

Plastic Part Design For Injection Molding

塑料注塑制件设计

[美] 罗伯特 A.马洛伊 著



化学工业出版社

塑料注塑制件设计

Plastic Part Design for Injection Molding

[美] 罗伯特 A. 马洛伊 著

赵树高 等译

化学工业出版社

·北京·

(京)新登字 039 号

图字: 01-98-1854 号

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料注塑制件设计 / [美] 罗伯特 A. 马洛伊 (Malloy, R. A.) 著; 赵树高等译.
北京: 化学工业出版社, 2000.4
ISBN 7-5025-2680-3

I. 塑… II. ①罗…②马…③赵… III. 注塑-塑料模具-设计 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 48866 号

塑料注塑制件设计

[美] 罗伯特 A. 马洛伊 著

赵树高 等译

责任编辑: 宋向雁

责任校对: 马燕珠

封面设计: 蒋艳君

*

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)

http: //www. cip. com. cn

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 15 字数 393 千字

2000 年 4 月第 1 版 2000 年 4 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—2000

ISBN 7-5025-2680-3/TQ·1179

定 价: 30.00 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 言

塑料工程师协会 (SPE) 十分荣幸地资助出版 Robert A. Malloy 博士的《塑料注塑制件设计》一书。鉴于 Malloy 博士在麻省洛厄尔大学的工作及其长期以来对本协会注塑部的贡献, 由他来对这一现代课题作出权威性的著述完全当之无愧。本书体现了作者的写作风格以及对该课题的渊博学识, 适于在职工程师、高年级大学生及研究生阅读。

长期以来, SPE 通过其技术专著委员会资助出版各种有关塑料和聚合物领域的著作。这个委员会工作涉及面很广, 从所需著作的甄选到吸纳新作者等等都要负责, 尽管如此, 他们始终坚持这样一条原则, 即对原稿进行严格审定以确保书中的技术内容准确无误。

无论是出版著作还是组织学术会议或技术培训, SPE 的所有活动均以学术为本。另外, 本协会还出版《塑料工程》、《聚合物科学与工程》、《乙烯技术杂志》和《聚合物复合材料》四种期刊以及有关的会议论文集和其他一些精选出版物, 所有这些都要经过同样严格的专业技术审查程序。

SPE 拥有 25000 多名在职工程师作为会员, 是全球规模最大的塑料工程师协会。本协会联系地址: 康涅狄格州布鲁克菲尔德中心费尔菲尔德路 14 号, 邮政编码: 06805 (14Fairfield Drive, Brookfield Center, Connecticut 16805)。

(美国) 塑料工程师协会
执行主席 Eugene De Michele

前 言

注塑成型是生产塑料制品最常用的制造方法之一。采用这种方法既可以生产小巧的电子器件和医疗用品，也可以生产大型的汽车配件或建筑构件。鉴于塑料材料技术和注塑成型加工技术这两方面的不断进步，塑料注塑加工行业得以持续发展。

令人遗憾的是，塑料制品的形状及其模塑过程往往十分复杂，这就使塑料注塑制件的设计成为一项非常困难的工作。而且，针对那些加工方法可能与以往不同的新型塑料，即使是经验丰富的设计人员，工作起来也并非轻而易举。实际上，要把一个塑料制品设计得既实用又美观，而且还要便于制造，其难度相当大。在制件设计过程中，需要对有关的各种因素进行一系列的权衡折中，才能满足上述各项基本要求。本书所述的并行设计技术（concurrent engineering practices）就是用以开发各种塑料注塑制件的理想技术。

在为设计课程选择教材的过程中，作者深感有必要写一本专著来论述各种塑料制品的设计方法。本书将塑料制品设计与塑料材料的选用恰当地融为一体，并配以数百幅原始图表来阐明各有关要点。书中详细论述了工艺设计（design for manufacturability）问题，其中着重论述了注塑过程的各个阶段对制件设计的要求。关于成型加工中常见的问题，例如熔合线、制件翘曲和顶出困难等问题，及其可能的解决办法也是本书的内容之一。此外，还论及塑料材料的特性和结构设计的基本原理以及塑料制品的样模问题。本书最后一章则概括地介绍了各种塑料注塑制件的装配方法。

这是一本插图丰富的设计参考书，也是一本入门性的设计指南，适于塑料制品设计人员阅读。在设计一件塑料注塑制品时，有许多各种各样的问题必须加以考虑，希望本书能对这些问题给出一个全面的概括。

在本书的参考文献部分列出了作者的许多朋友、学生、同事和一些公司的名字，正是他们的工作奠定了这本教科书的基础，在此谨向他们表示感谢。特别感谢 Garrett Gardener 对本书提出了宝贵的评阅意见和指正。还要感谢 Carl Hanser 出版公司的员工，特别是 E. Immergut 博士，他在整个出书过程中不断给予鼓励并始终表现出极大的耐心，还有 Martha Kurzl，她在本书成书阶段也给予了诸多帮助。当然，作者首先要感谢自己的家人，感谢夫人 Ellen 和孩子们在本书原稿的写作期间作出了种种牺牲。

Robert Malloy
Londonderry, New Hampshire
1994 年，春

译者序

制件设计是塑料工程领域中基本的关键技术之一。若无完美的设计方案作为依托,即使有了高性能的材料和现代化的设备也难以制造出理想的制品。然而,在我国塑料工业飞速发展的同时,制件设计技术的开发和应用却相对滞后,甚至迄今为止尚无系统的专著对此加以完整的论述。鉴于此,将 Malloy 博士的《塑料注塑制件设计》一书译成中文献给广大中国读者,可以说是适得其时。

本书以注塑过程的各个阶段对制件设计的特殊要求为基点,将制件设计与塑料材料的选择相结合,系统论述了注塑制件设计的基本原理和方法。同时对于样模设计、成型过程中常见的质量问题及其相应的对策以及制件的连接装配等相关内容也分别加以详细讨论。书中采用大量的原始图表为依据,数据丰富,内容翔实,重点明确,条理清楚,不失为一本实用性较强的塑料制件设计指南和很有价值的专业教学参考书。

本书前言、序言和第一章由赵树高翻译,第二章由杜爱华翻译,第三章由周琼翻译,第四章由郭守学翻译,第五章由范汝良翻译,第六章由杨宗芳翻译。全书译稿由赵树高统一校阅。书中专用名词均参照科学出版社和化学工业出版社出版的有关词典译出。限于译者水平,错漏之处难免,敬请各界读者指正。

译者

一九九九年九月

于青岛化工学院

内 容 提 要

本书是一部论述塑料制件设计方法的专著。书中详细讨论了注塑过程对制件设计的种种要求，分别阐述了注塑制件的材料选择原理、结构设计要点、样模设计方法、实验应力分析以及此类制件的连接组装技术等，同时对于注塑成型过程中常见的质量问题也提出了可能的解决方法。

本书内容翔实、数据丰富、条理清楚，既是一本很有价值的塑料制品实用设计指南，也是一本合适的专业教学参考书。可供塑料工程领域的专业技术人员、高年级大学生和研究生阅读。

目 录

1 绪论	1
1.1 热塑性塑料	1
1.2 热固性塑料	3
1.3 结构和性能的关系	3
1.4 塑料添加剂	8
1.5 塑料的通性	9
参考文献	14
2 注塑制件的制造工艺要点	15
2.1 概述	15
2.2 充模因素	16
2.2.1 浇口因素	16
2.2.2 充模取向	20
2.2.3 充模压力损失	28
2.2.4 导流器、节流器与滞流	41
2.3 熔合线	49
2.3.1 引言	49
2.3.2 熔合线类型	53
2.3.3 材料因素	55
2.3.4 改善熔接性能和表观质量	59
2.4 注塑成型制件的收缩和翘曲	66
2.4.1 引言	66
2.4.2 制件壁厚的变化	66
2.4.3 聚合物的压力-体积-温度相关性	71
2.4.4 线性模塑收缩率	74
2.4.5 各向异性收缩和制件扭曲/翘曲	77
2.5 冷却和固化	88
2.6 制件顶出	91

2.6.1	引言	91
2.6.2	斜度	92
2.6.3	型腔和型芯表面光洁度的影响	97
2.6.4	美学因素	101
2.6.5	倒角和孔洞	103
2.6.6	制件顶出力的预测	109
2.7	其他注塑成型工艺	113
2.7.1	气体辅助注塑成型	113
2.7.2	结构泡沫塑料成型	120
2.7.3	共注塑成型	126
2.7.4	注塑-压缩成型	129
	参考文献	130
3	设计过程与材料选择	134
3.1	概述	134
3.2	塑料制件的设计过程	137
3.3	与塑料性能相关的设计测试标准	143
3.4	塑料的机械性能	146
3.4.1	引言	146
3.4.2	短期应力-应变行为	147
3.4.3	长期力学性能——蠕变	155
3.4.4	长期力学性能——应力松弛	164
3.5	塑料的抗冲性能	167
3.6	疲劳特性	171
3.7	塑料的热传导	172
3.7.1	热机械性能	172
3.7.2	载荷作用下的热变形温度和维卡软化温度	175
3.7.3	热膨胀系数	176
3.7.4	高温老化性能	178
3.7.5	可燃性	178
3.8	熔体的流变性能	179
3.9	塑料性能数据的来源	180
3.10	用注塑样品评价材料	184
3.11	标准化塑料材料设计	186

参考文献	188
4 结构设计问题	189
4.1 概述	189
4.2 设计方法论	189
4.2.1 用经验方法设计	190
4.2.2 用实验方法设计	190
4.2.3 用分析方法设计	191
4.3 设计问题的量化	195
4.3.1 制件几何结构的简化	195
4.3.2 应力集中	197
4.3.3 支撑的类型	200
4.3.4 受载条件	202
4.3.5 塑料材料的性能	205
4.3.6 安全系数	213
4.4 梁	217
4.4.1 引言	217
4.4.2 平面区域(梁横断面)的特性	219
4.4.3 应用加强肋提高刚性	226
4.4.4 非均质材料/结构的转动惯量	234
4.4.5 简支梁分析	236
4.5 板	250
4.5.1 引言	250
4.5.2 样板问题	252
4.5.3 厚度不均匀的板	260
4.6 壳/压力容器	262
4.6.1 引言	262
4.6.2 薄壁压力容器	263
4.6.3 厚壁压力容器	266
4.7 扭曲	267
4.7.1 引言	267
4.7.2 圆杆的扭曲	267
4.7.3 非圆形杆的扭曲	271
4.8 柱	273

4.9 动载荷	275
4.9.1 引言	275
4.9.1 疲劳载荷	275
4.9.3 冲击载荷	281
参考文献	283
5 样模设计和实验应力分析	285
5.1 塑料制件的样模设计	285
5.1.1 引言	285
5.1.2 塑料样模的机加工和二次加工	286
5.1.3 快速样模制造技术	291
5.1.4 用样模制件模拟产品的外观质量	301
5.1.5 样模制件浇铸技术	304
5.1.6 样模的注塑加工	309
5.1.7 低压结构泡沫塑料样模	318
5.1.8 坐标测量仪器	320
5.2 实验应力分析	321
5.2.1 引言	321
5.2.2 脆性涂层	322
5.2.3 应变仪	323
5.2.4 溶剂/化学测试	328
5.2.5 光弹性测试	330
5.2.6 光学应变测试技术	331
参考文献	332
6 注塑成型塑料制件的组装	335
6.1 概述	335
6.2 压配组装	338
6.2.1 引言	338
6.2.2 材料因素	339
6.2.3 压配组件的设计	341
6.3 搭配组装	346
6.3.1 引言	346
6.3.2 搭配接头的类型	347
6.3.3 模塑悬臂搭配	356

6.3.4 搭配接头的设计	360
6.4 机械紧固件	366
6.4.1 引言	366
6.4.2 螺钉	367
6.5 热塑性塑料的焊接	410
6.5.1 引言	410
6.5.2 超声焊接	412
6.5.3 振动焊接	430
6.5.4 旋转焊接	433
6.5.5 电磁焊接	436
6.5.6 接触（电阻）焊	438
6.5.7 热板焊接	439
6.5.8 热气焊接	441
6.5.9 挤出焊接	443
6.6 粘接	444
6.6.1 引言	444
6.6.2 粘接理论	447
6.6.3 黏合剂选择	455
6.7 溶剂粘接	458
参考文献	459

1 绪 论

毫无疑问，塑料最重要的总体特征就是用途广泛。大多数塑料是由可形成高相对分子质量聚合物的单体聚合而成的合成材料。根据化学性质的不同，这些高相对分子质量聚物被划分为热塑性塑料和热固性塑料两种类型^[1~6]。

1.1 热塑性塑料

采用注塑成型加工的塑料大都是热塑性塑料。热塑性塑料属于线性或接枝聚合物，这类聚合物在加热时“变软”，遇冷则“重新固化”。热塑性塑料的种类和品级很多，性能各异，其中既有刚性材料，也有弹性体。热塑性塑料的加工过程在理论上为仅发生诸如相变的物理过程，因此这类材料应该很容易加以重复再生利用。然而在实际加工过程中由于常常发生某些轻微的化学变化，这就可能使第二代再生塑料的性能与初次所用的新塑料不尽相同。图 1.1 为热塑性循环的原理。

热塑性塑料有好几种不同的分类方法，其中之一是根据聚合物链的构象即形态不同，将其划分为无定型热塑性塑料、半结晶热塑性塑料和液晶热塑性塑料三种类型。

(1) 无定型热塑性塑料 无定型热塑性塑料系由无规构象的大分子

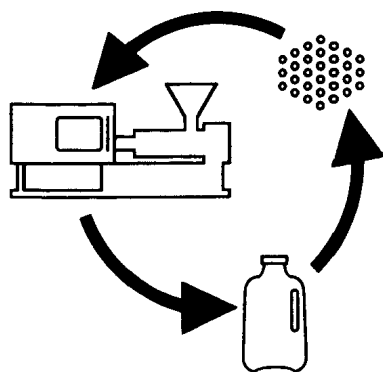


图 1.1 热塑性循环的原理

子组成，如图 1.2 所示。这类材料受热时（例如在成型机的塑化筒中），内部相互缠结的分子链运动性增强，于是发生链的解缠结和滑移，导致材料逐渐软化，最终变得可以流动。随着分子链间距增大，

分子间的相互作用即分子间的相互吸引力随之减小，分子运动水平不断提高，导致材料更易流动，直至完全熔融，然后通过充模而定型，进而又被冷却，此时由于其分子链运动性的降低，被成型的塑料又获得了刚性。像聚苯乙烯（PS）、聚碳酸酯（PC）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）等聚合物皆属于无定型热塑性塑料。

（2）半结晶热塑性塑料 某些热塑性塑料分子的化学结构本身具有足够的规整性和柔顺性，从而能够形成有序排列。当这类聚合物从熔融状态冷却时，其中的有序区域就形成结晶，若重新加热，结晶部分在该聚合物熔融之前保持不变。在熔体（即熔融）状态下，此类聚合物的分子呈现无定形即无规构象。应该注意的是，结晶热塑性塑料

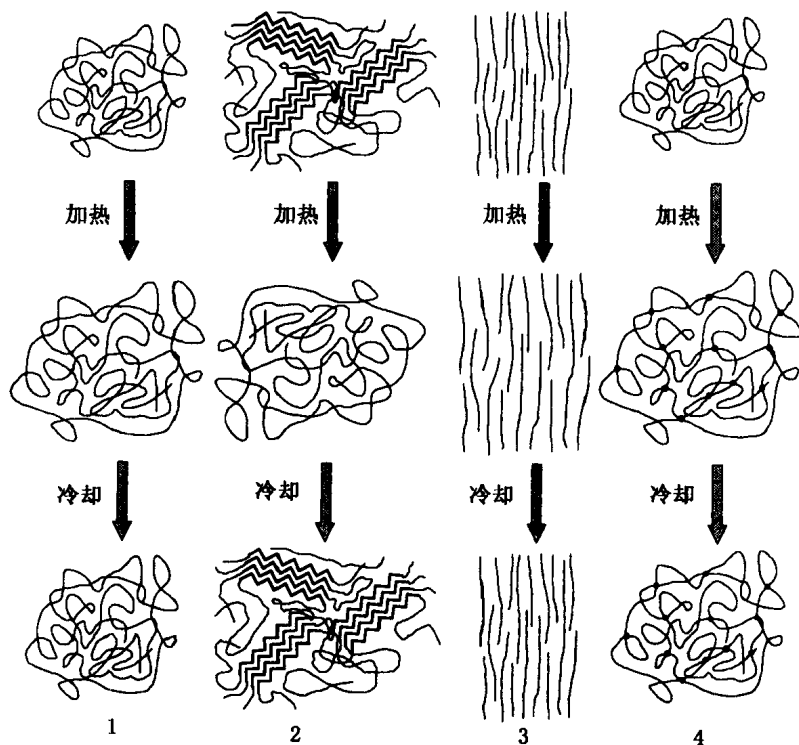


图 1.2 塑料分类

1—无定型聚合物；2—半结晶聚合物；3—液晶聚合物；4—热固性聚合物

更确切的名称是“半结晶”热塑性塑料，因为它们既包含结晶区又包含无定型区，如图 1.2 所示。

材料内部结晶区和无定型区的相对百分含量为“结晶度”。半结晶热塑性塑料的结晶度不仅受材料化学结构影响，同时也受成型加工条件的影响，其中首先是熔体冷却速度的影响。加工过程中降低冷却速度通常会提高结晶度。聚乙烯（PE）、聚丙烯（PP）和聚酰胺（尼龙）等都是半结晶热塑性塑料。

（3）液晶热塑性塑料 与半结晶热塑性塑料一样，液晶热塑性塑料（LCPs）在固态时分子链呈微区式有序排列。不过，与传统的半结晶热塑性塑料不同，液晶热塑性塑料在液态时依然呈现有序而不是无规的分子排列方式。这些聚合物的独特之处就在于含有棒状的刚性分子并形成平行排列，即微区结构。它们的加工性能和使用性能具有一系列长处，例如低熔融黏度、低模塑收缩率、较高的耐化学品性、理想的刚性、抗蠕变性和总体尺寸稳定性等等^[2]。

1.2 热固性塑料

热固性塑料是一些能在加工过程中通过不可逆的化学反应形成大分子链交联网络的聚合物，如图 1.2 所示。和热塑性塑料不同，热固性塑料不能直接再生利用。由于热固性塑料在成型时发生化学反应，一系列与过程变量有关的附加反应也会参与加工过程。热固性塑料总体说来也许不易加工，因而需要专门的成型设备和工艺，不过它们具有许多卓越的性能。例如热固性聚合物特有的分子链交联网络使其具有出色的抗蠕变性、尺寸稳定性和耐化学药品等性能。尽管如此，加工困难而且不能再生利用终究限制了热固性塑料在众多场合下的应用。常用的热固性塑料有酚醛树脂、环氧树脂和不饱和聚酯等，许多弹性体材料也属于热固性聚合物。

1.3 结构和性能的关系

一种塑料材料的性质完全可以通过调整配方来满足几乎任何特定制品的使用要求。塑料的品级和配方不同，材料性能也相应不同。其

原因之一是材料本身的化学结构互有差异，二是物料配方中包含的添加剂不同。各种塑料材料的化学结构在如下诸方面存在差别：

- 重复单元的结构；
- 均聚物或共聚物；
- 平均相对分子质量；
- 相对分子质量分布；
- 线型、接枝或交联链结构。

改变上述化学结构中的任何一项都会影响塑性材料的性能。例如，聚碳酸酯和聚苯乙烯属于完全不同的两种塑料，就因为它们的分子链由完全不同的两种重复单元所构成。聚合物分子链中的重复单元类似一条锁链中的“环”，如图 1.3 所示，就像所用的环不同则链条强度也不同一样，重复单元不同的聚合物其性能自然互不相同。

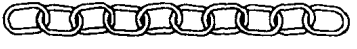
聚合物	重复单元	模拟链
聚丙烯均聚物	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	
线型 聚乙烯均聚物	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ -\text{C}-\text{C}- \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	
乙烯/丙烯共聚物	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \\ -\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{C}- \\ \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \quad \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array}$	

图 1.3 聚合物分子链的重复单元

许多塑料材料的分子链是由一种以上的重复单元构成的，所以被称为共聚物。例如，聚苯乙烯-丙烯腈（SAN）就是一种共聚物，这种材料的性质与聚苯乙烯有很大的差异。如果改变 SAN 的共聚结构和相对分子质量特性，其性能就会发生变化。事实上，聚合物化学结构的变化是无穷无尽的，借此可赋予塑料材料各种各样的使用性能。

聚合物分子的链长和链节结构都会影响其使用性能和加工性能。因此，塑料生产厂商可以通过改变聚合工艺来生产具有特定相对分子