



高职高专“十一五”规划教材

# 塑料成型工艺

▶ 杨中文 主编  
桑永 主审

 化学工业出版社

高职高专“十一五”规划教材

# 塑料成型工艺

杨中文 主编

桑 永 主审



化学工业出版社

· 北京 ·

本教材是根据高分子材料加工技术专业的人才培养方案及课程教学大纲的要求编写的。全书共分为九章，主要内容有绪论、塑料成型基本理论、塑料成型用物料的准备、挤出成型工艺、注射成型工艺、压延成型工艺、泡沫塑料成型工艺、其他塑料成型工艺和塑料的二次加工。各章分别以其所述的塑料成型工艺过程为主线，详细介绍了各自的工艺方法、工艺原理、工艺过程控制及工艺问题分析。为便于教学，各章后均附有一定量的思考题，为配合教学内容并提高学生的综合职业能力，附录中介绍了四个基本的塑料成型工艺试验。

本书可作为三年制、五年制高职“高分子材料加工技术专业”的教材，也可供塑料行业有关人员作为培训教材。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

塑料成型工艺/杨中文主编. —北京: 化学工业出版社,  
2009. 1

高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-122-04584-3

I. 塑… II. 杨… III. 塑料成型-工艺-高等学校: 技  
术学院-教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 000372 号

---

责任编辑: 于 卉

文字编辑: 李 玥

责任校对: 郑 捷

装帧设计: 于 兵

---

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: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{1}{4}$  字数 462 千字 2009 年 3 月北京第 1 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: 28.00 元

版权所有 违者必究

# 高职高专高分子材料加工技术专业规划教材 编审委员会

顾问	陶国良					
主任委员	王荣成					
副主任委员	陈滨楠	陈炳和	金万祥	冉新成	王慧桂	
	杨宗伟	周大农				
委员	(按姓氏汉语拼音排序)					
	卜建新	蔡广新	陈滨楠	陈炳和	陈改荣	陈华堂
	陈健	陈庆文	丛后罗	戴伟民	邸九生	付建伟
	高朝祥	郭建民	侯文顺	侯亚合	胡芳	金万祥
	孔萍	李光荣	李建钢	李跃文	刘巨源	刘青山
	刘琼琼	刘少波	刘希春	罗成杰	罗承友	麻丽华
	聂恒凯	潘文群	潘玉琴	庞思勤	戚亚光	冉新成
	桑永	王国志	王红春	王慧桂	王加龙	王玫瑰
	王荣成	王艳秋	王颖	王玉溪	王祖俊	翁国文
	吴清鹤	肖由炜	谢晖	徐应林	薛叙明	严义章
	杨印安	杨中文	杨宗伟	张芳	张金兴	张晓黎
	张岩梅	张裕玲	张治平	赵继永	郑家房	郑式光
	周大农	周健	周四六	朱卫华	朱雯	朱信明
	邹一明					

# 前 言

本教材是根据高分子材料加工技术专业的人才培养方案及课程教学大纲的要求编写的，主要供三年制、五年制高职“高分子材料加工技术专业”及其相关专业选用，也可供塑料行业有关人员作为培训教材。

本教材是以常见塑料成型工艺为主线，重点介绍塑料成型工艺过程与基本原理、工艺操作，理论本着以“必需、够用”为原则，注重加工理论与成型工艺实际的结合，注重学生职业能力的培养。以成熟加工工艺内容为主的同时，也适当介绍了塑料加工新工艺、新技术及各种工艺的发展趋势。

本教材共分九章：第一章绪论，介绍大塑料工业的概念及塑料成型在塑料工业中的地位，塑料成型工业的发展过程，成型工艺的分类及本课程的主要内容与要求；第二章介绍塑料成型加工的基本理论，重点介绍塑料的加工性能及塑料成型工艺中物料发生的物理与化学变化；第三章介绍塑料成型用物料的准备，重点介绍物料的配制、物料的工艺性能及配制过程中的工艺问题；第四章介绍挤出成型工艺，对挤出工艺原理、挤出工艺的操作及各种常见挤出制品的成型工艺进行了较详细的讨论，挤出中空吹塑也安排在这章之中；第五章介绍的是注射成型工艺，对注射工艺过程、原理及工艺因素进行了分析，通过常见塑料的注射分析来加深学生对注射成型工艺的理解，注吹工艺及热固性塑料的注射成型也作了适当介绍；第六章介绍的是压延成型工艺，对压延工艺的过程、原理、操作工艺因素进行了讨论；第七章介绍泡沫塑料成型的工艺；第八章简要介绍了模压与传递成型、层压成型、搪塑成型、滚塑成型、冷压烧结成型、塑料的热成型及涂覆成型工艺；第九章为塑料的二次加工，主要内容是塑料的机械加工、连接加工与修饰加工。为便于教学，每章后均附有一定量的复习思考题；为配合教学内容并提高学生的综合职业能力，附录中介绍了四个基本的塑料成型工艺实验。

本教材第一章、第二章、第九章及附录由湖南科技职业学院杨中文编写；第三章、第四章、第六章由湖南科技职业学院刘西文编写；第五章由广东轻工职业技术学院李建钢编写；第七章、第八章由长江大学田英编写；全书由湖南科技职业学院杨中文主编并统稿，由安徽职业技术学院桑永主审。

本书编写过程中，得到了全国化工高等职业教育材料加工类专业教学指导委员会、化学工业出版社以及有关兄弟院校的大力支持，保证了编写工作的顺利完成，在此谨致以衷心的感谢。

由于编者水平所限，再加上时间仓促，书中难免有不妥之处，我们恳切希望使用本书的读者提出批评和指正。

编者

2008年10月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1	<b>第一节 概述</b> .....	36
<b>第一节 塑料成型加工在塑料工业中</b> 的地位 .....	1	<b>第二节 粉料与粒料的配制</b> .....	36
<b>第二节 塑料成型工业的发展</b> .....	2	一、物料混合原理 .....	36
一、塑料成型工业发展历史 .....	2	二、粉料的配制 .....	42
二、塑料成型工业发展现状及趋势 .....	2	三、粒料的制备 .....	45
三、我国塑料工业发展概况 .....	3	四、粉料和粒料的工艺性能 .....	50
<b>第三节 塑料成型工艺分类</b> .....	3	<b>第三节 塑料溶液及塑料糊的配制</b> .....	54
一、按成型加工操作方式分类 .....	3	一、塑料溶液的配制 .....	54
二、按成型所属加工阶段分类 .....	4	二、溶胶塑料的配制 .....	55
三、按成型加工伴随的变化类型分类 .....	4	三、溶胶塑料的组成及作用 .....	56
<b>第四节 本课程的主要内容及要求</b> .....	5	四、溶胶塑料的配制工艺 .....	58
<b>复习思考题</b> .....	5	<b>复习思考题</b> .....	59
<b>第二章 塑料成型基本理论</b> .....	6	<b>第四章 挤出成型工艺</b> .....	60
<b>第一节 概述</b> .....	6	<b>第一节 概述</b> .....	60
<b>第二节 聚合物的加工性质</b> .....	6	<b>第二节 挤出机及机头的基本结构</b> .....	60
一、聚合物的聚集态与成型 .....	6	一、单螺杆挤出机的基本结构 .....	60
二、聚合物的可挤压性 .....	7	二、双螺杆挤出机的基本结构 .....	60
三、聚合物的可模塑性 .....	7	<b>第三节 挤出机的工作原理</b> .....	61
四、聚合物的可延展性 .....	8	一、单螺杆挤出机的工作原理 .....	61
<b>第三节 聚合物的流变性能</b> .....	9	二、双螺杆挤出机的工作原理 .....	66
一、聚合物的流动特性 .....	9	<b>第四节 挤出成型的一般操作</b> .....	66
二、影响聚合物熔体黏度的因素 .....	12	一、物料的预处理 .....	66
三、聚合物熔体流动过程中的弹性 行为 .....	14	二、开机前的准备 .....	66
<b>第四节 聚合物成型过程中的加热     与冷却</b> .....	16	三、开机 .....	67
一、热扩散率及其影响因素 .....	16	四、调整 .....	67
二、聚合物加热与冷却过程中应注意 的问题 .....	17	五、定型与冷却 .....	67
<b>第五节 聚合物成型过程中的结晶与     取向</b> .....	17	六、制品的牵引和卷取（切割） .....	67
一、成型过程中的结晶 .....	18	七、停机 .....	68
二、成型过程中的取向 .....	24	八、后处理 .....	68
<b>第六节 聚合物的降解与交联</b> .....	30	<b>第五节 典型挤出产品的成型工艺</b> .....	68
一、聚合物的降解 .....	30	一、管材挤出 .....	68
二、聚合物的交联 .....	33	二、板（片）挤出 .....	74
<b>复习思考题</b> .....	35	三、吹塑薄膜挤出 .....	78
<b>第三章 塑料成型用物料的准备</b> .....	36	四、拉伸制品挤出 .....	84
		<b>第六节 挤出中空吹塑成型</b> .....	94
		一、吹塑工艺过程及控制因素 .....	94
		二、挤出拉伸吹塑 .....	96
		三、多层共挤中空吹塑 .....	98
		<b>第七节 挤出成型技术发展</b> .....	101
		一、反应挤出 .....	102

二、共挤出技术 .....	102	三、产品及模具设计 .....	147
三、精密挤出技术 .....	103	四、反应注射成型中气泡的产生原因 与防止措施 .....	148
复习思考题 .....	103	五、反应注射成型优点 .....	148
<b>第五章 注射成型工艺</b> .....	105	六、聚氨酯反应注射成型配方工艺 .....	149
第一节 概述 .....	105	<b>第十节 注射成型技术的进展</b> .....	150
第二节 注射机及注射模具 .....	106	一、注射成型技术 .....	150
一、注射机 .....	106	二、注射 CAE 技术 .....	152
二、注射模具 .....	108	三、其他注射成型技术的发展 .....	153
第三节 注射成型过程 .....	110	复习思考题 .....	154
一、成型前的准备工作 .....	110	<b>第六章 压延成型工艺</b> .....	156
二、注射成型 .....	112	第一节 概述 .....	156
三、制件的后处理 .....	113	第二节 压延成型工艺流程 .....	156
第四节 注射成型工艺分析 .....	114	一、聚氯乙烯薄膜压延成型工艺流程 .....	156
一、温度 .....	114	二、硬质聚氯乙烯片材压延成型工艺 流程 .....	158
二、压力 .....	116	三、压延生产聚氯乙烯人造革工艺 流程 .....	158
三、成型周期 .....	118	第三节 压延成型的主要设备与装置 .....	159
第五节 典型塑料制品注射成型 .....	119	一、压延机 .....	159
一、热塑性塑料的注射成型特点 .....	119	二、引离装置 .....	161
二、聚丙烯注射成型 .....	120	三、压花装置 .....	161
三、聚苯乙烯注射成型 .....	121	四、冷却装置 .....	161
四、聚碳酸酯注射成型 .....	122	五、卷取装置 .....	162
五、常用热塑性塑料的注射成型工艺 参数 .....	123	第四节 压延成型工艺控制 .....	162
第六节 影响注射制品质量的因素 .....	125	一、软质聚氯乙烯压延制品成型工艺 控制 .....	162
一、内应力 .....	125	二、硬质聚氯乙烯压延制品生产工艺 控制 .....	164
二、熔接痕 .....	126	第五节 影响压延制品质量的因素 .....	164
三、收缩性 .....	127	一、工艺操作因素 .....	164
四、注射件生产中出现的不正常现象 产生原因及解决办法 .....	128	二、原材料因素 .....	165
第七节 注射中空吹塑工艺 .....	133	三、设备因素 .....	166
一、注射吹塑过程 .....	133	四、冷却定型阶段因素 .....	168
二、注射吹塑设备特征 .....	134	五、压延生产中出现的不正常现象产生 原因及解决办法 .....	168
三、注射吹塑工艺控制要点 .....	135	第六节 压延成型技术的发展 .....	170
四、注射拉伸吹塑 .....	136	一、原料的进展 .....	170
五、多层注坯吹塑 .....	138	二、压延机的大型、高速、精密、自 动化 .....	170
第八节 热固性塑料的注射成型 .....	139	三、冷却装置的改进 .....	171
一、概述 .....	139	四、异径辊筒压延机 .....	171
二、热固性塑料注射成型工艺过程 .....	140	五、拉伸扩幅 .....	171
三、热固性塑料注射成型对原料 的要求 .....	141	复习思考题 .....	172
四、热固性塑料注射成型对加工设备 的要求 .....	142	<b>第七章 泡沫塑料成型工艺</b> .....	173
五、热固性塑料注射成型工艺 .....	143	第一节 概述 .....	173
第九节 反应注射成型 .....	145		
一、反应注射成型工艺 .....	146		
二、反应注射成型影响因素 .....	146		

第二节 泡沫塑料的发泡方法及成型	
原理	173
一、机械发泡法	173
二、物理发泡法	173
三、化学发泡法	174
四、泡沫塑料的成型原理	174
第三节 聚苯乙烯泡沫塑料生产工艺	174
一、聚苯乙烯可发性珠粒制备方法	174
二、聚苯乙烯泡沫塑料模压成型	176
三、聚苯乙烯泡沫塑料挤出成型	177
四、聚苯乙烯泡沫塑料典型制品的生产	179
第四节 聚氨酯泡沫塑料生产工艺	180
一、聚氨酯泡沫塑料成型原理	180
二、软质聚氨酯泡沫塑料生产工艺	181
三、硬质聚氨酯泡沫塑料生产工艺	184
四、聚氨酯泡沫塑料典型制品生产	185
第五节 聚乙烯泡沫塑料生产工艺	187
一、聚乙烯交联发泡过程	187
二、聚乙烯泡沫塑料成型方法	187
三、聚乙烯泡沫塑料典型制品生产	188
第六节 聚氯乙烯泡沫塑料生产工艺	190
一、聚氯乙烯发泡及成型方法	190
二、聚氯乙烯泡沫塑料典型制品生产	191
第七节 泡沫塑料成型技术的发展	195
复习思考题	196
<b>第八章 其他塑料成型工艺</b>	197
第一节 模压与传递成型	197
一、模压成型	197
二、传递成型	200
第二节 层压成型	201
一、层压成型的基本概念	201
二、常用树脂、基材与填料	201
三、附胶材料的制备	201
四、层压制品的成型	202
五、层压成型板材的种类及应用	204
第三节 搪塑成型	204
一、搪塑工艺过程	204
二、塑料糊在热处理过程中的物理变化	204
三、搪塑玩具的生产工艺	205
第四节 滚塑成型	206
一、滚塑工艺特点	206
二、小型滚塑制品的生产	206
三、大型中空制品的生产	206
第五节 冷压烧结成型	207
一、制坯	208
二、烧结	208
三、产品检验及二次加工	209
第六节 塑料的热成型	209
一、热成型概述	209
二、热成型的方法	209
三、热成型设备	211
四、热成型模具	212
五、工艺因素分析	213
第七节 涂覆成型	214
一、火焰喷涂	215
二、热熔喷涂	215
三、流化喷涂	216
四、悬浮液涂覆	216
五、静电喷涂	217
六、等离子喷涂	217
复习思考题	217
<b>第九章 塑料的二次加工</b>	219
第一节 塑料的机械加工	219
一、车削、铣削	219
二、钻削、螺纹加工	220
三、剪切、锯切、冲切、冲孔	221
四、激光加工	222
第二节 塑料的连接加工	223
一、机械连接	223
二、粘接	225
三、焊接	228
第三节 塑料的修饰加工	231
一、机械整饰	231
二、涂装	233
三、印刷	234
四、植绒	236
五、镀金属	237
复习思考题	240
<b>附录 常用塑料成型工艺实验</b>	242
实验一 挤出吹塑薄膜成型工艺实验	242
实验二 挤出成型塑料管材工艺实验	244
实验三 热塑性塑料注射成型工艺实验	246
实验四 硬质聚氯乙烯板材压制成型工艺实验	248
<b>参考文献</b>	250



# 第一章 绪 论

## 【学习目标】

了解塑料制品生产的结构组成；了解国内外塑料工业发展状况；熟悉塑料制品的主要应用领域。

## 第一节 塑料成型加工在塑料工业中的地位

大塑料工业包括树脂合成工业、塑料助剂工业、塑料成型加工工业、塑料机械工业及塑料模具工业。通常塑料工业是指塑料成型加工业，它是塑料工业的核心，但其他几种工业显然必不可少，没有树脂合成及塑料助剂生产，塑料成型加工业就没有了原料，塑料机械及塑料模具是塑料工业的载体，只有借助于机械与模具，塑料原料才能变成塑料制品。因此，以上五个工业门类共同组成了大塑料工业系统，它们之间的关系密不可分，相互依存，相互制约，相互促进，共同发展。图 1-1 为大塑料工业生产组成示意。

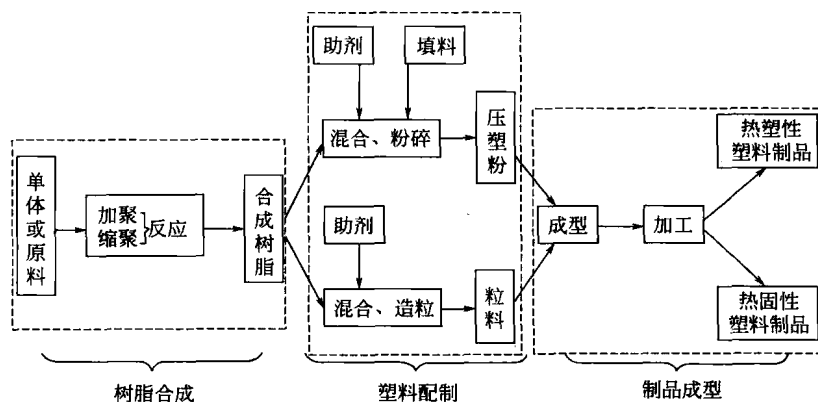


图 1-1 大塑料工业生产组成示意

树脂合成是让单体通过聚合反应生产塑料加工所需的主要原料，我国现一般在大中型石油化工企业完成，少数塑料在成型的过程中进行化学合成反应，如聚氨酯泡沫塑料的生产、浇铸尼龙。

塑料配制是将树脂与各种助剂按规定配方进行混合、混炼，得到能满足塑料加工的粉料或粒料，我国一般在塑料成型加工企业完成（部分在树脂生产企业完成）。

塑料成型是将配制好的原料在一定的温度和压力下熔融塑化，在能够发生变形与流动的情况下通过塑料成型设备与模具成为所需的形状，再经冷却（或交联固化）并保持其形状，得到塑料制品。

塑料制品的加工是对成型后的产品进行必要的机械加工或处理，通常称为二次加工。为成型过程不能完成或完成不准确而作的一些加工，如进行车削、钻孔等，以便于装配与使用。

塑料成型加工企业生产塑料制品一般可分为两大过程、五个步骤，两大过程为成型与加工，五个步骤分别是原料准备、成型、机械加工、修饰、装配。其中成型是必不可少的，其他四个步骤可根据需要进行选择，并不是每个塑料制品都要经过第一步与后三个步骤。塑料制品的生产组成如图 1-2 所示。

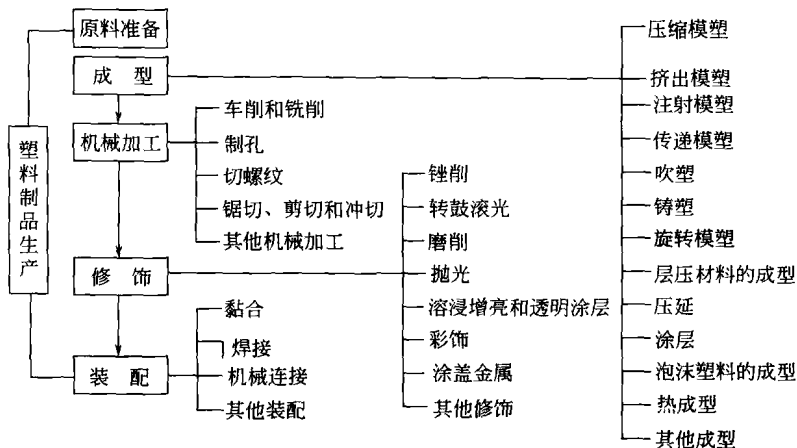


图 1-2 塑料制品的生产组成

## 第二节 塑料成型工业的发展

### 一、塑料成型工业发展历史

塑料成型工业的发展大致可分为三个时期。

初创时期，约为 1869~1930 年。以 1869 年第一个半合成的高分子材料硝酸纤维素出现为标志，硝酸纤维素是用樟脑增塑后得到赛璐珞，是人类获得的第一个热塑性塑料。1907 年出现的酚醛树脂，是第一个合成的高分子材料，预示着热固性塑料研究的开始。随后又开发了氨基塑料。

塑料成型中的两大常用加工方法，注射成型与挤出成型也是始于赛璐珞的成型加工。即 1870 年用的柱塞式湿法挤出成型赛璐珞和 1892 年用立式注射机成型赛璐珞。现代挤出机和注射机的原型约在 20 世纪 30 年代确定。

扩展时期，约为 1931~1970 年。这一时期由于高分子科学的巨大成就，极大地促进了塑料加工业的发展，绝大多数通用塑料（如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯）及工程塑料（如 ABS、聚酰胺、聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、聚砜、含氟和含硅聚合物）均是在这一时期相继问世并实现工业化，1948 年出现的机械共混法生产的 ABS 是第一个高分子合金。塑料成型机械及模具在这一时期也得到了长足发展，目前塑料制品生产企业广泛采用的注射、挤出、压延及中空吹塑等成型技术均是在这一时期发展起来的。

变革时期，约为 1971 年至今。主要表现在高分子合金塑料不断出现，功能塑料不断发展，塑料机械及模具更加高速、精密、低耗等。塑料原料新品种在这一阶段出现趋缓，主要是对原有塑料品种进行改性，或通过催化剂（如茂金属）的改进合成新品级、具有可设计性能的或综合性能更优的塑料原料，更加注重塑料助剂的研发与应用，更为普遍的使用塑料助剂来提高塑料的品质，高分子合金化及其技术、反应性加工技术、高分子化合物/无机物复合技术以及纳米技术成为新技术的重点，人类更加重视环境友好、本着资源节约的原则来发展塑料工业，废旧塑料的回收利用已引起了全人类的关注，要以科学发展观来指导塑料工业已经成为大家的共识，从而保证塑料工业的健康可持续发展。

### 二、塑料成型工业发展现状及趋势

塑料作为一种新型材料，其产量按体积统计早已超过了钢材，由于其优异的性能，使其在国民经济及人们的生活中占有重要地位。塑料在工程上的应用领域越来越多，用量增长迅速，所以塑料成型工业是各国大力发展的朝阳产业。从当前发展现状来看，仍是以德国、日本、意大利、美国等西方发

达国家技术水平较高，主要表现在原材料质量高，专用品级的原料较多；塑料助剂性能高，塑料机械装备好，模具制造精度高。结果是生产出来制品的质量好，能满足具有较高要求的使用场所。产品应用主要仍是以包装、建材、交通、电子电器、化学工业等作为主要领域，其次是农业、医疗、日用、体育及国防等领域，塑料工业在全世界范围内已经是一个专业化强、规模大、发展快而且前景广阔的行业。

塑料成型工业的发展趋势是节约资源型生产工艺及设备的应用，达到节能、节料的目的；注重消除污染、防止公害，实现清洁生产；加深对塑料成型过程基本理论的研究，简化成型工艺或开发新的工艺、提高塑料制品质量、缩短成型周期；塑料改性的研究、制备满足各种使用要求的塑料合金，研发各类高效无毒的塑料助剂；实现生产的连续化、自动化、最佳化和柔性化。

### 三、我国塑料工业发展概况

我国塑料工业是新中国成立后才发展起来的，新中国成立前基本没有塑料工业，塑料工业的快速发展是改革开放后，随着我国国民经济整体稳定健康发展，塑料工业在我国实现了跨越式的发展，主要体现在以下几点：

① 1997~2007年连续十年塑料工业经济指标稳步大幅递增，全行业不断发展壮大，总产值居轻工行业第三、出口居第五位，已经成为我国国民经济持续繁荣的重要支柱产业之一；

② 我国塑料机械工业生产位居世界第一，已经由设计制造大国发展成为先进的自主开发强国；

③ 塑料合成树脂生产位居世界第二，已由大量依靠进口逐步转变为立足国内生产，满足市场需求；

④ 塑料制品加工居世界第二，由低附加值加工提升到拥有自主知识产权的中国品牌，塑料加工业的创新能力得到了增强；

⑤ 塑料工业在我国已经构建了若干个区域性的高新技术产业群，企业技术研发中心数量不断增多，研发能力不断增强；

⑥ 塑料工业技术水平与国际发达国家的差距正在逐步缩小，某些方面已经达到世界先进水平，现在已经进入从塑料大国向塑料强国迈进的可持续发展的关键时期。

我国塑料工业发展中还存在一些亟待解决的问题，主要是塑料原料专用料的生产满足不了塑料使用的需要，各类高效无毒、方便使用的塑料助剂研发不够，塑料降解技术的研究及市场推广不力，塑料工业产业结构调整压力大，中小塑料加工企业技术改造资金不足，导致大量落后设备仍在用、能耗大、劳动生产率低、利润小、效益差、市场竞争力不强，不利于行业的技术进步与发展。国家规定自2008年6月1日起禁止生产、销售、使用厚度小于0.025mm的塑料袋，导致一批企业必须进行产品结构调整，给一些塑料加工企业带来较大压力。塑料也并不是十全十美的材料，塑料工业中存在的这些问题只有通过科学技术进步才能彻底解决，问题的存在一定程度上反映了我国塑料加工研究人才缺乏、科研经费不足、科研力量分散的问题。加强高职塑料成型加工专业人才的培养必将为解决我国塑料工业存在的问题打下良好的基础。

## 第三节 塑料成型工艺分类

### 一、按成型加工操作方式分类

根据塑料成型加工过程中操作方式的不同，可将其分为连续式、间歇式与周期式三种类型。

#### 1. 连续式成型加工

这种工艺的共同特点是其成型加工过程一旦开始，就可以不间断地进行下去。用这类成型加工方法制得的塑料产品长度可不受限制，因此管、棒、型材、单丝、板、片、膜等产品可用这类方法生产。典型的连续式塑料成型工艺有各种型材的挤出、薄膜及片材的压延、薄膜的流延和涂

覆人造革的成型等。

### 2. 间歇式成型加工

这类工艺的共同特点是成型过程中的操作不能连续进行，各个制品成型加工操作时间并不固定。有时具体的操作步骤也不完全相同，一般来说，这类成型加工技术的机械化和自动化程度都不高，手工操作占有重要地位。用移动式模具的压缩模塑和传递模塑、冷压烧结成型、层压成型、静态浇铸、滚塑以及大多数二次加工技术均属此类。

### 3. 周期式成型加工

这一类成型加工每个制品均以相同的步骤，每个步骤均以相同的时间，以周期循环的方式完成工艺操作。主要依靠成型设备预先设定的程序完成制品的成型加工操作，因而成型加工过程可以没有或只有极少量的手工操作。全自动控制的注射成型和注坯吹塑，以及自动生产线上的片材热成型和蘸浸成型等是这类工艺的典型代表。

## 二、按成型所属加工阶段分类

按各种成型加工技术在塑料制品生产中所属成型加工阶段的不同，可将其划分为一次成型、二次成型和二次加工三个类别。

### 1. 一次成型

一次成型是指能将塑料原材料转变成具有一定形状和尺寸制品或半成品的各种成型工艺操作方法。用于一次成型的塑料原料常称作成型物料，通常是粉状、粒状、纤维状和碎屑状固体塑料以及树脂单体、低分子量的预聚体、树脂溶液和增塑糊等。这类成型工艺多种多样，目前生产上广泛采用的挤出、注射、压延、压制、浇铸和涂覆等重要成型工艺均属于一次成型。

### 2. 二次成型

二次成型是指既能改变一次成型所得塑料半成品（如型材和坯件等）的形状和尺寸，又不会使其整体性受到破坏的各种工艺操作方法。目前生产上采用的只有双轴拉伸成型、中空吹塑成型和热成型等少数几种二次成型工艺。

### 3. 二次加工

这是一类在保持一次成型或二次成型产品硬固状态不变的条件下，为改变其形状、尺寸和表面性质所进行的各种工艺操作方法。由于是在塑料完成全部成型过程后实施的工艺操作，因此也将二次加工工艺称作“后加工工艺”。生产中已采用的二次加工工艺多种多样，但大致可分为机械加工、连接加工和修饰加工三类。

一切塑料产品的生产都必须经过一次成型，是否需要经过二次成型和二次加工，则由所用成型物料的成型工艺性、一次成型技术的特点、制品的形状与结构、对制品表现的使用要求、批量大小和生产成本等多方面的因素决定。

## 三、按成型加工伴随的变化类型分类

根据这一特征，可将塑料成型加工工艺分为以物理变化为主、以化学变化为主和兼有物理变化与化学变化的三种类别。

### 1. 以物理变化为主的成型加工

塑料的主要组分聚合物在这一类工艺过程中，主要发生相态与物理状态转变、流动与变形及机械分离之类物理变化。在这类工艺的成型加工过程中，有时也会出现一些聚合物力降解、热降解和轻度交联之类化学反应，但这些化学反应对成型加工过程的完成和制品的性能都不起重要作用。热塑性塑料的所有一次成型和二次成型，以及大部分的塑料二次加工都属于此类。

### 2. 以化学变化为主的成型加工

属于这一类的成型工艺，在其成型加工过程中，聚合物或其单体有明显的交联反应或聚合反应，而且这些化学反应进行的程度对制品的性能有决定性影响。加有引发剂的甲基丙烯酸甲酯预

聚浆和加有固化剂液态环氧树脂的静态浇铸、聚氨酯单体的反应注射成型，以及用液态热固性树脂为主要组分的胶黏剂粘接塑件的技术，是这类成型加工技术的实例。

### 3. 物理变化和化学变化兼有的成型加工

热固性塑料的传递模塑、压缩模塑和注射成型是这类成型工艺的典型代表，其成型过程的特点是都需要先通过加热使聚合物从固态变到黏流态，黏流态物料流动取得模腔形状后，再借助交联反应使制品固化。用热固性树脂溶液型胶黏剂和涂料处理塑件的技术，由于需要先使溶剂充分蒸发，然后才能借助聚合物交联反应形成粘接接头或涂膜，故也应属于这一类别的加工技术。

## 第四节 本课程的主要内容及要求

本课程是为已具有高分子材料化学基础、高分子化学及物理、机械基础、塑料材料等基础知识的学生开设的专业课程，与其相互支撑与补充的还有塑料成型模具、塑料成型设备、塑料原材料分析及塑料性能检测。

本教材的主要内容是阐述塑料制品重要成型方法的原理、特点、工艺过程、主要工艺参数的选定及其对塑料制品性能的影响。对工艺过程的叙述重在成型环节。

学习过程中，要求在密切结合工艺过程的前提下尽可能地对每种工艺所依据的原理、生产控制因素以及在工艺过程中塑料所发生的物理与化学变化和它们对制品性能的影响具有清晰的概念，并进一步理解各种成型工艺所能适应的塑料品种及其优缺点。

对所用的设备和模具没有进行介绍或只概略地提出对它们的主要要求而不作详细的叙述，是因为还有与本门课程配合设立的两门独立课程。

塑料成型工艺是一门实践性很强的课程，除了课堂教学外，还需在实验、实习中联系生产实际去理解和掌握，所以要特别重视在实践中学习，本教材附录中编入了塑料成型工艺的基本实验，务必认真完成。有些生产实际操作还需在劳动实践中逐步去学会，这样学到的知识才是可以灵活运用的。

### 复习思考题

1. 大塑料工业体系由哪五个部分组成？它们之间有何关系？
2. 塑料制品生产由哪几步组成？
3. 塑料成型加工发展经历了哪三个时期？
4. 为什么要对塑料成型加工工艺进行分类？
5. 按一次成型、二次成型和二次加工对塑料成型加工工艺进行分类有什么优缺点？

# 第二章 塑料成型基本理论

## 【学习目标】

掌握聚合物的温度、力学状态与成型加工的关系；掌握聚物流变特性；掌握塑料成型过程中发生的物理变化与化学变化；掌握影响聚合物熔体黏度的主要因素；掌握成型条件对塑料制品性能的影响，能通过查询工艺手册制定较合理的成型工艺条件。

## 第一节 概 述

塑料成型是将塑料原料转变成成为实用材料或塑料制品的一门工程技术。在成型过程中发生的有塑料的流动与变形，塑料的结构形态变化，塑料成型单元操作中动量、质量、能量的传递以及塑料成型中热量的传递。这些理论的学习对充分认识塑料在成型过程中所发生的物理化学变化，合理的设计配方、发展新的成型工艺及对设备、模具设计均有很大的指导作用。

根据高职高专的教学要求，本章主要介绍聚合物的加工性质、流变性质、加热与冷却及其在成型过程中的物理与化学变化，以作为在后续各章的理论基础。

## 第二节 聚合物的加工性质

### 一、聚合物的聚集态与成型

由于聚合物的大分子结构和分子热运动特点，可以将其划分为玻璃态（或结晶态）、高弹态、黏流态等聚集态。聚合物聚集态的多样性导致其成型加工的多样性，聚合物在不同的聚集态下可选用与之相适应的工艺方法对其进行成型加工，聚集态与成型加工方法适应性的关系如图 2-1 所示。

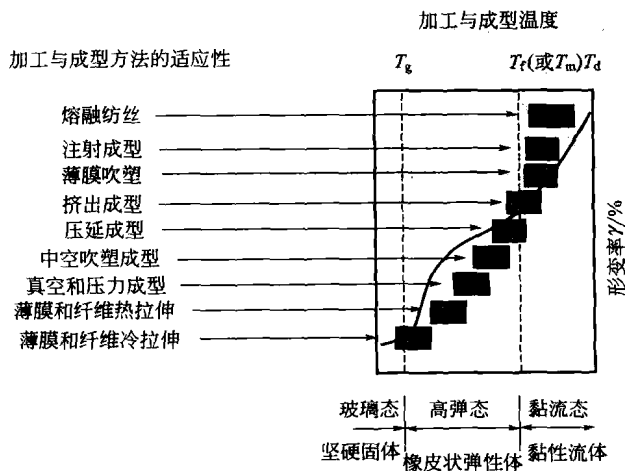


图 2-1 聚合物的聚集态与成型加工方法的关系

聚合物可以从一种聚集态转变为另一种聚集态，这种转变取决于聚合物的分子结构、体系的组成以及所受应力和环境温度。当聚合物及其组成一定时，聚集态的转变主要与温度有关。了解这些转变的本质和规律对合理选择成型方法和正确制定工艺条件是必不可少的。

在玻璃化温度以下，聚合物处于玻璃态（或结晶态），是坚硬的固体。此时，由于分子运动能量低，链段运动被冻结，只能使主链内的键长和键角有微小的改变；在宏观上表现为聚合物在受力方向上有很小的普弹性变形，由于弹性模量高，形变值小，所以处于玻璃态的聚合物只能进行一些车、铣、钻、刨等机械加工。这一聚集态也是聚合物使用时的状态，材料使用的下限温度称为脆化温度，低于脆化温度时，材料受力容易发生断裂破坏。

在玻璃化温度（ $T_g$ ）与黏流温度（ $T_f$ ）之间，聚合物处于高弹态。此时，分子热运动能量增加，虽然整个分子的运动仍不可能，但链段可以通过主链中的单键的内旋转而不断改变构象，甚至可使部分链段滑移。由于高弹性模量比普弹性模量小4~5个数量级，所以对某些材料可进行加压、弯曲、中空或真空成型。由于高弹形变比普弹形变大10000倍左右，且属于与时间有依赖性的可逆形变，所以在成型加工中为求得符合形状、尺寸要求的制品，往往将制品迅速冷却到玻璃化温度以下。对结晶型聚合物，可在玻璃化温度至熔点的温度区间内进行薄膜吹塑和纤维拉伸。

继续升温至黏流温度（或熔点 $T_m$ ）以上，聚合物大分子链相互滑移而转变为黏流态。呈黏流态的聚合物熔体在黏流温度以上稍高的温度范围内，常用来进行压延成型和某些挤出、吹塑成型。比黏流温度更高的温度，使聚合物大分子热运动大大激化，产生不可逆黏性形变占绝对优势，这一温度范围常用于进行注射、挤出、吹塑等成型加工。过高的温度使聚合物黏度降低，会给成型带来困难，并使产品质量变劣；当温度高到分解温度时，会引起聚合物的分解。

## 二、聚合物的可挤压性

可挤压性是指聚合物通过挤压作用形变时获得一定形状并保持这种形状的能力。在塑料成型过程中，常见的挤压作用有物料在挤出机和注射机料筒中、压延机辊筒间以及在模具中所受到的挤压作用。

衡量聚合物可挤压性的物理量是熔体的黏度（剪切黏度和拉伸黏度）。熔体黏度过高，则物料通过形变而获得形状的能力差（固态聚合物是不能通过挤压成型的）；反之，熔体黏度过低，虽然物料具有良好的流动性，易获得一定形状，但保持形状的能力较差。因此，适宜的熔体黏度是衡量聚合物可挤压性的重要标志。

聚合物的可挤压性不仅与其分子结构、相对分子质量和组成有关，而且与温度、压力等成型条件有关。评价聚合物挤压性的方法是测定聚合物的流动度（黏度的倒数），通常简便实用的方法是测定聚合物的熔体流动速率，熔体流动速率与一定条件下熔体流动度成正比，熔体流动速率测定仪如图2-2所示。在给定温度和剪切应力（定负荷）下，10min内聚合物经出料孔挤出的克数，以MFR表示。由于实测的熔体流动速率其剪切速率仅为 $10^{-2} \sim 10^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，远比实际注射或挤出成型中通常的剪切速率（ $10^2 \sim 10^4 \text{ s}^{-1}$ ）要低，因此，MFR不能说明实际成型时聚合物的流动情况。由于方法简便易行，对成型塑料的选择和适用性有参考价值。表2-1列出某些成型方法与熔体流动速率的对应关系。

## 三、聚合物的可模塑性

聚合物在温度和压力作用下发生形变并在模具型腔中模制成型的能力，称为可模塑性。注射、挤出、模压等成型方法对聚合物的可模塑性要求是：能充满模具型腔获得制品所需尺寸精度，有一定的密实度，满足制品的使用性能等。

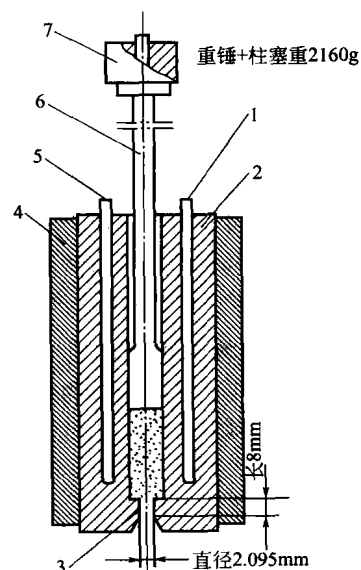


图 2-2 熔体流动速率测定仪  
1—热电偶测温管；2—料筒；3—出料孔；4—保温层；5—加热器；6—柱塞；7—重锤

表 2-1 成型方法与熔体流动速率的关系

成型方法	产 品	所需材料的 MFR 值	成型方法	产 品	所需材料的 MFR 值
挤出成型	管材	<0.1	注射成型	胶片(流延膜)	9~15
	片材、瓶、薄壁管材	0.1~0.5		模压制件	1.0~2.0
	电线、电缆	0.1~1.0	薄壁制件	3~6	
	薄片、单丝(纯)	0.5~1.0	涂覆成型	涂覆纸	9~15
	多股丝或纤维	1.0		热成型	制件
	瓶(玻璃状)	1.0~2.0			

可模塑性主要取决于聚合物本身的属性(如流变性、热性能、物理机械性能以及热固性塑料的化学反应性能等)、工艺因素(如温度、压力、成型周期等)以及模具的结构尺寸。

聚合物的可模塑性通常用图 2-3 所示的螺旋流动实验模具来判断。聚合物熔体在注射压力下,由阿基米得螺旋形槽模具的中部进入,经流动而逐渐冷却硬化为螺旋线,以螺旋线的长度来判断聚合物流动性的优劣。

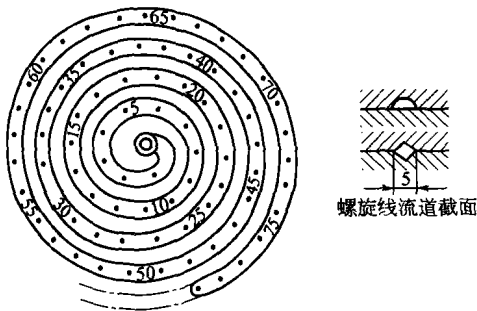


图 2-3 螺旋流动实验模具

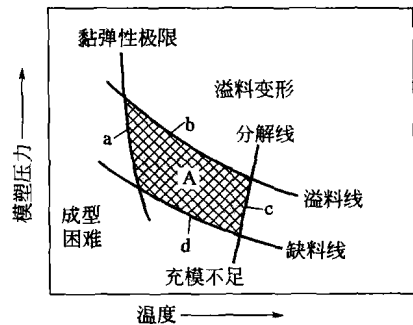


图 2-4 模塑压力-温度曲线

A—成型区域; a—表面不良线; b—溢料线;  
c—分解线; d—缺料线

螺旋流动实验的意义在于帮助人们了解聚合物的流变性质,确定压力、温度、模塑周期等最佳工艺条件,反映聚合物相对分子质量和配方中各助剂成分和用量以及模具结构尺寸对聚合物可模塑性的影响。

在此需要指出的是:为求得较好的可模塑性,要注意各影响因素之间的相互匹配和相互制约的关系;在提高可模塑性的同时,要兼顾到诸因素对制品使用性能的影响。从图 2-4 模塑压力-温度曲线图中可以看出:压力过高会引起溢料,压力过低则会导致充模不满;温度过高会使制品收缩率增大,甚至引起聚合物的分解,温度过低则物料流动困难,交联反应不足,制品性能变劣。所以,图 2-4 中四条曲线所构成的面积,才是模塑的最佳区域。

#### 四、聚合物的可延展性

非晶型或半结晶型聚合物在受到压延或拉伸时变形的能力称为可延展性。利用聚合物的可延展性,采用压延和拉伸工艺可生产塑料片材、薄膜和纤维。

聚合物的可延展性取决于材料产生塑性变形的能力和应变硬化作用。形变能力与固态聚合物的长链结构和柔性(内因)及其所处的环境温度(外因)有关,而应变硬化作用则与聚合物的取向程度有关。

当温度低于脆化温度( $T_b$ )时,材料呈脆性,拉伸时无明显的屈服现象,此时断裂应力与屈服应力基本相同,玻璃态塑料不能发生强迫高弹形变,只能发生因分子键长、键角变化所引起小于 10% 的高模量微小变形,这种小变形属于可恢复的普通弹性变形。

当温度在脆化温度( $T_b$ )与玻璃化温度( $T_g$ )之间时,材料具有韧性,此时断裂应力根据



塑料品种不同可能出现小于或大于屈服应力的情况,在外力作用下,被冻结的高分子链段开始运动,出现了强迫高弹态所具有的不可恢复的大变形。

塑料的可延展性从本质上来说是来自线形聚合物大分子的长链结构和柔顺性。固体聚合物在  $T_g \sim T_f$  (或  $T_m$ ) 温度范围内受到大于屈服强度的拉力作用时,就产生塑性延伸变形,在变形过程中聚合物结构单元(链段、大分子和微晶)因拉伸而开始取向。随着取向程度的提高,大分子间作用力增大,引起聚合物黏度升高而出现“硬化”的倾向,变形亦趋于稳定而不再发展,这种现象称为“应力硬化”现象。当拉伸应力增大时,聚合物因不能承受应力的作用而破坏,这时的应力称为拉伸强度或极限强度。变形的最大值称为断裂伸长率,聚合物在不同温度下的应力-应变关系如图 2-5 所示。

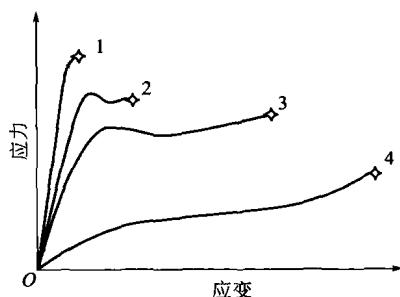


图 2-5 聚合物在不同温度下的应力-应变关系

1—温度低于  $T_b$ ; 2,3—温度在  $T_b \sim T_g$  之间; 4—温度在  $T_g \sim T_f$  之间

塑料的主要组分是聚合物,所以其可延展性由聚合物的可延展性决定,也取决于其本身产生塑性变形的能力和应变硬化作用。变形能力与固体聚合物所处的温度有关,在  $T_g \sim T_f$  (或  $T_m$ ) 温度区间聚合物分子在一定拉伸应力作用下能产生塑性流动,以满足拉伸过程材料截面尺寸减小的要求。对于半结晶型聚合物,拉伸在稍低于  $T_m$  以下的温度进行,无定形聚合物在接近  $T_g$  的温度进行。适当升高温度,塑料的可延展性进一步提高,拉伸比可以更大,甚至一些延展性较差的聚合物也能进行拉伸。通常把室温至  $T_g$  附近的拉伸称为“冷拉伸”,在  $T_g$  以上的拉伸称为热拉伸。在拉伸过程中,聚合物发生应力硬化后,将限制聚合物分子的流动,从而阻止了拉伸比的进一步提高。

此外,塑料还具有可纺性,它是指塑料具有通过成型而形成连续固态纤维的能力。它主要取决于塑料的流变性、熔体黏度和强度、熔体的热稳定性和化学稳定性。利用塑料的可纺性,通过挤出成型,从安装在机头的喷头可制得单丝和扁丝(打包带)等。

### 第三节 聚合物的流变性能

#### 一、聚合物的流动特性

塑料的主要组分是聚合物,所以研究聚合物的流动特性可以了解塑料在成型过程中的流变规律。塑料在成型过程中一般都要发生流动与变形,即在外力作用下表现出黏性、弹性和塑性,其中塑性可以看作黏性与弹性的组合。塑料的流动与变形主要依赖于塑料材料内部结构和成型的外在条件。因此,研究聚物流变行为与温度、压力、时间、作用力等外在条件之间的依赖关系,是塑料成型过程中的重要内容。

在塑料成型过程中,除少数几种工艺外,均要求塑料处于液态(包括熔体和分散体),以便改善其流动性和易于变形。塑料随受力性质与作用位置的不同而产生不同类型的应力、应变和应变速率,其中对塑料成型影响最大的是切应力,因为成型时液态塑料在模具中流动的压力降、所需能量以及制品质量等都要受到它的制约;其次是拉应力,它经常与切应力同时出现,如用吹塑法或拉幅法生产薄膜时,熔体是在变截面导管中的流动;在成型时流体静压力对流体性质影响相对较小,可忽略不计,但它对黏度有影响。

##### 1. 牛顿流体及其黏度

低分子流体在平直导管中流动时,当其雷诺数  $Re < 2100$  时为层流,超过此值时为湍流;当  $Re = 2100 \sim 4000$  时为层流转为湍流的过渡区,与导管材料性质有关。聚合物熔体在成型过程中流动时,其雷诺数一般小于 10,分散体也不会大于 2100,因此其流动均为层流。但由于塑料有弹性,有时会引起湍流,此时称为弹性湍流。