

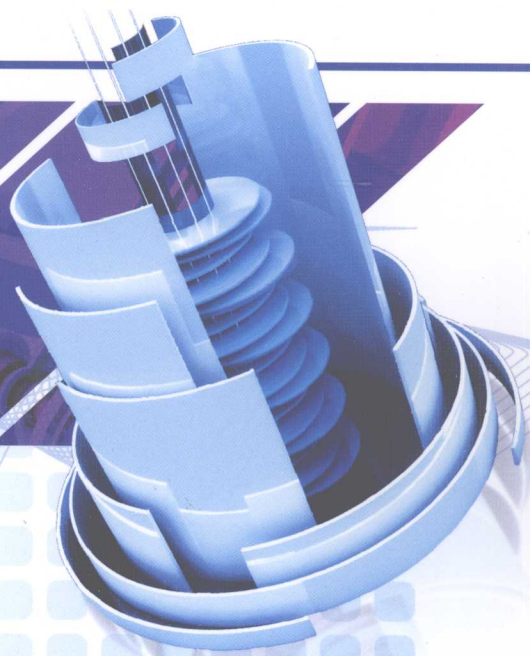
高等学校教材

塑料成型加工与模具

第二版

黄虹 编

SULIAO
CHENGXING JIAGONG
YU MUJU



化学工业出版社

塑料成型加工与模具

第二版

塑料成型模具课程设计指南

塑料注射模具机构设计200例

塑料产品工艺设计基础

塑料加工原理及应用



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

ISBN 978-7-122-03797-8



9 787122 037978 >

定 价：29.00元

高等学校教材

塑料成型加工与模具

第二版

黄虹 编



化学工业出版社

北京

ISBN 7-122-03127-8

定价：32.00元

本书为高等学校教材。内容包括塑料成型的理论基础（概论、塑料成型理论基础、塑料制件的设计原则）；注射成型工艺及模具设计（注射成型工艺、注射模概述、注射模浇注系统、注射模成型零部件设计、注射模的导向及脱模机构设计、侧向分型与抽芯机构设计、注射模温度调节系统、注射模新技术的应用、注射模的设计步骤及材料选用）；其他塑料成型工艺及模具设计（热固性塑料的模塑成型、塑料的其他成型方法）。

本书可作为材料专业学生的教材，对相关业的工程、科技人员也有一定参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料成型加工与模具/黄虹编. —2版. —北京: 化学工业出版社, 2008. 12

高等学校教材

ISBN 978-7-122-03797-8

I. 塑… II. 黄… 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. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 150997 号

责任编辑: 杨 菁

文字编辑: 李 玥

责任校对: 凌亚男

装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 499 千字 2009 年 1 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

本教材第一版自 2003 年 3 月由化学工业出版社出版以来, 经过 6 次重印, 发行数近 3 万册。在此期间, 被中国兵工高校教材工作研究会评为优秀教材, 重庆工学院评为优秀教材。

本教材根据普通高等院校材料成型与控制工程专业的高素质应用型创新人才培养目标, 以“强化理论基础, 提升实践能力, 突出创新精神, 优化综合素质”为宗旨, 对该教材第一版进行了修订。它保持了第一版教材的基本结构, 以塑料成型理论基础、工艺过程和模具设计为三大主线, 讲述和讨论了塑料注射成型, 热固性塑料的压缩成型和压注成型, 热塑性塑料的挤出成型, 中空塑件的成型, 真空和压缩空气成型的原理、工艺和模具设计。与第一版相比, 本教材在以下几方面作了改进:

1. 在教材编排上作了一定调整, 采用了国际通用的章节表达形式, 使教材体系更为新颖和清晰; 将个别章节顺序进行了调整, 使结构更完善和更系统。

2. 根据本教材第一版的教学实践和同学们的基础知识情况, 对问题的阐述、相关内容等作了一些修改, 力求更加确切、简洁明了、深入浅出、语言通顺流畅、全书内容融会贯通。

3. 对教材内容(包括文、图、表、公式)作了一定增删。引用了新的国家标准, 将热流道技术归纳到注射模浇注系统章节内, 增加和替换了一些图, 增加了一些必要的公式, 更改了一些文、图、表和公式中的错误等。

4. 全书配套了多媒体课件, 以新的教学方式为教师提供方便, 需要者请与出版社联系。多媒体课件中, 动画部分由江南大学郁文娟副教授、顾燕老师制作。

本教材可供高等院校材料成型与控制工程专业本科高年级学生及研究生学习使用, 也可供高分子材料与工程专业、机械设计与制造专业本科学生学习使用, 还可供从事塑料成型加工工艺与模具设计人员参考。通过对该教材的学习, 使读者达到既能对塑料成型基础理论有较深理解, 在专业知识上有所掌握, 又能在实践方面得到指导, 能独立设计塑料成型工艺和塑料成型模具, 并具备一定的塑料制品设计能力的水平。

本教材第二版修订工作由重庆工学院黄虹教授策划并完成。硕士研究生谭安平、刘伟、王海民、邱方军, 本科生钟超、禹万波等参加了绘制图表等工作, 重庆工学院胡亚民教授担任主审, 在此一并表示感谢。

编 者
2008 年 11 月

第一版前言

高分子材料科学是现代自然科学的结晶,是物质科学中的新科学和增长点。高分子材料科学的问世改变了 20 世纪的物质文明,推动了人类社会的进步。高分子材料已在人们的衣食住行和国防建设、生态环境等众多领域得到广泛应用,并为新世纪的物质文明谱写着更丰富的篇章。

高分子材料通常包括塑料、合成橡胶和合成纤维。作为高分子材料之一的塑料,由于原料丰富,制造方便、加工容易、质地优良、轻巧耐用、用途广泛和投资效益显著,目前世界上的体积产量已经赶上和超过了钢铁,成为人类使用的主要材料。世界各国都非常重视塑料工业的发展,其低成本、高效益为制造业带来了巨大的财富。中国改革开放后的经济高速增长也包含了突飞猛进的塑料工业的巨大贡献。

塑料工业是一个复杂的系统,是集原材料、加工工艺、制造设备和成型模具等一系列科技产业为一体的高科技产业。目前,中国的塑料工业的总体水平与其他先进国家相比还有一定差距,还需要大力推进这门新兴学科及其产业的科技进步和基础建设,重视开展相应的基础性研究和应用研究,并进一步加强对塑料工业急需的专业技术人才的培养。

本书根据普通高等院校材料成型与控制工程专业的教学计划和教学大纲编写而成,并将塑料成形工艺与模具设计有机结合,供高等院校材料成型与控制工程专业高年级学生学习使用,也可供高分子材料与工程专业、机械设计与制造专业以及从事塑料成型加工工艺与模具设计人员参考。通过该教材的学习,既能对基础理论有较深理解、专业上有所掌握,又在实践方面得到指导,能独立设计塑料成型工艺和塑料成型模具,并具备一定的塑料制品设计能力。

本书共分三篇。

第 1 篇为塑料成型的理论基础。主要阐述塑料与成型加工有关的各种性质、塑料制件的结构设计,为学习认识其性质和塑件的成型工艺与模具的设计打下基础。

第 2 篇为注射成型工艺及模具设计。由于注射成型应用广泛,是机械制造、汽车、摩托车、家用电器、电子通信、建筑、仪器仪表、医药器材和日用品等行业的塑料制件的主要成型方法。因此,本书重点对注射成型的工艺与模具设计进行较系统、全面的讨论、分析、研究。

第 3 篇为其他塑料成型工艺及模具设计。介绍了热固性塑料的压缩成型和压注成型、热塑性塑料的挤出成型、中空塑件的成型、真空和压缩空气成型的工艺与模具设计,使读者对塑料的成型加工有一个全面的了解与认识。

本书由华中理工大学李德群教授编写第 1 章、第 10 章和第 14 章,重庆工学院黄虹副教授编写第 2 章、第 5 章、第 6 章、第 11 章和第 12 章,广东工业大学曾湘云副教授编写第 3 章,郑州大学曹宏深教授编写第 4 章,江苏大学陈嘉真教授编写第 7 章和第 9 章,江苏大学李学军副教授编写第 8 章,华东理工大学徐佩弦教授编写第 13 章,全书由重庆工学院黄虹副教授主编,重庆工学院胡亚民教授主审。

本书出版过程中还得到化学工业出版社和重庆工学院教材科等单位的关心及大力支持，在这里一并表示最诚挚的感谢。

由于受个人视野和专业范围所限，难免存在不足与谬误，敬请批评指正。

前言

编者

2003年3月

本书是根据《化学工业出版社》和《重庆工学院教材科》等单位的要求，在广泛收集资料的基础上，结合编者多年的教学经验和科研成果，编写而成的。本书可作为高等院校化学工业出版社教材，也可供从事化学工业出版社工作的工程技术人员参考。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参考了国内外有关文献，并得到了许多同行的帮助，在此表示衷心的感谢。

目 录

第 1 篇 塑料成型的理论基础

第 1 章 概论	2
1.1 塑料及其应用	2
1.1.1 塑料的组成	2
1.1.2 塑料的分类	3
1.1.3 塑料的性能和用途	4
1.2 塑料的加工适应性	5
1.3 塑料的主要成型方法	6
习题与思考	7
第 2 章 塑料成型理论基础	8
2.1 聚合物的流变学性质	8
2.1.1 牛顿流动规律	8
2.1.2 指数流动规律和表观黏度	10
2.1.3 假塑性液体的流变学性质及 有关问题	11
2.1.4 影响聚合物流变学性质的因素	15
2.1.5 流体在简单几何形状导管内 的流动分析	18
2.1.6 热塑性聚合物流变曲线的应用	27
2.1.7 热固性聚合物的流变学性质	27
2.2 聚合物熔体在模内的流动行为	29
2.2.1 端末效应	29
2.2.2 失稳流动和熔体破裂	31
2.2.3 聚合物熔体的充模流动	33
2.3 塑料成型过程中聚合物的物理变化	36

2.3.1 结晶	36
2.3.2 取向	41
2.3.3 残余应力	43
2.4 塑料成型过程中聚合物的化学反应	44
2.4.1 降解	44
2.4.2 交联	46
习题与思考	47
第 3 章 塑料制件的设计原则	49
3.1 塑料制件的选材	49
3.2 塑料制件的尺寸和精度	50
3.3 塑料制件的表面质量	53
3.4 塑料制件的结构设计	53
3.4.1 脱模斜度	53
3.4.2 壁厚	53
3.4.3 加强筋	54
3.4.4 支承面	55
3.4.5 圆角	55
3.4.6 孔的设计	56
3.4.7 螺纹设计	58
3.4.8 嵌件设计	59
3.4.9 标记符号	61
3.4.10 表面装饰	62
习题与思考	62

第 2 篇 注射成型工艺及模具设计

第 4 章 注射成型工艺	64
4.1 热塑性塑料的工艺性能	64
4.1.1 成型收缩	64
4.1.2 流动性	65
4.1.3 结晶性	66
4.1.4 其他工艺性能	66
4.2 注射机的基本结构及规格	67
4.2.1 注射机分类	67
4.2.2 注射机规格及主要技术参数	69

4.3 注射成型原理及其工艺过程	69
4.3.1 生产前的准备工作	69
4.3.2 注射成型原理及其工艺过程	72
4.3.3 制件的后处理	80
4.4 注射成型工艺条件的选择与控制	80
4.4.1 温度	81
4.4.2 压力	84
4.4.3 成型周期	93
4.5 几种常用塑料的注射成型特点	94

4.5.1 聚苯乙烯塑料	94	7.2.3 螺纹型芯与螺纹型环	151
4.5.2 聚丙烯塑料	95	7.3 成型零部件的工作尺寸计算	153
4.5.3 聚酰胺塑料	95	7.3.1 塑件尺寸精度的影响因素	153
4.5.4 聚碳酸酯塑料	96	7.3.2 成型零部件工作尺寸计算	154
4.6 典型注射制件的工艺条件与各种 塑料的注射工艺参数	99	7.3.3 螺纹型芯与螺纹型环	161
习题与思考	105	7.4 成型型腔壁厚的计算	164
第5章 注射模概述	106	7.4.1 型腔侧壁厚度计算	165
5.1 注射模的基本结构	106	7.4.2 型腔底板厚度计算	167
5.1.1 注射模的结构组成	106	7.5 排气结构设计	169
5.1.2 注射模具按结构特征分类	107	习题与思考	171
5.2 注射模具与注射机的关系	110	第8章 注射模的导向及脱模机构设计	173
5.2.1 注射量的校核	110	8.1 导向机构设计	173
5.2.2 注射压力的校核	110	8.1.1 导柱导向机构	173
5.2.3 锁模力的校核	111	8.1.2 锥面和合模销定位机构	175
5.2.4 安装部分的尺寸校核	112	8.2 脱模机构设计	176
5.2.5 开模行程的校核	113	8.2.1 脱模机构的分类及设计原则	176
5.2.6 顶出装置的校核	115	8.2.2 脱模力的计算及推出零件尺寸 确定	176
5.3 标准模架的选用	115	8.2.3 一次推出脱模机构	179
5.3.1 普通标准模架的优点和局 限性	115	8.2.4 二次推出脱模机构	184
5.3.2 标准模架简介	116	8.2.5 浇注系统凝料的脱出和自动脱 落机构	186
习题与思考	117	8.2.6 塑料螺纹的脱模机构	187
第6章 注射模浇注系统	118	习题与思考	191
6.1 流变学在浇注系统设计中的应用	118	第9章 侧向分型与抽芯机构设计	192
6.2 普通流道浇注系统	119	9.1 侧向分型与抽芯机构的分类	192
6.2.1 主流道的设计	119	9.1.1 手动侧向分型与抽芯机构	192
6.2.2 冷料穴设计	119	9.1.2 液压或气动侧向分型与抽芯 机构	192
6.2.3 分流道设计	122	9.1.3 机动侧向分型与抽芯机构	193
6.2.4 浇口设计原则	124	9.2 斜销侧向分型与抽芯机构	193
6.2.5 浇口的类型	127	9.2.1 工作原理	193
6.3 无流道凝料浇注系统	132	9.2.2 斜销侧向分型与抽芯机构主 要参数的确定	194
6.3.1 概述	132	9.2.3 斜销侧向分型与抽芯机构结 构设计要点	197
6.3.2 热流道浇注系统类型	133	9.3 弯销侧向分型与抽芯机构	201
6.3.3 热流道浇注系统的设计	135	9.4 斜滑块侧向分型与抽芯机构	202
6.4 浇注系统的平衡进料	139	9.4.1 斜滑块侧向分型与抽芯机构 的结构形式	203
6.4.1 一模多腔浇注系统的平衡	139	9.4.2 斜滑块侧向分型与抽芯机构 设计要点	204
6.4.2 一模一腔多浇口浇注系统的 平衡	141	9.5 齿轮齿条侧向分型与抽芯机构	206
习题与思考	142	习题与思考	206
第7章 注射模成型零部件设计	143	第10章 注射模温度调节系统	207
7.1 型腔总体布置与分型面选择	143	10.1 温度调节的必要性	207
7.1.1 型腔数目的确定	143	10.1.1 温度调节对塑件质量的影响	207
7.1.2 多型腔的排列	144	10.1.2 温度调节对生产效率的影响	208
7.1.3 分型面的设计	145		
7.2 成型零部件的结构设计	149		
7.2.1 凹模	149		
7.2.2 凸模(型芯)	150		

10.2 冷却管道的工艺计算	209	程与辅助制造	234
10.2.1 冷却时间的计算	209	11.4.1 注射模 CAD/ CAE/ CAM 技	
10.2.2 冷却管道传热面积及管道数		术的特点	235
目的简易计算	210	11.4.2 注射模具 CAD/ CAE/ CAM 的	
10.2.3 冷却管道的详细计算	213	工作内容	235
10.3 冷却系统的设计原则	222	11.4.3 国内外简况及发展趋势	236
10.4 冷却回路的形式	224	习题与思考	237
10.4.1 凹模冷却回路	224	第 12 章 注射模的设计步骤及材料选用	238
10.4.2 型芯冷却回路	225	12.1 注射模的设计步骤	238
习题与思考	227	12.1.1 设计前应明确的事项	238
第 11 章 注射模新技术的应用	228	12.1.2 模具结构设计的一般步骤	239
11.1 热固性塑料注射成型工艺及模具	228	12.2 注射模设计实例	240
11.1.1 发展概况	228	12.2.1 塑料制件及模具设计依据	240
11.1.2 工艺要点及模具简介	229	12.2.2 模具结构设计	241
11.2 共注射成型	230	12.2.3 分析计算	242
11.3 气体辅助注射成型	231	12.2.4 实际效果	246
11.3.1 概述	231	12.3 注射模具材料选用	246
11.3.2 气体辅助注射成型工艺	232	12.3.1 成型零件材料选用	246
11.3.3 气体辅助注射成型制件和模		12.3.2 注射模用钢种	247
具的设计特点	233	习题与思考	250
11.4 注射模计算机辅助设计、辅助工			

第 3 篇 其他塑料成型工艺及模具设计

第 13 章 热固性塑料的模塑成型	252	14.1.2 挤出成型机头的工艺参数	270
13.1 工艺特征及模具	252	14.1.3 挤出制件的冷却定型	272
13.1.1 压缩成型	252	14.2 中空成型	273
13.1.2 压注成型	254	14.2.1 中空成型的分类和基本结构	273
13.2 模具结构设计要点	255	14.2.2 中空成型模具的设计要点	274
13.2.1 压缩成型模结构设计要点	255	14.3 真空成型	275
13.2.2 料槽式压注成型模结构设计		14.3.1 真空成型的特点和方法	275
要点	261	14.3.2 真空成型模具的设计要点	277
13.2.3 柱塞式压注成型模结构设计		14.4 压缩空气成型	279
要点	265	14.4.1 压缩空气成型的特点	279
习题与思考	268	14.4.2 压缩空气成型模具的设计	
第 14 章 塑料的其他成型方法	269	要点	280
14.1 挤出成型	269	习题与思考	281
14.1.1 挤出成型机头的典型结构及		附录	282
设计原则	269	参考文献	293

第 1 篇

塑料成型的理论基础

第 1 章 概 论

1.1 塑料及其应用

塑料是以高分子聚合物为主要成分，并在加工为制品的某阶段可流动成型材料。所谓高分子聚合物，是指由成千上万个结构相同的小分子单体通过加聚或缩聚反应形成的长链大分子。它既存在于大自然中（称为天然树脂），又能够用化学方法人工制取（称为合成树脂）。合成树脂是塑料的主体，在合成树脂中加入某些添加剂，如稳定剂、填料、增塑剂、润滑剂、着色剂等，可以得到各种性能的塑料品种。由于添加剂所占比例较小，塑料的性能主要取决于合成树脂的性能。

塑料具有特殊的物理力学性能和化学稳定性能，以及优良的成型加工性能。塑料的这种独特性能归源于高分子聚合物的巨大的相对分子质量。一般的低分子物质的相对分子质量仅为几十至几百，如一个水分子仅含一个氧原子和两个氢原子，水的相对分子质量为 18，而一个高分子聚合物的分子含有成千上万个原子，相对分子质量可达到几万乃至几十万、几百万。原子之间具有很大的作用力，分子之间的长链会蜷曲缠绕。这些缠绕在一起的分子既可互相吸引又可互相排斥，使塑料产生了弹性。高分子聚合物在受热时不像一般低分子物质那样有明显的熔点，从长链的一端加热到另一端需要时间，即需要经历一段软化的过程，因此塑料便具有可塑性。高分子聚合物与低分子物质的重要区别还在于高分子聚合物没有精确、固定的相对分子质量。同一种高分子聚合物的相对分子质量的大小并不一样，因此只能采用平均相对分子质量来描述。例如，低密度聚乙烯的平均相对分子质量为 2.5 万~15 万，高密度聚乙烯的平均相对分子质量为 7 万~30 万。

高分子聚合物常用来制造合成树脂、合成橡胶和合成纤维。这三大合成材料成了 20 世纪材料工业的一个重要支柱。其中，合成树脂的产量最大，应用最广。

1.1.1 塑料的组成

塑料是以合成树脂为主要成分，并根据不同需要而添加不同添加剂所组成的混合物。

(1) 合成树脂 合成树脂是塑料的主要成分，所以它决定了塑料的基本性能。在塑料制件中，合成树脂应成为连续相，其作用在于将各种添加剂黏结成一个整体，从而使塑料具有一定的物理力学性能。在成型加工中，由合成树脂与所加的添加剂配制成的塑料还应有良好的成型工艺性能。合成树脂是人们模仿天然树脂的成分，并克服了产量低、性能不理想的缺点，用化学方法人工制取的各种树脂。最初制造合成树脂的原料为农副产品，以后改用煤，20 世纪 60 年代以后则主要采用石油和天然气。

(2) 稳定剂 塑料在受热及紫外线、氧的作用下会逐渐老化。因此，在大多数塑料中都要添加稳定剂，用以减缓或阻止塑料在加工和使用过程中的分解变质。根据稳定剂作用的不同，又分为热稳定剂、抗氧化剂和紫外线吸收剂等。各种塑料由于内部结构不同，老化机理不一样，所用的稳定剂也就不同。例如，有机锡化合物常用作聚氯乙烯的热稳定剂，酚类及

胺类有机物常用作抗氧化剂, 羟基类衍生物、苯甲酸酯类及炭黑等常用作紫外线吸收剂。稳定剂的用量一般为塑料的 0.3%~0.5%。

(3) 填料 填料包括填充剂和增强剂。为了降低塑料成本, 有时在合成树脂中掺入一些廉价的填充剂, 或者是为了改进塑料的性能, 如塑料的硬度、刚度、冲击韧度、电绝缘性、耐热性、成型收缩率等都可通过添加相应的填充剂得到改善。最常用的填充剂是碳酸钙、硫酸钙和硅酸盐等, 也有木粉、石棉等。增强剂是一类自身强度很高的纤维组织材料, 加入塑料之中能显著增大其拉伸强度和弯曲强度。典型品种有玻璃纤维、棉、麻等, 性能特殊的还有碳纤维、陶瓷纤维、硼纤维及其单晶纤维。以玻璃纤维和玻璃布作增强剂的塑料俗称玻璃钢。填料的用量通常为塑料组成的 40% 以下。

(4) 增塑剂 增塑剂用来提高塑料成型加工时的可塑性和增进制件的柔软性。常用的增塑剂是一些高沸点的液态有机化合物或低熔点的固态有机化合物。理想的增塑剂, 必须在一定范围内能与合成树脂很好地相容, 并具有良好的耐热、耐光、不燃性及无毒等性能。增塑剂的加入会降低塑料的稳定性、介电性能和力学强度。塑料的老化现象就是由增塑剂中的某些挥发物质逐渐从塑料制品中逸出而产生的。因此, 在塑料中应尽量地减少增塑剂的含量。大多数塑料一般不添加增塑剂, 只有软质聚氯乙烯含有大量的增塑剂, 其增塑剂的含量可高达 50%。

(5) 润滑剂 润滑剂对塑料的表面起润滑作用, 防止熔融的塑料在成型过程中黏附在成型设备或模具上。添加润滑剂还可改进塑料熔体的流动性能, 同时也可以提高制品表面的光亮度。常用的润滑剂有硬脂酸及其盐类等。润滑剂的用量通常小于 1%。

(6) 着色剂 合成树脂的本色都是白色半透明或无色透明的。在工业生产中常利用着色剂来增加塑料制品的色彩。一般要求着色剂的着色力强、色泽鲜艳、耐热、耐光。常用的着色剂有有机颜料和矿物颜料两类。有机颜料, 如有机柠檬黄、颜料蓝、炭黑等; 矿物颜料, 如铬黄、氧化铬、铝粉末等。

(7) 固化剂 在热固性塑料成型时, 有时要加入一种可以使合成树脂完成交联反应而固化的物质。例如, 在酚醛树脂中加入六亚甲基四胺, 在环氧树脂中加入乙二胺或顺丁烯二酸酐等。这类添加剂称为固化剂或交联剂。

根据不同的用途, 在塑料中还可增添一些其他的添加剂。例如, 阻燃剂可降低塑料的燃烧性, 发泡剂可制成泡沫塑料等。

塑料还可以像金属那样制成“合金”, 即把不同品种、不同性能的塑料用机械的方法均匀掺合在一起(共混改性), 或者将不同单体的塑料经过化学处理得到新性能的塑料(聚合改性)。例如, ABS 塑料就是由丙烯腈、丁二烯、苯乙烯三种单体共聚制成的三元共聚物。

1.1.2 塑料的分类

目前, 塑料品种已达 300 多种, 常见的约 30 多种。我们可根据塑料的制造方法、成型工艺及其用途将它们进行分类。

(1) 按制造方法分类 合成树脂的制造方法主要是根据有机化学中的两种反应: 聚合反应和缩聚反应。

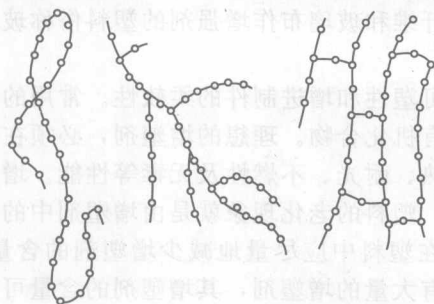
聚合反应是将许多低分子单体(如从煤和石油中得到的乙烯、苯乙烯、甲醛等的分子)化合成高分子聚合物的化学反应。在此反应过程中没有低分子物质析出。这种反应既可在同一种物质的分子间进行(其反应产物称为聚合物), 也可以在不同物质的分子间进行(其反应产物称为共聚体)。

缩聚反应也是将相同的或不相同的低分子单体化合成高分子聚合物的化学反应, 但是在此反应过程中有低分子物质(如水、氨、氯化氢等)析出。

因此,可将塑料划分成聚合树脂和缩聚树脂两类。

(2) 按成型性能分类 根据成型工艺性能,塑料可分为热塑性塑料和热固性塑料两类。热塑性塑料主要由聚合树脂制成,热固性塑料大多数是以缩聚树脂为主,加入各种添加剂制成。

热塑性塑料的特点是受热后软化或熔融,此时可成型加工,冷却后固化,再加热仍可软化。热固性塑料在开始受热时也可以软化或熔融,但是一旦固化成型就不会再软化。此时,即使加热到接近分解的温度也无法软化,而且也不会溶解在溶剂中。



(a) 链状结构 (b) 树枝状结构 (c) 网状结构

图 1-1 高分子物质的结构示意图

塑料的这种热塑或热固的特性,可以从分子的结构特征来解释。一般低分子物质的分子呈球状,而高分子物质的结构,有的像长链,有的像树枝,还有的呈网状。这些结构使得塑料具有热塑或热固的特性。高分子物质的结构示意图如图 1-1 所示。

热塑性塑料的分子结构呈链状或树枝状,常称为线型聚合物。这些分子通常相互缠绕但并不连接在一起,受热后具有可塑性。热塑性塑料又可分为无定形塑料和结晶形塑料两类。属于结晶形的常用塑料如聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺(尼龙)等;属于无定形的常用塑料如聚苯乙烯、聚氯乙烯、ABS 等。

热固性塑料在加热开始时也具有链状或树枝状结构,但在受热后这些链状或树枝状分子逐渐结合成网状结构(称为交联反应),成为既不熔化又不溶解的物质,常称为体型聚合物。由于分子的链与链之间产生了化合反应,所以当再次加热时这类塑料便不能软化。由此可见,热固性塑料的耐热变形性能比热塑性塑料好。常见的热固性塑料有酚醛、脲醛、三聚氰胺甲醛、不饱和聚酯等。

(3) 按用途分类 按照用途塑料又可分为通用塑料、工程塑料以及特殊用途的塑料等。通用塑料是指用途最广泛、产量最大、价格最低廉的塑料。现在世界公认的通用塑料有聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚苯乙烯(PS)、聚氯乙烯(PVC)、酚醛(PF)和氨基塑料六大类,它们的产量约占世界塑料总产量的 80%。工程塑料是指那些可用作工程材料的塑料,主要有丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)、聚酰胺(PA)、聚甲醛(POM)、聚碳酸酯(PC)、聚苯醚(PPO)、聚砜(PSF)及各种增强塑料。

随着塑料应用范围的不断扩大,通用塑料和工程塑料之间的界线越来越难划分。例如,聚氯乙烯(PVC)作为耐腐蚀材料已大量用于化工机械中,按用途分类,它又属于工程塑料。

1.1.3 塑料的性能和用途

不同品种的塑料具有不同的性能和用途,综合起来,塑料具有以下性能及用途。

(1) 质量轻 一般塑料的密度与水相近,大约是钢密度的 $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{8}$ 。虽然塑料的密度小,但它的力学强度比木材、玻璃、陶瓷等要高得多,有些塑料在强度上甚至可与钢铁媲美。这对于要求减轻自重的车辆、船舶和飞机有着特别重要的意义。由于质量轻,塑料特别适合制造轻巧的日用品和家用电器零件。

(2) 比强度高 如果按单位质量来计算材料的抗拉强度(称为比强度),则塑料并不逊于金属,有些塑料,如工程塑料、碳纤维增强塑料等,还远远超过金属。所以,一般塑料除

制造日常用品外,还可用于工程机械中。纤维增强塑料可用作负载较大的结构零件。塑料零件在运输工具中所占比例越来越大,目前,在小轿车中塑料的质量约占整车质量的1/10,而在宇宙飞船中塑料的体积约占飞船总体积的1/2。

(3) 耐化学腐蚀能力强 塑料对酸、碱、盐等化学物质的腐蚀均有抵抗能力。其中,聚四氟乙烯是化学性能最稳定的塑料,它的化学稳定性超过了所有的已知材料(包括金与铂)。最常用的耐腐蚀材料为硬聚氯乙烯,它可以耐浓度达90%的浓硫酸、各种浓度的盐酸和碱液,被广泛用来制造化工管道及容器。

(4) 绝缘性能好 塑料对电、热、声都有良好的绝缘性能,被广泛地用来制造电绝缘材料、绝缘保温材料以及隔音吸音材料。塑料的优越电气绝缘性能和极低的介电损耗性能,可以与陶瓷和橡胶媲美。除用作绝缘材料外,现又制造出半导体塑料、导电导磁塑料等,它们对电子工业的发展具有独特的意义。

(5) 光学性能好 塑料的折射率较高,并且具有很好的光泽。不加填充剂的塑料大都可以制成透光性良好的制品,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。目前,这些塑料已广泛地用来制造玻璃窗、罩壳、透明薄膜以及光导纤维材料。

(6) 加工性能好、经济效益显著 塑料具有容易成型、成型加工周期短的特性,将塑料做成塑料制件,所需专用设备投资少,能耗低。特别是与金属制件加工相比,加工工序少,成型周期短,加工过程中的边角废料多数可回收再用。如果以单位体积计算,生产塑料制件的费用仅为有色金属的1/10,因此塑料制件的总体经济效益显著。

应该指出的是,塑料也存在着一些缺点,在应用中受到一定的限制。一般塑料的刚性差,如尼龙的弹性模量约为钢铁的1/100。塑料的耐热性差,在长时间工作的条件下一般使用温度在100℃以下,在低温下易开裂。塑料的热导率只有金属的 $\frac{1}{200} \sim \frac{1}{600}$,这对加热和散热而言是一个缺点。若长期受载荷作用,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,在光和热作用下性能容易变坏,发生老化现象。所以,在选择塑料时要注意扬长避短。

1.2 塑料的加工适应性

温度对于塑料的加工有着重要的影响。随着加工温度的逐渐升高,塑料将经历玻璃态、高弹态、黏流态直至分解。处于不同状态下的塑料表现出不同的性能,这些性能在很大程度上决定了塑料对加工的适应性。下面以热塑性塑料为例说明在各种状态下塑料与加工方法的关系。

图1-2为热塑性塑料的弹性模量 E 、形变率 γ 与温度 θ 的曲线关系。从图中可见,处于玻璃化温度 θ_g 以下的塑料为坚硬的固体。由于弹性模量高、形变率小,故在玻璃态塑料不宜进行大变形加工,但可进行车、铣、刨、钻等机械切削加工。在 θ_g 以下的某一温度,塑料受力易发生断裂破坏,这一温度称为脆化温度 θ_s 。它是材料使用的下限温度。

在 θ_g 以上的高弹态,塑料的弹性模量显著减小,形变能力大大增强。对于无定形塑料在高弹态靠近聚合物流动或软化的黏流温度 θ_f 一侧的区域内,材料的黏性很大,某些塑料可进行真空成型、压力成型、压延和弯曲成型等。由于此时的形变是可逆的,为了得到符合形状尺寸要求的制品,在加工中把制品温度迅速冷却到 θ_g 以下的温度是这类加工过程的关键。对于结晶形塑料,当外力大于材料的屈服点时,可在 θ_g 至熔点温度 θ_m 的区域内进行薄膜或纤维的拉伸。此时 θ_g 是大多数塑料加工的最低温度。

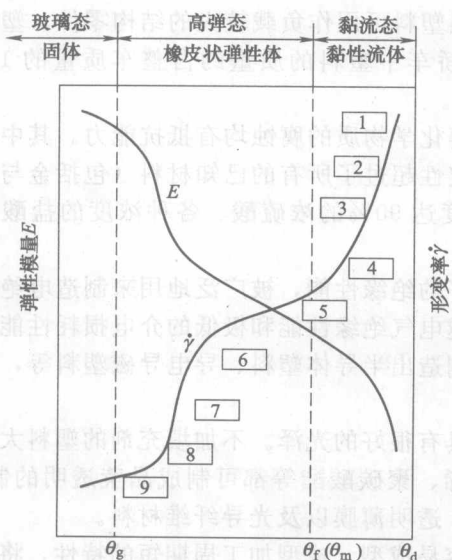


图 1-2 热塑性塑料的状态与加工的关系

1—熔融纺丝；2—注射；3—薄膜吹塑；4—挤出成型；5—压延成型；6—中空成型；7—真空和压力成型；8—薄膜和纤维热拉伸；9—薄膜和纤维冷拉伸

高弹态的上限温度是 θ_f 。由 θ_f （或者 θ_m ）开始，塑料呈黏流态。通常将呈黏流态的塑料称为熔体。在 θ_f 以上不高的温度范围内常进行压延、挤出和吹塑成型等。在比 θ_f 高的温度下，塑料的弹性模量降低到最低值，较小的外力就能引起熔体宏观流动。此时在形变中主要是不可逆的黏性变形。塑料在冷却后能够将形变永久保持下去。因此，在这个温度范围内常进行熔融纺丝、注射、挤出和吹塑等加工。但是过高的温度容易使制品产生溢料、翘曲等弊病，当温度高到分解温度 θ_d 时还会导致塑料分解，以致降低制品的物理力学性能或者引起制品外观不良。因此， θ_f 与 θ_d 一样都是塑料进行加工的重要参考温度。

1.3 塑料的主要成型方法

塑料的成型方法很多，下面列举其中六种主要的成型方法。

(1) 注射成型 塑料的注射成型又称注塑成型。该方法采用注射成型机将粒状的塑料连续输入到注射成型机料筒中受热并逐渐熔融，使其成黏性流动状态，由料筒中的螺杆或柱塞推至料筒端部。通过料筒端部的喷嘴和模具的浇注系统将熔体注入闭合的模具中，充满后经过保压和冷却，使制件固化定型，然后开启模具取出制件。注射成型主要用于热塑性塑料，现在也用于热固性塑料。注射成型的生产是周期性的。注射成型在塑料制件成型中占有很大比例，世界上塑料成型模具产量中半数以上是注射模具。

(2) 挤出成型 挤出成型又称挤塑成型。该方法与注射成型的原理类似，将粒状塑料在挤出机的料筒中完成加热和加压过程，熔体经过装在挤出机机头上的成型口模挤出，然后冷却定型，借助牵引装置拉出，成为具有一定横截面形状连续制件，如管、棒、板及异型材制件等。挤出成型是热塑性塑料的主要成型方法之一。除了成型加工外，该法还用于塑料的混炼加工，如着色、填充、共混等皆可通过挤出造粒工序来完成。

(3) 中空成型 中空成型又称吹塑成型。它是制造中空制件和管筒形薄膜的方法。该法先用挤出机或注射机挤出或注射出管筒形状的熔融坯料，然后将此坯料放入吹塑模具内，向坯料内吹入压缩空气，使中空坯料均匀膨胀直至紧贴模具内壁，冷却定型后开启模具取出中空制件。在工业生产中，如瓶、桶、球、壶、箱一类的热塑性塑料制件均可用此法制造。若将从挤出机中连续不断挤出的熔融塑料管内趁热通入压缩空气，把管筒胀大撑薄，然后冷却定型，可以得到管形薄膜，将其截断可热封制袋，也可将其纵向剖开成为塑料薄膜。

(4) 压缩成型 压缩成型又称压制成型。该法把由上、下模（或凸、凹模）组成的模具安装在压力机的上、下模板之间，将塑料原料直接加在敞开的模具型腔内，再将模具闭合，塑料粒料（或粉料、预制坯料）在受热和受压的作用下充满闭合的模具型腔，固化定型后得到塑料制件。此法主要用于热固性塑料。

(5) 压注成型 压注成型又称传递成型。与压缩成型一样，压注成型也是热固性塑料成型的主要方法之一。该法将塑料粒料或坯料装入模具的加料室内，在受热、受压下熔融的塑

料通过模具加料室底部的浇注系统（流道与浇口）充满闭合的模具型腔，然后固化成型。该法适用于形状复杂或带有较多嵌件的热固性塑料制品。

(6) 固相成型 固相成型的特点是使塑料在低于熔融温度以下成型，在成型过程中塑料没有明显的流动状态。该法多用于塑料板材的二次成型加工，如真空成型、压缩空气成型和压力成型等。固相成型原来多用于薄壁制件的成型加工，现已能用于制造厚壁制件。

塑料的成型方法除了以上列举的六种外，还有压延成型、浇铸成型、滚塑成型、泡沫成型等。本书着重叙述在机械、汽车、摩托车、电子、轻工工业中应用最广泛的注射成型工艺及模具，同时也扼要地介绍塑料的其他主要成型方法，以期读者在掌握注射成型方法的基础上对塑料的主要成型方法有一个完整的概念。

习题与思考

1-1 什么是合成树脂？什么是塑料？为什么塑料能得到日益广泛的应用？

1-2 什么是热塑性塑料和热固性塑料？两者在本质上有何区别？

1-3 试述热塑性塑料的状态与加工的关系？

1-4 热塑性塑料的主要成型方法有哪些？热固性塑料的主要成型方法有哪些？