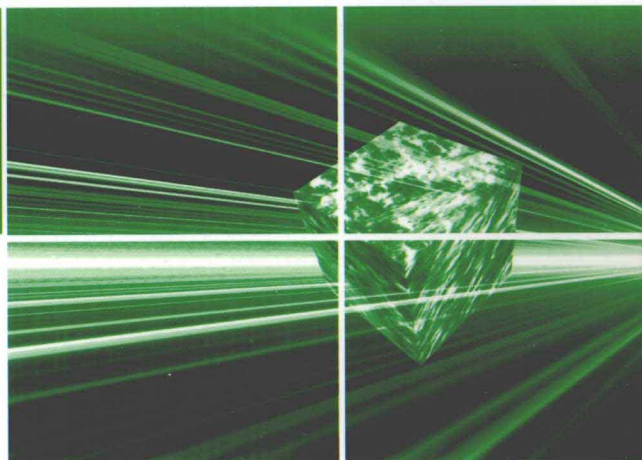


普通高等教育“十二五”规划教材



塑料成型工艺与 模具设计

杨永顺 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十二五”规划教材

塑料成型工艺与模具设计

主 编 杨永顺
副主编 游晓红 池成忠 郭俊卿
参 编 (按姓氏笔画排序)
许映秋 李 超 杨 茜
陈国清 黄立宇 虞跨海
主 审 石连升 陈拂晓



机械工业出版社

本书共分为上、中、下三篇：上篇主要介绍塑料成型基础，为学习塑料成型工艺提供基本知识；中篇重点介绍注射成型工艺与模具设计；下篇主要介绍其他塑料成型工艺与模具设计。

本书可作为材料成形及控制工程专业本科生教材，也可作为本科机械类以及高职高专相关专业的教材，还可供从事塑料成型工艺及模具设计的工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料成型工艺与模具设计/杨永顺主编. —北京：机械工业出版社，2011. 8

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-35100-9

I. ①塑… II. ①杨… III. ①塑料成型—工艺—高等学校—教材②塑料模具—设计—高等学校—教材 IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 117957 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：冯春生 责任编辑：冯春生 程足芬

版式设计：霍永明 责任校对：李秋荣

封面设计：张 静 责任印制：乔 宇

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2011 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 24 印张 · 594 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-35100-9

定价：45.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

塑料种类繁多，性能优良，日益受到人们的青睐，塑料制品在诸如建材、包装、机械、电子、仪器仪表、汽车、家电、石化等行业得到广泛应用，与人们生活更是密不可分。目前，塑料成型理论的研究不断深入，成型技术不断完善，新的成型工艺不断涌现，塑料模具技术不断提高，产值产量逐年快速增长，在各类模具中的地位更显突出。塑料行业的快速发展，对塑料成型技术及其模具制造水平提出了更高的要求。

根据普通高等学校的人才培养目标，结合塑料模具行业的实际情况与需要，按照中国机械工业教育协会塑性成形学科教学分委员会 2009 年工作会议精神，编写了《塑料成型工艺与模具设计》一书。本书重点讲述了注射成型的基本原理和普通注射成型模具的结构、原理与设计方法，同时对其他注射成型工艺和较常用的压缩成型、压注成型、挤出成型、气动成型等塑料成型工艺作了较详细的介绍。本书力求重点突出、概念清楚，重视基本理论的掌握和实际技能的培养，并注重对塑料模具成型新技术和有关国家标准的介绍。

本书共分为上、中、下三篇：上篇主要介绍塑料成型基础，为学习塑料成型工艺提供基本知识；中篇重点介绍注射成型工艺与模具设计；下篇主要介绍其他塑料成型工艺与模具设计。

本书第 1 章、第 4 章、第 6 章、第 11 章由河南科技大学杨永顺编写；第 2 章由东南大学许映秋编写；第 3 章、第 17 章由太原科技大学黄立宇编写；第 5 章、第 10 章由河南科技大学杨茜编写；第 7 章、第 16 章由太原科技大学游晓红编写；第 8 章、第 9 章由河南科技大学虞跨海编写；第 12 章、第 14 章、第 15 章由河南科技大学郭俊卿编写；第 13 章由太原理工大学池成忠编写；第 18 章由哈尔滨理工大学李超编写；第 19 章、第 20 章由大连理工大学陈国清编写。全书由杨永顺任主编，游晓红、池成忠、郭俊卿任副主编，哈尔滨理工大学石连升和河南科技大学陈拂晓任本书的主审。

由于编者理论水平和经验有限，书中难免有错误和不当之处，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 绪论..... 1

- 1.1 塑料与塑料制品..... 1
- 1.2 塑料成型技术的发展..... 2
- 1.3 塑料成型模具及发展趋势..... 3
 - 1.3.1 塑料模具在塑料成型中的重要性... 3

1.3.2 我国塑料模具水平..... 4

1.3.3 塑料模具的发展趋势..... 4

1.4 学习本课程的目的及方法..... 5

1.4.1 学习本课程的目的与基本要求..... 6

1.4.2 本课程的学习方法..... 6

上篇 塑料成型基础

第2章 塑料成型理论基础..... 7

- 2.1 聚合物大分子结构及加工性能..... 7
 - 2.1.1 聚合物结构特征..... 7
 - 2.1.2 聚合物材料的力学状态与加工性能..... 9
- 2.2 聚合物在成型过程中的物理化学变化..... 12
 - 2.2.1 聚合物的结晶..... 12
 - 2.2.2 聚合物的取向..... 14
 - 2.2.3 聚合物的降解..... 15
 - 2.2.4 聚合物的交联..... 16

习题..... 17

第3章 成型物料..... 18

- 3.1 成型物料的组成及分类..... 18
 - 3.1.1 塑料的组成..... 18

3.1.2 塑料的分类..... 19

3.2 塑料的工艺性能..... 19

3.2.1 收缩性..... 19

3.2.2 流动性..... 20

3.2.3 相容性..... 21

3.2.4 吸湿性..... 22

3.2.5 热敏性..... 22

3.2.6 结晶性..... 22

3.2.7 硬化特性..... 22

3.2.8 比体积和压缩率..... 22

3.2.9 水分及挥发物含量..... 23

3.3 常用塑料..... 23

3.3.1 热塑性塑料..... 23

3.3.2 热固性塑料..... 27

习题..... 27

中篇 注射成型工艺与模具设计

第4章 注射成型工艺..... 28

- 4.1 注射成型原理、特点及应用..... 28
 - 4.1.1 注射成型原理..... 28
 - 4.1.2 注射成型的特点及应用..... 28

4.2 注射机与注射成型系统..... 29

4.2.1 注射机的分类..... 29

4.2.2 注射机规格及主要技术参数..... 31

4.2.3 注射机的注射系统..... 32

4.2.4 注射机的合模系统	33	6.3.4 最大行程的校核	80
4.3 注射成型工艺	33	6.3.5 推出装置的校核	81
4.3.1 注射成型的生产工艺流程	33	习题	81
4.3.2 注射成型工艺参数	36	第7章 浇注系统与排气系统设计	83
习题	41	7.1 浇注系统的组成及其作用	83
第5章 注射成型制品结构及工艺性	43	7.1.1 浇注系统的类型、组成及作用	83
5.1 塑料制品的选材	43	7.1.2 浇注系统的设计原则	84
5.2 塑件尺寸及其精度	45	7.2 浇注系统的布置	85
5.2.1 塑件的尺寸	45	7.2.1 平衡式浇注系统	85
5.2.2 塑件的精度	45	7.2.2 非平衡式浇注系统	86
5.2.3 塑件的表面质量	48	7.3 主流道设计	86
5.2.4 塑件的表面形态	49	7.3.1 直浇口式主流道的设计	87
5.3 塑件的结构工艺性设计	49	7.3.2 横浇口式主流道的设计	89
5.3.1 壁厚(包括使用形状和艺术 形状)	49	7.4 分流道设计	90
5.3.2 脱模斜度	51	7.4.1 分流道的形状与尺寸	90
5.3.3 加强筋	52	7.4.2 分流道的设计原则	93
5.3.4 增强结构	53	7.5 浇口设计	93
5.3.5 支承面	55	7.5.1 浇口的作用	93
5.3.6 圆角	55	7.5.2 常用的浇口形式	93
5.3.7 孔	56	7.5.3 浇口形式和尺寸的选择	101
5.3.8 侧凹和侧孔	59	7.5.4 浇口位置的选择	101
5.4 塑件的使用功能设计	60	7.5.5 浇口对流程比的影响	106
5.4.1 螺纹设计	60	7.5.6 浇口的平衡	107
5.4.2 嵌件设计	61	7.6 冷料穴的设计	108
5.4.3 凸凹纹设计	65	7.6.1 冷料穴的结构类型	108
5.4.4 铰链设计	65	7.6.2 冷料穴的选择	110
5.4.5 标识设计	66	7.7 排气系统设计	111
习题	67	7.7.1 排气结构的作用	111
第6章 注射模设计概论	68	7.7.2 注射模的排气方式	111
6.1 注射模的基本结构	68	7.7.3 排气槽的形状	112
6.1.1 注射模的结构组成	68	7.7.4 排气结构设计要点	113
6.1.2 注射模的分类	69	习题	113
6.2 注射模的分型面选择	72	第8章 成型零件设计	114
6.2.1 分型面的形式	72	8.1 成型零件的结构	114
6.2.2 选择分型面的原则	73	8.1.1 凹模的结构形式	114
6.2.3 分型面宽度的确定	76	8.1.2 型芯的结构形式	116
6.3 注射模与注射机的选配关系	76	8.1.3 螺纹型芯和螺纹型环的结构 设计	117
6.3.1 型腔数量的确定	76	8.2 成型零件工作尺寸的计算	120
6.3.2 注射压力的校核	77	8.2.1 工作尺寸分类及有关规定的	120
6.3.3 安装部分相关尺寸的校核	78	8.2.2 塑料制品的尺寸误差及控制	120

8.2.3 成型零件工作尺寸的计算	123	10.5.2 定模脱模机构的拉力装置	175
8.3 主要模具零件的强度与刚度设计	136	10.6 双脱模机构	175
8.3.1 凹模的强度与刚度设计	136	10.7 顺序脱模机构	176
8.3.2 型芯的强度与刚度设计	142	10.8 二次脱模机构	179
8.3.3 动模支承板厚度设计	144	10.8.1 气动和液动二次脱模机构	179
习题	145	10.8.2 单推板二次脱模机构	180
第9章 基本结构零件设计及标准模架	146	10.8.3 双推板二次脱模机构	183
9.1 合模导向机构设计	146	10.9 转动脱模机构	186
9.1.1 导向机构的作用与基本要求	146	10.9.1 斜齿轮塑件的脱模机构	186
9.1.2 导柱导向机构	146	10.9.2 螺纹塑件的脱模机构	187
9.1.3 锥面与斜面定位机构	150	10.10 流道凝料的脱模机构	191
9.2 支承固定零件设计	151	10.10.1 单个点浇口流道凝料的脱模机构	191
9.2.1 固定板设计	151	10.10.2 多个点浇口流道凝料的脱模机构	192
9.2.2 支承板设计	152	10.10.3 潜伏浇口流道凝料的脱模机构	194
9.2.3 垫块设计	152	习题	196
9.2.4 模座板设计	152	第11章 侧向分型与抽芯机构设计	197
9.3 塑料模具的标准化及标准模架的选用	153	11.1 侧向抽芯机构分类	197
9.3.1 塑料模具的标准化	153	11.1.1 手动侧向抽芯机构	197
9.3.2 塑料注射模具零件的标准	153	11.1.2 液压气动侧向抽芯机构	198
9.3.3 注射模标准模架	154	11.1.3 机动侧向抽芯机构	198
习题	163	11.2 斜导柱式侧向抽芯机构	198
第10章 脱模机构设计	164	11.2.1 斜导柱式侧向抽芯机构设计	198
10.1 脱模机构概述	164	11.2.2 斜导柱式侧向抽芯机构的应用形式	205
10.1.1 脱模机构的组成	164	11.3 弯销式侧向抽芯机构	212
10.1.2 脱模机构的分类	164	11.3.1 弯销的结构特点	212
10.1.3 推出机构的设计原则	165	11.3.2 弯销在模具上的安装方式	213
10.2 脱模力的计算	165	11.4 斜槽导板式侧向抽芯机构	214
10.2.1 影响脱模力的因素	165	11.4.1 斜槽导板式侧向抽芯机构的原理	214
10.2.2 脱模力的计算方法	166	11.4.2 斜槽导板的结构	215
10.3 推出零件尺寸的确定	167	11.5 斜滑块式抽芯机构	215
10.3.1 推件板厚度的确定	167	11.5.1 斜滑块式侧向抽芯机构的工作原理及其类型	215
10.3.2 推杆直径的确定	167	11.5.2 斜滑块的组合与导滑形式	216
10.4 简单脱模机构	168	11.5.3 斜滑块侧向抽芯机构设计要点	217
10.4.1 常见脱模机构的类型	168	11.6 斜推杆式侧向抽芯机构	218
10.4.2 利用成型零件的脱模机构	174		
10.4.3 多元联合脱模机构	174		
10.5 定模脱模机构	174		
10.5.1 定模脱模方法	174		

11.6.1 斜推杆的导滑形式	218	13.3 注射模具材料的选用	247
11.6.2 斜推杆的设计要点	219	13.3.1 成型零件材料选用	247
11.7 摆杆侧向抽芯机构	220	13.3.2 非成型零件材料选用	247
11.7.1 摆杆侧向抽芯机构的形式	220	习题	250
11.7.2 摆杆侧向抽芯机构的设计 要点	221	第14章 注射模设计实例	251
11.8 齿轮齿条式侧向抽芯机构	221	14.1 注射模设计程序	251
11.8.1 传动齿条固定在定模一侧	221	14.1.1 设计前应明确的事项	251
11.8.2 传动齿条固定在动模一侧	223	14.1.2 模具结构设计的一般步骤	252
11.9 弹性元件侧抽芯机构	224	14.2 注射模设计实例	253
习题	224	14.2.1 塑料制品及材料	253
第12章 温度调节系统设计	226	14.2.2 模具结构设计及计算	254
12.1 模具温度调节系统的作用	226	14.2.3 模具装配图设计	262
12.1.1 模具温度调节对塑件质量的 影响	226	习题	262
12.1.2 模具温度调节对生产效率的 影响	226	第15章 其他注射成型工艺	263
12.1.3 模具温度调节方法	227	15.1 热塑性塑料无流道注射成型	263
12.2 冷却系统的计算	227	15.1.1 无流道注射成型工艺	263
12.2.1 需要用冷却水带走模具热量	227	15.1.2 绝热流道注射模	264
12.2.2 冷却水流量计算	229	15.1.3 热流道注射模	267
12.2.3 水道直径的确定	229	15.2 低发泡注射成型	270
12.2.4 热传导面积与冷却水道长度 计算	230	15.2.1 低发泡注射成型方法	270
12.3 冷却系统的设计原则与常见 结构	230	15.2.2 低发泡注射成型工艺条件	272
12.3.1 冷却系统的设计原则	230	15.2.3 低发泡注射模设计要点	273
12.3.2 常见冷却系统的结构	232	15.3 热固性塑料注射成型	276
12.4 模具加热系统	235	15.3.1 热固性塑料注射成型原理	276
12.4.1 电加热的方式	235	15.3.2 热固性塑料注射成型工艺 条件	277
12.4.2 电加热装置的功率计算	235	15.3.3 热固性注射模设计	278
习题	236	15.3.4 热固性塑料的冷流道注射模	282
第13章 注射模材料的选用	238	15.4 特种注射成型	284
13.1 注射模的工作条件和失效 形式	238	15.4.1 排气注射成型	284
13.1.1 注射模的工作条件	238	15.4.2 反应注射成型	285
13.1.2 注射模的失效形式	238	15.4.3 流动注射成型	285
13.2 注射模具材料	239	15.4.4 动力熔融注射成型	286
13.2.1 注射模对材料的要求	239	15.4.5 共注射成型	287
13.2.2 常用塑料注射模具钢	241	15.5 注射成型新工艺	287
13.2.3 注射模具新材料	243	15.5.1 气体(水)辅助注射成型	288
		15.5.2 模具滑动注射成型	288
		15.5.3 熔芯注射成型	288
		15.5.4 受控低压注射成型	289
		15.5.5 注射-压缩成型	289
		15.5.6 剪切控制取向注射成型	290
		15.5.7 推拉注射成型	290

15.5.8 层状注射成型	291	习题	292
15.5.9 微孔发泡注射成型	291		

下篇 其他塑料成型工艺与模具设计

第16章 压缩成型工艺与模具设计	293	18.3 棒材挤出成型机头设计	325
16.1 压缩成型原理、特点及应用	293	18.3.1 棒材机头	325
16.1.1 压缩成型原理	293	18.3.2 棒材定型套	326
16.1.2 压缩成型的特点及应用	294	18.4 吹塑薄膜机头	326
16.2 压缩成型工艺	294	18.4.1 薄膜吹塑原理	326
16.2.1 压缩成型的生产工艺过程	294	18.4.2 薄膜吹塑机头几何参数	327
16.2.2 压缩成型工艺参数	296	18.5 板片材挤出成型机头设计	327
16.3 压缩模设计基础	298	18.5.1 鱼尾式机头	328
16.3.1 压缩模的结构组成	298	18.5.2 支管式机头	328
16.3.2 压缩模的分类	298	18.5.3 螺杆式机头	329
16.4 成型零件设计	301	18.6 异型材挤出成型机头	330
16.4.1 施压方向的确定	301	18.6.1 板式机头	330
16.4.2 成型零件结构组成及作用	303	18.6.2 流线型机头	330
16.4.3 凸模与凹模配合形式及尺寸	305	18.7 电线电缆挤出成型机头	331
16.4.4 加料腔的尺寸设计	306	18.7.1 挤压式包覆机头	331
习题	307	18.7.2 套管式包覆机头	331
第17章 压注成型工艺与模具设计	308	习题	332
17.1 压注成型工艺	308	第19章 气动成型工艺与模具设计	333
17.1.1 压注成型原理与特点	308	19.1 中空吹塑成型工艺及模具设计	333
17.1.2 压注成型工艺参数	309	19.1.1 中空吹塑成型原理及工艺	333
17.2 压注模设计基础	309	19.1.2 中空吹塑成型工艺参数	335
17.2.1 压注模的类型	309	19.1.3 吹塑模具结构设计	336
17.2.2 压注模的结构组成	311	19.2 盒形制品的气动成型	338
17.3 成型零件设计	312	19.2.1 真空成型	339
17.3.1 加料器设计	312	19.2.2 压缩空气成型	341
17.3.2 柱塞设计	314	习题	342
17.3.3 加料器与柱塞的配合	315	第20章 特殊塑料成型工艺	343
17.3.4 浇注系统设计	316	20.1 层压成型	343
17.3.5 溢流槽和排气槽设计	318	20.1.1 高压成型	343
习题	318	20.1.2 低压成型	344
第18章 挤出成型工艺与模具设计	319	20.2 铸塑成型	344
18.1 挤出成型工艺	319	20.2.1 静态浇铸成型	344
18.1.1 挤出成型原理	319	20.2.2 离心浇铸成型	345
18.1.2 挤出成型工艺参数	319	20.3 搪塑和浸涂成型	346
18.2 管材挤出模具设计	321	20.3.1 搪塑	346
18.2.1 管材成型机头	321	20.3.2 浸涂	346
18.2.2 管材定径模	324	20.3.3 粉末浸涂	347

20.4 旋转成型	347	附录 F SZ 系列注射机的主要技术 参数	358
20.5 烧结成型	348	附录 G 常用塑料注射成型工艺 参数	359
20.6 缠绕成型与喷射成型	348	附录 H 塑料的缺陷及产生原因	362
20.7 流延成型	349	附录 I 塑料模具材料	363
习题	350	附录 I-1 塑料模零件常用材料及热 处理	363
附录	351	附录 I-2 按塑料品种选用模具钢	365
附录 A 常用塑料中、英文名词对 照表	351	附录 I-3 按制品产量选用模具钢	366
附录 B 热塑性塑料的某些性能	355	附录 J 部分国产注射机的合模机构 与装模尺寸	366
附录 C 常用塑料的近似密度	356	参考文献	372
附录 D 常用热塑性塑料的软 化与熔融范围	356		
附录 E 常用塑料的收缩率	357		

第 1 章 绪 论

作为三大合成材料之一的塑料自问世以来发展迅猛，其应用领域逐步扩大，已代替部分金属、木材、水泥、皮革、玻璃、陶瓷、石料、漆器等，被广泛地应用于农业、建材、包装、机械、电子、汽车、家电、石化和国防，乃至人们的日常生活等各个领域，成为现代人类活动的重要原材料之一。塑料成型理论的研究不断深入，成型技术不断完善，新的成型工艺不断涌现，塑料模具技术不断提高，产值产量逐年快速增长，塑料模具在各类模具中的地位更显突出。

1.1 塑料与塑料制品

塑料是以高聚物（树脂）为主要组分，在其制造或加工过程中的某一阶段能流动成型或聚合成型，并在常温下保持形状不变的固体材料。塑料作为新兴材料经过近一个世纪的发展，到目前为止，已投入工业化生产的树脂有几百种，而且每年都有新的树脂出现。塑料成型制品是以塑料为原料经成型加工而获得的制品，又称塑料制品或塑件。塑料制品已获得广泛应用，如各种受力不大的壳体、支架、机座、结构件、连接件、装饰件等；建筑用各种管材、板材和门窗异型材等；塑料中空容器、包装材料和各种生活用塑料制品等。塑料制品的应用日趋广泛是因为它们自身具有诸多优良性能。

(1) 密度小 其密度大多在 $1.0 \sim 1.4\text{g/cm}^3$ 之间，约为钢铁材料密度的 $1/6$ 。同一制品，用塑料替代钢材，其质量要轻得多。因此，塑料特别适合制造轻巧的日用品和家用电器零件。目前，塑料已从代替部分金属、木材、皮革及无机材料发展成为国民经济各行业不可缺少的重要材料之一。

(2) 比强度（强度与密度之比）高 在承担相同载荷条件下，所需零件的重量小。由于塑料的密度小，所以其比强度比较高。例如，一般 40Cr 钢的拉伸比强度约 160，而用玻璃纤维增强的塑料的拉伸比强度可达 $170 \sim 400$ 。因此，纤维增强的塑料已用于一些负载较大的结构零件，且比例越来越大。

(3) 耐化学腐蚀能力强 对酸、碱、盐等化学物质均有良好的耐腐蚀能力。其中聚四氟乙烯的塑料化学性能最稳定，超过了所有已知的金属材料（包括金与铂）。硬聚氯乙烯塑料可以耐质量分数达 90% 的浓硫酸和各种浓度的盐酸及碱液，广泛用于制造管道、密封圈和容器。

(4) 绝缘性能好，介电损耗低 可以与陶瓷和橡胶媲美，许多电器用的插头、插座、开关、手柄等，都是用塑料制成的。除用作绝缘外，现已开发出半导体塑料、导电导磁塑料等，对电子工业的发展更具有独特的意义。

(5) 隔热隔声性能好 广泛用作绝热保温材料以及隔声吸声材料。

(6) 减摩耐磨性能好 大多数塑料都具有良好的减摩和耐磨性能,可以在水、油或带有腐蚀性的液体中工作,也可以在半干摩擦或者完全干摩擦的条件下工作,这是一般金属零件无法比拟的。因此,现代工业中已有许多齿轮、轴承和密封圈等机械零件开始采用塑料制造,甚至出现了使用塑料制造的自润滑轴承。

(7) 抗振减振性能好 聚合物大分子的柔韧性和弹性使塑料具有良好的减振性能,因而使塑料成为现代工业中抗振减振性能极好的材料,不仅可以用于高速运转机械,还可以用作汽车中的一些结构零部件(如保险杠和内装饰板)等,国外一些轿车已经开始采用碳纤维增强塑料制造板弹簧。目前,大部分电器产品也基本采用泡沫塑料作为减振包装材料。

(8) 光学性能好 不加填充剂的非结晶塑料大都可以制成透光性良好的制品,折光率较高,并且具有很好的光泽。如有机玻璃、聚苯乙烯、聚碳酸酯等都可制成品莹透明的制品,这些塑料已广泛用来制造玻璃罩壳、透明薄膜以及光导纤维材料。

(9) 多种防护性能 塑料除具有良好的耐腐蚀性、绝缘性、抗振性外,还具有防水、防潮、防辐射等多种防护性能,广泛用于制造食品、化工、航天、原子能工业的包装材料和防护材料。

塑料具有以上诸多优点和广泛用途,但也存在着一些难以克服的缺点,使其在应用中受到一定限制。一般塑料的刚性差,如尼龙的弹性模量仅为钢铁的 $1/100$;塑料的耐热性差,长时间工作的温度一般在 100°C 以下,即使被称为耐高温塑料的聚酰亚胺和聚四氟乙烯等,能够连续工作的最高温度也不超过 250°C ;塑料在低温下性脆易开裂;塑料的导热系数只有金属的 $1/200 \sim 1/600$,对散热不利;若在一定载荷的长期作用下,即使温度不高,塑料也会渐渐产生塑性流动,即产生“蠕变”现象;塑料易燃烧,在光和热的作用下性能容易变差,发生老化现象。所以,在选择塑料时要注意扬长避短。在成型加工生产中,塑料还具有加热时线膨胀系数大、冷却后成型收缩率大等工艺问题,使得制品的精度不易控制,塑料制品的使用范围也受到一定限制。

1.2 塑料成型技术的发展

1. 塑料制品成型方法分类

塑料制品生产是根据塑料性能,利用各种成型加工手段,使其成为具有一定形状和使用价值的物件或定型材料。

塑料制品生产主要包括成型、机械加工、修饰和装配四道工序。成型加工是将各种形态的塑料制成所需形状的制品或型坯的过程。塑料制品成型后,可以直接使用或与其他件装配组合后使用,亦可通过机械加工、修饰加工等后处理工艺提高其使用性能和品质。塑料制品的生产过程与常用成型方法如图 1-1 所示。

2. 塑料成型技术的发展

随着工业产品塑料化趋势的不断增强,新型材料的不断出现,塑料制品应用范围的不断扩大,对塑料制品在数量、质量、精度等方面的要求也越来越高,并促使塑料成型技术不断向前发展。

(1) 塑料成型理论的深入研究 加深对塑料成型过程中所发生的物理、化学变化和力学行为的认识,借以改进生产技术、方法和设备。到目前为止,有关挤出成型的流动理论和数

学模型已经基本建立，并且在生产中得到应用。有关注射成型的流动理论和数学模型尚在探讨，注射成型的塑料熔体在一维和二维简单型腔中的流动理论和数学模型已经解决，今后的工作是如何将理论和生产实际相结合，并进一步加强对塑料熔体在三维型腔中流动行为的研究。

(2) 塑料加热塑化技术研究 目前，电阻加热与螺杆输送塑化依然是塑料熔融塑化最主要的方式，但近几年已有新的塑料熔融塑化技术出现。电磁动态塑化理论与技术已问世，电磁感应加热技术也正为越来越多的挤出、注射

加工与设备制造企业所接受。最近，市场上又出现多种新的熔融塑化技术，如超声波熔融塑化、多螺杆挤出技术等。特别是超切变塑化挤出技术，采用基于正应力作用的输运机理，由泵来实现其物料的输送，期间物料完全在正应力的作用下被研磨、压实、排气和塑化。完全抛弃了传统螺杆挤出机基于剪切和摩擦的运输和塑化机理，挤出特性硬，且物料在挤出机中的停留时间更均一，减小了物料的热历程差异。

(3) 改革创新成型工艺 随着塑料制品应用的日益广泛，人们对其精度、形状、功能、生产效率、成本等提出了更高的要求，传统的成型工艺已难以满足这种要求。为满足不同应用领域的需求，涌现了许多新的塑料成型工艺方法，如多种塑料共注射成型、无流道注射成型、热固性塑料注射成型、反应注射成型、高光无痕迹注射成型、气体（水）辅助注射成型、模具滑动注射成型、熔芯注射成型、受控低压注射成型、剪切控制取向注射成型、推-拉注射成型、层状注射成型、低发泡注射成型、微孔发泡注射成型等；塑料挤出膨胀成型新技术、多层共挤出中空塑料成型技术、不同塑料共挤出成型技术；注射-压缩成型、多种工艺复合模塑成型、发泡塑料制品的注射和挤出成型技术等。

目前塑料成型技术正朝着精密化、微型化、超大型化和自动化生产的方向发展。精密注射成型可将塑件的尺寸公差控制在 $1 \sim 10 \mu\text{m}$ 以内，以满足电子、仪器仪表的需要。在微成型制件方面，德国已研制出注射量只有 0.1g 的微型注射机，可生产 0.05g 左右的微型塑件。在超大型注射成型方面，目前法国已拥有注射量为 170kg 的超大型注射机，锁模力为 150MN ；美国和日本已分别生产出注射量为 100kg 和 96kg 的超大型注射机。国产注射机（海天公司）的注射量已达 65kg ，锁模力为 50MN 。

1.3 塑料成型模具及发展趋势

1.3.1 塑料模具在塑料成型中的重要性

模具成型因其生产效率高、产品质量好、材料消耗少、生产成本低而获得广泛应用。统计表明，利用模具制造的零件数量，在飞机、汽车、摩托车、拖拉机、电机、电器、仪器仪表等机电产品中占 80% 以上；在计算机、电视机、摄像机、照相机、录像机等电子产品中占 85% 以上；在电冰箱、洗衣机、空调、电风扇、自行车、手表等轻工业产品中占 90% 以

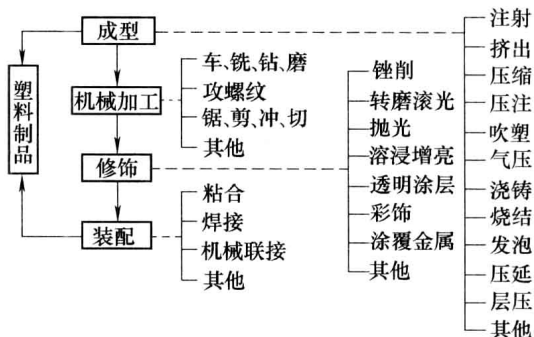


图 1-1 塑料制品的生产过程
与常用成型方法

上；在子弹、枪支等兵器产品中占 95% 以上。

模具是最重要的工业生产手段和工艺发展方向，模具生产的工艺水平及科技含量的高低，在很大程度上决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力，已成为衡量一个国家科技与产品制造水平的重要标志，决定着一个国家制造业的国际竞争力。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”；日本称模具工业为“进入富裕社会的原动力”；德国给模具工业冠以“金属加工业中的帝王”称号；欧盟一些国家称“模具就是黄金”；新加坡把模具工业作为“磁力工业”；中国则称“模具是印钞机”。可见模具工业在世界各国经济发展中所具有的重要地位。目前，美国、日本、德国等发达国家的模具总产值都已超过机床总产值。模具技术的进步极大地促进了工业产品的发展，模具是“效益放大器”，用模具生产的最终产品的价值将超过模具自身价格的几十倍乃至上百倍、上千倍。

塑料成型模具是成型塑料制品的主要工艺装备之一。成型模具使塑料获得一定的形状和所需性能，对达到塑料加工工艺要求、使用要求和造型设计要求起着重要作用。在塑料加工行业中约有 95% 的产品靠模具生产，产品的更新也都是以工艺的改进和模具的更新为前提的。

1.3.2 我国塑料模具水平

近年来，我国塑料模具水平已有较大提高，已能生产重达 50t 以上的注射模；精密塑料模的精度已达到 $3\mu\text{m}$ ，并已能生产精度为 $0.5\mu\text{m}$ 的小模数齿轮模具及高光学要求的车灯模具等；多腔塑料模已能生产 7800 腔的塑封模；挤出模已能生产 $4\text{m}/\text{min}$ 以上挤出速度的塑料异型材高速挤出模及主型材双腔共挤、双色共挤、硬软共挤、后共挤、再生料共挤和低发泡钢塑共挤等各种模具。在生产手段上，模具企业设备数控化已有较大程度提高，CAD/CAE/CAM 技术的应用面甚为扩大，高速加工及 RP/RT 等先进技术的采用已越来越多。模具标准件使用覆盖率及模具商品化率都已有较大幅度的提高，热流道模具的比例也有较大提高。三资企业的蓬勃发展进一步促进了模具设计制造水平和企业管理水平的提高。

1.3.3 塑料模具的发展趋势

(1) 发展模具新结构、新材料和新工艺 重点开发精密、复杂、大型、微型、高效、长寿命模具，以满足塑料制品精密化、微型化和大型化的要求；发展多腔、多层、多工位模具及多功能模具、组合模具。

随着注射机注射速度与压力的提高，以及增强塑料的广泛应用和添加剂的不断增多，模具寿命已成为一个突出的问题，必须从模具材料及表面处理技术入手发展长寿命模具。

为了提高模具制造精度缩短制造周期，在模具型腔加工中广泛应用高精度、高效率、自动化机床，如仿形、数控、电加工机床和三坐标测量仪等精密测量设备。此外，对精密铸造、冷挤压、超塑成形、电铸等型腔加工工艺应大力研究和推广应用，还应发展光能、声能和超声波等加工方法，如快速制造技术等，为现代模具制造提供新的工艺方法和加工途径。

(2) 加强电子计算机在模具设计制造中的应用 塑料流变学、几何造型技术、数控加工以及计算机技术突飞猛进，为塑料模具 CAD/CAE/CAM 系统的开发创造了条件。目前，国内外已陆续推出一些相应的软件系统并已在生产中获得应用，其内容涉及注射产品造型、模具设计、绘图到数控加工数据的生成，并预测成型工艺及模具结构等相关参数的正确性。例

如,采用熔体流动模拟软件考查塑料熔体在模具型腔内的流动过程,以此改进流道系统的设计,提高一次试模的成功率;采用应力分析软件预测塑件出模后的变形或翘曲程度。

模具 CAD/CAE/CAM/PDM 正向集成化、3D 化、智能化、网络化和信息化方向发展。

模具软件功能集成化要求软件的功能模块比较齐全,同时各功能模块采用同一数据模型,以实现信息的综合管理与共享,从而支持模具设计、制造、装配、检验、测试及生产管理的全过程,达到实现最佳效益的目的。

传统的 2D 模具结构设计已越来越不适应现代化和集成化技术要求。模具设计、分析、制造的 3D 化、无纸化,要求新一代模具软件以立体的、直观的感觉来设计模具,所采用的 3D 数字化模型能方便地用于产品结构的 CAE 分析、模具可制造性评价和数控加工,成型过程模拟及信息的管理与共享。基于知识、面向制造的智能化功能是衡量模具软件先进性和实用性的重要标志之一。

随着模具在企业竞争、合作、生产和管理等方面的全球化、国际化,以及计算机软硬件技术的迅速发展,网络化技术发展使得虚拟设计、敏捷制造技术在模具行业应用既有必要,也有可能。

随着信息化时代的来临,产品更新速度将越来越快,同时产品订单、客户输入信息的维护必须通过网络信息化实现,模具设计数据将以产品项目文件夹的形式进行管理,产品图形及技术资料通过系统进行审批流程,快捷高速的信息化时代将带领模具进入新时代。

(3) 加速模具零部件标准化和专业化 模具标准件是模具的重要组成部分,是模具制造的基础。它对缩短模具设计制造周期、降低模具生产成本、提高模具质量都具有十分重要的技术经济意义。模具标准件的专业化生产和商品化供应,极大地促进了模具工业的发展。据国外资料介绍,广泛应用标准件可缩短设计制造周期达 25% ~ 40%;可节约社会工时,减少原材料及能源的浪费;可为模具 CAD/CAM 等现代技术的应用奠定基础;可显著提高模具的制造精度和使用性能,通常采用专业化生产的标准件比自制标准件其配合精度和位置精度至少能提高一个数量级,并可保证互换性,延长模具的使用寿命,进而促进行业内部经济体制、经营机制以及产业结构和生产管理方面的改革,实现专业化和规模化生产,并带动模具标准件商品市场的形成与发展。可以说没有模具标准件的专业化和商品化,就没有模具工业的现代化。

目前美国和日本模具标准化程度和应用水平已达 70% ~ 90%,而我国不足 30%,因此,必须加速进行这方面的工作。

1.4 学习本课程的目的及方法

塑料成型技术的飞速发展,模具结构的日趋多功能化和复杂化,对模具设计工作提出了更高的要求。合格的塑料制品首先取决于模具的设计与制造的质量,其次取决于合理的成型工艺。工业发达国家把模具作为机械制造的重要装备,投入大量的财力物力进行开发和研制。近年来,我国也十分重视模具工业的发展和模具人才的培养,各类相关高校相继成立模具专业,“塑料成型工艺与模具设计”被列为主要专业课程之一。

1.4.1 学习本课程的目的与基本要求

本课程介绍常用塑料的成型工艺特性、注射成型工艺；重点介绍注射成型模具的工作原理、基本结构及各组成部分的作用与设计方法；同时跟踪本学科的发展，简要介绍先进的注射成型工艺和塑料的其他成型工艺。

本课程是模具设计与制造专业的主要专业课之一，通过学习本课程，应能达到以下几方面要求：

- 1) 了解当前塑料工业的现状和发展趋势。
- 2) 了解聚合物的物理性能、流动特性及成型过程中的物理、化学变化；了解塑料的组成、分类及其性能特点。
- 3) 熟悉常用塑料的成型工艺特性，注射成型的基本原理、工艺特点；正确分析成型工艺对模具的要求。
- 4) 重点掌握注射成型模具的工作原理、基本结构及模具零部件的设计计算方法。
- 5) 了解其他常用的塑料成型工艺的基本原理及工艺特点。
- 6) 熟悉注射成型模具的设计程序，具有独立设计中等复杂程度注射模的能力。

1.4.2 本课程的学习方法

本课程是一门综合应用基础知识和专业知识的课程，与有机化学、机械制图、公差配合、金属材料及热处理、模具制造工艺学、塑料原料、塑料成型设备等课程关系紧密，学习时应及时复习相关课程的知识。

本课程也是一门实践性很强的课程，除了应重视相关工艺原理和结构原理外，应特别注意理论联系实际，配合必要的现场教学、实验、认识实习和生产实习等教学环节，增加感性认识，进一步加深对理论知识的理解。

学习时，应注意提高注射模的设计能力。通过课程设计和毕业设计，使理论课学习向工程设计过渡，最好采用真题真做的形式，提高对基础理论的掌握及解决实际问题的能力。学习时还要注意了解塑料模具的新技术、新工艺和新材料的发展动态，为提高我国塑料成型模具水平作出贡献。

上篇 塑料成型基础

第 2 章 塑料成型理论基础

作为塑料主要成分的合成树脂，是按照天然树脂的分子结构和特性，用人工方法合成制造的。由于其是由相对分子质量小的物质经聚合反应而制得的相对分子质量大的物质，因此称之为高分子聚合物，简称高聚物。

根据单个大分子的组成（链结构）以及大分子间的排列状态，各种聚合物材料可以形成不同的结构（聚集态结构）；同一种聚合物，由于不同的分子排列，又会形成具有不同性能的聚合物材料，如有时是高度结晶的，有时却是无定形的，等等。正是聚合物的大分子结构赋予了塑料优良的性能。

2.1 聚合物大分子结构及加工性能

2.1.1 聚合物结构特征

1. 聚合物的分子结构

聚合物是由数十乃至数万个排列有序的单体重复单元在适当条件（一定的压力、温度等）下聚合而成的一种结构形体。

聚合物中结构形式最简单的聚乙烯分子模型如图 2-1 所示，它由许多乙烯分子结构单元 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 重复连接而成，这种重复结构单元称为“链节”；合成聚合物所用的、由能够形成结构单元的小分子所组成的化合物称为单体；聚合物分子中单体单元或由多种单体生成的聚合物中的结构单元数目（链节数）称为聚合度，是衡量高分子大小的一个重要指标。因为一个高分子是由若干个链节以共价键结合而成的，所以聚合物的相对分子质量是重复结构单元的相对分子质量与聚合度的乘积。聚合度很低（1~100）的聚合物称为低聚物，只有当聚合度较高使其相对分子质量达到 $10^4 \sim 10^6$ （如塑料、橡胶、纤维等）的聚合物才称为高分子聚合物。几种常见聚合物的聚合度为：PC 为 80~160；PA6 为 100~300；S-PVC 为 800；PS 为 1500~4000；PP 为 3500~35000；UHMW-PE（超高相对分子质量 PE）为 2×10^5 。

对聚合物大分子链的研究表明：大分子基本都属于长链状结构，根据形状不同可分为线型聚合物、支链型聚合物及体型聚合物，如图 2-2 所示。

线型结构（包括支链型结构）聚合物由一根根不规则的线状（或者团状）分子链组成，