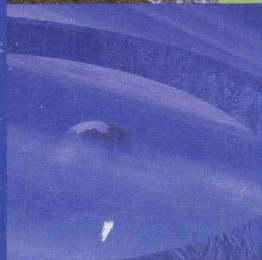




国际机械工程先进技术译丛

注射模具设计工程

Injection Mold Design
Engineering



(美) David O. Kazmer 著

王建 焦志伟 杨卫民 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际机械工程先进技术译丛

注射模具设计工程

[美] David O. Kazmer 著

王 建 焦志伟 杨卫民 邵珠娜 戴长军 周 星 刘 斐
肖 勇 肖 鑫 丁玉梅 译



机械工业出版社

本书详细介绍了注射模具的相关内容,包括模具费用评估和模具设计、型腔设计、流动与浇口设计、排气与冷却系统设计、推出系统设计、结构系统设计等相关技术。本书提供了许多重要模具工程概念方面的严谨分析和实例,有针对性地探究了注射模具工程的普遍问题。

本书可供产品设计人员、模具设计人员、从事塑料注射成型的操作人员使用,也可供高等院校相关专业的师生参考。

Injection mold design engineering/By David O. Kazmer/ISBN:

Copyright© 2007

Carl Hanser Verlag, Munich/FRG

All Rights reserved.

Authorized translation from the original German language edition published by Carl

Hanser Verlag,

Munich/FRG.

China Machine Press is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2009-1323

图书在版编目 (CIP) 数据

注射模具设计工程/ (美) 卡兹莫 (Kazmer, D. O.) 著; 王建等译. —北京: 机械工业出版社, 2013. 10

(国际机械工程先进技术译丛)

书名原文: Injection mold design engineering

ISBN 978-7-111-44119-9

I. ①注… II. ①卡…②王… III. ①注射—塑料模具—设计
IV. ①TQ320.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 223329 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 孔 劲 责任编辑: 孔 劲 吕 芳

版式设计: 霍永明 责任校对: 刘怡丹

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 张 楠

涿州市京南印刷厂印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 20.5 印张 · 460 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-44119-9

定价: 69.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

策划编辑 (010) 88379772

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

译 丛 序

一、机械工程高速发展

机械工程是以自然科学和技术科学为理论基础,结合在生产实践中积累的技术经验,研究和解决机械产品开发、设计、制造、安装、运用、修理及再制造等方面的全部理论和实际应用的学科。机械工程的学科内容包括:机械工程基础理论研究,机械产品开发、设计,机械产品的制造、装备、检验,机械产品的应用与维护,机械制造企业的经营和管理,机械产品的绿色生命周期等问题及技术措施。机械工程先进技术涉及设计、制造、应用、管理等相关环节的机械、电子、信息、材料、能源和管理科学等领域的先进技术。

20 世纪后期,特别是进入 21 世纪,计算机、信息技术在机械工程领域的广泛、深入应用,使机械工程技术高速发展。机械工程技术由线性到非线性、由静态到动态、由二维到三维的研究发展,为现代机械设计方法的研究、应用奠定了工程理论基础;虚拟技术、创新设计、绿色设计、并行工程等,为现代机械设计提供了技术基础;机床数控技术、工业机器人、柔性制造技术、传感技术、集成制造技术、自动检测及信号识别技术等,为机械制造工艺自动化提供了支撑技术;ERP(企业资源计划)、MES(制造管理信息系统)、CIMS(计算机集成制造系统)等,为机械制造企业的经营和管理提供了现代化的支撑平台;PLM(产品全生命周期管理)、IWM(废物管理一体化)、EMS(环境管理体系)等理念、技术的发展,已成为机械工程先进技术的重要组成部分。

机械工程先进技术是实现工业技术现代化重要的技术支撑之一。但是,机械工程先进技术的发展要受到自然条件、经济条件、社会条件、技术基础等的限制,我国作为发展中国家,在机械工程先进技术方面同工业发达国家还有很大差距。为了加快我国机械工程先进技术的发展进程,通过各种方式引进外国机械工程先进技术,是一条切实可行的发展之路。

二、图书交流传播知识

图书资料是一种传统、永恒、有效的学术、技术交流方式。早在 20 世纪初期,我国清代学者严复就翻译了英国学者赫胥黎所著的《天演论》,其后学者周建人翻译了英国学者达尔文所著的《物种起源》,对我国自然科学的发展起到了很大的推动作用。

图书是一种信息载体,图书是一个海洋,虽然现在已有网络通信、计算机等信

息传输和储存手段,但图书仍将以严谨性、系统性、广泛性、适应性、持久性和经济性而长期存在。纸质图书有更好的阅读优势,可满足不同层次读者的阅读习惯,同时它具有长期的参考价值和收藏价值。

近年来,国际间的交流与合作对机械工程技术领域的发展、技术进步及重大关键技术的突破起到了积极的促进作用,对机械工程技术领域科技人员及时了解国外相关技术领域的最新发展状况、取得的最新成果及应用情况等,发挥了积极作用。

机械工业出版社希望通过引进、翻译国外机械工程技术领域的先进技术图书,传播国外机械工程领域的先进技术,推动国内学者和技术人员对国外机械工程先进技术的引进、消化、吸收和创新发展,从而提升我国机械工程技术的自主创新能力,提高我国装备制造业的技术水平,加速实现我国工业的现代化。

三、精挑细选精雕细刻

为真正实现翻译国外机械工程技术领域先进技术图书、推动我国机械工程技术发展的战略目标,机械工业出版社将认真执行:

(1) 精挑细选 坚持从机械工程技术比较发达的国家、国外优秀出版社引进优秀技术图书,组成一套《国际机械工程先进技术译丛》。本套译丛将涵盖机械工程的基础理论研究,产品开发、设计、制造、运用、维修、再制造和资源、环保、信息、管理等相关学科。

(2) 精雕细刻 本套丛书的选书、翻译工作均由国内相关专业的专家、教授、工程技术人员把关,以充分保证图书内容的先进性、适用性和翻译质量。内容翻译力争达到信、达、雅,真正实现传播国际机械工程先进技术,服务于国内机械工程技术的发展。

(3) 精益求精 本套丛书作为我社的精品重点书,将统一封面装帧设计,在版式编排、内容编校、图书印制等方面追求高质量,把“精品”体现到书的整体中去,力求为读者奉献一套高品质的《国际机械工程先进技术译丛》。

四、衷心感谢不吝指教

首先要感谢广大积极热心支持出版《国际机械工程先进技术译丛》的专家学者,积极推荐国外相关优秀图书,仔细评审外文原版书,推荐翻译的知名专家;特别要感谢承担翻译工作的译者所付出的辛勤劳动;同时要感谢从事图书版权贸易的工作人员辛勤工作。

本套丛书希望能对广大读者的工作提供切实的帮助,欢迎广大读者不吝指教,提出宝贵意见和建议。

机械工业出版社《国际机械工程先进技术译丛》编委会

前 言

模具设计与其说是一个工程过程，不如说是一种技术贸易。通常，行业从业者共享标准的加工方法，互相学习加工技巧，制造出来的复杂模具往往超过客户的预期。

然而，在模具设计中，基本工程分析的不足经常导致模具设计失败或者需要大量的返工，生产的模具质量低劣或者成本效益比能实现得低。事实上，据估计，平均 50 个模具中就有 49 个在开始阶段就需要进行一些修改。很多时候，模具设计人员和最终的用户可能都不知道还有多少“盈利空间”。

书名中的“工程”一词意味着模具设计是一个有条理的分析过程。了解设计决策和模具性能之间因果关系的工程师，有能力在满足应用要求的基础之上做出更好、更明智的决策。拥有这种决策能力的工程师是竞争的推动者，其设计的定制模具比按标准方法加工的模具性能更优异。熟练的工程师还可避免因将决策委托给未必更能胜任的其他方面而花费的成本和时间。

本书主要面向紧密集成供应链中的专业工作人员，包括产品设计者、模具设计者和从事注射成型的操作人员，也可以作为教学用书。与大多数手册相比，本书提供了许多重要模具工程概念方面的严谨分析和详细讨论的实例，并有针对性地探究了注射模具工程普遍和基本的方面。

希望本书对所有读者都是易于理解并且有用的。欢迎您的反馈，以使本书有进一步的提高。

致以诚挚的感谢！

美国注册工程师，博士 David Kazmer

美国马萨诸塞州罗威

2007 年 6 月 1 日

目 录

译丛序

前言

第1章 绪论	1
1.1 注射成型过程概述	1
1.2 模具功能	3
1.3 模具结构	4
1.3.1 模具的外部视图	4
1.3.2 制品推出时的模具视图	5
1.3.3 模具断面和功能	6
1.4 其他常见的模具类型	8
1.4.1 三板、多腔集成模具	8
1.4.2 热流道、多浇口、单型腔模具	9
1.4.3 比较	10
1.5 模具开发过程	11
1.6 本章小结	12
第2章 塑料零件设计	13
2.1 产品开发过程	13
2.1.1 产品的定义	14
2.1.2 产品的设计	14
2.1.3 业务和生产的开发	14
2.1.4 放大和投产	14
2.1.5 模具设计的作用	15
2.2 设计要求	15
2.2.1 应用工程信息	15
2.2.2 生产数据	16
2.2.3 最终使用要求	17
2.2.4 产品设计方法	18
2.2.5 塑料材料特性	19
2.3 注射成型的设计	21
2.3.1 均匀壁厚	21

2.3.2 加强筋的设计	22
2.3.3 凸台的设计	22
2.3.4 拐角的设计	23
2.3.5 表面粗糙度和纹理	24
2.3.6 脱模斜度	25
2.3.7 倒陷	26
2.4 本章小结	27
第3章 模具费用评估	28
3.1 模具的报价过程	28
3.2 注射制品的成本驱动因素	29
3.2.1 产量的影响	30
3.2.2 收支平衡分析	31
3.3 模具成本评估	33
3.3.1 型腔成本评估	34
3.3.2 模架成本评估	40
3.3.3 模具定制成本评估	42
3.4 制品成本评估	45
3.4.1 单个制品的模具成本	45
3.4.2 单个制品的材料成本	46
3.4.3 单个制品的加工成本	47
3.4.4 单个制品的缺陷成本	49
3.5 本章小结	49
第4章 模具设计	51
4.1 分型面的设计	51
4.1.1 确定开模方向	51
4.1.2 确定分型线	53
4.1.3 分型面	53
4.1.4 流道	55
4.2 型腔和型芯的制造	56
4.2.1 高度尺寸	56
4.2.2 长度、宽度尺寸	57
4.2.3 调整	57
4.3 模具底板的选择	58
4.3.1 型腔的分布	58
4.3.2 模具底板的尺寸	60
4.3.3 注射成型机的兼容性	61

4.3.4 模具底板供应商	62
4.4 模具材料的选择	63
4.4.1 强度与热传递性	63
4.4.2 硬度与机械加工性能	63
4.4.3 模具制造商的成本与注射成型机的成本	65
4.4.4 材料汇总	66
4.5 本章小结	66
第5章 型腔填充分析与设计	68
5.1 概述	68
5.2 型腔填充分析的目的	68
5.2.1 完全填充模具型腔	68
5.2.2 避免不均匀填充或过保压	69
5.2.3 控制熔体流动	70
5.3 黏性流动	70
5.3.1 剪切应力、剪切速率、黏度	70
5.3.2 压力降	71
5.3.3 流变特性	71
5.3.4 牛顿模型	73
5.3.5 幂律模型	74
5.4 验证	75
5.5 型腔填充分析和设计	77
5.5.1 预测工艺条件	77
5.5.2 预测填充压力和最小壁厚	79
5.5.3 预测锁模力	81
5.5.4 预测填充形式	83
5.5.5 设计流动引导	84
5.6 本章小结	87
第6章 浇注系统设计	89
6.1 概述	89
6.2 浇注系统设计的目的	89
6.2.1 把聚合物熔体从机器传到型腔	89
6.2.2 产生最小压力降	90
6.2.3 消耗材料最少	90
6.2.4 控制流动速率	91
6.3 浇注系统的类型	92
6.3.1 两板式模具	92

6.3.2 三板式模具	94
6.3.3 热流道模具	98
6.4 浇注系统分析	100
6.4.1 确定流道系统的类型	101
6.4.2 确定流道系统的布局	101
6.4.3 预测压力降	104
6.4.4 计算流道体积	106
6.4.5 优化流道直径	106
6.4.6 平衡流量	108
6.4.7 预测流道冷却时间	111
6.4.8 预测滞留时间	112
6.5 实际问题	112
6.5.1 流道横截面	113
6.5.2 拉料杆	115
6.5.3 流道开关	116
6.5.4 标准流道尺寸	117
6.5.5 保险设计	117
6.6 本章小结	118
第7章 浇口设计	120
7.1 浇口设计的目的	120
7.1.1 连接流道与型腔	120
7.1.2 提供自断浇口	120
7.1.3 提供美观的断浇口	120
7.1.4 避免额外的剪切或压力降	120
7.1.5 控制保压时间	121
7.2 常见浇口设计	121
7.2.1 直浇口	121
7.2.2 点浇口	122
7.2.3 侧浇口	123
7.2.4 搭接浇口	123
7.2.5 扇形浇口	124
7.2.6 闸式/盘形浇口	125
7.2.7 隧道式/潜伏式浇口	126
7.2.8 热浇口	128
7.2.9 阀式浇口	130
7.3 浇口设计步骤	131
7.3.1 确定浇口类型	131

X 注射模具设计工程

7.3.2 计算剪切速率	131
7.3.3 计算压力降	133
7.3.4 计算浇口冻结时间	134
7.3.5 调整尺寸	135
7.4 本章小结	136
第8章 排气设计	137
8.1 排气设计的目的	137
8.1.1 释放压缩空气	137
8.1.2 避免塑料熔体溢出	137
8.1.3 维修最小化	137
8.2 排气分析	137
8.2.1 估算空气排除速率	138
8.2.2 确定排气孔数目和位置	138
8.2.3 确定排气孔尺寸	140
8.3 排气设计	142
8.3.1 分型面上的排气孔	142
8.3.2 推杆周围的排气孔	143
8.3.3 死角处的排气孔	144
8.4 本章小结	147
第9章 冷却系统设计	148
9.1 冷却系统设计的目的	148
9.1.1 最大传热率	148
9.1.2 保持壁温均匀	148
9.1.3 最小模具成本	148
9.1.4 最小体积和复杂性	149
9.1.5 最小应力和腐蚀	149
9.1.6 模具使用设施	149
9.2 冷却系统设计过程	149
9.2.1 计算所需冷却时间	149
9.2.2 预估所需传热速率	153
9.2.3 预估冷却介质的流动速度	154
9.2.4 预估冷却通道直径	155
9.2.5 选择冷却通道深度	157
9.2.6 选择冷却通道间距	158
9.2.7 冷却通道排布	160
9.3 冷却系统设计	163

9.3.1 冷却通道网络	163
9.3.2 冷却镶件	165
9.3.3 随形冷却	166
9.3.4 高热导率镶件	166
9.3.5 长芯的冷却	167
9.3.6 单边热流	170
9.4 本章小结	172
第10章 收缩和翘曲变形	174
10.1 收缩分析流程	175
10.1.1 估计工艺条件	175
10.1.2 压缩行为模型	176
10.1.3 估计体积收缩	177
10.1.4 估计各向同性线性收缩	179
10.1.5 估计各向异性收缩	180
10.1.6 评估收缩范围	181
10.1.7 建立最终的收缩推荐	182
10.2 收缩分析和验证	183
10.2.1 数值模拟	183
10.2.2 “保险柜”模具设计	184
10.2.3 工艺关系	186
10.2.4 半结晶塑料	187
10.2.5 填料的影响	187
10.3 翘曲	188
10.3.1 翘曲的原因	188
10.3.2 避免翘曲的措施	190
10.4 本章小结	191
第11章 推出系统设计	193
11.1 推出系统设计目标	195
11.1.1 开模	195
11.1.2 传递给制品的推出力	195
11.1.3 制品扭曲最小	196
11.1.4 驱动快速可靠	196
11.1.5 冷却干扰最小	196
11.1.6 制品表面影响最小化	196
11.1.7 复杂性和成本最小化	197
11.2 推出系统设计流程	197

11.2.1	确定模具分型面	197
11.2.2	估算推出力	197
11.2.3	确定推出面积和周长	200
11.2.4	明确推出部件的类型、数量和尺寸	201
11.2.5	推出部件的排布	202
11.2.6	具体的推出部件和相关部件	205
11.3	推出系统分析和设计	206
11.3.1	推杆	206
11.3.2	扁推杆	207
11.3.3	推管	209
11.3.4	推件板	210
11.3.5	围绕倒陷的弹性变形	211
11.3.6	抽芯	213
11.3.7	滑块	216
11.3.8	先行推出回退系统	218
11.3.9	高级推出系统	219
11.4	本章小结	219
第 12 章	结构系统设计	221
12.1	模具设计的目的	221
12.1.1	应力最小化	222
12.1.2	模具变形最小化	225
12.1.3	模具外形尺寸最小化	226
12.2	板的分析与设计	226
12.2.1	板的压缩	226
12.2.2	板的弯曲	228
12.2.3	支承柱	231
12.2.4	侧壁中的剪切应力	234
12.2.5	互锁	236
12.2.6	应力集中	238
12.3	型芯的分析与设计	241
12.3.1	轴向压缩	241
12.3.2	环向应力	242
12.3.3	型芯变形	243
12.4	紧固件	244
12.4.1	配合	245
12.4.2	内六角圆柱头螺钉	247
12.4.3	定位销	249

12.5 本章小结	250
第13章 模具技术	252
13.1 引言	252
13.2 共注射成型模具	253
13.2.1 共注射成型工艺	253
13.2.2 共注射成型模具设计	254
13.2.3 气体/水辅助成型	255
13.3 镶件注射成型模具	257
13.3.1 低压力模压成型	257
13.3.2 镶件注射成型模具的壁面温控	258
13.3.3 失芯注射成型	259
13.4 注吹成型模具	261
13.4.1 注吹成型	261
13.4.2 多层注吹成型	262
13.5 多重注射成型模具	264
13.5.1 多次成型	264
13.5.2 退型芯注射成型	265
13.5.3 多工位注射成型模具	267
13.6 浇注系统	268
13.6.1 绝热流道	268
13.6.2 叠层模具	269
13.6.3 分支流道	270
13.6.4 熔体动态控制	272
13.7 模具壁温控制	274
13.7.1 脉冲冷却	274
13.7.2 传导加热	276
13.7.3 电磁感应加热	277
13.7.4 传热管理	278
13.8 模内贴标	279
13.8.1 静电膜	280
13.8.2 牵引膜	281
13.9 推出	282
13.9.1 分瓣型腔模具	282
13.9.2 可拆卸型芯	283
13.9.3 旋转型芯	285
13.9.4 反向推出	287
13.10 本章小结	287

附录	289
附录 A 塑料性能	289
附录 B 模具材料性能	295
附录 C 冷却剂性能	297
附录 D 劳动力统计数据	297
附录 E 单位换算	301
附录 F 高级推导——熔化速率推导	302
术语	304
参考文献	310

第 1 章 绪 论

注射成型是一个奇妙的过程，可以经济地制造极其复杂的高精度零件。然而，在任何零件成型之前，必须设计、制造和定制一个合适的注射模具。注射模具本身就是一个非常复杂的系统，它由多个组件构成，承受温度和压力的周期性变化。

工程师必须量体裁衣式地设计注射模具，这意味着，应以最低的成本生产质量最好的模具零件，同时使得开发所需的时间和成本也最少。据此，本章将进行如下叙述：首先，概述注射成型的过程，以便模具设计工程师在设计模具时可以估计模具的工作状况；其次，展示几种常见的模具设计的布局 and 组件，本书假定，模具设计工程师熟悉注射成型工艺及其模具的基本结构和功能；最后，对模具工程设计的方法进行讨论。

1.1 注射成型过程概述

图 1.1 所示为一台正在工作的注射成型机。注射成型被称为近成型制造工艺，因为它迫使聚合物熔体进入一个空的型腔，然后冷却得到最终所需的形状。

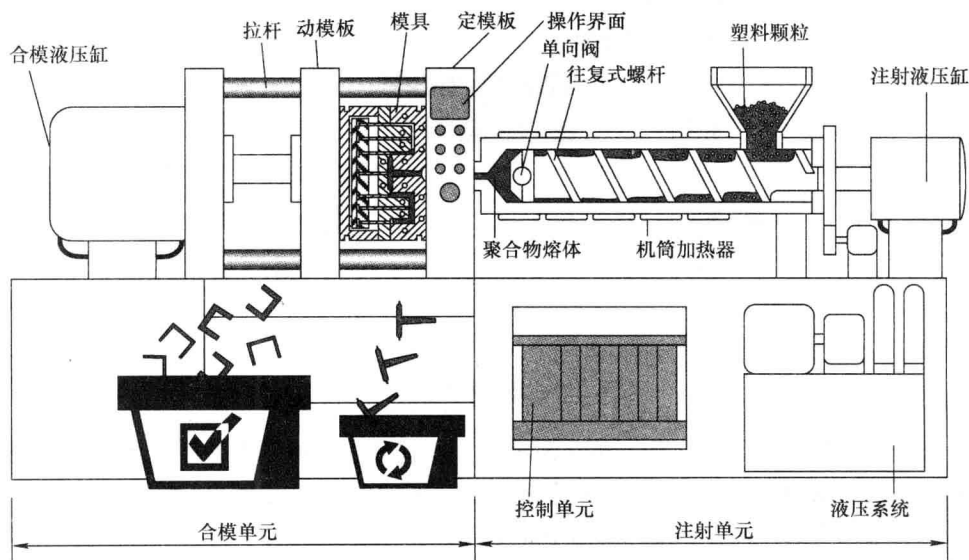


图 1.1 注射成型过程示意图

然而不同的成型工艺在设计和操作上有很大的不同，大多数注射成型工艺一般包括塑化、注射、保压、冷却和模具复位阶段。塑化阶段，在机筒加热和内部螺杆旋转使分子变形引起的内部黏性发热的联合作用下，聚合物由固体颗粒塑化成熔体。填充阶段，聚合物熔体被强制从注射成型机机筒中挤出并注入模具中。树脂熔体通过浇注系统和浇口进入一个或多个型腔，最终形成一个或多个制品。

聚合物熔体充满型腔后，在保压阶段提供额外的材料进入型腔填补由于塑料熔体冷却收缩而产生的空间。塑料的体积收缩率随材料的性质和使用要求的变化而变化，但通常在保压阶段，注塑机强制使得 1% ~ 10% 的额外熔体进入型腔。聚合物熔体停止流动之后，冷却阶段为型腔中的树脂固化和形成推出所需的足够的刚性提供了额外的时间。然后在模具复位阶段，注射成型机驱动必需的抽芯、滑块和推杆动作以打开模具并取出制品。

图 1.2 所示为成型约 2mm 厚的零件所需的大致时间。充模时间只占成型周期的一小部分，所以通常通过减小注射压力和模内应力进行优化。保压时间是中等长度的，往往通过对浇口处冻结的聚合物熔体注射量的稳定性研究来缩短。在一般情况下，冷却阶段决定着整个成型周期的时间，这是因为聚合物熔体的热导率低，使得从聚合物熔体到较冷的模具钢的热传导速率受到限制。然而，当需要大的塑化量而塑化速率低时，塑化所需的时间就可能比冷却时间长。模具复位时间也是很重要的，需要最小化，因为它对注射制品也有很小的附加值。为了缩短成型周期和降低成本，模具设计者在使开模和推出行程最小化的同时实现操作过程的全自动化。

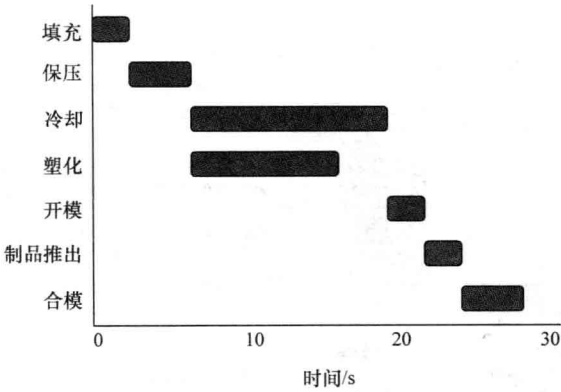


图 1.2 注射过程的时间顺序

不同的注射成型工艺（如气辅注射成型、水辅注射成型、镶件注射成型、双注射成型、共注射成型、注射挤压成型以及第 13 章中介绍的其他成型工艺）被用于生产具有不同性能的重要产品，但是风险的增加限制了生产商的数量。

无论如何，一般的成型过程是类似的，都包括注射、冷却和制品的推出，这些不同工艺的成本估计和模具设计也很相似。模具设计与成型工艺的显著差异将在稍后讨论。