小。

18.9 应力集中源对疲劳极限的影响

18.9.1 截面变化

图 18-19 表示横截面的变化对疲劳极限的影响，举出的三个例子适用任何零件（圆的或不是圆的）。



图 18-19 截面变化对疲劳极限的影响

18.9.2 拐角的应力集中源

由图 18-20 的应力图，可看出拐角的应力集中源影响，所显示出的应力关系适用于零件截面的任何变化，数值是近似的，但强调拐角具有合适半径的重要性。表面精整的质量对疲劳寿命具有额外的作用。如果产品设计者仅能采用小的拐角半径和截面变化，那么至少在这个危险区域，其表面必须高度抛光，以提高疲劳寿命。对于 O 型圈和挡圈

沟槽，建议加工者必须进行精整。

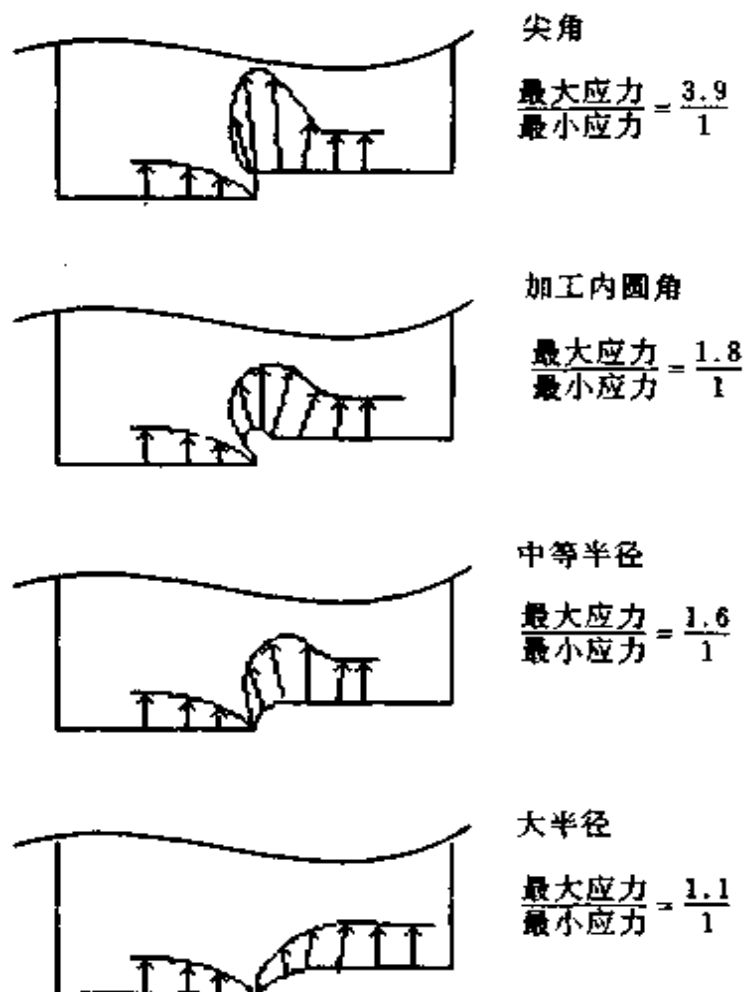


图 18-20 不同拐角应力集中源的应力图

18.9.3 刀具痕迹

孔洞和钻眼必须要清理，不留刀具痕迹，特别是水流和熔流通道。枪钻比麻花钻产生的孔壁要平滑些，而钻后铰孔代价大，镗磨也非常贵，且很少使用，但是流体抛光特别在熔流通道的内部常采用，不仅有益于塑料流动，而且改善疲劳寿命。

水流对通道壁的腐蚀作用过程类似于精整不好的情况。腐蚀起于划痕处（刀具痕迹），且往钢里吞噬，就产生了尖锐的缺口。最糟糕的是它在里面，直到零件失效才能看见（水开始流出）。

模膛壁总是存在很高的应力，每一循环中，注塑的压力给壁施加压力，壁上的通道或螺丝孔使得问题非常复杂，因为每个钻孔添加了自己钢中的应力集中源（图 18-13）。如果通道太接近，它们就像是

穿孔，对疲劳寿命具有严重的影响。在许多情况下，设计人员通过“超裕度”设计确保部件正常工作。但在关键部位，对于空间和质量都是非常重要的，必须作出最小安全尺寸的计算。

往往难以计算出部件实际接受的应力，因为缺乏关于熔流压力以及压力在模膛内引起这些应力的数据。因此，设计者必须：

①在计算模壁厚度时运用常识。

②使用充足的安全因子。

③避免：a. 过高的硬度；b. 孔洞彼此太接近；c. 孔精整差；d. 尖角或缺口。

在模具零件上是不可能避免螺纹的，但可以选择螺纹孔的位置，以至于把避免不掉的应力集中源（由螺纹切削引起）放到低应力区域，螺丝螺纹必须整齐，无划痕。

只要有可能，可将螺纹放在较软的材料上（例如 35Rc 的模板），而不放在（通常很硬的）模块零件（模膛、模芯等）上，轧制的螺丝螺纹要比切削的好（应力集中源少）。

18.9.4 花键和键槽

花键和键槽通常被用在自动或驱动装置上，也要考虑同样的问题，避免尖角，不要放在高应力部位，且使用良好的精整，避免产生穿孔效应（由于内槽或花键太靠近外槽或通道引起的）。

18.9.4.1 外螺纹或花键和挡圈槽

图 18-21~图 18-23 给出了螺纹、花键和挡圈槽的例子，图 18-24~26 表明，如何依据载荷的波动情况，通过去除材料，变化零件形状，来提高疲劳寿命。

对于模腔或模芯块（体），如果其上具有的凸销或窄片是整块形成

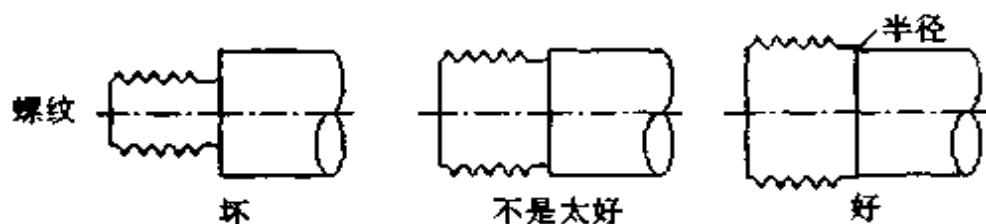


图 18-21 外螺纹对疲劳寿命的影响

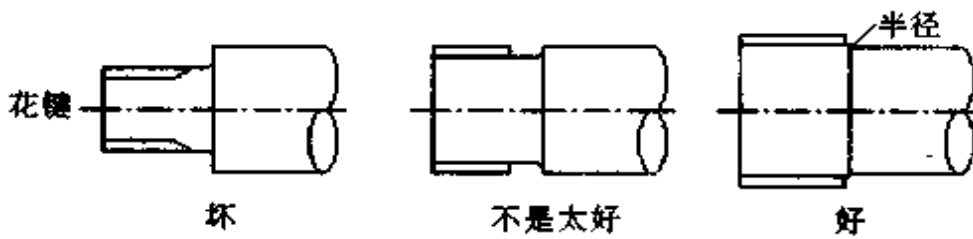


图 18-22 各种花键对疲劳寿命的影响

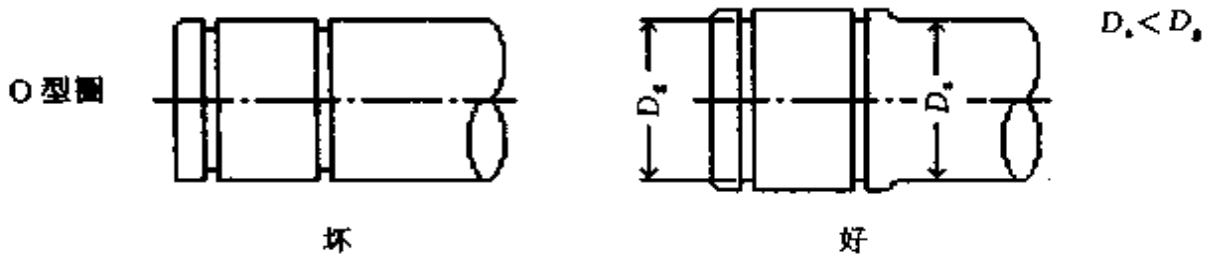


图 18-23 O型圈沟槽对疲劳寿命的影响

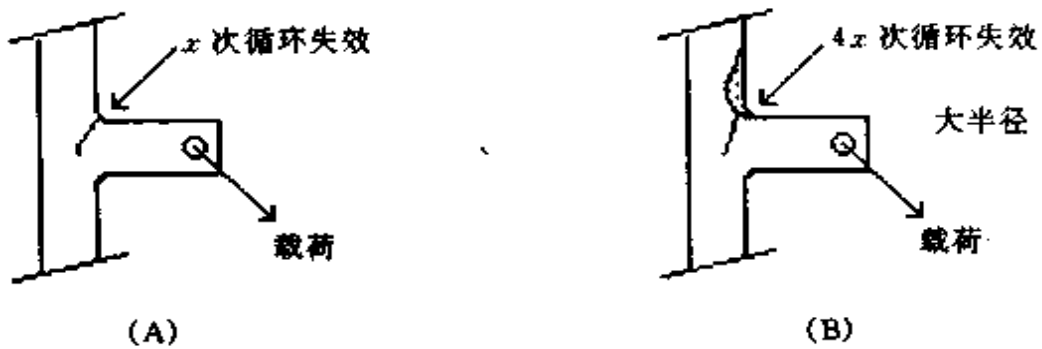


图 18-24 载荷从 0 变至 100%

(A) 零件原始形状; (B) 去除拐角材料产生大半径

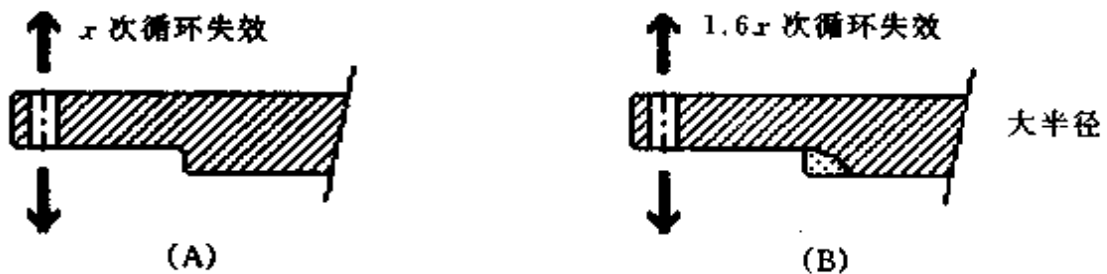


图 18-25 载荷从 -100% 变至 +100%

(A) 零件的原始形状; (B) 产生大半径提高疲劳极限

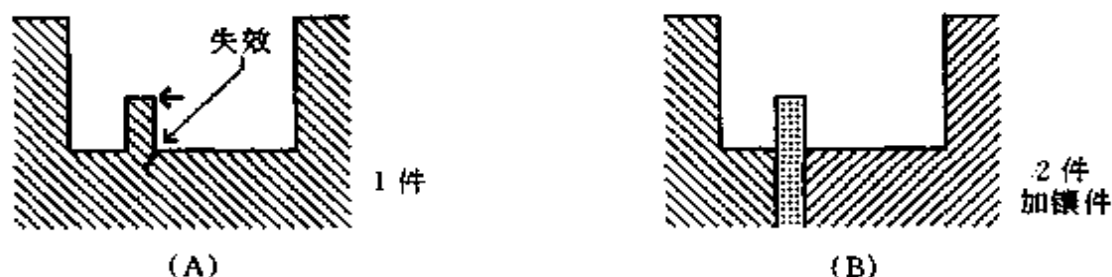


图 18-26 模腔块中的凸销

(A) 半径太小，失效；(B) 凸销镶件，不失效

的，在连接处，不能有足够大的半径，那么模块应被分开成两件和用镶件（图 18-26），另外一种方法是将模块制成一件而为镶件加工一镶槽（如用 EDM 方法）。采用一些小的圆销或在小圆销顶部加工窄片，就能采用钻孔和带圆镶件的一块模块。注意（因为镶销）在一块模块上孔眼也充当了应力集中源，如果销钉的孔眼小状况则恶劣，使孔眼比销钉大是有利的。

18.10 微动磨损

微动磨损是两个相互对压的零件发生微小运动引起的表面损坏形式。例如将零件用螺丝拧在一起或将两个收缩在一起，其中一个受到应力，使表面发生微小运动足以引起零件间的摩擦，结果在表面产生不可见的裂纹，相互之间发生少量的材料转移。

裂纹是严重的应力集中源，如果应力水平太高，就会使得零件失效。解决问题的方法仅是增加关键截面，以减小应力水平。使用键和销是不利的，因为这些都产生应力集中源。使用不同的合金也很重要，由于它具有不同的晶粒组织和硬度，可以减小微动磨损的影响。

18.11 焊接与疲劳

一般，模具中不用焊接，除了偶尔用于修复，没有关于模具焊接的疲劳数据。

焊接仅是维持（模具）生产的权宜之计，直到进行正常修理。所谓“正常修理”通常指的是制造一个新零件或重新设计一个镶件，而不

是完整零件发生断裂时的修复。

18.12 其他影响疲劳寿命的因素

18.12.1 晶粒组织

图 18-27 显示了晶粒组织的方向对疲劳强度的影响。试棒是低合金钢，UTS 为 827.37MPa。

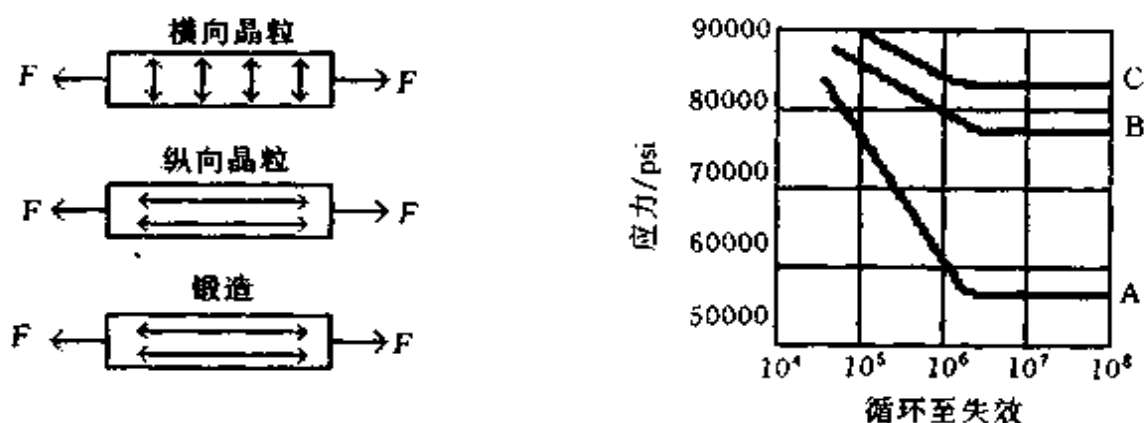


图 18-27 晶粒组织对疲劳强度的影响 (1psi = 6.894757 × 10³Pa)

18.12.2 雕刻位置

每个雕刻都“破坏”了零件的表面，降低了疲劳强度，正如缺口一样。因此，雕刻的位置必须是在具有最小应力区域。

如果位置不能改动，至少雕刻的精整不会引起应力集中源。深度浅、圆的内部拐角，和抛光好，使之产生较低的应力集中源。当使用凸起的印记（在产品上凹下去），在雕刻遇到的拐角地方，零件表面必须被很好打圆和抛光。模具上典型的、敏感的雕刻部位是在浇口垫上。

18.12.3 颗粒喷射

颗粒喷射是一种用于提高金属疲劳强度的技术，特别是对钢，基本上类似于喷砂或喷丸处理，微小硬的钢球以高速度吹打到零件表面上，结果是表面形成压力层，减小了在疲劳载荷作用下表面开裂的危险。

18.13 疲劳举例

下面的例子指出了影响模具零件使用寿命的一些关键部位。设计

者可能说“我以前已做过，而且没有任何破损”，这可能是真实的，但情况可能是这样：

- ①在模具离开车间后，没有获得有关信息；
- ②模具使用时间还不够长，出不了问题；
- ③压力和载荷不够高，因而，模具适应生产过程。

最后的评论需要作些解释：

当在注塑机上采用高的注射压力，熔化的塑料经过注嘴、流道系统和浇口时，压力降低达到约 68.947MPa，由于塑料从浇口流出后被推进模腔与模芯的狭窄空间，压力还要降得更多。模腔在充填期间的压力（使钢产生应力），比充满后低得多。

设计者现在就要考虑两种可能性。

①注入量恰好（缺料） 由于注入体积等于模腔空间容积，注入结束时就只有最小的压力。因此，模腔只存在小的压力，而一点也没有充满的压力。

②“保压”模塑 压力在模腔充满后才建立，保持压力继续填充以补偿收缩。

对于薄壁制品，当塑料接触到冷的模腔和模芯壁时，就会凝结并阻止塑料的通过，这样会带来小的充满的压力。起始用高的压力可以迅速填满模具（这就是高填充速度的重要性）。一旦塑料在浇口被凝结，保持压力是无用的。

对于厚壁产品或冷却不良或加热的模具，对塑料的通过将有些限制，但在冷凝层之间将有足够的“热芯”（粘性的）塑料，使注射压力传向模壁，充满的压力仅比浇口后的模腔压力低些。

这里注意何时考虑模腔疲劳强度的条件。事实是这样的，高压仅能维持一会儿，保持压力低于注入压力，这不重要。疲劳失效仅和模腔固定承受的最高压力和循环的次数有关，而与这些力持续的时间无关。

在设计时，难于计算和预测上述什么条件适用于模具。设计者必须借助于过去经验和常识，计算机模拟能得到很有用的压力预测情况。缺料情况是经常的事，且不应用于设计模腔时对力的假定。

18.13.1 模腔镶件

每经过一次循环，塑料的注入压力 P 使得模腔产生应力，从零至满载荷（这是应力比 $R=0$ 的典型情况）。主要的问题是不知道 P 确切值是多少，此时，必须根据过去经验进行假定。

图 18-28 中的 K 代表一个因子。真实的关系可能很难建立，但事实上 P 越大， F 将越大（试图涨开模腔镶件的力），在 A 处 F 产生应力 S ， F 越大， S 越大； A 越小， S 则越大。

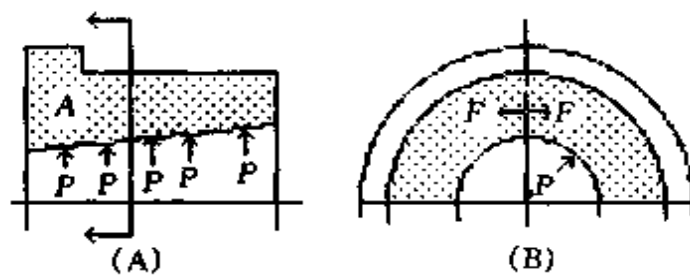


图 18-28 模腔镶件的侧面 (A) 和顶部 (B) 横截面的压力，分离力和应力的关系

注： $F=KP$ ； $S=F/A$ ；其中 P 为注射压力， A 为纵向截面， F 为由 P 引起的分离力； S 为面积 A 上的应力

图 18-29 中三个例子比较了类似容器的模腔壁的疲劳强度，图 (A) 是最强的，图 (B) 是次强。图 (C) 中的面积 A 损失不太多，因为整个沟槽的截面 C ($\sum C$) 一般比 A 小得多，只要沟槽上没有产生应力集中源的划痕， S 仅比图 (A) 的大些，然而图 (C) 上由于缺口（为了挡板或镶件）效应，模壁严重削弱（见图 18-30）。

图 18-30 表示的是冷却通道中普通挡板的安排（夸大）。任何切入模腔镶件侧的槽（或任何高应力区）都产生严重的缺口效应，自然会减少疲劳寿命。半径 R 会有益的，但面积 A 也要减少一点（这个例子中），这增加了应力 S 。额外的应力可能是由于锤入挡板或镶件引起的。

图 18-31 是个比较好的设计，挡板勿需进入通道壁内，能在镶件圆周相对浅的圆槽上固定。不需要挡板形成完全不漏水的密封。对于冷却液的流动，挡板附近的小渗漏无关紧要。

图 18-32 表示了一种常有的结构，模腔缺口要装一个镶件。缺口减

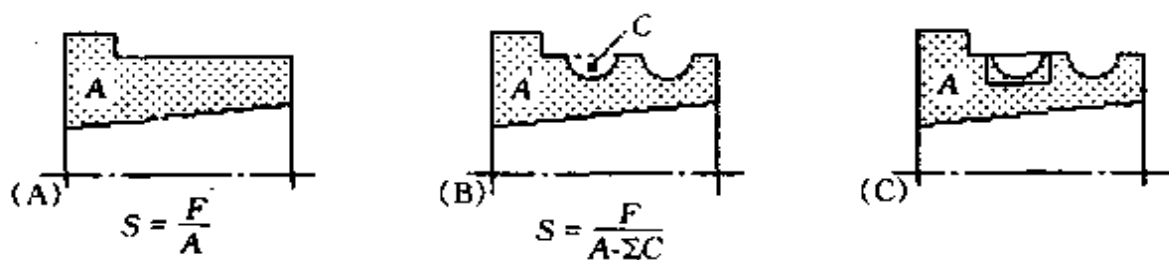


图 18-29 三种模腔壁的截面和对疲劳强度的影响

(A) 最强; (B) 强; (C) 弱

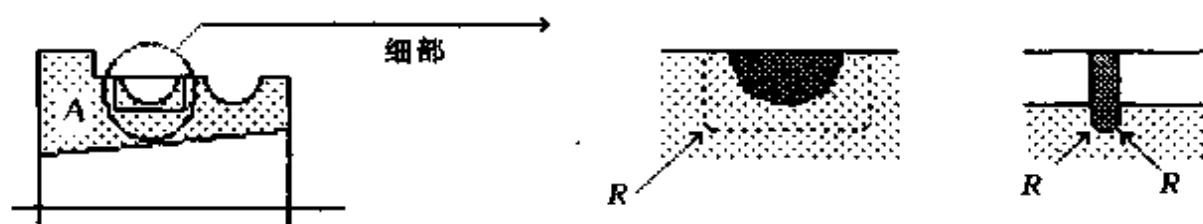


图 18-30 冷却管道安有挡板的模腔壁截面

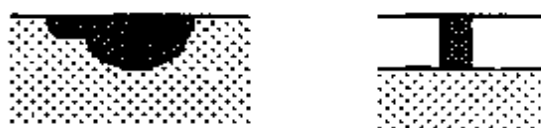


图 18-31 镶件周围浅的圆槽口给挡板留有足够地方

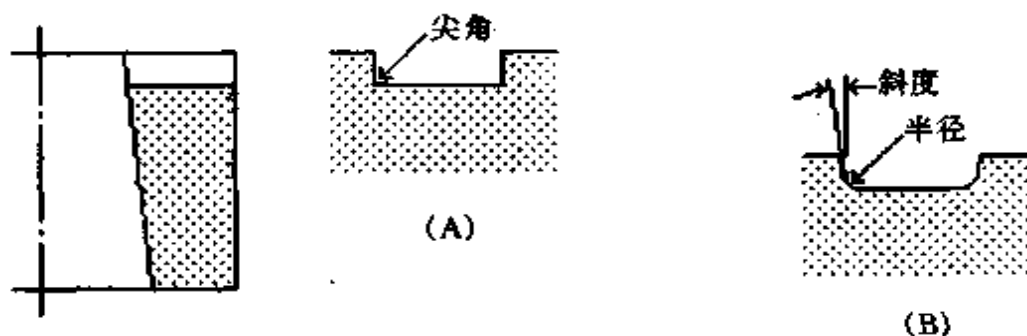


图 18-32 装镶件的缺口模腔壁

(A) 尖角, 大应力集中源; (B) 加大半径, 减小应力

小了面积 A , 并且也在尖锐的拐角处引起了大的应力集中源。尖角可

能对模具制造容易些图 18-32 (A)，但如果要求模具寿命长则必须避免。图 18-32 (B) 表示了半径尽可能大和侧面具有斜角的更好方法。任何镶件装配必须方便，不需要额外的力打入。

18.13.2 模腔钻孔

模腔上的孔是不可避免的，但是，设计人员必须意识到，这些孔洞起到应力集中源作用。孔越小，局部应力越高，并且孔壁的精整越差，应力也越高。这些应力集中源产生的影响，超过模腔壁截面 A 由于孔的面积损失的影响（图 18-33）。

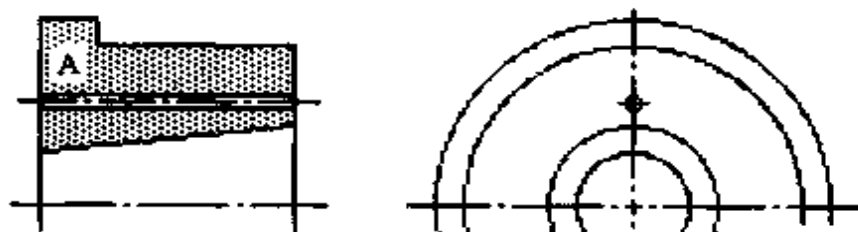


图 18-33 模腔壁上在 A 处钻孔位置

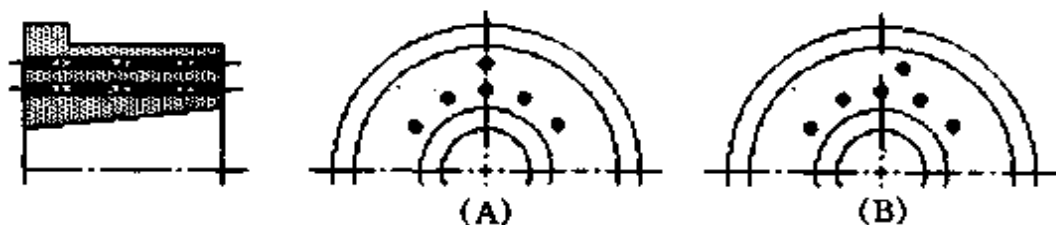


图 18-34 模腔壁上钻的两个直线孔

(A) 坏；(B) 较好，但不希望

可能最坏的情况是，两个甚至更多的孔成直线，不仅减少面积 A ，也将应力集中源放在了高应力区。图 18-34 中图 (A) 情况是坏的，应该避免；图 (B) 情况比较好，但不理想。

另外的情况是，在钻孔底部精整不良的影响，如图 18-35 所示。如果在钢块内部不可避免存在尖角或刀具痕迹，至少在加工后，它们应被修光。

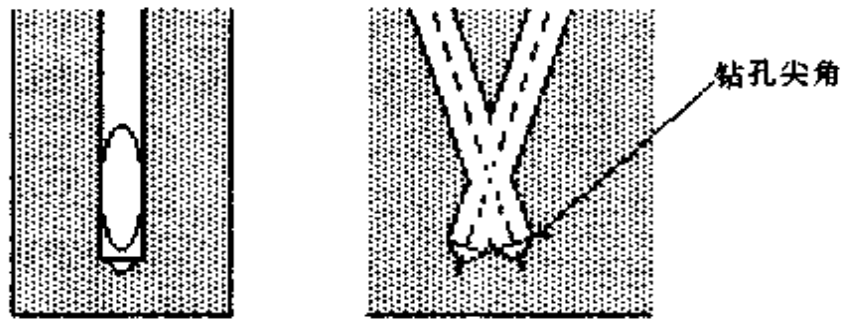


图 18-35 尖角或刀具痕迹应被修光

参 考 文 献

1. Smith. C. (1984), Engineer to win, Motorbooks International, Osceola WI.

第十九章 模具螺丝

19.1 螺纹紧固件

工业上,是不加区别地使用“螺丝”和“螺栓”术语的。螺丝和螺栓都是用来将两个或更多部件装配在一起(夹紧),一般习惯称螺丝为紧固件,它直接旋进另一个部件,而螺栓需要一只螺帽,才能完成装配(图19-1)。

模具一般仅使用螺丝,下面的讨论是适于螺丝和螺栓的,但仅使用术语“螺丝”。如果螺丝旋进软材料(例如铝),不能充分扭转,则使用(钢)螺帽,要比在软材料上开螺纹好得多。

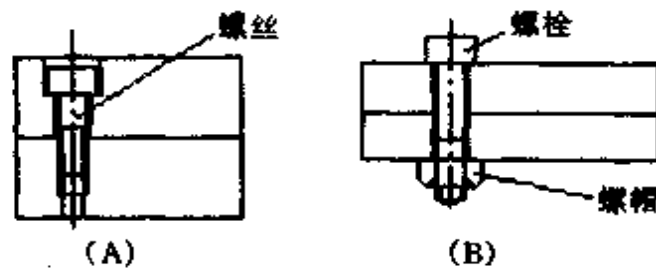


图 19-1 螺纹紧固件

(A) 螺丝连接; (B) 螺栓连接

19.2 螺丝如何工作

下面这段对于理解螺丝如何工作不是一个很科学的方法,但有助于设计者选择螺丝的质量、尺寸和数量。

基本上每个“带帽”或“六角头”的螺丝都由一个头部和一个螺纹杆组成。当螺丝被旋进一个零件(或一螺帽)上连接(内)螺纹,一开始除了摩擦,没有其他什么阻力,直到啮合面相触,头部趋于静止在零件上,进一步旋转(扭转)螺丝,由于螺纹的楔形作用,就会使螺丝开始伸长。在

平面上凸起的螺纹,可以简单地解释为起着楔的作用(图 19-2)。当螺丝被扭转,楔的作用是拉伸螺杆(图 19-3)。

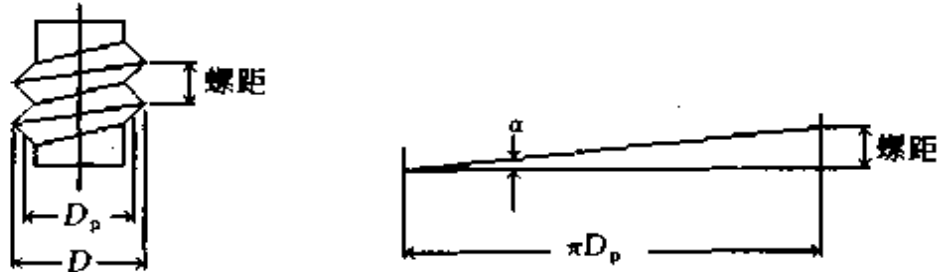


图 19-2 螺丝直径和螺距直径计算

注: $\text{tga} = \text{螺距} / (\pi D_p)$, 其中 D_p 为中径, α 为导角; 图中 D 为螺丝直径

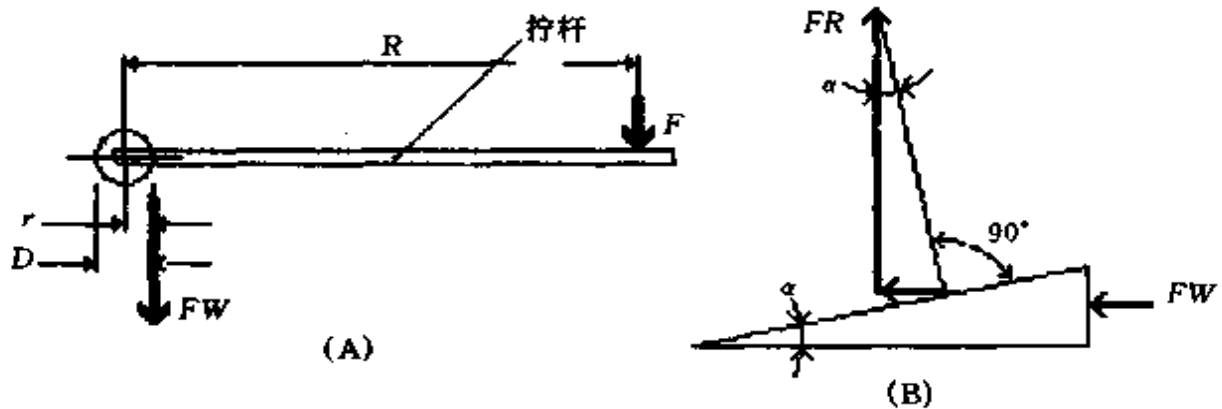


图 19-3 旋转施加于螺丝上的扭矩和切向力(A)、楔角和楔的运动(B)

注: F 为拧紧螺丝的力; D 为螺丝直径; FW 为楔运动方向力;

FR 为与楔运动方向成直角的力; α 为楔角

使用图 19-3 的例子和变量,可得出扭矩 FW 和 FR 的方程式:

$$\text{扭矩} = FR = FW \cdot r \quad (19-1)$$

FW 是切向力 (在半径 r 上), 通过扭转施加在螺丝上, 用来上紧螺丝。因此, 螺丝直径越小, 需要上紧螺丝的扭转力越小。

由于 $r = D/2$, 代入 (19-1) 式, 得到 FW :

$$FW = 2(F \cdot R) / D \quad (19-2)$$

楔角越小, 作用在螺丝上的轴向力 FR 越大, 换言之, 对于小的螺纹 (同样直径), 施加在接头处的力更大。

从楔角和楔运动之间的关系 (图 19-3 所示), 可得出 FR :

$$FR = \frac{FW}{\text{tga}} = \frac{2(FR)}{D \text{tga}} \quad (19-3)$$

用来紧固的所有螺丝都有一个导角即楔角，比钢与钢之间的摩擦角还小，即使润滑，螺丝也本能地自锁（即在正常情况下，上紧后不会松开）。然而，在有些条件下，需要上紧后对螺丝加一些安全措施，使螺丝安全，这将在后面讨论。

19.3 螺纹加工方法不同的螺丝类型

19.3.1 轧制螺纹

轧制螺纹采用轧辊力量，迫使（挤）钢材形成所需螺纹形状（图 19-4）。这样生产的螺纹强度比较高，同时钢中具有很好的晶粒取向。螺纹无刀具痕迹，不会造成缺口效应和过早失效。轧制前，要形成螺纹的那段螺丝杆的直径，与螺丝中径近似相同。

所有“性能级 12.9”的螺丝（美国标准），最大到直径 20mm 和长度 150mm 都有轧制螺纹，超过这个范围也可以轧制、切削或磨削加工，可供模具制造者选择。

19.3.2 切削螺纹

切削螺纹是在坯料上机加工制成的，在螺纹根部和凸出部位，总是留有工具痕迹（划痕）。这可能成为螺丝逐渐失效的危险根源。螺丝光杆直径与螺丝的螺纹外部直径（OD）基本相同（图 19-4）。

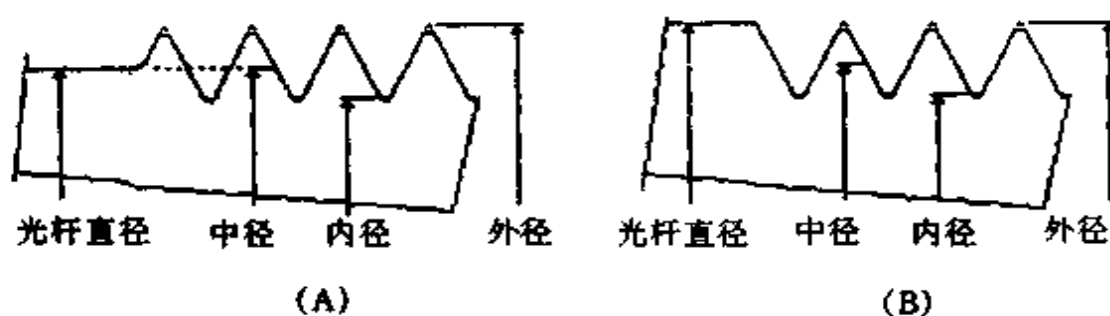


图 19-4 轧制螺纹 (A) 和切削螺纹 (B) 直径示意图

19.4 螺纹螺距类型：细牙和粗牙

在英制中，螺距是指每英寸螺纹的数量（TPI）。例如：一个螺丝螺纹规格 $1/2-13$ ，意思是外径为 $1/2$ in，螺距为 $(1/13)$ in，即 0.077in。

在公制中，螺距用毫米。例如螺丝规格 M12-1.75，意思是外径为 12mm，螺距为 1.75mm。对于（标准）粗牙螺丝，螺距不必标出（M12 就行了）。

对于公称直径相同的螺丝，细牙螺纹螺丝的根部直径比粗牙螺纹的大，因此，强度稍微高些（图 19-5）。另外，因为细牙螺纹导角小，扭转产生的力要比粗牙螺纹的大。粗牙螺纹生产便宜，且更耐腐蚀，不易损坏。

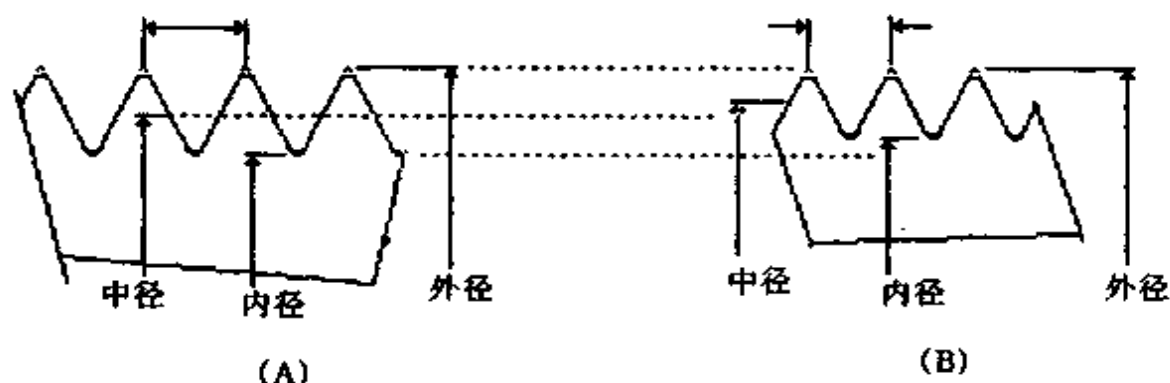


图 19-5 粗牙螺纹 (A) 和细牙螺纹 (B) 的直径关系

作为惯例，设计人员应尽量使用标准的、易于得到的螺丝，不主张使用特制螺丝。在模具中一般仅用粗牙螺纹螺丝。

19.5 螺丝的紧固作用和预载

图 19-6 的图解和下面的公式有助于设计人员搞清楚螺丝紧固的原理。由下式可得到螺丝伸长量 f ：

$$f = \frac{\sum FL}{nXE} \quad (19-4)$$

n 是螺丝的数量， E 是弹性模量（其他变量由图 19-6 定义）。螺丝上应力 S 可用下式计算：

$$S = \frac{\sum F}{nX} \quad (19-5)$$

且 S 必须小于许用应力 S_p 。（即 $S < S_p$ ）

讨论上述图解和公式，得出以下论点：

① $\sum F$ 可以是外力（拉力），也可以是模板间产生的内压力（如塑

料)。

②假设螺丝是用手紧的，头部虽接触到模板，但还没有被施加扭矩。当外力 ΣF 作用时，螺丝就被拉，因此伸长，如按照论点①，模板就会抬离基体。

③为防止模板抬起来，在施加载荷 ΣF 之前，螺丝要上紧。使用一个扳手，将螺丝拧到指定值，实际上是使螺丝在有效长度 L 内伸长，伸长量等同于模板的预载。只要预载大于载荷 ΣF ，模板就不会抬离基体。如果 ΣF 达到预载，两个方向上的力平衡；当 ΣF 大于预载，模板就会抬离基体。

④所加预载值必须使得螺丝的应力(S)低于许用应力(S_p)，许用应力通常选用螺丝材料屈服应力的75%左右。对于每种尺寸螺丝，推荐的扭矩值见螺丝数据表(也可参阅第19.10节)。

⑤伸长量(f)仅与弹性模量(E)和总力 ΣF 有关。硬度或抗拉强度不影响伸长量(软螺丝与硬螺丝伸长量相同)。然而，硬螺丝的屈服强度要比软的高，所以硬螺丝的预载量可以更高。

⑥螺丝的危险面(X)是第一个螺纹根部的截面，正如图19-6所示。整个螺丝的力都要经过这里，当螺丝过载时，这个截面将发生断裂。

⑦如果螺丝一点都没上紧，也就无力将零部件夹紧在一起，在只须两个零件保持在一起而不要夹紧的特殊应用中，才这样使用。这种情况下，必须设法保证螺丝不会松开，因为有了确保螺丝自锁的力。

⑧设计人员必须正确估计 ΣF 大小，使螺丝安全。为此，经常使用比实际需要还多的螺丝，这就增加了模具的成本。

⑨如果螺丝多于1个($n > 1$)，必须保证每个螺丝扭矩相等均匀分担载荷。如果不是这样，一些螺丝可能承受比应分担的还高的载荷，超过屈服点而伸长。并永久伸长，而完全失去其固紧力，这样，别的螺丝反而必须承担更多，也会失效。

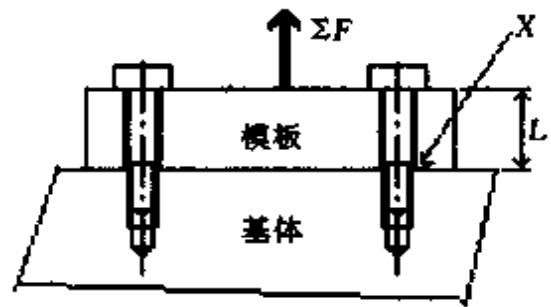


图19-6 螺丝将模板固定于基体

注： ΣF 为提升模板离开基体的合力； X 为危险截面(根部)； L 为螺丝有效长度

这也要求螺丝尽可能对称分布承受载荷,避免不均匀受载。作用在模板上的力一般是均匀分布的。在最大挠曲点增加螺丝,可大大减小模板的挠度(如图 19-7)。注意,模板的厚度对螺丝数量的选择也有很大的影响。

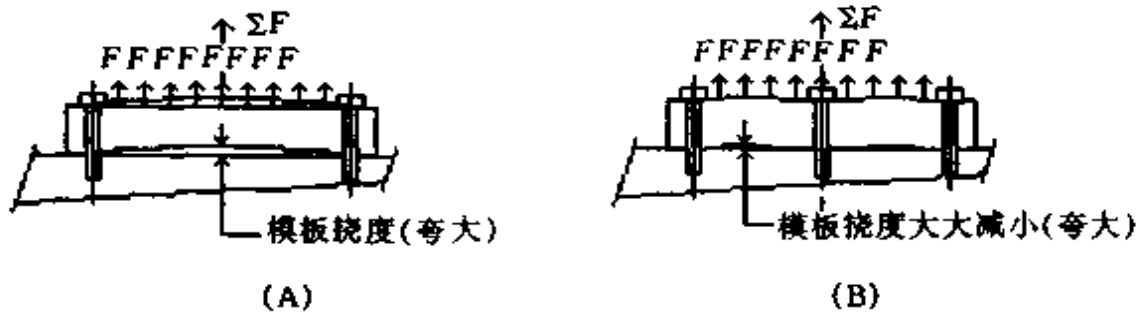


图 19-7 螺丝位置对模板挠度的影响

(A) 螺丝数量不足,挠度较大;(B) 在最大挠曲点增设螺丝,挠度大大减小

模板挠度与其厚度 t 的三次方成反比,与支承或螺丝间距 M 成正比(图 19-8)。

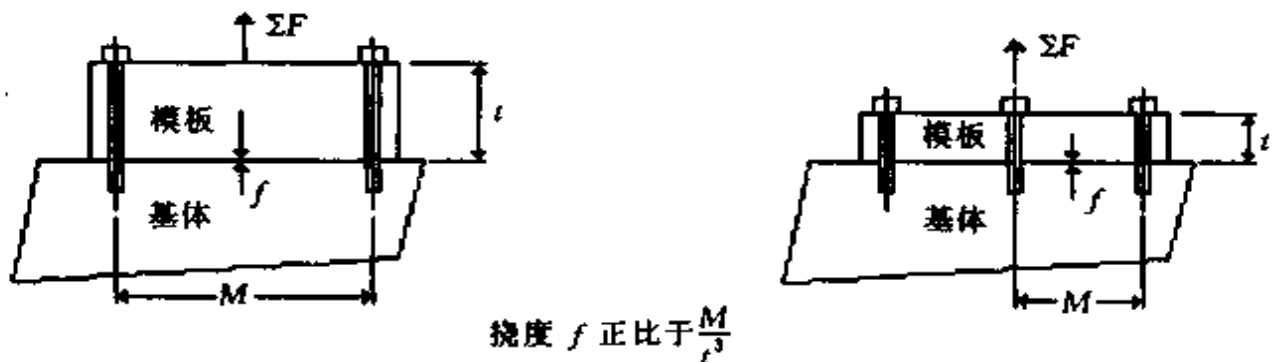


图 19-8 模板厚度对挠度的影响

使用图 19-8 所示的关系,对于厚模板,假定 $M=8, t=4$,则 $f \propto \bullet$

$$\frac{8}{4^3} = \frac{1}{8}。$$

同样,对于薄模板,假定 $M=4, t=2$,则 $f \propto \bullet \frac{1}{2}$ 。这表明薄板的挠度是厚板的4倍,需使用更多的螺丝。从此也可发现,对于薄板

- \propto —— 表示正比于。
- \propto —— 表示正比于。

要承受同样的力 ΣF ，应比厚板需要更多的螺丝。

⑩注意：螺丝联接的成本不仅仅是螺丝的成本（通常也不高），还有其他成本，如在一块模板上钻孔和攻丝，另一个块上钻孔（和扩孔），可能还要给用同一螺丝紧固在一起的其他模板钻孔。此外，不用螺丝的位置，可方便其他模具零件或水管等的布置，这也将是很可观的节约。

大螺丝不比小的占更多空间。例如宁可选择 12mm 的而不要 10mm 的，这样螺丝数量从 6 减至 4，12 减至 8，18 减至 12，这将是很大的节省。

此外，使用大的钻头和丝攻，操作起来比小的效率高，且不易折断（尤其是螺纹尺寸在 8mm 以下的）。

19.6 温度对螺丝的影响

用 A 和 B 两个模型，举例说明温度对螺丝的影响。在模型 A 中，热“物块”夹在冷模板和基体之间，螺丝处于和模板同样的温度（图 19-9）。

通过螺丝预载，得到紧固连接，螺丝就要伸长，螺丝内产生的应力 S （19-5 式），必须比许用应力 S_p 要小。如果物块被加热，它就要朝各个方向膨胀。设计者要考虑到 L_H 方向上的膨胀，会给（冷）螺丝施加额外的力。给一个螺丝预先加载，确保紧固连接，将产生应力：

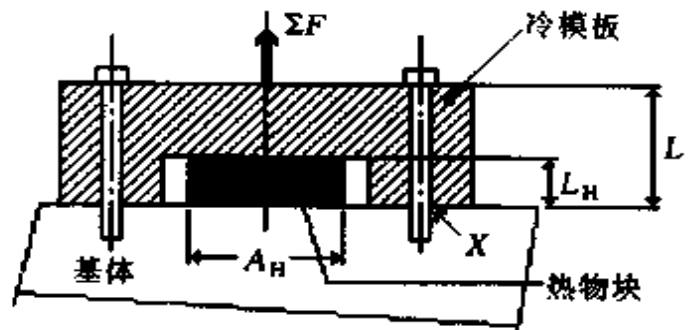


图 19-9 模型 A：热物块夹在冷模板与基体间，螺丝与模板温度一样
注：X 为螺丝危险截面（在螺纹根部直径处）； A_H 为热物块截面

$$S = \frac{\Sigma F}{X} < S_p \quad (19-6)$$

当物块加热时，温度升高到 T_1 时物块膨胀产生附加力 F_b ，但周围的模板和螺丝仍保持原来温度 T_0 。力 F_b 与 f_b （物体的膨胀值）成正

比, f_h 还依次与物体的热膨胀系数 K 、高度 L_H 和温度 ΔT ($\Delta T = T_1 - T_0$) 呈正比例关系:

$$f_h = KL_H \Delta T \quad (19-7)$$

f_h 加上由预载引起的 f , 造成的应力可能会超过许用应力 S_p 。从公式 (19-4) 和 (19-5) 能得出:

$$S = \frac{fE}{L} \quad (19-8)$$

f 是由扭转引起的伸长量, 当将 f_h (由热引起) 加上 f , 总的伸长量

$$f_t = f + f_h \quad (19-9)$$

且总应力为:

$$S = \frac{(f + f_h)E}{L} < S_p \quad (19-10)$$

从式 (19-4) 可知, f 与 nX 成反比。热膨胀 f_h 与螺丝的尺寸和数量无关。因而, $f + f_h$ 总和, 只是部分地取决于螺丝的尺寸和数量。

只要 nX 比 A_H 小得多, 增加螺丝的直径或者数量都对螺丝上的应力无太大影响。如 A_H 变得更小, ΣF 就不仅使螺丝伸长, 而且也是对物块增加更大的压应力; 当 A_H 比 nX 小许多时, 该压力会压碎物块。

要使螺丝 (或物体) 应力不超出许用应力范围 (屈服), 设计人员有三个选择:

① 优选的方法是减小 (冷) 高度 L_H , 换句话说, 是在模板与热物块间留出冷间隙, 这个间隙 (冷缝) 在物块加热到某一温度时就将消失。由于 f_h 的尺寸一般非常小, 检查公差很重要, 保证在最大公差下, 不会过载; 在最小公差下, 物块不会在模板间松动。

② 另外方法是减小原始预载, 使得即使加上热膨胀引起的应力, 也不超过许用应力。如果选择这样的方法, 这些螺丝上的扭距 (特别低) 必须清楚地标注在装配图上。

注意: 扭距数值正常情况下是不标注在图上的, 除非:

- a. 它们偏离螺丝的标准扭矩；
- b. 用户有要求时；
- c. 有理由认为是关键的。

③第三种方法是增加螺丝的长度 L 。因为缺乏可利用空间，这并不总是可行的。

在模型 B 上，条件与模型 A 的都相同，但整个系统工作温度升高。在这种情况下，设计人员必须考虑：

- ①较高的温度对螺丝的屈服强度的影响。
- ②以不同速度升温的影响。

高质量的“12.9 级螺丝”在最低温度 180°C (345°F) 下回火，只要在低于这个温度下操作，其屈服强度根本不受影响。高于这个温度，屈服强度迅速降低。因此，不是按比例减小这些螺丝上的额定载荷，就是采用特殊的耐高温螺丝。

使用特殊螺丝，如为了耐高温，只能是在一些特殊的场合，并且要求它们在物理本质和外观与模具中的常规螺丝不同。因为用户在维修模具时存在混用螺丝的可能性，所以要在装配图上特别标明。

以不同速度升温的影响，可以以图 19-10 为例清楚地看出。螺丝被周围的热物体加热，可是热流受到限制仅能通过小区域 a 和 b 传递，仅有少量热（辐射）穿过螺丝周围，长为 L 的缝隙传递。虽然物体升温 and 膨胀迅速，螺丝温度却上升得较慢。

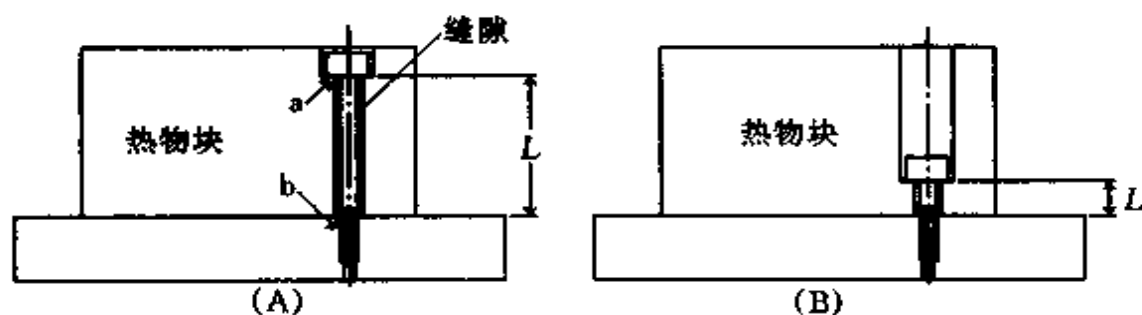


图 19-10 物块热膨胀对长短螺丝的影响：长螺丝因伸长而失效 (A) 短螺丝随热物块迅速升温 (B)

如果螺丝按规定扭矩上紧，由物体膨胀引起的附加伸长，能够造

成螺丝的应力超过许用极限，使螺丝失效。在这种情况下，使螺丝的预载低于推荐值是无用的，因为一旦螺丝达到物体的温度，也就不会有足够的预载，而使热物体安全地保持在基体上。

仅在这种情况下，建议削短螺丝，可以减少（不接触）长度 L ，这样螺丝就能迅速随着物体升温。如果加热时间很短，这一点就显得尤为重要，正好像在热流道系统中的情况。

如果整个系统加热缓慢，就可视为同一个冷系统。只是对温度达到或超出标准螺丝的退火温度，须采用高温螺丝的情况则例外。

19.7 循环载荷对螺丝的影响

因预载，螺丝将伸长 f ，但模板将被压缩 f_p 。然而，模板（或被夹持的物体）的截面 A_p 要比螺丝（ A ）的大得多，即有 $f \gg f_p$ ，因此螺丝的压缩作用可以不计。

在模具闭合期间，模板承受大的夹紧力 F_c 。压缩模板产生压缩量 f_c 。如这个压缩量（ f_c ）等于或大于预载的伸长量 f ，螺丝就会暂时不受载，螺丝顶部甚至会与被夹持的物体失去接触。这就意味着，在模具闭合期间，螺丝可能就“不受载”，且螺纹不“自锁”。因此螺丝会自由松动，完全失去预载，这可能会逐渐发生。另外，螺丝固定不紧，更可能因为承受循环载荷，而很快地失效。

要防止完全不受载或随后的松开，设计人员必须保证扭紧时螺丝伸长量（ f ）大于预计的压缩量（ f_c ），即 $f > f_c$ 。突然加载的情况（例如冲击）也很重要，如果冲击不可避免，冲击力会造成螺丝卸载，必须用一些可靠的办法，防止螺丝松动，保证安全。短螺丝比长螺丝更容易松动，因为它不能足够伸长。大的振动与频繁冲击具有同样作用，都可能引起螺丝松动，在螺丝短而不可能充分伸长的情况下，尤为如此。

模具中，模板尺寸和截面面积 A_p 一般是与合模力成比例的，模板的压缩量可不计，但是，当全部合模力作用在较小单元上，如模腔组件上，压缩量 f_p 就可能很重要。注意模板压缩量 f_p 是必须计算的，包括考虑去除芯部的面积和台阶，以得出一个合理的值。

19.8 螺丝的润滑

润滑的螺丝也是自锁的。润滑状态下的钢与钢的摩擦系数，要比螺丝紧固件的导角正切值大。

装配前，螺丝螺纹应加油，当使用在温度高的场合，还应进行特殊润滑处理，如加上抗咬合的含有铝、铜或其他粉末金属的化合物，以在螺纹之间产生保护层。因为，螺丝安装的阻力应最小，使得在螺丝头部停住前可用手进行安装。这可清楚地表明何时开始施加扭矩而使螺丝伸长（扭矩不应仅用来克服摩擦）；另外润滑有助于避免螺纹咬合，尤其是在长时间使用后。

模具装配人员通常都知道螺丝润滑的必要性，但也应在装配图上标明什么地方需要加抗咬合化合物。

19.9 钢制螺丝标准

19.9.1 螺丝用钢的性能

许多类型和质量螺丝都有标准，设计人员主要关心的是用于模具的螺丝。如今，大多数模具仅使用公制螺丝，符合 ISO 质量标准的或更好的螺丝。螺丝由中碳钢制成，经淬火加回火处理。

SI 标准硬度是 39~44Rc，美国大螺丝标准硬度是 36~38Rc，小的是 38~40Rc。钢的（性能）级别用打在螺丝头部的号码表示。以性能级别 12.9 的内六角螺丝（SHCS）为例，数字表示如下：

第一个数字（12）等于 1/100 的抗拉强度，单位 N/mm^2 （12 表示抗拉强度的最小值为 $1200 N/mm^2$ ，或 $\approx 120kg/mm^2$ ，170000psi）。

第二个数字（9）表示 10 倍强度比（抗拉强度与屈服强度比），对于 12.9 级，即是指屈服强度为抗拉强度的 90%，或 $1172.11MPa \times 0.9 = 1054.90MPa$ 。如果螺丝由低碳马氏体钢制成，螺丝头部的符号要有下划线（如 12.9 级）。

在潮湿的地方，可使用不锈钢螺丝，但其屈服强度比较低。如果这些地方要求螺丝强度高，就要使用 O 型圈来保持干燥。SHCS 螺丝理想的精整处理是发黑，且头部最好滚花。

19.9.2 12.9 级螺丝的螺纹公差

ISO 螺纹的标准公差是：

①外螺纹 大直径，g6，中径，g5；

②内螺纹 小直径和中径，H6。

19.9.3 螺纹接合长度

螺丝连接的强度是由螺纹同其配合部件或螺帽的接合长度决定。螺纹本身，特别是底部（根部直径）承受弯曲和剪切（出于实用，弯曲作用可忽略）。抗剪面积（ A_s ）是一个圆柱面，直径为 D_r （根部）长度为 L_r （有效的螺纹长度）。

$$A_s = \pi D_r L_r \quad (19-11)$$

螺丝连接的最大强度是：

$$S_{\max} = S_s A_s \quad (19-12)$$

S_s （剪切强度）约等于 50% 的 S_y ，螺丝（或是内螺纹的）材料的屈服强度 S_y ，都是比较低的。假定 $L_r = D_r$ ，

$$S_{\max} = 0.5 S_y D_r^2 \pi \text{ 或}$$

$$S_{\max}(\text{剪切}) = \frac{\pi}{2} S_y D_r^2 \quad (19-13)$$

对于同样的螺丝，最大许用抗拉强度等于：

$$S_{\max}(\text{拉伸}) = \frac{\pi}{4} S_y D_r^2 \quad (19-14)$$

这些公式表明了 $L_r = D_r$ 时，螺丝的剪切强度是抗拉强度的 2 倍。鉴于此，标准的螺纹长度（螺帽厚度 T ）仅取为 $0.8D$ ，这具有充分保留余地，即使螺帽材料比螺丝材料的屈服强度低。

考虑安全起见，模具零件（硬度至少有 30Rc）上的螺丝接合长度至少应同螺丝直径（ D ）相同，但不超过 $1.5D$ 。

对于螺丝和内螺纹，第一个螺纹（螺距）的长度是没有用的，因为两零件都有便于装配的倒角。过多的接合花费高，因为增加了不必要的加工时间和较高的螺丝费用。

实际中，为适应标准螺丝长度，设计人员选择 1~1.5 倍螺丝直径

的接合长度，作为有效长度。例外：如果内螺纹用较软的材料（铝、铜合金、铸铁等）切削加工成，其屈服强度实质上低于螺丝，接合必须是成比例地加大，以避免螺丝拧到极限时螺纹的变形或剥落。这时接合长度需要两倍螺丝直径，甚至更多。

应当指出，大多数螺丝接头都会锈蚀，特别是很长时间不打开，结果螺丝就很难松开。在这种情况下接合长度过长会使情况更加严重，要打开可能会造成螺丝折断，要清除螺丝的断件就费劲了。

19.9.4 关于螺丝和螺丝连接的附加建议

19.9.4.1 改动螺丝尺寸

要尽可能地使用标准尺寸螺丝。这样有时会增加费用，因此就有一些不正确的习惯做法，改动标准螺丝尺寸来适应具体情况。

下面这些“不”，描述了三种典型的应当避免的常用的改动，除绝对必要，不能这么做。

①不要削减标准螺丝长度。通常，改变头部沉孔的深度，可以获得合适的标准长度。

②不要切削加工螺丝，来增加螺丝螺纹段的长度。因为切削的螺纹要比轧制的螺纹差。螺丝的螺纹段一般至少为直径的 2.5 倍。如有必要，用一个大螺丝或重新设计这个部位。

③不要减小螺丝头部的尺寸（直径和高度）。这能使螺丝接头强度严重削弱；可以通过减小螺丝尺寸和增加螺丝数量来重新设计这个部位，来满足比标准螺丝头小的要求。

19.9.4.2 沉孔深度

沉孔（C/B）深度应比螺丝头部高度还略多 1mm，这样螺丝不至于伸出模具零件的表面，可以加工得更深些，以适应标准螺丝尺寸。

19.9.4.3 扳手空间

模具装配中多数螺丝可自由地旋紧。然而，如螺丝必须在别的零件定位后上紧或有悬垂物覆盖螺丝头部上面的一些地方，设计时必须留有充分的横向和纵向空间，好让“六角形”扳手能放进去，且至少能旋转 90°。注意棘轮六角扳手比较慢的 L 形（六角）扳需要更大的操作空间。

19.9.4.4 其他螺丝头部类型

当螺丝被扭转时，因伸长而获得固紧力。扭矩是通过六角扳手，棘轮扳手或其他旋转螺丝的方法传递到螺丝上的。

标准内六角螺丝 (SHCS) 头部的六角键槽，是按照每种尺寸螺丝旋紧所需的扭矩推荐值设计的。特殊低头部型螺丝，因头部键槽浅，钢材级别低 (10.9 级)，同样尺寸的螺丝不能被旋得太紧。类似的，头部具有圆、平和椭圆形等形状槽的螺丝，通常比同等尺寸的 SHCS 螺丝小一个规格，因此，不能像标准 SHCS 那样旋紧。注意这些螺丝的级别为 10.9、8.8 或更小。这些螺丝可用在载荷小的地方，但需要一些方法来避免松动，特别是在有冲击或振动的地方。

六角螺丝不用于模具。它的强度低于 SHCS 螺丝，需要用更多数量螺丝来补偿这方面的不足。另外，由于长度不够，还必须防止松动，一般用止动垫圈。同时扳手拧起来比 SHCS 螺丝空间要求更大。

19.9.5 带肩螺丝 (脱模板螺栓) 和紧固螺丝

不提倡使用带肩螺丝，除了 (有时) 用在限制运动 (模板等) 的场合。在正常模具作业中带肩螺丝不会接触到模板，这意味着它们仅在模具维修中限制行程 (如在装卸模具期间防止模板滑落)。原因是这些螺丝没有足够的长度 L 可伸展，不能充分地紧固以避免松动，见图 19-11 (A)。实际上有一小段长度 L ，因为螺丝螺纹总是终止在台肩下 2mm。使用 Loctite™ 能很好地防止带肩螺丝松动。如果带肩螺丝需要循环动作，则必须联合使用套筒和长螺丝来得到长的 L 图 19-11 (B)。



图 19-11 (A) 带肩螺丝在模具装卸时将模板保持在基体上，适用于循环动作；(B) 带套筒的长螺丝

使用标准 SHCS 不行时（如：将一个杆固定在模板上）可以采用紧固螺丝。因为没有长度 L 可伸展，图 19-12 (A)，最好将一边（或两边）扩孔，使得螺纹至少有 3~4mm 自由长度（没啮合），这样产生的长度 $L > 0$ ，可伸展，如图 19-12 (B)。这大大地提高了接合的强度。也能在杆子侧面受冲击的时候防止螺丝折断，正如粗箭头所示。对于标准的 SHCS，如果长度 L 显得不足以保证良好的接合，也可使用这个方法减少螺纹啮合长度。

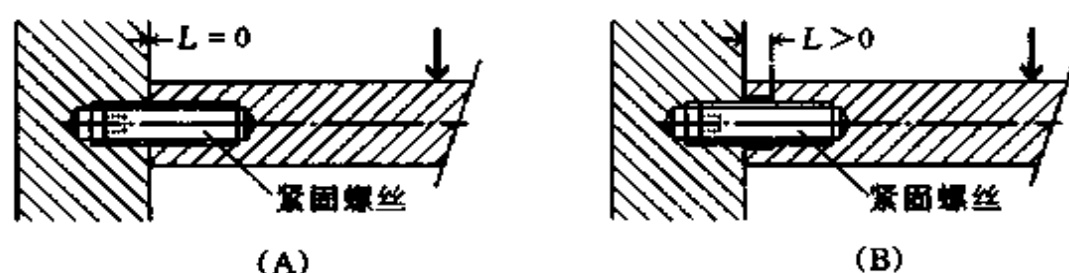


图 19-12 紧固螺丝
(A) $L=0$; (B) 扩孔产生 $L > 0$

19.10 螺丝数据

表 19-1 和表 19-2 表示的是实际螺丝，在低于屈服强度 10% 的试验载荷下进行试验所确定的有关尺寸标准^[1]。

表 19-1 12.9 级公制内六角螺丝 (SHCS 螺纹)
的规格，螺纹尺寸 M3~M10

| 规格 | 螺纹尺寸 | | | | | |
|------------|------|-----|-----|----|------|-----|
| | M3 | M4 | M5 | M6 | M8 | M10 |
| A. 设计尺寸 | | | | | | |
| 螺纹 (标号) | M3 | M4 | M5 | M6 | M8 | M10 |
| 螺距, mm | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 1 | 1.25 | 1.5 |
| 螺纹长度, mm | 18 | 20 | 22 | 24 | 28 | 32 |
| 头部高度, mm | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 |
| 头部直径, mm | 5.5 | 7 | 8.5 | 10 | 13 | 16 |
| 内六角键尺寸, mm | 2.5 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 |

续表

| 规格 | 螺纹尺寸 | | | | | |
|--|--------|-------|--------|-------|--------|--------|
| | M3 | M4 | M5 | M6 | M8 | M10 |
| B. 基本螺纹尺寸、螺孔钻头尺寸 | | | | | | |
| 公称直径, mm | 3 | ~ | 5 | 6 | 8 | 10 |
| 最小中径, mm | 2.675 | 3.545 | 4.480 | 5.350 | 7.188 | 9.026 |
| 最小内径, mm | 2.458 | 3.242 | 4.134 | 4.917 | 6.647 | 8.376 |
| 螺孔钻头尺寸, mm | 2.5 | 3.3 | 4.2 | 5.0 | 6.8 | 8.5 |
| C. 公差, mm; 螺杆外圆和头部外圆-H13, 六角平面-D12 | | | | | | |
| 杆外圆 | -0.018 | | | | -0.027 | |
| 头外圆 | -0.018 | | -0.022 | | | -0.027 |
| 六角平面最小 | +0.02 | | +0.03 | | | +0.04 |
| 六角平面最大 | +0.12 | | +0.15 | | +0.19 | |
| D. 螺丝头部沉孔直径和螺丝过孔尺寸 | | | | | | |
| 螺丝头部, mm | 6 | 8 | 10 | 11 | 15 | 18 |
| 螺丝过孔尺寸, mm | | | | | | |
| 紧配合 | 3.2 | 4.3 | 5.3 | 6.4 | 8.4 | 10.5 |
| 中等配合 | 3.4 | 4.5 | 5.5 | 6.6 | 9 | 11 |
| E. 旋紧扭矩, 最大值推荐 ($\approx 50\% \sim 60\%$ 屈服强度) | | | | | | |
| N-m | 2.1 | 4.6 | 9.5 | 16 | 19 | 77 |
| kg-m | 0.22 | 0.5 | 1 | 1.6 | 4 | 8 |
| ft-lb | 1.6 | 3.4 | 7.1 | 12 | 29 | 57 |
| F. 试验载荷, 不发生永久变形的最大载荷 | | | | | | |
| kN | 4.88 | 8.52 | 13.8 | 19.5 | 35.9 | 56.3 |
| lb | 1097 | 1915 | 3102 | 4384 | 7980 | 12656 |

表 19-2 12.9 级公制内六角螺丝 (SHCS) 的规格,
螺纹尺寸 M12~M42 (粗牙)

| 规格 | 螺丝尺寸 | | | | | |
|----------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | M12 | M16 | M20 | M24 | M30 | M42 |
| A. 设计尺寸 | | | | | | |
| 螺纹 (标号) | M12 | M16 | M20 | M24 | M30 | M42 |
| 螺距, mm | 1.75 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.5 |
| 螺纹长度, mm | 38 | 44 | 52 | 60 | 72 | 96 |
| 头部高度, mm | 12 | 16 | 20 | 24 | 30 | 42 |
| 头部直径, mm | 18 | 24 | 30 | 36 | 45 | 63 |
| 内六角键尺寸, mm | 10 | 14 | 17 | 19 | 22 | 32 |

续表

| 规格 | 螺丝尺寸 | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | M12 | M16 | M20 | M24 | M30 | M42 |
| B. 基本螺纹尺寸, 螺孔钻头尺寸 | | | | | | |
| 公称直径, mm | 12 | 16 | 20 | 24 | 30 | 42 |
| 最小中径, mm | 10.863 | 14.701 | 18.376 | 22.051 | 27.727 | 39.077 |
| 最小内径, mm | 10.106 | 13.835 | 17.294 | 20.752 | 26.211 | 37.129 |
| 螺孔钻头尺寸, mm | 10.2 | 14 | 17.5 | 21 | 26.5 | 37.5 |
| C. 公差, mm: 螺杆外圆和头部外圆-A13, 六角平面-D12 | | | | | | |
| 杆外圆 | -0.027 | | -0.033 | | -0.039 | |
| 头外圆 | -0.027 | -0.033 | | -0.039 | | -0.046 |
| 六角平面最小 | +0.04 | +0.05 | | +0.065 | | +0.08 |
| 六角平面最大 | +0.19 | +0.20 | | +0.275 | | +0.33 |
| D. 螺丝头部沉孔直径和螺丝过孔尺寸 | | | | | | |
| 螺丝头部, mm | 20 | 26 | 33 | 38 | 48 | 66 |
| 螺丝过孔尺寸, mm | | | | | | |
| 紧配合 | 13 | 17 | 21 | 25 | 31 | 43 |
| 中等配合 | 14 | 18 | 22 | 26 | 33 | 45 |
| E. 旋紧扭矩: 最大推荐值 ($\approx 50\% \sim 60\%$ 屈服强度) | | | | | | |
| N-m | 135 | 330 | 650 | 1100 | 2250 | 6270 |
| kg-m | 14 | 34 | 66 | 114 | 228 | 627 |
| ft-lb | 100 | 242 | 480 | 810 | 1660 | 4630 |
| F. 试验载荷: 不发生永久变形的最大载荷 | | | | | | |
| kN | 81.8 | 152 | 238 | 342 | 544 | |
| lb | 18250 | 34170 | 53500 | 76880 | 122300 | |

在决定螺丝尺寸和数量时,设计人员要使用合理的安全因子(gf),至少应为3,最好是5。如存在脉动载荷(机械和热的),至少选择5。表19-3表明了公制和英寸螺丝的差异(它们的强度被认为是相同的)。

关于英制螺丝更多的情况,见表19-4和19-5,可与表19-1和表19-2公制螺丝的数据相比较。

表 19-3 近似相同的螺丝: 公制和英制
(美国统一)(所有尺寸均为 mm)

| 公制(标号) | M3 | M4 | M5 | M6 | M8 | 10 |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 直径 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 |
| 最小螺距 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| 最小内径 | 2.458 | 3.242 | 4.134 | 4.917 | 6.647 | 8.376 |

续表

| 公制 (标号) | M3 | M4 | M5 | M6 | M8 | 10 |
|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| 英制 (标号) | #5-40 | #8-32 | #10-24 | 1/4-20 | 5/16-18 | 3/8-16 |
| 直径 | 3.175 | 4.166 | 4.826 | 6.350 | 7.938 | 9.525 |
| 最小螺距 | 0.635 | 0.794 | 1.058 | 1.270 | 1.411 | 1.588 |
| 最小内径 | 2.395 | 3.193 | 3.528 | 4.793 | 6.205 | 7.577 |
| 比较: 根部危险截面 (内径), mm ² | | | | | | |
| 公制 | 4.74 | 8.25 | 13.4 | 19.0 | 34.7 | 55.1 |
| 英制 | 4.11 | 8.04 | 9.79 | 18.1 | 30.2 | 45.0 |
| 公制 > 英制 | 13% | 3% | 27% | 5% | 13% | 18% |
| 公制 (标号) | M12 | M16 | M20 | M24 | M30 | M42 |
| 直径 | 12 | 16 | 20 | 24 | 30 | 42 |
| 最小螺距 | 1.75 | 2.00 | 2.50 | 3.00 | 3.50 | 4.50 |
| 最小内径 | 10.106 | 13.835 | 17.294 | 20.752 | 26.211 | 37.129 |
| 英制 (标号) | 1/2-13 | 5/8-11 | 3/4-10 | 1-8 | 1 1/4-7 | 1 1/2-6 |
| 直径 | 12.7 | 15.875 | 19.05 | 25.40 | 31.75 | 38.10 |
| 最小螺距 | 1.954 | 2.309 | 2.540 | 3.175 | 3.629 | 4.233 |
| 最小内径 | 10.302 | 13.043 | 15.933 | 21.504 | 27.242 | 32.845 |
| 比较: 根部危险截面 (内径), mm ² | | | | | | |
| 公制 | 80.2 | 150.3 | 234.9 | 338.2 | 539.6 | 1083 |
| 英制 | 83.5 | 133.8 | 199.2 | 363.5 | 583.4 | 847 |
| 公制 > 英制 | | 11% | 15% | | | 21% |
| 英制 > 公制 | 4% | | | 7% | 8% | |

表 19-4 12.9 级英制内六角螺丝 (SHCS) 的规格
 螺纹尺寸 #5-40 至 3/8-16 (粗牙)

(Allen™, Unbrako™, Holo-Krome™ 质量保证)

| 规格 | 螺纹尺寸 | | | | | |
|-------------------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| | #5-40 | #8-32 | #10-24 | 1/4-20 | 5/16-18 | 3/8-16 |
| A. 设计尺寸 | | | | | | |
| 螺纹 | #5-40 | #8-32 | #10-24 | 1/4-20 | 5/16-18 | 3/8-16 |
| 螺距, mm | 0.635 | 0.794 | 1.058 | 1.270 | 1.411 | 1.588 |
| 螺纹长度, mm | 19 | 22 | 22 | 25 | 28 | 32 |
| 头部高度, mm | 3.18 | 4.17 | 4.83 | 6.35 | 7.94 | 9.53 |
| 头部直径, mm | 5.21 | 6.86 | 7.94 | 9.53 | 11.91 | 14.29 |
| 内六角键尺寸, in | 3/32 | 9/64 | 5/32 | 3/16 | 1/4 | 5/16 |
| B. 基本螺纹尺寸, 螺孔钻头尺寸 | | | | | | |
| 公称直径, mm | 3.175 | 4.166 | 4.826 | 6.350 | 7.938 | 9.925 |

续表

| 规格 | 螺纹尺寸 | | | | | |
|---|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| | #5-40 | #8-32 | #10-24 | 1/4-20 | 5/16-18 | 3/8-16 |
| B. 基本螺纹尺寸, 螺孔钻头尺寸 | | | | | | |
| 最小中径, mm | 2.715 | 3.594 | 4.074 | 5.453 | 6.944 | 8.410 |
| 最小内径, mm | 2.395 | 3.193 | 3.528 | 4.793 | 6.205 | 7.577 |
| 螺孔钻头尺寸, mm | 2.58 | 3.45 | 3.80 | 5.11 | 6.53 | 7.94 |
| C. 公差 | | | | | | |
| 见 ANSI 标准 B18.3 和 ASTMU A574; 直径 1in 及 1in 以下的螺丝-3A 级螺纹 | | | | | | |
| D. 螺丝头部沉孔直径和螺丝过孔尺寸 | | | | | | |
| 螺丝头部, mm | 6.35 | 8.0 | 9.5 | 11.1 | 13.5 | 15.9 |
| 螺丝过孔尺寸, mm | | | | | | |
| 紧配合 | 3.4 | 4.4 | 5.1 | 6.8 | 8.3 | 10.3 |
| 中等配合 | 3.6 | 4.9 | 5.6 | 7.1 | 8.7 | 11 |
| E. 旋紧扭矩 (推荐为 60%~75%屈服强度) | | | | | | |
| kg-m (约取 75%) | 0.3 | 0.6 | 1.0 | 2.2 | 4.6 | 8.2 |
| ft-lb (约取 75%) | 2.0 | 4.5 | 6.5 | 16 | 33 | 59 |
| ft-lb (约取 60%) | 1.7 | 4 | 5 | 12 | 25 | 45 |
| F. 螺丝平均屈服力 (来自加工手册) | | | | | | |
| kg | 500 | 890 | 1115 | 2020 | 3330 | 4930 |
| lb | 1110 | 1960 | 2450 | 4450 | 7330 | 10850 |

表 19-5 12.9 级英制内六角螺丝 (SHCS) 的规格, 螺纹尺寸 $1/2$ -13 至 $1 1/2$ -6 (粗牙) (Allen™, Unbrako™, Holo-Krome™ 质量保证)

| 规格 | 螺纹尺寸 | | | | | |
|--------------------------|-----------|-----------|-----------|--------|------------|------------|
| | $1/2$ -13 | $5/8$ -11 | $3/4$ -10 | 1-8 | $1 1/4$ -7 | $1 1/2$ -6 |
| A. 设计尺寸 | | | | | | |
| 螺纹 (标号) | $1/2$ -13 | $5/8$ -11 | $3/4$ -10 | 1-8 | $1 1/4$ -7 | $1 1/2$ -6 |
| 螺距, mm | 1.954 | 2.309 | 2.54 | 3.175 | 3.629 | 4.233 |
| 螺纹长度, mm | 38 | 44 | 51 | 64 | 79 | 95 |
| 头部高度, mm | 12.70 | 15.88 | 19.05 | 25.40 | 31.75 | 38.10 |
| 头部直径, mm | 19.05 | 23.81 | 28.58 | 38.10 | 47.63 | 57.15 |
| 内六角键尺寸, in | 3/8 | 1/2 | 5/8 | 3/4 | 7/8 | 1 |
| B. 基本螺纹尺寸, 螺孔钻头尺寸 | | | | | | |
| 公称直径, mm | 12.7 | 15.875 | 19.05 | 25.4 | 31.75 | 38.1 |
| 最小中径, mm | 11.336 | 14.272 | 17.287 | 23.208 | 29.149 | 35.082 |

续表

| 规格 | 螺纹尺寸 | | | | | |
|---|----------|----------|----------|--------|------------------|------------------|
| | $1/2-13$ | $5/8-11$ | $3/4-10$ | 1-8 | $1\frac{1}{4}-7$ | $1\frac{1}{2}-6$ |
| B. 基本螺纹尺寸, 螺孔钻头尺寸 | | | | | | |
| 最小内径, mm | 10.302 | 13.043 | 15.933 | 21.504 | 27.242 | 32.845 |
| 螺孔钻头尺寸, mm | 10.72 | 13.89 | 16.67 | 22.22 | 28.18 | 34.00 |
| C. 公差 | | | | | | |
| 见 ANSI 标准 B18.3 和 ASTMU A574; 直径 1in 及 1in 以下的螺丝-3A 级螺纹大螺丝-2A 级螺纹 | | | | | | |
| D. 螺丝头部沉孔直径和螺丝过孔尺寸 | | | | | | |
| 螺丝头部, mm | 20.6 | 25.4 | 30.2 | 41.3 | 50.8 | 60 |
| 螺丝过孔尺寸, mm | | | | | | |
| 紧配合 | 13.5 | 16.7 | 19.8 | 26.2 | 33.3 | 41 |
| 中等配合 | 14.5 | 17.5 | 21 | 28 | 36 | 43 |
| E. 旋紧扭矩 (推荐为 60%~75% 屈服强度) | | | | | | |
| kg-m | 20 | 39 | 70 | 145 | 290 | 505 |
| ft-lb (约取 75%) | 144 | 284 | 500 | 1044 | 2088 | 3630 |
| ft-lb (约取 60%) | 108 | 210 | 367 | 867 | 1750 | 3040 |
| F. 螺丝平均屈服力 (来自加工手册) | | | | | | |
| kg | 9020 | 14390 | 21250 | 33000 | 53000 | 77000 |
| lb | 19850 | 31650 | 46750 | 72700 | 116300 | 168600 |

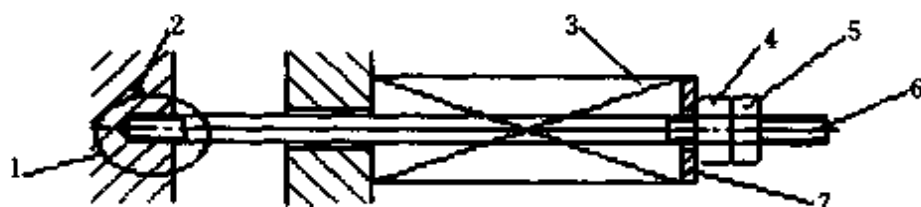
19.11 用于调整的螺丝和柱螺栓

螺丝不应用于调节, 而仅是用于紧固。模具设计人员必须预见 (计算) 到什么部位需要调整, 且如果调节不可避免, 必须提供足够厚的垫圈 (至少 2mm 厚), 以至于最后能与螺丝一起牢固地固定在指定位置。然后, 这些垫圈能被加工成确定的尺寸, 成为装配用的一个零件, 且不必进一步调整。

使用普通的薄垫圈不是上策, 因为在维修期间容易丢失或忽略, 模具重新装配时, 厚垫圈要比薄垫圈觉得明显。

例外: 如果垫圈不适合, 螺丝或螺杆可能用于调节。因为这样的螺丝不能充分地旋紧 (伸展) 以防止松动, 所以它们必须用一种方法来避免转动, 见后面的 19.12 节。

在上述阻止弹簧复位的例子中，正确使用柱螺栓见图 19-13，这种（便宜）方法经常使用，但是常遇到的问题，调整没有根据，且易招致操作上的问题。



· 图 19-13 用于阻止弹簧复位的柱螺栓

1—细部见图 19-14；2—基体；3—弹簧；4—螺帽；5—止动螺帽；
6—柱螺栓；7—垫圈

恰当选择或设计的柱螺栓，必须要有特殊的螺丝螺纹（柱螺栓螺纹）进入基体，让柱螺栓螺纹与基体发生干预，而不要像标准螺丝那样有螺纹间隙。图 19-14 是螺纹进入基体的细节设计，柱螺栓螺纹的长度必须比进入基体的螺纹长。而且，螺栓内径处要开槽口与基体表面交叉，以防止作用在柱螺栓上的剪切载荷引起应力开裂。

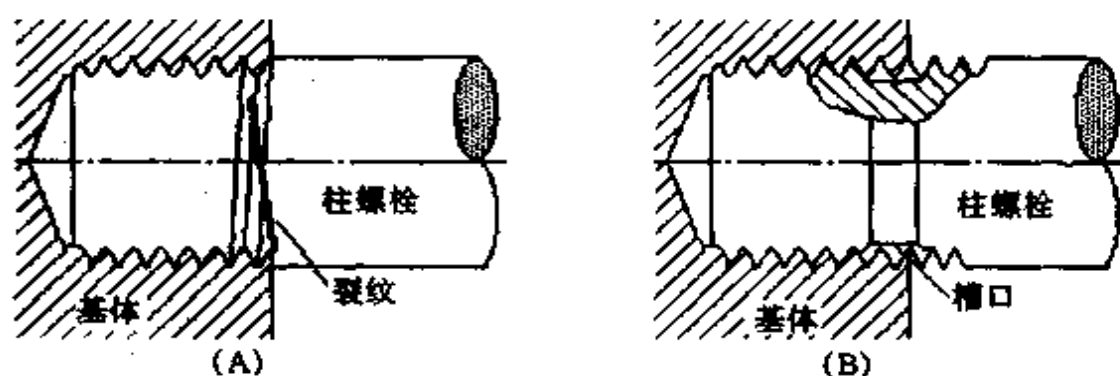


图 19-14 图 19-13 细节放大

(A) 不良设计；(B) 正确设计，柱螺栓上螺纹长，内径处有槽口

用于钢铸铁或其他软材料的柱螺栓之间也是有区别的。如果这些螺纹不适用，则必须采用 Loctite™，以防止柱螺栓松脱。

在上述图 19-13 和图 19-14 中，螺纹接合的长度比应有的（约为 1.2~1.5 螺纹直径）要短，如果基体由较软的材料制成，它应当再长些。

柱螺栓通常要装到螺纹孔的底部，用特殊的“螺栓扳手”来安装，或者用两个螺帽并紧在柱螺栓的另一端来安装。按照惯例，一旦柱螺栓安装好，就不再移动，以避免螺纹磨损而减少与基体的干涉量。

市场购置的柱螺栓性能级为 5.8，因此比 SHCS 螺丝强度低一半多。市售螺纹杆还要软（4.6 级），不推荐用它代替柱螺栓。

最佳设计（图 19-15）是采用计算长度的衬套（套筒），或者如果有必要，采用模具调试后得出的长度。采用这种方法，（标准）螺丝能被恰当地旋紧。

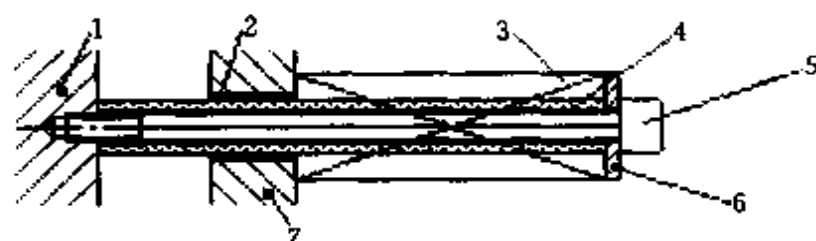


图 19-15 带有弹簧和动板轴套的衬套截面图
1—基体；2—衬套；3—弹簧；4—隔套；5—柱螺栓；
6—垫圈；7—动模板

衬套（套筒）壁的截面面积至少和螺丝的截面一样大，最好是两倍，应当由钢制成，最好淬到 $Rc > 40$ ，与弹簧摩擦的衬套外径要磨光。

较好的方法是使用装配有标准尺寸的轴套。对于侧向载荷小的情况，可以使用含油青铜轴套（如 Oilite™ 轴套），也可使用 Teflon 型无润滑轴套（如 DU™ 轴套）；对于侧向载荷大，轴套应是润滑的青铜或钢，要定期擦油（手工或是自动）。重要的是轴套滴下的油不会污染塑料制品，这可能会影响到弹簧位置的选择。

安全提示：图 19-13 和图 19-15 所示的弹簧总是封闭的，如果螺栓折断，可防止折断的紧固件或弹簧飞出，造成伤害。

19.12 安全螺丝

恰当选择和采用的螺丝是自锁的，不必防松。例外：对于螺丝松开能够造成很大破坏的封闭机构，有必要增加 100% 的安全防范措施，

如用金属丝栓住螺丝头部或装开口销。可是，这在模具上很少使用。一般来说，短螺丝（螺杆长度不足以伸展，不能为防松提供安全保证）应通过附加的措施来防松。

19.12.1 锁紧垫圈

锁紧垫圈，包括“星形垫圈”可能都被称为是弹簧垫圈。这些“弹簧垫圈”的原理是在螺丝头部下面，它们被压成扁平状。垫圈一边的齿（普通锁紧垫圈有一副，星形垫圈有许多）进入要紧固的部件，另一边的齿进入螺丝头部或螺帽，这样它们就抵着螺丝（或螺帽）松开的方向。

要使之有效，螺丝和要紧固的零件的硬度必须低于垫圈。由于锁紧垫圈的硬度在44~51Rc，星形垫圈的在44~47Rc，它们不能咬进标准SHCS（12.9级）或是较硬（49~51Rc）的模具零件。然而它们会咬进预先淬火的模板（ $\approx 30\sim 35Rc$ ）。故此不推荐用于12.9SHCS或是淬火钢零件上。

19.12.2 Loctite™, Permaflex™等

这些产品是厌氧微生物的液体，在装配时，加到螺纹（清洁、无油）上，代替油。使用后，液体会硬化并粘着于模具零件和螺丝的螺纹上。当螺丝移动时将剪断这种粘合，下次装配时需再用这种液体。

这样能确保接头安全。然而要保证模具装配图上有清楚的标注（警告）：当模具装配和维修时，在指定的螺丝上必须要用Loctite™。

下面列举了几种Loctite™产品及其特性：

- | | |
|-------------------|---|
| Loctite #242（蓝色） | 中等强度，最小螺纹长度 $L=1.5D$ 。 |
| Loctite #271（红色） | 高强度（2.5倍#242），用于螺栓。 |
| Loctite #262（红色） | 比#271强度高15%。 |
| Loctite #290（绿色） | 与#242具有同样强度，但有“吸油绳”性能（会进入并锁上已旋紧的螺纹），这是个优选的产品。 |
| 多孔密封剂 #290 | 类似Loctite #290，它可进入（通过“吸油绳”作用）多孔金属。 |
| PST 管密封剂 W/Teflon | 用于管状螺纹，不需用Teflon胶带。 |

- 垫片消除器 #515 用于替代垫片；填充空隙可达 1.25mm。
- 镍抗咬合剂 #771 用于螺丝的抗咬合化合物。
- 固定化合物 #601 固定损坏的或尺寸过大的孔上的轴承；剪切强度 20.684MPa，最大使用温度 149℃ (300F)。
- 固定化合物 #620 与 #610 同样强度，但使用温度高达 232℃ (450F)。
- 固定化合物 #680 27.579MPa，最大使用温度 149℃ (300F)。
在铝中（所有级别） 强度减至 4.137MPa。

注意：不要在空气管路上使用 Loctite 或任何类似产品，在这里泄漏的液滴可能被气流带进狭窄的（吹气）缝，并堵住它们，这就需要花费大量的维修费用。

19.12.3 变形螺丝

一些螺丝生产者提供的螺丝，其螺纹存在轻微的变形（椭圆形、凸三角形等），通过这些螺丝的作用，内螺纹有些微小变形，据说这样可以防松。这样的螺丝在模具上不作推荐。

19.12.4 金属丝拴住螺丝头部

这种方法在机器设计中常用，但在模具上很少用。螺丝头部在互成 120° 方向钻 3 个孔。旋紧后，金属丝穿过最合适的孔，以防止头部松开。随后金属丝可穿过一个或多个其他螺丝头部，防止转动，或者可穿过仅为这个目的而增设的辅助孔（图 19-16），螺丝头之间的金属丝被扭紧，以保持金属丝的位置。

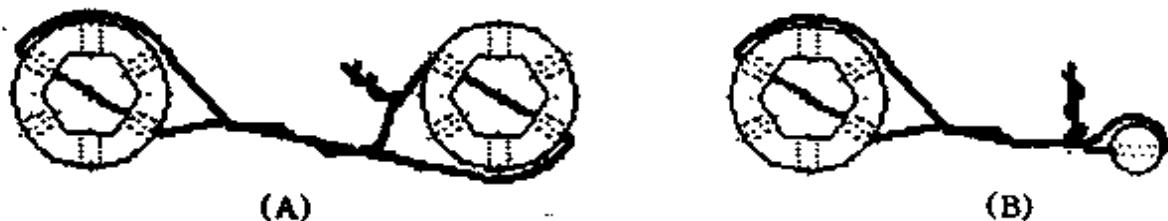


图 19-16 金属丝拴住螺丝头部

(A) 两个螺丝相互拴住；(B) 通过一个辅助孔拴住螺丝

这个方法费时费钱，仅应用在绝对需要的场合。如果使用，必须

在装配图上标明。

19.12.5 塑料插件保证安全的螺丝 (Nylok™等)

通过在螺丝的螺纹段嵌入一小塞子(圆柱形或长方形的),就可保证螺丝(Nylok™螺丝等)的安全。当螺丝旋进配合部件(略微凸出的)时,塑料就被内部螺纹挤压造成变形,变形引起该处高摩擦,这样可防止螺丝松开。这样螺丝可固定在旋进的任何位置,甚至可以不旋紧,也不在乎振动或冲击。

这样的螺丝连接十分有用,但是要确保它们功能正常。在每移动之后都应重新安放,特别是它们长时间在某个位置上。因为塑料永久变形会减小摩擦力,装配图上须注明这种影响。

典型的应用是需要短螺丝(如圆头或钮扣头螺丝等)的地方,短螺丝不能通过扭转保证充分安全(例如:当固定的金属板盒子承受大振动或冲击时)。另外的选择就是使用 Loctite™或与其作用相同的产品。

19.13 螺 帽

19.13.1 安全螺帽

模具中很少用螺帽,但在相关的设备上可能需要,如引出装置。

19.13.2 开口销

开口销与槽顶螺帽和钻孔螺栓一起使用。这个方法用于螺栓或螺杆防松,安全可靠,但问题在于六角螺帽的开槽数量有限,通常有3个,在120°方向。由于在螺栓上仅有一个配合孔,当孔和一个槽口配合时,螺帽很少恰好旋紧。通常情况是螺栓旋紧不足或过分旋紧,以便能够插入开口销。

19.13.3 压紧螺帽

压紧螺帽也称为止动螺帽,是用于螺栓或柱螺栓上的。是用一只螺帽(压紧螺帽)旋至(先上紧了,必须防松的)螺帽顶部。其原理是两个螺帽之间的螺栓长度要伸展。事实上,这个长度非常小,但通常在固定第一个螺帽的情况下旋紧压紧螺帽,螺纹会轻微地变形(在弹性限度内),可提供一定的夹持力(图19-17)。一般,这个方法不用

于模具。

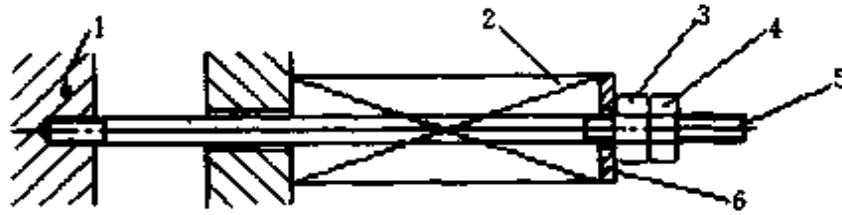


图 19-17 压紧螺帽用作止动使螺帽定位

1—基体；2—弹簧；3—螺帽；4—止动螺帽；
5—柱螺栓；6—垫圈

如果图 19-17 的设计（使用柱螺栓和螺帽）在模具上确有必要（万一非常长的弹簧需要非标准长度螺丝），设计就应修改，在垫圈和基体之间使用长的套筒。若单个螺帽就能用来旋紧柱螺栓，就不必要使用止动螺帽，这与图 19-15 的设计相似。

19.13.4 用塑料嵌件（Nylok™等）保证螺帽安全

设计带塑料塞子或塑料套环（由尼龙等制成）的螺帽（不是嵌在螺纹处就是在其末端），通过螺栓或柱螺栓的外螺纹使塑料变形，变形产生高摩擦区可防止螺帽松动，这样的螺帽可固定在旋进的任何位置，不要旋紧，也不在乎振动或冲击。

这是一个好的方法，但在每次移动后螺帽须重新安放，尤其是在放置了很长时间之后，因为塑料变形会减少摩擦力，装配图须标明这个影响。

19.13.5 保证螺帽安全的其他方法

19.13.5.1 Loctite™, Permaflex™等

这些产品能在螺帽中使用，与螺丝的使用情况相同。

19.13.5.2 锁紧垫圈

螺帽（10.9级或更低）通常比 SHCS 软，用螺帽保证安全的部件也一样软或比螺帽更软，使用锁紧垫圈是可行的。

注意，在装配螺帽和螺栓时，垫圈通常是放在螺帽下面，很少有情况要求螺丝头部下面另放一个锁紧垫圈，这要求螺丝头部硬度至少低于锁紧垫圈 10 个单位（第一个锁紧垫圈防止螺帽转动，但不对螺栓

起作用)。

19.13.5.3 舌片垫圈

舌片垫圈是一个平的、软的钢制垫圈，具有一个小的凸出舌片，与垫圈成直角。为防止垫圈旋转，这个小舌片插入被固定的零件或螺栓上的一个开口（槽）中。螺帽被上紧后，垫圈的部分被从固定零件上撬起，并被锤紧在螺帽的一个六角面上。这个弯起段和垫圈的舌片可防止螺帽转动。

这个方法非常好且安全。然而，每次螺帽移动，需要安装新的舌片垫圈，因为，为保证螺丝安全不转动，垫圈要弯曲，在回到其平面位置时通常会断裂。在装配图上必须清楚地说明需要新的垫圈。

参 考 文 献

1. International Standards Organization. (1988). ISO Standards Handbook for Fasteners. Screws and Threads, 2nd ed., International Standards Organization, Geneva.

第二十章 模具和模具零件的装卸

20.1 安 全

安全是模具设计人员考虑的首要问题。一副模具或任何沉重的模具零件，如何才能安全地装卸？为了避免伤害和永久的残疾（如驼背），不提倡人们不顾零件质量，在不使用辅助机械（如升降机）的情况下，反复搬动比 20kg 重的零件或其他难装卸的零件。

模具制造商不仅要保证装卸模具或其零件时，无人受到伤害，而且还应对因疏漏或设计不良，可能引发的任何事故负责。在不能提供合适的安全措施的地方，至少要有一清晰可见的警告标记或标牌来提醒可能的危险和后果。

在四种情况下要对模具零件或整个模具进行装卸作业：

- ①加工模具零件（模板、重的模腔和模芯）；
- ②装配模具（包括使用和维护）；
- ③在机器上安装模具；
- ④调试模具。

每一情况都需特别考虑。在设计时，设计人员必须能正确估计，模具（或零件）在每一个环节中如何装卸或可能出现的误操作。在哪些地方操作人员（机工、装配工或模具技工）可能引起自身或对他人的伤害。设计人员必须考虑，在所有情况下，螺纹孔（一般的和装卸用的）的尺寸、位置和数量如何影响模具零件的强度和疲劳寿命。

注：在这一章节的图示中，吊孔的尺寸与模板尺寸等呈正比例。

20.2 模板吊装

20.2.1 模具零件的加工

从一开始，任何一块沉重的模具零件（通常是模板，还有模腔和

模芯)都必须有一个或多个螺纹孔,使机械加工人员能采用吊环螺栓和升降机来操作(图 20-1),优先用吊环螺栓吊起,而不用磁铁,尤其是起吊精细磨削的模板,用磁铁就可能留有刮痕。

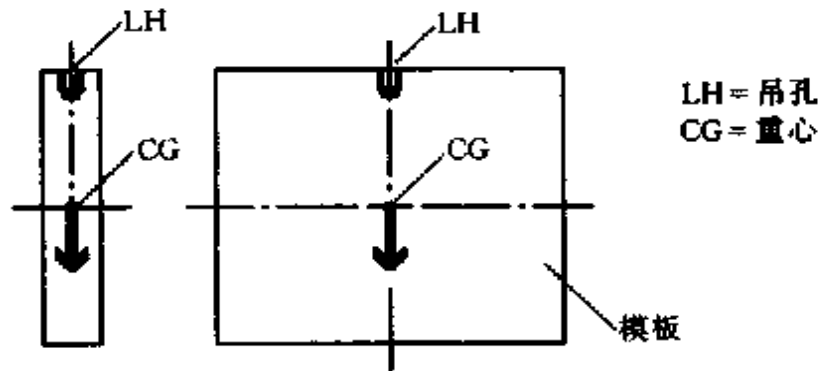


图 20-1 模板重心上的吊孔位置

注: LH 为吊孔; CG 为重心

只有在所有必要的冷却管道和安装孔,以及模具零件形状都完全定下来之后,才能决定这些孔的部位,完成模具设计。

最好的情况是,尽可能使吊装孔接近沉重零件的重心(CG)并且能避开那些已被孔、管道等所占据的区域(图 20-2)。在模具零件上开孔攻丝是不可避免的,重要的是不能由于这样减薄壁厚和产生应力,而削弱了该零件截面所需的强度。

要使上述两种条件达到一致有时是不可能的,所以需要折衷方法。也就是吊孔不恰好在重心上,且装卸时零件可以不直接地吊挂,即提供 2~3 个螺纹孔,让链条能连接 2~3 个吊环螺栓,升降机吊在它们的中心点,这样提供一个近似在重心上方的位置。

一般,模板要从多边进行吊装。必须各边都有吊孔,以适应模板的吊起作业(图 20-3),吊孔的设置要遵守以上规则。如果对吊孔设置有疑虑或有零件不能加工合适的吊孔,必须考虑用替代的方法来吊装模具零件。

20.2.2 模板面上的吊孔

在模板面上设置吊孔基本上有两个原因:

①工件中心挖去太多,以至于起吊磁铁不能接触足够的面积来抓

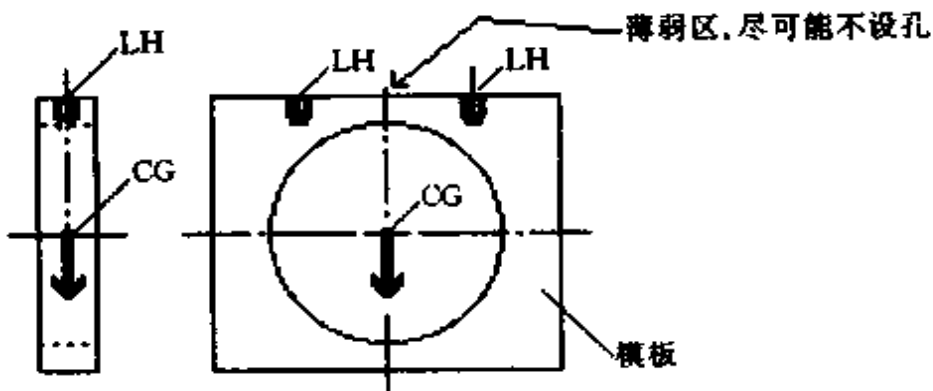


图 20-2 重心附近的吊孔，离开较弱的薄壁区

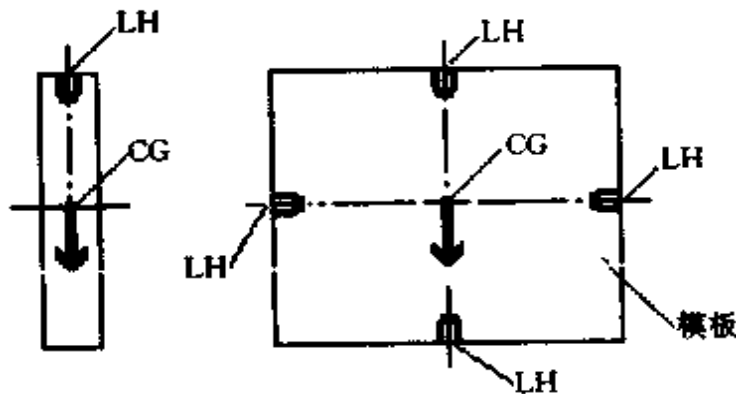


图 20-3 模板各边的吊孔在重心周围均匀分布

牢模板（磁铁的直径一般在 250~300mm）。这特别适用于大环或大模板的起吊。

②所有沉重的模板面上（模板最大平面部分）都应有吊孔，除非面上已存在模具装配需要的合适的螺孔。

这些附加孔的位置，应在与模具零件装卸操作人员商量后确定，尤其是磨削大而沉重的模板时。孔应对称地安排在重心周围，最好是在零件长轴中心线方向上（图 20-4）。两个吊孔的确切位置只有在模板设计完全后才能决定，以保证这些孔不会影响模板上的其他结构。

作为惯例，所有超过 50kg 重的模板必须有吊孔。如有可能，吊孔不要被别的部件遮盖，甚至在模板部分完全装配后，仍能用来吊装。

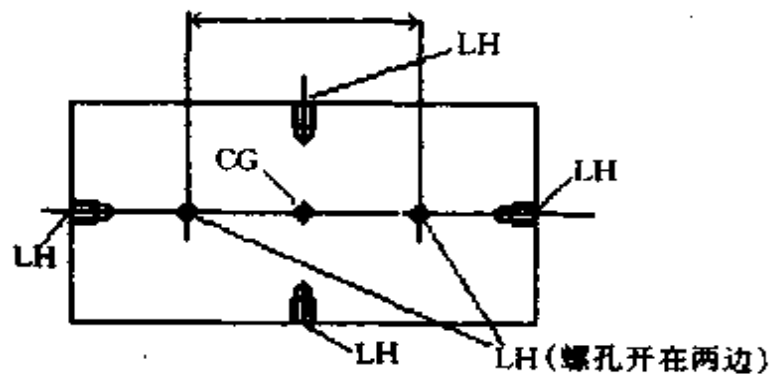


图 20-4 在所有各边和沿模板两面中心线开吊孔

20.3 吊环螺栓

20.3.1 提升和吊起理论

当垂直向上提升物体时,力 F 则通过重心 CG 和吊环螺栓轴线,吊角是升降机拉的方向与其作用的表面的夹角。

吊环螺栓承受的仅是拉力,图 20-5 给出最简单的例子。通过在 CG 方向上钻孔,能够使用相对小的吊环螺栓。

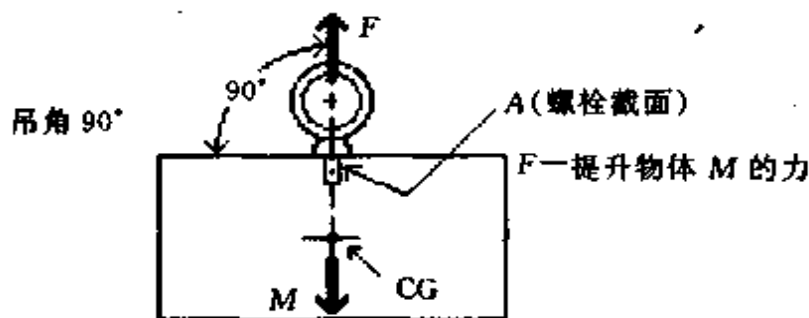


图 20-5 吊环螺栓直接置于 CG 之上

虽然在市场上可得到多种型号和强度的吊环螺栓,但最好是采用普通的台肩型吊环螺栓,这样用户使用普通的设备和工具,就能安全地工作。

有台肩的吊环螺栓对于有角度的载荷,比不带台肩的具有更好的承载能力。同时操作人员也很容易发现,吊环螺栓是否已完全拧进模板。没有台肩,操作人员可能会停得太早,由于没能拧进足够的螺纹来承载,以致发生危险。

假定图 20-5 所示模板现在平放, 需要升起, 存在两种极端情况: 吊环可能在垂直平面内或在水平面内 (图 20-6)。

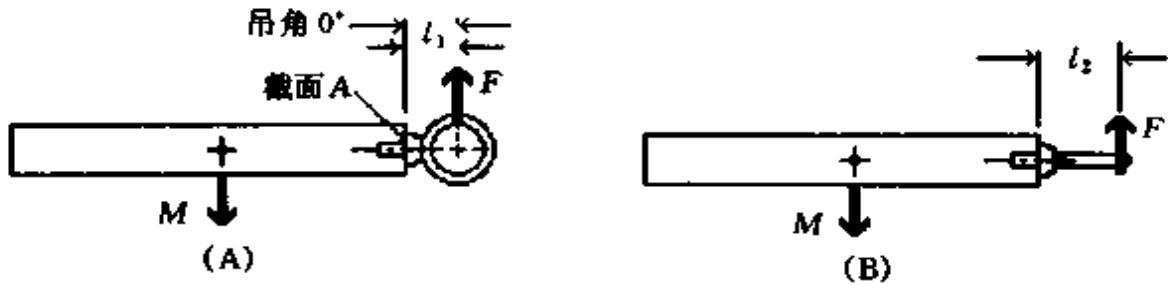


图 20-6 用于提升平放模板的吊环螺栓
(A) 垂直放置; (B) 水平放置

图 20-6 (A) 的吊环是在垂直平面内, 弯矩 Fl_1 增加了作用于螺栓截面 A 的力, 在这个截面上也有一定的剪切力。由于吊环螺栓紧紧地依靠台肩, 就有一些附加的强度。吊角为 0° , 承载的吊环螺栓上就有更复杂的应力状态, 比吊角为 90° 的直线载荷 (拉伸) 的情况要更严重。

图 20-6 (B) 的吊环是在水平面内, 弯矩有 Fl_2 , (l_2 要比 A 图中的 l_1 大, 升降机的吊钩必须系在这一点上, 要不然它会扭曲或松开吊环螺栓, 同时对台肩附加的弯矩也更大。在这种情况下, 操作人员必须使用补偿垫圈, 使吊环螺栓保持相对于提升方向的正确 (垂直) 取向, 如图 20-6 (A)。

用图 20-7 和图 20-8 的变量, 来表示力的计算。当吊钩刚开始提升模板时, 实际要用的力大约仅是提起整块模板所需要的力的 50%。

实际上, 力 F 低于 $\frac{M}{2}$, 因为 l_1 或 l_2 产生了附加力臂, l 越大, F 越

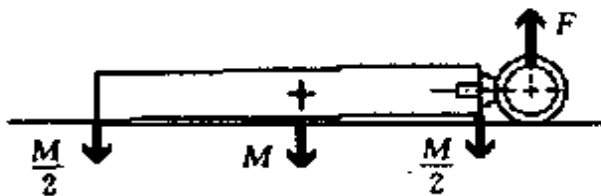


图 20-7 刚开始所需提升力是提起全部物体的力的一半

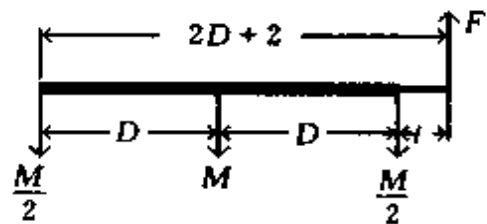


图 20-8 螺栓弯曲的作用力和弯矩计算

小, F_{\max} 是 $\frac{M}{2}$ 。该力与力 $\frac{M}{2}$ 成正比, 并可能导致吊环螺栓在与零件的贴合面处产生弯曲。 l 越长, F 就越小, 但是当承受 F_{\max} 时, 拧在此处的螺栓应有足够强度而不致弯曲。

关于图 20-8 模板左端的弯矩计算:

$$F(2D+2) = MD, \text{ 或 } F = \frac{MD}{2D+2} \quad (20-1)$$

吊环螺栓要根据吊角降低级别使用, 这是吊环螺栓选择的一个因素, 使用的安全负荷值可见“制造者目录”。

如果将精细磨削的模板置于非常光滑的表面上, 模板下面真空造成的影响可能会很大。例如, 一钢模板 $50.8 \times 50.8 \times 2.54\text{cm}$, 重约 54.4kg , 面积是 2581cm^2 , 即处于 97.9kPa 的大气压下, 由于大气压力(真空), 将模板压在该表面上的力, 约为 25.27kN 。

20.3.2 提升载荷

当用两个吊环螺栓提升负载, 就要使用“吊起”术语。简单的例子如图 20-9 所示(注: 图示的吊环螺栓位置是最坏的方案, 应该避免)。

例: 用两个吊环螺栓提升重 2000kg 的物体 M , 不同吊链夹角下的载荷列举如下:

| 吊链夹角 α | 每个链的负载 F_s (kg) | 吊链夹角 α | 每个链的负载 F_s (kg) |
|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| 90° | 1000 | 30° | 2000 |
| 75° | 1040 | 15° | 3800 |
| 60° | 1150 | 5° | 11480 |
| 45° | 1410 | 0° | ∞ |

从上述例子, 可清楚地发现, 操作人员有责任使链条或绳索的吊角不小于 60° , 以保证吊环螺栓上的力处于安全极限范围。吊孔间距不大于 600mm , 可满足多数需要。

设计人员的责任是:

①如果没有可能从中心(重心之上)提升模板, 则选择等于或小于 600mm (吊链长度)的吊环螺栓孔间距, 并关于重心对称布置(图

20-9)。

②为吊环螺栓提供尺寸合适和强度足够的螺纹吊孔。

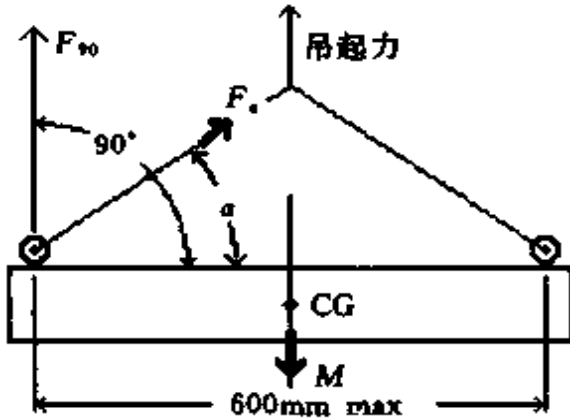


图 20-9 两个吊环螺栓使用
一根链条吊起模板

设计标准吊环螺栓时采用的安全因子约为 5。通过选择较大尺寸吊环螺栓，来提供比较高的安全因子，是划算的。这样确保了不论选择什么类型的吊环螺栓，失效的危险性都很小。

用吊环螺栓提升要比用磁铁卡盘安全些。尽管电磁铁卡盘通常带有保护装置，但磁铁失效还是时常发生。

设计人员另外的重要责任是必须考虑，在注射机上部拉杆之上的吊钩高度。机器上方的空间可能有限，这样就没有足够的空间来提升模具离开机器，尤其是在模具提升需要吊杆的情况下。那么模具就可能需要不同于标准的提升方法。设计人员总应确保设计的升降方法适合于模具以及模塑者的车间和设备。

20.3.3、吊环螺栓使用注意事项

如果加载接近吊环螺栓的额定值，注意下列这些规则特别重要。

①不能用尖锐的工具或器械，在吊环螺栓上面磨削、加工、压痕或留记号。

②不能为使台肩承载，而对标准台肩吊环螺栓切槽。相反，应将（螺纹）孔加工出锥口孔和沉孔，或采用垫圈（图 20-10）。要保证至少有 90% 的螺纹在螺孔中啮合。

③保证吊环螺栓完全旋下去，且处于恰当位置，台肩应稳固地承靠在配合模板表面或垫圈上。

④载荷应加在吊环的平面上，与这个平面不能成角度。

⑤不要超过吊环螺栓的推荐承载能力。

⑥吊环螺栓不要涂漆、镀锌或其他电镀，因这样容易隐藏缺陷

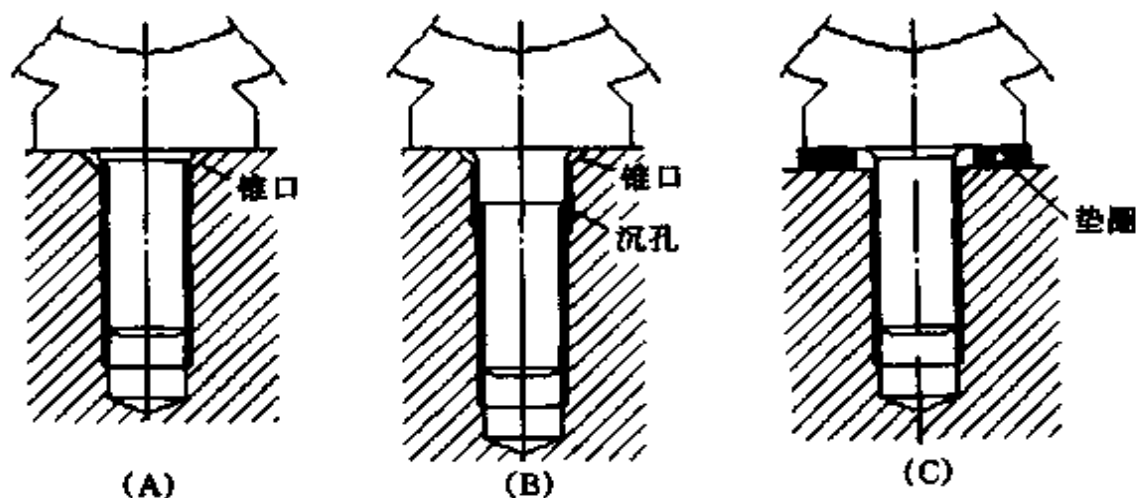


图 20-10 承载吊环螺栓台肩的落实

(A) 螺孔加工出锥口；(B) 螺孔加工出锥口和沉孔；(C) 使用垫圈

(裂纹) 和影响配合。

⑦不能将 M20 螺孔用于提升。它们看起来可以接受 3/4-10 UNC 吊环螺栓，但它们在螺纹根部啮合浅。如果使用这种小的啮合，螺纹会被破坏，甚至可能剥离，造成模板坠落。

⑧在运行的基础上，应该建立和执行吊环螺栓的检查程序。建议每个使用吊环螺栓、吊链和吊装设备的工厂都要制定。要保证安全，所有这类设备都要定期检查，从而发现可能存在的应力迹象（裂纹）和磨损。每项应由数量、类型等指标来判定，定期出据状态报告，出现问题的必须丢弃和破坏，不要维修和焊接。

20.3.4 吊环螺栓使用举例

吊孔也可用来吊装其他零件（不仅对模板），如那些沉重的、不便处理的，尤其是对装在注塑机上的模具进行维修时必须移走的那些零部件，它们可能是模腔、模芯以及锁紧圈和脱模圈。

这些零件在 CG 上方至少应有一个吊孔。如果可能的话，组装件也应有一个吊孔。当然，这样的组装件吊孔应该与零件的吊孔一致（图 20-11）。设计人员必须确保这样的吊孔不会过多而削弱零件，特别是对环形零件。非模板的模具零件上吊孔的定位需要与模板吊孔的定位同样考虑，这是设计人员的责任。

如果 CG 不通过螺孔设置的区域，就可能需要使用吊杆来起吊零件。装配图上必须绘出吊杆，如图 20-12 所示，且吊杆号码必须与其零件和模头的号码一致。这是重要的，因为模具一维修就要用到它们。模塑工应备有吊杆，要不然需要时就很难找到合适的。在模框上应有一块标牌，劝告操作工为了安全，装卸这些组装件时要使用吊杆。

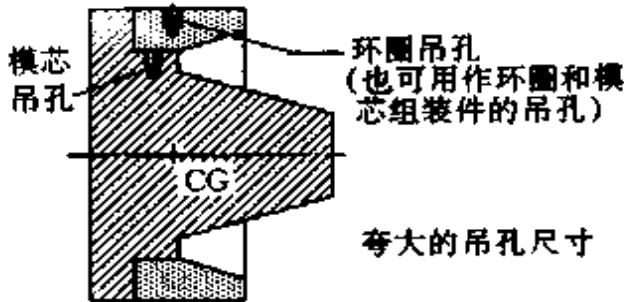


图 20-11 模芯和环圈上的吊孔

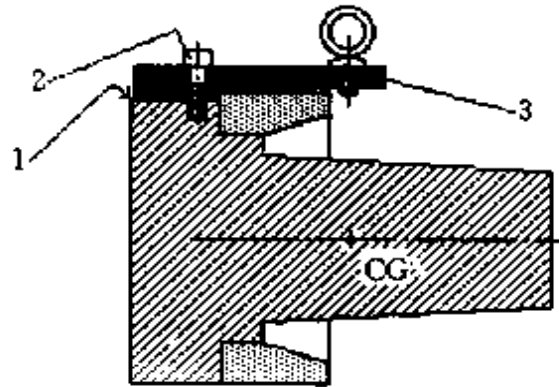


图 20-12 起吊模具零件的吊杆
1—加工平齐，防止在图形零件上晃动；
2—2个螺丝；3—打上工件号

加工前具有重心上方吊孔（在其一边的中心）的工件，在加工时，另一边除去了大量的材料，这时重心会改变。

图 20-13 和图 20-14 上的吊孔 LH1 应认为是用来起吊工件的。

新的 CG 对于下一步的加工和装配更重要，垂直起吊部件将有助于工作。因此，最好是确定上一步工序后，零件新的 CG 位置，将吊孔设置在其上方，而不是毛坯的。要不然，在其后的操作期间，模板或零件就可能斜着吊起来。

一旦几块模板（每块都有自身的 CG）组装起来，组装件的 CG 可能是一个新的位置。要使整个组装件垂直起吊，就需要一个新的吊孔。可通过估算每个零件的平均重量及其 CG 位置，新的 CG 确切位置就能很容易计算出。

要决定一个零件（模板等）的 CG，可假定内有交叉孔和小空腔的零件是实心的，然而对带有大内腔和具有不规则形状的零件，则需要一定量的计算，以便更好地估计 CG 的位置。

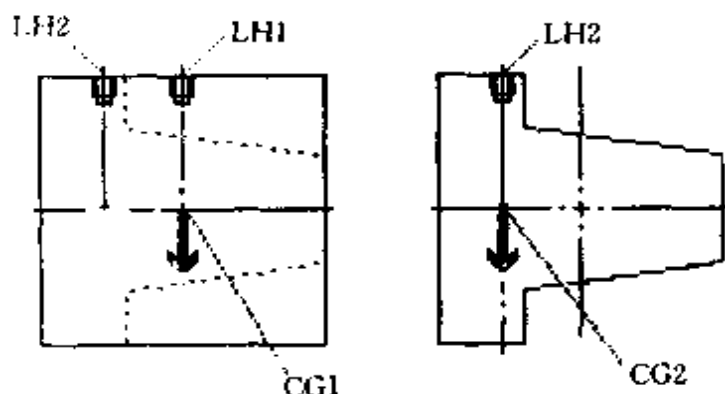


图 20-13 加工前 (LH1) 后 (LH2)
重心上的吊孔

注: LH1, LH2 为吊孔; CG1 为加工前 CG; CG2 为加工后 CG

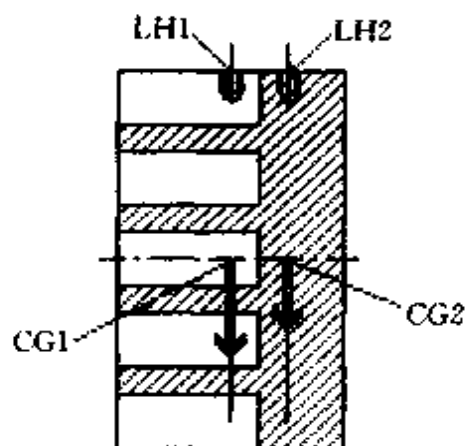


图 20-14 顶杆箱
加工前 (LH1)
后 (LH2)
的吊孔

20.4 吊 杆

如因与其他孔等发生干涉, 不可能提供额外的吊孔来起吊整个模具, 则要引进吊杆。它至少带有两个分开的孔, 与模具零件的吊孔连接形成组装件。对于吊环螺栓, 吊杆在新的 CG 上有螺纹孔。

零件上安装吊杆的两个吊孔的间距应当尽可能靠近, 以减小吊杆上的跨距 (负载时会弯曲), 如果吊孔比较靠近, 吊杆可轻些。

图 20-15 表示了对于恰当的吊孔位置进行的简单计算, 在这个例子中, 吊孔位置正处于两块模板相交的区域, 因此, 必须提供吊杆。有时, 吊杆会跨越整个模具长度 (特别是迭层模具), 远离中心的孔是用来保持模具为一整体。吊杆必须足够强以支撑整个模具。

下面的公式计算 a (决定整个模具的吊环螺栓孔的位置)

$$a = \frac{a_1 W_1}{\sum W} \quad (20-2)$$

吊杆或吊环螺栓孔必须始终设置在能够操纵和 (或) 支撑整个模具的部件上, 在装卸中没有零件 (例如脱模板) 脱落的可能。对一副模具有时也需要一根以上的吊杆, 一根用于整个模具, 一根或多根用于局部组装件。吊杆不能装在活动部件 (如脱模板) 上。

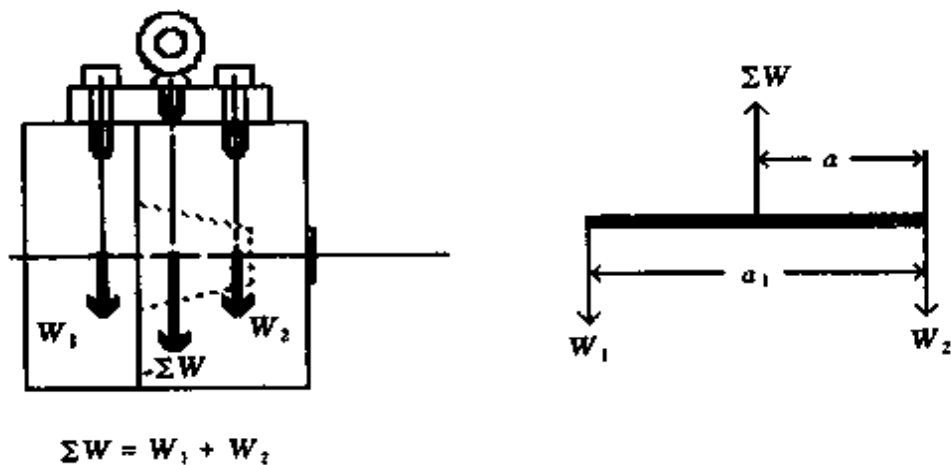


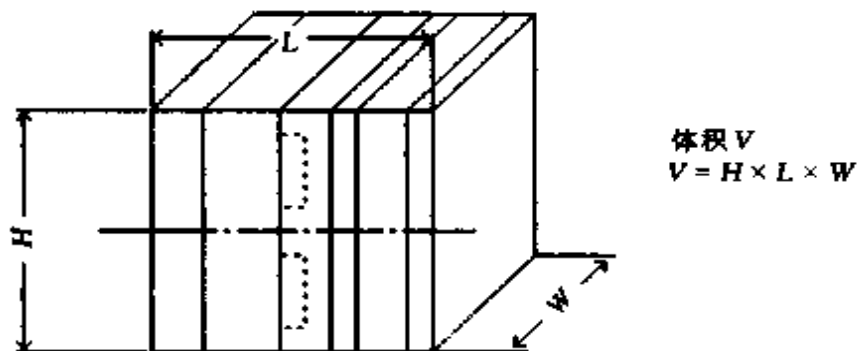
图 20-15 恰当吊孔位置的计算图示

吊杆（通常用冷轧钢）必须有足够的强度，使服役载荷低于其屈服强度，安全因子取 5 足够了。模具的号码和承重能力必须显示在吊杆上。这很重要，因为吊杆仅在模具维修时使用，模塑工可能不将其与模具保存在一起。所有的吊杆必须涂有“安全黄色”。装配图上必须标明吊杆。

要决定整个模具的 CG，设计人员必须采用合理的近似值。假定模具、模板和其他大的零件上的钻孔和空穴都是实心的，以简化决定 CG 的过程，下面是这些计算的两个图例。

在图 20-16 所示的“模具”上，要得到整个模具的质量 M ，简单计算体积 V ，乘以模具材料（一般为钢）的相对密度。CG 的位置在 $L/2$ 处。为了计算吊杆，要使用质量 M 。

在图 20-17 的例子中，一“组合模具”被分成三部分。用距离 L_1 、 L_2 、 L_3 来计算体积，每部分的体积（质量）被计算出后，CG 的位置就

图 20-16 模具整体质量 M 求解示意

可决定。如果一个部件吊起的角度与垂直方向不超过 5° ，这对于装卸已足够精确。（这段叙述是为了防止设计人员将时间花在冗长的计算上，因为，由此计算的结果对于装卸没有什么重要的价值）。

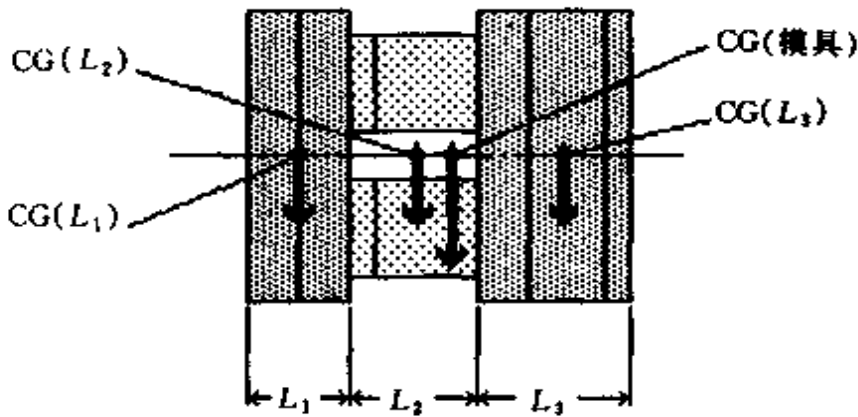


图 20-17 用模具每部分的体积（质量）决定其整个模具的 CG

20.5 注塑机上模具的安装

20.5.1 较大模具

这一节适用于大模具或每半模分开安装的模具。如果一副模具是分开安装到机器上的，可选择局部装配用的吊孔。

然而，对上述的“ 5° 规则”有一个例外。当模具或半模被推向静压板时，定位圈（或其他定位零件）必须进入压板的配合孔。如果角度太大，模板的底部或顶部边缘会首先碰到压板，阻止定位圈进入（见图 20-18）。在这种情况下，需要更确切估算真实的 CG 位置，并提供合适的吊杆以避免不安全操作（如用手迫使模具进入正确方位）。

注意图 20-18 所示的吊角（如不能避免）比它在别的方向上（顶部边缘先碰到压板）要好些，因为这样能让安装者，利用头顶的吊车从顶部将模具推到压板上，这比用手从底部推要安全。

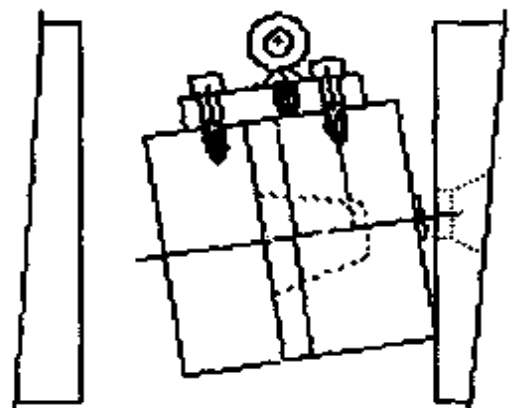


图 20-18 安装时吊角太大，模具底边首先碰到压板

20.5.2 快速换模器

在通过降低模具进入机器的高度来进行快速换模的设计中，重要的是能使模具几乎垂直地悬挂，以保证压板合拢时模具装配凸缘稳定地进入。

较小的模具常两半搭接在一起（锁紧）吊进机器，对于半模安装，吊孔的位置必须能使定位圈照直进入压板。

20.6 搭 祥

任何一个单独靠锥体来定位的模具，要是没用紧配合的定位销，提升时其底部就会打开。这会引引起锥面和模腔、模芯的表面的破坏，特别是薄壁制品模具。这种情况，如图 20-19 左图夸张表示的那样，提供搭祥能够避免。

虽然大多数模具有定位销，可避免模具打开，但对于运输和装卸提供搭祥还是很好的做法。这也适用于吊杆不能直接装在模板上，而必须使用支柱留出空间的模具，在这种情况下紧固吊杆的螺栓可能发生弯曲（如图 20-19 右图）。

为所有模具提供搭祥是很好的做法，值得大力推荐，同时也应在模具上留有恰当的位置，当搭祥不用时能存放在此，以便下次使用时能方便地得到。

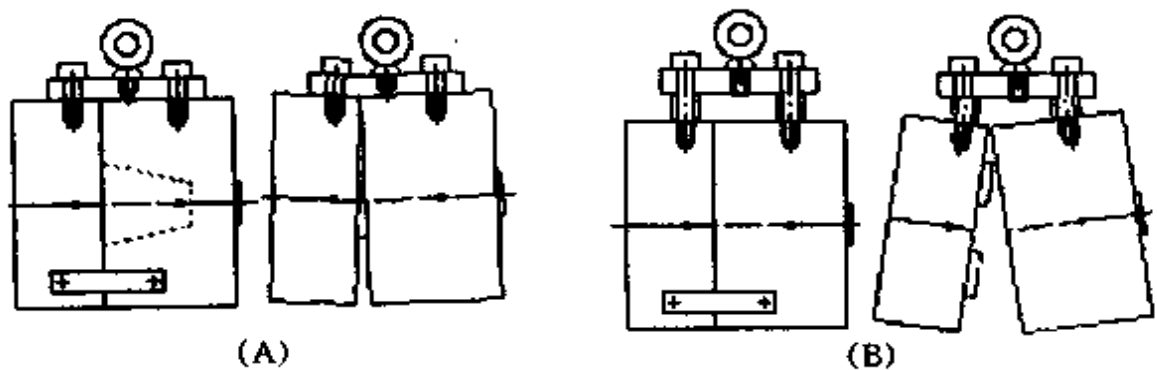


图 20-19 防止模具打开的搭祥

(A) 搭祥（左）防止锥度定位（右）的模具打开；(B) 搭祥（左）

防止吊杆安装在支柱上的模具打开，螺栓会折弯（右）

搭祥必须总放在模具的侧面，当安全门打开时，从操作者侧面和模具背后皆可拿到，注意不要将搭祥放在模具顶面或底面，在此，可能将操作者置于不安全处境下。

20.6.1 模具维修的搭祥

有一些模具，当被安装到机器上的时候，仍必须接近模板之间的某些部位。特别需要能够接近的部位有：

①热流道元件，通过从歧管模板上分离模腔模板来获得接近注道、喷嘴、电热圈、热电偶等的通道，以便对其进行检查、清洁或更换；

②模芯基座锥体，这里是脱模板座，通过从模芯模板上分离脱模板来提供通道，以便对排气孔等进行清洁；

③活动模腔模具中的模腔基座锥体，也出于清洁目的，通过从固定模腔的垫板分离（活动）模腔模板来提供通道。

作为安全预防措施，如果有两块（或多组）上述例子所列举的模板必须被分离，而模具被打开，取走了保持模板在一起的螺丝，就必须附有搭祥，以确保在螺丝取走后，已松开的模具部分不会无意地与模板分离（本来是靠螺丝使它们固定在一起的）。当模具在机器上时，这些搭祥必须很容易接近，且不隐藏（如在拉杆的后面）。

“搭接过程”如下：

①搭祥装在模具上要取走螺丝的一侧（如静止侧）。

②模具打开，固定模板（或模板组）的螺丝被取走，搭祥将组零件固定在一起，不存在无意分离的危险。对于活动的模板，如脱模板和活动模腔板，要取走的螺丝可能是行程限制器、弹簧复位机构和固定模板于驱动器上的螺丝。

③模具再次关闭，这时，搭祥在模具静止侧被松开，重新安装用来连接模具打开时将被移开的那部分模板。

④当模具完全打开时，为便于接近要求作业的部位而分开的模板将完全分离，搭祥则防止它们从模具的运动侧无意的脱开。

要重新装配模具，搭祥的操作过程反过来：

①闭合模具；

- ②变换搭祥位置并扣紧；
- ③打开模具；
- ④插上并紧固所有螺丝；
- ⑤去掉搭祥。

如果可能，应使搭祥固定在模具上的一个合适的“位置上”，以至它们不被弄丢。如果它们留在模具上，每个搭祥应由两个螺丝来固紧，确保在模具循环中不会松开。

所有的搭祥必须刻有模具零件号或模具号，做到不用时单放，能够容易地判别。在装配图上也要标明。

简图（图 20-20）显示了移开模板接近热流道注嘴的几个步骤。要使整面拉开，不发生翘起，搭祥必须成对使用，与模具中心径向相反。一般两个搭祥足够了，对于重的模具，需要 4 个搭祥，搭祥的大小与移动的模板相适应。对于仅靠拉杆装配的模具，应该安排好搭祥的位置，使模具在落入注塑机中时，不必拆去搭祥或拉开拉杆。

注意：一定不要在模具操作过程中要分开的两模板上放置搭祥（例如在移动模腔系统中，模腔和流道歧管模板之间，或者在脱模板和模芯固定板之间）。这道理可能是明显的，但容易做错。

如果两个位置的距离一样，搭祥有两个孔就够了；距离不同，搭祥必须有三个孔，以适应不同的距离。如果搭祥还要用来稳固另一个模板，如脱模板，就需要另加一个孔。

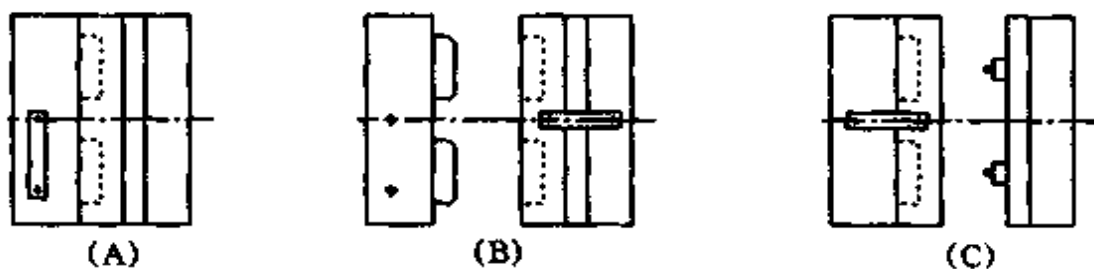


图 20-20 使用搭祥达到接近热流道注嘴的步骤

- (A) 模具闭合，搭祥停放其上；(B) 模具带着固定模腔板的搭祥打开，可以接近螺丝作业；(C) 模具再次闭合后，固定模腔板于移动模板上，再次打开时就可接近热流道系统

第二十一章 气体和油压驱动器

21.1 气缸和活塞

气体驱动器常被用在模具中需要运动，但又不能通过如下方法获得的地方：和模具上的凸轮或连杆运动机械连接；使用弹簧作用。气体驱动器不像使用弹簧那样需要预载，而预载往往是不希望的和不安全的（如，弹簧可能抵消建立在机器上的模具保护系统的作用）。

对于驱动器，通常是气缸静止，活塞动。但是，偶而也有活塞静止气缸动，两种情况下的力是同样的。由气缸和活塞产生的力 F 等于受压面积 A 乘以气缸中气体压力 P （图 21-1）。

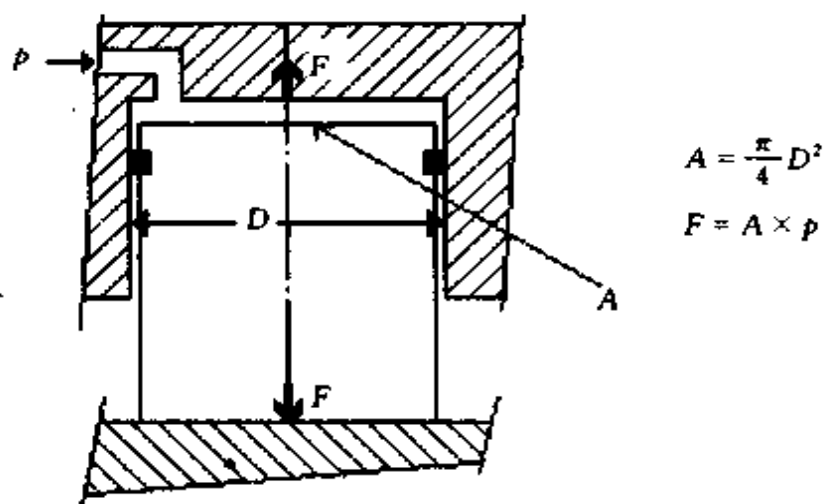


图 21-1 气缸和活塞产生力的示意图

21.1.1 单作用驱动器

在图 21-1 所示的例中，活塞只能在一个方向作用，返回必须用另外手段解决，只要 P 保持，就产生一个永久的力 F ，类似于弹簧。这应当说明弹簧的力随着压缩而增大，但对于“气体弹簧”，在给定气体压力下，整个行程上力是恒定的。

如果仅需要在规定的时间内产生力,气体供应能通过开关控制。如需要两个方向的力,就要用双动气缸。

21.1.2 双动驱动器

当双动驱动器的空气从杆的末端驱动活塞时,在活塞面积 A_1 和杆子面积 A_2 之间的有效面积是不同的。返回力 F_r (在杆子末端) 比作用在气缸盖末端的力要小 (图 21-2)。有时希望有这种差异;有时,需要使两边力相等,在气缸盖末端附加一个“杆端”,以使活塞两边具有相同的面积。

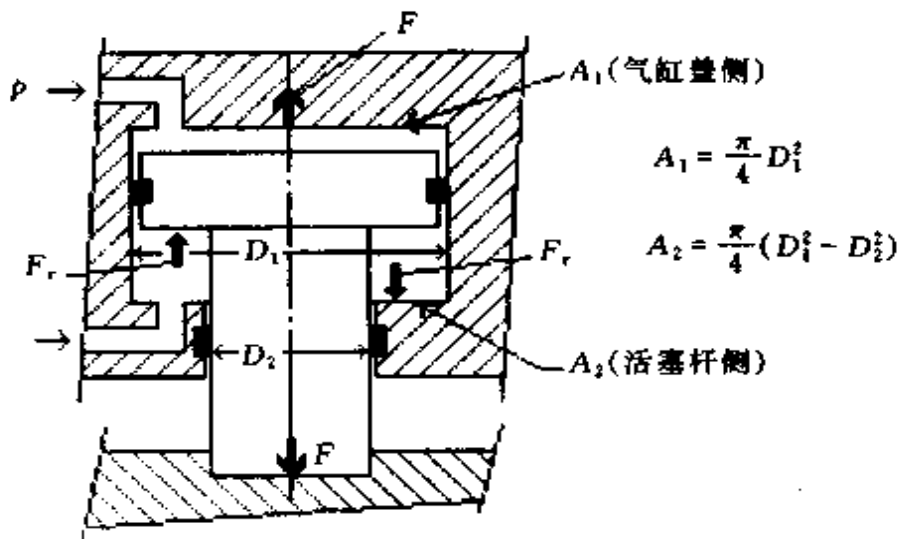


图 21-2 双动驱动器产生力的示意图

21.1.3 力 F 建立的速度

气缸内的空气压力由管路压力逐渐建立,取决于通向模具的压力降和控制气缸进出气的阀门及阀内气体通过量的大小。空气管路的平衡是重要的,由于所有同时作用在一个部件(模板)上的气缸必须同时得到相同的空气压力。换言之,从控制阀到所有气缸的距离以及管内的阻力(障碍、弯曲等),都须尽可能相等(平衡)。

如果空气管路不平衡,先受压的活塞将超前别的活塞推移,能够造成模板的翘起和卡死,要注意可能有“急动”的动作。如果“急动”运动不可避免或接受不了,则必须选择油压驱动器。

如果需要快速驱动,压力降必须尽可能减少,这需要从气体供应源到控制阀以及控制阀到模具,选择较短和较大直径的管路(管道、软

管), 在模具中也应加工足够大的气体通道并提供较大的阀门。另外一个加速气体驱动器运动的方法是加速气缸内的排出, 这能通过接近气缸的位置安装快速排气阀来实现, 用这个方法空气不必通过控制阀返回和排出。

图 21-3 表示了一个三通布置的典型例子。当线圈通电, 变换阀槽导致气缸内的空气跑掉, 活塞上的力卸掉, 这样外部的力(机械的、液压的等)能将活塞推回; 当线圈断电, 阀上的弹簧改变阀槽回到所示位置, 气缸受压, 活塞向前移动, 这可从图 21-3 所示三通阀可能的布置之一中很好地理解。

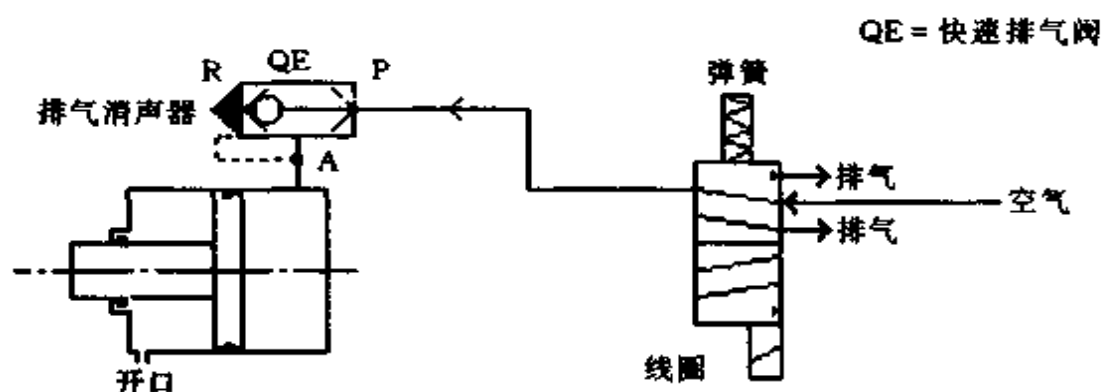


图 21-3 典型三通电磁阀门的布置情况

对于快速排气, 空气压力打开 (ON), 快速排气阀中的单向球阀 (图 21-3 所示) 或单向盘阀关闭; 当空气压力关掉 (OFF), 气缸内剩余的压力顶着阀, 让空气走掉而无需通过控制阀返回。

三通阀常用于图 21-3 所示的情况, 即作用在模板或其他模具部件上的活塞一边的力, 在每个循环中 (从某时到某时) 都必须去除。三通阀也可以代替两通阀用。在 ON 位置, 空气接通, OFF 位置, 空气关掉 (如气体排除、清洁出气口、放气等)。阀可自动循环也可通过按钮人工控制。所有的气阀 (2-、3-或 4-通) 结构类似, 被用于关闭特定的气门和连接供气、排气和气缸管路, 以适应需要。

当空气提供打开和关闭力 (如对阀门) 时, 使用 4-通阀布置, 只要阀一通电, 阀门就打开; 断电时, 阀弹簧复位使空气与活塞的另一边接通, 阀门关闭。在图 21-4 中, 表示了 4-通阀在弹簧推动阀槽, 空

气被供应到气缸头部的位罝。通过快速排气阀，活塞杆一边的空气被排出。当线圈通电时，阀槽就会改变，活塞杆末端就会承受空气压力，气缸头部排气。

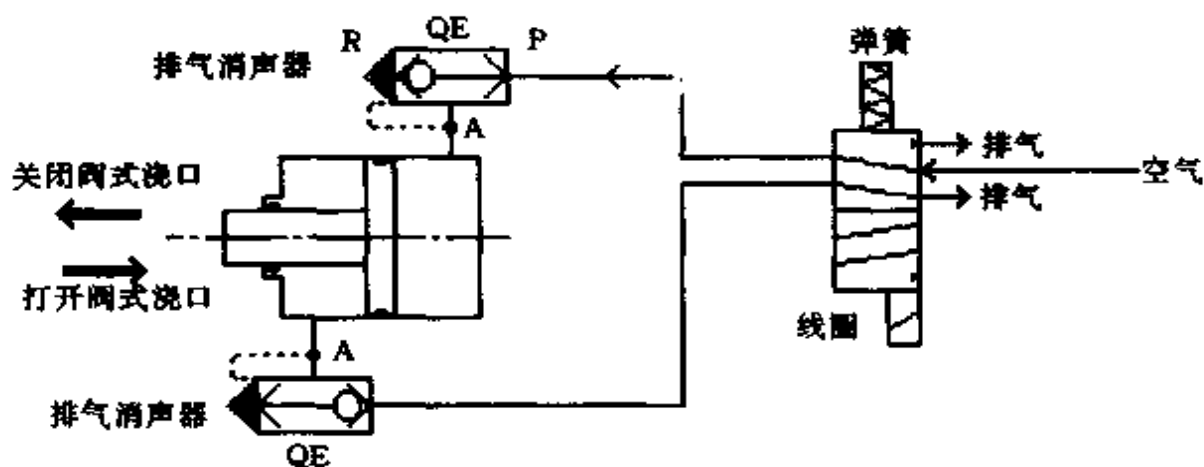


图 21-4 典型 4-通电磁阀线路

在某些应用中，不是弹簧驱动阀槽复位，也有可能是使用第二个线圈，在第一个线圈断电时，第二个线圈通电。对于阀的应用有相当多的可能情况。以上所述，只是一些非常基本的图示，要取得进一步数据，设计人员可与阀供应商讨论。

在最常用单动（3-通）空气系统中，仅需要一条管路，置于控制阀和驱动器之间，双动驱动器需要 4-通阀和连驱动器的两条管路，在模板或其他零件上需要钻出更多的气体通道。但是在任何一个情况下，仅有一条管路连接工厂压缩空气系统到控制阀，“回”气被排到大气中。

采用以下措施往往是十分有利的，尤其是在有必须快速动作的大气缸的情况下：安装控制阀恰好在模具附近或其上，对阀使用大的供应管道（例如软管），另外，有时可安装压缩空气储存器（风包）靠近阀进气口，在不需要空气时，由管路压力控制风包气体供应。这样增加了气体供应管路的即刻容量，以在最短的时间内提供所需的气体量。

21.1.4 密封件

总之，应使用对于轴向运动（T-密封，GLyd™圈等）质量好的密封件，在另外一些特殊的情况下，因为空间的问题，必须要出现 O 型

圈。这种情况下，密封件生产者能够帮助避免错误使用密封件。

O型圈最好应用于静态场合（如，当两个表面之间长时间挤压，以防止气体或流体通过）。在动态情况下，一个表面相对另一个表面运动的地方，O型圈绕在它们的槽中密封两表面，将很快被破坏，尤其当运动大于1mm，且圈没有或者润滑很差的情况下。对于小运动，在圈恰好能“摇动”的地方，O型圈可以使用，甚至在干燥的情况下也可使用。

气缸壁与活塞、活塞杆孔与活塞杆之间的间隙，通常可以比密封供应商推荐的稍微大些，这是根据经验的，不会影响密封件的寿命。这经常可避免由失准引起的气缸内径和活塞杆的擦伤和损坏（如，模具长时间操作后，由导销衬套磨损引起）。然而，密封位置的直径、密封槽的宽度以及沟槽的形状和精整必须对制造人员作技术要求。

21.1.5 气缸的位置和数量

气缸能被用于模板的前移，和模板在其他方法前移（如注塑机顶杆）后的复位，也可以同时用于这两种运动。一般，气缸应对称排布在需要力的地方，如果一块模板要移动，最好是安排4个气缸，按长方形分开排列，这样可确保模板的平行运动，并使模板的偏离量为最低限度（图21-5）。

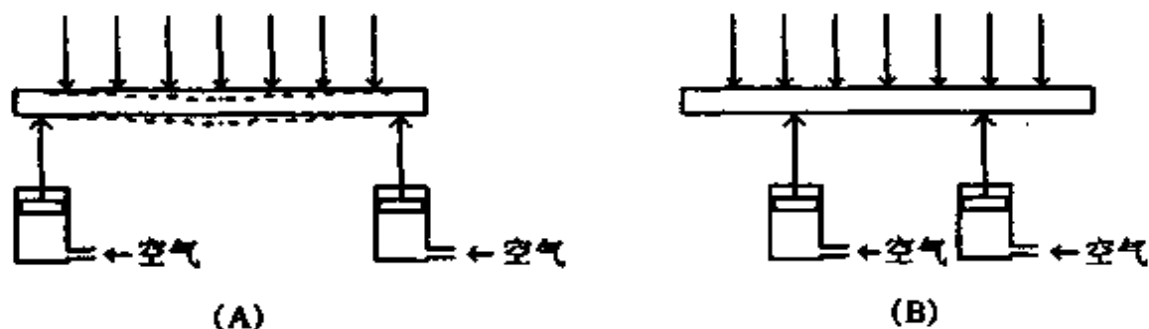


图 21-5 气缸排布情况

(A) 气缸排布宽产生大挠度；(B) 气缸排布紧减小板的挠度

对于一个模具中的气缸的数量没有限制，其位置和数量取决于应用场合和所需的力，可由设计人员做出判断。

21.1.6 定位

活塞杆和活塞不能用作移动模板的定位元件（见第17.5节），必

须要有一个导向系统，如导销或夹条，用于这个目的。

21.1.7 缸壁和活塞杆的精整

要保护密封件不要过多磨损，密封件表面的精整必须按密封件生产者的规定，这个情况必须在模具零件的细节图上标明。

21.1.8 要求的力

很难决定由气缸和活塞产生的力实际需要多少，所需的力取决于许多因素和实际情况。

例如：如果需要力将成型的制品从模芯脱掉（如，在模块静止的一半上），它取决于：

- ①侧壁の出模斜度；
- ②模具表面的精整；
- ③倒陷的出现和严重性；
- ④注入模具的材料（与模具钢的粘着和收缩）；
- ⑤顶出时产品的温度（热比冷容易伸展脱出倒陷和精整不良的模塑面）；

⑥脱模制品的数量。

如果需要将模具镶件从其注塑时的位置移出，它取决于：

- ①与配合部件的配合楔角；
- ②该模楔的预载；
- ③表面精整状况。

按照常规，气缸不应用来移动零件，脱离预载（楔块）位置。卸载的力难以预料，气缸不可能产生足够的力（常在受限制的空间内），且可能产生“急动”或根本不动的情况。

需要的力也受到顶杆的操作间隙影响，尤其在顶杆数量大的情况下，设计人员必须要估算所需的力，或者从非常有经验的设计人员和模具技师那获得数据。

对于更大的力，需要大气缸。在决定气缸尺寸和设计之前，重要的是要得到动模板或其他零件需要力的正确估计，气缸的尺寸可能影响模板尺寸（进而模具的尺寸）。

对于获得的力也有限制，实际上所有的模塑厂，空气压力约是

0.6~0.7MPa, 特殊情况下, 可能得到 0.8MPa。因而, 对于模具设计人员来说, 查明工厂里可获得多大空气压力很重要。

21.1.9 排气噪声

空气驱动器在工厂里产生相当大的噪声问题, 要减低噪声, 应在气阀的排气口使用消声器。

21.1.10 空气驱动的成本

成本因素常在模具设计阶段被忽略, 压缩空气相对比较贵, 不仅是能耗, 还有供应的能力。例如: 如果一个模具需要 4 个气缸, 整个体积为 16.39cm^3 , 模具每分钟循环 10 次 (注射), 这个模具将需要 $16.39\text{cm}^3 \times 10 \text{次}/\text{min} = 163.9\text{cm}^3/\text{min}$ 的气体。在小型工厂中, 这个量对其气体供应能力可能已是很大的一部分。

也鉴于这个原因, 要恰当地估计所需驱动器的力, 没有必要都设计成大气缸, 尤其是对于快速循环模具。气缸所需的气量可能是模具其他所需气量的总和 (常常很大, 例如: 用气帘或喷气来顶出或吹出制品)。

21.2 油压驱动器

选择油压而不是气压驱动器有三个基本优点:

- ①可能比气压提供更多的力;
- ②模具部件的平稳运动很重要;
- ③很好的活塞速度控制, 这对于气缸是很难做到的。

只要有可能, 应该使用市售的液压缸。

油压驱动器应在模具外使用, 最好在模具旁边, 这样可以:

- ①减小油渗漏沾污模具和制品的危险;
- ②减小万一油接触到热的模具部件着火的危险, 如热流道零件、注道棒等。发生这种情况的可能性不大, 然而, 防止万一, 很好规划, 提供“免于保养”的油缸很重要。

应当注意, 用于生产食品和药的模具上的驱动器油缸所用的液压油, 必须符合特定要求。这些驱动器选择的密封件等也必须与其油品相适应。

驱动模板的油压驱动器的数量和排布与上述气压考虑的一样。由于获得的油压通常比气压大得多（高达 20 倍），油缸比产生同等力的气缸要小。

常常指望控制阀前头的减压阀保证压力，然而，还要建议选择适当小的油缸，充分强的模板，这样即使在减压阀压力调整不好或失效的情况下，驱动器产生的力也不会造成破坏。

大多数注塑机具有的系统压力约 14.22MPa，驱动器需要的油量非常小，压力油能很容易从注塑机压力系统抽出来，而不影响机器。如果自机器上产生液压，就需要一个压力调节器。

一些模塑工使用一个分开的液压油泵，压力约 3.45MPa。在这种情况下，提供所有部件较低的压力，这可能比使用高压驱动器和高压软管、附件及阀还要便宜。

从设计的观点来看，液压系统的缺点是：在每个控制阀和它相关的驱动器之间需要两条管路（进压和返回），不管是单动或双动（3-路或 4-路阀门）。对于控制阀和减压阀，也总是需要有油箱管路的返回。

21.2.1 液压油管路

对于液压驱动器，交叉钻的孔必须用合适的钢（管）塞子堵上，而不是标准的用于水或气体通道的黄铜塞子。在驱动器和阀门之间附属于模具的管系，必须用合适的压力等级的钢管及附件，移动软管也必须具有合适质量和压力等级，类似于用于注塑机上的。

所装的管子必须标注在模具装配图上，通水软管或附件绝不能用于液压管路。尽管因为油量少、压力高和不可压缩性，还应当进行油管路的平衡，但也不如气路那么重要。对于油压操作者来说，不存在噪声问题。

21.2.2 行程

不像气体驱动器，在前进行程中油压驱动器通常设计到油缸底端，但这并不是标准，供应商提供的标准行程长度通常能在设计中采用。

21.2.3 气体的放出

每个在模具上的液压缸在其最高点必须有个“放气孔”，也就是一个小孔，一般用一个球和螺丝做的油封或者特殊的放气螺丝，放气孔

允许缸内的气体排出，它也允许在模具使用前为驱动器注油。

21.2.4 与注塑机的对接

所有驱动器都需要有行程信号接口与电子控制仪连接。以显示行程的位置。

21.3 模具安全

当在模具上使用气压或液压来驱动模板或其他移动部件时，设计人员有责任保证切断电源和/或安全门打开时不会伤害操作人员。设计人员必须参照 ANSIB151.1-1985（北美）和 EN201（欧洲）标准中，有关注塑机动力线路联锁的规定设计。

气路对于机器保护系统，通常是不联锁的，能不考虑安全门位置进行操作，有时也希望这样。当门打开时，在压力下（充气）没有动作。

在所有这些情况下，必须安装一个清楚可见的警示牌，正位于模具上面，警告操作人员即使前门打开，模板（或其他部件）也有可能移动。大多数机器在后门打开时关闭电机和卸空液压蓄压器。当液压供应为零时，任何靠液压升起的驱动器都能滑下（靠重力），这可能产生危险应当防护。

任何可能出现紧急情况的地方都应该用合适的（可伸缩的或重叠的）护板来保护，以致于在出现意外的运动时保护操作人员。防护装置和警示牌位置必须标注在模具的装配图上。

第二十二章 设计人员的规则和计算

下面的计算对每种模具都需要。假设主要根据经验，奉劝设计人员去寻找先例，如类似模具试验后的记录，或者和有更多经验的设计人员商讨，可能获得数据。如果无先例，设计人员必须寻求类似的应用和采用常识。在不得已的情况下，进行正式设计（可能冒险甚至失效）之前，需要一个实验模具获得一些问题的答案。

22.1 产品的投影面积 (A_{pp})

投影到平面的制品面积常认为是与合模运动呈直角方向的面积，这被用来计算注射时紧固模具所需的压紧力，或者保持侧型芯或颈圈夹紧所需的力。下面所有例子见图 22-1。

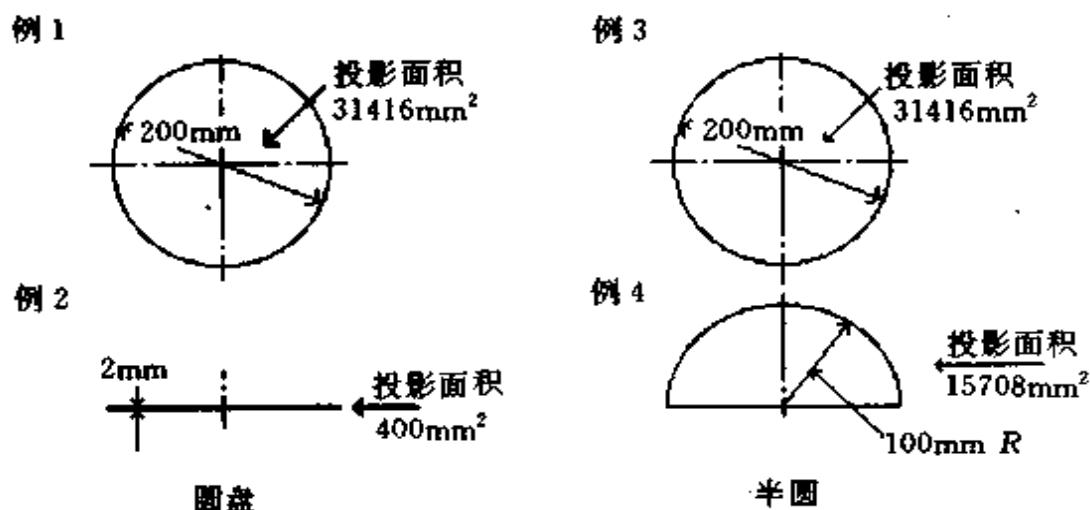


图 22-1 产品投影面积示意图

例 1: 一个直径 $\Phi 200\text{mm}$ 圆盘的投影面积是（在压紧方向）

$$\frac{(200\text{mm})^2 \pi}{4} = 31416\text{mm}^2$$

例 2: 如果圆盘 2mm 厚，投影边的面积是（与压紧方向呈直角或在垂直方向）

$$200\text{mm} \times 2\text{mm} = 400\text{mm}^2$$

例 3: 如果产品具有半球形状, 直径 200mm, 压紧方向的投影面积 A_{pp} 与圆盘相同, 即是 31416mm^2 。

例 4: 在垂直方向, A_{pp} 仅是这个数的一半即 15708mm^2 , 这是明显的, 但是常不被理解。

规则: 在产品轮廓内, 投影面积不受其外形 (形状) 影响, 除了轮廓内任何开口的面积可从整个面积中减去。

规则: 理论上, 对于这些计算, 应使用钢的尺寸 (即是制品尺寸加上允许收缩的尺寸), 而不用制品尺寸。然而, 由于差异不超过约 2%, 而且注塑期间注塑机合模力总要充分留有余量, 防止溢料; 模具内塑料的压力仅是估计的, 肯定不比 2% 严格, 因此使用制品的投影面积一般是可以接受的。

22.2 钢板的合模沿口面积 (A_{ss})

钢板的合模沿口面积是这样的部位, 即当模具合模闭合时, 模腔和模芯两半接触的地方, 这通常被称为分型面 (P/L), 钢板的实际合模沿口面积见图 22-2。

22.3 合模力 F_c

要使模具注射时紧固 (没有溢料), 合模力 F_c (由注塑机施加) 必须要大于注射压力 P 作用在产品投影面积 A_{pp} 上产生的分离力 F , 这个压力 P 总是小于在注塑机注嘴处测得的压力:

$$F_c > A_{pp}P \quad (22-1)$$

$$\text{建议的算法是: } F_c = K A_{pp}P \quad (22-2)$$

A_{pp} 能从产品图上计算出 (见 22.1 节), 因子 K 必须大于 1, 以避免模具溢料。在模具设计前, K 可以假定为 1.2 (保守)。

压力 P 必须假设, 它取决于许多因素, 如注射压力、速度、温度

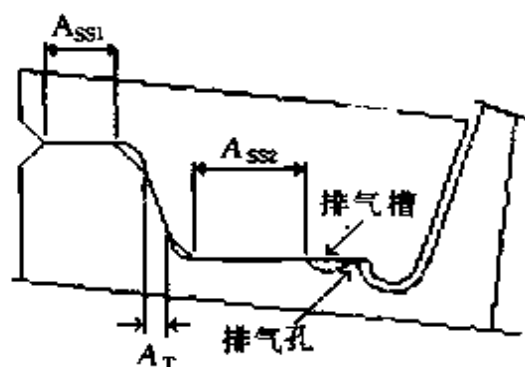


图 22-2 钢板的合模沿口面积示意

注: 仅用 A_{ss1} 和 A_{ss2} 计算整个投影面积; 省略半径和倒角面积; 省略斜锁紧装置的投影面积 A_T

和塑料的粘性等。压力 P 还会随着充填方法的变化而变化，要是缺料充填就比较低，制品必须被完全充满时就较高，充满是要严格地重现模腔表面的精整特征（例如唱片沟槽中的“信号”等）。

实际压力 P 基本上根据类似模具的经验。一般计算时，可假设 $P = 360\text{kg/cm}^2$ (5000psi)●，有一些模具可能大一些或小一些。

当模具合上时，钢板的合模沿口面积 ($A_{\text{合}}$) 必须足够大，以避免表面崩塌。钢越硬，风险越小。

22.4 疲 劳

由于合模力 F_c 常常是百万次循环，必须用钢的疲劳强度，而不是其最大压缩强度 S 。虽然一般机器设计的钢的疲劳强度 S_f 假定为其屈服强度的 10%~20%，但模具最好是用比较保守的值，通常对于硬模具钢 $S_f = 420\text{kg/cm}^2$ (6000psi)，这个数值一般是为了模板等设定的。如果第一次设计计算， S_f 值太高，合模沿口（分型面）面积必须增加；如果不可行，必须在模塑区域之外，提供形状合适的承载垫块以承担分型面上合模力施加的力，注意如果是硬垫块置于软模板上，必须用较小的值。

$$A_{\text{合}} \geq \frac{F_c}{S_f} \quad (22-3)$$

例：给定一圆形 PE 容器的 4 模腔模具，OD（外径）=10cm，假设注射（模腔）压力 = 360kg/cm^2 ，模具材料 H13， $S_f = 420\text{kg/cm}^2$ ，收缩 = 2%， $K = 1.2$ 。

计算（圆形）：OD = $10\text{cm} + (10\text{cm} \times 0.02) = 10.2\text{cm}$

$$A_{\text{腔}} = \frac{\pi}{4} \times (10.2\text{cm})^2 \times 4 = 81.7\text{cm}^2 \times 4 (\text{模腔}) = 327\text{cm}^2$$

$$F_c = 327\text{cm}^2 \times 360\text{kg/cm}^2 \times 1.2 \approx 141000\text{kg} \text{ 或 } \approx 141\text{t}$$

$$\text{需要 } A_{\text{合}} \geq \frac{141000\text{kg}}{420\text{kg/cm}^2} \geq 336\text{cm}^2$$

上例中 $A_{\text{合}}$ 是根据 $K = 1.2$ ，但仅能提供 300cm^2 ，低于要求的

● $1\text{kg/cm}^2 = 9.80665 \times 10^4\text{Pa}$ ； $1\text{psi} = 6.894757 \times 10^3\text{Pa}$ 。

336cm²，设计者必须为 300 重新校验 K ：

$$420\text{kg/cm}^2 \times 300\text{cm}^2 = 126000\text{kg}$$

这样，
$$K_{\text{实际}} = \frac{126000\text{kg}}{117700\text{kg}} = 1.07$$

由于 $1.07 > 1$ ，设计可以接受；如果结果 $K < 1$ ，合模沿口必须重新设计（增加）和（或）加垫块。图 22-2 显示了面积 $A_{s,1}$ 和 $A_{s,2}$ ，适用于整个情况。总之，这两个面可以有任何形状，它们通常按照产品轮廓的近似形状计算。

对于受载部位的保守做法是确保在短时间操作后排气孔不会压坏。从经验来看，为简化计算，斜座的面积也可忽略。部分是因为一段时间操作后斜面将磨损，且可以假定其磨损后只承受极少的合模载荷（要进一步讨论疲劳，见第十八章，金属疲劳）。

22.5 模块的压缩

钢是可压缩的，可压缩性的测量是用弹性模量 E ，用 MPa 或 kg/cm² 或 psi 单位。所有的钢具有近似相同的模量 E ，不考虑硬度或成分，例外的仅是 WC 硬质合金，具有的 E 值比其他钢的 2~3 倍。

全部合模载荷加到模具上之后，这种可压缩性会影响模具零件的尺寸。这在标注薄壁容器底部尺寸时或对于非常小的差异就可能使模具零件产生过高应力的地方必须考虑。

对于简化计算方法，参照图 22-3。当模具被合上时，假定一个内外直径分别为 D 、 d 和高度为 h 的“内胎管”，受到合模力 F_c 压缩，尺寸 B （夹紧后）比原始不加载的尺寸 B_0 要小（ f 量）。为能补偿模腔内交叉钻孔的削弱影响， f 的计算量应增加约 15%（这是一个经验系数）。

制品的总高度和自容器开口端的其他需要精确尺寸的距离，也必须反映模块的压缩量 f 所引起的尺寸减小。如果外部是方形的，正像组合式模具中方形或长方形的块或其他别的形状，模腔块的整个投影面积减去制品（包括排气孔）投影面积，用于受载计算。这会增加受压缩的面积，因而 f 减小。模具零件尺寸的确定，必须考虑压缩量 f 。

尤其对具有薄底的制品。

不要混淆单位，公制： $E = 205900\text{MPa}$ (2100000kg/cm^2)， F_c (kg)， d h (cm)。

美国： $E = 30000000\text{psi}$ ， F_c (lb)， d h (in)。

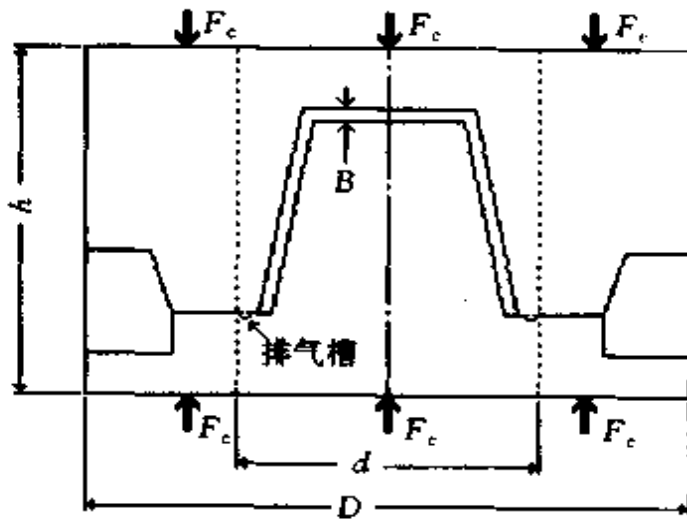


图 22-3 容器模具中模块的压缩
注： B 为夹紧后模腔与模芯之间的间隙；

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2); \text{ 压缩量 } f = (F_c h) / (EA)$$

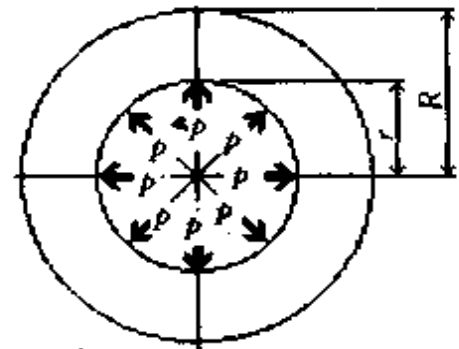


图 22-4 薄壁管状模腔的圆周应力和扩展

22.6 圆周应力和模腔扩展

圆周应力和模腔扩展主要适用于薄壁、管状的模腔 (图 22-4)。下面的公式是近似的，但适合于模具设计：

$$\text{圆周内应力: } S = P \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \quad (22-4)$$

$$\text{圆周外应力: } S = 2P \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \quad (22-5)$$

这里 S 是应力， P 为压力， R 是管状模腔的外部半径， r 是内部半径。由于压力 P 、 R 和 r 都要增加，内部半径 r 的增加：

$$f = P \frac{r}{E} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - V \right) \quad (22-6)$$

$$\text{外部半径 } R \text{ 的增加: } f = P \frac{R}{E} \left(\frac{2r^2}{R^2 - r^2} \right) \quad (22-7)$$

这里 V = 钢的泊松比 ($V=0.3$), 单位如下:

公制: $E=205900\text{MPa}$ (2100000kg/cm^2), P 和 S (MPa 或 kg/cm^2); R 和 r (cm).

美国: $E=30000000\text{psi}$, P 和 S (psi); R 和 r (in).

压力 P : 如前面假定的 35.3MPa (或 360kg/cm^2).

考虑扩展, 必须计算 S , 保证壁承载厚度足够, 要使模腔材料具有长的寿命, 应力 S 必须小于疲劳应力 S_f . 因为模腔的扩展 (加载) 是周期性产生的 (即每个循环), 疲劳必须考虑.

模块布置后, 设计人员必须计算应力, 不但要保证钢件有足够强度使其扩展减至最小, 而且也要防止模腔爆裂 (表 22-1).

表 22-1 一些钢的最大拉伸强度 S .

| 钢 | MPa | kg/cm ² | psi |
|----------|------|--------------------|--------|
| P6 | 1110 | 11600 | 165000 |
| AISI4140 | 1500 | 15500 | 220000 |
| H13 | 1710 | 17600 | 250000 |

在图 22-5 所示的例子中, 应力正好低于所选模具钢的 S_u 的 10%, 但也要注意模腔内侧要扩展 $f_r=0.02\text{mm}$ (0.0008in), 这可能足以使

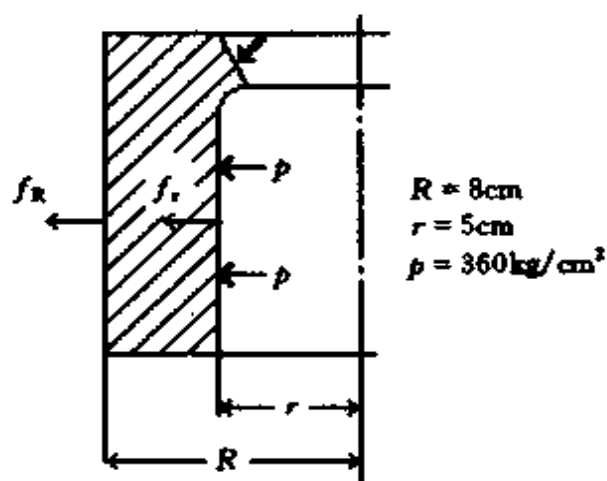


图 22-5 圆周应力和扩展会使塑料溢料出现在箭头所指的间隙处

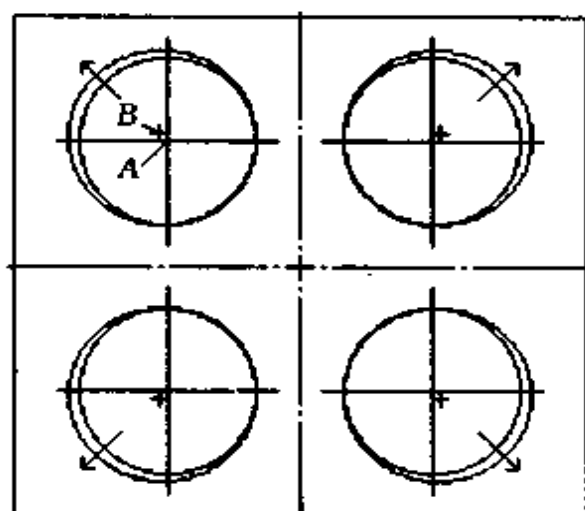


图 22-6 镶进模板的 4 个模腔的扩展
注: 箭头指示扩展方向; A 为原中心; B 为扩展后的新中心 (大大夸张)

塑料溢进箭头所示的间隙中，或者可能使斜座失去与模具配合件的配合作用。

当模腔镶入模板，模腔“圆筒”的扩展受周边材料制约而稍微减少。然而，在镶块更接近模板边缘的方向上，模板自身要扩展。在压力下，镶块的中心将移出原模板上孔的中心，图 22-6 表示的就是这个运动情况。重要的是要考虑这个运动，特别是在高的注射压力下。

如果保持模芯固定，而模腔相互离开移动，制品的壁朝着模板中心变薄，在箭头方向变厚，使用浮动模芯可克服这个问题。

22.7 弹 簧

弹簧随着时间的延长会疲劳或折断，特别是承受过大的应力以及暴露在高温下。就弹簧寿命而论，行程总量和预载不应该超出弹簧最大压缩量的 20%。如果需要大的操作范围，弹簧必须更长（图 22-7）。过载弹簧会经常引起模具损坏。应按照弹簧生产商推荐的值执行。

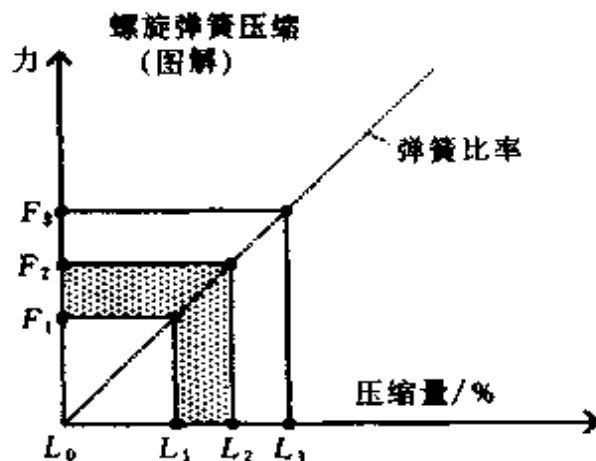


图 22-7 弹簧操作范围示意图

注： L_3 为最大压力 F_3 下的最大压缩量（绕簧接触或“实体长度”）；
 L_2 为 F_2 下长寿命的最大推荐压缩量（最大压缩量的 20%）；
 L_1 为产生最小力（预载） F_1 所需的压缩量； L_0 为没有压缩的弹簧（“自由态”）； $L_2 - L_1$ 为弹簧长寿命的作用范围

22.8 楔

图 22-8 表示 FR (与楔方向呈直角的力) 和 FW (楔方向的力) 的关系, FR 计算如下:

$$FR = \frac{FW}{\tan \alpha} \quad (22-8)$$

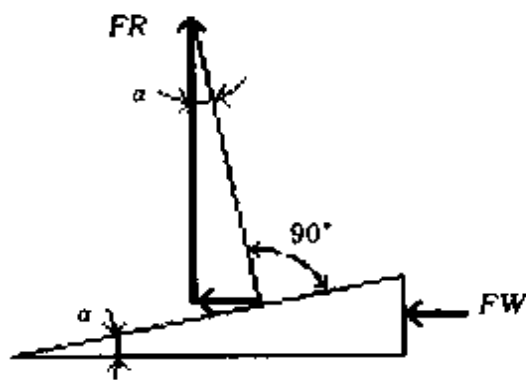
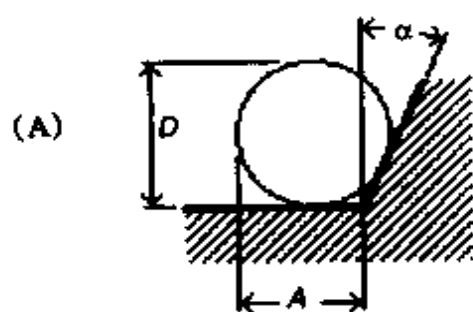


图 22-8 楔角和力 FR 、 FW
注: FW 为楔运动方向的力; FR 为与楔运动方向垂直的力; α 为楔角;
 $FR = FW / \tan \alpha$

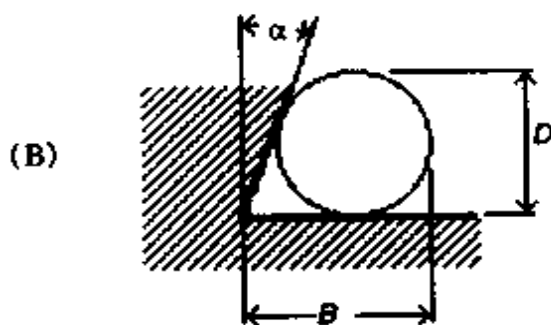
22.9 几个问题的计算

22.9.1 辘子或球体的尺度

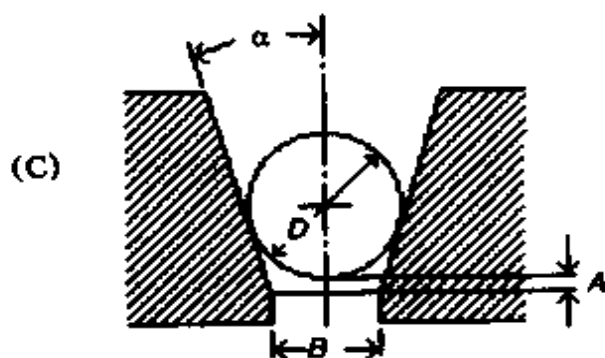
有关辘子或球体的内外斜度的尺寸计算见图 22-9。



$$A = \frac{D}{2} \{1 + \tan(45 - \frac{\alpha}{2})\}$$



$$B = \frac{D}{2} \{1 + \tan(45 + \frac{\alpha}{2})\}$$



$$A = \frac{D}{2} \left(\frac{1}{\sin \alpha} \right) - \frac{B}{2 \tan \alpha}$$

图 22-9 有关辘子或球体的尺寸计算
(A) 外斜度; (B) 内斜度; (C) 小的内斜度

22.9.2 棘爪

止动器即滚珠弹簧位于凹穴中, 滚珠进入凹穴的深度越深, 角度

φ 越小，弹簧产生的固紧力越大（图 22-10）。重要的是角度 φ 不要太小而使滚珠锁死滑块；滚珠进入的越浅， φ 越大，固紧作用也越小。

止动器偶然用来防止滑块松脱其位置。一般，不推荐使用，因为有人无意推开滑块就会带来危险，再者保持力通常不是很大，肯定不能绝对保证合适的位置。

止动器不应用来防止垂直运动，对于水平滑块，它们可以用，但要小心。

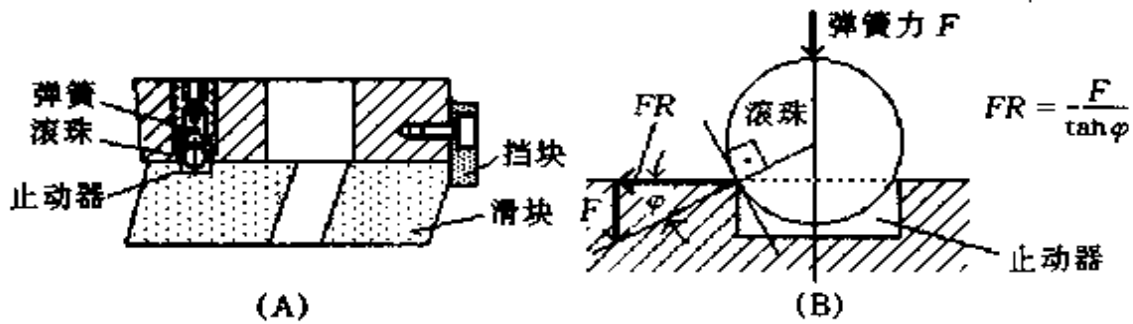


图 22-10 止动器的固紧力

(A) 滑块上止动器的截面；(B) 止动器上球细部和 φ 角上的 FR

22.10 导热性

导热性计量热通过材料传播的速度，是指在一定温度梯度（ $^{\circ}\text{C}$ 或 F ）下，在规定的单位时间（ h ）内，通过规定的截面（ m^2 或 ft^2 ）的热量（ W 或 Cal 或 BTU ）。

每种材料都有一个热导率。表 22-2 所示，是一些材料仅作参考用途的近似值。

应该理解表 22-2 所示的导热性数值，只是各种材料的相对导热性。例如，铍青铜导热性约是钢的 4 倍。导热性的准确数值会因每种材料成分的变化而有所不同，应当从供应商那儿获得，以保证精确的计算。

22.10.1 热膨胀

关于钢和其他模具材料的线膨胀系数值，见第 14 章。

表 22-2 各种材料的导热系数 K

| 材 料 | 导热系数 (近似值) | 材 料 | 导热系数 (近似值) |
|---------------|---------------|-----------------------|---------------|
| 银 | 360 | 不锈钢 (40%Ni) | 10 |
| 纯铜 | 350 | 钛合金 | 2~4 |
| 铝 | 270 | 玻璃 | 1.0~1.5 |
| 铍青铜 (取决于合金成分) | 100~250 | 塑料 (不烧掉或降解) | 1.0~1.5 |
| 黄铜和青铜 | 50~100 | 空气 (不移动) ^① | |
| 镍 | 50 | 隔热板 (石棉-水泥) | <1 |
| 铜 (低碳) | 40~50 | 隔热板 (Branden burger) | <1 |
| 铜 (合金), 淬火 | 10~30 | 隔热板 (塑料) | <1 |

① 空气是理想的隔热体, 通过空气的辐也会造成热损失, 即便如此, 还应考虑用气隙来隔热。

22.11 比 热 容

(一种物质) 比热容是给定物质升高 1°C 所需的热量与升高 1°C 同等量水所需热量的比值。在所有的温度下, 比热容不是恒量, 一般假定温度从 15°C 升至 16°C (62°F 至 63°F) 时测定。

比热容的数值见表 22-3, 对于树脂类是典型的数值, 特殊树脂的精确数值, 应向树脂供应商咨询。

22.12 加热器功率

22.12.1 管状加热器

加热器功率的最大值应限定为其表面积的 $10\text{W}/\text{cm}^2$ 或 $65\text{W}/\text{in}^2$, 这个数值适用于良好的散热条件, 也就是在加热器铸入加热体内或是压进热流道支管钢件的情况下。

当管状加热器放在沟槽内, 与其表面良好接触约 50%, 与其余部分表面接触不良或根本不接触时, 这时功率将很低, 仅为 $5\text{W}/\text{cm}^2$ ($33\text{W}/\text{in}^2$)。

22.12.2 圆筒加热器

如有可能应避免使用圆筒加热器, 主要由于加热器内热分布差, 难以取得向周围的钢材均匀传热的效果。而且还有机械的和隔热的及其

他问题，使它们更易于损坏。总之，它们比管状加热器的寿命短，但价格便宜，易于获得，如大多数供应商都有多种尺寸和功率规格，圆筒加热器通常表面功率约 5 W/cm^2 (33 W/in^2)。

表 22-3 典型的材料比热容数值

| 物 质 | 比热容, BTU/ (lb · F) | 物 质 | 比热容, BTU/ (lb · F) |
|-----------------------------|-----------------------|---------------|-----------------------|
| 铝 | 0.214 | 塑料 | |
| 黄铜、铜 | 0.094 | 聚甲醛 | 0.35 |
| 玻璃 | 0.194 | 丙烯酸 | 0.35 |
| 石墨 | 0.201 | 乙酸纤维素 | 0.36 |
| 铁 (高至 300°C) | ≈ 0.115 | 丙酸纤维素 | 0.40 |
| 铅 | 0.031 | 离子交联聚合物 | 0.54 |
| 油 (机器) | 0.400 | 尼龙 | 0.40 |
| 银 | 0.056 | 聚碳酸酯 | 0.30 |
| 钢 | 0.116 | 聚酯 (PET) | 0.40 |
| 水 | 1.0 | 聚乙烯 (LD 或 HD) | 0.55 |
| 木材 | ≈ 0.600 | 聚丙烯 | 0.50 |
| 塑料 | | 聚苯乙烯 | 0.34 |
| ABS | 0.40 | PVC (硬) | 0.25 |

注: $1 \text{ BTU}/(\text{lb} \cdot \text{F}) = 4.186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{C})$

22.12.3 单位质量热流歧管的热输入 (用 W)

对热流道歧管的设计人员，有一条简单适用的规则，就是热流道系统所需的热量与整个歧管材料体积的关系大约为 $(2 \sim 3) \text{ W/cm}^3$ ($30 \sim 40 \text{ W/in}^3$)，条件是很好地与周围的冷模板隔热并很少地接触。使用比上述建议大的功率，可能使控制系统过载，通常也不需要。另外使用更大的控制器也会相当大的增加系统费用。万一失去控制，也有严重过热的危险。使用比建议低的功率，缺点仅是冷模具的启动时间较长。

在一个设计良好的热流道系统中，一旦在歧管和注嘴的塑料处于模具温度，热流道加热器（歧管和喷嘴）供应的热量仅弥补周围模板的热损失。挤出机内的塑料被加热至熔化温度，随着它流进热流道系统，温度则被维持，而无需增加来自热流道加热器的热量输入。

22.13 常用转换系数

许多计量单位常用的转换系数列于表 22-4, 没有列出的可见教科书和工程手册。

表 22-4 计量单位转换系数

| 单 位 | 乘 以 系 数 | 转 换 单 位 |
|------------------------------|---------|--------------------|
| 质量 | | |
| 短吨 (2000 lb) | 0.9072 | t (吨) |
| 长吨 (2240 lb) | 1.0160 | t (吨) |
| 公吨 (t) | 1000.0 | kg |
| 公斤 (kg) | 2.2046 | lb |
| 磅 (lb) | 0.4536 | kg |
| 或 | 16.0 | oz |
| 盎司 (oz) | 28.3495 | g |
| 克 (g) | 0.03527 | oz |
| 长度 | | |
| 米 (m) | 39.3700 | in |
| 或 | 3.2808 | ft |
| 毫米 (mm) | 0.03937 | in |
| 英寸 (in) | 0.0254 | m |
| 或 | 25.4 | mm |
| 体积 | | |
| 立方厘米 (cm ³) | 0.0610 | in ³ |
| 立方英寸 (in ³) | 16.3871 | cm ³ |
| 立方英尺 (ft ³) | 0.0283 | m ³ |
| 或 | 28.3168 | L |
| 盎司 (英国, 液体) | 28.4131 | cm ³ |
| 盎司 (美国, 液体) | 29.5735 | cm ³ |
| 加仑 (英国) | 4.5461 | L |
| 加仑 (美国) | 3.7854 | L |
| 升 (L) ^① | 1000.0 | cm ³ |
| 密度 (质量密度)^② | | |
| lb/in ³ | 27.6799 | g/cm ³ |
| g/cm ³ | 0.03613 | lb/in ³ |
| 力 | | |
| 牛顿 (N) | 0.1020 | kgf |

续表

| 单 位 | 乘 以 系 数 | 转 换 单 位 |
|-------------------------------------|----------|---------------------|
| 力 | | |
| 或 | 0.2248 | lbf |
| 公斤·力 (kgf) | 9.8066 | N |
| 吨·力 (tf) | 9.8066 | kN |
| 磅·力 (lbf) | 4.4482 | N |
| 千牛顿 (kN) | 101.972 | kgf |
| 速度 | | |
| 英尺/秒 (ft/s) | 0.3048 | m/s |
| 加速度/负加速度 | | |
| 重力 (g) (平均) | 32.1740 | ft/s ² |
| 或 | 9.8066 | m/s ² |
| 英尺/平方秒 (ft/s ²) | 0.3048 | m/s ² |
| 扭矩 (受力时刻) | | |
| 磅力 (lbf) | 1.3558 | N·m |
| 或 | 0.1383 | kgf·m |
| 牛顿·米 (N·m) | 0.7376 | lbf·ft |
| 或 | 0.1020 | kgf·m |
| 公斤·力·米 | 7.2330 | lbf·ft |
| 或 | 9.8066 | N·m |
| 压力 | | |
| 磅力/平方英寸 (lbf/in ² , psi) | 0.006895 | MPa |
| 或 | 6.8948 | kPa |
| 或 | 0.0703 | kgf/cm ² |
| 公斤力/平方厘米 (kgf/cm ²) | 14.2233 | psi |
| 帕斯卡 (Pa) | 1.0 | N/m ² |
| 千帕斯卡 (kPa) | 0.1450 | psi |
| 或 | 1.0 | kN/m ² |
| 或 | 101.972 | kgf/m ² |
| 或 | 0.01020 | kgf/cm ² |
| 汞柱英寸 | 3.3741 | kPa |
| 水柱英寸 (20℃) | 0.2486 | kPa |
| 大气压 (巴) | 0.9869 | kg/cm ² |
| 或 | 100.0 | kPa |
| 度 (加热) | | |
| 温度差 (ΔT) | | |
| 摄氏度 (℃) | 1.0 | K |

续表

| 单 位 | 乘 以 系 数 | 转 换 单 位 |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 度 (加热) | | |
| 或 | 1.8 | F |
| 华氏度 (F) | 0.55556 | ℃ |
| 温度 | | |
| 华氏度 (F) | | ℃ |
| 摄氏度 (C) | $[(C \times 5/9) + 32]$ | F |
| 热力学度 (K) | $C + 273.15$ | K |
| 能量 | | |
| 焦耳 (J) | 1.0 | N·m |
| 英国热单位 (BTU) | 1.055 | J |
| 或 | 0.252 | Cal |
| 或 | 778.0 | ft·lb |
| 卡努里 (国际) | 4.1868 | J |
| 千瓦小时 (kWh) | 3.6 | MJ (兆焦) |
| 瓦秒 (Ws) | 1.0 | J |
| 功率 | | |
| 瓦 (W) | 1.0 | J/s |
| BTU/h | 0.2931 | W |
| 马力 (hp) | 746.0 | W |
| 导热性 | | |
| (BTU·英寸厚度) / (ft ² ·h·F) | 0.1442 | (W·Cm) / (m·℃) |
| 粘度 | | |
| 动力学 | | |
| 泊 (P) | 1.0 | N·s/m ² |
| 或 | 1.0 | dyn·s/cm ² |
| 运动学 | | |
| 施 (St) | 0.1 | cm ² /s |
| ft ² /S | 0.0929 | m ² /s |

① 按照 SI 标准, 不鼓励使用升 (L), 体积应用 mm³、cm³、m³ 表达。

② “相对密度” 替代术语 “比重” 或 “比密度”。

22.14 锥体配合的预载

22.14.1 模具中锥体的作用

锥体的最重要功能是为模具相互配合零件和运动相关部件提供良好的定位。

模具中导柱和导套是定位的惯用方法,这些导柱和导套结构简单,且成本低。但它们也有缺点,即必须在两者之间留有间隙以允许它们滑进滑出而不被磨损。这个间隙本是错位(即使很小)的原因,即使开始间隙非常小,导柱和导套不久就会磨损而增加间隙,尤其是在润滑不良的情况下。对于制品所要求的精度来说,微小的错位可能不太重要,特别是对于厚壁产品,使用导柱和导套是完全可以接受的。

对于锥体配合,在打开或闭合时,配对零件相互座落或抬起,不存在导柱和导套那样的相对滑动。这两种方法的差别见图 22-11。然而,关闭时,在产生接触之后,配对锥体斜面相互滑过预载距离,而内锥体轻微扩张;同样,当打开时,它们再次滑动,直到预载距离用光。因而,经过一段时间,即使小,肯定也有磨损;但是由于预载,锥体表面的磨损直到预载量逐渐丧失才会影响定位。

只要预载大于零(正预载)或正好为零,就可保持正确的定位。然而,一旦在配对锥体(无预载)间有轻微的空隙,两半模具或模具零件就失去定位,必须修复锥体再提供预载,预载量大的锥体要比预载量小的磨损更加迅速,因为磨损作用随着接触表面力的增大而增加。

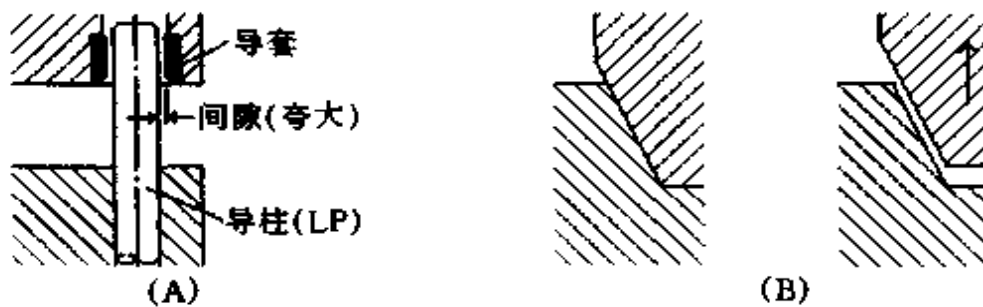


图 22-11 导柱和导套需要的间隙 (A), 锥体配合仅在闭合时, 配对零件相互座落或者相互打开 (B)

22.14.2 锥体预载目的

图 22-12, 用简单的术语来解释预载的原因:

视图 (A) 无预载(负预载)。在配对锥体间有一定间隙,这对锥体一点没有进行定位,外锥体有侧向滑动量 C 。这个锥体配合是无用的。

视图 (B) 理想条件 (零预载), 锥体相碰但不扩展内锥体。然而, 这种“理想条件”是不可能获得的。因为零件的加工尺寸在允许的, 也是加工实际需要的公差范围内变化的。

视图 (C) 预载 X (正预载), 对于提供恰当的定位, 这是唯一可行的方法。只要磨损不产生视图 (A) 的情况, 能保证定位。

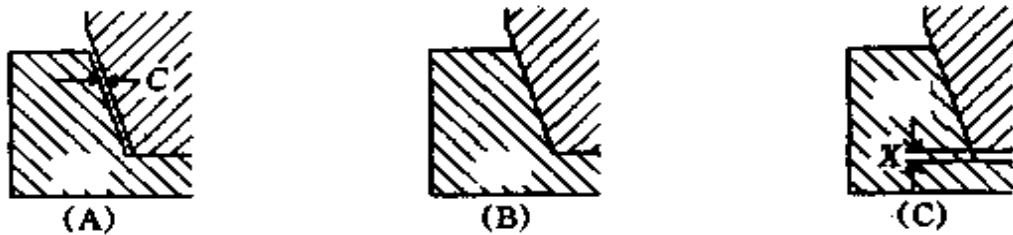


图 22-12 锥体预载

(A) 无预载 (负预载); (B) 理想 (零预载); (C) 正预载

采用配合锥体的基本部位列举如下:

①提供模板间的定位, 采用锥销或者在锥销之外增加导柱。同时用导柱的地方 (例如, 作为模芯的保护), LP (导柱) 导套的间隙必须足够大, 使得锥钉不会与导柱“打架”。如果在多模腔模具中, 采用成对锥销来使单个模块定位, 不论是装在模腔上还是模芯上, 必须使锥销能在没有不适当的力干扰的情况下定位。

②在单个模具块中, 提供模腔与模芯之间的定位, 可用模腔固定也可用模芯固定。一个配合模块 (常是模芯) 必须安装在其模板上, 以致它能侧向移动, 让锥体移动模块定位。

③在模芯上提供脱模圈的基座, 应允许脱模圈浮动, 这是考虑让模芯在没有不适当的力干扰 (和过度磨损) 的情况下, 落到其基座锥面上。防止模芯和脱模圈之间的溢料, 预载是唯一可行的方法。对于环形脱模圈, 很容易生产, 椭圆形或长方形脱模圈的生产要困难得多。但对于今天的技术来说 (如用 EDM) 这不是不可能, 可总比圆锥生产要贵。

④锥体配合也用于其他部位, 例如浇口垫板上浇口镶件的精确定位, 或者模腔中浇口垫板的定位。在后者的应用中, 受预载的锥体对防止溢料特别重要, 尽管在每个循环中浇口垫板和模芯分离一个短距

离 S 。移动模腔如图 22-13 所示。

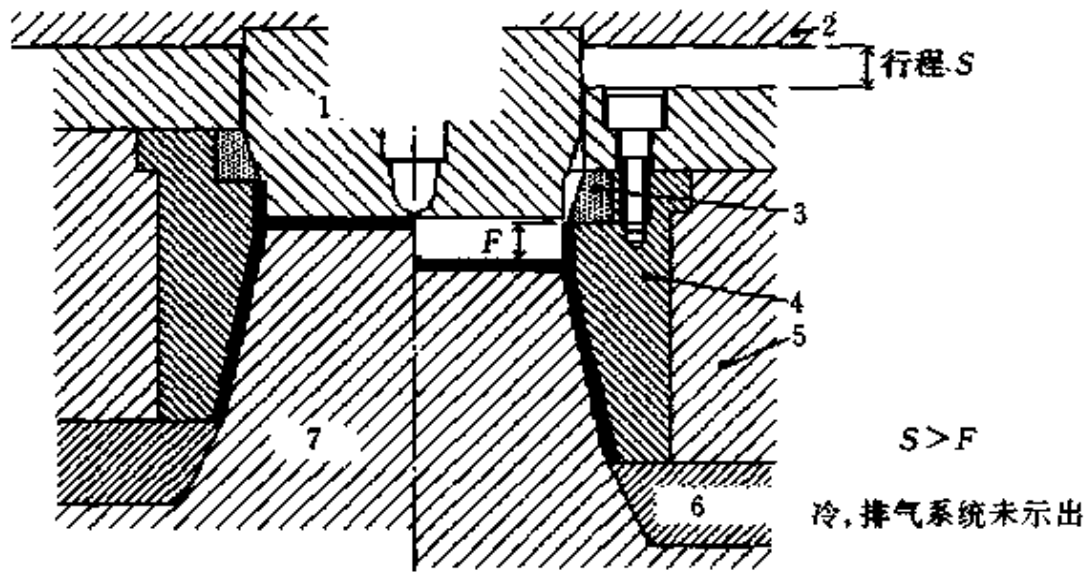


图 22-13 脱模圈和移动模腔的锥体

1—浇口垫板；2—浇口固定板；3—定位圈（磨损件）；4—模腔；5—模腔板；
6—脱模板；7—模芯

受预载的锥体还有其他应用，但原理是相同的。要是发生磨损和失去预载，锥体配合和预载很容易能恢复（重置）。这样的恢复通常需磨削与锥体轴呈直角的一面，加垫片或重磨配合面，使原先的预载重新建立。

在图 22-14 例中，（浮动）模芯通过锁圈锥体 a 与模腔定位。脱模

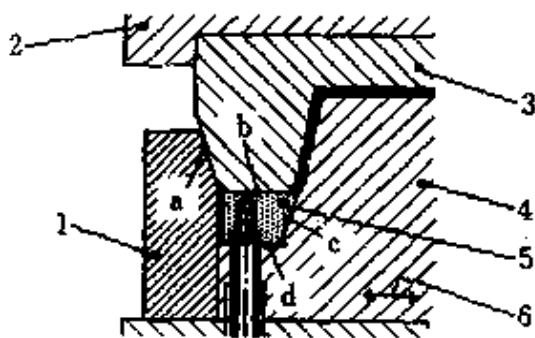


图 22-14 模芯锁紧和脱模圈锥体
1—锁紧圈；2—模腔垫板；3—模腔；4—
模芯；5—脱模圈；6—模芯浮力

圈也浮动，位于模芯锥体上 c。当模具合上时，表面 b 和 d 完全受载，且锁圈和脱模圈都要扩展以确保配合良好。

在一些设计中，模芯和锁圈由一整块钢材制成。然而，这样花费大，制造困难，万一锥体配合失效，几乎不可能调整。

在图 22-14 中，锁圈是一个与模芯圆柱配合的分离件，这只有当

模芯是被压进圈内的才可以接受。现代设计使圈以很小的锥度（每边约 3° ）位于模芯之上，这对于模芯装配，维修相对容易。

在图 22-15 的布置中，脱模圈具有两个斜面 a 位于模腔内和 c 模芯上，模芯和脱模圈都必须能侧向浮动以便定位。这样的设计相当普遍，这里脱模圈必须分开以释放制品（例如，预成型一个螺纹），但注射时必须用预载固紧。

模腔锁紧和体气顶出的原理，见图 22-16，与模腔锁紧和脱模圈的原理相同，只要允许模芯侧向浮动，锥体 a 保证定位良好。

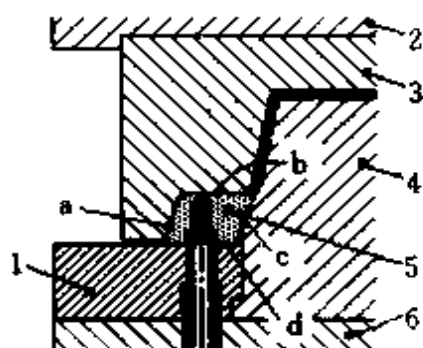


图 22-15 模腔锁紧和脱模圈锥体

1—模芯固定板；2—模腔垫板；3—模腔；
4—模芯；5—脱模圈；6—模芯垫板

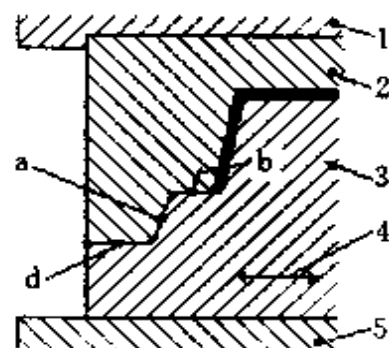


图 22-16 模腔锁紧和气体顶出

1—模腔垫板；2—模腔；3—模芯；
4—模芯浮动；5—模芯垫板

图 22-15 和图 22-16 表示了模腔锁紧，但作为一个规则，在自由下落的顶出中模芯锁紧是优选的，原因是：当制品被顶出时，它自由地“飞”向模腔，模腔具有更大的趋势将制品吊挂在锥体 a 的边缘，用模芯锁紧同样的制品就不是这样了。

要防止这样能引起生产停顿的吊挂，就要增加模具的行程，这将影响循环时间，因而影响到模具的使用性能。采用气体顶出，有可能控制气体压力，使得没有足够压力将制品射到另外一边，但这可能导致边缘调整，会引起顶出完全失败和生产停止。

22.14.3 楔子和关闭器

在这一章里关于圆锥所讲的任何事情也适用于定位的模楔。事实上模楔是无穷大锥体圆周的 4 段短弓形。在模楔被用于脱模结构，生产有开口的制品时，必须提供预载以防止溢料。

两个配对零件采用锥体定位的条件是存在预载。要达到精确的定位，在施加全部（合模）力之前，锥面必须接触。当施加全部合模力时，由于外锥体的楔形作用，内锥体的零件有轻微的扩展。对于定位或防止溢料，无预载的锥体是没有用的。

预载即使是个力，也常用锥形件通过的距离来表达，即是从与配合锥体的第一次接触直到零件在预载力作用完全就位的移动距离。预载常常不是用尺寸线如图 22-17(A)，就是用一个标注和引线指向锥体来表示，如图 22-17(B)。

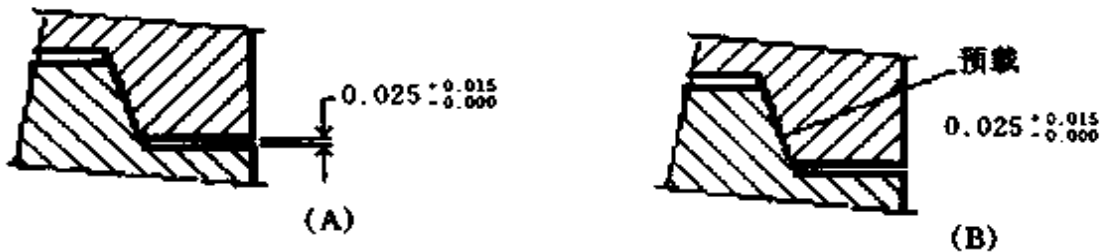


图 22-17 零件图上的预载表示
(A) 尺寸线；(B) 标注加引线指向锥体

重要的是要明白，合模力的一部分用于扩展内锥体。因此，对于注射时使整个模具闭紧，应具有更大的力。如果没有预载，模具或其模块零件将不会恰当定位；如果预载太大，模具也会溢料，因为太多的合模力作用于锥体，这个情况在模腔和模芯之间使用许多脱模圈或锁紧圈的多腔模具是比较严重的。

特别是对于具有 16 个或更多模腔的模具，必须选择锥形零件的加工公差，以致于：

- ①对于所有最小尺寸，不会小于零预载；
- ②对于所有最大尺寸，使全部锥体就位的力必须不会影响机器的合模作用，产生模具溢料的危险。

扩展锥体的阻力随着锥（楔）度提高而增加，因而，预载距离必须随着锥度增加而减小。

就过去的经验而言，图 22-18 给出了选择多至 16 个模腔的模具系统预载的一些准则，图上表示了对于预载的最大/最小公差建议值，必须选择合适的配合件公差，使得最后预载在建议值范围。

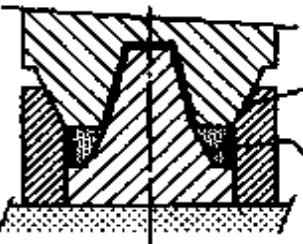
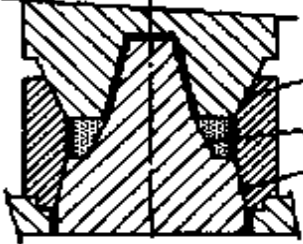


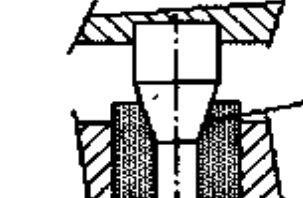
| | | |
|---|-------------|-------------|
|  <p style="text-align: center;">模芯锁紧</p> <p>模腔锁紧圈 模芯脱模圈</p> | 预载 | |
| | 4 模腔 | 6 模腔 |
| | 0.025/0.040 | 0.013/0.025 |
| | 0.000/0.013 | 0.000/0.013 |
|  <p style="text-align: center;">脱模板锁紧</p> <p>模腔锁紧圈 模芯脱模圈 模芯锁紧圈</p> | 0.013/0.025 | 0.005/0.020 |
| | 0.000/0.013 | 0.000/0.013 |
| | 0.025/0.040 | 0.010/0.025 |
|  <p style="text-align: center;">脱模圈</p> <p>模腔脱模圈 7°锥体 15°锥体 模芯脱模圈 7°锥体 15°锥体</p> | 2~8 模腔 | 12~16 模腔 |
| | 0.013/0.025 | 0.000/0.013 |
| | 0.005/0.013 | 0.000/0.013 |
| | 0.013/0.025 | 0.008/0.016 |
| | 0.010/0.020 | 0.000/0.013 |
|  <p style="text-align: center;">铍钢模芯帽</p> <p>模芯带模芯帽 模芯是铍钢时的模芯脱模圈</p> | 预载 | |
| | 帽外径 0.1% | |
| | 考虑热膨胀取 0.00 | |
|  <p style="text-align: center;">锥销和锥销套</p> <p>锥销套</p> | 0.013/0.025 | |

图 22-18 各种模具结构的预载选择准则

22.15 如何标出锥体尺寸

22.15.1 外锥体

标注锥体尺寸的三个不同方法见图 22-19。如果精度不重要，用重要的直径 d （在图 22-19，选择小端“重要”），角度 α 和锥体高度 h 来确定锥体，如图 22-19 (A)。

对于高精度要求，使用一个环规。图 22-19 (B) 标注（除了 d 、和

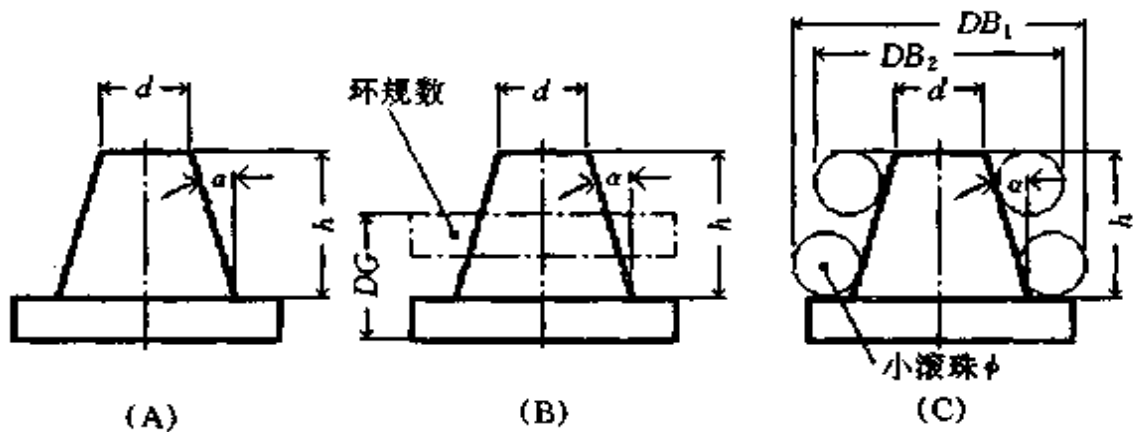


图 22-19 外锥体尺寸

(A) 精度不重要的简单尺寸；(B) 高精度的使用环规；(C) 高精度的使用滚珠

h 外) 环规数字和到参照面的尺寸 DG (具有精密公差)。对于高精度, 如果环规不合适, 标注 (除了 d 、 α 和 h 外) 滚珠的尺寸和 DB_1 、 DB_2 尺寸 (具有精密公差)。

滚珠停留的面必须很好地确定, 它可能是一个零件的台肩, 或者可用一精密的块规 (J —块规) 在模板平面上建立。必须选择滚珠尺寸, 使得滚珠准确地接触到平面和锥体。对于滚珠的尺寸标准, 见 22.3.1 节。

22.15.2 内锥体

对于标注内锥体的尺寸, 图 22-20 示出了 4 种不同的方法。如果尺寸不必非常精确, 规定 a 、 d 和 h (如有必要), 见图 22-20 (A); 要求高精度, 使用圆柱塞规, 见图 22-20 (B), 标注 (除 d 和 h 外) 塞规数字和到参照面的尺寸 DG (具有精密公差)。

如果圆柱塞规不适合, 用滚珠标注如图 22-20 (C) 和 (D)。对于大直径, 标注 (除 d 、 α 和 h 外) 滚珠尺寸和尺寸 DB (具有精密公差)。如果锥体比较长, 必须要标注两个滚珠, 类似外锥体 (C) 的情况; 对于小直径, 标注 (除 d 、 α 和 h 外) 滚珠尺寸和尺寸 DH (具有精密公差), 对于滚珠的尺寸, 见 22.9.1 节。

22.15.3 带角度的表面

对于带角度的表面的精确标注, 见图 22-21。图 22-21 (A) 方法, 标出角度 α 以及 h 或 w , 并标出滚珠直径和计算尺寸 DR 。

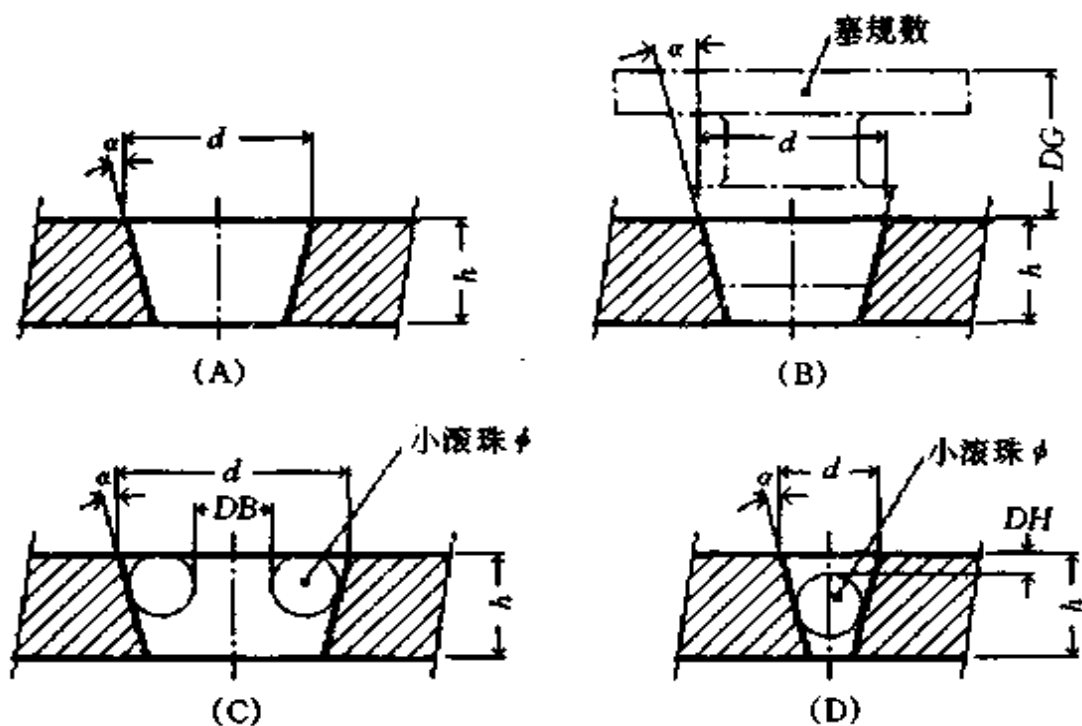


图 22-20 内锥体尺寸

(A) 简单、精度不高；(B) 高精度的使用圆柱塞规、如塞规适用；
 (C) 大尺寸高精度的用滚珠；(D) 高精度小尺寸的用滚珠

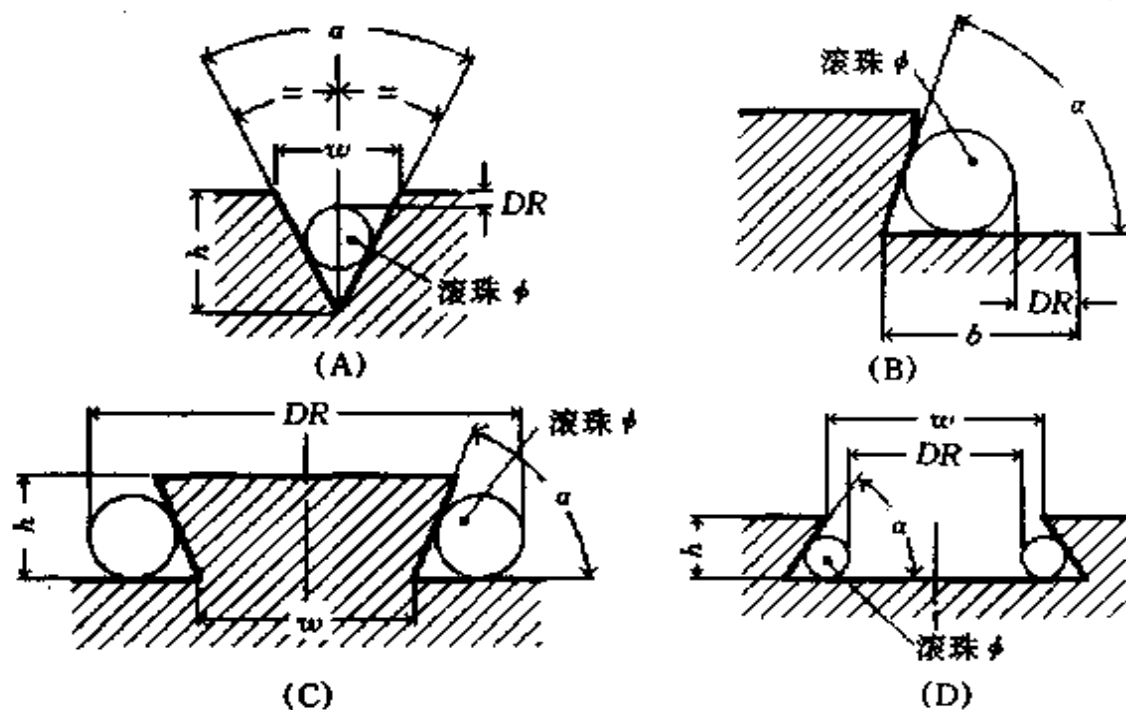


图 22-21 用滚珠决定的 DR 尺寸标注带角度的表面尺寸
 (A) V形槽；(B) 带角度表面；(C) 正燕尾槽；(D) 一负燕尾槽

图 22-21 (B) 方法, 标注边缘的角度 α 和距离 b , 并标注滚珠直径和计算尺寸 DR 。

图 22-21 (C) 方法, 标注正的燕尾榫角度 α , 宽度 w 和高度 h , 并标注滚珠直径和计算尺寸 DR 。

图 22-21 (D) 方法, 标注负燕尾榫角度 α , 宽度 w 和高度 h , 并标注滚珠直径和计算尺寸 DR 。

注: 对于燕尾榫的宽度, 不是标注较窄 (如图所示) 的一个尺寸, 就是标注较宽的, 二者不能同时标注, 除非一个作为参考尺寸使用。对于滚珠的尺寸标注, 见 22.9.1 节。

22.15.4 设计 (校验) 球

在一些需要精确地标注 (并加工) 带角度的表面和孔的地方, 引

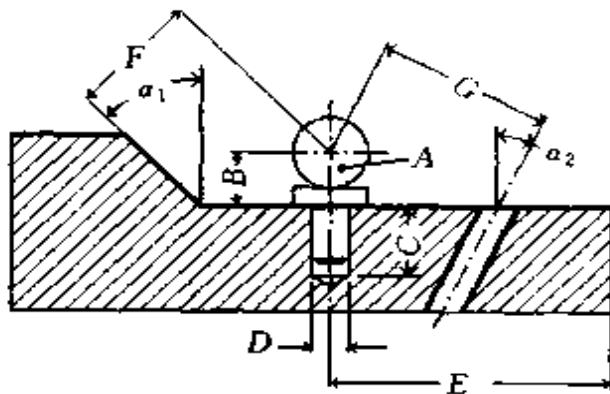


图 22-22 使用校验球的尺寸标注 角度的孔 (α_2) 用类似的方法精确地标注出其中心线 (G)。一些通用标准校验球的规格列于表 22-5。

进了一种辅助孔 (加工孔) 和球。孔由参照边 (E) (或孔) 精确标注 (D 和 C), 公差精密。一个特别设计的带柄的球 A (标注直径和检验球号) 被插进孔里, 然后通过球测量带角度的表面 (α_1) 和尺寸 (F), 并以精密的公差标注。见图 22-22。带

表 22-5 一些标准校验球的规格

| I. T. I. 分类 | A | B (最小) | C | D |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|------------------------------------|
| 448-8 | 12.700 ± 0.005 (0.5000 ± 0.0002) | 10.160 ± 0.005 (0.4000 ± 0.0002) | 17.0 (0.67) | 6.345 ± 0.005 (0.2498 ± 0.0002) |
| 448-12 | 19.050 ± 0.013 (0.7500 ± 0.0005) | 12.700 ± 0.005 (0.5000 ± 0.0002) | 23.0 (0.91) | 9.521 ± 0.005 (0.3748 ± 0.0002) |

22.16 脱模圈或预载锥体的疲劳

22.16.1 脱模圈

图 22-23 表示出脱模圈的几何尺寸如何影响圈的应力, 由于这些

零件每个循环是从 0 到满载而产生应力，所以应力比 $R=0$ 。

一般，设计人员通过了解所使用的注塑机类型知道合模力 F_c ，设计人员也知道 F_c 必须大于试图打开模具的注射力。

$$F_c > nA_p P \quad (22-9)$$

这里 F_c 是合模力， n 是模腔数， A_p 是产品的投影面积， P 是注射压力。这个公式再次突出一个关键未知的问题：什么是注射压力 P ？

在第 29.5 节，进一步讨论了决定真实压力 P 的难度和影响因素。然而，要弄清每个模具的合理 P 值，还必须要有合理的假设条件。

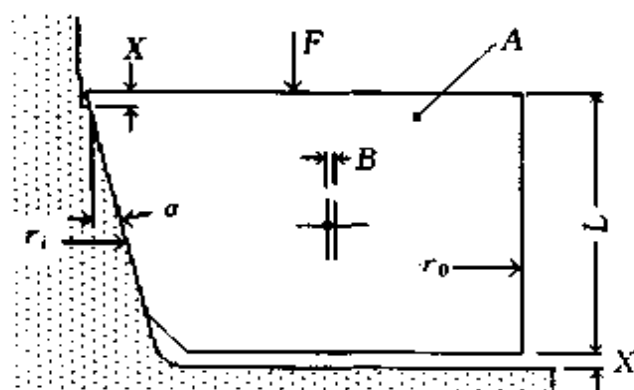


图 22-23 作用于预载脱模圈的应力和力

注： F 为作用于座圈的力； X 为预载（至基座的距离）； α 为斜角； r_i 为（平均值）

圈内侧半径， r_o 为圈外侧半径； L 为圈高度； A 为圈截面； B 为由

F 引起的圈半径扩展； S_H 为圈截面 A 的圆周应力

正如前述， F_c 不仅必须克服由 P 引起的力，而且必须使所有的锥体就位，为此认为 F 是使锥体锁紧所需的力。如果模腔多于一个，每个模腔有一个或一个以上锥体锁紧——即模板上可能排布有多个起锁紧作用的锥体，这就需要若干个力 F ，且每个力 F 都有自己的值。整个力 $F(\sum F)$ 都必须加在由 P 产生的力上。

$$F_c > nA_p P + \sum F \quad (22-10)$$

总的来说，对于厚壁圈 F （锥体定位的力）直接与设计变量 α 、 r_o 、 r_i 和 L 有关。设计人员必须使 F （和 $\sum F$ ）足够小，以致于这些力不会减小合模力 F_c 太多，使得模具注射时被迫打开而造成溢料（下式中 E 是弹性模量）。

$$F = \pi ELX \operatorname{tg}^2 \alpha \left(1 - \frac{r_i^2}{r_o^2} \right) \quad (22-11)$$

$$X = \frac{F}{\pi ELX \operatorname{tg}^2 \alpha \left(1 - \frac{r_i^2}{r_o^2} \right)} \quad (22-12)$$

22.16.2 锥体自锁

对于经润滑的钢与钢，如果 α 大于自锁角（摩擦系数 $\mu = \operatorname{tg} \alpha > 0.16$ 或 $\alpha > 9^\circ$ ），在 F_c 终止时，扩展的圈就要试图克服力 F ，且促使模具打开；如果角度是自锁的（ $\alpha < 9^\circ$ ），对于模具闭合存在阻力（ $=F$ ），且对打开也有阻力。自锁角 α 越小，需要打开锥体锁紧的力就越大。

注：钢与钢的干摩擦系数是 $\mu = 0.8$ ，对应锥体角度 $\alpha = 38^\circ$ 。然而，在模具上所有的锥体应润滑以减小磨损，干摩擦锥体的问题是，需要较高的开模力以克服自锁，这个力不是总可以获得的，而且可能产生开模的噪声。

从经验来看，锥体角度 α 应保持在 5° 和 15° 之内，最好是标准化到规定尺寸，以采用标准测量的锥体量规。当设计圈的形状时，记住（尤其是螺纹的）孔充当了应力集中源，将严重影响圈的疲劳寿命。

22.16.3 应力

当 F 撑开圈并使之在基体就位，圈就要扩展（半径方向），扩展量为 $B = X \operatorname{tg} \alpha$ 。当 F 施加时，设计人员感兴趣的是圆周应力 S_R （由圈扩展引起的应力）。下式是根据给定的 X 尺寸，后面将提供更多关于 X 的信息。

$$S_R = \frac{EX \operatorname{tg} \alpha}{2r_i} \left(1 + \frac{r_i^2}{r_o^2} \right) \quad (22-13)$$

22.16.3.1 接触应力 S_c

接触应力是由圈迎向配合锥体所产生的应力（压力），或由锥体施加在圈上的压力产生。如果定位面积小，知道接触应力的大小就很重要。如果 S_c 太大，圈就要压制进入锥座。下面两式是基于已知力 F

$$S_c = \frac{F}{2\pi r_i L \operatorname{tg} \alpha} \quad (22-14)$$

设计人员也能决定由接触应力 S_c 引起的圆周应力 S_H

$$S_H = \frac{F}{2\pi r_i L \tan \alpha} \left(\frac{r_o^2 + r_i^2}{r_o^2 - r_i^2} \right) \quad (22-15)$$

只有当 F 等于或小于由 (22-11) 式得到的 F 时。公式 (22-9) 和 (22-10) 才能使用。

下式的接触应力 S_c 基于已知的预载 X

$$S_c = \frac{EX \tan \alpha}{2r_i} \left(1 - \frac{r_i^2}{r_o^2} \right) \quad (22-16)$$

在力 F 下角度 α 的影响见下表。

| α | $\tan \alpha$ | $\tan 2\alpha$ | 同 5° 比较 |
|------------|---------------|----------------|----------------|
| 3° | 0.0524 | 0.0027 | 1/3 |
| 5° | 0.0875 | 0.0076 | 1 |
| 10° | 0.1763 | 0.0311 | 4.1 倍 |
| 15° | 0.2679 | 0.0718 | 9.4 倍 |

当选择脱模圈的材料时，要保证材料有足够的硬度（和强度）而不会在分型面尖角处损坏，且能经受磨损和接触应力，但是又必须有足够的韧性，使得在其硬度范围内具有最大的疲劳寿命。

正如前述，在 5° 和 15° 之间的锥体适合大多数应用，设计人员关于 r_o 或 r_i 没有多大选择余地，这取决于制品的尺寸。

通过恰当选择尺寸和预载 X 的间隙，肯定会找到合理的预载，而不至于太大。

22.16.4 磨削锥体对预载的影响

磨削任何表面，要切削量小于 0.0025mm (0.0001in) 是不实际的；当去掉锥体的这个（最小）量时，预载 X 的改变量为 ΔX (图 22-24)。

例如，每去除 0.0025mm (0.0001in)， ΔX 等于：

| α | $\sin \alpha$ | ΔX (in) | ΔX (mm) |
|------------|---------------|-----------------|-----------------|
| 3° | 0.0523 | 0.0019 | 0.049 |
| 5° | 0.0872 | 0.0011 | 0.029 |
| 10° | 0.1736 | 0.0006 | 0.015 |
| 15° | 0.2588 | 0.0004 | 0.010 |

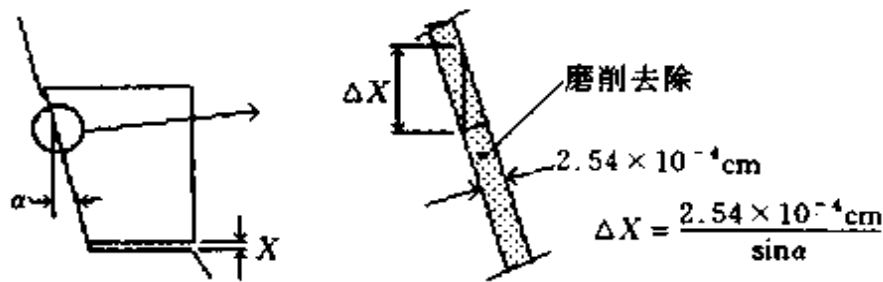


图 22-24 磨削锥度，去除 $\Delta X = 2.54 \times 10^{-4} \text{cm}$

因此，要求小于磨削最小切削量的公差是不实际的，这如图 22-25 所示。如果 ΔX 等于或小于公差，且原零件测量结果大于最大尺寸 (D)，磨削后的尺寸将在公差之内。如果 ΔX 大于公差，零件有可能开始大于最大的 D ，磨削后小于最小的 D 。 ΔX 必须小于 D 的公差。

鉴于此因，具有小锥度的圈预载是很难产生的。在多模腔模具中也反映这个问题，由于在最后磨削工序时加工的变化，使得“相同”的零件具有不同的锥度，因而造成不同的预载。

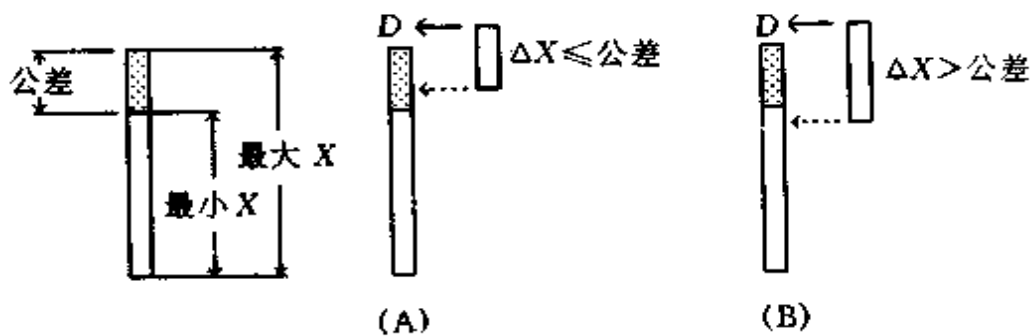


图 22-25 (A) 磨削量小于或等于公差；(B) 磨削量大于允许公差

注：D 为磨削前测量值

22.17 倒角和半径

22.17.1 一般知识

为安全安装模具零件，所有的外部边缘一般规定倒角；倒角也可以减小外表面应力开裂的危险。所有内部拐角规定为圆弧以减小应力集中产生开裂的危险。

希望倒角和圆弧的尺寸，可在图上标注说明，配合倒角和圆弧的

相关尺寸见图 22-26，应确保零件适当地位于平面上，而不是在圆弧范围。

所有的模板必须有倒角至少为 $1.5\text{mm} \times 45^\circ$ 。

所有沉孔的边缘和所有模具零件边缘都应被倒角，除非由于制品结构或塑料流动路径的原因，不允许有倒角，在安装模具零件时，倒角有利于装配并能减小对个人伤害（割破手）的危险。边缘上任何有碍于装配 O 型圈或其他软密封的地方必须标注“倒角和抛光”。

缺少倒角必须标注“尖锐”，且指向受影响的边缘。拐角必须不尖锐。如果产品设计需要一个尖角，可用分离的模具零件（镶件）方法产生。

考虑到制品功能，一些制品结构要表现尖角（如在制品底部），在这种情况下，设计人员应要求改变设计，允许用小半径。用户的利益则在于模具寿命较长（开裂危险小）或者节省用镶件（图 22-27）。

考虑到制品功能，一些制品结构要表现尖角（如在制品底部），在这种情况下，设计人员应要求改变设计，允许用小半径。用户的利益则在于模具寿命较长（开裂危险小）或者节省用镶件（图 22-27）。

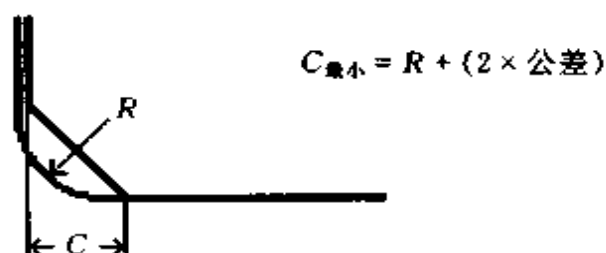


图 22-26 配合倒角和半径的相关尺寸

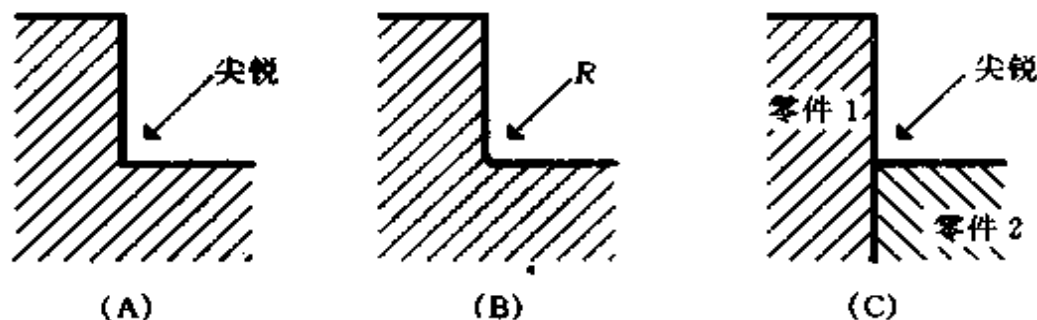


图 22-27 模具零件的拐角应不尖锐
(A) 尖角；(B) 给定半径；(C) 使用镶件

22.17.2 标注倒角

标定倒角的一般方法是标注角度和长度，如图 22-28 (A)，仅 45° 角能用的捷径方法如图 22-28 (B) 和 22-28 (C) 所示，在这种情况下，用一个引线指向倒角，简单标注长度和角度。

22.17.3 标注半径

绘图板上的标注半径方法见图 22-29。优先的方法是在引线内表

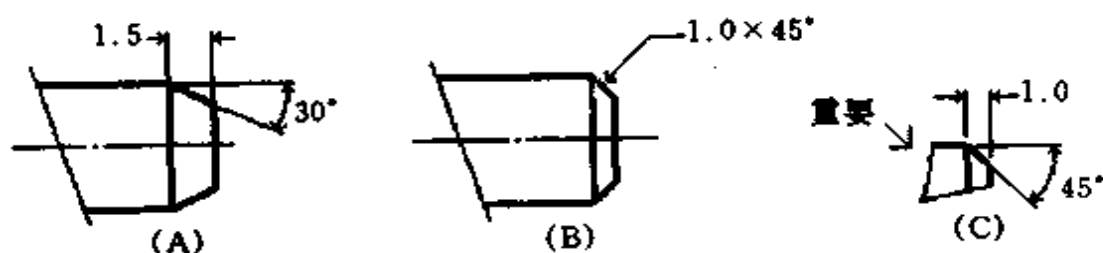


图 22-28 规定倒角

(A) 表示角度和长度；(B) 45°倒角；(C) 用一个引线表示的长度和角度

示中心和尺寸，如图 22-29 (A)，如果对优先的方法没有足够空间，则在引线延长线上标注尺寸，如图 22-29 (B)，如果中心在图纸外面，用短引线，如图 22-29 (C)，仅对于小半径，无中心可标，而要用字母 R 加到尺寸标注上，如图 22-29 (D)。

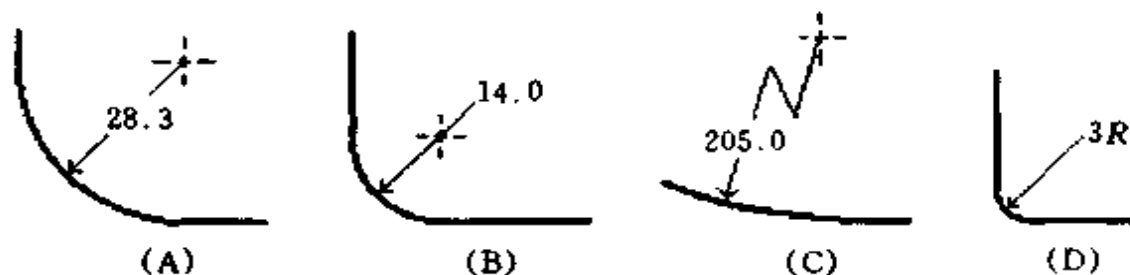


图 22-29 标注半径

(A) 优选方法；(B) 空间限制，标在引线延长线上；(C) 中心在图外；
(D) 加 R (对于小半径、无中心)

CAD/CAM 标注方法不同于绘图板上的方法，不标出中心，只标 Rad (或用 sph. R 表示球半径)，而不是 R。优选的方法见图 22-30 (B)，用水平的短引线指向尺寸，不管半径大小。

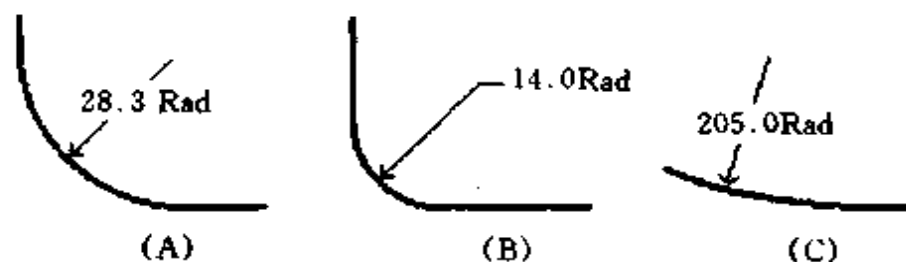


图 22-30 CAD/CAM 标注半径

(A) 小半径；(B) 水平短引线标注尺寸；(C) 大半径

22.17.4 拐角的半径

每个内拐角的部位，尤其是淬火钢的，加载时应力增加，会产生严重的失效危险。实际上所有模具材料失效都起始于尖角产生的裂纹。

磨削造成非常细的划痕，因此，对于淬火钢，预料有严重载荷的地方，拐角必须不仅规定“磨削”而且要规定“抛光”，以去除磨削产生的任何划痕。

如果拐角不可能有半径，如图 22-31 中标明“最好”那样，那么零件必须设计“隐藏”的或凹进的半径。典型的必须要设计成非圆弧的高危险部位是：



图 22-31 拐角半径举例

- ① 模具零件直径发生变化的地方；
- ② 挡圈槽内部；
- ③ O 型圈槽内部；
- ④ 切削螺纹根部；
- ⑤ 螺栓沉孔内部；
- ⑥ 跟部。

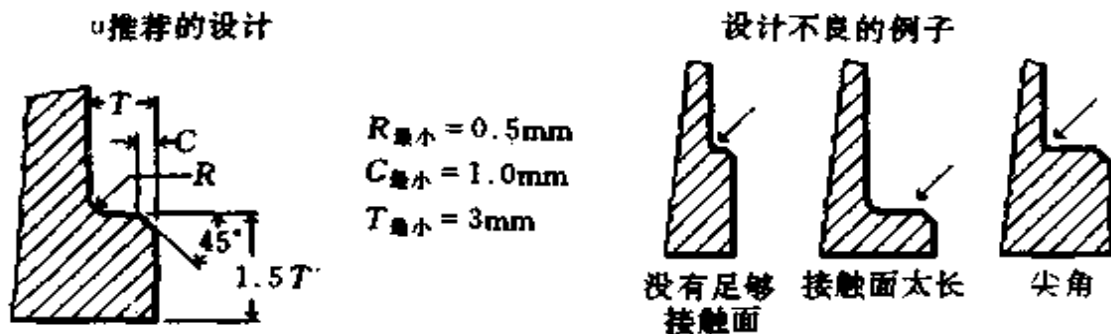


图 22-32 跟部的推荐设计和设计不良的例子

22.17.5 跟部

设计“跟部”嵌入模板或别的镶件，是非常好的装配方法。如果没有足够的空间安装螺丝，这是固定零件的仅有可行的和满意的办法。图 22-32 表示跟部的推荐比例和三个设计不良的例子。

22.18 O 型圈安装

(对 O 型圈槽尺寸，见 O 型圈加工标准)

装配任何模具零件时，O 型圈不应在断续的表面上拖动，如图 22-33 所示。这里两条冷却管道进入模腔镶件的孔，孔 (S) 的尖锐边缘要切割 O 型圈且使之失效 (引起渗漏)。正确的方法是产生斜坡，如图 22-33 的中间和右边，可通过逐步改变零件直径实现。

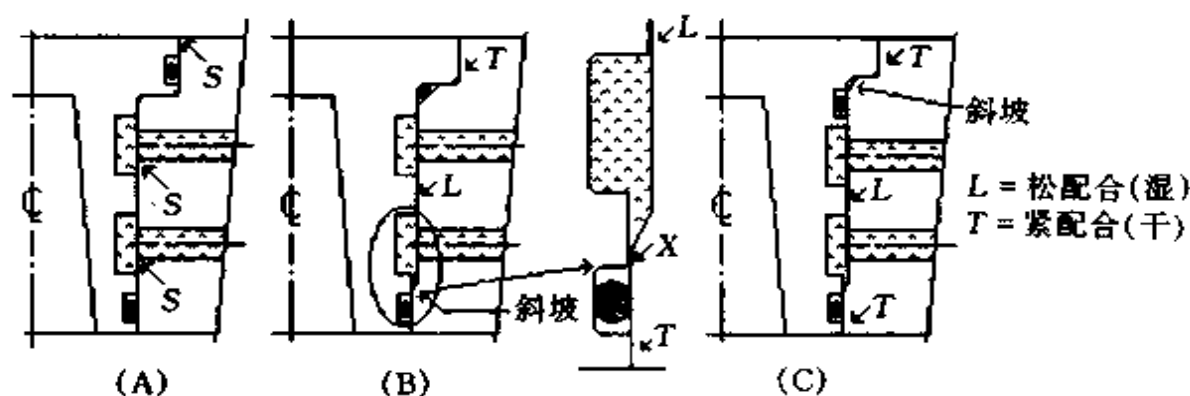


图 22-33 O 型圈安装

- (A) 错误 (不能在断续的表面上拖动); (B) 正确 (低于 O 型圈的斜坡保护);
(C) 正确 (两个斜坡保护)

零件被逐步改变的量 R 必须大于 O 型圈被压缩之前自槽口凸出的量，这个量对小 O 型圈少，对大的 O 型圈多。

计算 R ，其需要的最小量是实际 O 型圈最大横截面尺寸 D (不是额定尺寸)，减去沟槽的最小深度 d ，然后圆整增加 $1/10$ 或 $2/10\text{mm}$ (图 22-34)。例如，对于额定尺寸 0.318cm 的 O 型圈 $D = 3.53 \pm 0.10\text{mm}$ ，因而 $D_{\max} = 3.63\text{mm}$ ，如果 $d_{\min} = 2.87\text{mm}$ 就有

$$(D_{\max} - d_{\min} = 0.76\text{mm})$$

圆整增加 $1/10\text{mm}$ 意味着选择 $R = 0.8\text{mm}$ 。

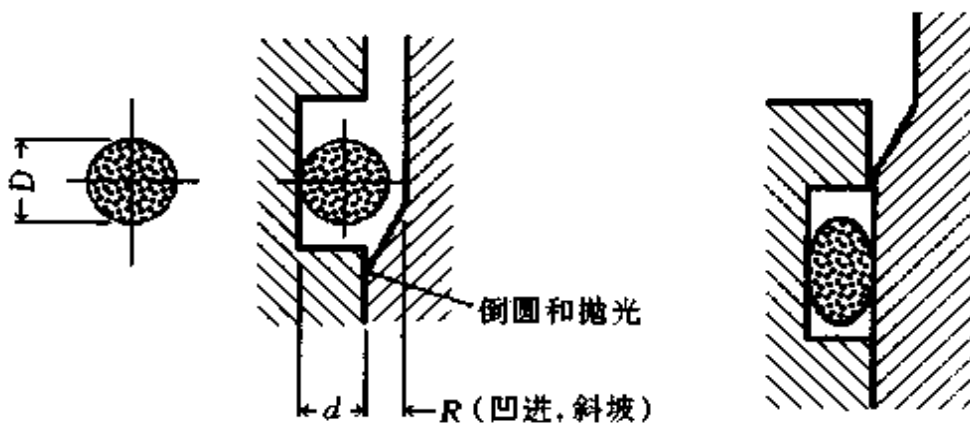


图 22-34 为 O 型圈设置的凹进或斜坡

22.19 模具上钻孔

对于大多数操作，有两种类型钻孔：麻花钻和枪钻（偶尔用硬质合金钻非常硬的材料）。

22.19.1 麻花钻

因为有钻芯，钻头的中心形成凿尖，不像切削刃那样切削，但可受力进入被钻的材料（图 22-35）。对于比较大的钻孔尺寸，有必要用小尺寸的钻头预先钻孔，以克服凿尖在材料中的阻力。

22.19.1.1 孔的位置和直径精度

麻花钻有两个切削边缘（切削刃），切削通过两个螺旋槽，即“出屑槽”，从两个切削刃移出孔外。如果切削刃的长度有轻微差别（由不良的刃尖引起），一个刃就要比另一个切的更多，钻头就会偏离正常路径，并增加孔的尺寸，超出钻头直径，这甚至会引起钻头咬住或折断造成失效。美国钻头标准用两种方法来考虑这个问题。

①钻头直径尺寸总是负差（例如，直径公差是（-），按照钻头直径从 $-0.0127 \sim 0.508\text{mm}$ 即 -0.0005 至 0.002in ）。

②钻孔允许超差（美国标准）规定为：

最大超差 $= 0.127\text{mm}$ (0.005in) $+ 0.005D$

最小超差 $= 0.0254\text{mm}$ (0.001in) $+ 0.003D$

在正规操作中，钻头用夹头远离切削刃固定，所以钻头有机会偏

离它本来的位置，一旦钻入孔里，就由孔壁和在切削刃外端狭窄的“棱边”来导向（图 22-35）。

这对于短粗的钻头通常不成问题；要是细长的钻头，即钻头自由端长度是其直径的 6 倍 ($L > 6D$) 时，就会是一个严重问题。

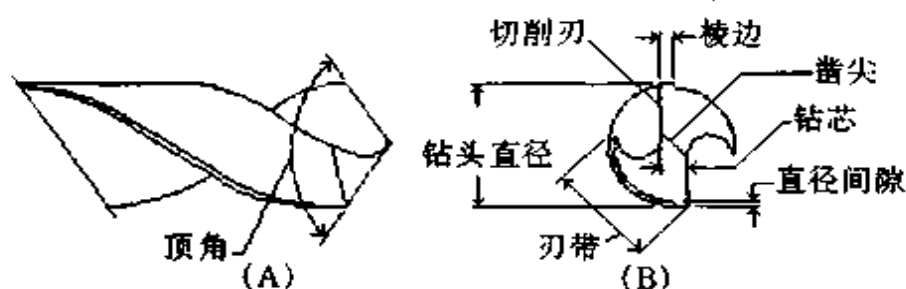


图 22-35 麻花钻的侧面 (A) 和切削刃 (B)

22.19.1.2 切削刃的冷却

当钻头进入材料时，驱动器的能量用于切削，这个能量被转化成热，必须散发，以防钻头切削刃的过热和退火。钻头首先必须决定适当的钻削速度和进刀量，这取决于被切削的材料（硬度、成分和导热性）。

用垂直的钻头夹具和铣床，钻头从工件顶部进入，冷却液因重力从外部流进钻孔，由于钻头旋转，出屑槽像一个泵不断地排出切屑，也驱使进入孔中的大量的冷却液返回。最好是冷却切削刃部位（新的钻床提供通过主轴和钻头的冷却，用泵使冷却液通过钻头流到切削刃处，再通过出屑槽让冷却液和切屑流回到外部）。

22.19.1.3 钻孔长度

钻床和铣床上，有效的垂直运动有限，所以孔的长度受到有效行程的限制，因而钻深孔就需要经过若干次调整。对于太深的孔，麻花钻偏离中心的趋势过大，例如，孔 300mm 深，直径为 10mm，即使正常磨尖的钻头都能够偏离正确中心达 4mm 或者折断。较小直径的高速钢 (HSS) 钻头比大直径的挠曲的可能性更大。

22.19.1.4 钻点制导

用夹头固定钻头，但是在工件上钻头没有其他的支撑或对准钻削点的导向。要保证钻头进入恰当的位置，用一个短粗的中心钻来预钻

孔位。采用 NC 或 CNC 机床的钻削生产，要在正规操作前钻中心孔。

在手工批量生产情况下，使用淬火的钻套，在慢进给的情况下支撑钻头非常接近孔的起始点；这对于细长钻头 ($L > 6D$) 是特别有用的。但是对于仅生产一个或非常少的工件，费用太高，而许多模具制造正是这种情况。

22.19.1.5 孔的精整

用麻花钻钻孔的工作面通常是粗糙的，显示出螺旋形的钻削痕迹和其他可能的划伤痕。如果这些痕迹不允许，孔必须进行铰孔或者其他方法修光，增加了成本。钻削痕迹是潜在的应力集中源，尤其是对非常硬的材料，在热处理过程中或模具循环受力时，可能会导至零件早期失效。

22.19.1.6 麻花钻材料

碳钢便宜，可用于低生产率的要求，需要经常磨尖和（或）更换。

高速钢 (HSS) 比较贵，由于其退火温度很高，它允许较快的钻削速度和进刀，切削刃保持较长时间尖锐，很少需要磨削。对于小孔，使用便宜的碳钢钻头费用低，刃口变钝时就扔掉而不去再磨削；对于大孔，且需要高效率生产，最好是用高速钢钻头。

硬质合金钻头主要用于钻淬火钢（硬度达 55~57Re，取决于钢）。它们对震动和断续切削敏感，且比 HSS 钻头更容易折断（淬火工件的孔可用 EDM 方法加工，适合于任何硬度的钢，而不用钻削）。

22.19.1.7 麻花钻钻孔的优缺点

大多数情况下，孔是短的且从工件平的一边进入，类似铣削，因而钻削能同铣削操作结合起来，减少装置数量。短孔的钻削操作快速便宜，且钻头也相对便宜，来源保证。

总之，对于模具上的深孔，麻花钻不行，是因为存在前面解释过的缺点，如钻头偏离、冷却不良等。但麻花钻特别适用于模板上的冷却和空气通道，以及热流道歧管和注道板里的塑料通道的钻削加工，这些地方都是从工件的平边开始深孔加工的。麻花钻也适合模腔或模芯的冷却和空气通道加工，这里关键是维持钻头精确的路径不偏离。

22.19.1.8 可得到的麻花钻头尺寸

实际上所有的麻花钻头尺寸都可以得到。

22.19.2 深孔钻削（枪钻）

这种方法需要一个特别的“深孔钻削”机床或用其他机床连接深孔钻削装置，如铣床。钻削在水平面内操作。与普通的钻床或铣床有四个重要的不同：

- ①机床钻孔的深度能够相当大；
- ②钻头支撑可非常接近工件，如用钻削模架；
- ③钻头的切削刃直接受到压力润滑；
- ④钻头钻通固体材料，不需预钻。

有两种钻头，区别是内部去屑或外部去屑，外部去屑方法是最常用的，如图 22-36 所示。

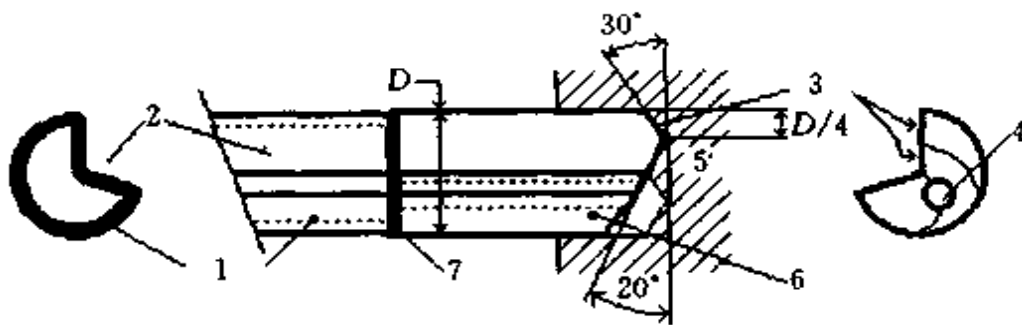


图 22-36 截面上的深孔钻削

1—空心杆；2—出屑槽；3—切削刃；4—冷却液通道；5—工件；
6—硬质合金头部；7—铜焊

22.19.2.1 枪钻材料

钻头的工作端（头部），由硬质合金制成。比高速钢更硬，寿命更长。头部是用铜焊将其焊接在一根长的钢管（杆）上，钢管另一端被固定在机床夹头上。

工作端全新时约 40mm 长，切削刃部可重磨，直到剩余的长度不足以在孔内起导向作用。钻头越短，偏离的危险就越大。

22.19.2.2 钻头的切削刃

切削刃的角度取决于被切削的材料，短刃大约 30°、长刃大约 20°

(图 22-36)。这是麻花钻和深孔钻最明显的区别。没有凿尖刃，但是钻头非常尖锐，明确规定的 V 型切削刃，围绕着钻头中心和所谓的 W 型槽旋转，保持钻头在中心上，甚至当切削刃在工件内部离导向套很远处时仍然可以工作。

当钻头逐步进入工件时，头部和杆部 3/4 圆柱比麻花钻上非常窄的棱边能提供更好的导向，这就有助于防止钻头偏离。

22.19.2.3 钻头定位

采用类似钻削模架的方法来进行，钻套属于钻头且随钻头一起供应。钻套（导向）在出屑盒顶端被固定到机器上，出屑盒用来收集返回的冷却液和切屑，且精确地定位钻头。导向面紧紧对着工件表面固定（图 22-37），所以通过出屑槽返回的冷却液（伴随切屑）能进入出屑盒而无渗漏。

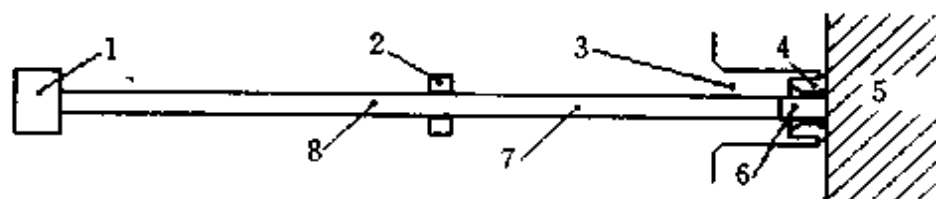


图 22-37 枪钻在工件表面的定位

1—驱动器；2—防振导向；3—出屑盒；4—导向；5—工件；6—头部；
7—杆；8—枪钻

设计人员必须了解出屑盒尺寸的设计，这有助于冷却、气体和熔流通道的的设计，因为枪钻头部可能妨碍零件钻孔。

还有另一种套，即防振导向，在驱动装置和切削刃之间安装球轴承以支撑长杆，这个导向在于防止钻头振动，以免影响工件加工。

通常，对于工件上钻头的定位，标准导向套自然是足够了。然而，如果标准导向套装在出屑盒前部与工件有冲突，则必须要延伸（图 22-38）。

如果孔与钻头进入地点的表面呈一定角度（A）（图 22-39），但是在钻头水平面范围，钻套的前部必须磨去同样角度，以确保导向套紧紧贴在工件表面上。角度 A 应不超过 25°。

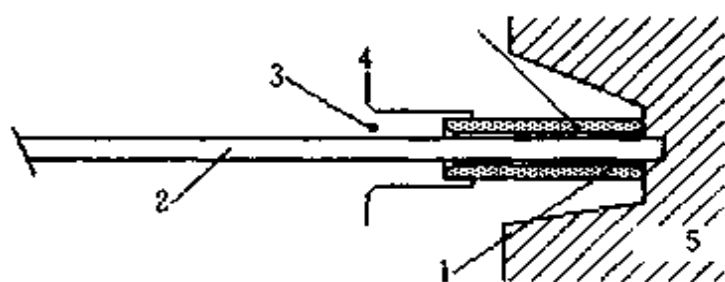


图 22-38 延伸的导向套避免出屑盒与工件的干涉

1—钻套；2—枪钻；3—出屑盒；4—延伸；5—工件

注意，能够避免使用特殊钻套，可通过在要求角度的表面提供（铣削）孔口平面（图 22-40），使标准钻头导向套能用上。孔口平面的直径应保持最小。

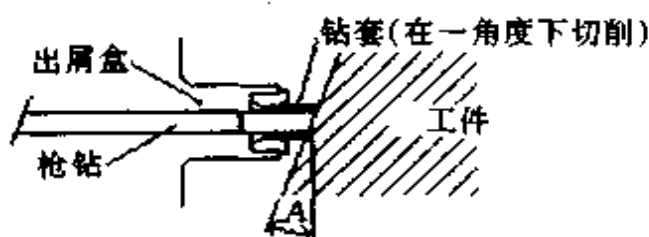


图 22-39 钻套切削角度 A
与工件表面配合

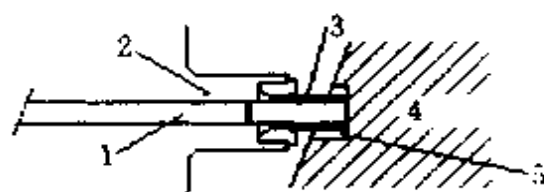


图 22-40 工件表面铣削孔口平面
1—枪钻；2—出屑盒；3—钻套；
4—工件；5—孔口平面

建议为钻套加工的孔口平面的最小直径如下。

| 钻头达到 | 孔口平面直径 |
|--------|--------|
| 10.0mm | 14.3mm |
| 18.0mm | 22.0mm |
| 19.1mm | 26.0mm |

如果进入工件的孔成复合角度，工件必须被安置在一特别设计和制造的夹具上，偏离钻头水平面呈需要的角度，此外在钻套表面需要特别的角（图 22-41）。这样的夹具、延伸和改动的钻套可能太贵，但它们是完成这样工作少不了的工具。

22.19.2.4 枪钻的直径和长度

制模工备有一定量常用的各种不同直径和杆长的钻头，钻头比较贵。如果可能，设计人员应尽量选择合适的尺寸。

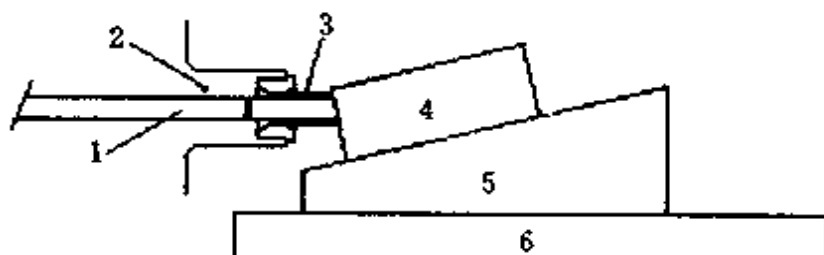


图 22-41 专门设计的夹具安装与水平面成所需角度，
并且改变钻套与工件的角度

1—枪钻；2—出屑盒；3—钻套（标准的）；4—工件；5—夹具；6—机床

特殊直径能够得到，但费用贵，且从商家购买可能需要很长的交货期。如果需要特殊钻头，应立即督促生产部门避免耽搁。设计人员应有备用钻头的直径和长度清单。

22.19.2.5 切削刃的冷却

钻头在整个长度上有一孔让冷却液通过高压泵入（压力在 2.07 到 6.21MPa 之间）。冷却液出口正好在切削刃后面，它冷却和润滑钻头，使孔内摩擦最小，冷却液还通过钻头的扇形开口（大约是钻头周围 100° ），将切屑冲出。然后冷却液与切屑分离，经过滤，再重新泵入。

直径的标准公差是 $+0.000$ ， -0.01mm ，头部磨成倒锥 $\approx 0.01 \sim 0.02\text{mm/mm}$ 以减小孔内摩擦。孔的最大允许超差为 0.1mm ，最大允许直线偏差是 2mm ，这一偏差受孔的深度影响。

22.19.2.6 材料硬质点

材料质量差，整个钢内组织分布不均匀，会产生硬质点，这会影响钢的任何钻削进程，深孔钻不如麻花钻严重，但这足以迫使钻头偏离更多（超出许可值）。

22.19.2.7 钻头偏离的影响

当从相反两边进行深孔钻削，就产生了一个相当长的孔，它们仅可能局部碰上。为避免流动阻力，应规定孔的深度，在接合处孔至少重叠 10mm 。

如果深孔钻削太接近表面，附近就无足够的金属来充当均匀分布的热库，且冷却液本身不能全部带走钻削产生的热量，接近表面的钻

削面的材料就会退火，引起钻头向表面偏离。采用钻削装置可避免问题的发生，如果表面是平的，可提供附加的热库（例如，通过在表面上放一合适的钢块）。

深孔钻削可能偏离太多而发生穿孔，或者会削弱模塑面或支撑面下面的材料。经验已经表明使用更好等级钢的模板可提高安全性（且在长期运转中成本低），例如宁可使用 P20 或不锈钢，而不用更便宜的 AISI 4140 钢，以避免由硬质点和钻削偏离引起的灾难性钻削事故。

· 22.19.2.8 深孔钻削通道的精整

深孔内部的粗糙度对于冷却液和空气一般是满意的，勿需铰削。对于塑料流动通道，如热流道歧管，必须对工件进行液体衍磨或抛光处理，以去除或至少磨平孔内所有粗糙的地方（塑料可能挂料）。

22.19.2.9 深孔设计建议

应避免断续的切削。因为硬质合金做的头部非常脆，为避免切削刃的损坏，枪钻在固体材料中应一直切削。

这不总是可能的，因为模具中的通道经常交叉（水、气体、塑料通道），然而设计人员和制造人员能够采取措施，尽量减小钻头损坏的危险。目前，钻头每次磨尖费用约 100 美元（等同于 1~2h 费用），因为要加上中断工作时间的损失。

对于所有孔的尺寸，钻头越大，越容易钻。特别是空气管路，如果最后的孔小（如 4mm 直径），在可能的情况下接近孔应是 8 mm 或 10mm，而不要用 4mm 钻头钻一个非常长的孔。

要避免流道中心线的偏离。在孔相遇的地方，存在切削中断，切削刃离开原有孔的中心线的倾向更大，使钻头偏向最小阻力方向（图 22-42），这类似钻头在材料上碰到一个软点。

对于直径有很大差别的横断交叉通道，在钻大孔之前，必须首先钻小孔。要不然，当钻小孔的小钻头通过大孔时，会失去导向，如图 22-43 所示。

最后，还要安排好深孔的进口，以便能使用标准钻套（图 22-44）。

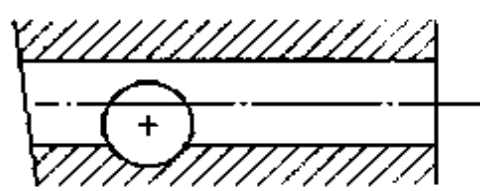


图 22-42 偏中心线的交叉通道引起钻头偏离



图 22-43 小钻头通过大孔失去导向

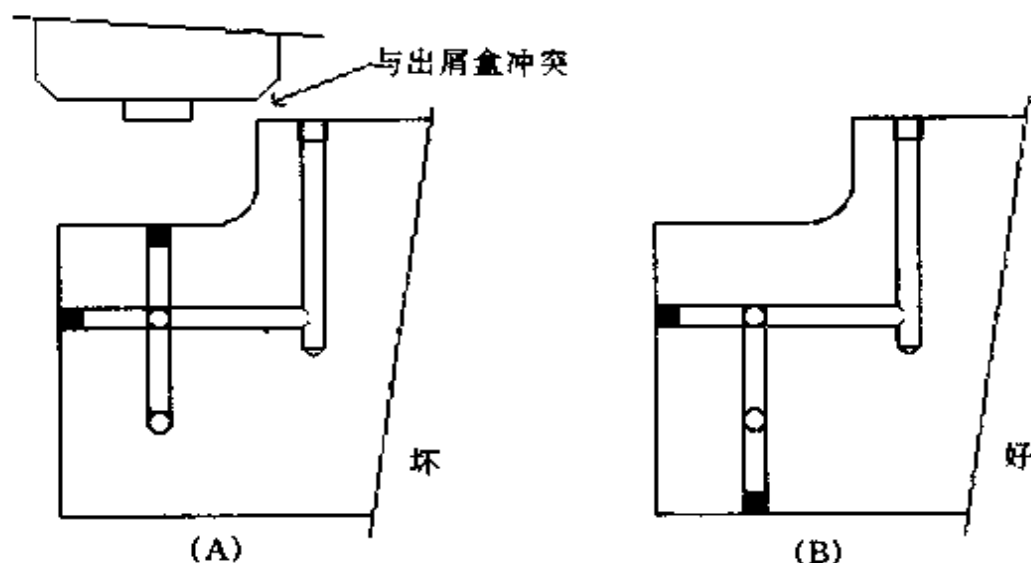


图 22-44 深孔的进口不应妨碍标准钻套的使用
(A) 孔的位置不好; (B) 孔的位置好

22.19.3 模具冷却和气体通道的钻削

冷却通道是用于模具内任何流体的循环，达到控制模具温度的目的。它可以让冷水或热水、油、空气或冷却剂在模具内循环。气体通道是针对压缩空气、真空和排气的。

下面是设计冷却管路的一些准则，然而，不存在严格的和快捷的准则，也不能代替常识。

- 对于短孔，通常麻花钻就能满足要求。钻头偏离正常路径一般在总的公差范围内可接受。

- 对于长（深）孔或在短孔位置精度重要的地方，应使用深孔钻（枪钻）。

22.19.3.1 交叉钻削

有许多模具（一般不贵）不用交叉钻削，水（或空气）环路的连

接在模板、模腔或模芯外部，可采用柔性软管或刚性管路系统。这有时候是不可避免的（例如，当连接移动的冷却模具零件时）。

模具自身内部包含冷却（空气）环路，可减小渗漏的可能性和改善模具的可维护性，这是模具设计良好的标志。

交叉钻削典型模式和尺寸见第十三章。设计人员考虑引导冷却液的流动或者从外部引入压缩空气（或真空），到模具内需要的地方。偶尔，排放口也在交叉钻削的通道上截止以排空模腔。

22.19.3.2 冷却液流动的导流塞

如不能安排好钻孔，使得流体（冷却液或空气）有连续路线，就必须设置导流塞以引导流动。图 22-45 (A) 和图 22-45 (B) 表示了用或不用导流塞，如何获得同样的流动模式。在图 22-45 (A)，从三边给零件钻孔，图 22-45 (B) 从两边钻，但附加导流塞和额外的钻削长度。总体上，(B) 图的加工不贵。这是一个非常简单的例子，但这是每次零件要交叉钻孔时必须要考虑的基本原理。

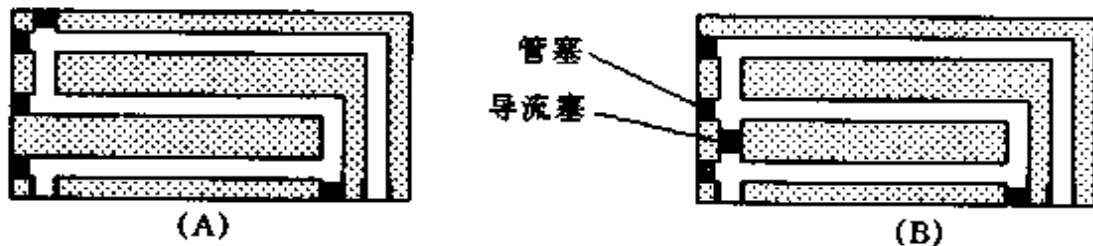


图 22-45 交叉钻孔产生同样的冷却通道

(A) 三边钻孔；(B) 两边钻孔加导流塞

导流塞类型，用于工业的导流塞有多种类型，使用任何一种通常都没有问题，一个好的方法是 Hasco[®]，即类似于塞栓，如图 22-46 所示。

塞栓被用特殊工具插入孔内，并由工具确定深度。在所需深度处，旋进塞栓的工具，固定塞栓外圈并拉里面的圆锥体，从而扩展塞栓并使孔密封。

这些塞栓的优点是它们勿需使用软焊或其他方法能确保导流塞在推杆上。另外，它们也相对容易去除。

能被导流塞承受的流体压力取决于孔的尺寸（配合），正如图 22-

47 所示。例如，对于 H11 配合，导流塞能支持约 1.67MPa 压力；H13 配合，则为 0.981MPa。由于标准冷却剂在模具内部的压力一般为 0.392~0.588MPa 范围，两个配合都满足，建议采用 H13 配合。

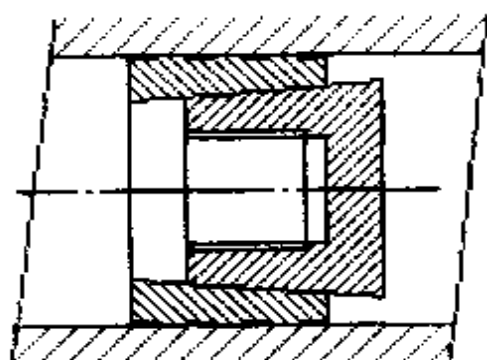


图 22-46 管塞导流塞插入钻孔
密封防止不希望
方向的流动

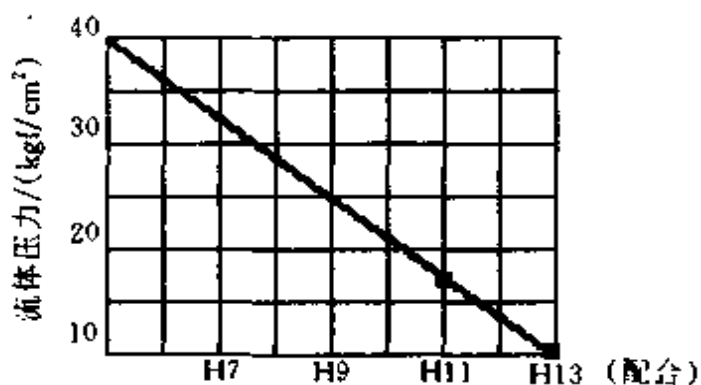


图 22-47 流体压力随着孔的配合
而产生的变化
($1\text{kgf/cm}^2 = 9.80665 \times 10^4 \text{Pa}$)

由于流动取决于压力差，挡板两边的压力实际是相同的，即使在导流塞和孔之间由于钻削划伤或刀痕造成的小渗漏，都不会影响导流塞产生的冷却模式。

Hasco[®]塞栓有 5 个标准（额定）尺寸（直径）：6，8，10，12，和 16mm，对应孔的公差如下。

| 直径 (mm) | 6 | 8 | 10 | 12 | 16 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| H13 (mm) | +0.270 | +0.180 | +0.220 | +0.220 | +0.270 |
| | -0.0 | -0.0 | -0.0 | -0.0 | -0.0 |

与正常磨尖的麻花钻头钻孔的公差比较。

| | | | | | |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 最大直径 | +0.157 | +0.167 | +0.177 | +0.187 | +0.207 |
| 最小直径 | +0.043 | +0.049 | +0.055 | +0.061 | +0.073 |

这表明用额定尺寸麻花钻钻的孔是可以接受的，因为，即使是最坏情况（最大孔尺寸），导流塞从一边到另一边都能承受大于 0.981MPa 的压力。

因此，不需要铰孔来接近公差。用枪钻钻孔的公差小于麻花钻的，故也可以接受。作为规则，当塞栓对着外部的時候，就不要使用导流塞。

22.19.3.3 冷却液通道的堵塞

塑料流动的通道必须要堵塞完整，不能留有槽穴让塑料滞留并长时间暴露在高温下降解。对于冷却管路，有冷却液不移动的位置，是完全符合要求的。然而，停滞的冷却液不提供任何冷却，只有移动的流体才带走热。

封堵冷却液管路的标准方法是用标准 NPT (National Pipe, Tapered) 管塞。Levlscal[®] (Unbrako Sps 公司) 用于冷却液管路的管塞由黄铜制成。按照惯例，管塞要与零件表面安装齐平 (水平)，图 22-48 (A)，有时，它们被深入到零件内部使用，例如，如果冷却液通道与接近表面的另一个孔交叉，如图 22-48 (B)。

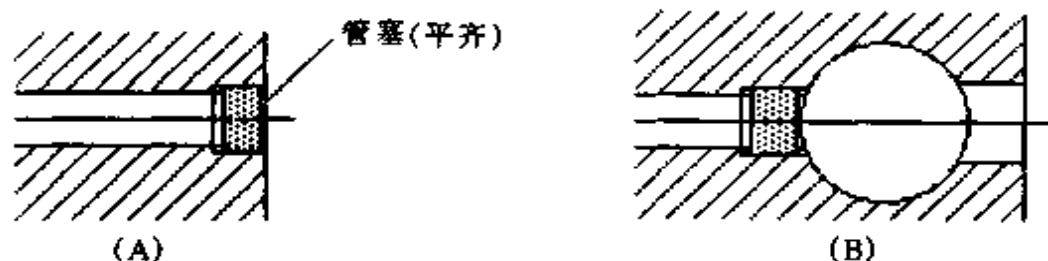


图 22-48 冷却液通道安装塞子

(A) 零件表面平齐；(B) 交叉通道塞入零件内部

采用黄铜 (不用钢) 塞子，是因为它比所旋进的材料软。它们容易变形便于与螺纹配合，不会因上紧时的楔形作用，使模具零件的应力过度增加，特别是在塞子周围壁薄的情况下。这经常是一个好的预防措施，在模具零件外部产生应力释放处。以至于即使零件变形，它不会影响与邻近零件的配合 (图 22-49)；另一个使用黄铜的原因是它不生锈，甚至用很长时间后也能很容易卸掉。

SAE 平面 O 型圈封闭很少用于模具。然而，通道偶尔不用管塞来堵，而用另一个模具零件，在这种情况下，必须提供 O 型圈。最好在带孔的零件上留有 O 型圈沟槽 (如图 22-50 所示)，以保证 O 型圈与孔同心。然而，O 型圈也能够在配合部件上，“封堵”的模具零件也可能是一个辅助板，用螺钉固定在孔端的模板外侧。

22.19.3.4 水管到孔和表面的距离

钻孔直径越小，长度越长，钻头偏离要求的路线就越多，推荐钻

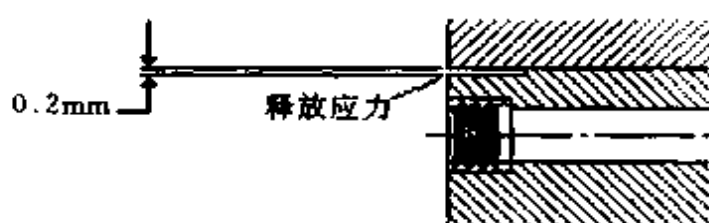


图 22-49 管塞附近表面贴接
其他零件的表面，
加工应力释放处

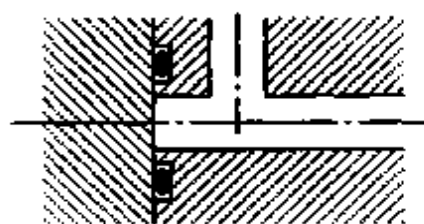


图 22-50 在通道被另外模具零件或模板封堵的地方用 O 型圈封闭

孔远端离开其他孔或任何表面的距离至少为 5mm。在孔起始端，这个距离可减至 4mm。这也适用于深孔钻头产生的长孔，即使他们能比麻花钻更好地保持一直线钻削。

推荐的最小距离 X 如图 22-51 所示：

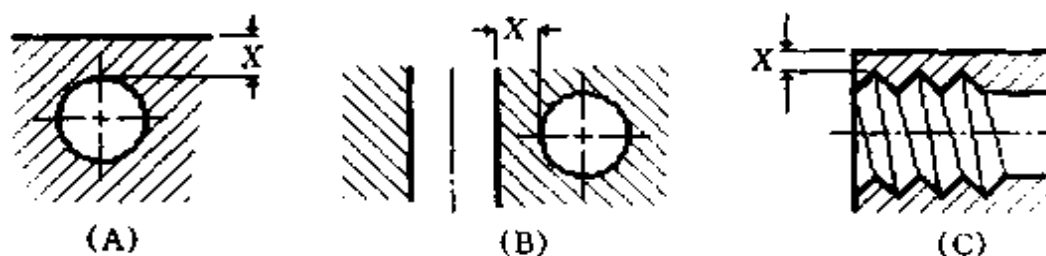


图 22-51 钻孔与其他孔或壁之间的推荐距离

(A) 孔和边缘；(B) 交叉孔；(C) 螺纹和壁

- 自边缘 (A) 为 5mm。
- 自交叉孔 (B) 为靠近起始处 3mm；其他 5mm。
- 自螺纹的 OD (C) 为 4mm。

横截面 X 产生的应力可能会很高，这是由于孔精整不良和螺纹引起明显的缺口效应，淬火钢出现的情况更差。另外，一些钢对有腐蚀的流体非常敏感（如未作处理的冷却水），很可能产生应力开裂。如果有疑虑，可向材料供应商咨询腐蚀问题。

通常要选择冷却通道（孔）的尺寸，适合标准管螺纹尺寸的攻丝（见表 22-6）。如果冷却通道小于标准管塞的尺寸，就必须用标准孔尺寸来钻孔，达到适合于管塞的最小深度以便攻丝获得全螺纹。

表 22-6 标准 NPT、BSP 和德国管螺纹 (G) 尺寸规格

| 额定管尺寸 BSP 或 (G) | 标准孔直径 | | 管螺纹的最大 OD | 横截面面积 | 开孔最小深度 |
|--------------------|-----------|-------|-----------|-----------------|--------|
| | in | mm | mm | mm ² | mm |
| 1/16-28 | 0.261 (G) | 6.63 | 7.72 | 35 | 7.4 |
| 1/8-28 | 0.3438 | 8.73 | 9.73 | 60 | 7.4 |
| 1/4-19 | 0.453 | 11.51 | 13.16 | 104 | 11.0 |
| 3/8-19 | 0.591 | 15.00 | 16.66 | 174 | 11.4 |
| 1/2-14 | 0.750 | 19.00 | 20.96 | 283 | 15.0 |
| 3/4-14 | 0.969 | 24.61 | 26.44 | 476 | 16.3 |

对于标准 NPT 管塞钻头尺寸和孔的横截面面积, 按照推荐的标准, 可查阅机械手册等。NPT 标准螺纹的斜度是 1:16, 对应于孔中心线呈 1°47' 的角度。为获得质量好的螺纹, 最好是用这个角度铰一下这个孔的进口, 尤其是用尺寸为 2.54cm 的 NPT 和更大的。这个斜度是希望用来减小淬火钢的应力和提供整齐的螺纹, 最好是在图纸上标注规定斜度的同时注明: “攻螺纹前铰斜度”, 这对于用在高压液压装置的斜螺纹连接也很重要。

英国标准管螺纹 (BSP) 明显不同于 NPT, 它的攻丝是直的, 管螺纹具有斜度, 每英寸的螺纹数是不同的, 且螺纹与 NPT 螺纹不可互换, 螺纹角度是 55°, 斜度是 1:16, 类似于 NPT。简单标注: BSP 1/4"-19。

德国管螺纹 (Rohrgewinde) 的标准 (VSM51100) 与 BSP 可互换, 但同 NPT 不行。简单标注: G1/4"VSM51100。

22.19.3.5 钻孔的尺度

用麻花钻所钻的孔的末端是扁“V”形, 深孔钻产生的孔是扁“W”形, 铣出来的孔末端是平的 (图 22-52)。

孔的深度 D 通常表示从模具零件的表面到被钻的那点。模具设计者仅要求, 交叉孔对冷却液和空气的自由流动是完全打开的, 无需延伸孔的深度而超出交叉孔。

用于表示钻孔深度的方法见图 22-52, 有时也需要标出实际的钻削点, 如果钻孔的末端接近模具上另一结构, 那么, 可能有必要标出所需的平底。

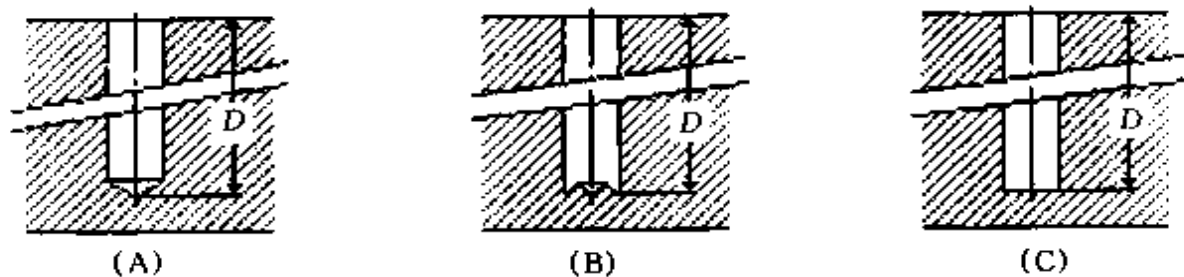


图 22-52 孔的末端，取决于所用钻头类型
 (A) 麻花钻，V形；(B) 枪钻，W形；(C) 铣出平底

在交叉孔处要表示钻孔深度，如图 22-53 所示，在小孔进入大孔的地方，表示到交叉孔末端的距离。

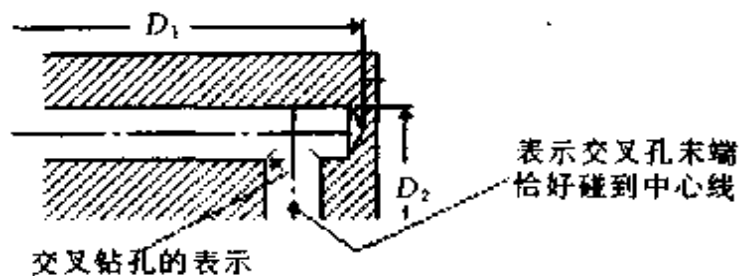


图 22-53 表示交叉钻孔深度

第二篇 模具性能

第二十三章 模具性能与寿命

投资的目的是获得利润(基本经济效益)。对于任何方面的投资无论是房地产、保险,还是机器、设备,都期望获得好的效益回报。对于购买、制造、使用注塑模具,其道理也是一样的。

模具性能决定着模具生产率的大小,同时还决定着模具操作的可靠性,模具制造的制品的质量(精确度、均匀性、粗糙度等),模具成本对塑料制品成本的影响,以及模具的寿命期望值等,这些是评判模具优劣的标准,以下章节用简明的语言着重阐述了影响注塑模性能的一些基本关系。

对于初次涉猎本技术领域的人,建议他读一读《注塑模入门》一书,H.瑞斯等著^[1]。该书能使读者熟悉那些在本书中用到但未经解释的常用语,并有助于理解有关模具设计的一些要点。

第二十四到第二十八章,阐述注塑机的各种工艺设定与制品设计、模具设计、机器性能,所用塑料等因素之间的关系以及他们是如何影响塑料制品的质量和模具生产率的。第二十九章到第三十二章讨论注塑模中的力和各种因素对模具有效寿命的影响,这些在模具综合性能中扮演重要的角色。

这些信息不仅可供与设计 and 操作模具有关的人员(模具设计师、报价员、技工)参考,而且也可供规划生产和决定模具及注塑机的负责人员参考。它能大大帮助制品设计者,操作工程师以及销售人员和维修人员理解在注塑模和注塑机使用过程中遇到的各种技术术语和相关关系。以下章节还详细阐明了条件的变化对制品质量和模具生产率的影响,以及影响模具实际寿命的各种因素。

所有示图已大大简化，只用来显示一定的相互关系及它们对模具和模塑作业的影响。当需要进行精确计算和这方面问题的深入研究时，需要实际的曲线，这可从塑料原料供应商，以及不同领域的设计和研究专家那里获得，这些领域诸如应力分析（有限元）、冷却、熔体流动等方面。

经常会遇到的问题是：“模具能使用多久”或“模具寿命多长”，这里将作出回答，并且列出在回答这类问题之前需要考虑的各种因素。

理论上，一副设计合理，制造合格，保养良好的模具使用寿命是无限的，通常来说，要比模塑制品生产要求的还长。但是，有些模具只用来满足小批量生产，这包括试验用模具或者生产数量有限的预制样品的模具。生产用模具也有是这种类型的，即模具寿命要求很小，可能只需用来生产不到一百万件的小型制品，或者数量更少的大型制品。

如果生产批量很小，应当省略模具的许多特殊结构，从而降低模具成本。即使这样做也会导致单件制品成本比大批量生产时的高。需要牢记的是，应力求对模具的全部投资加上其他生产成本，对于模塑制品来说是最低的，总的目标是将单件成本降到最低限度。

可设计出生产同种制品的几种不同模具，各模具型腔数，冷却系统复杂程度和流道、浇口系统互不相同。通过对预期生产率的估计和比较，计算出每副模具的单件成本，从而可以得到生产该制品所需的最佳（最低）成本。

许多模具用于制造制品生命周期很长的消费品，随后几年内这些消费品的每年需求量达几百万件。但如第 18 章所讨论的那样，模具寿命的临界极限值是指模具满足生产需求的循环周期数，而不是指模具生产的制品数目。

下列例子浅显易懂，但在讨论模具寿命时必须理解透彻：

例：仅单腔模具生产总量为一千万件的制品，需要一千万次的循环，应当重点考虑模具钢的疲劳寿命问题。用三十二腔模具生产同样数量的制品，所需循环周期数为 $10000000/32=321500$ 次。这样，模具零件可承受较高的应力（如疲劳曲线所示），因此可减轻模具质量从而成本降低。

模具有效寿命 当讨论模具寿命时，基准是模具能安全、有效运行时的有效寿命。在下列条件下操作，正确设计的模具，其破坏应该不是由于正常磨损带来的破坏。这些条件是：

- ①在规定的注塑机上使用特定的模具；
- ②使用清洁、已过滤、经过处理的冷却水；
- ③使用原先规定的模塑料；
- ④在操作、维修和贮存过程中处理正确。

严重损坏 一时的疏忽会造成模具的严重损坏。从而明显降低模具寿命，并需要昂贵的维修费用。典型例子是：

- ①注塑机选用不适当造成的破坏；
- ②模具表面的损伤，或使用硬工具将粘住的制品或其部分移动时，将细芯杆折断；
- ③机器启动时，处于未封闭状态，不可避免要发生浇口破坏；
- ④模具在机器内的安装草率，造成模具移动或脱落；
- ⑤机器维护不善，模具定位不好。

磨损和腐蚀 总是存在引起磨损和腐蚀的工作条件。如果设计者知道模塑料具有磨损性和腐蚀性，或模具在非常潮湿的环境下工作，在设计模具时就应当选用合适钢材，并进行表面处理，来防止模具的磨损和腐蚀。模具的常见磨损处如浇口，应设计成易于更换的浇口镶件。类似的，易于破坏或者磨损的细小芯杆也应当做成易于更换的。这一类的模具寿命问题是：

- ①模塑工更换了塑料，也就是说，模具本来用于无磨损性和无腐蚀性塑料成型的，现在用“错”了塑料；
- ②模塑面被高湿度侵蚀，需经常抛光，最终使制品丧失其尺寸精度；
- ③模板受高湿度影响，平行度遭到破坏；
- ④未经处理的冷却剂侵蚀冷却道，降低冷却效率。

希望本书有助于读者更好地理解在注塑模具设计、制造、购买、及使用时遇到的需重点考虑的问题。无论是少量还是大批量生产，仔细考虑这些问题，将有助于避免在塑料制品的生产计划里出现代价昂贵的错误。

参 考 资 料

1. Rees, H. (1994). *Understanding Injection Molding*. Hanser Publishes, Munich, and Hanser/Gardner Publishers, Cincinnati, OH.

第二十四章 模具性能方面经常问到的问题

24.1 什么是模具的期望寿命

24.1.1 制品报废

大多数模具的寿命是由制品可用性决定的。如果模具生产的制品报废，那么该模具就没有价值了。

24.1.2 模具报废

不合理的生产计划，可能导致模具作废。如果制造新产品模具的生产量计划不合理，制品产量超过预期要求，那么解决的方案是增加型腔数目，或通过改善成型方法（更好的模具设计，提高性能如自动化）来提高生产率，而不是重新制造与前一模具类似的新模具。

技术水平的提高，也将导致模具作废。模具和成型技术的改善影响模具寿命。生产率低的模具不再继续使用而被生产率高的模具替代。

PET 瓶坯成型开始是采用 8 腔模具，成型周期慢。随着热流道技术的提高，模具制造方法的改进，注塑机的改善及自动化的采用，循环时间显著降低。同时，模腔数逐渐增加到 12、16、24、32、48、64、72，现已可达到 96 个。

例：8 模腔模具，循环周期 35s，模具生产率为：

$$\frac{3600s}{35s} = 103 \text{ 次/h} \times 8 \text{ 个} = 824 \text{ 个/h}$$

48 模腔模具，循环周期 22s，生产率：

$$\frac{3600s}{22s} \times 48 \text{ 个} = 7855 \text{ 个/h}$$

由此可见，48 腔模具的生产率是 8 腔模具的 9.5 倍。更重要的是，48 腔模具只要一台注塑机。而在原有技术水平下采用 8 腔模具，至少需要 9 台。当然，要提高生产率，需要较大的注塑机，使其塑化能力满足

大型模具的要求。还要求注塑机带有引出装置,该装置在确定冷却必需的时间时是重要的因素?。

因此,因该放弃使用“老式”模腔数目少的模具,即使该类模具仍适用于某些操作环境。

24.2 什么是影响模具寿命的因素

24.2.1 机械部分

一般来说,如果模具设计及制造合理,不存在因工作疏忽,操作和维护不善及偶然事故造成的破坏,那么模具的使用寿命是无限的。以下列出影响模具寿命的主要因素。(有趣的现象是,在各类机器的工程和制造中,这些问题大部分已得到了关注,但是要使模具制造行业放弃“跟着感觉走”的现象,并逐步采纳已得到承认的常规工程方法和计算来制造模具,还需要很长时间。)

①模具零件强度不够,不足以承受合模力、注射压力,顶出力和热膨胀差异引起的力;

②模具材料选择不当;

③模具钢许用疲劳强度考虑不当常造成模具破裂;(这是模具破坏的主要原因,但经常被忽略。模具在开模合模时处于周期性的加载和卸载状态,并且在注射时受周期性拉伸。)

④热处理不当;

⑤滑动面润滑不充分;

⑥机器调整不当;

⑦模具的实际操作和维修不善,特别是模塑工不按程序启动和维修模具。(例如:为防止启动时浇口凝固,在去除浇口堵塞使其处于开启状态时;当使用有污染性的塑料时;或者当打开模具热流道部分检查喷嘴和喷嘴加热器时没有按操作程序进行。)

影响模具寿命的其他因素:

①使用的塑料不干净,具有污染性;

②填充剂具有磨损性、腐蚀性,如玻璃及某些添加剂;

③湿度高;

④冷却水不干净,具有腐蚀性。

24.2.2 电气部分

模具中的许多电气部分同样可能影响模具寿命。以下列出了一些主要影响因素。

①在额定电压下,大多数电气元件如加热器的使用寿命受到限制,一般使用寿命是5000~10000h。在低电压下,可延长加热器的使用寿命。在90%的额定电压下,加热器的使用寿命几乎不受限制。而在较高电压下,即使仅高出10%,加热器的预期寿命将明显下降。

②在高压下,频繁开关会降低加热器使用寿命。

③被加热模具零件和加热器接触不良(缺少“散热器”),将显著降低加热器寿命。

④溢漏的热塑料跟电源(连接器、加热器线圈等)接触,将发生碳化,并引起短路和加热器失灵。

⑤冷却剂渗漏到电线、触头、连接器处,引起短路并可能损坏设备控制装置。

⑥电气元件对粗劣的操作和偶然性事故很敏感。

⑦电缆、连接器等设置不当可能导致机械损坏。典型的是,电缆卷入运动部件内或者夹在运动的模具和(或)机器部件之间。

⑧大多数电气装置对突然的电压波动和系统短路很敏感。

⑨电气和电子元件对高温环境都敏感,通常这些元件不能在高于50℃的情况下使用,除非它们是专门为在高温下使用设计的,或者周围提供了充分的通风和(或)冷却装置。如果这些元件在超高温下使用,它们的预期寿命将大幅度减少,且工作性能不稳定、不可靠。建议在空气调节良好的车间从事模塑作业,以保证机器正常运转。

24.3 生产量、生产率和效率之间有什么区别

生产量、生产率和效率这些名词经常引起误解和翻译错误。以下几节将从成型及模具制造两方面解释每个名词的确切含义。

24.3.1 生产量

生产量指单台注塑机、一组注塑机或整个模塑车间在给定时间内

(小时、天、星期等)的总产量,该产量用生产出的制品数或“转化”的塑料量(t/d、t/星期等)来计算。

如果工厂有足够的机器、模具、人力满足需求,那么即使该厂生产效率不高,也能达到很高的生产量。

24.3.2 生产率

生产率指单台机器、一组机器或者整个模塑车间每单位占地面积和每位操作员工的生产量。一般从总体上来说,机器、模具、操作方法和工厂越好,所需操作人员越少,生产率越高。

例:如一台装有单腔模具的注塑机对某一产品的生产率是120个/h,要达到480个/h的生产率,就需要4台注塑机和4位操作者。

假若相同的机器可以容纳四腔的模具,且操作实现全自动(即不需操作者),生产同样的制品时,产量同样是480个/h,但是生产率将是上述方案的4倍。

类似的原理可应用到其他领域的自动化方面,比如材料管理(向机器供应塑料)和生产管理(搬运和贮藏模塑制品等)。

24.3.3 效率

有多种方法可以定义模塑车间的生产效率,准确的定义用下述公式表示

$$\text{效率}(\%) = \frac{\text{实际生产的合格塑件数量}}{\text{指定时间内能生产的塑件总量}} \times 100 \quad (24-1)$$

式中的指定时间是指机器的可利用时间和分配给特定任务的时间。可以用下面的公式进行近似计算

$$E = \frac{\text{生产合格塑件的小时数}}{\text{机器提供给模具的全部小时数}} \times 100 \quad (24-2)$$

下例可以清楚解释上述公式的含义,假定为满足特定的生产量要求,指定给一模具的时间是40h,安装时间假定为6h,安装时间包括:

- ①将模具安装到机器上;
- ②完成所有连接;
- ③加热模具;
- ④操作机器直到“全周期”全自动运作;

⑤卸模并移出模具，使机器处于下一模塑循环的备用状态。

假定所有制品都是合格品，效率可计算为：

$$E = \frac{40h - 6h}{40h} \times 100 = 85\%$$

进一步假定只有 90% 的制品合格，则总效率 E_T 变为

$$E_T = 0.85 \times 0.90 \times 100 = 76.5\%$$

如果将安装时间减半(3h)，效率将提高不少

$$E = \frac{40h - 3h}{40h} \times 100 = 92.5\%$$

如果生产时间较长，那么安装时间不重要，假如，计划操作时间为 240h（两个星期，每星期 5d，按 24h/d 计算），效率为

安装时间以 6h 计算

$$E = \frac{240h - 6h}{240h} \times 100 = 97.5$$

安装时间以 3h 计算

$$E = \frac{240h - 3h}{240h} \times 100 = 98.75\%$$

这就表明“快速换模装置”只是在生产操作时间短，以及安装时间可显著减少的情况下使用，才显著提高效率。据报导，现今的一些快速换模装置可使两个生产模具之间的换模时间减少到 0.5h 以内。为实现高效率和高生产率，保证模具生产合格制品，不能因管理不善或模具、机器、机械手等设备性能不良而中断模塑作业，则更为重要。

在一些模具中，启动时间（模具运转正常）很长，启动时间是如上所定义的安装时间的重要组成部分，它通常和产品的复杂程度、模具设计和热流道系统的设计直接相关。妥善记录，保留早期最佳方案可大幅度减少启动和调整机器的时间。

24.4 性能如何影响制品成本的

有许多因素影响制品成本，其中大部分因素和工程方面相关。影响每单位制品（以生产 1000 个制品为例）成本的因素有：

- ①塑料原料成本；
- ②电力、水和压缩空气的成本；

- ③制造该产品的直接人工成本；
- ④模具成本；
- ⑤机器成本；
- ⑥维修费用；
- ⑦工厂固定支出（一般管理费、行政管理费用）。

在第 3.8 节中以工程观点对上述许多影响因素进行了详细地说明，下面将从性能观点上讨论这些因素间的关系。

24.4.1 塑料成本

对于大多数制品来说，该项成本在总成本中占有主要的比重，对一部分制品，该成本可能高达总成本的 90%，为此要尽可能地减少制品的塑料用量。

依靠合理的设计和工艺，可以减少塑料用量，即在保证塑料制品安全使用的前提下，使制品材料用量最少，且产品质量轻。质量轻还有另外一个好处，即缩短所需的注射及冷却时间，从而缩短模塑周期。

但是，模具和（或）机器性能差，塑料质量不稳定，都会产生废品并导致成本的增加。报废或再次加工都意味着材料成本的增加。

如生产批量大，加工条件良好，废品数量（废品率）可降到 1% 以下；当生产批量小时（常需启动和调整），废品率可能高达 5% 甚至更高。显然高废品率会增加产品成本。

24.4.2 能源、水及压缩空气的成本

在注塑机效率高和模具设计合理的情况下，这些费用和塑料的“转化”（加工）量直接相关。电力用来开动机器和机械手，在机器外干燥（和/或加热）塑料和加热挤出机中的塑料。

提供必要的冷却水循环，把热量从冷却水中带走，这些都需要动力，所以，塑料用量越多，所需动力和用水量就越多。这里，质量轻有利于这些成本费的降低。

提供用于模具中的压缩空气（或真空）也需要动力，压缩空气常用来移动或取出制品。如果所需压缩空气的体积很大，其费用就很高，所以在使用压缩空气之前应进行仔细估算。多数情况下，上述费用都已包括在车间的一般管理费用中。

塑料和动力的成本还体现了注射成型的热流道和冷流道之间费用的主要差异。

以下所述的仅针对冷流道系统。

①流道中的塑料经常（不一定）可再利用。但即使所有的都能再利用，也至少会因为作业过程和流道凝料在破碎及输送过程中的杂物的影响，而引起材料损失。

②冷流道的塑料加工所需能量比热流道的多。首先，不仅塑化制品的塑料量需要能量，而且流道中所需的塑料也离不开能量，这额外的塑料用量会影响注塑机的选择，要选择塑化能力和注射量更大的注塑机。对于有些由多腔模具所成型的小制品，流道中的塑料量可能和模塑制品的注射总量一样多，有时甚至更多。

③多余的热能（流道中的）必须通过冷却转移，这就增加了模具所需的冷却量，同时运送、破碎以及将破碎料与原材料的混合都需要增加动力。

在热流道系统中，因没有流道凝料需再处理，所以就没有料损，也不需冷流道系统中以上1、2、3点讲到的额外能量，由此可见热流道模具的生产费用比冷流道模具经济得多。当然另一方面，冷流道模具制造费用常更便宜，故如果总的制品需求量较小，常使用这种模具；而热流道模具的制造费用高，不适用这种情况。

有时也会由于技术上的原因而制造冷流道模具，尤其是对很小的制品。以现有的技术，热流道模具不能满足很小的制品的要求，故可以在一副模具中同时使用冷流道和热流道系统，即几个型腔为一组，每组内由小冷流道来供料，而各组本身又由大的热流道系统供料。

24.4.3 制品生产的直接人工费用

在确定生产某特定产品的直接人工成本费用时，有关工作量的几个方面要考虑到。

①把原材料从仓库运到机器加料斗 现在许多模具厂常用管道自动从罐仓运到机器所在处，如果需要，还在其中混合色素添加剂和（或）重磨料等，常需人工用小車等运送。这些费用常包括在企业一般费用中，而不直接计入产品成本中。

②运输、分类、贮放等处理废料的费用 这些也考虑在企业一般管理费用中，不直接加到产品成本上。

③操作机器（模具）的实际工作量 这个工作量和操作工人在全部工作时间内，从机器中取制品的方法有关（半自动化操作）。现在，大部分模具可以设计成注塑机旁无需操作者。但是，如模具设计不合理，制造质量差，就需人工从模具中取出制品，去除溢料和流道凝料，或者要把制品放在固定的收缩位置上，以防止顶出后的制品产生变形。

④镶件模型 在许多模具中需要用到镶件，这些镶件在模具打开时人工安置到模具中，所以即使模具操作实行自动化作业，还需安排一名工人。通常，这种制品的生产量是相当低的。可以肯定，如果需要大批量生产，各类人工安置的镶件都可以用某种机械手来实行机械化、自动化。这样操作就不是由工人的技能决定的，所以，即使设备很贵，结果还是很合算的，原因是：提高了生产率，降低了体力劳动量，且提高了产品质量。另外，还考虑到安全因素：在注塑机这样的机械旁最好实现无人操作。

⑤制品运送 这里包括将塑料制品运送到后续工序，和直接贮存及直接装运。对于大批量的生产，许多过程能实现完全或半自动操作，将大幅度降低直接劳动量。对生产量较少，且制品形状和尺寸变化范围大时，这样做就可能不容易，仍需大量人工劳动。详细讨论这方面内容超出了本书范围。在这里只是想让读者意识到该项成本可能很高。

⑥后续工序 包括制品的下列作业费用：堆放、分类、标记、装配、修饰和包装。没有特定的解决办法来免除或者降低这些作业的大量人工劳动。一般地说，只要生产批量大，任一项作业都有可能实现自动化，免除全部或大部分的直接劳动费用。但是在今天，即使生产批量小，也能在许多场合经济地实现机械化作业，因此仅需要最小的直接劳动。

⑦安装 包括模具的安装，调试到最佳状态和产品生产结束后卸模方面的费用。如果换模很频繁（仅隔几天或几个星期）的话，这项费用会很大。但是，若模具在机器里工作的时间相当长，该费用可忽略不计，特别是由于（挤出机在第一次调整到位后）在新产品能够进

行质量和尺寸检验之前，必须先试机注射至少 10 次，因而要建立模具的最佳运作条件，需要最好的调整部件。在注射装置的每次温度和压力或者是循环时间单元调整变化之后，再生产下一产品时，需要一段稳定时间来重新建立温度、压力和循环时间系统，这种调整直到获得最佳状态为止。注意，对于多模腔模具，每次调整后应检验每个模腔内的制品。在模具装运之前，应先在模具制造商处调试每副模具，以建立指定塑料的最佳成型条件，并记录各项调整以便客户将来的使用。这种调试不仅可用来证明模具运作符合计划，制品性能符合要求，而且可替用户节约相当多的新模具试模时间，以及节约其他的调试时间和塑料、能量等方面的费用。

⑧效率计算（如前所述）对于频繁换模的模塑工来说，减少安装时间是很重要的，这可通过使模具安装方法标准化及尽可能简化连接装置（水、电力、空气）的办法来获得。最终是实现换模的自动化。中型模具（约 500kg）的换模时间已缩短到 0.5~4h。要实现热流道模具的快速换模，最重要的节省时间的方法是在安装前将模具预热，而不是在安装后等待模具加热。

安装时间经常被看为一般管理费用，并且不和产品成本直接相关，但是，对于频繁、短期运作，安装应当成为产品成本的一部分。

24.4.4 模具成本

这里有几种方法可用来计算每个（或每 1 千个）制品的模具成本。该成本主要和制品每年中或在模具寿命周期中的需求总量有关。

典型情况是，如果一副模具生产的制品仅为满足一年的某种产品的样品需要，或只是为促销目的的一次销售活动需要，那么该模具在生产有限的制品后就要被注销。

例 1：一副汽车零件模具成本 60000 美元，制品总需求估计为 50000 件，每件制品模具成本是：

$$\frac{60000 \text{ 美元}}{50000 \text{ 件}} = 1.2 \text{ 美元/件}$$

在这种情况下，每件制品模具成本在每件制品成本中占相当高的比例。

另外也有一些工业品模具，即使它们能够使用许多年，但每年预期的生产批量有限。在这种情况下，每件制品的模具成本，在每副模具使用 7 年甚至 10 年的时间内，可望生产的制品总数为计算依据。

例 2：一副精密试棒的模具成本 35000 美元，每年只需生产 1000 件试棒。但是类似的模具可望连续使用许多年，假定超过 7 年后模具报废，最终成本是：

$$\frac{35000 \text{ 美元}}{7000 \text{ 件}} = 5.00 \text{ 美元/件}$$

(在这种情况下，每件制品模具成本比所用塑料成本大得多)。

另一方面，如果制品是“无时间限制的”，换句话说，在许多年内制品满足要求且不发生改变，模具可能在两年或几年内注销，此时每件(或每 1 千件)制品的成本是以两年或多年时间内预期产量计算的。

例 3：一副 6 腔胶卷盒模具成本 200000 美元，假定循环时间为 8s，该模具生产能力为：

$$\frac{3600\text{s/h}}{8\text{s/次(注射)}} \times 6 \text{ 件(腔)/次} = 2700 \text{ 件/h}$$

或者 5400h/a 的运行^①可获得 14580000 件/a，在两年内(选择的报废时间)，模具生产 29160000 个制品，用这个数字去除模具成本，最后得到每件制品的模具成本：

$$\frac{200000 \text{ 美元}}{29160000 \text{ 件}} = 0.0069 \text{ 美元/件或 } 6.98 \text{ 美元/千件}$$

模具成本因此成为产品成本中几乎可忽略的部分了。较高质量的模具成本可能更高，但是，其生产率也提高了，这种成本增加能提高机器的生产率，而对制品成本影响甚微。

24.4.5 机器(机时)成本

机器比模具费用更高，但是机器的购买费用，包括安装费和资金利息，依据会计惯例，通常能在 7 年到 10 年这样很长的一段时间内分

① 上述每年运行 5400h 是由下列方法得到的：

可能时间：24h/d × 7d/星期 × 52 星期/a = 8736h/a。

实际时间：24h/d × 5d/星期 × 50 星期/a = 6000h/a。

假定机器的利用率 90%，总时间为 5400h/a。

摊。例外：如果一台（标准或特殊的）机器（用于模塑、产品装卸等）仅需做一项专门工作。在这种情况下，机器只不过是模具的附加部分，并且会和模具同时期注销。

一般来讲，制模工要确定机时价格，并以此收取模具专项工作运行时间的费用。基本上，机时价格为机器成本（每年）除以机器将会运行的小时数。这里假定机器在一年中全部或大多数时间都在工作。

例 1：一台机器价值 500000 美元，加上运输费、安装费和利息，假定机器成本为 700000 美元，使用 7 年报废，每年的机器成本为

$$\frac{700000 \text{ 美元}}{7\text{a}} = 100000 \text{ 美元/a}$$

用 5400h（如前解释）去除该数，机时价格为

$$\frac{100000 \text{ 美元/a}}{5400\text{h/a}} = 18.52 \text{ 美元/h}$$

这是很保守的计算，理论上机器还有 3336h 运行时间 [（8736（可能小时）-5400（实际小时）=3336（剩余小时）]。如果计划使用机器的时间超过 5400h，则机时价格将低于 18.52 美元。制品的机时成本为机时价格除以每小时生产的制品数。注意，这代表机器实际成本费，而不包括任何一般管理费用和利润。

例 2：假定上述机器可用来生产 1000g 的大桶，用单腔模具，周期为 25s，因此，这副模具的机时成本为

$$\frac{3600\text{s/h}}{25\text{s/次}} \times 1 \text{ 只(腔)/次} = 144 \text{ 只桶/h}$$

$$\frac{18.52 \text{ 美元/h}}{144 \text{ 只/h}} = 0.13 \text{ 美元(机时成本)/只}$$

如果该塑料桶所需塑料的成本为 1.50 美元/只，机时成本大约是塑料成本的 9%（表明机器的塑料塑化能力至少为 144kg/h）。

一副设计更好的模具可以将大桶的生产周期缩短为 20s，即 180 只桶/h，这副模具的机时成本减少到

$$\frac{18.52 \text{ 美元/h}}{180 \text{ 只/h}} = 0.10 \text{ 美元/只}$$

即机时成本是塑料成本的 7%；机器效率提高了 25%，表明：机

器的塑化能力至少要达到 180kg/h。

例 3: 同样的机器可用 8 腔模具生产 40g 的容器, 模塑周期为 8s。

$$\frac{3600\text{s/h}}{8\text{s/次}} \times 8 \text{ 个(腔)/次} = 3600 \text{ 个(容器)/h}$$

$$\frac{18.52 \text{ 美元/h}}{3600 \text{ 个/h}} \times 1000 \text{ 个} = 5.14 \text{ 美元/千个}$$

1000 个容器的塑料价值为:

$$40\text{g/个} \times 1000 \text{ 个} \times 1.50 \text{ 美元/kg} = 60.00$$

机时成本大约是塑料成本的 8.6% (表明机器的塑化能力至少要达到 144kg/h)。

例 4: 同样的机器生产同样的产品, 使用 2×8 腔迭层模具 (两面每面 8 腔), 和单面模具的周期相等:

$$\frac{3600\text{s/h}}{8\text{s/次}} \times 16 \text{ 个(腔)/次} = 7200 \text{ 个(容器)/h}$$

$$\frac{18.52 \text{ 美元/h}}{7200 \text{ 个/h}} \times 1000 \text{ 个} = 2.57 \text{ 美元/千个}$$

每一千个制品的塑料成本仍然和以前一样 (60.00 美元), 但是机时成本只是塑料成本的 4.3%, 在制品成本中的比例显著减少。

然而, 随着注射量的相应增加, 机器的塑化能力至少要达到 288kg/h。如果超过了机器的塑化能力, 就需增加该模具的循环时间, 则每小时制品产量将减少, 使用迭层模具的优势将丧失。另一种选择是, 仍使用迭层模具, 但使用更大型的注塑机, 机时成本也随之增加了。

在任何情况下, 须做出有关新模具的决定时, 都可进行类似的模具、制品和循环周期的综合计算。

24.4.6 维修成本

据保守估计, 模具每年的维修成本是模具购买价格的 10%~20%, 主要取决于制品的复杂程度。在头两年的使用中, 这项费用可能显得高了些, 但经过几年使用后, 这就是很现实的了, 特别是在严重的塑料磨蚀和腐蚀作用下, 需将模具完全整修, 包括拆卸、清洁和检验并更换掉已磨损和破坏的零件等。

机器维修费用在正常的磨损和消耗的情况下，每年约占机器购买价格的10%，该项费用包括周期性的油品更换、电气和液压系统的维护等。通常，把模具和机器的维修费用作为工厂一般管理费用中的一部分。

24.4.7 建厂费

建厂费用通常包括运营一家模具厂所需的全部费用，属于工厂管理费用。下面列出应当考虑到的典型的费用项目：

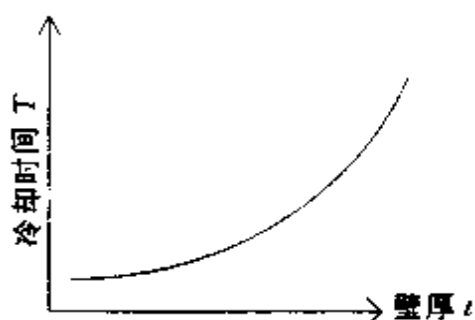
- ①建筑 and 土地费用；
- ②建筑维修费用；
- ③设备安装费用；
- ④动力、照明和水及其线路连接费用；
- ⑤设备运输、装卸费用；
- ⑥人工费用（不属于特定制品负担的）；
- ⑦税收、管理及其他费用。

第二十五章 循环周期

25.1 制品设计的影响

25.1.1 壁厚 t

塑料是热的不良导体，热导率为钢的 $1/30 \sim 1/20$ 。塑料越厚，高温塑料传热到低温模腔壁所需时间越长。对于不同的塑料，热导率不同，但是壁厚 t 和冷却时间的关系曲线都类似于图 25-1 所示曲线。



25.1.2 壁的均匀性
尽管大多数壁都很薄，但在循环周期中起决定作用的是在制品顶出前，必须冷却的最大厚度。

图 25-1 曲线表明壁厚越厚需要的冷却时间越长

25.1.3 制品所有部位良好冷却的可行性

对制品的设计，应能保证各部分同时良好冷却，否则，循环周期将延长。在有些情况下，要获得“好的”冷却效果，所需费用很高，因此，应着重考虑经济效益——为获得更好地冷却，由此带来的成本增加，在经济上是否可行。

以下部分阐述的是制品设计者应熟悉模具设计，或者至少与模具设计者相互合作，这样可大量缩短循环时间并因此降低制品成本。

25.2 模具设计的影响

根据模具结构特点，可分为几个部分，各部分都影响模塑周期：

- ①热交换；
- ②塑料充模；
- ③排气；

④顶出。

25.2.1 热交换

模具是一个热交换器，向模具内注射塑料的大部分热量应在制品顶出之前散发掉。因此，模具冷却系统的设计应能尽快地散发热量。不同的材料具有不同的热导率，模具材料的选择不同，散热情况也不同。在有些情况下，各种模具钢材导热性能的差异是很重要的。应用铍-铜合金或其他高导热性的材料，可大幅度缩短模塑周期。

25.2.2 塑料充模

将塑料由注塑机喷嘴注射到模具模腔，注射速度越大，注射压力越高，这就要求模具强度足够大。

流道和浇口的形状也影响充模，塑料流动阻力越小，充满模腔的速度越快。因此，应综合考虑各种因素，如浇口形状，热流道歧管的存料等等（如果模腔内塑料流动阻力非常大，流道和浇口对于塑料充模的影响可能会很小）。

25.2.3 排气

塑料进入模腔前，模腔内的空气必须迅速被排出，否则，由于气体受压缩而形成的反压力将减小注射速度。对于高速充模的薄壁制品模具，排气的优劣影响充模时间0.2~0.3s，循环周期10%。另外，气体压缩而产生的热量会使塑料降解并出现灼伤痕迹，这经常发生在制品边缘和没有排气的筋、槽和拐角处。

25.2.4 顶出

模具必须具有顶出系统，其顶出时间由顶出方式决定。如要求循环周期最短，顶出作业应设置在开模过程中，这样就不需要开模状态时间。但这种方法不适用于手工或机械手操作，这两种操作要求开模状态时进行。注意：“摆动滑槽”（HUSKY 专利）也是一种机械手，然而制品移出的整个过程都需要发生在空循环内。

25.3 注塑机尺寸选择的影响

所选注塑机的空循环时间将影响整个循环周期，并且对快速充模的制品影响更大。一般地说，注塑机越大，因有更重的部件需要加速、

减速，所需空循环时间越长。对于循环周期短的模具，空循环时间的减少即使是几十分之一秒的时间，也能明显提高生产率。

25.4 模塑材料的影响（塑料）

25.4.1 粘度

注射塑料的粘度越大，注射速度将越小，且循环周期越长。用提高料温来降低粘度，通常反而会降低生产率，因为，提高料温后，冷却时间加长。

25.4.2 结晶度

由于结晶性塑料在加热时，要用额外的热量来改变分子结晶结构，所以达到要求的料温所需的加热时间要比非结晶性塑料长。同样也因额外热量的存在，冷却时必须散发这些热量，将延长冷却时间。这在图 25-2 的两张图中也有所示。

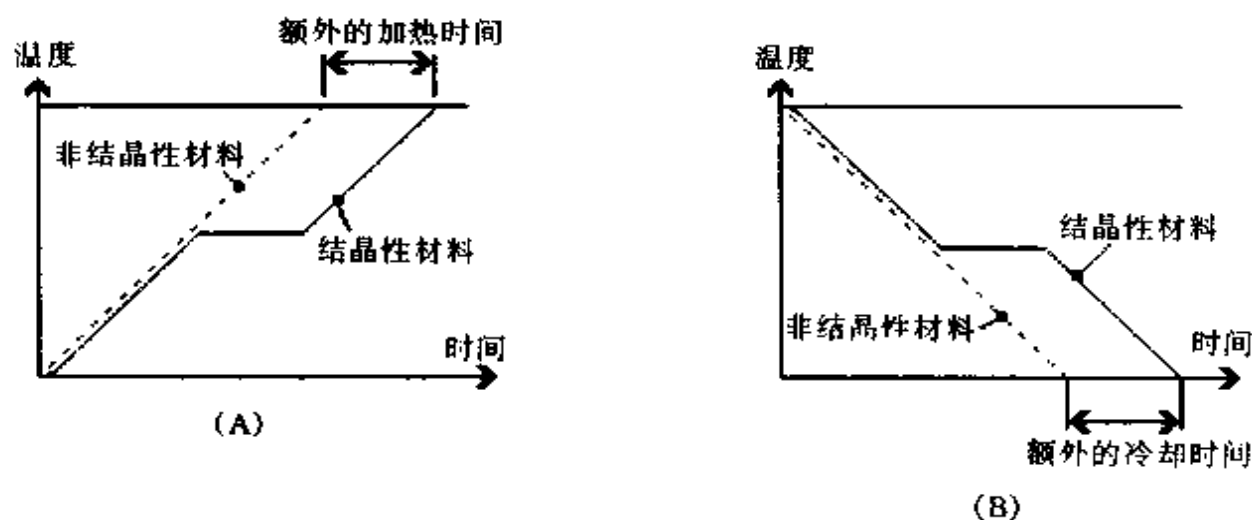


图 25-2 (A) 结晶性塑料和非结晶性塑料的温升；(B) 结晶性塑料和非结晶性塑料的冷却（温度下降）

这两个图已经过大大简化，这里只用来解释两种不同塑料之间的区别。许多塑料是结晶态和非晶态的混合物，这将使曲线更复杂化。不同塑料的实际曲线可从不同的原料供应商那里获得。

如 25-2 (A) 图所示，非结晶性塑料（PS、PVC、SAN、PC 等）的温度随时间线性增加或减少。对于结晶性塑料（PE，PC 等），温度首先随

着时间线性增长，然后达到一平台，此时“潜”热增加，而塑料温度不变，最后，所有晶体熔化后，温度再次升高，类似非晶态材料。如 25-2 (B) 图所示，结晶性塑料冷却时也将类似的时间延长（增加冷却时间）。

25.4.3 料温

塑料温度越高，冷却到顶出规定的温度所需的时间就越长。注塑机应调整到可靠运行情况下的最低温度。

25.4.4 热导率

一般来说，塑料都具有良好的热绝缘性，而非晶态材料是比结晶性材料具有更好的热传导性。

热导率越低，热量从热塑料传递给冷却模具的时间越长，可由图 25-3 解释说明。显然，塑料越厚，塑料在模具中冷却的热绝缘层越厚，在制品能不变形、不损坏地顶出之前，需要冷却的时间也越长。

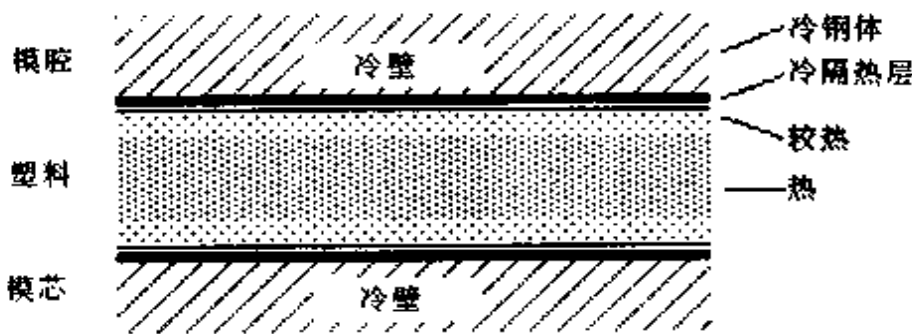


图 25-3 模腔和模芯间塑料层的相对温度

25.4.5 塑料来源

应该注意到，由制造厂分批供应的同一种塑料，各批性能经常不一样，这可简单地认为是由于塑料制造的积累公差造成的。

类似的，有时更为严重的是从不同制造厂处购买的技术条件严格相同的同品种塑料性能不同，需要不同的压力、周期和（或）温度。究其原因可能是由于使用的添加剂类型不同，剪切粘度不同及分子量分布（MWD）不等造成的。

25.5 制品顶出温度的影响

模腔内塑料的刚度应满足制品在顶出时不发生变形和破坏。在其他条件相同的情况下，顶出时制品温度越高，循环周期越短。由于塑

料在模腔外冷却时继续收缩，又由于不再受模芯尺寸的限制，制品最终尺寸由顶出时的温度决定。顶出时制品温度越高，其最终冷却后的尺寸越小。如果允许制品在模具里的时间越长，其尺寸越接近模芯和模腔尺寸。

25.5.1 制品应力

制品完全在模具内冷却，可能会产生内应力，该内应力会使制品报废（断裂、破损）。顶出时制品温度较高，有助于降低应力。

25.5.2 倒陷和螺纹的脱模

有内部倒陷的制品脱模，总是优先采用复杂的活动模芯或者用退螺纹的方法，但是，在不发生断裂、破损的情况下，制品脱出模芯时的允许扩展量是有限制的。

制品的允许扩展量主要由塑料类型（热固性、热塑性）、倒陷部位的形状和深度以及深度与整个被扩展制品之间的关系决定的。例如：同样深度的倒陷部位，小型帽盖的顶出就比大型的困难得多。

即使塑料冷却后既硬又脆，如果顶出时还是热的，就会允许有相当大的扩展量，但制品也不能太热而导致发生永久变形。在极端情况下，为保证制品可靠顶出，应使用温性冷却剂，顶出温度较高，在这样情况中，制品不可能从冷态模具中完好顶出。

注意：以上影响到注塑机的选择。脱模力大，就要求注塑机顶出力较平时大。这可能需要在模具内增加液压顶出系统，提供必要的顶出力。

25.6 注射（充料）速度的影响

注射（充料）速度高，将减少循环时间。注射速度受以下因素制约：

- ① 注塑机的能力；
- ② 塑料类型；
- ③ 制品设计；
- ④ 模具设计。

25.6.1 注塑机的能力

注射速度与注射液压缸提供的压力以及注射系统的容量成比例。该注射系统给注射液压缸提供足够的高压液压油来维持注射时的向前

运动。在许多注塑机中，只靠液压泵不能提供足够的高压油来维持柱塞螺杆（或注射活塞）向前运动，注射速度受注射装置液压泵输出量（体积和压力）的制约。

要改变这种情况，要么使用较大容量的液压泵和电动机，要么在机器不需要时，将高压油用蓄压器贮存起来，注射时再将这些高压油加到液压泵提供的高压油中。

注：应合理选择液压阀和管道的尺寸，以使注射时液压油流动阻力不会太大。

25.6.2 塑料类型

如果注射速度太快，超过其允许的剪切速率，有些塑料，将丧失某些基本性能。一般讲大部分（低成本）普通塑料如 PP、PE、PS 不是这样。

25.6.3 制品设计

流动距离长，流动方向经常改变，流动空间狭窄，都将降低充模速度。

25.6.4 模具设计

最重要的是，流道和浇口的形状及尺寸影响注射速度，图 25-4 是浇口的横截面图。 L 是浇口最窄部位的长度， L 越短，塑料流动阻力越小，这样速度越快。 D 是浇口直径， D 越大，充模阻力越小，但浇口尺寸实际有限制，浇口大，冷却时间长，且不符合美观要求。在操作中，大浇口很不切合实际，特别是在循环时间长的模具中，除非使用阀式浇口，除了注射外均关闭。

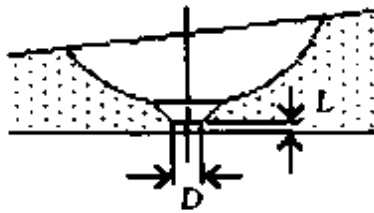


图 25-4 浇口剖面图

一个模腔多个浇口主要应用于壁厚相对较薄的大型制品，如大桶，大型汽车仪表板等。几个（2~6 或更多）浇口与一个（经常是中心）浇口注射的充填距离相比，塑料从每个浇口到冷态模腔空间的流动距离将大大减小。

例：直径 $D=300\text{mm}$ 的大桶，高度 $H=400\text{mm}$ ，流动距离 L 为

$$L = \frac{D}{2} + H = 550\text{mm}$$

要求壁厚 $t=1.8\text{mm}$, 因此比值 $L/t=305$, 该比值很大, 可能要求注塑机达到最大注射压力, 否则不能成型。

选择 3 个浇口, 各距中心 100mm , 均匀流动距离 L 减少到

$$L=(150\text{mm}-100\text{mm})+400\text{mm}=450\text{mm}$$

$L/t=250$, 该比值很合适, 注塑机能够生产出这个容器。

在多浇口情况下, 宁愿塑料分布在较长距离的低阻力的流道中, 也不愿在流动阻力很大的冷态, 窄模腔中多流动。这不仅适用于热流道也适应其他任何流道系统。

多浇口设计应重视排气问题。各浇口流入的塑料流前端相遇的位置必须设置排气槽(排气销等), 以防止制品中夹杂空气和(或)出现严重的塑料接痕。

多浇口的优点:

- ①浇口较小, 浇口痕迹不严重;
- ②注射压力小;
- ③注射压力小, 相应的合模力小;
- ④可采用更小的壁厚, 减轻制品质量;
- ⑤由于更高的注射速度, 从而循环时间更快。

显然, 多浇口形式比单浇口形式的成本高。在决定注射方法时, 必须考虑附加费用。

通过 27.28L(6 加仑)水桶, 来研究多浇口对制品质量的影响, 发现上述各点对多浇口是适合的, 但是多浇口对所需水桶质量的其他方面没有多大意义(但也无害), 比如承受顶部载荷的能力和冲击强度。

排气是模具设计中影响注射速度的另一因素。注射时, 塑料注入模腔, 模腔内的气体必须排出。不然, 被封住的空气将受注入的塑料压缩, 不仅会降低充模速度, 并且空气压缩后温度升高, 从而使塑料前缘过热灼伤。因此排气良好的模具, 不仅会提高充模速度而且能生产出更好的制品。

25.7 注射量

25.7.1 塑化能力

挤出机是以每小时塑料的“塑化”量(Q)来衡量, 是指使冷态粒状

塑料达到所需的注射温度(熔融态)。通常,注塑机的注射能力 Q 以每小时 PS 的注射公斤数为标准,单位为 kg/h。比 PP 和 PE 的每小时注射量大约少 10%.,该标准适用于连续运行的挤出机螺杆。

25.7.1.1 RS 注塑机

RS 注塑机中螺杆在注射和保压时须停止转动(挤出机的止推轴承转动时承受不了全部注射压力),同时,螺杆在很高的(背压)压力下,不能实现平稳的低压状态下的塑化。因此,RS 注塑机只能达到一定百分比的额定注射量。

例:模具运作周期约为 12s,注射和保压时间为 3.5s,挤出机实际“复位”(为下一循环准备塑料)时间为 8.5s,占 12s 周期的 71%。

假定本例中挤出机的额定注射量为 110kg/hPS,PS 密度为 1.05kg/L(1L=1000cm³)。

$$\frac{110\text{kg/h}}{1.05\text{kg/L}} = 104.762\text{L/h}$$

在所需注射温度下,塑料体积比冷态时大 0.4% (考虑到塑料收缩)。因此,实际(热)塑化能力为

$$104.762\text{L/h} \times 1.004 = 105.181\text{L/h}$$

如果使用相同的注塑机和模具,用 PE 代替 PS,生产该制品,挤出机的实际塑化能力会降低,这不仅是因为两者密度不同,而且还因为在注射温度下,塑料体积增加了。如果 PE 密度为 0.9kg/L,PS 与 PE 相差: 1.05kg/L-0.9kg/L=0.15kg/L。

冷态额定注射量为

$$\frac{110\text{kg/h}}{1.15\text{kg/L}} = 95.65\text{L/h}$$

冷态 PE 和注射温度下相比,PE 热膨胀率为 0.02,实际额定注射量为

$$95.65\text{L/h} \times 1.02 = 97.56\text{L/h}.$$

对于上例,塑化仅占用 71%的时间,PE 的最大塑化量只有 69.27L/h,大约是挤出 PS 额定注射容量的 40%。

上述例子假定挤出机螺杆对 PS 和 PE 塑料的塑化相同,而事实不

是这样，螺杆塑化塑料 PS 的效率较塑料 PE 的低。通常，应根据所加工的材料优化螺杆设计。

从生产的长远观点看，注塑机使用“通用螺杆”可能是一种倾向，换句话说，这对任何塑料不是非常有效的。对于常用的模塑料建议设计专用螺杆。

例如：一副模具的注塑量是 1000g，模塑周期为 30s，因此每小时能成型 120 件，所需塑化能力为 120kg/h。假定周期可以调整，因此可设定 80% 为恢复时间，则所需挤出机额定塑化量 Q 为

$$\frac{120\text{kg/h}}{0.80} = 150\text{kg/h}$$

如果所选注塑机中的挤出机的额定塑化量仅为 120kg/h，那么就不符合模具使用要求。120kg 的 80%，挤出机的实际塑化量为 96kg/h。成型周期应降低到 96 次/h，而不是 120 次/h。

25.7.1.2 P 型注塑机

P 型机，其全部时间用于塑化，原因是挤出机的推力轴承承受相对较低的力（适合塑化的背压），当将塑料从挤出机运送到注射筒时，推力轴承能连续运转。P 型机的挤出机能力能够充分利用，因此，对等效的（合模）尺寸，P 型机的挤出机要比 RS 型小。

25.7.1.3 挤出机大小的选择

一般来说，制品成型所需的塑料量应小于挤出机塑化能力的 80%。也就是说，制品成型所需的塑料量应比挤出机的塑化能力小 20%。但是，并不推荐采用较低的塑化量挤出，因为，虽然挤出机可以低定额挤出，但电动机的效率低，低功率因素下的长期空转，将会受到电力公司的惩罚。或者要为控制功率因素而在电气设备上大量花费。

25.7.2 注射量和模腔数目

总之，由于塑料从挤出机流向模具经过同一路径，对于一台注塑机来说，注射量越大，注射越慢。同样，随着注射体积的增加，挤出机（RS）或注射筒（P）将塑料推向注塑机喷嘴的时间会更长。

仅考虑合模尺寸，迭层模具可在注塑机适当的闭合高度下，成倍

增加模具的模腔数。但是，这也需要挤出机的塑化能力成倍增加，应仔细估算注射装置的能力，以体现使用迭层模具的优点。

25.7.2.1 模腔数

对于冷流道系统，由于流道系统要被充满，模具中模腔数越多，塑料要流到这些模腔的流经距离越长，充满这些模腔所需时间越长。这对每个模腔的注射量小和注射量大没有明显的区别。

对于热流道系统，从注塑机喷嘴到浇口的管道已被充满（未加压）。在不考虑模腔数目时，每个模腔被充满的时间无甚区别。但是，进入模腔的塑料必须是在热流道系统里，受到来自注塑机喷嘴压力的压缩。也就是说，热流道系统越大，被压缩的塑料越多，这就需要增加一些塑料用量，体积约为热流道里塑料总体积的1%~2%。

例：假定一副两腔模具，每腔体积为 50cm^3 。从注塑机喷嘴进入热流道系统的体积应为 $2 \times 50\text{cm}^3 = 100\text{cm}^3$ 。

将 100cm^3 “推”到流道里的时间为 t_1 。用六腔模具制造同一制品，则需补充热流道的体积为 $6 \times 50\text{cm}^3 = 300\text{cm}^3$ 。

“推” 300cm^3 的时间 t_2 ，比“推” 100cm^3 到热流道里的时间 t_1 长。如果每个模腔体积小， t_1 和 t_2 差别不大，但如果体积大，两者差别会很大，将影响到预定的循环时间。

25.7.2.2 压力降

随着流道的增长，流道系统的压力降增加，从而降低注射速度（图25-5）。可以调整流道尺寸（增大）补偿流道长度的增加，减小压力降的数值。但是，这样将增加热流道系统的存料量，降低启动速度，并且，如果滞留在流道里的塑料多于一至两次注射量，可能会造成热敏性塑料的降解。

最小注射压力 P 是剪切热和剪应力的函数。平衡这两个因子后可得到最小压力降 ΔP_{\min} 。

25.7.2.3 注射模腔和模芯间塑料层的量

不管是RS型机还是P型机，注塑机的注射能力必须大于模具所需注射量，和塑化能力相似，模具的最佳注射量应为注塑机注射能力的20%~90%。

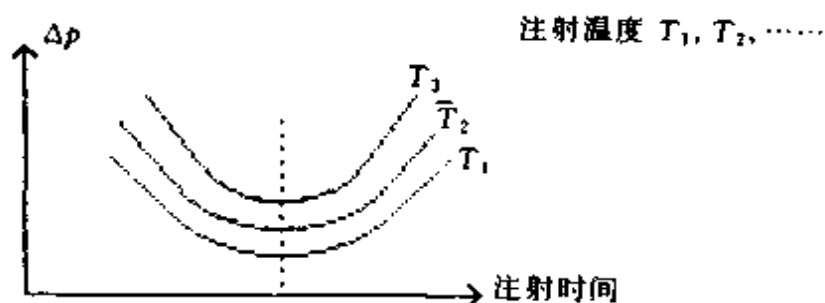


图 25-5 考虑到注射时间和温度影响的最佳压力降

25.7.2.4 增流注塑

对于个别情况，所需注射量大于注射装置注射能力时，在实际的高压注射开始之前，注塑机周期地用挤出机向模具中挤入塑料。这种方法，称为增流注塑，它要比在（适合较大的）注射系统中的完全注射慢得多。

25.8 顶出时间的确定

成型周期也依赖于顶出开始的时间选择，和制品从模芯（或模腔）顶出到模塑面完全清理能够开始再次闭合所需要的时间。决定顶出时间的重要因素如下。

开始开模后，应尽早开始顶出，但不要顶出过早使制品被推（或吹）到另一半模中。而造成模具清理失败。

如果可能，顶出应该在模具到达全开启位置时完成，也就是说，此时制品应脱离了成型面。如果制品在高速下落时不损坏，喷气和（空）气帘将加速制品的自由下落速度，通常比较理想。

采用制品正面移出系统，与合模运动机械联锁（如 HUSKY 的专利摆动滑槽）。可能占用部分模具打开和闭合过程的时间，让机械牵引部件夹住制品，并在合模之前将成型面清理干净。然而，在其他情况下，必须增加模具打开状态的时间（同时延长循环时间），来保证在模具再次闭合前，将成型面清理干净。

采用机械手移出制品，出于安全因素，在机器手允许进入成型面以前模具必须呈开启状态，并且在机械手牢固夹住制品安全离开成型

面以前模具不闭合。

25.9 合模行程长度

一般来说，合模行程越长，循环时间越长。模具应适当调整尽可能使合模行程最短，同时，仍能保证制品安全顶出。

偶尔会碰到这样的情况，虽然模具操作的行程可能最小，但如果需要方便地接近模腔和（或）模芯以维修模具就会有困难。例如，在启动期间需移开部分模塑部件打开凝固的浇口。

较短的合模行程和正面引出装置（如摆动滑槽）结合，可使模具作业比没有引出装置的快。没有引出装置，合模行程需要更长甚至需要增加模具打开状态时间以保证制品从成型面自由落下。

机械手通常需要较长的合模行程，即要给机械手留出活动空间，同时还需加上制品自身需要的长度。

25.10 模具冷却

塑料经过挤出机，带给模具热量，这些热量的大部分应由冷却剂带走。剩余的热量以辐射、对流的方式散发到空气中去，热量散发越快，则成型周期越短。

“冷却剂”可能是带有防锈和防止化学沉淀的添加剂和（或）带有降低凝固温度的添加剂的普通水。相对于纯净水而言，带添加剂的水的散热能力降低。

对于许多普通塑料，冷却水的供应温度大约为 $4\sim 6^{\circ}\text{C}$ ，压力大约 $0.392\sim 0.490\text{MPa}$ ，和城市用水的压力值相似。温度更低的水需要添加防冻剂。

过多的冷却水会在成型面上产生凝固作用，特别是在模具开启时间大于几秒钟的情况下。在温度低的模腔表面上凝聚的水珠将给制品带来缺陷。出现这种情况，较好的解决方法是在冷却水温度高出周围大气的露点若干度的环境下操作模具。上述情况经常发生在潮湿的环境中，尤其是在夏季。

根据模塑料的类型和最适合于快速成型的要求，冷却剂温度可以

在低于凝固点到接近沸点的范围内调节。高于 95℃ 的水使用不安全，因为，如果加压，过热的水可能泄漏或飞溅出来，发生蒸汽烫伤。

一些“工程型”塑料在成型时要求提高模具温度，例如聚碳酸酯、SAN 等。这可参考树脂制造商提供的数据表。

在温度高于水的沸点的沸点时，可采用热油做冷却剂。例如，注坯吹塑模具，要求模芯的温度为 120℃，防止塑料在吹气成型前冷却。

应当明白的是“冷却”并不是指将制品冷却到室温或接近于室温，而是指将模具保持在特定温度，该温度在反复循环中变化甚小。

25.10.1 冷却效率

“冷却效率”用来衡量冷却介质将制品热量散发掉的能力。冷却效率和许多因素有关，将在以下各节讨论。

25.10.1.1 塑料和冷却剂的温度差 ΔT

热塑料和冷却水间的温差 (ΔT) 越大，热量散发越快。有些塑料 (ABS, PC 等) 成型温度约在 50~80℃。因此，模具操作时，要产生该温度下稳定的冷却循环，需要加热装置而不是冷却装置。

注：冷却水塔的温度范围通常是 15~20℃，在某些高温地区，冷却水塔提供的水温将高达 35~40℃。

25.10.1.2 从热塑料至冷却通道的热传递距离

热传递的距离是模具设计的一个功能。一个好的设计，冷却管道均匀分布，并且靠近模腔表面，不能直接冷却的区域，应当使用导热性能好的镶件或热管。

在有些关键部位，即使可以直接使用管道冷却，也利用模具材料如铍-青铜来提高热传递速率。

25.10.1.3 模具材料的热导率

通常，采用淬火高碳钢制造模具，这些钢材的热导率相当低。低碳钢的导热性能较好，但其强度低和耐磨性差从而很少采用。

选用铍-铜合金制造模具可以改善导热情况，但这种材料很昂贵，强度不如钢，并且很难得到不含杂质和缩孔的大块铍-铜合金。这些杂质和缩孔缺陷只有在铍-铜合金被加工后才能发现。另外，铍-铜合金加工车间需要有专门的预防措施，例如，需要抽走其加工时产生的有毒

烟雾。

铝具有良好的导热性能，但对注射模具来说太软了。常用在承受低压，但要求导热快的吹塑模具模腔内。在该模具模腔内磨损严重部位采用淬火钢镶件。

25.10.1.4 冷却剂中的杂质和腐蚀

冷却剂中的杂质将最终沉淀在模具冷却腔道的壁上，形成冷却障碍，从而降低从模具钢到冷却剂的散热效率，延长循环时间。

冷却水也会腐蚀模具钢。因此，需要在冷却水中加入添加剂，并进行过滤使上述影响降到最低点。

25.10.1.5 冷却剂比热容

比热容是指将单位均质材料的温度提高一度所需的热量。比热容的另一含义是：将单位均质材料温度提高一度所需的热量和等量参照物质（通常为水）提升一度所需热量的比值。表 25-1 列出了在成型温度范围内纯水的比热容。

表 25-1 模塑温度范围内纯水的比热容

| 水 温 度 | | 比 热 容 | |
|-------|-----|------------|------------|
| ℃ | F | kJ/kg · °C | BTU/lb · F |
| 0 | 32 | 4.225 | 1.009 |
| 10 | 50 | 4.195 | 1.002 |
| 21.1 | 70 | 4.179 | 0.998 |
| 37.8 | 100 | 4.174 | 0.977 |
| 54.4 | 130 | 4.179 | 0.998 |

冷水的比热容稍微高一些。因此，在其余条件相同的情况下，同样体积的较低温度的水比较高温度的水带走的热量多。因此，冷却装置的重点，不仅在于提高制品和冷却剂间的温差，还在于提高冷却剂的比热容，这样使得冷却过程更有效一些。另一方面，冷却水中的添加剂将降低水的比热容，从而降低冷却效率。

25.10.1.6 流道内部冷却剂的流动特征

流动分为层流和紊流两种。对冷却而言，冷却剂低速层流，就和滞留（在槽穴中，没有环流）一样没有多大用处，只能带走极少数或

根本带不走热量。设计者应力求获得紊流状态。

用无量纲系数“雷诺数”(Re)来描述流动特征。通常,当Re大于4000时,出现紊流状态。Re按下式计算:

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad (25-1)$$

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (25-2)$$

式中 V——速度, m/s;

D——直径, m;

ν ——动态粘度, m^2/s ;

μ ——绝对粘度, $kg/(m \cdot s)$;

ρ ——密度, kg/m^3 。

纯水在不同温度下的粘度值见表 25-2。注意,水的粘度随温度变化,这是在模具冷却中常遇到的。

表 25-2 模塑温度范围内纯水的粘度和密度

| 温度 T ℃ | 密度 ρ kg/m^3 | 绝对粘度 μ $kg/m \cdot s$ | 运动粘度 ν m^2/s |
|-----------|-----------------------|------------------------------|-------------------------|
| 5 | 999.5 | 1.55×10^{-3} | 1.5508×10^{-6} |
| 10 | 999.2 | 1.31×10^{-3} | 1.3110×10^{-6} |
| 20 | 997.6 | 1.01×10^{-3} | 1.0124×10^{-6} |
| 40 | 992.0 | 6.60×10^{-4} | 0.6653×10^{-6} |

在其他条件相同的情况下,温度“较高”的冷却水,它的动态粘度减小,Re值增大,从而提高了冷却效率。在Re值处于层流和紊流的临界值,即 $Re=4000$ 时,这种现象很明显。然而设计优良的冷却系统流动的Re值高于10000 ($10000 < Re < 20000$),这时再将Re值增加10%~15%,效果不再显著。

如果希望获得均匀冷却,应将流道合理设计,以使液体在流道内流动的Re值大致相等。少量液体在大流道里流动,就会出现层流状态,冷却效果不如采用小流道,使液体快速流动。

25.10.1.7 单位时间内冷却剂的体积

每分钟内流过模具的冷却剂总体积很可能是影响冷却的重要因

素。根据第 13 章中的说明，可以计算出在设定的循环时间内，冷却给定的塑料需要多少冷却剂。这里，仅列出适合模具的影响冷却剂需要量的各种因素。

工厂的主供管路（如管道和阀）应当足够大，能保证所有模具生产的流动速率（每分钟体积）需要。机器中的模具和主管路之间的支管也必须足够大，以保证流动没有过多的限制。如果冷却剂供应不足，机器中的模具冷却系统设计的再好（经常费用昂贵）也是没有意义的。

管道中的压力应充分保证所需冷却剂在模具内“流动”。通常，冷却管道压力为 0.392~0.490MPa，如果管道中压力太低，或者供应系统的液体供应量不足，冷却剂将选择模具中阻力最低的路径，仅流过部分管道而绕过其他的管道。在这样一些管道中将没有液体流动，从而达不到冷却效果。模具得不到正确的冷却，将导致操作时间比计划延长。

有的系统要求压力较高，可通过安装二级泵提高冷却流道里所需的流动速度。这只适用于主要流道提供的每分钟体积流量满足要求的情况。流动体积和供应管道与回流管道之间的压力差直接相关，并且与供应管道，连接软管，以及模具内的冷却流道的流动阻力有关。

回流管道的压力通常稍高于空气压力，用以保证冷却剂回流到中心供水槽。实践中，使出水管道尺寸稍大于进水管，即能达到将出水管压力降到最低的目的。

在冷却流道中，水流方向改变使压力下降，每次转弯或换向通常按“等效流动长度”计算。“等效流动长度”建立在实验基础上，通常在液压工程手册里用图表显示。在模具中影响流动（压力降低）的因素是

$$\Delta P = \rho f \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{V^2}{2} \right) \quad (25-3)$$

$$V = \frac{Q}{A} \quad (25-4)$$

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (25-5)$$

式中 ρ ——冷却剂的密度, kg/m^3 ;
 f ——摩擦系数;
 L ——流道的长度, m ;
 D ——流道直径, m ;
 V ——冷却剂流动速度, m/s ;
 Q ——冷却剂的体积流量, m^3/s ;
 A ——流道的横截面积, m^2 ;
 Re ——雷诺数 ($10000 < Re < 20000$)。

第二十六章 壁 厚

塑料用量是制品成本的主要成分。在完全自动作业中，几乎忽略人工工作量，塑料用量高达制品总成本的 90%。

假若生产批量很大，相对于每件制品的塑料成本而言，设备成本如模具、注塑机、机械手和其他装卸和后续工序的成本通常不重要。因此，如果要节约主要成本，最重要的就是要尽可能的减少制品的塑料用量。

另外，一定要明确，如果制品存在强度问题，增加壁厚并不会必然增加强度。一个设计合理的制品，壁厚均匀，筋设计合理，其强度与刚度要好于壁较厚和（或）壁厚不均匀的制品。

“薄壁”制品还有另外一些优点。可缩短成型周期，显著节省时间，不仅加快了生产过程，而且有效地利用了生产设备。

26.1 注射压力

注射时，热塑料在注射压力的推动下流到模芯和模腔的冷壁之间充填模腔空间。一般，浇口后（在模腔内）的充填速度和注射压力 P 成比例；注射压力越高，充模速度越快。

需要注意：对于薄壁制品，最重要的是，浇口后的充模速度要能保证在冷模壁之间的狭窄通道中的塑料凝固之前充满模腔。

26.1.1 注塑机喷嘴后的注射压力

对于 RS 型机，注塑机喷嘴后（挤塑机螺杆顶端）的注射压力计算起来相当容易

$$P = \frac{F}{\text{挤塑机螺杆 } A} \quad (26-1)$$

对于 P 型机

$$P = \frac{F}{\text{注射活塞 } A} \quad (26-2)$$

式中 F ——液压注射活塞施加的力, N;

A ——横截面积, m^2 ;

P ——注嘴后的注射压力, Pa。

如果, 液压注射活塞的面积已知, 注嘴处的注射压力很容易按下式计算出来:

$$P = \frac{A_p}{A} \times \text{液压注射压力} \quad (26-3)$$

这里 A_p 即是液压注射活塞的截面积, A 是活塞或者挤出机螺杆的截面积。在注射装置的压力表上可读出液压注射压力数值。

26.1.2 模腔空间内的实际压力

浇口后模腔内的实际压力只能够使用流动模型技术进行估算, 或者是在模腔内放置压力传感器进行测量。实际压力取决于下列因素:

- ①(冷或热)流道和浇口内的阻力, 二者与模具设计有关;
- ②塑料的强度, 与机器的调整及操作条件有关 (塑料和冷却剂的温度);
- ③塑料的粘度, 或分子质量, 因为粘度是温度和剪切速率的函数;
- ④在模腔内, 塑料离浇口的距离, 当塑料流过模腔与模芯间的狭窄空间时, 摩擦使塑料流动减慢;
- ⑤树脂的流动速率, 即制品每次注射所需的注射量与注塑时间的比值。

受冷却和制品壁厚影响的由模塑面摩擦引起的力, 在模腔内与流动方向 (和填充速度) 相反, 而形成阻力。对于壁厚非常薄的制品, 模塑面摩擦引起的阻力尤为重要, 例如, 一次性饮用杯。模塑面仅仅高度抛光是不够的, 还需要闪镀铬或作其他特殊表面处理, 使表面更加光滑, 便于充模。例如, 对一次性 PS 饮用杯, 抛光后闪镀铬, 就比不镀的, 每分钟要多注射 2~3 次。

另一方面, 表面也需要一定的粗糙度, 以便于制品的顶出。例如, 对 PE 材料的成型。在模塑作业中会经常遇到这种情况, 对一种材料适合的表面, 可能不适合另一种材料。

冷却的效果也会影响型腔内的流动。当塑料流出浇口, 即与冷态

模塑面接触，使塑料凝结。热塑料仍然从浇口过来，但缝隙减小，如图 26-1 所示。注意浇口附近，由于高速热塑料摩擦模壁，塑料保持较高温度，则无凝结层积聚。这就是要实现快速循环，浇口区域必须要特别加强冷却的原因。

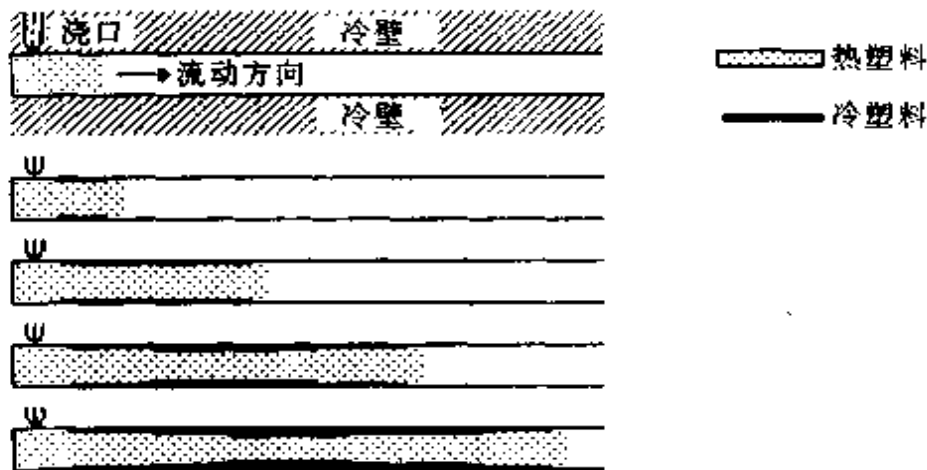


图 26-1 热塑料的流动过程，侧壁的冷凝作用使流道变窄

注：热塑料流动过程——侧壁的冷凝作用使流道变窄

如果壁厚 t 相对较大，模壁上产生凝结层的影响就不如薄壁制品那么大。壁厚 t 小的制品需要比壁厚大的制品有更高的流动速度充模和更短的循环周期。

26.2 流动长度

当考虑制品的可成型性时，重要的标准是 L/t 比率，即自浇口到塑料必须充填的模腔最远点的流动长度 L ，和制品平均壁厚 t 之比，其关系见图 26-2。

根据经验， L/t 比率可分成四组：

- ① $L/t < 100$ ，厚壁制品易于成型；
- ② $100 < L/t < 200$ ，大多数制品属于这一类，比较容易成型；
- ③ $200 < L/t < 300$ ，难于成型，需要特别设计；
- ④ $300 < L/t$ ，成型非常困难，可能需要特殊设备。

L/t 比率的影响不是线性的，例如对于比率为 250，壁厚 1.8mm 的 20L 的桶，相当容易充填，但是，具有相似比率，壁厚 0.5mm 的 1/2L

的容器，则非常难于充填。

L/t 比率的可实现情况也取决于注射的树脂类型。高粘度树脂，例如聚砷、PC、丙烯、PET 等，由于它们的化学性质（缠结，较高分子量）对流动具有更高的阻力。因此，需要更大的压力以保证充足的充填速度。

为便于充填，最好是浇口附近的壁厚大，然后朝着边缘逐渐减小，从制品薄的截面向厚截面充填模腔总会更困难。糟糕的是，无经验的制品设计人员往往不是这样，而在薄壁产品上要求厚的边缘。这就会引起充填不满的问题，如在边缘出现空洞、凹陷等一些可见缺陷。这可能需要不同的成型参数，采用较高温度的熔体和（或）模具温度，以上措施都将延长循环周期。这也可能需要更高的合模力，要不然改换较大的注塑机。

在制品其余部分充填之前，较快充满厚的边缘也会造成回流。

在这种情况下，一些塑料就会自边缘流回，与（较慢）通过薄壁截面的塑料接近。在两个接近的塑料流之间会封闭空气（图 26-3）。这能在壁上造成可见的焊合线、灼伤痕迹和孔洞，因此产生废品。

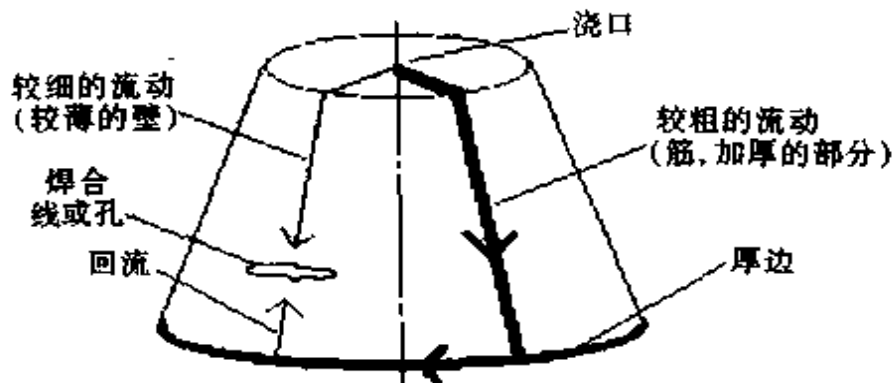


图 26-3 一桶在模型中，厚边回流向较细的流动处，产生焊接线或孔

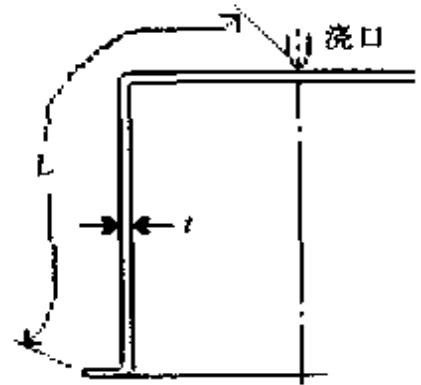


图 26-2 模具的壁厚和流动长度

注： t 为平均壁厚； L 为从浇口到边缘的最大流动长度

26.3 合模力

制品壁越薄，注射时所需的使模具闭合的合模力就越大。原因是需要高压将塑料在凝固前快速充满型腔（缺料注射的情况除外）。注射时，使模具合模所需的力，可以通过将模腔内的实际注射压力与制品总投影面积相乘的方法获得。

总投影面积的计算很容易，可参考第 22.1 节 制品投影面积 A_p 。需要注意的是，对于三板式模具，面积的计算必须包括流道面积。

实际注射压力是很难确定的，除非对模腔实际测量，通常，冷流道内的压力较高。如果流道大，压力值可接近注塑机喷嘴处的压力，该压力可按上述（26-1）式计算。

离浇口越远，模腔内的压力越低，即如图 26-4 所示 $p_5 < p_4 < p_3 < p_2 < p_1$ ，为计算出所需的合模力，设计者必须按假定的平均压力 p 计算。

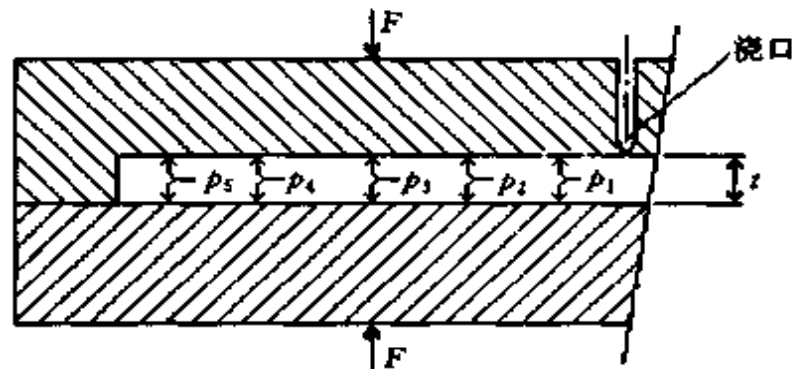


图 26-4 模腔空间内部的实际压力随到浇口的距离的增加而减小，压力的平均值用于计算合模力

注： p 为模腔空间内部压力（平均值）； F 为合模力； t 为壁厚； $F = pA$

用于计算的模腔平均压力 p 通过实验确定。参考第 29.5.1 节。

需要注意的是，为适当充填，薄壁制品需要更大的压力。而且，如果成型表面有细纹，如有槽纹的录音或录像盘，为保证模具合模强度足够大，不产生溢料，就要选择更大的压力值。

模腔内的压力没有严格的确定法则。确定模腔内实际压力，只有通过模腔内不同位置安装压力传感器测量。综合了影响压力的所有可能因素的计算机程序也可用来计算模腔中的压力。

26.4 熔体指数

在考虑壁厚和熔体指数关系之前,先看一下“熔体指数”(MI)。分子量 (M_w) 和 MI 的关系可用下面的实验公式描述:

$$\lg \mu = A + B M_w^{0.5} \quad (26-4)$$

式中 μ ——粘度;

M_w ——分子量;

A 和 B ——和树脂性质及温度有关的常数。

这里不进行详细讨论,只说明有一可进行计算的确切关系。详情请看 Rubin^[1]。

总之,聚合物的机械性能随着 M_w 的增加而增强。但是,超过一定的 M_w 量,对于每一特定聚合物,机械性能增强速度很快降低。另一方面,聚合物的可加工性(粘度)随着 M_w 的增加呈幂指数下降。聚合物会达到一个很高的粘度,以至于不降低粘度,就不能加工。工业用聚合物的机械性能和可加工性要适当。

由于确定树脂的 M_w 很慢并相当困难,可采用易于测量的 MI 作为 M_w 的量度。MI 是指在低剪切速率(牛顿流体)下聚合物的粘度,在实际中 MI 可做为 M_w 的衡量标准。

MI 值可由挤出式流变仪测量,如图 26-5 图解所示,该图描述了这个实验的典型设置。当流变仪温度达到一规定值后,向活塞施加一定重量。MI 数值是在十分钟内挤出的质量(g)数值。

MI 通常用于聚烯烃塑料 (PP 和 PE),有时也用于 PS、ABS、丙烯类塑料、尼龙和聚酰胺类塑料。在一套规范条件下测试出某类塑料的 MI 值,不能用于评价另一类型

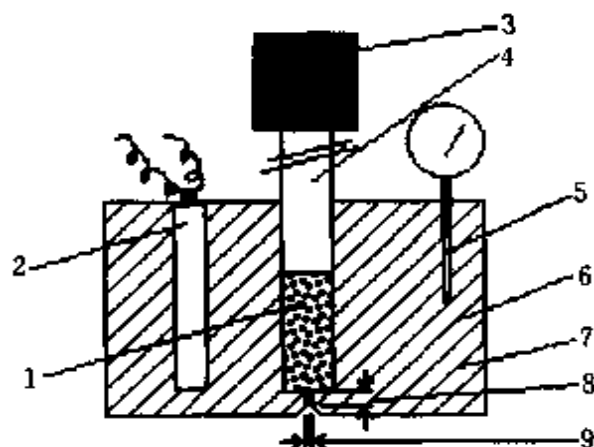


图 26-5 挤出式流变仪测量聚合物树脂的熔融指数

- 1—树脂; 2—加热器; 3—重块 (2160g);
4—柱塞 (直径 9.53mm); 5—温度计;
6—钢筒; 7—加热的钢块; 8—孔长
7.95mm; 9—节流孔直径 2.1mm

料的可成型性。另一类塑料在不同的测试规范下会得出相似的 MI 值。

把 MI 当作特征值，应有规范标准，以作为类似树脂 MI 值比较的依据。在美国，美国试验材料协会 (ASTM) 详细列出了各类树脂的试验数据 (温度、质量、孔径和孔长) 条件。

通常，设计者感兴趣的是哪种类型的塑料注射和充填容易 (可成型性好)。表 26-1 给出了三种不同的常用塑料的可成型性的近似数值。

表 26-1 三种树脂可模塑性比较

| MI 数值 可模塑性 | 高 易 | 中 等 | 低 难 |
|---------------|--------|--------|--------|
| PE | <50 | 25 | <7 |
| PP | <30 | 15 | <5 |
| PS | <5 | 2.5 | <1.0 |

以下各点解释了 MI 和其他特征值之间的关系。

① M_w M_w 值大的树脂比 M_w 值小的树脂的缠结严重。因此， M_w 值大的树脂不易流动；在流变试验仪器里，其他条件相同的情况下这种树脂的挤出量较少，因此，MI 值较低。

② 密度 随着 M_w 增大 (MI 减小)，树脂密度增大。可由一例说明：具有相似结晶度的 PPS，在相同的成型条件下，当 M_w 增大 (MI 减小) 时，制品结晶度出现降低。这种低结晶度说明随着分子质量的不同而改变了树脂的一些性质。

③ 缺口冲击强度 随着 M_w 增大 (MI 下降)，冲击强度增大。这可能是结晶结构降低和分子的缠结程度增强的结果。

④ 拉伸 (屈服) 强度 随着 M_w 增大 (MI 下降)，屈服强度增大。这反映了分子增大和分子的缠结程度增加。

⑤ 刚度 随着 M_w 增大 (MI 下降)，刚度下降。这可能是结晶度和链长影响的结果。

⑥ 断裂伸长比 随着 M_w 增大 (MI 下降)，断裂伸长比急剧增加。分子越长，缠结性越大，拉伸阻力越大。

⑦ 脆性温度和冲击强度 随着 M_w 增大 (MI 下降)，脆性温度下降。冲击强度随 M_w 增大而增大。

⑧环境应力开裂 随着 M_w 增大 (MI 下降), 环境应力开裂阻力增加。可能是 M_w 越大, 缠结程度越大, 分子间留给“入侵”分子的间隙越少。

⑨收缩和翘曲 随着 M_w 增大 (MI 下降), 在成型时内部应力略有减小, 因此引起收缩和翘曲的变形程度也减小。

⑩蠕变 蠕变是由弹性极限以下延长应力施加时间而引起的永久性变形 (在室温时, 蠕变又称为“常温流变”)。随着 M_w 增大 (MI 降低), 蠕变减少。

M_w 对聚合物性能的影响, 可用简单图表显示 (表 26-2)。随着 M_w 值增加 (MI 下降), 性能的变化由表格显示。

表 26-2 M_w 值增加对聚合物性能的影响

| 性 能 | 增 | 减 | 性 能 | 增 | 减 |
|--------|---|---|----------|---|---|
| 结晶性 | | X | 断裂伸长比 | X | |
| 密度 | | X | 脆性温度 | | X |
| 缺口冲击强度 | X | | 环境应力开裂阻力 | X | |
| 拉伸强度 | X | | 收缩和翘曲 | X | |
| 刚度 | | X | 蠕变 | | X |

如果模腔不能被低 MI 塑料填充, 有几点选择。

①提高熔体和 (或) 模具温度来降低 MI 塑料粘度。这有利于模腔充填, 但将显著延长成型周期。而且可能对冷态树脂 (模塑制品) 的物理性能产生不利影响。

②改用 MI 值高的塑料。可能模塑出制品但物理性能会下降。这可能是不允许的, 并且, 高 MI 值的塑料比低 MI 值塑料的成本要高。

③增加壁厚 (减小 L/t 的比值)。这样有利于充填, 但将使塑料质量增加, 冷却时间延长, 制品成本增大。

④通过增大熔体流道的尺寸减小热流道系统的压力降。然而, 这也会增加树脂在热流道部件内的停留时间, 增加树脂降解的可能。而且, 树脂在热流道中的体积大, 将增加冷态启动的时间, 并且将延长颜色变换的时间。另外, 增大腔道尺寸的另一不利方面是: 减少了塑料沿流道壁流动产生的有效的摩擦作用, 这也会延长颜色变换所需的时间。

⑤选择效力更大的注射装置，以推动较稠的硬塑料进入模腔，因而能保证适当的充填。

最后的选择较好，原因是它允许使用较稠的硬塑料，可能会降低材料成本和成型温度，缩短成型周期，这将获得成本最低的制品。

26.5 收缩率

收缩率由两个因素决定：热膨胀和注射时的压缩（见第8章）。以下讲述这两者的影响。

①热膨胀 热塑料的体积大于冷塑料。热膨胀量和塑料温度成比例。塑料种类不同，热膨胀量（线性热膨胀百分比）不同，即使是同类塑料如由不同供应商制造，热膨胀量也不同。

②注射时的压缩 塑料在压缩时的体积比不压缩时小。压缩量直接和压力大小成比例。

以下是热量，压力和收缩率之间的关系。

①在低压下热注射，收缩率大。

②在高压下热注射，收缩率小。

③高压低温注射，收缩率最小。

26.5.1 壁厚和收缩率

总之，随着离浇口距离的增大，制品的壁厚应该减小。然而，这很少能做到，某些容器除外。

①厚壁充填容易，注射压力低，但收缩大。为保证制品充填合适，没有凹陷和空隙，注射后，应保压一段时间，来补充模腔内由于收缩而减少的塑料体积。这就需要浇口足够大，在还没有凝固时，让增加的塑料充填到模腔中。

②一般壁厚。这是“灰色区域”。在厚壁和薄壁制品之间出现，为获得该壁厚通常需要保压。

③薄壁制品要求高速充填模腔，注射压力较高，因此，其收缩小于厚壁制品。由于壁薄，冷却快，浇口凝固也快，因此，采用注射保压毫无意义，为了防止浇口及其周围出现凹陷，最初的注射后须让浇口保温时间长些。

④带有厚凸起和（或）其他局部厚截面的薄壁制品。冷却效果差，厚凸起或其他厚截面的收缩量大，原因是薄壁凝固后阻碍了塑料向厚截面的流动，且保压无效。在凸起和筋后面经常看到缩痕。为消除这种现象，通常应去除厚凸起和厚截面的芯部。

⑤边缘厚的薄壁制品。离浇口的距离越远，塑料压力越小。因此，用于边缘充填保压的压力将减小。结果造成边缘收缩量（按百分率）大于制品整体的收缩量。去除厚边芯部可降低收缩量。

注射后，在冷却过程中不均匀收缩引起制品翘曲。特别对于矩形制品，如托盘，或者形状和壁厚不均匀的工业制品。可通过延长冷却周期的方法（成本高）使制品充分冷却以保证在注射后不发生翘曲。

在有些情况下，如注塑帽和顶盖类制品，需要在边缘处产生“内向”作用的收缩，这样有助于咬合住与之相配合的容器。小心地增加边缘的厚度，能增大其咬合量。需要注意的是也可通过提高原料温度和（或）加快循环，以及降低原料温度和（或）延长冷却时间的方法增大内向作用。

最理想的方法是，提供合理的钢模尺寸，从而使原料温度最低，循环时间最短。通常，在完成多腔模具的所有模腔设计之前，仅使用其中一个模腔，通过对不同方案的实验来确定最佳方案。通过记录的收缩率、温度和时间，就能计算出模腔和模芯的最佳尺寸。这样做浪费时间，并且通常经过多次实验用的模腔肯定遗弃不用。但是，将最终获得模具的最佳成型尺寸。

用单腔模具进行实验，所得结果和使用多腔模具中的一个型腔进行实验的结果不同。原因是实验模具的流道长度和冷却系统布置通常不一样；另外，单腔模具实验用的注塑机要小于计划用的成型注塑机。

类似考虑也适用于早期提供的模具的钢模尺寸。因为模塑同样的制品，早期的模具可能模腔数少，模腔布置不同，冷却安排不同，还可能曾使用的注塑机的注射系统不一样。对于不同的注塑机，这种“提供的钢模尺寸”很少是新模具的最佳尺寸。另一方面，如果其余条件和模具布置相同，两个制品的尺寸相差不大，则早期模具的尺寸可推广应用到新模具上。

26.6 冷却时间

在第 1.3.4.2 节和第 26.2 节中,薄壁和厚壁是用 L/t 的比率区分的。在这一节里,重点讨论制品实际厚度的影响。以下的讨论建立在模具冷却良好的假设上。

26.6.1 薄壁

通常厚度小于 1mm ($t < 1\text{mm}$) 时称为薄壁,其中塑料的热量被冷却模腔和模芯壁快速带走。由于壁薄,塑料的绝热性能影响不大,热塑料中的模芯也会被快速冷却。为提高作业效率,模腔和模芯的冷却布置要求尽可能最合理。

26.6.2 厚壁

通常厚度大于 2mm ($t > 2\text{mm}$) 称为厚壁。对塑料保压期间,热量将从模腔和模芯处带走并散发掉,但由于塑料的绝缘性能的影响,在边界冷却层之间的塑料的热量需很长时间才能被流经模具的冷却水吸收。

塑料上的压力消失之后(不再保压,浇口凝固,阀门关闭),没有塑料再进入模腔,当塑料冷却时,开始收缩。制品的收缩使塑料和周围的模腔壁脱离接触,而模芯上的收缩,使制品内侧与模芯维持良好接触。这样将降低模腔壁的冷却效率。使其被吸收的热量少于模芯冷却系统带走的热量。循环时间延长(通常大于 20s)。

对于厚壁制品,模芯冷却通常比模腔冷却重要。幸运的是,模芯较模腔易于冷却,模腔浇口处的冷却系统布置困难。出于同样的原因,如果要求成型周期短,内侧中心浇口的布置特别困难,原因是通常不可能对模芯内部提供有效冷却的同时,提供足够的空间布置通向浇口的流道(热流道或冷流道)。

需注意的是,对于很平直且对称的制品(例如影碟),模腔和模芯必须同样冷却良好。除非制品在模具内长时间存放,使其完全冷却,否则不均匀的冷却将导致制品在顶出时发生翘曲。

26.7 模芯位移

模芯位移定义为模芯在成型时的位置与塑料注射进入模腔之前模

芯位置之间的空间偏差。尽管其他形状制品成型时也发生模芯位移,但模芯位移更容易发生在薄壁容器的成型时。对于长、细并不一定是薄壁的制品如小药瓶、试管、钢笔笔杆等,也经常出现模芯位移的问题。

注射时,塑料通常流到阻力最小的地方。塑料进入模腔,在开始流进任何窄空间之前,将首先流入阻力小的宽空间处。这将使厚壁侧迅速建立起高于对面窄空间的压力。压力差使模芯向薄壁侧弯曲,从而使注射前已有的壁厚误差更大。

模芯位移有多种因素引起。在这里只讨论影响容器类制品模芯位移的因素。

26.7.1 制造误差

如果模腔和模芯制造时没有“完全”对中,并且模具处于合模位置时没有正确定位,那么一开始就有位置偏差,从而造成制品的两对边的壁厚不等。

26.7.2 复式浇口

在容器制品底部采用复式浇口可提高充模速度,如大型桶,可使制品“完美”对称。浇口尺寸必须“相等”避免塑料先从一个浇口流进。

在深腔容器或其他细长制品的开口端附近采用复式浇口,至少要采用两个浇口,相隔 180° ,使塑料沿模芯两侧同时流动,从而在模芯相对的两侧产生压力;这样可消除模芯位移和模芯弯曲。这种方法已应用很长时间,并且仍用在像钢笔笔杆等一些制品的冷流道模具中。有时,在制品开口端采用三个浇口,相隔 120° ,或者在整个开口端采用盘形浇口。

HUSKY 公司已经开发出用于大型薄壁容器开口端的复式热流道浇口(专利)。

也可以采用机械方法防止模芯弯曲,如在管形瓶等的闭合端支撑模芯,或者在管子和注射器等成型时将模芯插进模腔等。

26.7.3 挠曲

挠度由模芯的长度和基部直径决定。模芯可以看作是上悬臂梁。在理想条件下,如果模芯两侧压力相同,就不会有外力使模芯弯曲。但

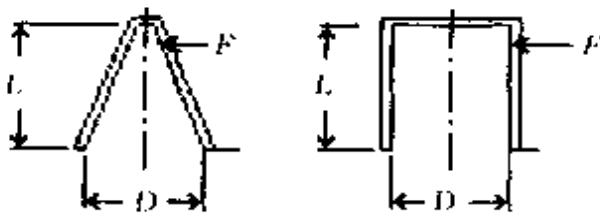


图 26-6 作用于圆柱形制品的弯曲力比圆锥形制品大

是由于制造误差，模腔和模芯的定位不够精确，因此，注入塑料后，两边压力差将使模芯两侧承载不均。

模芯的无支撑长度 (L) 和基部直径 (D) 的比例越大，越易发生挠曲。通常模芯弯曲的临界值

定为 $L > D$ 。需注意的是圆柱形制品所受的力 F 大于锥形制品的，原因是圆柱形制品垂直中心线的投影面积大 (图 26-6)。

26.7.4 模芯支撑

型芯基部支撑直径 D 将影响模芯位移。如果模芯与很宽的模芯基部为一体，强度由其自身决定。但是，如果有脱模圈，模芯的支撑强度会由于脱模圈厚度引起的 L 增加而进一步下降。

适当预载，且配合良好的脱模圈有助于支撑模芯，但同时带来新的变量，这些变量是由脱模圈锥度的附加误差以及模芯上的锥座引起的。需注意的是，只在预载时锥度配合对于定位和支撑才有价值——也就是说，锥体牢固地坐落在相应的锥座上时承受张力。对于多模腔模具，每对锥体的预载量很小，但是如果要保证模具动作正确，应详细说明预载量。

图 26-7 表示对于气动顶出 (如果该制品不需要脱模圈时可实现气动顶出)，模芯长度可适当降低。 L/D 比值减小，型芯更稳固，模芯挠曲量和位移量相应降低不少。

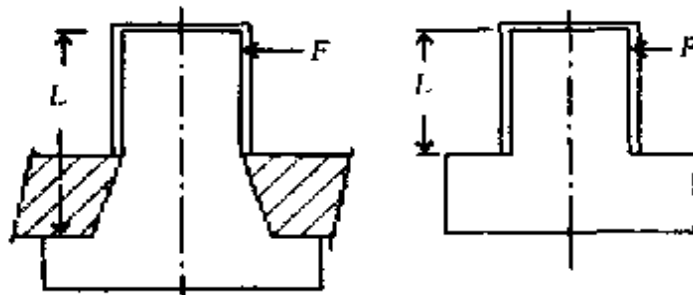


图 26-7 由于脱模圈厚度引起 L 增加，会使模芯有增加挠曲的倾向

26.7.5 定位机构的特性

模腔和模芯之间仅依靠导销定位质量会很差，对于薄壁制品是不可行的。对所有的薄壁制品，模腔和模芯之间必须依靠锥度配合获得必要的同心度。然而，仅为保证一个模腔和一个模芯对准，就至少要有两对锥体，加上可能需要的脱模圈，每个模腔块就必须加工三个或更多对配合锥体。因此，实际上不可能始终100%完全对准的。通常，塑料制品的设计者将允许有一定数量的壁厚变化，这往往能够通过仔细地按公差制造定位所需的锥体来达到。根据许多各种尺寸和形状的薄壁制品的实验和经验，能发现加压前偏差仅0.0025mm的壁厚，加压后偏差可达0.025mm，比率大约为1:10。在一些高要求的应用中，最初的样品生产出来后，需要按照壁厚测量偏差值的大约十分之一，让技工移动模芯。多说一句，这样变动模具费用是很高的，特别是在模腔不止一个的情况下。

26.7.6 模楔锁紧

用“模楔”方法定位模具的情况，使模芯相对模腔移动，获得上述的小变动就比较容易。尽管这样做的模具成本会比精密锥体定位高，但这是模塑大桶一类制品的完美的方法。

26.7.7 影响模芯位移的其他因素

在模具和机器设计方面，还有许多其他因素会影响模芯位移。

①注塑机压板挠曲和（或）模板薄弱。如果压板或模板的强度不够，它们会挠曲，使模腔和模芯的中心线失去平行和对准。

② L/t 比率。 L/t 比率越大，所需的注射压力越高，这会影响模芯位移。薄壁制品对模芯位移的这种影响会更强。

③熔融指数(MI)。MI越低，所需充模的注射压力越高，对模芯位移的影响会更大。

参 考 文 献

1. Rubin, I. I. (1972) Injection Technology, Theory and Practice, John Wiley and Sons, New York.

第二十七章 制品的尺寸和形状

以下各节讨论影响塑料制品尺寸和形状的因素，这些因素适合于所有塑料，对一些高收缩性塑料如 PE、PP 和一些工程塑料显得更为重要。

27.1 收缩余量

对收缩余量进行预估从理论上讲是不可能的。收缩量依赖许多因素，例如：

①材料规格。由不同制造商供应的“同种”塑料，即使有相同的规格，这些规格由数据表给出，塑料的收缩量仍可能由于其来源不同而发生变化，另外，即使塑料来源相同，其收缩量仍可能随批次而异。

②回收塑料加入到塑料原料中将影响收缩量。回收塑料所占比例越大，其影响程度越难确定。

③塑料中加入填充剂（玻璃、滑石粉、着色剂等）影响其收缩量。通常，填充剂所占比例越大，收缩量越小。

④顶出时制品温度。留在模具中的制品温度越高，顶出后其收缩量越大。

⑤注射压力和保压压力。由于这两项影响模腔空间压力，所以注射压力和保压压力越高，制品收缩量越小。

⑥制品壁厚和塑料在模腔空间的流动阻力。壁越厚，收缩量越大。

⑦制品形状。塑料在模腔内的流动方向经常改变，特别是在尖角处，产生流动阻力，降低压力，这会导致收缩量的增加。如果塑料流动受到约束，例如料流通过非常薄的部位后，再充填制品的厚壁部分，则厚壁处的收缩量会很大。

以上所说的大部分不在模具设计者和模具制造者的控制范围之内，而和制品设计相关或由经济要求决定，例如希望采用低廉的塑料

和（或）回收塑料占很高比例。但是模具设计者必须意识到有朝一日工厂的模塑工不得不用同一模具加工别种塑料的可能性，这样会影响模具预期的生产率和模塑制品的精度。模具制造者应当和制品设计者及模塑工合作，讨论这样做的理由，找到需要删改的设计参数，或许能够对希望获得的制品大小和形状产生影响。

27.2 模塑材料

在 27.1 节中，讨论了模塑材料质量对收缩量的影响。另一种影响收缩量的因素和模塑材料充填模腔空间难易程度（或所需压力）相关。

- 塑料流动越难，充填模腔空间所需压力越大，从而塑料承压增大，收缩量减少。

- 相反，塑料流动越容易，所需压力越小，塑料收缩量越大。

27.3 操作环境

获得关于制品形状和原料选择的最佳方案之后，由模塑工负责按照模具调试生产的结果和操作指南进行生产，获得性能良好，尺寸精度高的制品并达到高生产率。如果采用和模具调试时不同的塑料，为保证制品精度，仍必须对模塑条件（温度、压力和周期）进行校正，或者对影响模具性能的工厂环境和冷却剂供应等进行调整。

通过改变操作环境，一般可以改善成套制品，例如桶盖和桶的配合精度，但是这样做可能降低生产率。通常，人们采用一次性花费改变模具尺寸，而不是采用生产率低的方案进行生产。通过对增加的机时成本（长周期造成的结果）和为达到较短的模塑周期而进行环境改善所需的成本进行核算，很容易得出改变模具尺寸带来的经济效益。

27.4 模具精度

通常，对于大多数塑料部件的精度或公差不作特别要求。然而，如上所述，仍然存在许多影响模塑制品尺寸的因素。

在实践中，模具设计者必须仔细检查制品图样上的各部分尺寸，以保证制品能按照规定公差成型。这些工作必须在模具设计之前或最好

在接受模具订单之前做好。

一般模具制造者能在很小的公差范围内加工钢材或金属零件。(有些情况下,需采用专用机床或者专门的加工方法。)当然,公差很小,机床上工件的温度可能影响钢材尺寸,特别是热膨胀明显的大型零件。

真正的困难出现在塑料制品壁厚很小($<1\text{mm}$)的情况下,这时;决定制品壁的模具零件制造公差很小——特别在多腔模具中,要保证各个模腔的壁厚真正相等。需要明白的是,即使模具零件(钢)的制造精度很高,也不一定能保证制品获得预期的精度,这一点很重要。

模具成本随公差减小呈指数增长,公差减小后需要更熟练的技术人员,更好更精密的机床,并且在制造时需要注意模具操作。模具零件的检验必须更仔细,否则超出严格的尺寸许可范围的模具零件的废品率将增加。

27.5 模具冷却

塑料在模具的不良冷却区要比冷却良好的区域热些。顶出后(塑料仍然较热),热区的塑料继续收缩,这种收缩将引起制品变形。对于高收缩性塑料,如PP和PE,这种变形很严重。如果制品平直表面四周有边框,由于边框比平面冷却得慢,平直表面将遭到破坏。典型的例子如平的托盘和盖板,不论其形状是圆形还是矩形。

模具设计者需特别注意,确保制品的各部位冷却良好。我们发现在模具拐角处,细模芯部位以及因为制品需要而加上的细小的销和复杂的镶件中,很难得到充分冷却。虽然销或镶件的冷却效果很差,但为了保证模具良好寿命,仍优先采用,而不采用在实体上加工细长凸起的结构。这样既能保证它们的牢固性,又能保证在磨损或破坏时易于更换。

第二十八章 结 晶 性

如前所述，塑料分为晶体和非晶体两大类，以下仅列出注射成型时常用的一些塑料名称。

一些典型的非结晶性树脂：

聚苯乙烯 (PS)、丙烯酸、聚氯乙烯 (PVC) 树脂。

一些典型的结晶性树脂：

聚甲醛、聚乙烯 (PE)、聚酰胺、聚丙烯 (PP)、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)、聚砜树脂。

需要注意的是，为了提高树脂的生产效率，所有结晶性塑料都是在很宽的分子量（分布）范围内的晶体的混合物。

为提高物理和化学性能，一些塑料由非结晶性和结晶性塑料混合而成。典型的例子是丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS)。需注意的是，所有塑料在熔点（熔化温度）上都呈非结晶性。

28.1 注塑级塑料的性能

表 28-1 列出了 39 种经常使用的塑料的一些非常有用的近似数据。“结晶性/非结晶性”一栏列出了树脂的一般结构组成。严格地讲，具有结晶结构的树脂由于内部有非晶体，应当称为“半结晶性”。术语“结晶性”和“非结晶性”只是用来描述塑料在结晶性上的相对区别。举例来讲，“半结晶性”树脂比“结晶性”树脂的晶体组织少。有些树脂，列出了它们的结晶比值（以百分率表示）。由于工艺条件可能明显影响树脂的结晶组织，因此表 28-1 中所列的比值最好按近似值考虑。

28.2 冷却对结晶性材料的影响

在熔融阶段，塑料呈非结晶态。塑料冷却（注射后在模腔空间）组织逐步变为与原来不同的结晶态。然而，结晶过程中的晶粒长大需要

表 28-1 用于注塑的

| 美国标准 (ASTM) | | D792 | | D1003 | | D648 | |
|-------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|------------------|--------------|----------|---------------------|
| 缩写 | 化学名全称 | 固体密度 g/cm ³ | 熔体密度 g/cm ³ | 透明性 TP, TL, O | 非晶态 / 结晶态 | 收缩率 % | 干燥 h; °C |
| ASA | 丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物 | 1.07 | | O, TP | 非晶态 | 0.4~0.6 | |
| ABS | 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 | 1~1.2 | 0.9 | O, TP | 非晶态 | 0.5~0.6 | 2~3; 88 ~77 |
| CA | 乙酸纤维素 | 1.3 | | TP | | 0.3~0.7 | 2~3; 60 ~70 |
| CAB | 乙酸丁酸纤维素 | 1.2 | | TP | | 0.3~0.7 | 2~3; 60 ~70 |
| CAP | 乙酸丙烯酸纤维素 | 1.2 | | TP | | 0.3~0.7 | 2~3; 60 ~70 |
| EVA | 乙烯-乙酸乙烯共聚物 | 0.94 平均 | 0.8 | TL, TP | | | |
| HDPE | 高密度聚乙烯 | 0.93~0.97 | 0.81 | O, TP | 结晶态 | 1.2~2.2 | 不进行 |
| HIPS | 高抗冲聚苯乙烯 | 1~1.1 | 0.9 | O, TP | 非晶态 | 0.4~0.7 | 不进行 |
| Ionomer | 离子聚合物 | 0.94~0.95 | | TP | 半结晶 | | 不进行 (8; 60) |
| LCP | 液晶聚合物 | 1.5~1.7 | | TP, TL | 液晶 | 0.2~0.8 | 4~8; 150 |
| LDPE | 低密度聚乙烯 | 0.91~0.93 | | TP, TL | 结晶态 | 1.5~3 | 不进行 |
| LLDPE | 线性低密度聚乙烯 | 0.90~0.92 | | TP, TL | 结晶态 | 1.5~5 | 不进行 |
| MDPE | 中密度聚乙烯 | 0.93~0.95 | | O, TP | 结晶态 | 1.2~2.2 | 不进行 |
| PA66 | 聚酰胺(尼龙66) | 1.1~1.4 | 1.0~1.2 | TL | 结晶态 | 1~2.2 | 3~4; 71 ~60 |
| PA6 | 聚酰胺(尼龙6) | 1.1~1.4 | 1.2~1.3 | TL | 结晶态 | 0.8~2.0 | 3~4; 71 ~60 |
| PAEK | 聚芳基醚酮 | 1.3~1.5 | | O | 半结晶 | 0.1~0.6 | 2~4; 175 ~150 |
| PAI | 聚酰胺-酸亚胺 | 1.4~1.6 | | O | 非晶态 | 0.1~0.2 | 5; 175 |
| PAR | 聚芳酯 | 1.2 | 0.77 | O | 非晶态 | 0.6~0.9 | 3~4; 175 ~150 |

各种塑料的性能表

| 熔体温度 ℃ | 模具温度 ℃ | 注 射 速 度 | 剪切速率 对温度敏 感性 | 残留物 对时间 敏感性 | 最大 L/t 比率 1mm 壁厚 | 不流动 温度 ℃ | 注射吨位 t/m ² | 典型注射 压力 MPa |
|-----------|-------------|------------|--------------------|-------------------|------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|
| 230~260 | 40~90 | | | | | | | |
| 195~240 | 38~93 | 低, 匀速 | 不 | 敏感 | (30~ 150) : 1 | 135~150 | 4~6 | 120~140 |
| 180~230 | 50~80 | 变速 | | 敏感 | | 130~170 | | 69~180 |
| 180~230 | 50~80 | 变速 | | 敏感 | | 130~170 | | 69~180 |
| 180~230 | 50~80 | 变速 | | 敏感 | | 130~170 | | 69~180 |
| 200~210 | 20~60 | | | | | 100 | | |
| 200~280 | 10~70 | 快速 | 不 | 不 | 250 : 1 | 120~130 | 2~2.5 | 100~200 |
| 180~280 | 10~85 | 快速 | 不 | 不 | (200~ 250) : 1 | 130 | 2~4 | 100~200 |
| 210~260 | 5~10 | 低, 中速 | 敏感 | 不 | | 100 | 2~3 | 70~110 |
| 400~430 | 240 ~280 | 中速 | 敏感 | 不 | (200~ 300) : 1 | 370 | 2~3 | 80~120 |
| 170~240 | 10~50 | 快速 | 不 | 不 | 275 : 1 | 100~110 | 1.5~2 | 100~150 |
| 170~200 | 10~50 | 快速 | 不 | 不 | (250~ 300) : 1 | 90 | 1.5~2 | 100~150 |
| 190~260 | 10~70 | 快速 | 不 | 不 | 250 : 1 | 110 | 2~2.5 | 100~150 |
| 270~320 | 20~100 | 快速 | 敏感 | 敏感 | (140~ 340) : 1 | 240~260 | 4~5 | 100~150 |
| 260~310 | 20~100 | 快速 | 敏感 | 敏感 | (140~ 340) : 1 | 190~200 | 3~5 | 90~150 |
| 370~400 | 160~200 | 低速 | 不 | 不 | (170~ 200) : 1 | 370 | 3~4 (6f) | 160~200 |
| 305~370 | 205~200 | 快速 | 敏感 | 略敏感 | (140~ 340) : 1 | | 5~6 | 160~200 |
| 260~380 | 65~150 | 中低速 | 不 | 敏感 | (30~ 100) : 1 | | 3~5(4 ~6f) | 138~200 |

| 美国标准 (ASTM) | | D792 | | D1003 | | D648 | |
|-------------|------------|---------------------------|---------------------------|------------------|-------------|-------------------|---------------------|
| 缩写 | 化学名全称 | 固体密度 g/cm ³ | 熔体密度 g/cm ³ | 透明性 TP, TL, O | 非晶态 / 晶体 | 收缩率 % | 干燥 h; °C |
| PAS | 聚芳砜 | 1.36av | | O | 非晶态 | 0.6 | 3~4; 175 ~150 |
| PBT | 聚对苯二甲酸丁二醇酯 | 1.3~1.6f | 1.1~1.2 | TL | 半结晶 | 1.5~2 (0.5f) | 3; 150 |
| PC | 聚碳酸酯 | 1.2~1.5f | 1.1 | TP | 非晶态 | 0.4f~0.7 | 3~4; 120 |
| PEI | 聚醚酰亚胺 | 1.3~1.5f | | O | 非晶态 | 0.5~0.7 (0.2f) | 4~6; 150 ~130 |
| PEK | 聚醚酮 | 1.3~5f | | O | 半结晶 | 0.1~0.6 | 2~4; 175 ~150 |
| PEEK | 聚醚醚酮 | 1.3~1.4f | | O | 80%结晶 | 0.1~1.4 | 2~4; 175 ~150 |
| PES | 聚醚砜 | 1.2~1.6f | | TP | 非晶态 | 0.3f~0.6 | 3~4; 150 ~135 |
| PET | 聚对苯二甲酸乙二醇酯 | 1.4~1.7f | 1.2 | O, TP | 晶体/非晶态 | 0.2~2 | 2~4; 180 ~160 |
| PETG | PET (共聚物) | 1.2~1.3 | | O, TP | 非晶态 | | 4; 66 |
| PMMA | 聚甲基丙烯酸甲酯 | 1.1~1.2 | 1.0~1.1 | O | 非晶态 | 0.4~0.8 | 2~3; 77 ~93 |
| Polyester | 热塑性聚酯 | 1.3 | | O | 非晶态 | 1.5~1.8 | 2~4; 120 ~77 |
| POM | 聚甲醛 | 1.4~1.6f | 1.2 | O | 80%结晶 | 0.8f~2 | 不进行 |
| PP | 聚丙烯 | 0.90~0.92 | 0.77 | TP, TL | 半结晶 | 1~2.5 | 不进行 |
| PPO | 聚苯醚 | 1.1~1.2f | 0.96~1.0 | O | 非晶态 | 0.2f~0.7 | 2~4; 115 ~107 |

续表

| 熔体温度 ℃ | 模具温度 ℃ | 注射速度 | 剪切速率 对温度敏 感性 | 残留物 对时间 敏感性 | 最大 L/t 比率 1mm 壁厚 | 不流动 温度 ℃ | 注射吨位 t/m ² | 典型注射 压力 MPa |
|-----------|-----------|------|--------------------|-------------------|------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|
| 340~370 | 120~155 | 中低速 | 不 | 不 | (140~ 170) : 1 | | | 138~200 |
| 240~270 | 50~100 | 中、快速 | 敏感 | 敏感 | (160~ 200) : 1 | 220~250 | 3~5 | 80~120 |
| 270~325 | 80~110 | 快速 | 不 | 敏感 | (30~ 100) : 1 | 195 | 3~5 (6f) | 138~200 |
| 340~425 | 65~175 | 中、快速 | 不 | 敏感 | | 230 | | 100~160 |
| 370~400 | 160~220 | 低速 | 不 | 不 | (170~ 200) : 1 | 370 | 3~4 (6f) | 160~200 |
| 370~400 | 160~220 | 快速 | 不 | 不 | 200 : 1 | 370 | 2~4 (6F) | 160~200 |
| 340~380 | 140~160 | 快速 | 敏感 | 敏感 | (60~ 120) : 1 | 300 | 5~10 | 160~200 |
| 260~300 | 7~80 | 低、匀速 | 敏感 | 敏感 | (80~ 200) : 1 | 240~250 | 2~6 | 70~160 |
| 190~275 | 20~30 | 低-快速 | 敏感 | 敏感 | (80~ 200) : 1 | | | 80~100 |
| 200~260 | 38~60 | 变速 | 敏感 | 不 | (130~ 150) : 1 | 160~170 | 2.5~3 | 100~200 |
| 230~260 | 40~100 | 低、匀速 | 敏感 | 敏感 | (80~ 200) : 1 | 70~80 | 3~5 | 80~100 |
| 180~230 | 80~100 | 中、快速 | 敏感 | 敏感 | (100~ 200) : 1 | 160~170 | 3.5~5 | 100~170 |
| 230~275 | 15~65 | 快速 | 不 | 不 | (200~ 300) : 1 | 170~180 | 2~3 | 100~130 |
| 250~315 | 82~110 | 快速 | 敏感 | 敏感 | | 150~200 | 2.5~5f | 120~180 |

| 美国标准 (ASTM) | | D792 | | D1903 | | D648 | |
|-------------|----------|---------------------------|---------------------------|------------------|------------|----------|---------------------|
| 缩写 | 化学名全称 | 固体密度 g/cm ³ | 熔体密度 g/cm ³ | 透明性 TP, TL, O | 非晶态 结晶体 | 收缩率 % | 干燥 h; C |
| PPS | 聚苯硫醚 | 1.3~1.9f | 1.5av | O | 65%结晶 | 0.1~0.5 | 3~4; 150 |
| PS | 聚苯乙烯 | 1.0~1.1 | 0.9 | O, TP | 非晶态 | 0.4~0.7 | 不进行 |
| PSU | 聚砜 | 1.2~1.6f | | O, TP | 非晶态 | 0.7 | 5; 120 |
| PVC | 聚氯乙烯 | 1.2~1.4 | 1.2~1.3 | TP | 非晶态 | 0.2~0.5 | 不进行 (2; 60) |
| SAN | 苯乙烯-丙烯腈 | 1.1~1.3 | 0.9 | O, TP | 非晶态 | 0.3~0.7 | 2~3; 80 ~70 |
| TPUR | 热塑性聚氨酯橡胶 | 1.2~1.3 | | O, TL | 非晶态 | 0.8~2 | 2~3; 110 ~104 |
| UHM- WPE | 超高分子量 PE | 0.93~0.94 | 0.9 | O, TP | 结晶体 | 1.2~2.2 | 不进行 |

注：“剪切速率和温度敏感性”一栏中表明树脂的粘度对剪切速率和温度变化是否敏感。“温度敏感性”的真正含义是指剪切速率和粘度之间的关系，但这些术语并不太好理解，通常 TP 透明，TL 半透明，O 不透明。

av. 平均值；f 充满模腔的性质。

完整精确的数据总是要查看所选塑料的供应商提供的最新数据表格。

续表

| 熔体温度 ℃ | 模具温度 ℃ | 注 射 速 度 | 剪切速率 对温度敏 感性 | 残留物 对时间 敏感性 | 最大 L/t 比率 1mm 壁厚 | 不流动 温度 ℃ | 注射吨位 t/m ² | 典型注射 压力 MPa |
|-----------|--------------|------------|--------------------|-------------------|------------------------|----------------|--------------------------|-------------------|
| 300~360 | 40~150 | 低速 | 敏感 | 不 | 150 : 1 | 260~280 | 2~3 | 50~140 |
| 180~280 | 10~85 | 快速 | 不 | 不 | (200~ 250) : 1 | 130~160 | 2~4 | 100~200 |
| 310~400 | 100 ~ 170 | 低速 | 不 | 不 | | | | |
| 180~204 | 20~40 | 低~中低 | 敏感 | 敏感 | 100 : 1 | 120 | | 70~140 |
| 220~270 | 5~60 | | 敏感 | 敏感 | | 130~170 | | 35~140 |
| 190~220 | 30~65 | | 敏感 | | | 120 | 0.5~2 | 70~140 |
| 200~280 | 10~70 | 快速 | 不 | 不 | 150 : 1 | 120 | 3~4 | 130~200 |

对剪切速率和温度敏感的树脂在较高的剪切速率和温度时变稀。尽管术语“剪切敏感性”和用来描述树脂的热稳定性。

时间，如果冷却效率很高，散热很快，使树脂没足够的时间结晶，这样，即使树脂是“结晶性”材料，在冷却后仍保持非结晶状态。在离冷却装置较远的部位中的塑料达到完全冷却前有足够的时间结晶，将重新变成晶体状态。介于两者之间的区域与远离直接冷却的区域相比，可以获得较小尺寸的晶粒。

充填模腔时，离模腔壁最近的树脂迅速冷却，形成非结晶层（图28-1）。塑料的流动因快速冷却而突然停止，从而使该层组织呈非定向排列。

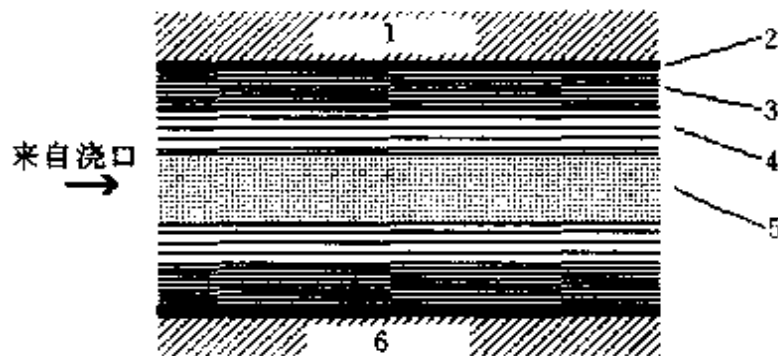


图 28-1 冷却模具中塑料制品横截面的不同结晶状态

1—冷却壁；2—表层，无定向非晶体；3—外层，大量定向排列细小晶粒；4—内层，少量定向排列小晶粒；5—中心层，定向排列最少大晶粒

模壁处的塑料由于充填时流动很快而当即大量取向，由于其快速冷却而将大部分取向保留下来。这一层仅有很小的晶粒形成。

离中心稍近一些的区域，塑料流动很快但冷却较慢，模具充满以后由于高温，部分取向遭到破坏，这一层内的晶粒稍大。

中心层最后冷却，由于贮热时间很长，足以消除充填模具空间时引起的大部分取向，并且有足够的时间使晶粒长大，所以其特点是晶粒最大。

在塑料桶成型的典型例子中，中心层晶粒尺寸决定了桶的最大承载强度，桶壁越厚，晶粒越大，最大承载强度越大。

对于其他一些塑料制品来说，最大承载强度并不重要，而是要求韧性和抗冲击性能，这样非结晶性和薄的结晶层更重要。但提高这些

性能,靠增加塑件壁厚是很少或根本收不到效果的。在某些情况下,为了加固而在厚度均匀的壁上适当设置加强筋,可获得既轻便又结实的制品。

通过观察聚乙烯桶壁横截面的实际组织照片,可以验证上述论断的正确性^[1]。

28.3 结晶层和非结晶层分布的实际影响

非结晶组织(含小晶粒)提高冲击强度,结晶组织(晶粒大)增加压缩强度。典型的、工业用大桶需要两种强度兼备,通过调整成型工艺(充模速度和冷却速率),可控制最终制品的质量(结晶度),从而得到合理的最大负载和抗冲击强度值。

28.4 熔点(T_m)和玻璃化转变温度(T_g)

在结晶性塑料中,固体到液体的转化现象很剧烈,易于观察到,在熔点以上,晶粒不复存在(详细情况参阅 Rubin^[2])。

相反地,非结晶性塑料在很大的温度范围内呈软化状态,并且在任何一点上塑料的流动性未发生大变化。但是,测定相对于温度的比容(specific volume)和热容量(heat capacity)等性能时,曲线却出现了一个突变点。该点称为玻璃化转变温度(T_g)。

在 T_g 以下,聚合物呈刚性,性质和固体相似,相对较脆,缺少弹性。在 T_g 以上,塑料性质和粘稠液体相似。继续加热将使塑料达到熔融范围。测定 T_g 的常用方法是绘制比容相对于温度的关系曲线,如图 28-2 所示。

T_g 和 T_m 的关系用 T_g/T_m 描述,其值通常在 0.50 和 0.75 之间。表 28-2 列出了一些常用塑料的 T_g

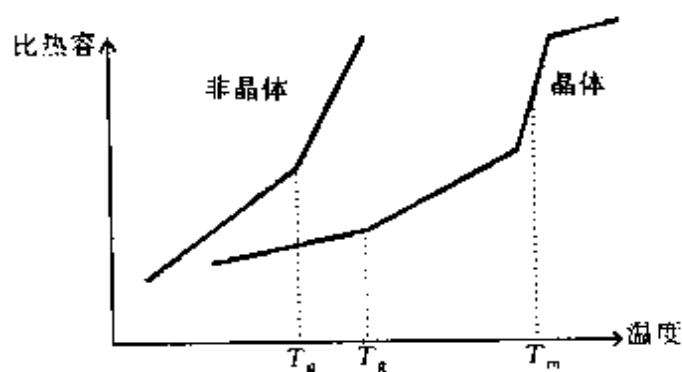


图 28-2 随比容和温度的升高非结晶性或结晶性塑料玻璃化转变温度和熔点

注: T_g 为玻璃化转变温度, T_m 为熔点

和 T_m 值。

表 28-2 普通注射成型塑料的玻璃化转变温度和熔点

| 材 料 | 玻璃化转变温度 (T_g) ℃ | 熔 点 (T_m) ℃ |
|----------|------------------------|--------------------|
| 缩醛 | -85 | 190 |
| 尼龙 6 | 50 | 225 |
| PC | 152 | 225 |
| PE | -125, -20 | 110~141 |
| PP | -5, 45 | 172~176 |
| PS (GP)* | 81~100 | 235 |
| PVC | 70~80 | 200 |
| PET | 73 | 260 |

注: (GP)* = 一般用途。

28.5 PET (聚对苯二甲酸乙二醇酯) 的预成型

PET 属结晶性塑料。但在将型坯制成成品的吹塑成型中, 型坯必须呈非结晶态。这可通过模具的强烈快速冷却获得。

这种塑料还要求完全干燥, 而不是和普通树脂那样一般的干燥标准。PET 在进入挤塑机之前湿度必须小于 0.005%。在露点为 -40°C , 干燥温度 182°C 的情况下, 干燥 3~4h 获得。

28.6 塑料干燥

一些(通用)塑料, 例如 PP、PE 和 PS, 不要求干燥。其他许多塑料在加工之前都需要进行干燥, 以防在熔化时出现气泡和气孔, 这些气泡和气孔将损害塑件质量。表 28-1 列出了干燥塑料的大约值。

参 考 文 献

1. Catoen, B (1992), Effects of injection time, melt temperature and gate configuration on the performance of industrial containers, Research Study, Mold Division, Huslhy Injection Molding Systems Buffalo, NY.
2. Rubin, I. I. (1992). Theory and Practice of Injection, John Wiley and Sons, New York.

第二十九章 模具压力

在考虑加载、预载和疲劳影响之前，应先定义一下每副模具中普遍存在的基本力（注塑机中的力暂不讨论）。

29.1 合模力

所有的合模力是周期性的，也就是说，在每次成型过程中该力均产生，并伴有数值从零升到最大值，再回到零的过程。合模力的作用既要和合模运动成一直线，又要与合模运动成直角。

合模力与合模运动成一直线的作用是指合模力（压缩）用来保证模具的闭合，以防止塑料在注射过程溢出。合模力可由注射机的合模机构提供，不是直接的液压作用就是用肘杆机构，偶尔，可在模具上或模具内安置夹钳和（或）模楔来代替机器的合模动作。

合模力的承压面是所有模腔的总分型面面积和所有的挡块面积之和，其中加挡块是由于模具设计空间受限而带来的分型面面积不够而采用的（见图 29-1）。

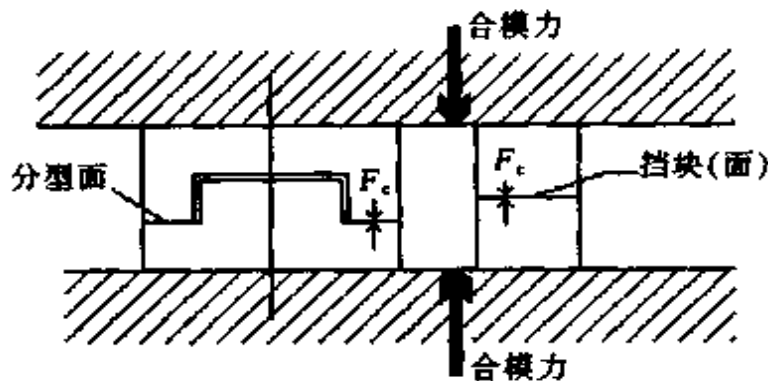


图 29-1 与合模运动成一直线的合模力（压缩力）使模具在分型面上闭合

注： F_c 为压紧力

与合模力呈直角的方向上有两个力作用，侧型芯力和定位元件引起的力。侧型芯力包括：把侧型芯保持在闭合面上的力；抵抗注射压

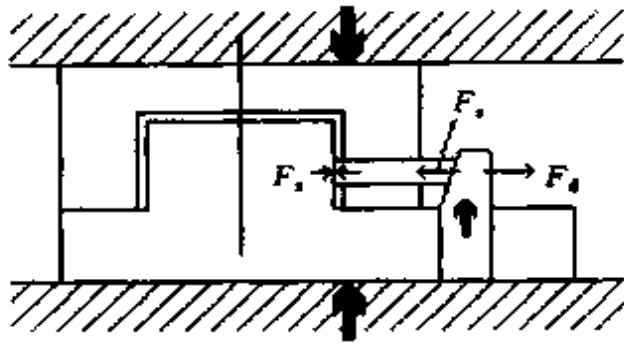


图 29-2 由合模引起的对侧型芯的闭合力和对楔块的弯曲力

注： F_1 为弯曲楔块的力； F_2 为闭合力； $F_3 = F_1$ ；图中显示了力，没显示侧型芯的驱动

力的力，或者二者的合力。这些力既可通过外力的施加产生，又可通过使用楔块来得到，也可由液压作用产生，如图 29-3 所示。

在以上两种情况下，楔块或螺丝产生的闭合力 F_2 都由模具来承受， F_3 还会引起压缩、拉伸或弯曲力，或它们之中的合力。在两种情况下，闭合力都将使型芯趋向于挠曲（弯曲），对于细型芯影响更厉害。

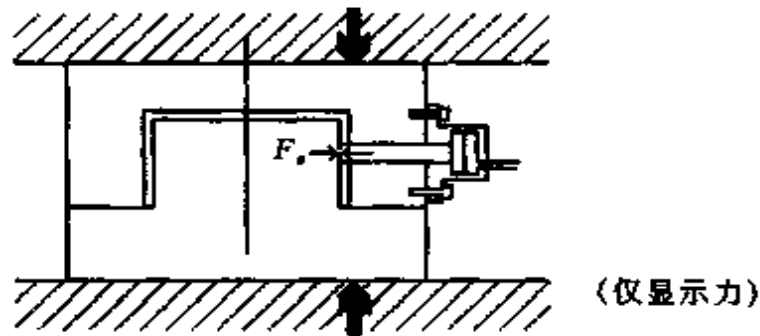


图 29-3 锁模过程中液压缸对侧型芯的封闭力

模具的定位元件像锥锁、锥销和模楔等的定位作用会产生力。锥锁及锥销完全定位时，在定位后只稍微有些伸展。如果定位不恰当（图 29-4），这斜向力会迫使模板或组件进入合适位置。注意：模板不均匀的温度会造成这些组件的错位。

采用浮动模具构件，除了需要相对很小的力把错位零件移入各自正确的位置外，没有什么不利的侧面力作用在模具上了。如模具构件用销和套定位在模板上，定位不恰当引起的力会对受影响的模板产生拉伸、压缩或（和）弯曲，还会剧烈磨损锥体和损坏模具。锥体中的力“抵制”销和套对运动的限制，所以就带来了以下问题——不是锥体磨损剧烈或断裂，固定装置剪切破坏或弯曲变形，就是模板损坏。注

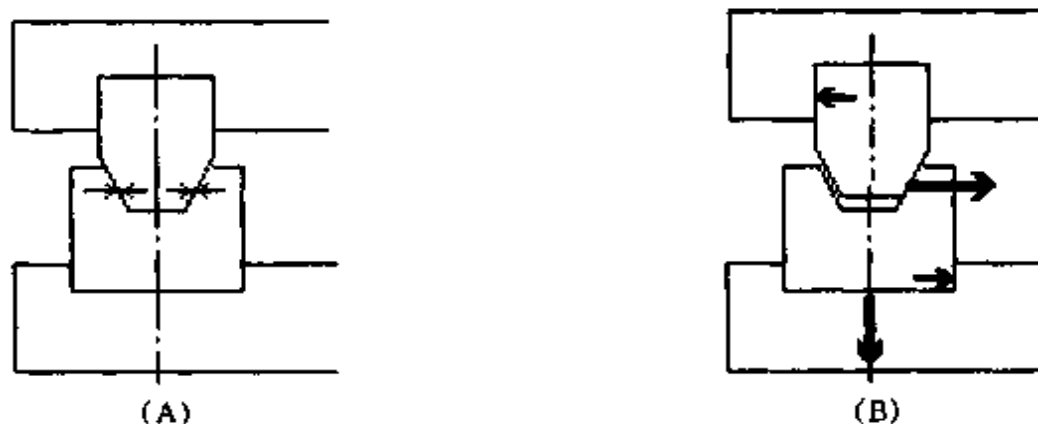


图 29-4 模具锥体的定位

(A) 定位良好；(B) 定位不良，引起模板的拉伸、弯曲以及模楔的磨损

意由楔块或锥体引起的力要比由固定螺钉把模板紧固在一起的力大，这力将会永久地改变模板的位置。

模楔用于定位模瓣或模具的模腔及模芯，就由相反方向模板或零件引起的力而言，其作用类似于圆形锥锁（图 29-5）。然而，所有的模楔必须由模具（模板）支承，抵抗斜楔力。这些力将在模板内产生拉应力、剪应力、弯曲应力及压应力，应力大小和模楔作用所选择的预载量有关。

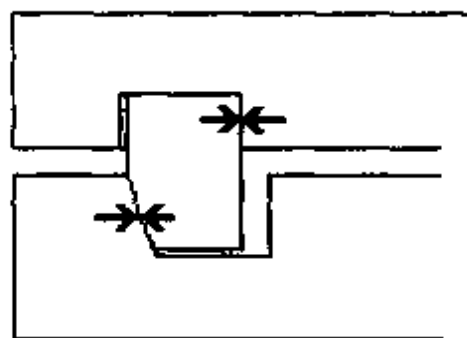


图 29-5 模楔力对模板的反作用力

29.2 螺杆的力

模板常用螺钉连接起来。如果螺杆设计合理，又经过预载，螺杆中的力是静态的，不是周期性的。但是，压缩模板的载荷是周期性的。

29.3 开模力

开模（拉力）力在完成注射周期打开模具时出现。力的大小取决于模塑制品的形状和壁厚，有时相当小，有时又相当大，甚至会止住注塑机而妨碍开模。

特别地，制造近似圆柱形薄壁容器的模具可能会过度抱紧，这是由于机器调整不当或者是因为模芯或模腔结构薄弱制造质量差导致的；模腔在注射压力作用下膨胀（或/和模芯受压），注射压力一消失，模腔又回复原状（弹性）。薄薄的塑料壁在冷却后没有足够的收缩量适应模芯和模腔壁之间存有空间的要求，于是使塑料贴在模具中严重阻碍开模。在特殊情况下，模塑简管（用于纺织厂）的模腔和模芯带有非常大的倒陷，这时要用模具内部（或外部）的液压油缸辅助注塑机合模机构开模。

开模力使得模芯本身承受周期性的拉伸应力。但是，模具中用于紧固模板和模芯的螺钉都经过预紧，所以只不过是其在预紧的基础上再加载。由此可知，只要每块模板或模芯的所有螺钉的预载总量超过作用于这些零件上的开模力，螺钉就不受开模力的影响。

再强调一下，开模力呈周期性（就是说发生于每个模塑周期），开模力的范围是零到某个值，通常这力值比注射时的压缩力小得多。开模力在有的方面是很重要的，比如上面提及的简管或在有过度抱紧模具的地方。

静态的和周期性的载荷的说明和重要性在第 18 章中解释。

29.4 顶出力

顶出力会产生拉伸、压缩、弯曲或扭转应力。这些力出现在脱模板、顶杆托板或退螺纹机构上。顶出力因发生在每个模塑周期中，所以具有周期性。

29.4.1 拉伸

顶出力 F_v 的大小取决于塑料的种类和温度，而且在很大程度上取决于制品的形状和表面精整情况。深延的制品没有脱模斜度或很小，或有倒陷的制品，其对顶出的阻碍作用比平直制品或具有很大脱模斜度且没有倒陷的制品大得多。应注意这一现象，塑料温度较高，顶出就容易。而完全冷却的制品需很大的顶出力或根本顶不出来。

从模芯顶出制品会使模芯受到拉伸应力，在两级顶出系统中，拉力就出现在两顶杆托板的联接构件或脱模板和顶杆托板上。

29.4.2 压缩

顶杆和顶套受压于顶杆托板和制品之间（见图 29-6）。同时，在接触制品的脱模圈（或脱模条）和其支承件之间也存在有压缩力。

需注意在每次注射过程中，顶杆也受压，所以，在每次模塑周期中，这些零件周期性地受压两次，但不一定是同样的力。

例：一直径 6.35mm 的顶杆有 40.64cm 长，其模腔内的注射压力估计可达 34.5MPa，而钢的弹性模量是 207GPa，杆的面积为

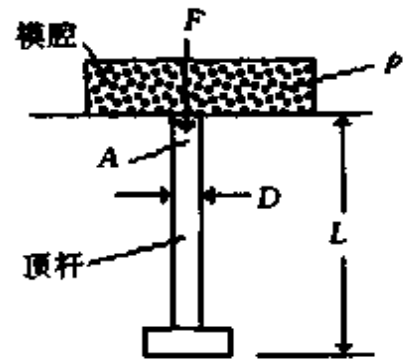


图 29-6 顶杆上的压缩力

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (29-1)$$

作用在杆上的力是

$$F = AP \quad (29-2)$$

压应变的公式为 $f = \frac{FL}{AE}$ ，代换后变为

$$f = \frac{APL}{AE} = \frac{PL}{E} \quad (29-3)$$

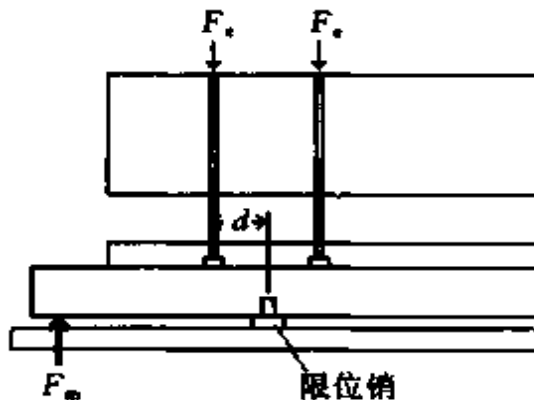


图 29-7 作用在顶杆上的顶出力，要求限位销和顶杆间距最小（图中这副模具的注塑机顶杆位置不当）

注： F_s 为作用在每个顶杆上的顶出力； F_m 为机器顶出力； d 为限位销与顶杆间距

对于这个例子，顶杆上的压应变是

$$f = \frac{34.5 \times 40.64}{207000} = 0.00677 \text{cm}$$

这压缩量是很重要的，特别是对于很长的顶杆。在所举的例子中，杆的压缩量近似为 0.007cm，而且，可看到压缩量和杆直径 D （或横截面积 A ）是无关的。所以，只要作用的压力 P 相同，压缩量就相同，与顶杆厚薄无关。

同时，为了承受作用在顶杆上的注射力，顶杆托板的支承要合理，最好支承在顶杆位置的正下方或附近（见图 29-7）。图上所示的 d 尺寸应尽可能小，这样能减小顶板的弯曲力，但考虑到实际情况，限位销的个数常比顶杆少得多。

29.4.3 挠曲

顶杆托板的挠曲或弯曲是由这两个力形成的：

①上面讲到的注射压力的支承力；

②制品所需的顶出力。

这两个力都可能在模具中存在。

29.4.3.1 顶托板的挠曲

现在来讨论一下如图 29-7 所示的顶杆托板系统。图上的注塑机顶杆设置很不合理，相离得太远了，因此，在顶出过程中会造成严重的弯曲。设计者应考虑注塑机顶杆的位置与顶杆的平均距离最小。如果没有合适的位置，顶杆托板要比下面建议的更厚，以保证不会弯曲。若以可能出现的最坏的情况计算（顶出需要注塑机施加最大的顶出力的情况），并假设模板为两点支撑，承受若干载荷的直梁，这样就可以计算出模板的抗弯能力。从图上可看出限位销只承受注射压力。

以下提供一种计算顶杆托板强度（抗挠曲）的简便方法。注意：任何厚度都会产生一定程度的挠曲，设计时应选择合适的厚度，一般应保证危险点的挠度小于 0.0127cm 。

为进行计算，有必要引进以下两个假设。

①假设顶杆托板为一宽 2.54cm 的板条。如果宽度超过 2.54cm ，就用单位宽度载荷。比如，如果载荷为 10t ，宽度为 125.4cm ，那作用的单位载荷 W 为 1t 。

②假设所有的顶杆（和/或顶套）给模板加载，从第一个到最后一个之间，是连续、均匀加载。

图 29-8 所示的是模具中顶杆托板中部挠度的计算方法，其中注塑机顶杆被设置在载荷外部相隔较远。图注中的公式是用来确定其转动惯量。

如果注塑机顶杆被设置在载荷范围之内，那么在载荷下发生的挠

度更小(图 29-9)。这些计算方法可以对所设计的模板厚度是否合理,有个相当正确且有用的判断。

29.4.3.2 脱模板的挠曲

因脱模圈(或板)位于模芯锥座上,所以由模芯(或模芯垫板)支承,作用于脱模圈(或板)上的注射压力不会使脱模板发生挠曲。

脱模板厚度的计算基本上和顶杆托板的一样。应注意以下两种情况:第一,由于顶杆托板切除(常是在支柱位置)导致板宽减小;第二,脱模板实际脱模部分切除而使板宽减小(也就是脱模圈环形开口)(图 29-10)。

为了缩短注塑机顶杆和脱模圈之间的距离,设计者应选择合适的顶杆数目和分布以及注塑机顶杆的数目及位置。这样可以减小顶杆或脱模圈的挠度。如果距离长不可避免,那么应使板更厚,使挠曲保持最小。

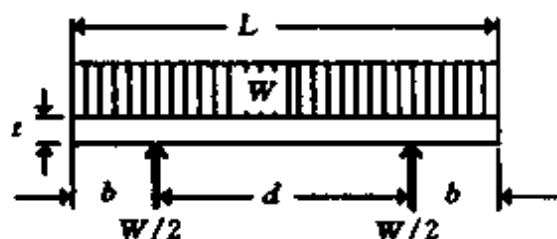


图 29-9 机器顶杆受载处顶杆托板的挠度 f 两端的最大挠度:

$$f = \frac{Wb}{24EIL} [3b^2(b+2d) - d^3]$$

中间挠度:

$$f = \frac{Wd^3}{384EIL} (5d^2 - 24b^2)$$

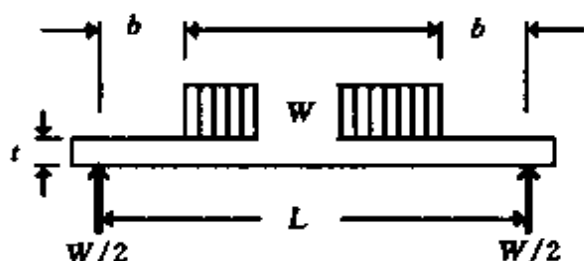


图 29-8 顶杆托板板条中部的最大挠度 f

板条中部最大挠度 f :

$$f = \frac{WL^3}{384EI(1-2a)} (5 - 24a^2 + 16a^4)$$

$$a = \frac{b}{L} = \frac{5WL^3}{384EI(1-2a)} \quad I = \frac{Wt^3}{3} = \frac{t^3}{3}$$

其中 $(5 - 24a^2 + 16a^4)$ 可忽略不计; I 为板条转动惯量; W 为 2.54cm, 其厚度为 t ; E 为弹性模量 (psi)

再重申一下,预测顶出力一般是不可能的,但是设计者能够考虑极端情况,设计所有零部件都适合在全部注塑机顶出力下工作。除了某些特殊情况,像前面提到的纺织简管,这方法在决定顶杆托板和脱模板厚度时可留有一定的裕量。

29.4.4 扭转

在旋转模芯退出螺纹时出现扭

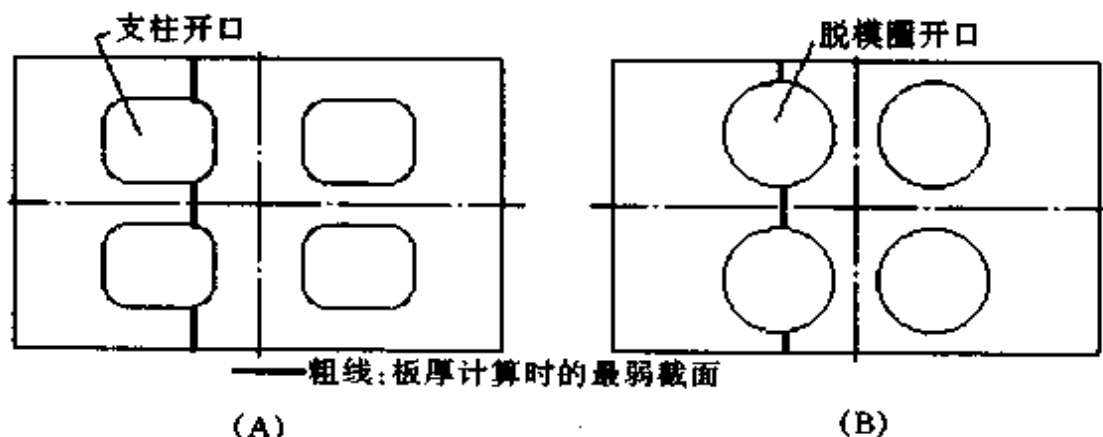


图 29-10 计算厚度时应考虑模板上开口情况

(A) 典型的顶杆托板; (B) 典型的脱模板

注: 粗线为板厚计算时所用的危险截面 (最弱截面)

转力, 并且在一些附件中, 如旋转轴盖也出现扭转力。模具模芯中的扭转力一般很小, 然而, 最近的一种应用可能是具有历史意义, 在 Dow 化学专利方法中, 模芯在注射期旋转。在这种情况下, 所需扭距极大, 所以在设计模芯以及使模芯产生回转运动的旋转零件时应仔细地考虑。[大约这一旋转运动的目的是, 使制品中的塑料在双轴定向, 以此来提高制品的强度, (比如圆桶容器或预成型制品)]。

盘簧也是扭转性弹簧, 因为钢的抗扭强度大约只有钢拉伸强度或抗压强度的一半, 如果要在模具中使用这类弹簧, 应仔细计算其所受应力, 要保证低于弹簧的疲劳强度 (请看第十八章, 金属疲劳)。

要使弹簧的使用寿命长, 弹簧的压缩量只能是最大无间隙压缩量的 20% (来自弹簧工人的推荐值)。如果在长行程中使用弹簧, 一般不合适, 应以空气驱动器来代替。

29.5 注 射 力

不论是冷流道模具还是热流道模具, 所有的模具中都存在注射力。注射力是周期性的 (也就是说, 发生于每个模塑周期, 并且数值由 0 到最大, 再回复到 0)。

29.5.1 液压力

在充模阶段，流道系统的压力可能很高，但模腔内的压力并不大。一旦模腔开始充模，整个系统的注射压力就开始上升。并且在很短的一段时间内，模腔内的塑料熔体的作用和液压流体一样，即向四周产生推力。

重要的是理解塑料熔体的性能并不完全和水或油相同，沿着注塑机的注射端到模腔内流道末端之间的通道，塑料熔体的实际压力有很大的区别。作用在注射端的液压力可以用这样一个简单的公式来计算，因为作用在活塞或螺杆上的力为

$$F = p_h A_h \quad (29-4)$$

式中 p_h —— 液压油压力；

A_h —— 液压活塞面积。

作用在塑料上的压力 F 通过下面的代换可以得到（图 29-11）。

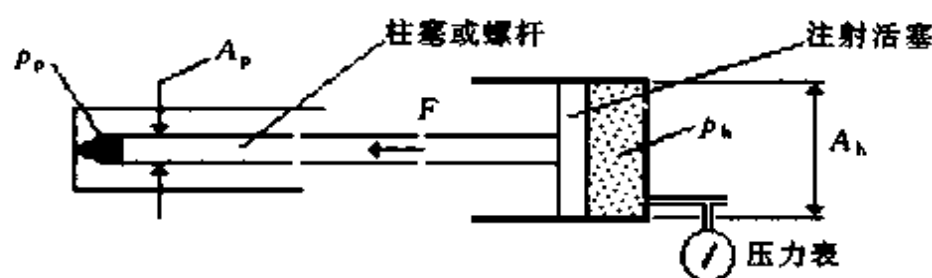


图 29-11 注射装置中的液压压力

$$p_o = \frac{E}{A_p}, \text{ 或 } p_o = \frac{p_h A_h}{A_p} \quad (29-5)$$

式中 p_o —— 塑料压力；

A_p —— 柱塞或螺杆面积。

塑料压力 p_o ，与液压活塞和螺杆（或柱塞）面积比值成正比，并要乘以注射装置液压（油）压力。因许多机器， A_h 和 A_p 的面积比率常正好为 10，所以只需读出油压，并把该值乘上 10，乘积就是注射端（即注塑机喷嘴前部）的塑料熔体压力。为了简便操作者，常把标准压力 p_h 转化成塑料压力 p_o ，绘表附在油缸上以利查询。

注射装置的压力有可能很高，常是 137.9MPa，如果为了获得薄壁

塑料制品而采用高注射速率，压力会高达 199.9MPa。但是在喷嘴前端塑料最初的高压和模腔内最终的压力之间存在着重要的压力降，而且在模腔内部从浇口到模腔流经末端也存在着重要的压力降，特别是薄壁制品。

热流道系统和模腔内的熔体流动如果没有高级计算机模拟，模腔内塑料压力要得到精确地预测实际上是不可能的，但一般这压力值可能是注射端最初压力的 25%。估计模腔内的压力，确定注射时为保证模具的闭合所需的合模力，一般采用某些习惯做法。

模腔内压力的经验原则是：

①薄壁制品的压力为 77.2MPa；

②工程制品为 30.9~46.3MPa。

但是，常采用的是来自专业工作中的经验。

在塑料流经上选择位置安装压力传感器能很好地得到实际压力读数，但这通常只能作为科研项目，对于模具设计和制造者来说一般没有实用价值，但可从实验模具的结果（数据）推断其他模具的设计。

29.5.2 压缩

模腔充满后，模腔内的实际注射压力将对用于模腔、模芯以及其他模具零件的钢材或其他材料产生压缩作用。这些零件在其成型表面和支承模板之间的合模方向上受挤压和推压。最后这些压力由机器压板来承受。应注意到，这些力和使模具从分型面打开的开模力的作用是相同的，但和注塑机的合模力是相反的。

模腔充满后，受压力作用的模芯被塑料所包围，并且在其长轴垂直方向被压缩。如果冷却管道钻得离表面太近，就没有足够的钢材来承受作用在模芯上的压力，模芯最终将失效。

而且如果冷却管离表面距离太近，模腔或注道镶件在液压压力的作用下也会产生塌陷，如镶件用铍-铜或铝或其他强度比钢低的材料制成，更应注意这问题。

注意：吹塑模的模腔一般用铝制造，但是因吹塑压力产生的力大大低于注射模腔中的力，又因为铝的热导性比钢好，所以铝是较好的选材。

29.5.3 拉伸

考虑到模腔如同一个压力容器，所以模腔充满后，其内部压力有使模腔向外膨胀的趋势，从而在模腔壁内产生了拉伸应力（实际情况是拉压的合应力）。这里有两个地方需注意。

①模腔上交叉分布着冷却管道、螺钉孔以及其他各种孔，而这些孔的分布会减少钢板承受塑料液压压力的有效横截面，对模腔承载面的削弱程度与孔的数量及尺寸有关。而且这些孔也是相当严重的应力集中源，应力集中会削弱模腔壁强度。应力集中与孔尺寸有关，但不成比例，孔径越小，应力集中程度越严重（参见第十八章，金属疲劳）。

②如果模腔与模芯之间联锁，而且内锥体设计在模腔块上，当模腔膨胀时，也会带动这个锥面同时膨胀，这有可能会与其相匹配的锥面的接合力，部分或全部失去。这样一来，会产生错位及模芯偏移的不利现象。

经验丰富的设计人员通常对模具零件的壁厚能设计出合理的方案，并使冷却管道以及螺钉孔离开成型表面的距离合理。一般情况下，模具稍超重一点，并不重要，只要模具强度能保证达到预期的模具寿命。

在判断所设计的模具零件能否承受以上的拉伸力时，设计者可采用一些粗略的估算法。最新有限元分析（常很昂贵）法能判断出模具零件能否达到预期寿命，且精确率很高。但所有对壁厚的计算方法的精确度主要取决于模具内注射压力假设的精度。

29.5.4 挠曲

细长且又无支承的模芯常容易发生挠曲现象，但即使是粗大的模芯，如0.2L（7盎司）的薄壁滚筒所用的模芯，如果浇口的塑料流动不完全定位中心，该模芯仍会严重挠曲。如果一边流动占优，那么这一面先被填满，造成模腔内压力升高时，模芯另一面没有足够的力来平衡，这样模芯就弯向塑料料流少的一边。

29.6 剪 切 力

模具中多处会产生剪切力。剪切力的产生常是因为模具零部件错位，这是由于工作质量差或者零件不均匀的热膨胀引起的。

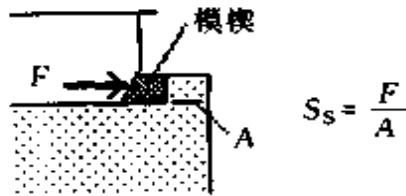


图 29-12 模楔定位时模板面积 A 上产生的剪应力 S_s

比如在由模板或其他模具零件支承的定位模楔处常出现剪切力(图 29-12)。所举例中的剪切力是周期性的，即每个模塑周期均产生这种应力，当薄弱部分达到疲劳极限(失效前的周期数)就产生破坏。如果

配合零件的销孔位置配合不好，在销(或套)处会出现剪应力。

29.7 模具不均匀冷却引起的力

29.7.1 热膨胀

模板之间温度不均匀会导致温度高的模板相对于温度低的产生伸长。如两个零部件的热膨胀率不相等，其中一零件相对于另一零件会增加尺寸。下面所举的是关于因模具冷却不均产生热膨胀和剪切作用的例子。

例：两板由两销钉固定，两销间距 L 为 20in (50.8cm) (图 29-13)，模塑过程中因冷却不均匀，两板之间温差为 25F (13.9℃)。

钢的热膨胀率为 0.000006in (F · in)，故温度高的板伸长量 $f = 0.000006\text{in (F · in)} \times 25\text{F} \times 20\text{in} = 0.003\text{in (0.00762cm)}$ 。该结果表示在此板上产生了一个使该板伸长量达 $f = 0.003\text{in (0.00762cm)}$ 的力。如果板的横截面面积(两销钉之间的面)假定为 $1.5\text{in} \times 10\text{in}$ ，或 $A = 15\text{in}^2$ ，那么使这块板产生 0.003in (0.00762cm) 拉伸量所需力 F 等于

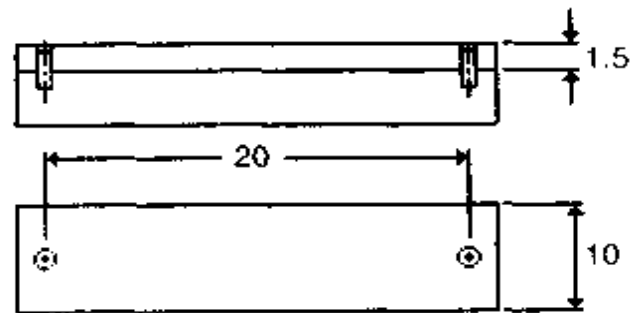


图 29-13 两板被一对销钉定位

$$F = \frac{fAE}{L} \quad (29-6)$$

即

$$F = \frac{0.003\text{in} \times 15\text{in}^2 \times 30000000\text{psi}}{20\text{in}} = 67500\text{lb} \approx 0.34\text{MN}$$

这么大的剪切力都由销钉来承受，如销钉的尺寸较小，这一剪切力会立刻将其切断，尺寸大的销钉则会变形和（或）破坏精加工的销孔。

这些力不应该认为是周期性的，而应看成是固定的，因为他们只在模具开始工作时才产生，而且在模具寿命周期可能不超过几百次。

所以设计时必须注意：

- ①因热膨胀不同在模具内会产生相当大的力；
- ②销钉的尺寸必须足够大，能够承受由其引起的力；
- ③可能需要有比使用两个销钉更合适的定位方法。

作为规则，使用销钉定位，两销钉之间的距离尽可能大是合理的。但是在两个配合零件之间如果存在温差，应考虑用其他定位方法，可允许定位零件“浮动”来避免模具中可能出现的有害的力。举例来说，热流道歧管只在中心用销钉固定，阻止距离中心较远的滑动面转动，而歧管可在各方向上自由伸长。

造成模板温度不等的一般原因是模具设计不合理，像定位不正确，冷却管道不足，模具错误装配或其他如管路堵塞，内部腐蚀等影响冷却系统的因素，特别是内部热区附近的冷却系统的安排最为重要。如热流道歧管周围的模板区，以及注-吹工艺中，一部分模芯被高温流体加热而其余部分和模腔被冷却。

模板温度不均会造成导柱、导套或定位锥体的定位失准，而他们在模具冷却状态定位是很好的，模具合模时还会增加侧向（拉伸和压缩）力，这些力使这些零件在某个方向产生应力，会达到意想不到的程度。从而造成磨损加剧，甚至零件断裂，而且这些力具有周期性（即在每个注塑周期中均产生，值的范围是从零到最大值）。

浮动模芯和（或）浮动脱模圈是可取的，因为他们可预防模腔块

失调。而导柱和导套对模板膨胀非常敏感，除非他们有足够大的间隙，或仅用于维修期间半模的导向。

29.7.2 热流道部件

有些热流道系统的安全使用取决于热膨胀情况。在这样的系统中，用绝热钢板使歧管自由悬浮在四周模板之间。歧管一受热就向四周膨胀。因在歧管长轴方向上没有约束支承，所以这膨胀不会对模具产生什么力。但是，厚度增加就相当于绝热体膨胀；在计算那些零件所占空间大小时必须考虑到这个因素。在所有这样的设计中应在生产技术条件方面给出严格的公差。

29.8 注射装置力

在某些模塑作业中，注射装置（注射机注嘴）每个周期都移向注道衬套，并在一个或两个液压缸所施加的力作用下停止运动，最终停在衬套处，这里所涉及的液压缸属于注塑机的注射系统。液压缸所施加的力具有周期性，即在每个注塑周期中都会产生，值的范围是从零到它的最大值。力的最大值取决于注塑机类型及力的调整情况，一般在 $0.0498 \sim 0.199\text{MN}$ 之间。

另一些模塑作业中，注塑机注嘴常固定保持在注道衬套上。这种情况下，注道上注射装置的力不仅具有周期性，还具有恒定性。显而易见在注嘴和衬套之间的承压座应有足够的强度承受这个力（压缩），这就促使在设计时必须判断出哪些地方应安排支承，以承受由注嘴所施加的力。这主要取决于模具类型和设计如何了。

热流道模具中的注道位于热流道歧管处，故注射装置力应加到模腔板内歧管的绝热体上。在单层模具中，这个注射装置力由固定半模于静压板上的连接螺钉来承受。而在迭层模具中，歧管位于两模腔板之间的板上，注嘴将对模具中心部分产生推力。所以注射期间为了保证模具闭合所需的合模力应包括这一部分力。

29.9 表面清晰度的影响

抵抗注射压力，保证模具闭合的合模力和合理的表面清晰度要求

有着密切的联系。“表面清晰度”（或“清晰度”），是在模塑制品表面复制模具模塑面的精确程度。以下两个极端情况下的典型例子可以解释这个概念。

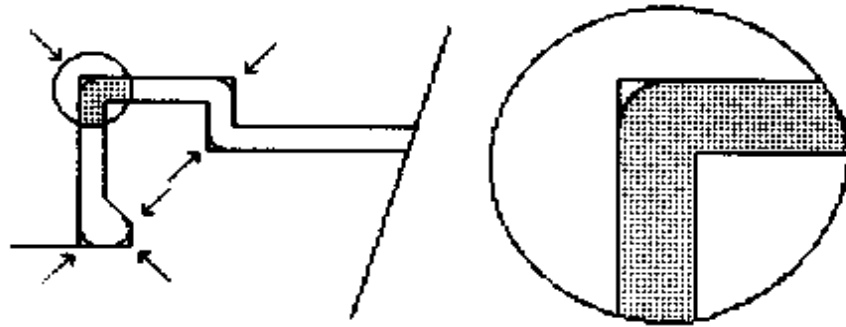


图 29-14 咖啡壶盖未能充满圆角

注：箭头指示拐角未充满

①由 PE 注射成型的咖啡壶盖的情况如图 29-14 所示。因模腔和模芯转角处都是锐角，塑料不能填满这些转角处，只有用很高的注射压力把塑料挤入。有的制品，如价格不高的外壳，转角处形状制造要求并不重要。用很小的压力就可以充模，甚至可以采用缺料充模，即塑料注射量正好相等于模腔所需充填量，模腔中不产生明显的注射压力。

②唱片及光盘 唱片表面由精细纹路组成，播放时电唱头读出储存在纹路上的信号。原先的唱片主要是用 Ni 板制成的，直到有了沉积金属法才改观，在金属板上熔敷一层金属，其厚度能承受自重（大约 0.0381~0.0508cm 厚），且能在不变形的前提下从原始盘移走。这块熔敷形成的板可完好复制出带有所有信号的原始纹路。这样形成的“压模”在模具中用做模腔镶件。表面的显微变化中包含了重放唱片所需的全部数据信息，所以在注射过程中具有凹凸表面的唱片所有纹路要用塑料精确地复制出来，这一点很重要。

注意模拟高频信号和数字视频信号所需的复制品，两者之间质量上存在着很大差异。数字唱盘（高密盘）和光盘的数字信号是由纹路底部的点和空格组成，这些纹路比模拟音频信号的唱片侧面的纹路和表面变化小得多，所以需要施加非常高的注射压力来复制这些印痕，尤

其是数字唱盘。

以上这些对注塑机合模力的影响可从下面的实例中了解到。在 19 世纪 60 年代初期，那时绝大部分模具设计没有计算方法，也没有现今的注射模技术方面的知识。那时，有位模具制造者制造了许多生产“401”咖啡壶盖的 4 腔模具（能够承受 0.996MN 的合模力），该模具获得了很大成功。已知直径为 4.1in (10.41cm)，每个模腔投影面积是：

$$A = D^2 \frac{\pi}{4} \text{ 或 } (4.1)^2 \frac{\pi}{4} = 13.20\text{in}^2 (85.16\text{cm}^2) \text{ 或模具总模腔面积为 } 52.8\text{in}^2 (341\text{cm}^2)。$$

合模力为 100t，这就是说注塑过程中为了保证合模所加压力略小于 2t/in^2 ($100\text{t} \div 52.8\text{in}^2$) 即 2.87KN/cm^2 。但是，因清晰度问题不重要，可以采用缺料充模，这样并不会产生溢料。

当顾客要求制造儿童玩具上用的直径为 8.89cm (质量很差) 的唱片模具时，模具制造者确信，同样可以用以上壶盖的设计方法。但模具按计划制造好后，溢料情况严重，唱片因纹路清晰度不够不能使用。

显而易见，要彻底地充满纹路，压力不够。关闭一个模腔后，该唱片就能生产出来了。但是，显然达不到预期生产率了。实际的注塑情况是

$$A = (8.89)^2 \frac{\pi}{4} = 62.2\text{in}^2 \times 3(\text{模腔}) = 186.6\text{cm}^2$$

100t 合模力能提供 5255N/cm^2 ，这压力比 4 模腔壶盖模所需压力大得多。

举出这个例子是为了强调正确预测对于制品的注射压力的重要性，因此要正确估计作用在模具内部的力，这力反过来又影响各模具零件的疲劳寿命。另外，设计者应注意到，是什么影响充模时的熔化和注射速度，这两者是如何和模腔内的注射压力发生联系。

早期，因许多注塑机的注射速度慢，12in (30.48cm) 大的唱片 (LP)，只能用“注射-压缩”工艺生产，生产周期很长。即是将计量后的热塑料（常是 PVC）“团”自动放置在两个打开的半模中，然后模具闭合（采用垂直合模）把塑料压进压模上的纹路。

由于大唱片逐渐消声灭迹，这些圆盘的注射成型从来就没有认真

地探讨过。尽管 HUSKY 公司完成了一个极成功的科研项目，使得不仅能模塑大唱片一类的模拟盘，而且也能模塑今天卡拉 OK 娱乐行业需要的 12in 数字影碟盘。现在，所有的用 PC 制造的高密盘 (CD) 都是单模腔模具注塑而成的。

第三十章 预 载

每一台机器装配时，根据需要通过螺钉、夹具和动力缸等的作用力将两个或更多个部件连接起来。模具装配时，通过螺钉或模楔将模板或其他模具零件连接起来，它们之间精确的相对位置靠压力作用下的锥度配合取得。在模塑过程中，两半模的合拢和夹紧，由合模机构产生的压力实现。

30.1 预载的定义

下面三张图（图 30-1~图 30-3）简述了预载的原理。

首先，假定有一固定框架和一个重量可忽略不计的并与其接触的自由板。在自由板下安放弹簧，弹簧在未压缩状态时的长度正好等于自由板到框架底端的高度 L_0 。（图 30-1）。

现在，如施加力 F 于自由板上，弹簧发生收缩，使框架与自由板之间出现间距。弹簧产生反力，当弹簧被压缩到 L 时，产生的反力 F_s 等于 F （图 30-2）。

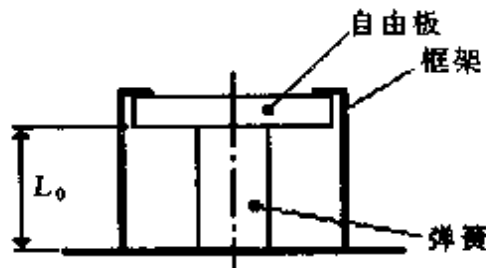


图 30-1 固定框架内长度为 L_0 的未压缩弹簧上放有一块“质量不计”的自由板

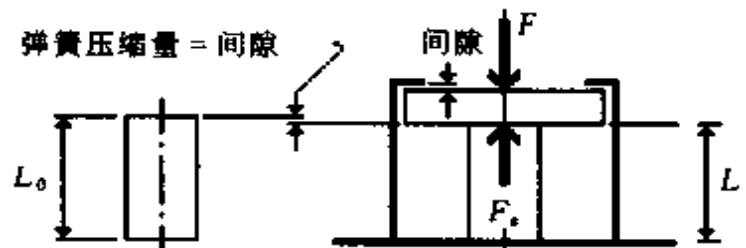


图 30-2 作用在自由板顶上的力压缩弹簧长度到 L ， $F = F_s$ 。

如果假定弹簧长度大于原始长 ($L_1 > L_0$)，将弹簧安装到框架内，必须首先将其压缩或“预载”，使长度 L_1 降到 L_0 。弹簧上预载和预载行

程成比例。现在自由板上施加力 F ，在弹簧力达 F_{sp} 之前，自由板一直和框架接触（图 30-3），当 $F > F_{sp}$ 时，自由板和框架之间重新出现间距。

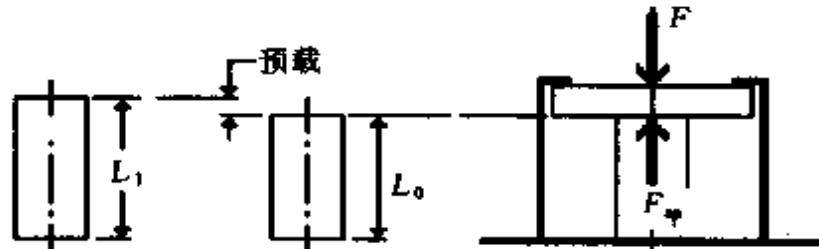


图 30-3 弹簧上的预载使自由板保持与框架接触直到 $F > F_{sp}$ 。

注： P 为液压油压力； $F = AP \cdot P$ ； f_t 为拉杆内的力（拉伸）；

f 为分型面上的力（压缩）

只要弹簧反力（预载）大于力 F ，自由板仍同框架保持接触。当 $F > F_{sp}$ 时，重新出现间距。一般来说，所有的连接都必须有预载作用。

预载相对于期望载荷 F 来说是很低小的值，只是用来将两部连接起来。以下几节介绍需要预载的典型部位。

30.2 合模力

为抵消模具内的注射压力，必须对合模机构预载，如果模具不加预载闭合（以 t 计），则模腔和模芯两半在分型面“仅仅接触”，相互之间无任何作用力。在这种情况下注射塑料，则塑料液体压力作用在模塑面上将使模具分开，所形成的间隙使塑料溢出，并且沿着分型面产生溢料。类似的，如果所选合模力（以 t 计）不够大，当注射压力超过合模力时，模具就将沿分型面分开。

如有弹簧的例子中，模具必须预载，也就是说合模机构施加在两半模之间的压力（注射前），至少应等于（最好稍大于）预计塑料产生的分开模具的力。预载由如图 30-4 所示的动力系施加。

注：图 30-4 所示为液压合模系统。对于机械（肘杆）合模机构，力 F 通过压紧压板和合模座之间的连杆获得。

以下是有关合模的一些重要说明。了解这些及其与模具和机器零件的寿命之间的关系是很重要的。

①力 F 等于拉杆上力 f_i 的和。有四个拉杆，因此 $F=4f_i$ 。

②力 F 等于分模线（实际为分型面）处所受力 f 的和。

③力 F 必须稍大于注射时使模具分离的力。

④力 f_i （每根拉杆上的）使拉杆伸长，拉杆总伸长量 f ，一般公式表达如下：

$$f = \frac{FL}{AE} \quad (30-1)$$

式中 f ——拉杆的伸长或压缩量；

F ——拉杆上的拉伸力；

L ——拉伸力作用长度；

A ——杆横截面积；

E ——弹性模量。

在上述公式中未提到钢的拉伸强度（或硬度），可见，它对伸长量没有影响。然而，如第十八章所讲，钢材越硬，零件的疲劳寿命越低。从另一方面讲，拉杆硬表面有利于防止磨损和在模具装卸过程中出现的碰伤。

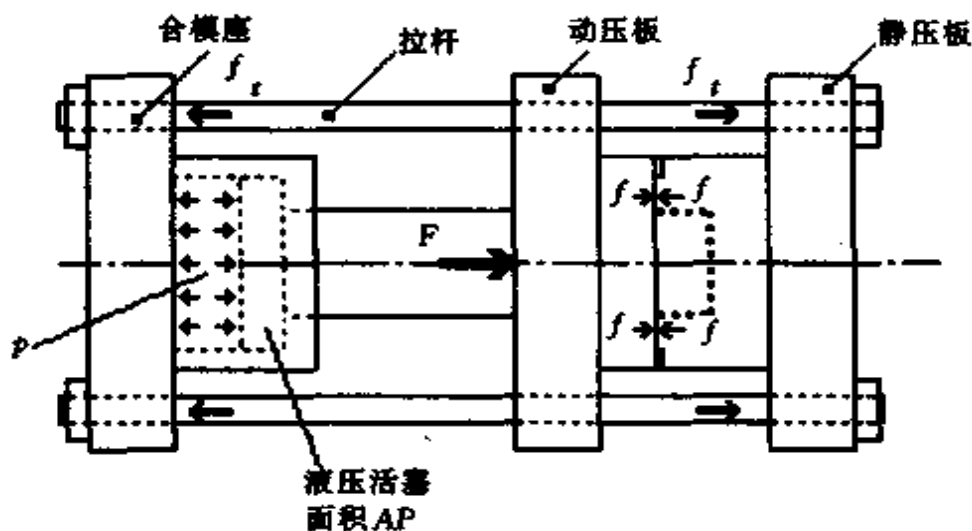


图 30-4 液压合模系统中分型面上预载力 F

⑤所选用的较好的注塑机，拉杆的直径应使其在额定合模力下，应力约为 62.1~68.9MPa 或少于该值。由于这个原因，质量较好的注塑机拉杆尺寸较大，而廉价的注塑机中，尺寸较小，应力可达 103.4MPa。

由于拉杆受周期载荷，较重（尺寸大）的拉杆，其应力较小，寿命较长（廉价注塑机易发生拉杆断裂）。

⑥重要的是，所有拉杆安装后伸长量应相等，偏差在一个很小范围内，对于大多数注塑机不超过 $0.00254 \sim 0.00508\text{cm}$ 。如果伸长量不等，那么较短拉杆的受力将会比预定或允许值大得多，从而导致早期失效，并且模具分型面上的受力不均匀。

伸长量不等将使注塑机压板之间丧失平行性，并导致各种各样的问题，例如溢料、分型面磨损、型芯偏移等。模具设计者和模具维修技术人员应认识到这个问题的重要性，一副模具发生故障（溢料、壁部不均匀等），其原因常是拉杆伸长量不均造成的，而不是由于模具内部其他别的问题。

在上面的第三点中，“稍微大于”四个字以下划线表示，应当重点理解。通常根据专用注塑机尺寸和吨位设计一副模具，保证模具生产时不产生溢料。合模力仅稍大于所需力，以防止分型面过度受压。

计算分型面面积时，设计者必须认识到该面承受的不是稳定的合模力（调整的或额定的注塑机吨位），而是交变载荷（从零到全额），该载荷随模塑周期而变化。

载荷 f (图 30-4) 必须小于配合面上相接触的每个零件钢材的疲劳强度。如果模具的承载面积足够大，很容易达到该要求；这就说明，模腔、模芯和脱模圈的配合面应有足够的承载面积。如果承载面积不够，应当在模具模腔和模芯处另加承压块，增大承载面积，防止分型面被压碎。典型地，分型面应力过度的模具，当达到临界循环数时，疲劳破坏开始，通常可看到在分型面处出现麻点，并且排气孔消失。

例：一副为专用注塑机设计的模具，合模力为 150tf ，其临界承载面积是在这个基础上计算出来的。在生产中，出于某种原因未使用该设备，而用 200tf 注塑机替代。如果安装技工使用全部吨位，而不是设计吨位，那么上述临界承载面积将超载 33% (图 30-5)。这可能高于许用疲劳强度，虽然模具没有立刻失效，但在不同应力水平下，达到相应的临界循环数后就会失效。

回顾第十八章中的图 18-8，就易于理解上述内容，在设计吨位下，

模具可“无限期”使用。但超载 33% 时，曲线交叉，模具失效前的最大循环周期数可从 X 轴读出，大约为 200000 次。

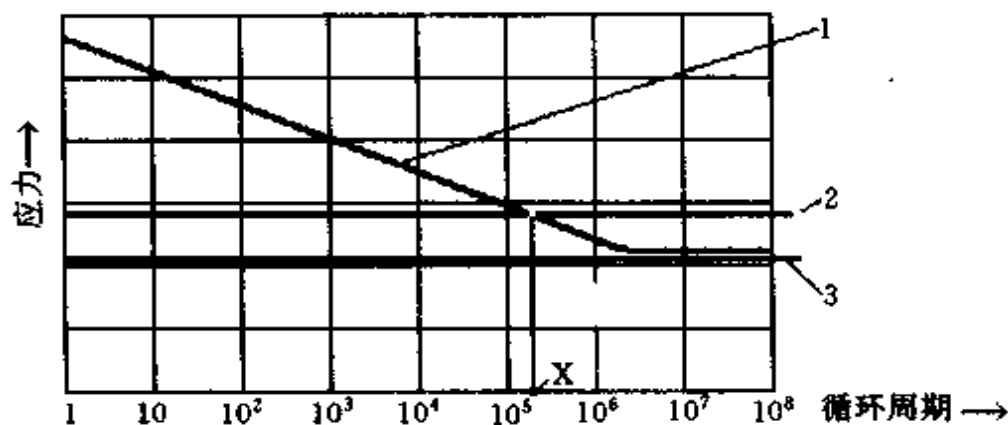


图 30-5 原设计 150tf 合模力下分型面处模具钢的疲劳曲线，
及实际 200tf 合模力下分型面处较高的应力

注：1tf = 9.964016×10^3 N

30.3 侧型芯受力

侧型芯是指在模具侧面插入的型芯，通常（但并不一定）跟模具中心线成直角，能成型制品中的侧孔和侧凹，这些侧孔和侧凹有碍制品成型后的顶出。

侧型芯需要两种性质不同的力：型芯在模具内移进、移出的侧抽力，以及在注射时，支撑型芯承受塑料压力的支撑力。

30.3.1 侧抽力

侧抽力的来源。

①弹簧，通常用于侧型芯“移出”，除非弹簧很长，易于调整，否则为保证模具寿命，一般不采用弹簧抽芯（“移进”靠弯销、斜导柱、模楔来保证）；

②斜导柱和弯销，用于侧型芯的“移进”和“移出”；

③液压驱动器，用于“移进”和“移出”。

移动侧型芯所需的侧抽力相对很小，仅够克服磨擦力和侧型芯移动时的塑料阻力，不考虑抵抗注射压力。

30.3.2 支撑力

在注射时，支撑型芯承受塑料压力的支撑力是主要力，由模楔和液压驱动器提供（见第二十九章中的图 29-2 和图 29-3）。

30.3.2.1 模楔

对于模楔，支撑力 F 由机器合模力产生。一部分合模力用在（带角度的）侧型芯后部和模楔之间，该模楔安装在与装有侧型芯的半模对应的另一半模上。力 F 可通过模楔角度和完全合模时模楔配合表面所处的位置之间的几何关系计算出。

模楔的优点是结构简单。然而，空间位置和模楔长度的微小变化可能引起力的很大变化，因此制造公差必须保持在很小范围内。但仍然可以经过连续不断的调整，如加垫片，使支撑力达到要求。缺点是溢料容易引起支撑力过小，或者模楔和其支撑装置承受应力过大时易引起支撑力过大。这样的话将会产生疲劳问题，缩短模具寿命。

通常侧型芯很小，驱动模楔的一部分合模力相对于总的合模力来说可忽略不计。对于有的大型模楔，例如用于大型饮料瓶箱四个侧型芯的模楔，所用的合模力占很大一部分，这将影响模具对机器合模尺寸的选择。

30.3.2.2 液压驱动器

液压驱动器仅适用于支撑力很小的场合。为安全起见，驱动器的液体压力通常限制在 3.45MPa 以内，通常在支撑力很大的场合，所需驱动器太大无法使用。

使用液压驱动器的优点是可通过控制液压来调整 F 的大小，并且可避免过载。缺点是液压驱动器占用很大的空间，并且在模具内或模具上安装往往有困难。另外，液压驱动器需要阀门、管道和控制器，使安装复杂化和服务量增加。

对于小型侧型芯使用液压驱动器来移动和支撑侧型芯要比其他系统优越得多。

30.3.3 侧型芯预载

模楔和驱动器上的作用力应足够大，能够提供预载抵抗模具内的侧型芯，预期在其移动方向上将承受的塑料压力 P 。需要考虑以下几种

可能性。

①侧型芯不与模芯接触(图 30-6),全部注射压力 P 作用在侧型芯的投影面积上,预载值必须大于 AP 。由于侧型芯不靠到模芯上,必须通过固定挡块来限制其行程。

侧型芯和挡块在每个成型周期内承受交变载荷。挡块接触面必须足够大,使这两个零件保持在安全应力值范围内。理想状况下,预载仅稍大于预定的(计算值) F ,这将确保侧型芯在注射期间保持不动,但同时, F_p (或 F_s) 要足够小,避免止挡面上应力过度。

预载决定了所需挡块的尺寸。如果应力太高,挡块在若干周期后会因达到疲劳极限而破坏,这可从挡块压塌后的表面看出,挡块压塌后,侧型芯伸入模具过长,致使侧型芯插入制品的深度出现错误。

②侧型芯接触模芯。理论上,不需要任何支撑力。然而,侧模芯与模芯间的脏物或安装不当产生的微小间隙,会让塑料进入接触区域,导致与上述类似的情况发生,即侧型芯不能全部进入模腔空间。设计者仍应当考虑比 $F = Ap$ 大的预载来支撑侧型芯。

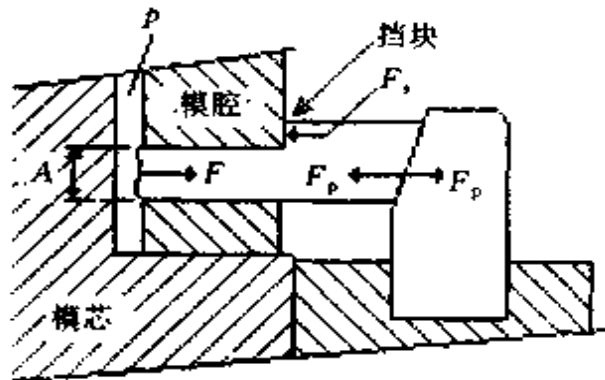


图 30-6 预载 F_p 必须大于作用在侧型芯上的注射压力

A 为侧型芯的投影面积; F 为侧型芯上的力, $F = AP$; P 为注射时的塑料压力; F_p 为预载, $F_p > F$;
 F_s 为挡块上的力, $F_s = F_p$;

未绘出驱动方式

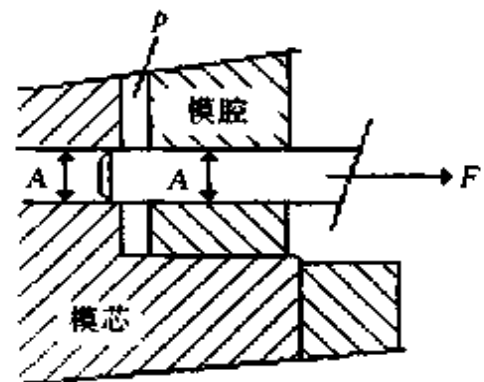


图 30-7 侧型芯插入模腔内,没有力作用在侧型芯上(仅需克服侧型芯移进、移出时,模具和塑料间的摩擦力)

P 为注射时的塑料压力; A 为在模腔和模芯中侧型芯面积相等; F 为侧型芯上的力, $F = 0$;
示绘出驱动方式

注意 1: 如果接触面积很大, 并且接触面上的应力低于疲劳强度, 提倡采用侧型芯靠在模腔上支撑预载 (而不使用外加挡块)。

注意 2: 如果侧型芯小, 靠模腔止挡会在接触面上产生过高载荷, 不久就会导致侧型芯和模腔的损坏。在这种情况下, 必须使用外加挡块, 类似于上图 30-6。在完全合模时, 侧型芯应刚好跟模芯接触, 从而防止成型时产生溢料。这就要求模具制造公差更精密。

上述两种情况中, 在侧孔处总存在因松脱产生溢料的可能。

③侧型芯插入模腔内。偶尔使用这种方法, 确保在侧孔 (通常呈圆形) 处不产生溢料 (图 30-7)。

注意: 这种方法需要精密的制造公差, 以保证模腔和模芯的配合。

④以上①和②的结合。应该考虑支撑整个投影面上的力, 即使有部分侧型芯接触了模腔, 从理论上讲不受力 (图 30-8)。

30.4 跟合模力方向垂直的成型力

在大多数模具中, 跟合模力方向垂直的成型力 (与模板平行) 出现 (或平衡) 在模腔内。周期性的注射力只在模腔壁上产生应力。如图 30-9 所示 (需注意的是模芯也承受大部分这种力, 但它们极少像影响模腔那样影响模芯)。

实际应力是拉应力, 圆周应力、压应力、弯曲应力和剪应力的合成。分析这些应力很复杂甚至是不可能的。特别在必须考虑其他因素, 如钻孔、缺口和表面粗糙度的情况下。计算中的一些近似值和设计者的经验, 能保证模具获得长寿命的适当的壁厚要求。

设计者必须牢记, 在大多数计算中, 最重要的数据是模腔中的塑料的注射压力, 它在许多情况中仅是一个粗略的估计值,

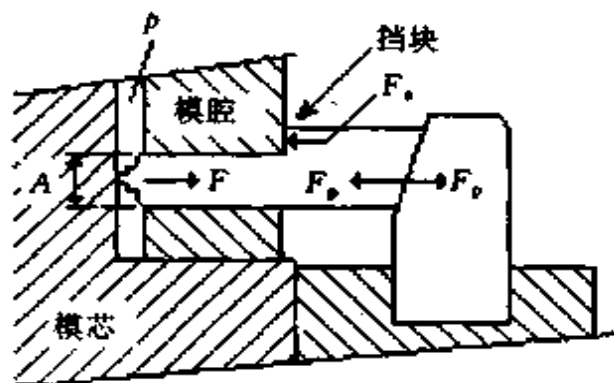


图 30-8 侧型芯和模芯部分接触
注: P 为注射时的塑料压力; A 为侧型芯的投影面积; F 为侧型芯上的力, $F = AP$, $F_p =$ 预载, $F_p > f$; $F_s =$ 挡块上的力, $F_s = F_p$; 未绘出驱动方式

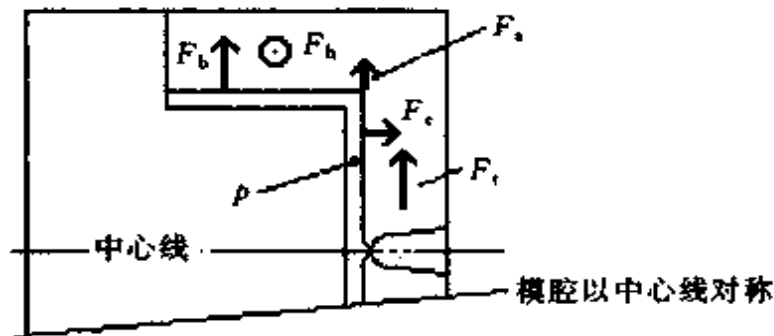


图 30-9 模具中作用方向和合模力 F_c 垂直的力

注： F_b 为弯曲力； F_b 为圆周力（拉伸）； F_c 为压力（模腔以中心线对称）； F_s 为拉伸力； F_s 为剪切力； P 为模腔内的塑料压力

并且经常是由过去的经验得出的（这就是计算机充模过程分析系统能发挥重要作用的地方，该系统能精确的确定预期的塑料在模腔中的压力）。然而，模具的所有计算都取决于模具内计算压力的正确性。

计算模具零件强度的原因是为了优化设计，也就是说，在不缩短模具寿命前提下，获得零件的最小尺寸。这里有几点建议：

①模具材料（钢等）价格昂贵，但它们通常只约占模具总成本的 10%~15%，并且，由于设计导致的任何故障很快就会抵消材料上的“节省”。然而，“设计过于保守”同样使成本增高。

②模腔越大，模具越大，这将需要较大和较贵的机器来操作模具。

③对于周期和动力成本的影响很明显。模具质量大意味着在每个周期内，需要更多的动力。同时，加速的力保持在允许的范围内，开启和闭合的速度就必须低于较轻的模具。

30.5 镶入式模腔

模腔镶入“模架”或“模套”内，模腔壁靠在周围金属上，模腔尺寸要小于整体式模腔或“组合式模腔”。在这种情况下，模套承受了模腔内的部分压力。

疲劳在这种结构的模具中扮演重要的角色，必须考虑并计算模腔

和模套的应力，避免模具短期工作后即失效。存在有三种可能性。

①模腔压入模套内，二者应先预压。如果预载比预期的注射压力大，那么模腔和模套仅承受静载荷（预载）。这时，是使用材料最少，模具寿命长的理想情况，但它需要精确预测注射压力和精确加工配合尺寸。

②模腔和模套呈动配合（即只有准确位置但没有预载）。每次注射，模腔承受全部塑料压力。塑料压力使模腔膨胀并与模套接触。模腔和模套承受循环应力。由于模套通常采用低碳钢（25~30Rc）制造，而模腔采用高硬度模具钢制造，疲劳强度对模套的影响不象对模腔的影响那样重要。

③模腔压入到模套中，但它没有经过足够预载来承受注射周期内的全部注射压力。在这种情况下，疲劳条件要稍微好一点，就如第18.4节中应力比率 R 的概念说明的那样。既然模套只承受部分载荷，那么模套的循环载荷要比上面②中的低，在②中模套承受全部循环载荷。

30.6 一块（标准的）模腔

塑料制品的尺寸和模腔的深度及壁厚之间的关系是非常重要的。模腔越深，模壁必须更厚，确保模腔应力低于疲劳极限（图30-10）。这看起来显而易见，但在模具设计中经常被忽视。

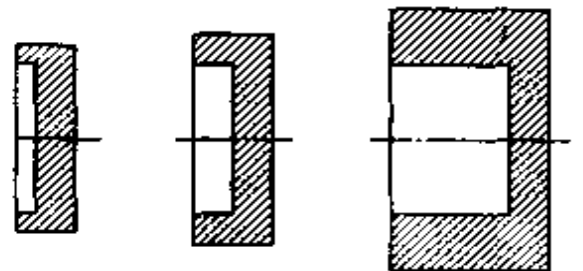


图30-10 模腔深度增加（从左到右）要求模腔壁厚相应增加，使其低于疲劳极限

30.7 组合模腔

在有些模具中，由于材料的可利用性，构造方式和（或）模腔尺寸等原因，不能将模腔制成一整块。在一些模具里，模腔的大部分和侧型芯相似，在同合模运动方向成一定角度的方向上移动。可用典型例子解释这种情况。

例：较大型的两腔垃圾箱模具，由两个独立的矩形钢块车成圆形

模腔 (图 30-11)。

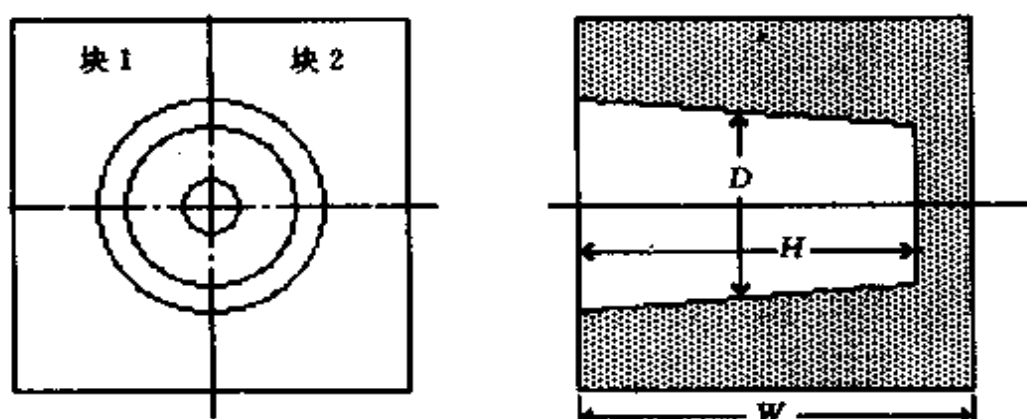


图 30-11 两矩形块组成的垃圾箱的两个半圆锥形模腔的顶视和剖面简图

D —为平均直径； H —为模腔高度； W —为模块高度

两个矩形钢块间嵌入一嵌件，然后从外部将三者用重型固定板（宽 b ，高 w ）连接在一起（图 30-12）。

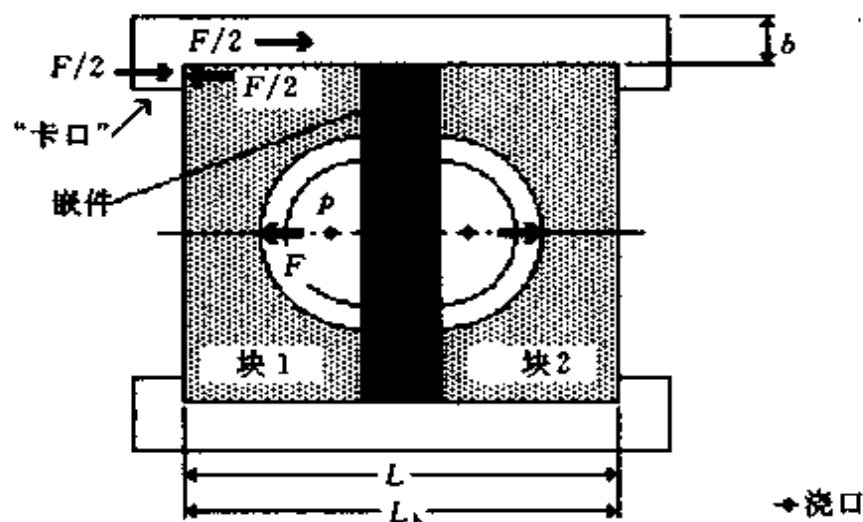


图 30-12 两块模腔被嵌件分开，由重型侧固定板连接在一起
 b —为侧板的厚度； p —为塑料压力； L —为装配长度（模块和嵌件）； L_b —为模块间长度； F —为 DHP

必须计算出将模腔连在一起抵抗注射压力所需的力。为了对所涉及的力和压力有一个良好的感性认识，以模具的实际直径和尺寸的选择作为示例。

①计算力 F ，假定：

模腔内注射压力 $p = 5000\text{psi}$ (34.5MPa) (由经验得知)

制品高度 $H = 8\text{in}$ (20.32cm)

平均直径 $d = 7\text{in}$ (17.78cm)

因此， $F = HDP = 8\text{in} \times 7\text{in} \times 5000\text{psi} = 280000\text{lb} = 1.25\text{MN}$

板的两侧各承受 $\frac{F}{2}$ (或 140000lb) 的力。

②模腔固定板的长度为 $L_b (=L)$ ，每个矩形块的宽度为 7in，嵌件宽度为 3in。因此 L_b (或 L) $= 7\text{in} + 7\text{in} + 3\text{in} = 17\text{in} = 43.18\text{cm}$ 。

③固定板横截面积 $A = wb$ 。 $w = H +$ 模腔底部高度，定为 2in，则 $W = 7\text{in} + 2\text{in} = 9\text{in}$ 。假定固定板厚 $b = 2\text{in}$ ，因此横截面积 $A = wb = 9\text{in} \times 2\text{in} = 18\text{in}^2 = 116.1\text{cm}^2$ 。

④为了算固定板应力，选择材料 SAE4140，其预处理硬度为 30RC，UTS (最大拉伸强度) 大约为 150000psi 或屈服强度 120000psi。

固定板受力 $\frac{F}{2} = 140000\text{lb}$ ，拉伸应力为：

$$S = \frac{F}{A} \text{ 即 } \frac{140000\text{lb}}{18\text{in}^2} = 7777\text{psi} = 53.62\text{MPa}$$

这看起来很合理，因为 S 对于钢的屈服强度的安全系数 (f_s) 大约为 15，同时也远低于钢的疲劳强度。

⑤核对模腔固定板承受全部塑料注射压力时的伸长量。对于钢， $E = 30000000\text{psi}$ (近似值)，利用以上计算值：

$$f = \frac{FL}{AE} = \frac{140000\text{lb} \times 17\text{in}}{30000000\text{psi} \times 18\text{in}^2} = 0.0044\text{in} = 0.011176\text{cm}$$

假如模腔组装时，模腔固定板在无预载的情况下跟模腔刚好配合，如图 30-12 所示，则固定板将周期性 (每一注射周期) 拉伸到 0.0044in。这足够使模腔块和嵌件之间产生溢边，因此，不能采用。

很明显，必须将固定板预载，也就是说，在装配前固定板卡口的距离 L_b 必须略小于装配长度 L ，这样通过在安装前将固定板“收缩”来达到预载

$$L_b = L - (f + 0.25f) \quad (30-2)$$

这样, $L_b = 17000\text{in} - (0.0044\text{in} + 0.0016) = 16.994\text{in} = 43.165\text{cm}$ 。

由于预载将增加固定板的应力, 所以设计者不能使预载过大。这样, 能保证安全系数足够大, 装配也相当简单: 将固定板加热, 使其膨胀量略大于所需尺寸 0.006in , 然后轻松地把模板推进去。固定板冷却后, 收缩使模块定位。

注意 1: 简图未绘出固定板与模腔块及嵌件之间的连结螺钉, 这里忽略螺孔引起的固定板横截面积的减少, 但在计算固定板尺寸时, 必须将其考虑进去。

注意 2: 固定板卡口处和模腔外表面之间承受压力 (静止的), 它们的计算应力值必须限制在允许范围内。

注意 3: 固定板预载高于预定载荷 (力 F), 使固定板不受交变载荷而是静载荷, 这会延长固定板寿命。该条件下, 固定板厚度 b 可以小一些, 但将使固定板应力增加。

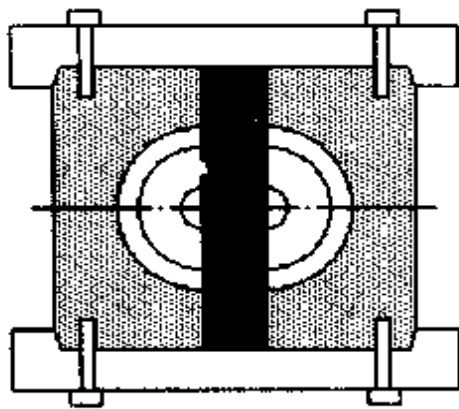


图 30-13 侧板卡口设计成楔形, 产生预载

注意 4: 卡口处产生剪应力, 同时在模腔块和固定板侧面承受 $\frac{F}{2}$ 时, 产生弯曲应力。这些应力相对较小, 可忽略不计, 但应进行校核以确保卡口处不致剪切破坏。

注意 5: 不用固定板侧面收缩, 而是将卡口处设计成楔形的方法产生预载, 如图 30-13 所示, 用螺钉将固定板和模腔块固定时, 斜楔也能产生所需预载, 类似于上面的计算。这种方法需要加工精确以保证预载适当。固定板达到所需张力时, 固定板侧面应和模腔块相接触, 之间无任何间隙。

30.8 侧分模腔

侧分模腔中的一个或多个模瓣沿着与合模方向相垂直的方向移动, 这能通过典型例子清楚地说明, 例如。

①带柄杯的模具在分型面上分成两半，分型面通过柄的中心（见第 30.8.1 节）。

②饮料瓶箱模腔分成四瓣，必须从模芯处移开以获得制品侧壁的倒陷（见第 30.8.2 节）。

③周围带加强筋的大桶，圆柱体部分是整体式模腔，加强筋部分通常由四块活动模瓣组成，模瓣中的力与侧型芯上的力相似（见第 30.8.3 节）。

侧分模腔的方法很多，难以一一例出。以图解法（图 30-14）说明上述三例，粗线指分型线（分型面）即活动模瓣接触的地方。

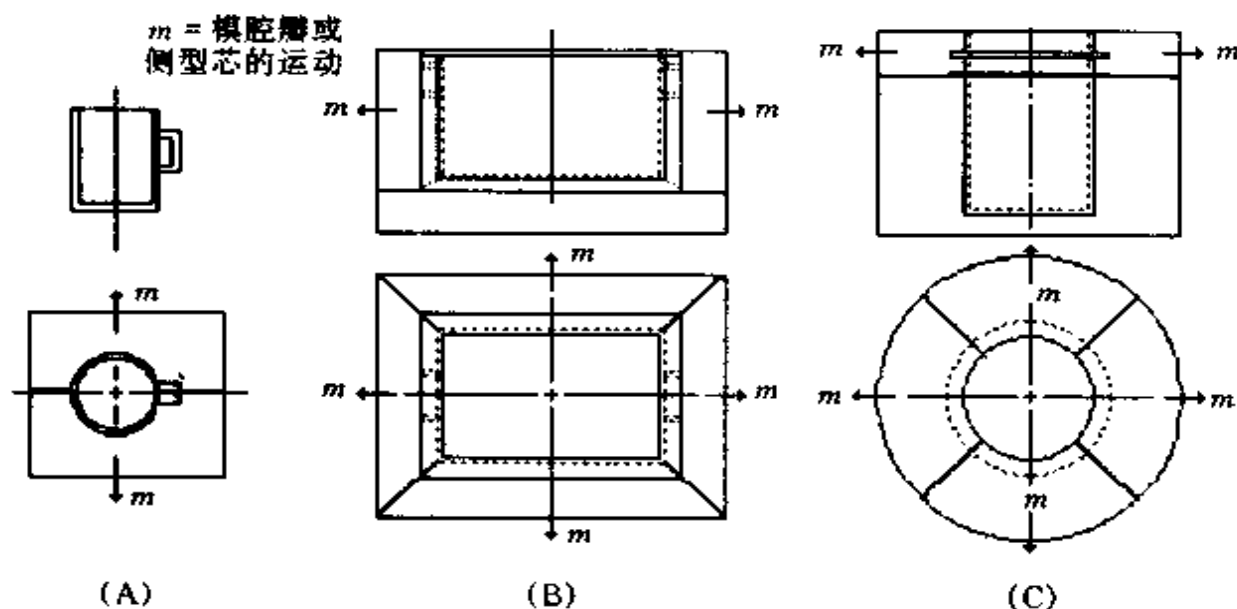


图 30-14 用侧分模腔成型的三例塑料制品

(A) 带柄杯；(B) 矩形箱；(C) 桶

30.8.1 带柄杯子

图 30-15 只是简图，用来说明带柄杯子所受的力和设计中遇到的难题。图示高度 H 实际比直径 D 小得多。如具有图 30-15 显示的高径比 $\frac{H}{D}$ ，则必须加上模楔，从开口端将模腔锁紧。如下所述。

图 30-15 变量定义如下

投影面积 $A = HD$ (忽略杯柄处面积)

模塑压力 (估计) P

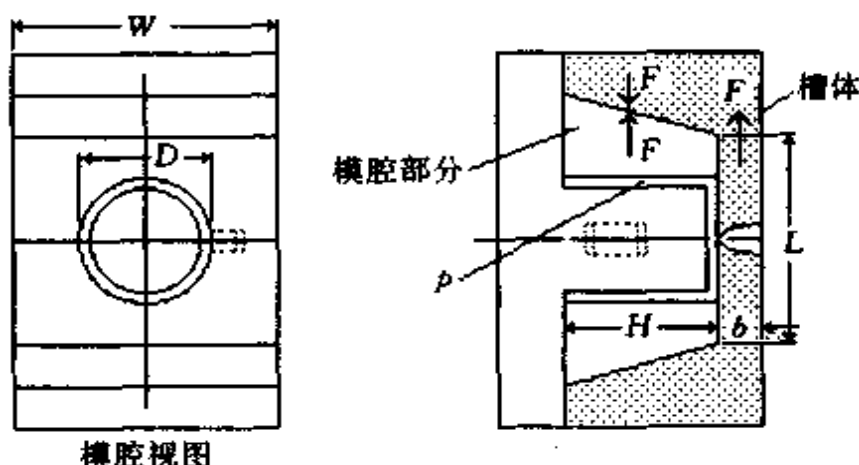


图 30-15 带柄杯模具模腔截面图

模楔受力 $F = AP$

弹性模量 $E = 30000000 \text{psi} (207000 \text{MPa})$

近浇口处横截面积 $G = wb$

如图说明：总力 F （分布在斜面上）作用在模腔近浇口横截面 G 处，长度为 L ， G 面积上的应力为

$$S = \frac{F}{G} \quad (30-3)$$

力 F 产生的延伸量为

$$f = \frac{FL}{GE} \quad (30-4)$$

例：假定设计尺寸为： $H = 4 \text{in}$ ， $D = 5 \text{in}$ ， $L = 9 \text{in}$ ， $b = 1.5 \text{in}$ ， $w = 11 \text{in}$ ， $p = 5000 \text{psi}$ ，钢种为 P20，预处理硬度为 30Rc，屈服强度为 120000psi，代入公式得：

$F = AP = HDP = 4 \text{in} \times 5 \text{in} \times 5000 \text{psi} = 100000 \text{lb} = 0.445 \text{MN}$ (约 50 吨力)

$$S = \frac{F}{G} = \frac{F}{wb} = \frac{100000 \text{lb}}{11 \text{in} \times 1.5 \text{in}} = 6060 \text{psi} = 41.78 \text{MPa}$$

这个值看起来似乎很安全。因为它大约是屈服强度的 1/20。但是，不能忘记有些孔（螺钉孔、销钉孔、冷却管道、浇口等）将使面积减小。横截面积的大量减小，会降低安全限度。

现在计算槽体窄部的延伸量

$$f = \frac{FL}{GE} = \frac{100000\text{lb} \times 9\text{in}}{30000000\text{psi} \times 11\text{in} \times 1.5\text{in}} = 0.0018\text{in} = 0.004572\text{cm}$$

这意味着注射时，作用在斜面和槽体上的力使槽体窄部伸长了 0.0018in 左右。考虑到上面提到的孔洞等会减小 G 的实际面积，伸长将会更大，在模腔各瓣之间的分型面处肯定会出现溢料。

因此，设计者必须在槽体上施加预载，使其伸长量大于上面的计算值 f 。实施预载的合理值在 f 的 125% 到 150% 之间。

30.8.1.1 确定预载量

回头看图 30-15 的部分图示（较图 30-16 详细）。首先，确定直径 L 要比模腔端面相应直径 L_c 稍微小一点。如果模具闭合时，没有施加合模力，那么模腔不会完全与槽体底部相接触，而是离底部有距离 X ，这个距离 X 称为预载，即使它只是一个长度量，而不是力。

施加足够的合模力，模腔模楔面将沿槽体斜面滑入，直到模腔紧固安装在槽体底部。这造成模楔沿斜面推挤槽体，在槽体窄面上产生预载。这样注射过程中，模腔就不会发生移动，除非塑料压力产生的力大于计算预载。

所需预载（尺寸 X ）很容易计算，但精确的加工要求难以保证。加工制造是个关键，因为即使很小的制造偏差，也能相当大的影响预载量。注意这个例子与图 30-11 所示组合模腔的一个重要区别；在组合模腔中，预载是由热收缩或固定斜楔产生的，预应力部件承受静载荷，在活动模腔中，预载是交变的，也就是说它在每一个模塑周期出现一次，并严重影响模具寿命。

模具必须有相当大安全系数，应力值应低于材料屈服强度的 10%，同时也应注意在这种情况下，最好不要选用很硬的模具钢材，因

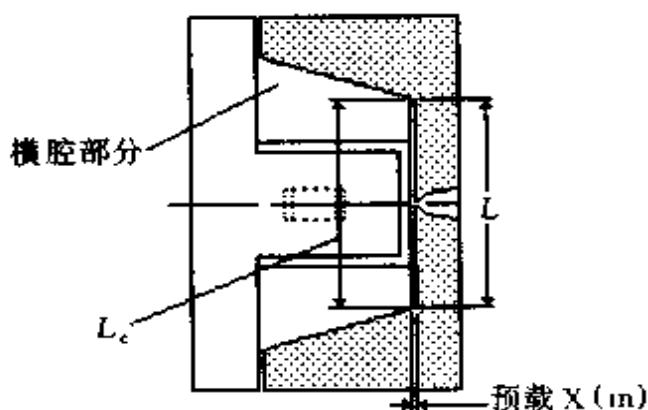


图 30-16 带柄杯模腔截面图，示出预载 X

为它对交变载荷敏感的多。

如果需要高耐磨性（例如，在模楔的接触和滑移表面），槽体配合部位选用特殊的青铜或淬硬钢做成嵌件，其余部分选用较软材料如P20制成。避免整个槽体都用淬硬模具钢制造。这样，在嵌件磨损时，更换方便并降低了造价。而且嵌件上也能使用垫片，这样就可以避免为达到合理预载而提出的高制造精度要求。

需重复的是，模具工作前得到合适的预载是至关重要的，如果预载不够，模具会产生溢料，如果预载过大，会增大钢材的应力，从而降低模具寿命。

30.8.1.2 计算模楔预载

模楔运动时力的一般关系如图 30-17 所示。参照图 30-17 并回顾杯子的例子，如果模楔的实际预载为 0.0027in，楔角 15°，则从图 30-17A 中得

$$x = \frac{f}{\tan \alpha} = \frac{0.0027 \text{in}}{\tan 15^\circ} = 0.01 \text{in} = 0.0254 \text{cm}$$

几何关系

$$f = \text{实际伸长率} + (25 \sim 50) \%$$

$$X = \text{预载}$$

$$X = \frac{f}{\tan \alpha}$$

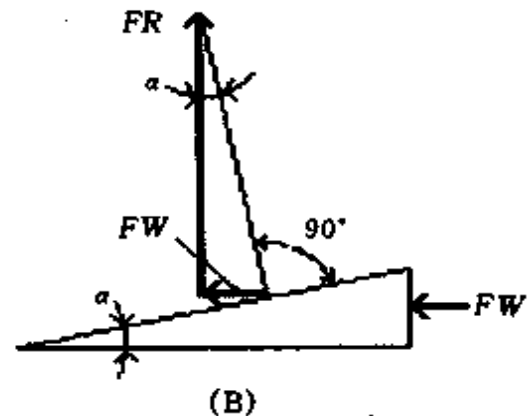
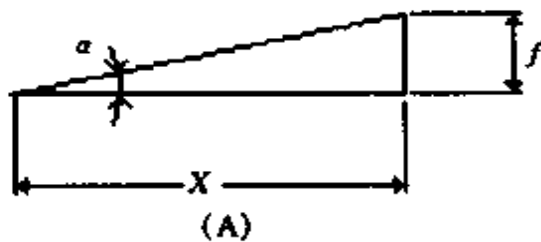


图 30-17 模楔原理（距离和力）

(A) — 模楔上的预载；(B) — 模楔力

注：FW—为模楔运动方向上的力；FR—为与模楔运动方向垂直的力；

α—模楔角度； $FR = FW / \tan \alpha$

也能从图 30-17 中计算出有多少合模力转换成预载。槽体窄面中所受力为 100000lb, 预载增加 50%, 则需要 150000lb 的 F_R , 因此由合模力提供给模楔的力 F_w 为:

$$F_w = F_R \tan \alpha = 150000 \text{ lb} \times 0.27 = 40500 \text{ lb} (180.2 \text{ kN})$$

这是一个重要的数值, 在选择模具合模尺寸时应慎重考虑。

30.8.1.3 垫片

垫模具零件时, 最好使用厚垫片, 工业批量生产的标准垫片的厚度范围有限。

使用标准垫片的缺点:

- ① 特定厚度垫片必须由两个或多个标准垫片组成。
- ② 切断垫片困难费时, 弯曲会影响垫片的实际厚度。
- ③ 拆卸模具时, 薄垫片易损坏或丢失。
- ④ 拆卸模具之前不能更换失效的垫片, 将导致模具(预载)尺寸错误, 并发生溢料。

使用标准垫片优点:

- ① 成本低;
- ② 容易获得。

厚垫片是一块厚(通常淬硬)钢块, 根据计算尺寸, 但至少 1mm 左右(0.014in)厚。使用厚垫片优点:

- ① 垫片属于模具零件, 在装配图上绘出。
- ② 未损坏前能安全地处理。
- ③ 装配时不会漏掉垫片, 因为缺少它会明显看到。

使用厚垫片的缺点:

- ① 附加模具零件, 增加成本。
- ② 通过磨削就能减小垫片厚度, 要增加厚度, 可在垫片镀上一厚层, 然后再重磨。但最好还是重新选择一块尺寸适当的垫片, 以上两种情况, 必须记录在模具图纸上。

30.8.1.4 侧模腔的应力和挠度

再看一下简图(图 30-18)与图 30-15 类似。如早已指出的, 设计只在 H 比 D 小得多时才有效。

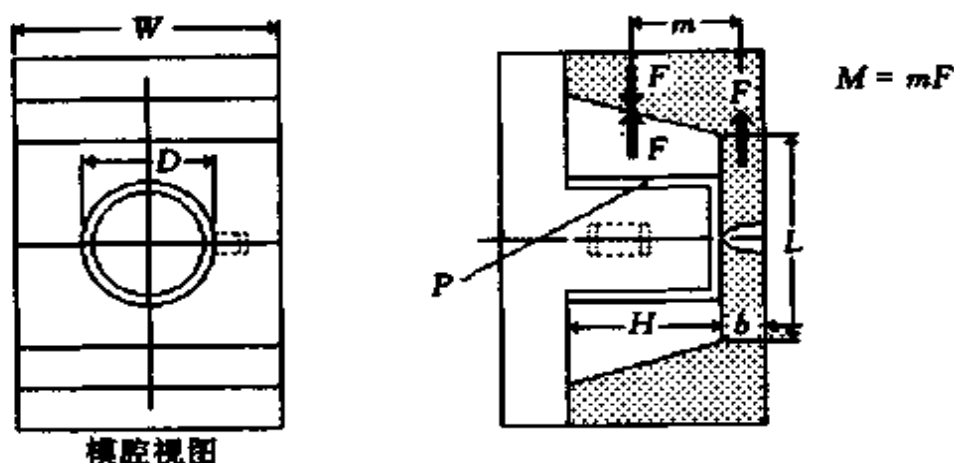


图 30-18 带柄杯模腔截面图, 示出计算槽体弯曲时用到的尺寸 m

在与图 30-18 说明相似条件下, 有一明显弯矩 $M = mF$ 增加槽体应力, 特别增加了模楔与槽体底端相触的拐角处的应力。应限制力臂 m 的值, 使此时引起的应力不会使总应力增加到超过许用极限。

如果 H/D 如图所示或者更大, 应从开口端再加一个模楔锁住模腔两半。水桶或其他桶形制品都归入此类, 设计者应进行合理设计以消除槽体中的大部分或全部弯曲应力。

如简图 30-19 所示, 通常由模芯侧面提供模楔, 这与通过模腔提供的相似, 但不一定完全相同。必须有一些机构(未绘出)来引导和移动模腔滑移面, 或者在模腔套中采用弯销或液压机构, 或者采用机械连杆系统。滑移面必须跟模芯一起运动, 离开模腔套, 使模腔模楔与模腔套分开; 并且侧向远离模具中心线, 脱离凹槽(见本例: 杯柄)。

只要计算正确, 实施恰当, 从模腔模楔的最初设计中, 就可以看到各种差异(记住: 力 F 引起的所有应力是交变的)。

① 每个半模上的力仅是以前的 $1/2$ 。

② 拐角处弯矩的减少有两个原因:

a. 所受力只是以前力的一半;

b. m 很小。

③ 增加了一个新问题: 承受平均分布载荷 P 的半模块形成“横梁”的弯曲, 模楔处提供“横梁”支承力, 两力间距离为 n , 见图 30-20(A)。

如模腔截面设计不当, 过薄, 并且里面有许多管道, 弯曲应力和最

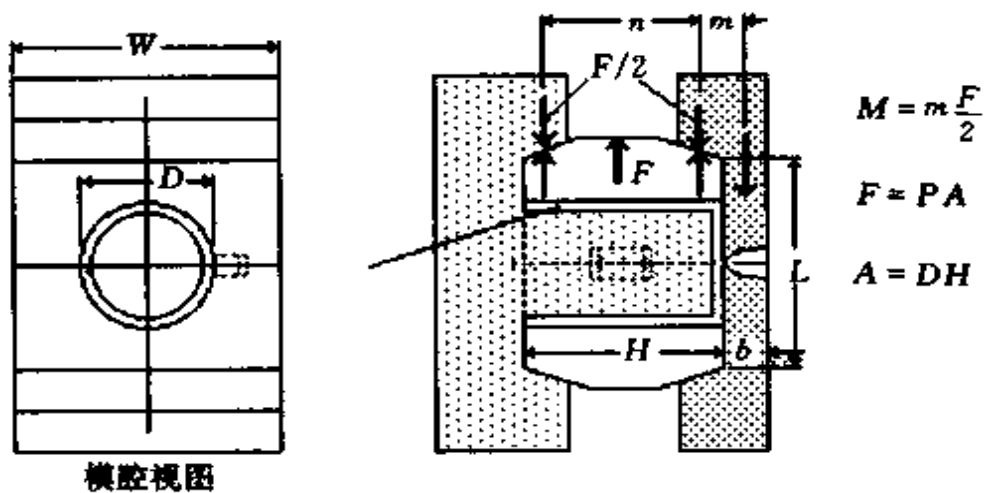


图 30-19 带柄杯模腔截面图(模芯侧提供与模腔相似的模楔)

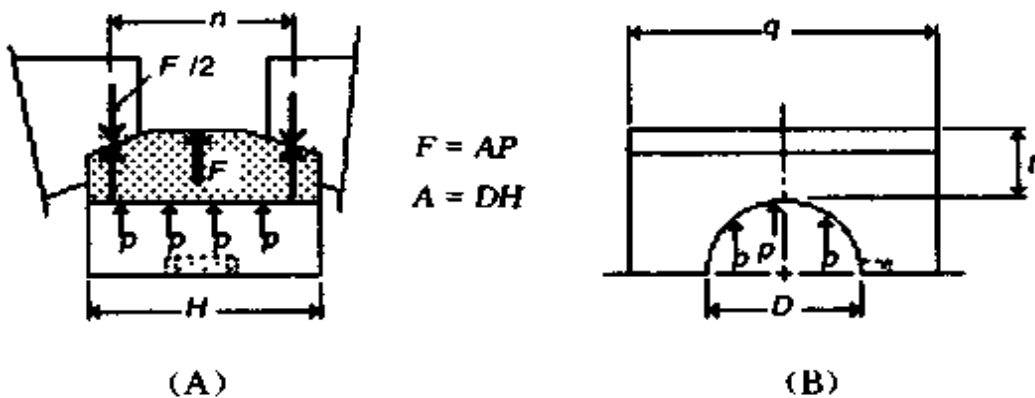


图 30-20 模楔使梁产生弯曲应力,模腔模块(A)上的
载荷和梁的横截面(B)

大挠度可能会很明显,应进行仔细校核。如果两者超过允许值,两半模腔接合处的分型面会产生溢料,特别是在侧型芯的高度 H 一半处。

计算如图 30-20 所示的“横梁”的挠度是一个困难的工作,但是既然最薄横截面的厚度为 t ,为了节省时间和稳妥起见,可假定横梁的横截面积为 qt ,忽略加固作用的影响(惯性矩)。这种计算方法能部分抵消冷却管道的微弱影响。当然,在关键情况下,需要计算出完整正确的横梁最大挠度,以确保分型面处不发生溢料。

简化图 30-20,如图 30-21 所示,均

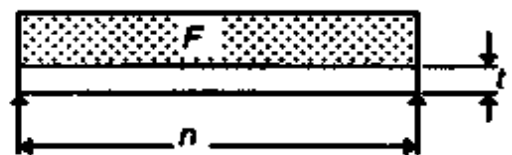


图 30-21 载荷均布的矩形梁的
最大挠度(图 30-20 的简化)

布载荷的一般挠度公式,如下所示,图上标注与公式的字母相同

$$f = \frac{5Fn^3}{384EI} \quad (30-5)$$

对于矩形截面,计算其惯矩 I , 截面模量 Z 的公式为

$$I = \frac{qt^3}{12} \quad (30-6)$$

$$Z = \frac{qt^2}{6} \quad (30-7)$$

例: 一个水罐高 10in, 直径 d 为 6in, $n=8\text{in}$, $q=12\text{in}$, $t=3\text{in}$, $p=5000\text{psi}$, $E=30000000\text{psi}$ 。

则 $F=10\text{in} \times 6\text{in} \times 5000\text{psi} = 300000\text{lb} = 1.33\text{MN}$

$$I = \frac{12\text{in} \times (3\text{in})^3}{12} = 27\text{in}^4$$

$$f = \frac{5}{384} \times \frac{300000\text{lb} \times (8\text{in})^3}{30000000\text{psi} \times 27\text{in}^4} = 0.0025\text{in} = 0.00635\text{cm}$$

在以前例子中, F 指的是侧型芯高度 H 一半处的挠度。挠度增大, 将产生溢料。有两点可帮助设计者考虑这个问题。

①压力可能会很高。而且, 即使是一半压力 (不满足充模要求), 也会产生很大的挠度。

②设计者应认真考虑原来忽略不计的弯曲的两侧的有利影响, 该处会大大增加惯性矩 I , 但同时, 设计者必须考虑到两侧模腔钻孔的影响, 使相应的面积减小了。这样会很费时间, 但为了保持模具尺寸尽可能的小, 这也是值得的。

正确计算惯性矩 I 很麻烦, 设计者应考虑采取可能的近似计算, 根据图 30-22 所示的假定要件。零件的实际形状, 如图 30-22 左面所示。



图 30-22 使用假定 1、2 和 3 计算实际形状的惯性矩

假定 1: 利用以上例子所用的保守值, $I=27\text{in}^4$, 会造成模具结构

不必要的增大。

假定 2: 实际上是错误的, 不应该采用, 因为它忽略模腔本身减弱和所有横截面钻孔的影响。和例子中尺寸相似, 其 $I=216\text{in}^4$, 即是假定 1 中 I 的 8 倍。

假定 3: 考虑在实际面积中加入拱形横截面积, 在计算时, 排除两个拐角加固作用的影响, 是为了粗略补偿横截面上孔引起的面积的减少。在这个例子中, $I=103\text{in}^4$, 即大约是假定 1 的 3.8 倍。将惯性矩 $I=103\text{in}^4$ 代入以前的最大挠度计算公式中, 实际挠度大约为 0.0006in (0.001524cm), 这个值仍然很大, 需进行部分重新设计。

注意到每个半模会发生同样程度的挠曲, 中心处塑料溢料的间隙高度是挠度的 2 倍, 在这个例子中是 0.0012in 。设计者应使模具最大总挠度, 远远小于注射时塑料的排气间隙。排气间隙通常为 $0.0002\sim 0.0004\text{in}$ 。在塑料模具中, 允许存在间隙, 即使间隙是由挠曲引起的。合理排气间隙值应当只允许空气排出, 而不让塑料流过。

图 30-23 显示了上例中滑动模腔上的应力, 模腔中心处产生最大应力, 同时产生最大挠度 F 。

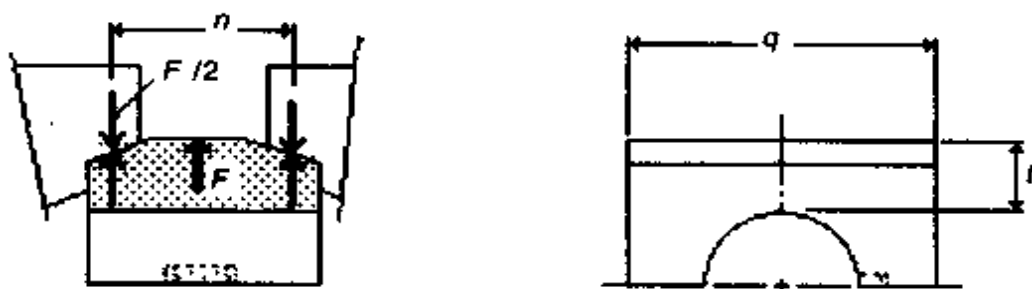


图 30-23 滑动模腔中最大的弯曲应力在模腔中部

受均匀载荷, 两端支撑的横梁的一般计算公式是:

$$S = \frac{WL}{8Z} \quad (30-8)$$

例中, $W=F$, $L=n$, Z =截面模量。

这里, 设计者碰到了和惯性矩同样的难题。要得到 Z 的准确计算值很麻烦, 设计者可采用跟计算惯性矩同样的估算方法来获得滑动模

腔横截面的近似计算值。

回到上例用过的尺寸，注意假定 1 和 3 中 Z 的区别，假定 1 中， $Z=18\text{in}^3$ ；假定 3， $Z=34.7\text{in}^3$ ；大约是假定 1 的 2 倍。再者，可以说采用假定 1 计算 S （最简单的），就不用担心滑动模腔中过度的弯曲应力。使用假定 1 的近似计算：

$$S = \frac{F_n}{8Z} = \frac{300000\text{lb} \times 8\text{in}}{8 \times 18\text{in}^3} = 16666\text{psi} = 114.91\text{MPa}$$

由于该值接近所选钢材屈服强度的 10%，对于维持模具长寿命可能太大。使用近似计算 3，并利用模腔块侧面的“保留强度”的优势， Z 值大约是上面的双倍，应力则是上面的 $\frac{1}{2}$ ，约为 9000psi。该计算值满足要求。该计算方法相当简单，一般情况下收效良好。

在模具设计中，必须记住除了疲劳强度外还有别的因素将影响钢材尺寸的选择。例如：钢材的可利用性，注塑机的空间，机床加工能力和其他限制设计者选择的因素。但这些因素都不应成为模具质量差和寿命短的理由。

30.8.2 箱形制品模具

带柄杯的设计，是将模具一分为二，只要考虑简单的，相反的作用力。在箱形制品模具中，通常将四边从中心分开，情况稍微复杂些，但原理相同。图 30-24 中的箭头所指的是侧型芯的运动方向。

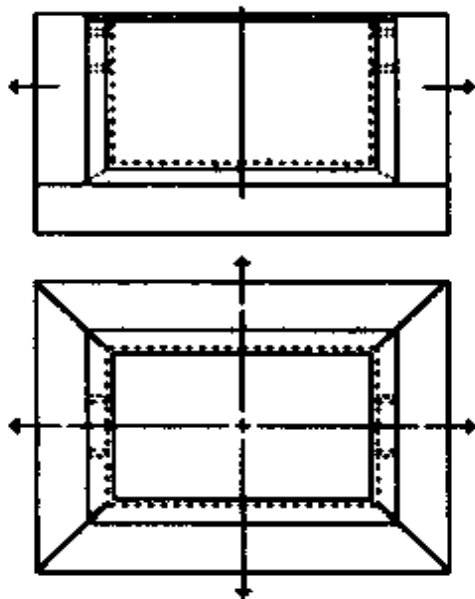


图 30-24 四个侧型芯从中心处分离的运动

在注射期间，为保持侧型芯不动，需要设法给每一块侧型芯施加预载，如图 30-25 所示。侧型芯的移动和引导方法未表示出，但是它们必须跟模芯同步拉回，抽离侧面倒角，使塑料制品能在最后顶出模芯之前跟模芯一起运动。

预载的施加方式同第 30.8.1 节描述相似，应注意，侧型芯上必须有长锥度引导移动，但是不必在整个长度上施加

预载的施加方式同第 30.8.1 节描述相似，应注意，侧型芯上必须有长锥度引导移动，但是不必在整个长度上施加

力 F_2 。模楔上承受预载的实际长度等于 F_1 的作用长度就可以了，因此，实际上 $F_1 = F_2 = 0.5F$ 。

这就是说模腔底面和模芯底面各提供了一半预载力，来阻止侧型芯离开模芯和塑料溢出。应分析两个“底”上的应力，保证应力远低于所选钢材的疲劳极限值。力 F 、 F_1 和 F_2 在每一个模塑周期中都是变化的，属交变力。

模具闭合但还未合紧时，如图 30-25 所示，侧型芯距它们的定位位置的距离分别为预载量 X_1 和 X_2 。因此，侧型芯对角线端部之间将出现微小间隙（图 30-26），仅当模具合紧时，它们才合在一起（正好接触）。不需在对角线分型面上施加预载。如果侧型芯预载正确可阻止外移，对角线分型面不会分开。

合理预载和最终应力值的计算跟带柄杯的计算相似，这里不再重述。推荐锥度值为 $10^\circ \sim 15^\circ$ ，小于 10° 的很少。 7° 是最小的锥度值，因为该值接近润滑钢材之间的摩擦角。锥度越小，需要的力就越小，因此，在注射期间，有效的合模力转换成抵抗侧型芯离开模芯的力的比例也就越少。

30.8.3 水桶模具

图 30-27 仅是图解示意，有许多种不同的水桶设计和其模具设计方法。设计方案主要取决于如下因素：如产品形状、 L/r 比值、熔融指数、产品批量、模具成本、注塑机的大小等等，但在各种方

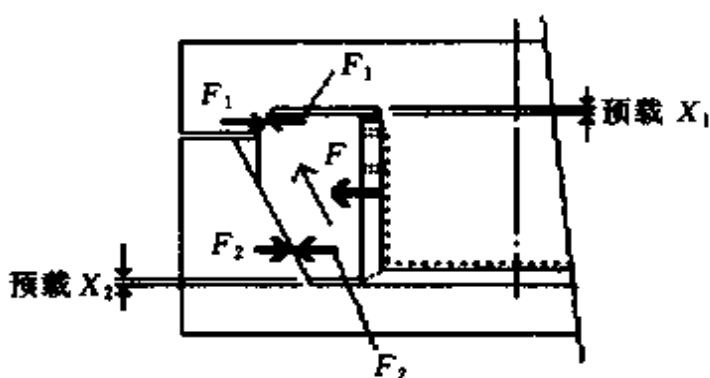


图 30-25 注射时，侧型芯上的预载将侧型芯固定

注：图示 X_1 和 X_2 经过放大；
 P 为假定的注射压力； A 为侧型芯的投影面积； F 为侧型模芯上的合力； $F = F_1 + F_2$ ， $F = AP$

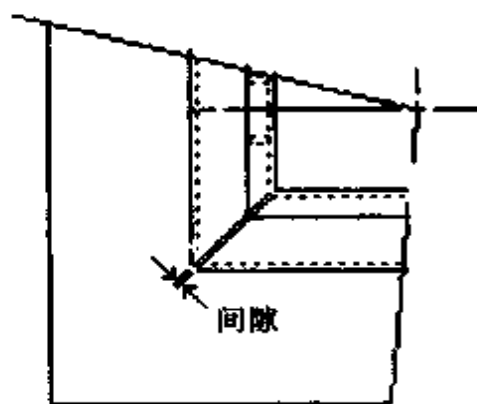


图 30-26 模具闭合但未合紧时间隙存在

案中其设计的基本原理是相同的，通常包括以下几方面。

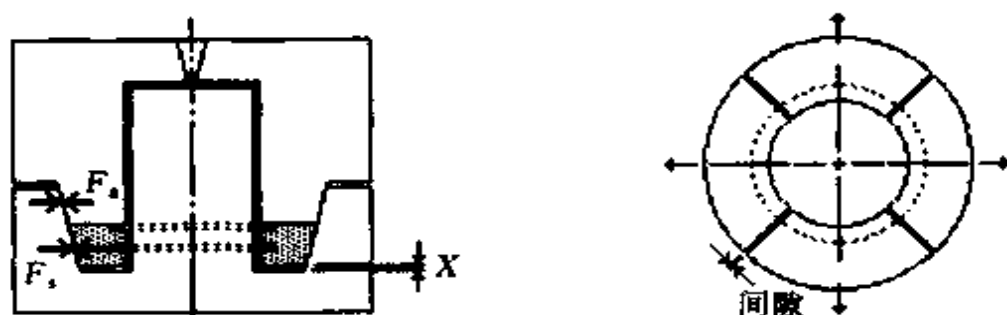


图 30-27 大桶模具简图，示出预载 X ，预载保证模腔和模芯定位，并防止注射期间产生移动

①与模芯平行的弓形块，沿径向向外（离开水桶中心）运动，脱离模腔侧面的倒陷。

②为防止注射期间，弓形块移动，应对其施加预载（力 F_1 ）（当模具合拢但还未合紧时，分型面间有间隙 X ，同时弓形块径向平面上产生间隙）。

③注射期间，要施加预载（力 F_2 ）保证模腔和模芯定位。或者采用圆锥面配合，或者采用四个直模楔定位，从不采用导销定位。

使用锥度和模楔时，还使用导销（图 30-27 中未画出）来实现锥度和模楔准确定位之前瓣模的近似对齐。这样还可以在模具服役时保护模芯。导销和导套间必须间隙配合，避免最后锥度定位时发生干涉。

预载 F_1 和 F_2 对于模具正常工作是必要的（避免溢料和定位不良等），必须使用本章已总结的方法和假定。模具制造时，还必须按照计算的尺寸严格加工。

在所有情况下，都要求偏差很小。使用四块模楔，而不用圆锥体，会增加模具零件的数量（并增加成本），但是调整模楔比锥度配合容易得多，并且模楔严重磨损时更容易更换。

锥面上的力 F_a 和 F_s 是交变力（如它们在每一个周期中出现，变化范围从最小值零到最大值 F_a 和 F_s ）。在图 30-27 中，模芯是整体式结构， F_1 和 F_2 增加了模芯外面部分（定位环）的应力。这要求定位环

的圆周强度承担，在某种程度上，还受模芯块底部的强度影响。

图 30-28，定位方向相反，力 F_1 有打开模腔块的趋势，但反向作用力 F_2 作用在模芯块上，会阻止这一趋势。比较图 30-28 和图 30-27，得出如下几方面结果。

①两个例图中，注射压力都使模腔产生圆周应力。

②图 30-27，定位圆锥上预载引起的力 F_1 限制模腔扩张。图 30-28，力 F_2 则增加了模腔的圆周应力。

③在模芯上（或者更准确地说在定位圈上），预载都会在弓形块上产生圆周应力；图 30-27，定位锥面上的预载增加定位圈的圆周应力；图 30-28，模腔定位锥面上的预载阻止定位圈的扩张并降低定位圈的应力。

在该项设计中，上面所有应力均是交变应力。

生产实际中，许多模具中的定位圈和模芯是分别加工制造的。定位圈是通过加热或采用小锥度（自锁）固定在模芯上的。两个设计方案中，不管是收缩配合还是锥度配合，定位圈均受预载（图 30-29）。如果所选择的预载力大于来自定位锥体或模楔上的力，那么定位圈上的应力是静应力。这有利于维持模具长寿命（图 30-29 未绘出固定模芯和定位圈到模芯垫板上的螺钉）。

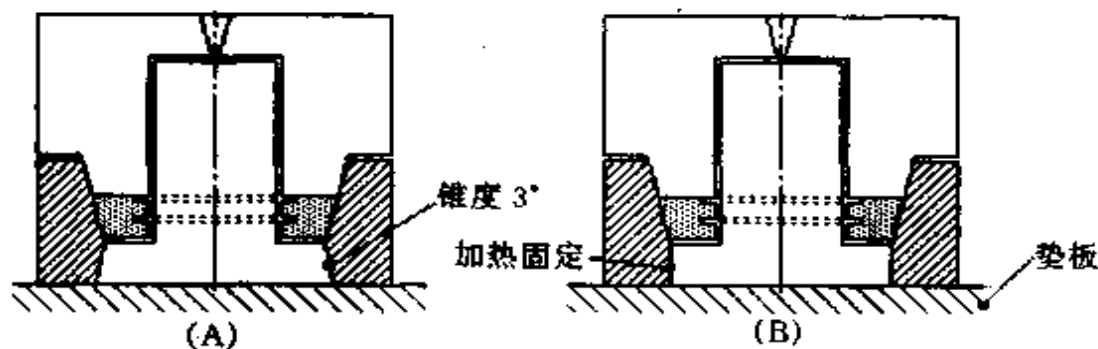


图 30-29 定位圈预载来源
(A) 锥度固定；(B) 加热固定

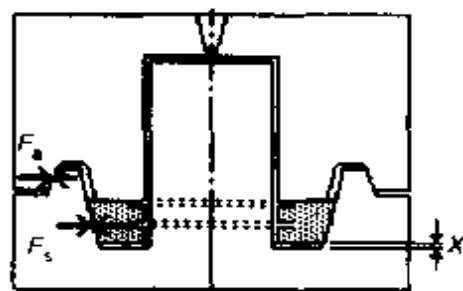


图 30-28 定位（定位圈）与图 30-27 中的相反，模芯锁进模腔内

30.8.3.1 圆周应力和模腔扩张

圆周应力和模腔扩张主要出现在厚壁的管状模腔和厚的环圈上，如定位图中（图 30-30）。计算公式是近似的，但一般对模具设计是适用的。横向孔洞影响有效壁厚，因此对公式必须留有余量。

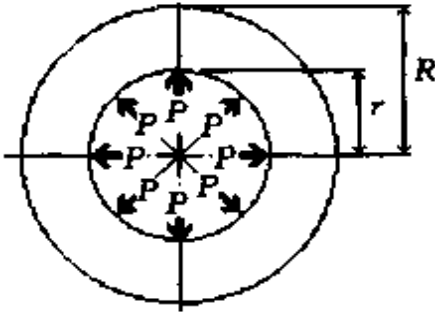


图 30-30 厚壁环圈的
圆周应力

内壁圆周应力

$$S = P \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \quad (30-9)$$

外壁圆周应力

$$S = 2P \frac{r^2}{R^2 - r^2} \quad (30-10)$$

这里 S ——圆周应力， kgf/cm^2 (Pa)；

P ——圈内压力， kgf/cm^2 (Pa)；

R ——圈外径， cm (in)；

r ——圈内径， cm (in)。

内、外半径扩张量由下式决定：

内半径 r 扩张量

$$f = P \frac{r}{E} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - V \right) \quad (30-11)$$

外半径 R 扩张量

$$f = P \frac{R}{E} \frac{2r^2}{R^2 - r^2} \quad (30-12)$$

式中 f ——扩张量，单位 cm (in)；

V ——泊松比（钢 $V=0.3$ ）；

E ——弹性模量（钢： 2100000kgf/cm^2 或 (30000000psi) ）。

模腔扩张量可能会相当大，必须以 S 值验算模腔壁厚，是否适应模具工作状态的要求。注意应力 S 必须远小于模具材料的极限应力 S_0 ，防止模腔破裂。

模腔受力是交变的，应考虑疲劳强度，因此，极限值不是极限应力 S_0 ，推荐为极限应力 S_0 的 10%，或者为安全起见采用模腔材料屈服强度 S_y 的 10%。

注意图 30-27 和图 30-28，模腔有一个整体的底座，这只是为了简

化图解。实际上，这类模具中的大多数模腔具有大的浇口衬套，甚至是可移动的底座。因此，模腔实际上是一个环。如果有一个整体底座，或仅有一个小孔作为浇口，底座对定位环能起加强作用，有助于抵抗塑料压力。然而实际上，这种“加强”作用往往被忽略。

例：直径 10in，高 15in 的水桶。首先，假定模腔壁厚为 5in，并允许壁内开设水道削弱强度。注意，这里高度不重要，因为考虑单位强度，是在与穿过定位圈的水桶轴线相垂直的方向上的。

利用（公式 30-9）， $r=5\text{in}$ ， $R=5\text{in}+5\text{in}=10\text{in}$ ，模腔压力平均值假定为 $P=5000\text{psi}$ ，钢的屈服强度 120000psi 。

$$S=5000\text{psi}\left(\frac{100\text{in}^2+25\text{in}^2}{100\text{in}^2-25\text{in}^2}\right)=8333\text{psi}(57.45\text{MPa})$$

$8333\text{psi}<12000\text{psi}$ ，即 S 低于屈服强度 10%。

利用（公式 30-11）得，内半径 r 的扩张量

$$f=5000\text{psi}\times\frac{5\text{in}}{30000000\text{psi}}\times\left(\frac{100\text{in}^2+25\text{in}^2}{100\text{in}^2-25\text{in}^2}-0.3\right) \\ =0.0011\text{in}(0.002794\text{cm})$$

注意，内圆半径扩张量 0.0011in，即最大注射压力时，壁厚增加 0.001in 多一点。如果不考虑收缩量和脱模斜角，以上足以将制品锁于模腔和模芯之间，并防止模具分开。

外圆半径扩张量

$$f=5000\text{psi}\times\frac{10\text{in}}{30000000\text{psi}}\times\left(\frac{2\times 25\text{in}^2}{100\text{in}^2-25\text{in}^2}\right) \\ =0.0011\text{in}(0.002794\text{cm})$$

在此例中，内、外半径扩张量是相等的。

搞清楚到底需要多大的力作用于定位锥体和模楔，对保证模腔和模芯定位是很重要的。图 30-27 中，模腔由模芯固定，附加扩张量会扩展模芯锥体，可能使侧型芯配合不稳定。图 30-28 中，模芯固定于模腔中，模腔的扩展会减少甚至消除，实现锥度锁紧的预载。结果将使模腔和模芯的定位失稳。

需要注意的是锥体平均直径大于 r 但小于 R ，但是，即使扩张量仅有上述计算值的一半，也会显著影响模具。同时，也要注意模腔假定

压力 (5000psi), 在浇口附近会更高, 但在模腔开口端附近会低一些。无论如何, 5000psi 仅是一个假定值, 它将随着塑料件壁厚的减小而大幅度增大。因此, 借助模具的实验仪器检测确定各种塑料, 在不同模塑条件和熔融指数下, 模腔内部的实际压力是很重要的。

30.9 螺钉预紧

基本上, 螺钉由螺钉头和螺纹杆组成。螺钉旋入工件 (或螺母) 螺纹孔时, 首先在接头处接触, 并且在螺钉头紧固到工件中之前, 只有摩擦力而无其他阻力。由于螺纹楔形面的结果, 进一步旋进螺钉会使其拉伸, 这样螺钉就被预紧了。

即使螺钉和螺纹孔已被润滑, 紧定螺钉都有比摩擦角小的导角或楔角, 因此, 螺钉本身具有自锁性能 (在正常运行环境下, 螺钉拧紧后不会松开)。

对螺钉预紧展开深层次的讨论, 读者可参考第 19.5 节, 阐述了螺钉的固定和预紧, 包括详细计算。第 19.7 节叙述了螺钉交变载荷的影响。

30.9.1 带轴肩螺钉

如图 30-31 所示为带轴肩螺钉。轴肩螺钉 (通常称为脱模板螺杆) 有效长度 L 几乎等于 0, 因此, 它们不可能被正确拧紧, 在模具中应避免使用。

替代的办法是, 使用轴套, 垫圈和螺钉组合件, 如图 30-32 所示, L 则较长, 螺钉能被有效拧紧。

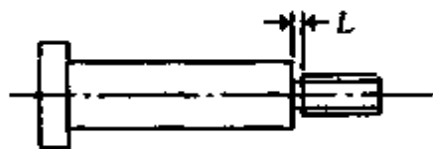


图 30-31 带轴肩螺钉

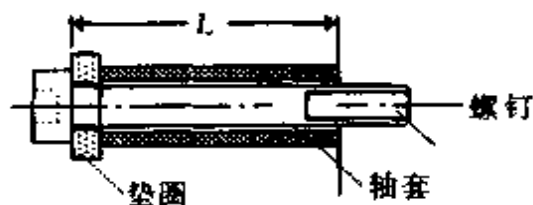


图 30-32 轴套、垫圈和螺钉组合件代替带肩螺钉

注: F 为螺钉力; F_1 为夹紧力;

$$F = F_1 + F_2; F_1 < F$$

高频的振动和频繁撞击相似，会使螺钉松开。特别当螺钉短不能进行充分拉伸时，如果存在振动和撞击，可照第 19.12 节所示的方法防止螺钉转动（松开）。

模具中，模板尺寸和横截面 A_p 通常很大，并跟合模尺寸及合模力成比例。因此，通常忽略模板的压缩量。但是，将合模力作用在较小部件上（例如，模腔组件），压缩量 f_p 可能会很明显。应注意的是模板压缩量 f_p 计算必须包括芯部去除的情况，并应分步得出相应值。

30.9.2 模具固定螺钉

将模具固定在注塑机上的螺钉有两个作用：一是将模具固定在压板上不让模具掉下；二是抵抗开模力。

注塑机上开模力通常约是合模力的 10%，并在每台注塑机技术规格中标明。

这里，模具固定螺钉或其他将模具固定在压板上的零件承受交变载荷。

然而，固定螺钉的预载值要比每个螺钉预计要承受的最大开模力大得多，模具安装时仅通过扭转将静载荷作用其上。每个螺钉受扭矩相等，并高出预计的开模力是很重要的，如果不这样的话，较松的螺钉将会受到高于（不足的）预载力的交变拉伸。螺钉应拉紧到其屈服强度的大约 60%~75%。

30.9.3 模具压板

使用模具压板时，仅部分螺钉拧紧力用来固定模具，其余的作用在压板平衡点处（图 30-33）。即使固压板的螺钉非常靠近模

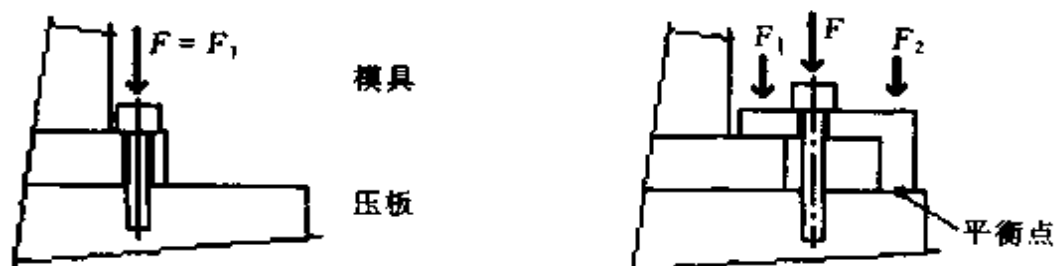


图 30-33 螺钉和模具压板将模具固定到注塑机压板上

F —螺钉力； F_1 —拧紧力； $F = F_1 + F_2$ ； $F_1 < F$

具,也仅可利用60%~80%的拧紧力。一般讲,模具压板(间接固定)使用的螺钉,应该比直接将模具固定到注塑机压板上的螺钉大。

第三十一章 磨损和润滑

对于模具寿命，需重点考虑磨损和润滑。本章重点讨论模具材料和表面涂饰的选择，以及如何进行模具设计和在车间地面维修对模具寿命的影响。

模具磨损，需要从三个截然不同的方面考虑：

①塑料流动对流道系统引起的磨损，包括浇口和注射流过的模塑面；

②化学反应引起的磨损；

③模塑周期循环中，模具零件间滑动带来的磨损。

还应当提到另一种类型磨损，但本章不作深入讨论，这类磨损是由于野蛮的和（或）不适当的装卸模具，或者是由于对员工操作和维护培训不够引起的。

模具的启动、闭合、操作和贮藏容易引起破坏。同样，如果在清模或其他维修作业以后，模具重新安装不好，对于模套、模塑面、加热器和电线以及其他模具内或附加在模具上的机械装置，都会引起损坏。

为了减少上述原因给模具带来的破坏，保证模具长寿命，有些模具制造者为每副模具配有“模具手册”，对模具操作和维护有清楚的说明。手册将详细指导如何解决问题；给模具技术人员提供有用的信息，使他们在不损坏模具的情况下能正确解决模塑中遇到的问题。

31.1 树脂作用引起的磨损

许多基本的通用塑料，如 PP、PE 和 PS，和一些工程塑料如 PC、PSU 和丙烯酸类树脂，既无磨蚀性也无腐蚀性。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，这样将使模具成型表面和浇口发生磨损。

31.1.1 磨蚀

当塑料流经模具及其部件时，之间发生的摩擦使模具及其部件磨蚀。塑料熔体流经浇口的速度非常高。由于薄壁制品的模具需要快速充填，塑料流经浇口的速度可能接近音速！这样高的速度，再加上塑料熔体被强迫通过小浇口所产生的高温，会逐渐磨损浇口，甚至一些低粘度、没有腐蚀性的树脂也一样。

在决定浇口材料时，这里有两种选择可考虑。

①开设浇口的模具零件材料，应使浇口周围（在该处产生）的热量容易散发到冷却剂中。这样的好处是浇口残留状况较好（较小，较平滑），成型周期短。为获得良好的热传导性，经常使用铍-青铜。但这种材料抗磨损性不好，浇口尺寸增大速度比用钢的快，并最终使塑件浇口残留状况变差，达不到要求。如果选用铍-青铜，浇口处应当采用浇口镶件（最好能简单，成本低），这样在日常维修时便于更换。

②采用很硬且耐磨损的工具钢制造浇口，甚至采用硬质合金，但是这种材质浇口也存在着缺点：

a. 材料的热传导性比铍-青铜低得多，浇口处较热，因此成型周期延长；

b. 制造成本较高，特别对于硬质合金零件。

最好，钢的浇口也设置镶件。因为即使钢浇口也不能永久使用，这是由于磨损的存在和在启动时清理浇口可能引起损伤。但是，浇口镶件安装到模腔内时不允许在浇口处留有可见痕迹（圆形），整个模腔必须用淬火钢制成。这样当浇口处磨损或破坏时，更换浇口成本会很高。

对于有的钢，如 H13，浇口处磨损或者其他损坏后可以焊接并重新加工，但这需要专门技术和设备。对于其他材料，焊接通常只作为更换模腔之前的“快速修理”使用。

如果塑料的磨蚀性很强，浇口设计的选择余地很小，设计者通常不得不采用很硬的钢浇口镶件，避免频繁更换浇口，这与采用导热性好的材料相比，意味着延长循环时间和降低生产率。

31.1.2 腐蚀

腐蚀是由于化学作用引起的对模具或模具零件的逐步损耗，这里

的讨论的是树脂的作用。有些塑料(典型的PET和PVC)具有腐蚀性,当模具材料和这些塑料(通常是和注射时热塑料散发出的腐蚀性气体)接触后,将受到侵蚀。

通常,模具制造者选择合适的模具材料和(或)专用表面涂层来防止腐蚀。由于在许多情况下,腐蚀作用是由盐酸(HCl)气体引起的,最好的解决办法是采用不锈钢制造模具,或者用普通模具钢制造,并在表面镀铬以防腐蚀性气体。然而,时间一长,铬也会被盐酸腐蚀,因而重要的是要实施一套专门的停工保养程序,例如模具表面用中性树脂仔细清洗,使模具在贮藏之前,所有的成型面和外表面都清洁干净并有防护措施(喷洒模具保护液体)。

盐酸蒸汽可以进入最小的模具表面裂缝。在模具表面电镀之后,盐酸蒸汽将通过暗藏的裂缝侵入镀铬基底(通常是镀铜层)并将最终导致表面铬层的隆起和剥落。(检验镀层是否失效的试验很简单:将硫酸铜溶液涂到检验表面,如果该处变为铜的颜色,代表镀层失效。)

盐酸蒸汽在侵入钢基体时,表面周围的钢也被腐蚀,即使是对于铬钢,如果时间足够长,腐蚀都将引发裂纹(应力集中源),并最终使模具零件失效,特别是承受很大的应力时。

腐蚀性烟雾以高速、高温通过排气孔和排气槽流到模具表面,因此排气孔和排气槽被腐蚀的可能性很大。如果不仔细监控腐蚀情况和正确维护,将会引出许多问题,例如不允许的溢料。

31.2 冷却剂引起的腐蚀

冷却剂通常由水和添加剂组成,添加剂主要是去掉生水中的有害成分和防锈。也添加防冻溶液,以使制冷机能在接近或低于凝固点温度运作。然而,不久以后,除有些不锈钢外,即使水中带有防锈添加剂,也会侵蚀每一副模具。

腐蚀的有害影响是双重的。

①腐蚀的表面是热的不良导体,并将逐渐降低模具的冷却效率,受其影响,模具的成型周期将长于始终干净的冷却表面。

②腐蚀将不断侵入钢内部,特别从表面划痕处,划痕在钻冷却管

道时是很难避免的（需注意的是枪钻钻孔的表面要比普通麻花钻的表面光滑）。

如果冷却通道离成型表面很近，受应力作用的模具零件遭破坏是相当普遍的现象，剖开失效的零件，通常发现是小裂纹从划伤的表面开始并一直腐蚀到成型表面。当该区域在成型过程中（周期）所受应力达到疲劳极限时，该零件立即开裂，首先显示某处出现裂纹的标志是有冷却剂渗透进模腔内部。

在冷却管道内电镀是不实际的。化学镀镍防止钻孔腐蚀和渗漏是十分成功的，但是由于不能做到零件钻孔深处及其他冷却管道深处的镀镍效果同表面一样，所以这种方法的防锈效果是有限的（为沉积镍，镍溶液必须不断流动）。

最好的解决方法是用不锈钢（SS）制造模具。由此也带来其他问题需要考虑，比如来源和成本（通常比普通钢高）；一般可采用折中方法，特别是对“模块”的零件，在成型时与塑料直接接触的所有模具零件采用不锈钢。现在有的模具制造者只要可能，将全部模板用不锈钢制造，大部分或全部模块零件也同样用不锈钢制造。

31.3 气体引起的腐蚀

在许多地方，环境湿度会达到很高的值，如果模具冷却到露点以下，空气中的水分将在模具表面凝固。这样时间一长将腐蚀模具。

如果模板采用不锈钢或电镀的结构钢制造，就没有什么问题。有的模塑工用油漆涂饰模具外表以防锈。这并不是良好的保护措施，并且对模具零件的其余部分没有用处。在这种环境湿度高的情况下，重要的是对所有部件经常进行清洁保养并良好润滑，防止腐蚀带来的早期磨损。

31.4 锥体磨损

如前所述，锥体必须预载才有效。这就是说当相互配合的锥体开始相互接触后，将随着压力的增加沿表面滑移一很短的预载行程，一直到所有零件最终就位，运动停止。

两种金属在压力下相互滑移本来就是不希望有的,应当尽量避免,除非润滑剂能够在接触表面间承受高压而不被挤出。润滑将在以后讨论。

(如果两块同类金属在高压下相互接触,接触表面将相互结合。在一些钢产品的制造例子中采用压力焊,即通过在极高接触力下将两块金属压在一起。)

在机械装置中(机器、模具等),润滑不良的(或未润滑的)相同材料金属块在压力下相互滑移不久就会导致类似的表面焊合。这种“胶合”可由零件的小块撕开并焊合到另一零件上的现象观察出来。如果滑移速度高,如在转轴里常见到的那样,已破坏表面之间的摩擦将使这些零件温度过度升高,而带来灾难性的后果。

对于转轴和高速度表面,即使不同类金属接触,如钢轴和青铜轴承,也会发生胶合,除非两表面润滑良好;也就是说,这些表面间一直维持一层润滑膜。在模具中,滑移速度低,但特有的高压,也会使零件表面间发生胶合。

在模具中不可能实现良好润滑,相对滑动的材料必须是两种不同晶体结构的材料。如果表面压力很低,可采用那些不需要润滑的塑料(Delrin[®]等)。

另一种普遍误解是认为硬度不同等同于不同的晶体结构。制造相互配合的锥体,为防止胶合而采用具有不同硬度的相同钢材并没有好处。有在实际中用同种钢材(如H13)制成配合锥体,一个淬火至51Rc,另一个为46Rc,未发生胶合现象。但原因可能是没有预载,锥体被油脂润滑,或者是模具服役周期不长,破坏未显示出来。

模具设计的一般原则是:在加载情况下,相互滑移的两零件不使用同种钢材制造。常采用的组合如H13和A2、H13和S7、S7和As等等。

对上述原则只有一个例外,即钢表面能被氮化。并不是每种钢都可以被氮化。最易被氮化的典型钢是H13。氮化不仅获得极高的表面硬度,(氮化层为千分之几in时,硬度为70Rc),而且氮原子渗透到钢表面晶格内,从而使类似晶体结构的钢难以与之发生胶合。

模具标准件供应商生产的大量顶杆和顶套，通常用 H13 钢制造并氮化（并且，覆盖固态润滑剂）。这样，它们可以在模芯体上滑移很长一段时间而不出现胶合。并且在滑孔壁的侧向压力很小，这有助于延长使用寿命。即使如此，顶杆和顶套磨损后也需要不时地更换，同时滑孔随时间延长也会发生磨损。它们都是标准件，为便于更换，可使用正好适合的“加大尺寸”的销。

31.5 模具润滑

如上所述，为延长使用寿命，相互滑移的金属部件间需要润滑。卫生部门规定，要求生产食品或卫生行业用品的模具，在制品顶出或从模具中移出时，任何地方都不能与润滑剂接触。

这些规定排除了润滑剂的使用，即使在模具中的许多地方需要使用润滑剂来延长使用寿命。设计者在设计之前必须知道哪些地方能被润滑。润滑剂的要求影响模具材料的选择，并可能要求特殊的隔离措施将润滑区域和制品分开。

对于不必接受这些严格准则的模具，对特定区域的润滑可通过人工进行定期常规保养或者在运行时，使用压力油自动润滑。

31.5.1 导柱、球轴承和导套

导柱通常采用人工加油脂润滑。模具打开时，将润滑剂涂抹在表面。理论上讲可采用压力润滑，但这样做很复杂并且不划算。现在模具已很少依靠导柱和导套来实现精确定位了。

对于一些高质量模具，两半模定位依靠的导柱，用球轴承代替了钢套或铜套轴承，前者只须偶尔加油或长期含油，而后者需要不断地良好润滑。但是球轴承对定位不准很敏感，并且在导柱承受过度的力时，可能很快遭到破坏。现在许多模具不采用导柱定位而是采用锁紧锥体，使用导柱只是为在维修等情况下保护模芯。

在一些模具中使用密封的润滑球轴承作为顶杆托板和脱模圈间的连接杆的导向。这样保证脱模圈锥体落在相关的模芯锥座上，使得由重力造成的重脱模圈错位所引起的锥面间的磨损减少到最低。

在有的情况下，可使用塑料衬套。这类衬套通常由摩擦系数低的

塑料如 (Teflon[®]、Delrin[®]等) 制成, 并且通常和铅及青铜配合使用。塑料衬套不需要润滑, 但如果载荷和速度超过许用值, 也会发生磨损。

密封的润滑球轴承也用于模具中顶出机构和 (或) 分离模板的联动机构。

31.5.2 压力或中心润滑

有些模具建立了高压油脂或润滑油的管路 (金属或塑料管, 或钻孔) 将润滑剂引到模具的滑移面。这些管道从中心分配点通向各处, 使维修工能在定期 (每日、每周、每月) 保养中润滑模具各处。有些模具, 其润滑点可以和注塑机的中心润滑网络连接在一起。

很明显, 选择合适的润滑油脂对模具各部分进行润滑, 不能有任何疏忽, 否则, 迟早会造成不良润滑面的损坏, 使模具提前大修或降低模具寿命。

31.6 减少磨损的特殊表面处理

31.6.1 镀硬铬

偶尔采用硬铬来提高淬火钢的硬度, 并且使表面具有不同的晶体结构, 使该表面不易与其他金属胶合。非常薄的镀层 (闪镀铬), 厚度低于 0.025mm (0.001in.), 能满足某些使用要求; 但是, 一般不推荐采用镀铬作为减少磨损的方法。

某些薄壁制品模具, 常采用闪镀铬镀层来改善树脂注入后沿表面的流动状况。从高速、薄壁制品成型的实际经验中可知, 有的制品的充模速度提高 0.2s, 产量将提高 10% 或更多。

在腐蚀性塑料成型时通常采用硬铬镀层。硬铬对冲击很敏感。大块镀层会很快开裂和剥落, 剩余的硬质、粗糙的铬层将破坏模具配合表面。除非在紧急情况时 (如等待更换部件后必须继续生产), 否则不推荐使用硬铬镀层修复破损表面。

31.6.2 氮化 (硬或软)

氮化是调质钢的表面强化方法。钢要经受约 540°C (1000F) 的高温。并不是每种钢都适于氮化, 只适用于那些在氮化温度下硬度不降低的钢。

氮化层很硬，厚度和闪镀铬层相同，但是镀铬层使钢材厚度增加，氮化将氮原子渗入到钢基体中，氮化层不增加零件的计量尺寸。

31.6.3 其他镀层

为防止磨损，还可采用其他各种镀层，每种镀层，制造商都有详细说明。其中一些镀层在模具中的应用结果各不相同，应详细说明。存在的主要问题是镀层持续时间达不到所希望的那样长，模具零件要经过一次又一次的再处理。

考虑下列镀层时，设计者和模塑工必须区分：是将镀层应用到模塑面改善模腔内的流动，以利于充模以及便于制品顶出，还是将镀层应用于相配合的滑移面的润滑方面，两者的要求是不一样的。

①Poly-Ond (镍、磷) 镀层，模具零件的使用温度大约可达 400℃。

②Ovonic (47) (Diamond Black™) 一种有机物质，应用温度大约 120℃。

③约 350℃ 下的低温离子氮化。

④约 590℃ 左右的软氮化。

⑤氮化钛镀层在 700℃ 到 1065℃ 温度之间，通过物理或化学沉积工艺获得。

以上工艺都有各自优缺点，应当仔细调查决定是否适用于零件的材料和形状。并应当从合适的供应商那里了解这些工艺的详细信息。

第三十二章 模具零件的切压制模

32.1 切压制模

切压制模是指生产几个相同模腔（通常较小）的机械加工工艺。“阳模”是一个和模塑制品的外形（型腔形状）相同的凸冲头，由于成型后塑料收缩，故其尺寸比制品外形尺寸稍大一点。

在切压制模工艺中，阳模，用硬度高于 62Rc 的淬火钢制造，并且高度抛光，在几千吨的压力下压入退火的低碳钢毛坯里。毛坯当即被按照模腔的精确形状压印成型，还须把毛坯加工到适合模套装配的最终尺寸，随后淬火形成适合模塑的硬表面。切压制模的模塑表面通常不再需要抛光。

通过这种方法，可用一个阳模生产相同的、数目很多的（30 或更多）模腔。这个工艺对于制造复杂形状的模腔更有意义，例如带纵筋、奇特花纹等，这些在小模腔内加工很难（或很贵）。这种方法的典型应用是生产牙膏管、瓶帽、电插头和其他需要许多同样模腔的制品。

该工艺的主要优点是制造大量相同模腔的成本比较低。这种制造方法已经应用了很多年，并且仍然被一些模具制造者应用。

主要缺点是模具钢很软，必须有比较薄的渗碳层（厚度大约是 0.030~0.045in），硬度可达到 56~58Rc。问题是这层硬膜没有被下面的基体恰当的支撑，随着成型周期的重复，钢表面达到疲劳极限后会塌陷，不仅在分型面处，而且随时间推移，成型表面也会发生破坏。

另一缺点是切压制模后热处理工艺中模腔将发生翘曲，这样各模腔将不像期望的那样“形状相同”；然而，许多塑料制品通常允许这些小变化。

现在，大部分利用电火花加工（EDM）这种模腔。这需要铜或碳电极，它具有与上述阳模相似的形状，但其加工非常容易。仅一个或

一副电极就能用于制造大量模腔。

采用 EDM 的一个优点是模腔能够采用淬火钢制造，并且模腔是在钢硬化后加工成型，这样一来，模腔形状就不会有畸变。另一个优点是成型表面被下面的钢支撑良好，模塑过程中的周期载荷不易带来破坏。这种方法缺点是模腔粗糙度由 EDM 加工质量保证，并且成型表面通常要求抛光。

如前所述，切压制模作为制造模具的方法进行了讨论。但在模具操作时，钢表面偶尔也会承受过度压力，导致模具表面产生不希望的压印。本章对此也将进行讨论。

32.2 不希望产生压印的典型区域

通常可通过模具表面上的凹陷观察到哪些区域受到了不希望的压印作用，这些凹陷的深度足以影响制品尺寸或者成型表面的外观，并将导致分型面或者模腔合缝溢料。

典型区域包括：

- ①分型面区域；
- ②成型表面；
- ③销或镶件与对应模壁或配合件的合缝处；
- ④模板或镶件下的支撑处；
- ⑤锥体座。

32.3 压印的控制

有两种方法可以控制或者避免不希望的压印作用：

- ①正确选择钢材（屈服强度）；
- ②充足的接触面积。

32.3.1 钢材的选择

大多数用于制造模具的钢材，压缩强度和拉伸强度大致相同。用 Rc 表示的钢硬度，和拉伸强度成正比。“硬度”（用 Rc 表示）和“拉伸强度”（用 psi 表示）之间的比例大约是 1 比 5000。换句话说，如果钢硬度为 30Rc，则其拉伸强度为 150000psi (1034MPa)。

如前所提到的，被软基体支撑的硬质表面易塌陷；因此今天很少应用如 P5 和 P6 的渗碳钢。同样原因，表面覆盖有硬铬或被进行软或硬氮化处理的钢材在承受过载时将不能避免压印（塌陷）。出于其他原因，例如降低摩擦系数或防止钢腐蚀，这些表面处理措施可能是很有用的。

32.3.2 接触面积大小

32.3.2.1 排气

排气影响接触面积大小。模具在分型面处需要排气良好，因此，沿着排气孔、排气槽和排气道分型面处的模具表面不接触。分型面的这些部分将不承受合模力，因此在计算模腔和模芯之间的总支承面积时必须考虑减去排气孔、排气槽和排气道的总投影面积。同时，其他任何不接触（支承）的面积也要减去，例如拐角处的半径或倒角（图 32-1）。和支承面积有关的非接触面积相当可观——忽略它们可能是导致模具失效的主要原因。

由于排气系统（排气孔）通常很小（足够空气通过，为防止塑料溢入其中，尺寸不能太大），因此支承面积不足造成的模具钢材很小的塌陷都将最终减小排气孔的尺寸，并

导致模具的失灵，需要维修。这种维修（有时花费很大）包括排气系统的重新加工和一些锥体的重新复位，这样做影响模具寿命。

32.3.2.2 分型面上的尘垢

由于塑料溢料和清理不净而留在分型面上的小微粒常产生局部压痕，因为随着周期反复，尘垢像球头锉的球端反复撞击表面。

减轻溢料的最好办法是提供充足的合模力，并且在设计模具时，使模具合模有足够的支承面积承担合模力。如果在机器中的模具所受的

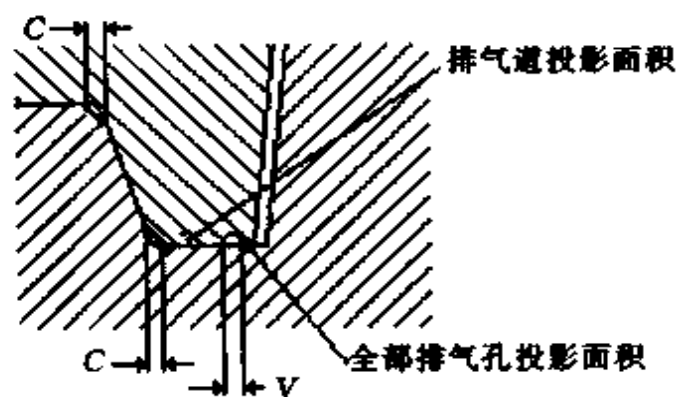


图 32-1 分型面处排气槽、排气道、和倒角的投影面积

注： e 为倒角投影面积； V 为排气槽投影面积

合模力大于原先对模具设计的要求，则会带来一系列的问题。如果施加全部有效合模力后，模具钢材所受应力超过其疲劳强度，模具寿命就会降低，即使模具是根据为较小合模尺寸专门设计的也是如此。

32.3.2.3 分型面挡块

如果由于有效空间等原因，不可能提供充分大的分型面面积，必须提供足够面积的挡块来弥补分型面面积的不足。分型面加上挡块的总面积必须足够大，从而使模具所受应力不超过其疲劳强度。

这些分型面挡块必须设计成，使其在合模时与分型面同时相互接触。挡块的材料强度必须足够，并且面积充分大，以使该材料受力不超过其弹性极限，否则将引起挡块永久性变形（塌陷），并最终导致其丧失应有的功能。这些挡块应该位于模具中心对称布置。挡块也承受周期载荷。

32.4 锥体锁紧

如前所述，锥体锁紧只是在有预载时才发挥定位作用。重要的是预载量必须最小，保证其轴向和径向力较小，从而延长配合部件的使用寿命。

当模具到达“几乎闭合”的位置时，即在分型面开始承受全部合模力之前，各种锥体锁紧元件（脱模圈、锥销、模楔等），在短时间内，承担一部分合模力。这时实际合模力的大小取决于预载以及注塑机大小。为达到全部合模力，必须使拉杆根据机器尺寸伸长大约 0.5~2.5mm (0.020~1.00in.) 或者更长。

当模具半模通过锥体最先接触时，拉杆开始伸长，锥体上承受的力不断增加，一直到分型面接触。

出于实用目的，建议假定锥体的轴向受力为全部有效合模力的 10%~20%，该力将促进它们进入支撑板；因此和决定分型面面积大小一样，对于锥体和支撑件也要作同样的考虑。如果这些零件的支撑不充分，或者如果超过疲劳极限，零件将逐渐压入支撑表面，改变原先设计的锥体锁紧结构的尺寸，从而使模具定位机构失效。

32.5 模板的支撑

只要模板是整块的，相互间或与机器压板平面相接触，通常不存在压印问题。然而，模板可能是由平行垫板，或者由除去了部分支承面的板组成的框架（如在热流道模板或顶出箱的情况下），或者由支柱支撑的情况下，计算钢材各处作用的压力时必须考虑其实际接触总面积。该压力值应小于许用疲劳应力。

计算总支承面积时必须考虑（扣除）压板上的沟槽和其他大孔的面积对模板和支撑面积的影响。压板上的小的安装和（或）顶出孔通常忽略不计，除非在压板的支撑面积上这类孔很多。

例 1：模板尺寸是 $20 \times 30\text{in}$ ，即总面积为 600in^2 ；最大合模力为 600t ，比载荷为

$$\frac{600\text{t}}{600\text{in}^2} = 1\text{t/in}^2 (13.79\text{MPa})$$

该值很低，因此不存在强度问题。

例 2：这里，模板仅有两块平行垫板支撑，每块垫板尺寸为 $2 \times 30\text{in}$ ，加上 8 个直径为 2in 的支柱（图 32-2），总支撑面积是

$$2 \times 60\text{in}^2 + 8(\pi 1^2) = 145.12\text{in}^2 (0.09363\text{m}^2)$$

如和例 1 一样承受最大合模力，比载荷为

$$\frac{600\text{t}}{145.12\text{in}^2} = 4.13\text{t/in}^2 (57.2\text{MPa})$$

即使该值比通常建议的要大（大于屈服应力的 10%），可是（见第十八章），低碳钢的疲劳极限比 P20 即工具钢要高（相对来说），故可满足该处要求。

32.6 模板上的模腔、模芯和其他镶件的支撑

在上例中，虽然所选的低碳钢可以支撑模板，但如考虑到模具操作时，模具中的模腔、模芯或其他镶件承受周期载荷，从而给模板带来压印影响，这样的话，就不能被接受了。

进行计算时，设计者必须考虑以安装在模板上，并承受合模力的



图 32-2 模具由平行垫板和柱子支撑（粗线表示压力下的面积）

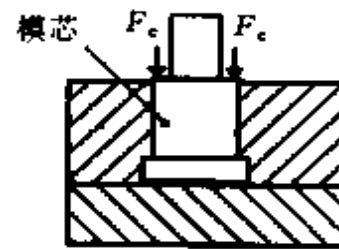


图 32-3 模板上受模芯下压的面积（粗线）

模腔、模芯（图 32-3）及其他诸如定位锥销等零件的总面积为实际受载面积。并假定这些零件在模板上均等受力，也就是说，模具开始闭合时各部件同时承载，否则最先受力的零件将被合模力推进到支撑模板内，并在模板上留下永久凹陷。

最大合模力除以这些部件的总接触面积，得到这些部件施加在支撑板上的比载荷。计算值必须低于低碳钢的许用应力。否则，必须选择高强度钢，或者必须提高这些部件的安装面积，以保证它们不被压进支撑板。

32.7 温度升高的影响

随着工作环境温度的升高，模具材料的屈服强度下降。这对热流道元件很重要。结构钢的屈服强度如 AISI P20 或 4140 在 200℃ 时仅比室温时的低一点；但在 450℃ 时，其屈服强度只有室温时的二分之一。出于这种原因，当温度升高并且载荷也很高时，必须选择热作模具钢如 AISI H13，原因是这种钢加热到 480℃ 之前，其屈服强度减少不明显。像这种关键问题，设计者必须从供应厂商提供的数据表中获得准确的数据。

模塑技术术语汇编

模塑周期中的时间单元

循环时间 指从一次注射开始到下一次注射开始之间的时间，以秒计。循环时间包括模具开模时间，通常测量方法是从模具到达闭合位置时开始计时。

开模状态时间(MO 时间) 指从模具完全打开时刻到模具下一循环开始闭合时刻之间的时间，以秒计。理想状况是模具没有 MO 时间，但是制品顶出和机械移出时需要 MO 时间。

闭模状态时间(MC 时间) 指从模具完全闭合时刻到开始打开时刻(制品顶出)之间的时间，以秒计。MC 时间包括注射时间，保压时间和冷却时间(参看下面，被动循环)。

空循环(时间) 一般来说，是指模具从完全打开位置刚开始闭合的时刻到其闭合完成后再次处于完全打开位置的时刻，不包括注射、保压和冷却时间(MC 时间)，以秒计。

空循环包括模具闭合过程时间，即模具保护信号显示开始闭模到完全闭合位置的时间，还包括非合模时间(模塑中断时间)和模具打开过程时间。

空循环时间是衡量注塑机的合模性能的重要标准。空循环时间越短，浪费时间越少。

除了合模机构的设计之外，空循环时间主要取决于压板的活动距离。行程越短，空循环时间越短。

被动循环 在液压-机械式如 HUSKY 注塑机中使用断续器，我们做一番考查：当机器在冷却循环之后，准备打开，合模力首先卸载，时间不到 1s，然后断续器打开，时间也不到 1s。在压板实际打开之前，这

类时间单元之和称为被动循环。

模具在这时仍处于闭合状态，并且实际冷却时间（见下）包括被动循环。这样由于被动循环的存在，使实际冷却时间比需要的冷却时间长。

在直接传动式液压注塑机和肘杆式注塑机中，不存在被动循环。冷却时间一结束，模具立即开启。

注射时间 是指阀门使注射活塞（P型注塑机）或柱塞螺杆（RS型注塑机）承受高压时刻，到高压油供应停止时刻之间的一段时间，以秒计。

注射保压时间（通常简称为“保压”时间）指阀门使注射活塞（P型注塑机）或柱塞螺杆（RS型注塑机）承受低压后时刻，到低压油供应停止时刻之间的一段时间，以秒计。

保压时间需满足将多余的塑料挤压到模腔内（在注射时间内模具已被充满），来补偿模具内的塑料冷却收缩而引起的体积减小。

对于薄壁制品，除可能用来减轻浇口痕迹外，通常几乎不需要保压时间。

模拟注射 采用微处理机控制的机器，注射和保压压力可根据注射时间和（或）行程的变化进行选择。压力和速度能逐步降低或升高，或者按一适当的比例变化，从而“模拟”注射速率。

对于老式注塑机，注射时间和保压时间是不同的时间，只能单独调整各自的压力或时间。

冷却时间 通常仅指注射时间（或者注射保压时间）结束时刻，一直到模具开始打开时刻之间的一段时间，以秒计。（实际上，“冷却时间”同“循环时间”是同样的，原因是冷却剂一直在模具中流动，不论模具是在移动或停止，打开或关闭。）

顶出时间（以秒计）指在模具开始打开后将制品从模芯上推出（有时是从模腔推出），清洁成型面使模具能从新闭合而没有移出制品或任何制品引出装置干涉所需要的时间。

顶出时间在循环时间之内，顶出时间长将极大影响循环时间，因为顶出时间长将要求降低模具开启速度（空循环），即需要增加模具的

开启时间，或者延长成型周期中已有的开模状态时间。

理想情况是，顶出时间应该包含在模具打开过程时间之内，在模具再次开始合模时结束，不需要额外的开模状态时间。

有时候，可以将顶出时间延长到闭模过程时间以内，条件是制品和机械引出装置不影响模具闭合。如果这样做不安全，必须保证顶出时间控制在开模状态时间之内。

模具操作术语

注射量 指一次成型周期内所有模塑制品总量（质量）。（在冷流道模具内，注射质量指制品总量与流道内塑料总量之和。）通常原则是，注射量应该是所使用的注塑机注塑能力的 20%~80% 之间。

注射能力 指从注射活塞（P 型机）或者柱塞螺杆（RS 型机）注射的塑料所能达到的最大量。注射能力通常是指相对为 1.05 的聚苯乙烯（PS）的注射量，以盎司（oz）或克（g）计。其他塑料成型时，比重不同，应当除以 1.05 以获得相应的注射体积，然后再乘以该种塑料的比重。

缓冲量 调整 RS 机的顶出行程时，行程长度应大于充模所需的实际注射体积，多出大约 $3/8$ in（或 10mm）。这就是说当注射行程结束，模具充填完毕后，在机筒仍然留有少量的塑料，即“缓冲量”在挤出机螺杆处。与结晶性塑料相比，非结晶性塑料（丙烯酸类、PC、SAN 和 PS），由于它们收缩量很小，需要很少甚至不需要缓冲量。

需要缓冲量的原因是以下几方面。

- ① 作为保压储存器，补充收缩量。
- ② 为准备下次注射，螺杆在塑化期间向后缩时，很难正确控制螺杆停到精确位置。
- ③ 注射时，如果万一出现塑料从螺杆顶端的逆止阀漏回，缓冲量能保证有充足的塑料填充模具。在 P 型机注射系统内，注射活塞（决定注射体积）的注射行程控制良好，也不存在止逆阀，没有塑料渗漏并导致注射体积不足。

当模塑结晶性材料和（或）薄壁制品时，甚至 P 型机注射系统也

需要缓冲量将材料储存在注射活塞中，在保压期间充料。对于厚壁制品，是需要缓冲量的。

缺料模塑 调整注射系统的方法，使注射体积和模腔体积相等。这种方法仅适用于P型机，该机的注射体积可根据模具填充的需要进行精确控制。这种方法非常有利于不需保压时间的薄壁制品的成型。（塑料注射时，塑料快速填充模腔，并且浇口和壁部几乎同时凝固，这样保压压力不能够再往模腔内推进塑料。）

只要模腔未被充满，塑料对模腔壁施加的力就相对较小。模具充满以后，没有更多的塑料加入到模腔内，也就没有明显的与合模力的方向相反的试图打开模具的力。

这种方法的优点是，大投影面积的制品（薄壁）也可以通过相对较小吨位的合模来成型。另一个优点是与普通成型过程相比，模腔内的成型压力较小，因而带有细长模芯的模具可在模芯挠度最小的情况下充填。

需注意的是缺料模塑通常需要很熟练的作业技术，因而还不被模塑工普遍采用。

投影面积 (A) 指沿着合模力 F 方向制品和流道的总投影面积。在热流道模具内，只需考虑模腔的投影面积。对于三板式冷流道模具，计算必须的合模力时，投影面积包括制品的面积和流道的投影面积。在三板式模具内，流道和模腔处于不同平面内，这时计算所需合模力时应以流道系统和模腔两者中的最大一个投影面积为计算依据，而不是取两投影面积之和。

与合模力成直（或其他）角的投影面上的力通常由模壁强度承担。采用活动侧型芯时，在侧型芯投影面积上作用的塑料注射压力应当由模楔来支撑，模楔在模具闭合时将侧型芯锁紧定位，侧型芯驱动器一般不够大，自身不能抵抗注射压力。

合模力 (F) 是指将模具合在一起（合模）所需的力，该力使模腔内塑料的注射压力不能将模具打开，保证分型面不溢料。所需的合模力 F 的计算方法是将所有模腔（对于冷流道模具需外加流道的面积）的总投影面积乘以塑料在模腔内的额定注射压力 P ，即流经浇口后

的塑料压力。

合模力，拉杆伸长和预载 为保证模具在注射时不张开，必须用力将其合紧，该力为“预载”，比所需的合模力（ F ）要大。预载由注塑机的合模装置（直接液压，肘杆或液压-机械装置）产生。模具闭合时，模具半模在分型面上接触，此时模具半模上不受力，拉杆处于原始的未拉伸位置。

当合模装置施加全部压力时，预先接触的半模开始受压，迫使静压板与合模装置分开。抵消该运动的是将机器合模装置与静压板相连接的拉杆。拉杆因此被拉长，提供在注射时保持模具闭合的预载荷。

拉杆和拉杆伸长 拉杆伸长长度和合模力成比例。知道拉杆伸长长度和拉杆尺寸（直径和长度），容易计算出实际合模力（预载）。拉杆尺寸（直径）决定了机器的最大的可能合模力。为保证拉杆长寿命（疲劳寿命），应当使拉杆伸长在所选钢材的屈服点以下（少于10%）。

出现下列情况时应避免过大的合模力：

- ①模具分型面上的压缩力太高，可能破坏分型面；
- ②如果在大型机器上安装小型模具（通常不推荐采用），机器压板的安装面可能被金属之间过大的接触比压所破坏；
- ③拉杆不必要的过度伸长降低了拉杆疲劳寿命；
- ④拉杆过度伸长造成合模能量的浪费。

“厚壁”和“薄壁”制品 这种划分没有具体标准，是建立在经验基础上的。通常方法是根据 L/t 的比例划分，主要应用于具有或多或少均匀壁厚的容器类制品。

工作窗：工作窗是描述注塑机和模具的许可的工作范围设定（或调整）的术语，比如在不明显影响制品成型性、尺寸和质量的前提下，对温度（熔体和冷却），压力和循环时间等的范围设定。热流道系统的设计包括浇口的大小和位置。工作窗主要受模具设计的影响。

工作窗越大，模塑工越容易利用该模具制造出令人满意的制品。可以避免窄工作窗需要的，对工作设定进行昂贵的，冗长的且频繁的细微调整。同时也使模塑作业对稳定的电力供应（电压）和稳定的冷却水温的依赖程度减轻。

大工作窗使模塑工对所用塑料的质量范围及回收料的使用上有更多的自由。

成型条件（压力、合模力、控制器的尺寸和数量等）的限制多，模塑工只能选择某种类型和尺寸的注塑机。工作窗大，则这类限制少，从而使模塑工能在很大范围内，容易选择适合模具运行的注塑机。