

工程训练·工程实践

塑料成型技术

冯爱新 主 编 ●
戴亚春 袁国定 副主编 ●



化学工业出版社
教材出版中心

工程训练·工程实践

塑料成型技术

冯爱新	主 编
戴亚春 袁国定	副主编
戈晓岚 李学军	主 审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料成型技术/冯爱新主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7

工程训练·工程实践

ISBN 7-5025-5841-1

I. 塑… II. 冯… III. 塑料成型 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 077321 号

工程训练·工程实践

塑料成型技术

冯爱新 主 编

戴亚春 袁国定 副主编

戈晓岚 李学军 主 审

责任编辑: 陈 丽 刘俊之

文字编辑: 赵媛媛

责任校对: 顾淑云 边 涛

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18¼ 字数 338 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5841-1/TB·54

定 价: 32.00 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

工程训练·工程实践

编委会主任 杨继昌

编委会副主任 袁银南 戈晓岚

编委会委员 杨继昌 袁银南

肖田元 梅 强

张永康 卢章平

陆一心 李金伴

戈晓岚 马汉武

序

人类进入 21 世纪前后,以信息技术为重要标志的高新技术的飞速发展,正在改变着人类的社会、经济和生活方式。“天翻地覆慨而慷”,世界范围内的激烈竞争,已越来越明显地表现为人才的竞争,特别是创新人才的竞争。1998 年 10 月,联合国教科文组织在巴黎召开了首届世界高等教育大会,会议达成了共识:高等教育的根本使命是促进社会的可持续发展与进步。目前,教育开始求新求变,要求坚持以人为本,更具有前瞻性。对学生的人文素质、科学素质、实践能力和创新能力的培养更显重要。

“问渠哪得清如许,为有源头活水来。”技术是工程的基础,科学是技术的源泉,科学技术相互支持,但直接作用于生产实际的是技术。因此,面向经济建设要高度重视工程人才的培养,高度重视工程教育,要努力加速建立科学、技术、经济和管理相结合的工程教育体系,强化工程意识,重组工程训练,提高工程素质,培养创新精神、创新人格和实践能力,以实现知识创新、技术创新、管理创新和市场开拓型的工程人才培养。

近年来,尽管各国的国情不同,面临的问题也不同,在工程教育的体制和运作上互有差异,但对工程教育的认识、做法和发展方向上都强调“综合、创造、实践”,强调“工程教育工程化”、“工程教育为工程实际服务”、强调人文关怀、创新精神、实践能力和工程师素质的培养。

另一方面,我国加入世界贸易组织后,对外开放更将进一步扩大,中国将更加深入地参与国际分工,越来越多的产品将打上“中国制造”,制造业是工业的主体,装配制造业是制造业的核心。没有装配制造业就没有制造,没有制造就没有获得物质财富的基本手段。制造首先要依靠直接从事制造的技能人才。从而,培养“中国制造”的技能人才就成为关键。我国已经成为了一个高级蓝领即银领制造业人才稀缺的国家。

我国“十五”计划提出,要在 5 年内将职工中的高级技能人才的比例提高到 20%。一个合格的银领人才应当具备比较深厚的理论基础与相当丰富的实际经验,并能够针对生产第一线的实际需要,具备很强的技术革新、开发攻关、项目改进的能力。这种人才应具有高度的责任感,不但关心产品,更加懂得团结人、关怀人;不仅是某些关键生产环节中的操作者,还是整个生产环节的组织者;同时还能高度关怀、有效带动和组织协调其他技术人员一起动手进行应有的技术攻关,把优秀的设计变成一个高质量的产品。

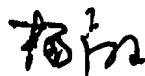
针对工程人才的需求，江苏大学工业中心组织编写了工程训练·工程实践系列图书，希望成为联接科学、教育与工程技术、生产实际的桥梁之一。在本系列图书规划过程中，作者针对“各种技能对工作的重要性”，对相关企业和历届毕业生进行了调查，证实在工业生产中，对技术交流、设计制造、工程经济、项目管理、质量控制、计算机等技能均有较高的要求。

本系列图书以工程类本科生（尤其是高职学生）和制造业银领的培训为对象，包括机、电、管三个领域。在内容上注重实践性、启发性、科学性，强调诸如制造、环境影响、质量、商务和经济等工程实践的多重功能。从当前工程人才的素质需求和实际出发，努力做到理论与实践并重，理论与实际相结合，基本概念清晰，重点突出，简明扼要，深入浅出，通俗易懂，以现代工程训练为特色，重视能力的培养，面向生产实际，并考虑与国际教育交流，反映新技术、新工艺、新材料的应用和发展。

本套丛书的编写是适应我国制造业发展形势，在教育上的一个创新，值得鼓励。由于是一个创新，其中就不会没有问题，没有不足之处。我与编者的心情一样，希望读者能及时指出其中的问题与不足之处，有助于本系列图书不断改进，编者的水平不断提高。

谨以为序。

中国科学院院士
华中科技大学教授



2004年4月

前 言

本书以塑料成型技术和成型工艺为主线，从理论上简明扼要地论述了塑料成型基础知识，从塑料成型工艺、塑料成型设备、塑料成型模具、塑料成型缺陷分析等几个方面系统介绍了各种塑料成型技术。本书针对大专院校、高职高专学生的理论与实践知识背景以及企业高级技术工人技能操作的要求，在编写内容上，注重理论联系实际，注重能力的培养，着重介绍基本知识及其应用，注重先进性、适用性和操作性。

全书分为八章，包括第一章概论，第二章塑料成型基础，第三章注射成型技术，第四章注射成型模具，第五章压缩成型技术，第六章压注成型技术，第七章挤出成型技术，第八章其他塑料成型技术与模具。

本书可作为高等院校、高职高专相关专业高年级学生的学习参考书，也可作为从事塑料成型技术的企业高级蓝领的培训教材。

全书由冯爱新主编，戴亚春、袁国定副主编，李学军和姜银方参编，戈晓岚和李学军负责全书的审定。编写中，李学军、戈晓岚对全书的结构体系和内容组织提供了很多帮助，江苏大学模具激光技术研究所的许多同事对本书提供了宝贵意见，在此表示衷心感谢。

本书出版过程中还得到了化学工业出版社和江苏大学等单位的关心和大力支持，在此一并表示最诚挚的感谢。

限于编者水平有限，时间仓促，编写中难免有谬误和欠妥之处，敬请批评指正。

编者

2004 年 6 月

内 容 提 要

本书系统介绍了塑料成型技术，分别对塑料成型基础知识、注射成型技术、压缩成型技术、挤出成型技术及其他塑料成型技术进行了详细论述，从塑料成型工艺、塑料成型设备、塑料成型模具、塑料成型缺陷分析等多方面进行了阐述。

本书以塑料成型技术和成型工艺为主线，理论知识与实际经验相结合，注重介绍基本知识及其应用，注重先进性、适用性和操作性。

本书可作为相关专业高职高专学生、高等院校学生的学习用书，也可供相关工程技术人员、高级技师、高级技术工人参考。

目 录

第一章 概论	1
第一节 塑料与塑料工业	1
一、塑料的分类	1
二、塑料的性能与应用	2
三、塑料工业	4
第二节 塑料成型技术	4
一、塑料成型技术	4
二、塑料成型技术的发展趋势	7
第三节 塑料成型模具	10
一、模具在塑料成型中的地位	10
二、塑料成型模具的分类与结构	11
第二章 塑料成型基础	12
第一节 聚合物及其热力学特性	12
一、高分子聚合物	12
二、聚合物的热力学性能和成型加工	13
第二节 聚合物的流变学性质	15
一、牛顿流体流变方程	15
二、指数流动规律与表观黏度	18
第三节 成型过程中聚合物在模内的流动状态	21
一、聚合物流体在圆形截面流道中的流动	22
二、聚合物流体在狭缝形流道中的流动	24
三、聚合物熔体在模内的流动行为	25
第四节 成型过程中聚合物的物理化学行为	31
一、聚合物的结晶	31
二、成型过程中的取向作用	32
三、聚合物的降解	33
四、聚合物的交联	35
第五节 塑料的成型工艺特性	36
一、热塑性塑料的工艺特性	36

二、热固性塑料的工艺特性	38
第六节 塑料制件的结构工艺性	41
一、塑料制件的尺寸和精度	41
二、塑料制件的表面质量	42
三、形状	42
四、脱模斜度	43
五、壁厚	44
六、加强筋与防变形结构	46
七、支承面与凸台	48
八、圆角	48
九、孔的设计	49
十、螺纹设计	51
十一、嵌件设计	52
十二、标记符号	54
十三、表面彩饰	54
第三章 注射成型技术	55
第一节 注射成型原理及其工艺过程	55
一、注射成型原理、特点与应用	55
二、注射成型工艺过程	56
三、注射成型工艺参数的选择与控制	61
第二节 注射成型新技术	64
一、热固性塑料注射成型技术	64
二、无流道成型技术	70
三、共注射成型技术	72
四、气体辅助注射成型技术	75
五、结构发泡注射成型技术	76
六、BMC 注射成型技术	78
七、液态注射成型技术	78
八、反应注射成型技术	79
第三节 注射成型制件的常见缺陷及产生原因	80
一、注射成型制件的常见缺陷	80
二、注射成型制件常见缺陷的产生原因与解决办法	80
第四章 注射成型模具	87

第一节 注射成型模具	87
一、注射模的分类	87
二、注射模的结构组成	87
三、注射模典型结构	90
第二节 注射模零部件结构与功能系统设计	91
一、成型零部件	91
二、浇注系统	94
三、推出机构	103
四、侧向分型与抽芯机构	108
五、温度控制系统	112
六、结构零件强度与刚度校核	114
第三节 注射模与注射机	118
一、注射机的分类	119
二、注射机规格及其技术参数	121
三、注射模与注射机的关系	121
第四节 注射模设计实例	128
一、方案与装配结构图	128
二、塑件工艺分析、选择注射机、确定型腔数	129
三、确定成型方案及成型零部件结构	131
四、绘制结构方案草图、校核注射机有关工艺参数	131
五、计算	133
六、模具结构总装图和零件工作图的绘制	134
第五章 压缩成型技术	135
第一节 压缩成型原理及其工艺过程	135
一、压缩成型原理、特点与应用	135
二、压缩成型工艺过程	136
三、压缩成型工艺参数	138
第二节 压缩成型模具	141
一、压缩模的结构组成	142
二、压缩模的分类	143
三、施压方向的确定	146
四、结构与工艺计算	148
五、压缩模电热计算	155
第三节 压缩成型加工设备	159

一、压缩成型设备	159
二、压缩模与压机的关系	160
第四节 压缩注塑成型制件的常见缺陷及产生原因	166
一、压缩成型制件的常见缺陷	166
二、压缩成型制件常见缺陷的产生原因与解决办法	166
第六章 压注成型技术	170
第一节 压注成型原理及其工艺过程	170
一、压注成型的原理和特点	170
二、压注成型工艺过程	171
三、压注成型工艺参数	172
第二节 压注成型模具	173
一、压注模的结构组成	173
二、压注模的分类	174
三、压注模典型结构	175
四、压注模结构设计	178
第三节 压注成型加工设备	186
第四节 压注成型制件的缺陷分析	187
一、压注成型制件的常见缺陷	187
二、压注成型制件常见缺陷的产生原因与解决办法	188
第七章 挤出成型技术	189
第一节 挤出成型原理及其工艺过程	189
一、挤出成型原理、特点与应用	189
二、挤出成型工艺过程	191
三、挤出成型工艺参数	193
第二节 挤出成型模具（机头）	195
一、挤出机头的结构组成	196
二、挤出成型模具的分类及作用	197
三、挤出成型机头的设计原则	198
四、挤出机头典型结构	199
五、挤出机头结构设计	212
第三节 挤出成型加工设备	217
一、挤出机的分类及技术参数	217
二、挤出机组	222

第四节 挤出成型制件的缺陷分析·····	228
一、挤出成型 PVC 硬管时的缺陷分析·····	228
二、挤出成型 PVC 软管时的缺陷分析·····	229
三、挤出成型 PE 管材时的缺陷分析·····	229
四、挤出成型板材或片材时的缺陷分析·····	230
第八章 其他塑料成型技术与模具·····	232
第一节 中空吹塑成型技术与模具·····	232
一、中空吹塑成型模具的分类、特点及成型工艺·····	232
二、吹塑成型工艺参数·····	235
三、中空吹塑设备·····	236
第二节 真空吸塑成型技术与模具·····	238
一、真空成型的特点及成型工艺·····	238
二、模具设计·····	242
第三节 压缩空气成型技术与模具·····	244
一、压缩空气成型特点及成型工艺·····	244
二、压缩空气成型模具·····	244
第四节 泡沫塑料成型工艺与模具设计·····	245
一、可发性聚苯乙烯的制备·····	246
二、泡沫聚苯乙烯的成型工艺·····	246
三、泡沫塑料成型模具·····	247
第五节 聚四氟乙烯成型工艺与冷压成型模具·····	249
一、冷压成型·····	249
二、烧结·····	250
三、聚四氟乙烯冷压成型模·····	252
第六节 压延成型·····	253
一、压延成型工艺过程及压延设备·····	254
二、聚氯乙烯的压延工艺过程·····	255
附录一 常用热塑性塑料的性能与应用·····	264
附录二 常用热固性塑料的性能与应用·····	269
附录三 部分国产注射机技术规格·····	270
附录四 部分国产注射机锁模机构与模具安装尺寸·····	272
参考文献·····	276

第一章 概 论

第一节 塑料与塑料工业

塑料是常温下呈高弹态的高分子聚合物。其以树脂（高分子聚合物）为主要成分，加入各种能改善其加工性能和使用性能的添加剂（填充剂、增强剂、增塑剂、稳定剂、润滑剂、着色剂、固化剂、阻燃剂、发泡剂、防静电剂、导电剂、导磁剂等），在一定温度、压力和溶剂等作用下，利用模具可成型为一定几何形状和尺寸的塑料制件，并在常温、常压下保持此形状的一类材料。

一、塑料的分类

目前，塑料品种繁多，而每一品种又有不同的牌号，为了便于识别和适用，通常对塑料进行分类，常用的分类方法有以下几种。

1. 按合成树脂的分子结构及其特性分类

(1) 热塑性塑料 热塑性塑料的合成树脂都是线形或带有支链形结构 [图 2-1 (a)、(b)] 的聚合物，其特点是受热变软或熔化，成为可流动的稳定黏稠液体，在此状态具有可塑性，可塑制成一定形状的塑件；冷却后保持既得的形状；再加热，又可变软并可制成另一形状。在该过程中一般只有物理变化，其变化过程可逆。

简而言之，热塑性塑料是由可以多次反复加热而仍具有可塑性的合成树脂制得的塑料。常见的热塑性塑料有：聚氯乙烯 (PVC)、聚苯乙烯 (PS)、聚碳酸酯 (PC)、聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物 (ABS)、聚砜 (PSU)，这些为非结晶型塑料；聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚甲醛 (POM)、聚酰胺 (PA)、饱和聚酯 (SP)、聚四氟乙烯 (PTFE)，这些为结晶型塑料。

常用热塑性塑料的性能与应用见附录一。

(2) 热固性塑料 热固性塑料的合成树脂是带有体形网状结构 [图 2-1 (c)] 的聚合物。

热固性塑料是由加热硬化的合成树脂制得的塑料。在加热之初，分子呈线形结构，具有可溶性和可塑性，可塑制成一定形状的塑件；继续加热时，温度达到一定程度后，分子呈现网状结构，树脂变成不溶或不熔的体形结构，使形状固定下来不再变化；再加热，也不再软化、不再具有可塑性。在加热变化过程中既有

物理变化，又有化学变化，因而其变化过程是不可逆的。

简而言之，热固性塑料是加热硬化的合成树脂制得的塑料。常见的热固性塑料有酚醛塑料（PF）、环氧塑料（EP）、不饱和聚酯（UP）、氨基塑料、有机硅塑料、脲醛塑料、呋喃塑料等。

常用热固性塑料的性能与应用见附录二。

2. 按塑料的应用范围分类

（1）通用塑料 通用塑料是指产量最大、用途最广、价格最低廉的一类塑料。目前公认的通用塑料为聚乙烯（PE）、聚氯乙烯（PVC）、聚苯乙烯（PS）、聚丙烯（PP）、酚醛塑料（PF）、氨基塑料六大类。其产量占塑料总产量的 80% 以上，构成了塑料工业的主体。

（2）工程塑料 工程塑料是指用作工程技术中的结构材料的塑料。其具有较高的机械强度、良好的耐磨性、耐腐蚀性、自润滑性及尺寸稳定性等，即具有某些金属性能，因而可以代替金属作某些机械构件。常用的工程塑料主要有聚酰胺（PA）、聚甲醛（POM）、聚碳酸酯（PC）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯（ABS）、聚砜（PSU）、聚苯醚（PPO）、聚四氟乙烯（PTFE）以及各种增强塑料。

（3）特殊塑料 特殊塑料是指具有某些特殊性能的塑料。这些特殊性能包括：高的耐热性、高的电绝缘性、高的耐腐蚀性等。常见特殊塑料包括氟塑料、聚酰亚胺塑料、有机硅树脂、环氧树脂以及为某些专门用途而改性制得的塑料如导磁塑料、导热塑料等。另外还有用于特殊场合的医用塑料、光敏塑料、珠光塑料、导磁塑料、等离子塑料等。

3. 按树脂的制造方法分类

（1）加聚型塑料 加聚型塑料是指由通过加聚反应制得的树脂组成的塑料。所谓加聚反应是指在一定条件下，单体分子的活性链发生相互作用，加聚成一条大分子链的过程。

（2）缩聚型塑料 缩聚型塑料是指由通过缩聚反应制得的树脂组成的塑料。所谓缩聚反应是靠单体中的可反应基团等来反应的，反应过程是逐步缩合的，并伴随某种小分子物质（氯化氢、氨、水、甲醇等）析出。

二、塑料的性能与应用

不同品种的塑料具有不同的性能和应用，综合起来，塑料的性能可归纳如下。

（1）塑料质量轻、密度小 一般塑料的密度与水相近，大约是钢材密度的 $1/6$ 和铝材密度的 $1/2$ 左右，即在同样的体积下，塑料制件要比金属制件轻得多。

虽然塑料的密度小，但其力学强度比陶瓷、玻璃、木材等要高得多，有些塑

料甚至可与钢铁媲美。这对于要求减轻自重的车辆、船舶、飞机、日用品和家用电器等产品，以塑代钢，具有特别重要的意义。

(2) 比强度高 按单位质量来计算的材料拉伸强度称为比强度。塑料的比强度并不逊于金属，例如钢的拉伸比强度约为 160MPa，而玻璃纤维增强的塑料拉伸比强度可高达 170~400MPa。所以，一般塑料在制造日用品的同时，还可用于机械工程中。比强度高的纤维增强塑料可用作负载较大的零件。塑料零件在交通运输和航空航天中所占比例越来越大，例如，在小轿车中塑料的质量约占整车质量 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) 优良的电、热、声绝缘性能 由于塑料具有良好的电、热、声绝缘性能，因此被广泛应用于电绝缘材料、绝缘保温材料以及隔音吸音材料的制造中。塑料具有良好的减震、隔音性能。塑料的优越电气绝缘性能和极低的介电损耗性能，可以与橡胶和陶瓷媲美，是电子工业不可缺少的原材料。目前，半导体塑料、导电导磁塑料等又相继问世，这对电子工业的发展具有独特的意义。

(4) 耐化学腐蚀能力强 塑料对酸、碱、盐和许多化学药品的腐蚀均有抵抗能力。其中，聚四氟乙烯的化学稳定性最高，超过了所有的已知材料（包括金与铂），“王水”对它也无可奈何，所以称之为“塑料王”。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。

(5) 光学性能好 塑料的折射较好，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晶莹透明的制品。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) 塑料减摩、耐磨性能较好。

(7) 加工性能优良、经济效益显著 塑料具有容易成型、成型加工周期短的特性。生产塑料制件所需专用设备投资少，能耗低。与金属制件加工相比，成型周期短，加工工序少，加工过程中的边角废料多数可回收再用。生产单位体积塑料制件的费用仅为有色金属的 1/10，可见，塑料制件的总体经济效益显著。

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各个部门不可缺少的一种化学材料，跻身于金属、纤维材料和硅酸盐三大传统材料之列，是各行各业不可缺少的重要材料之一。

当然，塑料存在一些缺点，例如，塑料的热导率只有金属的 1/600~1/200，不易散热；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，在低温下易变脆开裂；在长期受载荷作用下，即使温度不高，塑料也会渐渐产生“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。这使其在应用中受到一定

的限制，同时要求我们在选择塑料时要注意扬长避短。

三、塑料工业

塑料工业是随着石油工业的发展而产生的一门新兴工业，其发展大致有以下几个阶段。

1. 初创阶段

20 世纪 30 年代，酚醛、硝酸纤维素及醋酸纤维素等塑料研制成功，是塑料工业的创建阶段，间歇法、小批量生产是其工业化的特征。

2. 发展阶段

20 世纪 30 年代，低密度聚乙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯和聚酰胺等热塑性塑料相继工业化，奠定了塑料工业的基础，为其进一步发展开辟了道路。

3. 飞速发展阶段

20 世纪 50 年代中期以来，石油化工工业高速发展，为塑料工业提供了丰富廉价的原料。另外，有机金属络合物定向催化体系聚合工艺的创立、高分子学科的进一步发展以及聚合技术的开拓，大大促进了塑料工业的发展，到 20 世纪 60 年代末塑料的产量和品种不断增加，成型加工技术更趋完善。在此期间，高密度聚乙烯、聚丙烯、聚碳酸酯、聚甲醛、聚酰亚胺等出现并实现了工业化。

4. 稳步增长阶段

20 世纪 70 年代以来，由于经济危机和石油危机的影响，原材料价格猛涨，塑料的增长速度显著下降。通过共聚、交联、共混、复合、增强、填充和发泡等方法，改进塑料的性能、提高产品的质量、扩大应用领域是这一阶段塑料工业发展的特点。同时，实现了塑料生产自动化、连续化，塑料产品系列化，功能性塑料得到不断开拓。

我国的塑料工业起步较晚，20 世纪 40 年代只有年产量仅 200t 的酚醛和赛璐珞两种塑料。其从 20 世纪 50 年代末开始发展，60 年代的石油工业的发展，促进了塑料工业的腾飞，70 年代引进聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯生产成套设备，80 年代建立的数个大型乙烯工程，使塑料工业成为轻工行业和化工行业的支柱产业。目前，塑料成型加工机械和工艺方法得到迅速发展，各种加工工艺都已齐全。

第二节 塑料成型技术

一、塑料成型技术

1. 塑料成型概述

从原料到塑料，再从塑料到制品，统称为塑料成型技术。所以，塑料工业可