

“十二五”国家重点图书

合成树脂及应用丛书

热塑性聚酯 及其应用

■ 魏家瑞 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

热塑性聚酯 及其应用

■ 魏家瑞 等编著



化学工业出版社

·北京·

热塑性聚酯是近几年发展迅速的一个树脂品种。本书简要介绍了 PET 的生产，重点介绍了 PET 的结构、性能及其在不同制品中的应用。最后介绍了一些新型聚酯产品 (PBT、PTT、PCT、PEN) 的性能与应用及热塑性聚酯生产与使用中的安全与环保要求。本书可供从事热塑性聚酯生产及聚酯产品生产的技术人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

热塑性聚酯及其应用/魏家瑞等编著. —北京: 化学工业出版社, 2011. 10
(合成树脂及应用丛书)
ISBN 978-7-122-12360-2

I. 热… II. 魏… III. 热塑性树脂: 聚酯树脂
IV. TQ323.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 194385 号

责任编辑: 仇志刚

文字编辑: 陈 雨

责任校对: 徐贞珍

装帧设计: 尹琳琳

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

710mm×1000mm 1/16 印张 28 1/4 字数 541 千字 2012 年 1 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: 78.00 元

版权所有 违者必究



《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



进入 21 世纪以来,热塑性聚酯发展迅速。除了开发最早的 PET (聚对苯二甲酸乙二酯) 树脂产量急剧扩张外,与 PET 同系列的其他一些热塑性聚酯如 PBT (聚对苯二甲酸丁二酯)、PTT (聚对苯二甲酸丙二酯)、PCT (聚对苯二甲酸 1,4-环己烷二甲酯)、PEN (聚 2,6-萘二甲酸乙二酯) 等也不断发展,而 PET 树脂在瓶、薄膜和工程塑料等非纤性方面的用途也在不断拓展,此外一些对环境友好的生物可降解聚酯和特殊的高性能(高强、高模、耐高温等)聚酯也逐渐出现在聚酯树脂大家庭中,热塑性聚酯已发展成为重要的塑料用树脂。为了适应热塑性聚酯行业发展的需要,本书重点介绍了热塑性聚酯系列产品的制造、性能以及在非纤领域的应用,其中包括作者的部分研究成果。

本书由仪征化纤股份有限公司有关技术人员编写。具体编写人员如下:

第 1 章 绪言: 魏家瑞

第 2 章 PET 的制造: 王金堂

第 3 章 PET 的结构、性能及纤维应用: 左志俊, 魏家瑞

第 4 章 PET 的薄膜应用: 戴钧明

第 5 章 PET 的瓶、片材、塑钢带及工程塑料应用: 魏高富

第 6 章 PBT 的制造、性能及应用: 张军, 李仁海

第 7 章 PTT 的制造、性能及应用: 魏高富

第 8 章 PCT 的制造、性能及应用: 翟丽鹏

第 9 章 PEN 的制造、性能及应用: 左志俊

第 10 章 聚酯树脂新品种: 江志荣, 左志俊

第 11 章 热塑性聚酯生产和使用的安全与环保: 王金堂, 李仁海, 魏高富, 左志俊, 江志荣

本书在编写过程中参考了国内外一些文献资料,在此表示衷心的感谢。

由于编著者水平和时间有限,书中若有不妥之处,敬请读者批评指正。

魏家瑞
2011 年 7 月

Contents 目录



第 1 章 绪言 1

- 1.1 热塑性聚酯的发展历史 1
- 1.2 热塑性聚酯的特性 2
 - 1.2.1 结构特点 2
 - 1.2.2 性能 3
- 1.3 热塑性聚酯的种类及应用 5
 - 1.3.1 聚对苯二甲酸乙二醇酯 5
 - 1.3.2 聚对苯二甲酸丁二醇酯 7
 - 1.3.3 聚对苯二甲酸丙二醇酯 9
 - 1.3.4 聚对苯二甲酸 1,4-环己烷二甲醇酯 11
 - 1.3.5 聚 2,6-萘二甲酸乙二醇酯 13
 - 1.3.6 聚酯新品种 16
- 参考文献 18

第 2 章 PET 的制造 20

- 2.1 引言 20
- 2.2 原料和催化剂 21
 - 2.2.1 对苯二甲酸二甲酯 21
 - 2.2.2 对苯二甲酸 22
 - 2.2.3 间苯二甲酸 23
 - 2.2.4 乙二醇 24
 - 2.2.5 乙二醇锑、醋酸锑和三氧化二锑 25
- 2.3 聚合化学反应原理 26
 - 2.3.1 酯交换反应机理 26
 - 2.3.2 酯化反应机理 28
 - 2.3.3 缩聚反应机理 30
 - 2.3.4 聚酯合成中的副反应 33
- 2.4 聚合生产工艺与设备 36
 - 2.4.1 熔融缩聚过程与设备 36
 - 2.4.2 固相缩聚过程与设备 44

2.4.3 聚酯工艺成套技术国产化	47
2.5 切粒与包装	50
2.5.1 切粒工艺	50
2.5.2 切片的储存和包装	51
2.6 产品质量标准与控制	52
2.6.1 质量标准	52
2.6.2 最终产品质量的控制	54
2.7 产品指标分析与检验	57
2.7.1 特性黏度的测定	57
2.7.2 熔点的测定	59
2.7.3 二甘醇含量的测定	60
2.7.4 端羧基含量的测定	61
2.7.5 色度的测定	62
2.7.6 凝集粒子的测定	63
2.7.7 水分的测定	63
2.7.8 粉末和异状切片含量的测定	64
2.7.9 灰分的测定	65
2.7.10 铁含量的测定	65
2.8 生产技术的新进展	66
2.8.1 生产装备和工艺	66
2.8.2 新型聚酯催化剂	68
2.8.3 添加剂	69
2.8.4 纳米改性	70
参考文献	71

第3章 PET的结构、性能及纤维应用 **73**

3.1 引言	73
3.2 结构与性能及其表征	74
3.2.1 分子量及其分布	74
3.2.2 熔体的流变行为	76
3.2.3 热性能与热稳定性	80
3.2.4 结晶和取向	82
3.3 共聚改性及应用	93
3.3.1 添加刚性组分的共聚酯品种	93
3.3.2 添加柔性组分的共聚酯品种	94
3.4 共混改性及应用	95
3.4.1 PET/PE 共混改性	95
3.4.2 PET/PP 共混改性	96
3.4.3 PET/PEN 共混改性	96

3.4.4	PET/PBT 共混改性	96
3.4.5	PET/PA 共混改性	97
3.4.6	PET/PC 共混改性	97
3.4.7	其他一些共混改性	97
3.5	PET 的纤维应用	98
3.5.1	涤纶纤维的分类	99
3.5.2	涤纶纤维的生产	101
3.5.3	涤纶纤维的性能	115
3.5.4	涤纶纤维的改性	116
3.5.5	涤纶纤维的应用	118
	参考文献	120

第 4 章 PET 的薄膜应用 122

4.1	引言	122
4.1.1	流延 PET(APET)	122
4.1.2	吹塑 PET	123
4.1.3	平面双向拉伸 PET(BOPET)	123
4.2	BOPET 对原料的要求	124
4.2.1	抗粘母粒切片	125
4.2.2	基料	129
4.2.3	其他功能性母粒	132
4.3	BOPET 加工原理	132
4.3.1	挤出塑化及流变	133
4.3.2	结晶	134
4.3.3	取向	137
4.3.4	降解及回用	139
4.4	BOPET 生产工艺	139
4.4.1	原料切片准备	139
4.4.2	熔融挤出	140
4.4.3	铸片	141
4.4.4	纵向拉伸	141
4.4.5	横向拉伸	142
4.4.6	薄膜后整理	142
4.5	BOPET 生产设备	142
4.5.1	原料切片的分筛与输送	144
4.5.2	金属分离装置	144
4.5.3	原料切片的配料及混合	145
4.5.4	切片干燥设备	145
4.5.5	挤出系统	146

4.5.6	铸片系统	147
4.5.7	纵向拉伸设备	149
4.5.8	横向拉伸设备	150
4.5.9	牵引收卷系统	151
4.5.10	分切机组	151
4.5.11	废料回收	152
4.5.12	测厚系统	152
4.6	BOPET 生产线的发展	152
4.6.1	直接拉膜工艺技术	153
4.6.2	大容量 BOPET 生产线	153
4.6.3	同步拉伸技术工业化	153
4.6.4	配套装置新技术的应用	155
4.7	BOPET 薄膜的性能	155
4.7.1	力学性能	155
4.7.2	光学性能	157
4.7.3	表面性能	158
4.7.4	电性能	160
4.7.5	化学稳定性	160
4.8	BOPET 薄膜的改性	161
4.8.1	原料化学改性	162
4.8.2	表面处理改性	163
4.9	BOPET 薄膜的应用	165
4.9.1	磁记录带基	166
4.9.2	电工绝缘膜	166
4.9.3	金属化薄膜	167
4.9.4	包装薄膜	168
4.9.5	绘图薄膜	168
4.9.6	脱模用 BOPET	169
4.9.7	其他应用	169
4.10	行业状况	174
	参考文献	175

第 5 章 PET 的瓶、片材、塑钢带及工程塑料应用—— 177

5.1	引言	177
5.2	瓶用 PET	177
5.2.1	聚酯瓶对原料的要求	177
5.2.2	聚酯瓶加工原理与生产工艺	188
5.2.3	聚酯瓶性能	197
5.2.4	聚酯瓶应用	198

5.2.5	聚酯啤酒瓶	200
5.2.6	瓶用聚酯行业状况	202
5.3	APET 片材	203
5.3.1	APET 片材对原料的要求	204
5.3.2	APET 片材加工原理与生产工艺	204
5.3.3	APET 片材性能	206
5.3.4	APET 片材应用	206
5.3.5	其他聚酯片材	207
5.4	PET 塑钢带	207
5.4.1	PET 塑钢带对原料的要求	207
5.4.2	PET 塑钢带加工原理与生产工艺	208
5.4.3	PET 塑钢带性能	208
5.4.4	PET 塑钢带应用	209
5.4.5	PET 土工格栅应用	210
5.5	PET 工程塑料	211
5.5.1	结晶改性	212
5.5.2	增韧改性	215
5.5.3	增强改性	218
5.5.4	扩链增黏	218
5.5.5	阻燃改性	220
5.5.6	PET 工程塑料	220
	参考文献	223

第 6 章 PBT 的制造、性能及应用 **224**

6.1	引言	224
6.2	PBT 合成原理	225
6.2.1	酯化反应机理	225
6.2.2	缩聚反应机理	226
6.3	PBT 工业化生产技术	227
6.3.1	原料及催化剂	227
6.3.2	PBT 工艺路线简介	229
6.3.3	连续直接酯化法工艺简介	230
6.4	PBT 的结构与性能	234
6.4.1	PBT 的化学结构	234
6.4.2	PBT 的物理结构	234
6.4.3	PBT 的力学性能	236
6.5	PBT 的共聚改性	237
6.6	PBT 的共混改性	238
6.6.1	玻纤增强改性	238

6.6.2	无机矿物质填充改性	239
6.6.3	PBT/PET 共混改性	240
6.6.4	PBT 增韧改性	241
6.7	PBT 生产状况及应用	242
6.7.1	全球 PBT 树脂生产状况	242
6.7.2	全球 PBT 需求	242
6.7.3	国内外 PBT 产品的主要牌号及应用	243
6.7.4	PBT 加工工艺	250
6.8	PBT 技术新进展	252
	参考文献	253

第 7 章 PTT 的制造、性能及应用 255

7.1	引言	255
7.2	主要原料及其制备	256
7.2.1	丙烯醛水合法	256
7.2.2	环氧乙烷甲酰化法	257
7.2.3	生物发酵法	257
7.3	PTT 聚合化学反应原理	259
7.3.1	酯化反应	259
7.3.2	酯交换反应	260
7.3.3	缩聚反应	260
7.3.4	醚化反应	262
7.3.5	环化反应	262
7.3.6	热降解与热氧降解反应	262
7.4	PTT 聚合生产工艺	263
7.4.1	间歇法生产 PTT	264
7.4.2	连续法生产 PTT	267
7.4.3	PTT 的固相缩聚	268
7.4.4	产品指标与分析检验	269
7.5	PTT 的结构和性能	270
7.5.1	化学结构	271
7.5.2	物理结构	272
7.5.3	化学性能	274
7.5.4	物理性能	275
7.5.5	流变性能	280
7.6	PTT 的共聚改性	281
7.7	PTT 的共混改性	285
7.8	PTT 的纤维应用	288
7.8.1	PTT 纤维性能	289

7.8.2 PTT 纤维加工	293
7.8.3 PTT 纤维应用	294
7.9 PTT 的塑料应用	295
参考文献	301

第 8 章 PCT 的制造、性能及应用 303

8.1 引言	303
8.2 原料与催化剂	303
8.2.1 CHDM 基本性能	304
8.2.2 CHDM 的制备	304
8.2.3 催化剂	307
8.3 PCT 的制备过程及设备	310
8.3.1 PCT 的制备过程	310
8.3.2 PCT 的生产设备	311
8.4 PCT 的结构性能	313
8.4.1 CHDM 异构体结构对 PCT 性能的影响	313
8.4.2 PCT 的力学性能和热性能	314
8.4.3 PCT 的耐化学品性和耐水解性	315
8.4.4 PCT 的结晶性能	316
8.4.5 PCT 的加工性能	316
8.5 PCT 的共缩聚改性	317
8.5.1 PCTA 共聚酯	317
8.5.2 PCTG 共聚酯	318
8.5.3 PETG 共聚酯	319
8.5.4 PCTN 共聚酯	320
8.5.5 几种改性共聚酯性能比较	320
8.6 PCT 的共混改性	321
8.6.1 PCT 与其他树脂的共混	321
8.6.2 阻燃 PCT 的共混改性	321
8.6.3 抗冲击 PCT 的共混改性	321
8.6.4 PCT 的其他共混改性	322
8.6.5 PCT 的添加剂共混改性	322
8.6.6 PCT 共混改性产品的应用	322
8.7 PCT 的应用	323
8.7.1 PCT 树脂	323
8.7.2 PCT 纤维	327
8.8 PCT 共聚酯的应用	327
8.8.1 PCTA 共聚酯的应用	327
8.8.2 PCTG 共聚酯的应用	328

8.8.3 PETG 共聚酯的应用	329
8.9 新型聚酯 PCCD	333
参考文献	333

第 9 章 PEN 的制造、性能及应用 **334**

9.1 引言	334
9.2 原料和催化剂	335
9.2.1 原料	335
9.2.2 催化剂	336
9.3 聚合化学反应原理	337
9.4 聚合生产工艺	337
9.4.1 低聚物和预聚体制备	337
9.4.2 熔融缩聚	338
9.4.3 固态缩聚	338
9.5 PEN 的结构与性能	340
9.5.1 分子量及其分布	340
9.5.2 熔体的流变行为	340
9.5.3 热性能与热稳定性	342
9.5.4 PEN 形态	342
9.5.5 化学稳定性	343
9.5.6 力学性能	343
9.5.7 光学性能	344
9.5.8 气体阻隔性能	344
9.5.9 电性能	345
9.6 PEN 的应用	345
9.6.1 薄膜	345
9.6.2 纤维	346
9.6.3 饮料瓶	347
9.6.4 化妆品与药品瓶	348
9.7 PEN 的共聚和共混改性	348
9.8 PEN 共聚酯和共混物的应用	350
9.9 生产技术的新进展	350
参考文献	352

第 10 章 聚酯树脂新品种 **354**

10.1 引言	354
10.2 聚乳酸	355
10.2.1 合成	355
10.2.2 性质	358

10.2.3	聚乳酸切片牌号和加工成型	359
10.2.4	降解性	363
10.2.5	应用与展望	364
10.3	聚己内酯	366
10.3.1	合成	367
10.3.2	性质	370
10.3.3	降解性	370
10.3.4	应用	371
10.4	聚丁二酸丁二醇酯	372
10.4.1	合成	373
10.4.2	性质	374
10.4.3	改性	375
10.4.4	应用	375
10.5	聚羟基脂肪酸酯	376
10.5.1	合成	377
10.5.2	性质	380
10.5.3	改性	380
10.5.4	应用	381
10.6	聚碳酸亚丙酯	382
10.6.1	合成	382
10.6.2	性质	383
10.6.3	应用	384
10.7	聚乙醇酸	384
10.7.1	合成	385
10.7.2	性质	386
10.7.3	应用	387
10.8	液晶聚酯	388
10.8.1	分子结构设计	388
10.8.2	合成方法	390
10.8.3	结构性能表征	392
10.8.4	共混改性	398
10.8.5	应用	399
	参考文献	401

第 11 章 热塑性聚酯生产和使用的安全与环保——— 403

11.1	PET 生产和使用的安全与环保	403
11.1.1	PET 的原料毒性及使用安全	403
11.1.2	PET 的毒性及使用安全	404
11.1.3	PET 生产中的安全与防护	405

11.1.4	PET 生产产生的污染及其治理	406
11.1.5	PET 及其复合材料的循环利用	407
11.2	PBT 生产和使用的安全与环保	411
11.2.1	PBT 的原料毒性及使用安全	411
11.2.2	PBT 的毒性及使用安全	412
11.2.3	PBT 生产和加工中的安全与防护	414
11.2.4	PBT 生产产生的污染及其治理	417
11.2.5	PBT 及其复合材料的循环利用	419
11.3	PTT 生产和使用的安全与环保	419
11.3.1	PTT 的原料毒性及使用安全	419
11.3.2	PTT 的毒性及使用安全	420
11.3.3	PTT 生产和加工中的安全与防护	421
11.4	PEN 生产和使用的安全与环保	422
11.4.1	PEN 的原料毒性及使用安全	422
11.4.2	PEN 的毒性及使用安全	422
11.4.3	PEN 生产和加工中的安全与防护	422
11.4.4	PEN 生产产生的污染及其治理	423
11.4.5	PEN 及其复合材料的循环利用	424
11.5	聚乳酸生产和使用的安全与环保	426
11.5.1	聚乳酸生产和加工中的安全与防护	426
11.5.2	回收料和边角料的循环利用	427

附录 429

附录一	热塑性聚酯牌号表	429
附录二	热塑性聚酯主要加工应用厂商与关键加工设备制造商	431
附录三	热塑性聚酯用添加剂、催化剂的生产商	432