



“十二五”国家重点图书
合成树脂及应用丛书

合成树脂 加工工艺

■ 黄锐 等编著



化学工业出版社



“十二五”国家重点图书
合成树脂及应用丛书

合成树脂 加工工艺

■ 黄锐 等编著



化学工业出版社

·北京·

本书从塑料成型加工现状与聚合物加工理论入手,系统介绍了树脂混合,改性及各种加工工艺。全书共11章,分别为绪论,聚合物加工的理论基础,混合,合成树脂共混、填充及增强改性,挤出成型,注射成型,压制成型,压延成型,发泡成型,二次成型,其他成型方法,在介绍每一种成型方法时,都列举了典型树脂品种的工艺参数、加工设备、制品生产实例等。

本书对于从事合成树脂加工、塑料制品生产的技术人员有很好的参考价值,也可作为高分子加工等专业学生、老师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

合成树脂加工工艺 / 黄巍等编著. — 北京: 化学工业出版社, 2014.6
(合成树脂及应用丛书)
ISBN 978-7-122-20075-5



I. ①合… II. ①黄… III. ①合成树脂-加工 IV. ①TQ320.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第047018号

责任编辑:仇志刚

装帧设计:尹琳琳

责任校对:徐贞珍

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:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张31³/₄ 字数635千字 2014年7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: 98.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字2014—4号



《合成树脂及应用丛书》编委会

高级顾问：李勇武 袁晴棠

编委会主任：杨元一

编委会副主任：洪定一 廖正品 何盛宝 富志侠 胡杰

王玉庆 潘正安 吴海君 赵起超

编委会委员（按姓氏笔画排序）：

王玉庆 王正元 王荣伟 王绪江 乔金樑

朱建民 刘益军 江建安 杨元一 李杨

李玲 邴涓林 肖淑红 吴忠文 吴海君

何盛宝 张师军 陈平 林雯 胡杰

胡企中 赵陈超 赵起超 洪定一 徐世峰

黄帆 黄锐 黄发荣 富志侠 廖正品

颜悦 潘正安 魏家瑞

Preface 序



合成树脂作为塑料、合成纤维、涂料、胶黏剂等行业的基础原料，不仅在建筑业、农业、制造业（汽车、铁路、船舶）、包装业有广泛应用，在国防建设、尖端技术、电子信息等领域也有很大需求，已成为继金属、木材、水泥之后的第四大类材料。2010年我国合成树脂产量达4361万吨，产量以每年两位数的速度增长，消费量也逐年提高，我国已成为仅次于美国的世界第二大合成树脂消费国。

近年来，我国合成树脂在产品质量、生产技术和装备、科研开发等方面均取得了长足的进步，在某些领域已达到或接近世界先进水平，但整体水平与发达国家相比尚存在明显差距。随着生产技术和加工应用技术的发展，合成树脂生产行业和塑料加工行业的研发人员、管理人员、技术工人都迫切希望提高自己的专业技术水平，掌握先进技术的发展现状及趋势，对高质量的合成树脂及应用方面的丛书有迫切需求。

化学工业出版社急行业之所需，组织编写《合成树脂及应用丛书》（共17个分册），开创性地打破合成树脂生产行业和加工应用行业之间的藩篱，架起了一座横跨合成树脂研究开发、生产制备、加工应用等领域的沟通桥梁。使得合成树脂上游（研发、生产、销售）人员了解下游（加工应用）的需求，下游人员了解生产过程对加工应用的影响，从而达到互相沟通，进一步提高合成树脂及加工应用产业的生产和技术水平。

该套丛书反映了我国“十五”、“十一五”期间合成树脂生产及加工应用方面的研发进展，包括“973”、“863”、“自然科学基金”等国家级课题的相关研究成果和各大公司、科研机构攻关项目的相关研究成果，突出了产、研、销、用一体化的理念。丛书涵盖了树脂产品的发展趋势及其合成新工艺、树脂牌号、加工性能、测试表征等技术，内容全面、实用。丛书的出版为提高从业人员的业务水准和提升行业竞争力做出贡献。

该套丛书的策划得到了国内生产树脂的三大集团公司（中国石化、中国石油、中国化工集团），以及管理树脂加工应用的中国塑料加工工业协会的支持。聘请国内 20 多家科研院所、高等院校和生产企业的骨干技术专家、教授组成了强大的编写队伍。各分册的稿件都经丛书编委会和编著者认真的讨论，反复修改和审查，有力地保证了该套图书内容的实用性、先进性，相信丛书的出版一定会赢得行业读者的喜爱，并对行业的结构调整、产业升级与持续发展起到重要的指导作用。

袁晴棠

2011 年 8 月

Foreword 前言



高分子材料是20世纪末(合成)发展起来的新材料。高分子材料中,塑料的产量和应用量均远超过化学纤维、合成橡胶、涂料、黏合剂、离子交换树脂等。塑料的应用已经渗透到国民经济的各个部门,一方面取代了一些传统材料而得到发展,另一方面,由于塑料所具有的一系列优点而在新的应用领域得到发展。我国已经是世界第一大塑料生产大国和消费大国,但人均消费量还远低于发达国家。

塑料工业是以合成树脂(塑料)和塑料成型加工(塑料制品生产)为核心,它是包括合成树脂与助剂生产、塑料配置(改性)、塑料成型机械与成型模具等支柱为一体的朝阳产业。先进的塑料成型加工设备及成型加工工艺是生产高质量塑料制品的前提和保证。

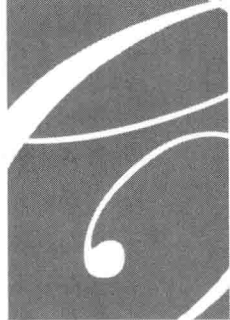
应《合成树脂及应用》丛书编委会邀请,笔者组织编写了本书,作为《合成树脂及应用》丛书中的一个分册。本书主要介绍了合成树脂通用加工工艺,对于各具体树脂特殊的成型工艺,主要在相关分册中重点介绍。书中介绍的加工工艺主要为塑料制品的加工,对于以相关树脂为原料的纤维生产工艺没有涉及。希望借助本书,能使合成树脂生产企业、加工应用企业的技术人员对合成树脂的加工工艺能有一个全面的了解,起到沟通上下游的作用。

本书第1章由黄锐编写,第2章由陈妍慧编写,第3章由段宏基编写,第4章由杨雅琦编写,第5章由易新编写,第7章由杨皓然编写,第8章由张贻川编写,第9章由鄢定祥编写,第10章由徐玲编写,第11章由徐家壮编写,全书由李忠明、黄锐统稿。

随着技术的进步、产业的升级,新的加工工艺将会不断出现,而对于一些新的生物材料如聚乳酸、聚羟基脂肪酸酯等,其加工方法也必定会有所区别,本书只是起到一个普及和抛砖引玉的作用。由于水平有限,书中难免有疏漏、不妥之处,请读者不吝批评指正!

编者

2014年1月于成都



第 1 章 绪论 1

1.1 塑料及塑料成型加工工业	1
1.2 塑料的组成与性能	6
1.2.1 塑料的组成	6
1.2.2 塑料的性能	7
1.3 塑料的应用	9
1.4 塑料的成型与加工	10
1.4.1 塑料成型加工过程	10
1.4.2 塑料制品的生产工序和组织	11
1.5 对我国塑料及塑料成型加工工业发展中一些问题的 讨论	12
1.5.1 塑料和塑料制品工业的发展	13
1.5.2 企业的发展	14
1.5.3 长远的发展	15
参考文献	16

第 2 章 聚合物加工的理论基础 17

2.1 聚合物熔体的流动特性	17
2.1.1 聚合物的熔融行为	17
2.1.2 聚合物熔体的流动类型和非牛顿流动	21
2.1.3 聚合物熔体黏度的影响因素	27
2.2 聚合物熔体的弹性行为	34
2.2.1 包轴效应	34
2.2.2 入口效应	35
2.2.3 离模膨胀	37
2.2.4 熔体破裂	40
2.2.5 影响聚合物熔体弹性的因素	42
2.3 聚合物熔体在管隙中的流动行为	42

2.4 聚合物的结晶	45
2.4.1 聚合物的结晶现象及结晶形态	45
2.4.2 聚合物的结晶过程	46
2.4.3 结晶对制品物理机械性能的影响	53
2.5 加工过程中分子的取向	57
2.5.1 聚合物的取向现象	57
2.5.2 取向的形成	58
2.5.3 取向结构对制品性能的影响	63
2.6 聚合物的降解和交联	65
2.6.1 聚合物的降解	65
2.6.2 聚合物的交联	72
参考文献	73

第3章 混合 **75**

3.1 混合与分散理论	75
3.1.1 混合的概念和原理	75
3.1.2 混合的分类	79
3.2 混合状态的判定	83
3.2.1 混合状态的直接描述	83
3.2.2 混合状态的间接判定	86
3.3 混合设备	86
3.3.1 间歇式混合设备	86
3.3.2 连续式混合设备	96
3.4 塑料的混合与塑化	100
3.4.1 原料的准备	100
3.4.2 混合	101
3.4.3 塑化	101
3.4.4 粉碎和粒化	102
3.5 合成树脂溶液、分散体的配制	103
3.5.1 聚合物溶液的配制	103
3.5.2 溶胶塑料的配制和性质	104
参考文献	106

第4章 合成树脂共混、填充及增强改性 **108**

4.1 合成树脂的共混改性	108
4.1.1 共混改性的基本概念	108

4.1.2	共混物的相容性	110
4.1.3	共混物制备方法	115
4.1.4	典型合成树脂的共混改性	117
4.2	合成树脂的填充改性	122
4.2.1	填充改性的基本概念	122
4.2.2	填料的性能特征	123
4.2.3	常用填料的分类及其物理化学性能	131
4.2.4	填料的使用及其表面处理	134
4.2.5	典型合成树脂的填充改性	135
4.3	合成树脂的增强改性	138
4.3.1	合成树脂的增强及其意义	138
4.3.2	常用增强材料的分类及其物理性能	140
4.3.3	增强树脂的混合加工	144
4.3.4	典型合成树脂的增强改性	145
	参考文献	147

第5章 挤出成型 **149**

5.1	挤出成型设备	149
5.1.1	单螺杆挤出机	149
5.1.2	多螺杆挤出机	151
5.1.3	非螺杆式挤出机	152
5.2	单螺杆挤出原理	156
5.2.1	单螺杆挤出机的基本结构	156
5.2.2	单螺杆挤出机用螺杆	156
5.2.3	单螺杆挤出原理	159
5.2.4	挤出机工作点的选取	162
5.2.5	影响挤出量的主要因素	165
5.3	双螺杆挤出原理	166
5.3.1	双螺杆挤出机的基本结构	166
5.3.2	双螺杆挤出机主要参数	169
5.3.3	双螺杆挤出原理	170
5.3.4	双螺杆挤出机的选用	173
5.3.5	双螺杆挤出机挤出量的影响因素	175
5.4	塑料挤出造粒技术	180
5.4.1	概述	180
5.4.2	设备	180
5.4.3	原料及制品	183

5.5	塑料管材挤出生产技术	184
5.5.1	概述	184
5.5.2	工艺流程及生产设备	185
5.5.3	原料及制品	193
5.5.4	工艺控制	194
5.5.5	质量检测与控制	198
5.6	挤出流延法双向拉伸薄膜生产技术	199
5.6.1	概述	199
5.6.2	工艺流程及生产设备	200
5.6.3	原料及制品	203
5.6.4	工艺控制	203
5.6.5	生产实例	204
5.7	塑料薄膜挤出吹塑生产技术	205
5.7.1	概述	205
5.7.2	塑料薄膜挤出吹塑成型工艺及设备	205
5.7.3	原料及制品	212
5.7.4	工艺控制	212
5.7.5	质量检测与控制	215
5.8	塑料板材与片材生产技术	216
5.8.1	原料及制品	217
5.8.2	塑料板、片材挤出生产设备	218
5.8.3	塑料板材挤出生产工艺	221
5.8.4	塑料板材挤出生产质量控制	231
5.9	挤出机的故障排除及设备维护	233
5.9.1	挤出机的维护和保养	233
5.9.2	挤出机的维修	236
5.9.3	挤出机一般故障及其排除	237
	参考文献	239

第6章 注射成型 241

6.1	注射成型设备	242
6.1.1	注射机分类	242
6.1.2	注射机的基本参数	247
6.1.3	注塑机的结构组成	251
6.2	注射成型原理	273
6.2.1	塑化过程	273
6.2.2	注射充模过程	277

6.2.3	保压补缩过程	279
6.2.4	冷却定型过程	280
6.3	注射成型工艺	282
6.3.1	注射成型工艺流程	282
6.3.2	注射成型工艺条件的控制	286
6.4	热固性塑料的注射成型	292
6.4.1	热固性塑料注射工艺流程	292
6.4.2	热固性塑料注射成型的要求	294
6.4.3	热固性塑料注射成型机	295
6.4.4	热固性塑料注射成型工艺	297
6.4.5	热固性塑料注射制品缺陷及产生原因	298
6.5	其他注射成型	300
6.5.1	双色注射成型技术	300
6.5.2	反应注射成型	303
6.5.3	气体辅助注射成型	307
6.5.4	结构发泡注射成型	309
6.6	典型合成树脂的注射成型	312
6.6.1	聚乙烯	312
6.6.2	聚丙烯	313
6.6.3	聚氯乙烯	315
6.6.4	聚苯乙烯	316
6.6.5	聚碳酸酯	317
6.6.6	聚酰胺	319
6.6.7	聚甲基丙烯酸甲酯	320
6.6.8	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物	321
6.6.9	聚甲醛	322
6.6.10	聚砜	323
6.6.11	聚苯醚	324
参考文献	325

第7章 压制成型 326

7.1	热固性树脂的模压成型	326
7.1.1	热固性树脂的成型工艺性能	327
7.1.2	模压成型的设备和模具	330
7.1.3	模压成型工艺	332
7.1.4	模压成型工艺条件及控制	335
7.2	复合材料压制成型	339

7.2.1	层压成型	340
7.2.2	模压成型	344
7.2.3	手糊成型	346
7.3	传递模塑	348
7.3.1	传递模塑形式及设备	349
7.3.2	传递模塑工艺	352
7.3.3	传递模塑工艺条件	353
7.4	典型合成树脂的压制成型	354
7.4.1	不饱和聚酯树脂	354
7.4.2	环氧树脂	355
7.4.3	酚醛树脂	356
7.4.4	有机硅树脂	357
7.4.5	氨基树脂	358
7.5	模压成型制品常见缺陷及对策	358
	参考文献	366

第 8 章 压延成型 **368**

8.1	压延设备	368
8.1.1	压延机的结构	368
8.1.2	压延机类型	369
8.1.3	压延机规格表示	370
8.1.4	压延机的主要技术参数	371
8.2	压延成型原理	372
8.2.1	进入压延机辊筒的条件	373
8.2.2	物料在压延辊筒间隙的压力分布	373
8.2.3	物料在压延辊筒间隙的流速分布	374
8.3	压延成型工艺	374
8.3.1	塑炼	374
8.3.2	压延工艺的影响因素	376
8.4	典型合成树脂的压延成型	379
8.4.1	软质 PVC 薄膜的压延成型工艺	380
8.4.2	硬质 PVC 片材的压延成型工艺	383
8.4.3	PVC 人造革压延成型工艺	385
8.4.4	PVC 压延地板	389
8.4.5	PVC 塑料壁纸	390
8.4.6	PVC 吸塑阻燃天花板	392
8.4.7	PE 人造革	393

8.4.8	PU人造革	394
	参考文献	397
第9章	发泡成型	399
9.1	泡沫塑料的分类及其应用	399
9.2	发泡成型方法	400
9.2.1	机械发泡法	400
9.2.2	物理发泡法	401
9.2.3	超临界流体发泡	402
9.2.4	化学发泡法	404
9.3	发泡成型原理	405
9.3.1	气泡成核	405
9.3.2	气泡发展	407
9.3.3	气泡稳定	407
9.4	合成树脂发泡成型工艺及设备	407
9.4.1	挤出发泡成型工艺及设备	407
9.4.2	注塑发泡成型工艺及设备	410
9.4.3	模压发泡成型工艺及设备	413
9.4.4	浇注发泡成型工艺及设备	414
9.4.5	旋转模塑成型	415
9.5	典型合成树脂的发泡成型及其制品	416
9.5.1	聚氯乙烯的发泡成型	416
9.5.2	聚乙烯的发泡成型	420
9.5.3	聚丙烯的发泡成型	422
9.5.4	聚苯乙烯的发泡成型	423
9.5.5	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物的发泡成型	425
9.5.6	聚氨酯的发泡成型	426
9.5.7	脲甲醛的发泡成型	429
9.5.8	酚醛树脂的发泡成型	431
9.6	泡沫塑料的性能	432
9.6.1	性能	432
9.6.2	影响因素	432
9.6.3	性能测试标准	433
	参考文献	434

第10章 二次成型

10.1	二次成型原理	436
------	--------------	-----

10.1.1	聚合物的物理状态	436
10.1.2	聚合物的黏弹性变形	437
10.1.3	成型条件的影响	438
10.2	中空吹塑成型	440
10.2.1	注射吹塑	441
10.2.2	挤出吹塑	442
10.2.3	中空吹塑工艺过程的控制	443
10.3	拉幅薄膜成型	446
10.3.1	薄膜取向的原理及方法	447
10.3.2	拉幅薄膜的成型工艺	448
10.4	热成型	451
10.4.1	热成型的基本方法	452
10.4.2	热成型设备和模具	459
10.4.3	热成型工艺及工艺条件	462
	参考文献	464

第 11 章 其他成型工艺————— **466**

11.1	浇铸成型	466
11.1.1	静态浇铸	466
11.1.2	嵌铸	473
11.1.3	离心浇铸	475
11.1.4	流延浇铸	476
11.1.5	搪塑	477
11.1.6	滚塑	479
11.1.7	常见质量问题及解决方法	485
11.2	冷压烧结成型	486
11.2.1	冷压制坯	487
11.2.2	烧结	487
11.2.3	冷却	489
	参考文献	489

第 1 章 绪论

1.1 塑料及塑料成型加工工业

材料是人类社会生存和不断发展的支柱。从材料的角度看,人类经历了石器、铜器、铁器时代,今天人类使用的材料,主要是木材、硅酸盐、金属和高分子材料。成材的木料供应紧缺,硅酸盐用量大但应用领域有限,金属和分子已成为应用最广的材料。当前世界高分子材料的体积年产量(材料应用常常是以体积决定的)已远超过金属,成为应用量最大、应用面最广的材料。和金属材料中钢铁是最大的品种一样,高分子材料中,塑料的产量和应用量均远超过化学纤维、合成橡胶、涂料、胶黏剂、离子交换树脂等。当前我国已成为世界钢铁产量的第一大国,但用量已完全饱和、产能过剩。关于世界的塑料产量,由于当前塑料的主要原料来自石油,20世纪70年代两次石油危机后塑料年产量均有下降,但随后又开始增长。其重要因素之一是:比之钢铁,生产每吨塑料消耗的能量要小得多。通常大品种塑料(合成树脂)的合成温度一般只有 $100\sim 200^{\circ}\text{C}$,而炼铁、炼钢则需上千度的高温,更何况大品种塑料的相对密度大体平均在1左右,而钢铁则为7.8左右,按体积来说使用塑料就省得多了。从这一意义上说,能用塑料的地方是绝不会用钢铁的。而且塑料自身还有大量性能上的优势:品种多,性能各具特色,质轻、美观、透明、易着色、耐化学腐蚀、成型加工方便快捷、生产能耗低等。因此塑料的年产量不断增长,而今世界塑料的体积年产量为钢铁的两倍以上。

新中国成立以前我国几乎没有塑料工业,除上海、天津有少量手工作坊式的酚醛塑料厂外,其他品种都不能生产。1950年我国仅生产塑料200t。2012年世界塑料产量约2.81亿吨,我国约7000万吨,而塑料制品则超过8000万吨,成为世界塑料和塑料制品生产和消费第一大国。但从人均年消费来看,世界平均约40kg,我国约50kg,美国约170kg,比利时约200kg。从这一点来看,要赶上发达国家的人均消费水平,仅从扩大内需

上讲我国塑料及其制品工业的发展前景是十分广阔的。

可以认为塑料工业是以合成树脂和塑料成型加工（塑料制品生产）为核心，包括助剂生产，塑料配制（包括塑料改性）、塑料成型机械与成型模具等支柱为一体的朝阳产业。无论多好的塑料原料（合成树脂），没有良好先进的塑料助剂、成型加工设备模具及成型加工工艺过程，仍然无法生产出质量优良的塑料制品。中国塑料工业已经并逐步改善了为国民经济各部门提供不可或缺的生产资料和消费资料，改变了传统的产业结构，前途是更加光明和任重道远的。

人类在远古时期已经开始使用天然高分子材料，并逐步学会对它们的加工。如用蚕丝、棉、毛织布，用木材、棉、麻造纸。19 世纪 30 年代末开始了对天然高分子的化学改性，如对天然橡胶的硫化，纤维素的硝化（制赛璐珞）。1907 年合成了第一个高分子材料——酚醛树脂，并在加入木粉等填料及助剂后生产出酚醛塑料（电木）制品。随后其发展速度逐步加快，大量的合成树脂及塑料开始研制及生产，见表 1-1。20 世纪 30~50 年代是高分子材料全面奠基的时期，石油化工的蓬勃发展为塑料的生产提供了丰富的原料。60 年代以来，通过共聚、共混、复合对高分子材料进行

■表 1-1 主要合成塑料发展年表

年份	缩写	名称	年份	缩写	名称
1868	NC	硝酸纤维素(赛璐珞)	1962		酚氧树脂
1909	PF	酚醛树脂(电木)	1964		离子型聚合物
1927	CA	醋酸纤维素	1964	PPO	聚苯醚
1927	PVC	聚氯乙烯	1964	PPS	聚苯硫醚
1929	UF	脲甲醛树脂	1965	PI	聚酰亚胺
1935	EC	乙基纤维素	1965	PB	聚 1-丁烯
1936	PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)	1965	PSU	聚砜
1936	PVAC	聚醋酸乙烯	1968	PAS	聚苯醚砜及聚芳砜
1938	PS	聚苯乙烯	1970	TEF/E	四氟乙烯-乙烯共聚物
1938	PA	聚酰胺 66(尼龙 66)		CTFE/E	三氟氯乙烯-乙烯共聚物
1939	MF	三聚氰胺-甲醛树脂	1971	PHEMA	聚甲基丙烯酸羟乙基酯(有机玻璃水凝胶, 作软接触镜即隐形眼镜用)
1939	PVDC	聚偏二氯乙烯			
1941	LDPE	低密度聚乙烯(高压法)	1972	PBT	模塑型聚酯, 聚对苯二甲酸丁二酯
1942	UP	不饱和聚酯	1974		芳香族聚酰亚胺
1943	PTFE	氟塑料(聚四氟乙烯)	1977	LCP	液晶聚合物
1947	EP	环氧树脂	1981	PEK	聚醚酮
1948	ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物	1982	PEI	聚醚(酰)亚胺
1954	PU	聚氨酯泡沫塑料		PEEK	聚醚醚酮
1955	HDPE	高密度聚乙烯		PEN	聚对苯二甲酸乙二酯
1956	POM	聚甲醛	1990	PHA	聚丁二酸丁二醇酯
1957	PP	聚丙烯		PBS	聚羟基脂肪酸酯
1957	PC	聚碳酸酯	1994	PLA	聚乳酸(聚丙交酯)
1959		氯化聚酯			