

非纤维用热塑性聚酯 工艺与应用

赵耀明 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

71

332
342

非纤维用热塑性聚酯 工艺与应用

赵耀明 编著

化学工业出版社
材料科学与工程出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

非纤维用热塑性聚酯工艺与应用/赵耀明编著. —北京
化学工业出版社, 2002.5
ISBN 7-5025-3729-5

I. 非… II. 赵… III. 热塑性-聚酯塑料-生产工艺
IV. TQ323.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 013586 号

非纤维用热塑性聚酯工艺与应用

赵耀明 编著

责任编辑: 夏叶清 白洁

责任校对: 李林

封面设计: 刘欣

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(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

化学工业出版社印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 13½ 字数 366 千字

2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3729-5/TQ·1504

定 价: 30.00 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

前 言

热塑性聚酯特别是 PET 树脂（聚对苯二甲酸乙二酯）自其工业化生产后，已迅速发展成为一种重要的塑料用树脂。从近年来 PET 树脂的应用来看，瓶用树脂发展最快，其次是 PET 薄膜和工程塑料，而开发最早的 PET 纤维的应用比例则呈下降的趋势。为了适应该生产技术领域发展的需要，本书编写内容重点侧重于聚酯薄膜、聚酯瓶及聚酯工程塑料的生产原理与应用，其中也包括作者的部分研究成果，取名为《非纤维用热塑性聚酯工艺与应用》，以示与以往大量出版的有关纤维用聚酯书籍的区别。

本书共分为九章，第一章为绪论；第二章为聚酯的合成原理与工艺；第三章为聚酯成型加工理论基础；第四、五、六章为热塑性聚酯在非纤维领域中的应用；第七章介绍几种令人瞩目的聚酯新品种；第八章从环保角度介绍废旧聚酯塑料的再生利用；第九章为聚酯重要质量指标的检验、分析。

参加本书编写人员有

第一章：赵耀明

第二章：赵耀明，刘海敏，高 洸

第三、九章：高 洸

第四章：宁 平

第五章：刘维锦

第六章：章永化，沈家瑞，孙东成

第七章：章永化，沈家瑞，林东恩

第八章：曾幸荣，赵建青

由于编著者水平和时间所限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

赵耀明

2002 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 热塑性聚酯的发展概况	1
第二节 非纤维用热塑性聚酯的应用	3
一、聚酯瓶	3
二、聚酯薄膜	4
三、聚酯工程塑料	5
第三节 非纤维用热塑性聚酯的技术发展动向	5
一、聚酯生产规模和生产工艺的发展	5
二、聚酯改性及新品种开发	7
参考文献	9
第二章 非纤维用热塑性聚酯的制备	10
第一节 聚酯合成基本原理	10
一、概述	10
二、聚酯反应机理	12
三、聚酯合成中的副反应	15
四、聚酯反应动力学	17
五、聚酯产物聚合度的影响因素及其控制	20
第二节 聚酯原料	22
一、对苯二甲酸和对苯二甲酸二甲酯的制备及性质	22
二、乙二醇的制备及性质	24
三、1,4-丁二醇的制备及性质	25
第三节 聚对苯二甲酸乙二酯的生产	26
一、对苯二甲酸双羟乙酯的制备	27
二、聚对苯二甲酸乙二酯的生产	34
三、聚对苯二甲酸乙二酯树脂质量指标	43
第四节 聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT) 的生产	44
一、工艺过程原理	44

二、PTA 法连续生产工艺	46
三、聚对苯二甲酸丁二酯质量指标	51
第五节 热塑性聚酯的结构及性能	52
一、聚对苯二甲酸乙二酯的分子链结构及性能	52
二、聚对苯二甲酸丁二酯的分子链结构及性能	56
三、其他新型热塑性聚酯	57
参考文献	58
第三章 热塑性聚酯成型加工基础	59
第一节 聚酯熔体的流变行为	59
一、熔体的基本流动类型	59
二、非牛顿流体	60
三、熔体的流动曲线	63
四、影响熔体粘度的因素	65
五、高聚物熔体的弹性流变效应	74
六、高聚物熔体粘度测定方法	78
第二节 聚酯的热性能与传热学	79
一、聚酯的热性能	79
二、聚酯的传热性能	84
第三节 聚酯的结晶	91
一、聚酯的晶态结构	91
二、聚酯的结晶速度	96
三、结晶聚酯的熔点	103
四、工艺条件对聚酯结晶的影响	108
五、结晶对聚酯性能的影响	110
第四节 聚酯的取向	111
一、取向现象和机理	111
二、影响取向的因素	117
三、取向度的测定	118
四、取向对聚酯性能的影响	118
第五节 聚酯的降解	119
一、降解	119
二、老化与性能	124
参考文献	125

第四章 聚酯薄膜	127
第一节 聚酯薄膜的种类和性能	128
一、聚酯薄膜的种类	128
二、聚酯薄膜的性能	129
第二节 聚酯 (PET) 薄膜的生产与工艺	129
一、膜用聚酯树脂的要求	129
二、膜用聚酯树脂的质量控制	130
三、聚酯薄膜的生产	133
第三节 聚萘二甲酸乙二酯薄膜 (BOPEN)	152
一、原材料	153
二、聚 2,6-萘二甲酸乙二酯薄膜成型加工的条件	154
第四节 聚酯薄膜的应用	154
一、聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 薄膜的应用	154
二、聚萘二甲酸乙二酯 (PEN) 薄膜的应用	156
第五节 聚酯薄膜的表面处理与装饰	156
一、聚酯薄膜的表面处理方法	156
二、处理表面的鉴别和检验	158
三、聚酯薄膜的表面装饰	158
第六节 聚酯薄膜产品质量检测方法	159
一、塑料薄膜厚度的检测	159
二、塑料薄膜拉伸强度、断裂伸长率、 F_5 值的测定	160
三、热收缩率的测定	161
四、薄膜介电强度的测定	161
五、薄膜体积电阻率的测定	161
六、介电损耗角正切值和介电常数的测定	162
七、薄膜雾度的测定	162
参考文献	162
第五章 聚酯瓶	163
第一节 瓶用聚酯的制备	163
一、瓶用 PET 的性能要求	163
二、PET 的固相缩聚	164
第二节 聚酯瓶的成型	170
一、聚酯瓶的成型方法	170

二、成型设备与性能	173
三、成型工艺	177
第三节 聚酯瓶的质量分析	186
一、聚酯软饮料瓶的质量要求	186
二、聚酯软饮料瓶质量的检测方法	189
三、聚酯瓶生产过程中常见质量问题和处理方法	192
参考文献	194
第六章 聚酯改性工程塑料	195
第一节 聚酯改性原理	196
一、改善非纤维用聚酯加工性能的方法和途径	196
二、改善非纤维用聚酯使用性能的方法和途径	199
第二节 聚酯的共聚改性	201
一、共聚酯的制备与性能	201
二、液晶共聚酯	208
三、聚酯酰胺	213
第三节 共混聚酯工程塑料	215
一、PET 与聚乙烯 (PE) 及其共混物的共混	216
二、PET/PP 共混改性	230
三、PET/PS 共混改性	235
四、PET 与其他聚酯及聚酰胺的共混改性	237
第四节 聚酯的填充与复合改性	240
一、聚酯的填充改性	240
二、聚酯的增强改性	244
三、聚酯纳米复合材料	257
四、聚酯原位复合和分子复合材料	265
参考文献	268
第七章 聚酯新品种	272
第一节 聚萘二甲酸乙二酯	272
一、PEN 的制备方法	272
二、PEN 的性能特征	276
三、PEN 的应用领域	278
第二节 聚对苯二甲酸丙二醇酯	284
一、制备方法	284

二、性能特征	290
三、应用领域	291
第三节 聚对苯二甲酸环己二甲酯	292
一、制备方法	293
二、性能特征	293
三、应用领域	296
第四节 热塑性聚酯弹性体	296
一、制备方法	297
二、性能特征	299
三、应用领域	300
第五节 非晶透明聚酯	303
一、制备方法	304
二、性能特征	305
三、应用领域	308
第六节 聚羟基脂肪酸酯	309
一、聚羟基脂肪酸酯的性质	310
二、聚羟基脂肪酸酯的合成	312
三、聚羟基脂肪酸酯的研究进展	321
四、聚羟基脂肪酸酯的应用	325
参考文献	327
第八章 废聚酯的再生和利用	329
第一节 概述	329
一、废聚酯的来源	329
二、废聚酯再生利用的发展概况	330
三、废聚酯的再生和利用技术	330
第二节 直接法回收及其应用	333
一、造粒	333
二、掺混合共混	336
三、玻璃纤维增强改性 PET 废料	338
四、制膜及纺丝	339
第三节 化学法再生及其应用	342
一、PET 废料解聚制备单体及聚酯原料	342
二、PET 废料解聚制备增塑剂	346

三、PET 废料解聚制备不饱和聚酯	348
四、PET 废料解聚制备涂料	351
五、PET 废料解聚制备聚酯热熔胶	354
六、PET 废料解聚制备聚酯多元醇及聚氨酯泡沫塑料	355
七、聚酯废料化学法再生利用的其他途径	356
参考文献	356
第九章 聚酯切片的分析检验	358
一、特性粘数及相对分子质量的测定	358
二、相对分子质量分布的测定	367
三、熔点的测定	377
四、软化点的测定	379
五、切片中微量水分的测定	380
六、灰分的测定	388
七、铁含量的测定	389
八、锑含量的测定	393
九、羰基含量的测定	397
十、二甘醇含量的测定	401
十一、乙醛含量的测定	406
十二、色度的测定	410
十三、重金属 (Pb) 含量的测定	411
十四、粉末和异状切片的测定	412
十五、锑含量的测定	413
参考文献	415
附录	417

第一章 绪 论

聚酯是大分子链中的各链节通过酯基 ($\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}\text{—O—}$) 相连的一类高聚物。一般以二元或多元醇和羧酸为原料, 经缩聚反应聚合而成。通常可以分为饱和及不饱和聚酯两大类。不饱和聚酯分子结构中含有非芳烃的不饱和键, 它们可以被引发交联生成具有网状(体型)结构的热固性高聚物材料; 饱和聚酯分子结构中不含有非芳烃的不饱和键, 是一种线型热塑性高聚物材料。本书论述的内容主要涉及热塑性聚酯材料。

第一节 热塑性聚酯的发展概况

早在 1894 年 Vorländer 用丁二酰氯和乙二醇制得低分子质量的聚酯; 1898 年 Einkorn 合成聚碳酸酯; 1932 年 Carothers 合成脂肪族聚酯。早年合成的聚酯大都为脂肪族化合物, 其分子质量及熔点都较低, 且易溶于水, 实用价值不高。1941 年, 英国的 Whinfield 和 Dickson 用对苯二甲酸二甲酯 (DMT) 和乙二醇 (EG) 为原料, 合成聚对苯二甲酸乙二酯 (PET), 并通过熔体纺丝制得性能优良的纤维。1953 年, 美国首先建厂生产聚酯纤维。

随着有机合成和高分子科学与工程的发展, 近年研制开发多种有不同特性的热塑性聚酯。其中以聚对苯二甲酸丁二酯 (PBT) 为著名。PBT 于 1970 年由美国 Celanese 公司首先实现工业化生产, 商品名为 X-917, 后改名为 Celanex。此后美国 GE 公司、GAF 公司、德国 Bayer、BASF 及日本三菱化成、帝人和东丽等公司都相继建厂生产, 在增加产量的同时, 拓宽其用途, 使该产品得到迅速发展。现在 PBT 已成为五大工程塑料中发展最快的一种。

热塑性聚酯最主要的品种是聚对苯二甲酸乙二酯 (PET) 和聚对

苯二甲酸丁二酯(PBT),特别是前者,由于其熔体具有优良的成纤性,其纤维织物强度高、挺括、耐磨、服用性能好,在化纤领域中产量跃居首位。由于其综合性能优良,PET也正在向非纤维应用领域扩展。

进入 20 世纪 90 年代后,世界聚酯工业发展迅速^[1~5],新建聚酯装置不断增加,1998 年世界聚酯生产能力已达到 29000kt,比 1990 年增长 134%,1990 年和 1998 年其生产能力年均增长率为 10.7%,同时聚酯生产能力重心开始向亚洲转移,发展速度很快,生产能力已超过世界聚酯的一半(见表 1-1)。

表 1-1 世界各地聚酯生产能力变迁 /kt

国家或地区	年 份				
	1990	1995	1996	1997	1998
亚洲	5374	9678	11739	14611	16951
日本	878	1662	1658	1729	1778
北美	3330	4106	4602	5294	5746
南美	338	476	486	607	687
东欧	1632	2274	2369	2751	3002
非洲/中东	320	543	664	737	997
世界合计	12739	19465	22224	26377	29802

随着世界聚酯生产能力的急剧增加,世界聚酯的产量也逐步上升,1990~1998 年产量的年增长率为 9.1%。1998 年世界聚酯总产量为 23280kt,预计到 2002 年将达到 28900kt,其中非纤维用聚酯约占聚酯需求总量的 20%。随着聚酯应用范围的拓宽,其需求量将继续增长。

我国于 1958 年开始聚酯生产技术的研究开发,具有一定的开发实力和基础。自 1973 年以来,引进一批国外聚酯生产技术,如 DMT 技术路线的有法国罗纳-普朗克技术,日本帝人技术和东丽技术;PTA 技术路线的有日本钟纺技术,德国吉玛(Zimmer)技术,瑞士伊文达(Inventa)技术和美国的杜邦(Dupont)技术,使我国的聚酯生产得到很大发展。进入 20 世纪 90 年代以后,特别是在“八五”和“九五”期间,发展速度加快,纤维用聚酯和非纤维用聚酯的生产都有了大幅度的增长。1998 年我国聚酯生产能力

达到 3900kt，占全球的 13.6%。至 2000 年，生产能力将达 5000kt，成为世界聚酯生产大国。

纵观国内聚酯生产企业，自行开发的技术多以间歇或半连续法为主，国外引进的技术多以 PTA 连续法为主。到目前为止，我国引进的聚酯装置涉及世界上主要的聚酯生产厂商和工程公司，其工艺技术的先进程度几乎与世界同步。近年来，我国在消化吸收各家技术的基础上，积极进行国产化聚酯成套技术开发和建设。由仪征化纤公司、中国纺织工业设计院、华东理工大学等单位承担的中国石化集团公司攻关项目“100 kt/a 聚酯成套技术开发”取得成功，已建成 100kt/a 国产化聚酯装置，这标志着我国聚酯工业将迈进世界聚酯先进国家之列。

第二节 非纤维用热塑性聚酯的应用

热塑性聚酯中已经工业化生产的主要品种是 PET 和 PBT 两大类。PET 自问世以来，主要用于纺制纤维，应用于服装领域，由于 PET 在较宽的温度范围内保持优良的物理性能、冲击强度高、耐摩擦、刚性高、硬度大、吸湿性小、尺寸稳定性好、电性能优良、对大多数有机溶剂和无机酸稳定，因此作为非纤维用聚合物材料也已得到广泛的应用。PBT 也可用作纺织纤维材料。PBT 纤维与 PET 纤维相比其特点是具有优良的弹性，弹性回复率大，适合制作弹性织物。但是 PBT 更主要是作为工程塑料使用。它具有优异的力学、电气、耐化学腐蚀、易成型及低吸湿性能等，是一种综合性能优良的新型工程塑料。

此外，其他非纤维用热塑性聚酯还有 PEN(聚 2,6-萘二甲酸乙二酯)、PET/PEN 共混物、PTT(聚对苯二甲酸丙二酯)以及改性 PET，但按照生产和消费所占有份额而言，PET 占绝对首位。

现就 PET、PBT 等热塑性聚酯在非纤维领域中的应用加以介绍。

一、聚酯瓶

PET 瓶属绿色环保产品，可回收再利用，与玻璃、聚氯乙烯

(PVC) 等包装材料相比，它具有质轻、无毒性、外观洁净透明、加工方便、力学性能好等特点。PET 瓶大部分用于饮料包装，如碳酸饮料、茶饮料、矿泉水、汤料、酒、啤酒等的灌装，也有少部分用于盛装油品、调料、化妆品、药品、洗涤剂之类。按灌装温度条件来分，可分为冷灌装 PET 瓶和热灌装 PET 瓶。冷灌装 PET 瓶主要用来盛装碳酸饮料、食用油、调料等。这类瓶子要求阻透性能较好，乙醛含量低，灌装后变形小。热灌装 PET 瓶除了冷灌装 PET 瓶的部分要求外，一个主要的物性要求是抗热变形能力。一般要求 85~90℃ 灌装放置 24h 后瓶子的体积收缩率在 1%~3% 以内，瓶口变形小，密封性能不下降，同时要求瓶体无明显变形及瓶壁内陷等现象。

由于 PET 瓶的气体阻隔性尚不够高，不能满足酒类、化妆品、药品等高阻隔性包装材料的要求，目前有采用 PEN 以及 PET/PEN、PET/LCP（液晶聚合物）等共混材料，或采用表面涂覆，材料复合等方法以提高其阻隔性。新型的高阻隔聚酯瓶将广泛用于代替玻璃制品盛装啤酒、白酒和其他酒类制品。

二、聚酯薄膜

聚酯薄膜为无色透明、有光泽、强韧性和弹性好的薄膜，与其他塑料薄膜相比，具有相对密度大、抗张强度高、延伸率适中、冲击强度大、耐热性好和透明性高等特点。

经双向拉伸后的聚酯薄膜具有优良的综合性能，因此广泛应用于各种包装膜、复合包装，特别是它与铝、聚乙烯的复合膜“软罐头”包装。

聚酯膜具有良好的电绝缘性能，可用于制作电容器膜、绝缘材料、音像带基和感光胶片等。

新近开发的 PEN 薄膜由于其高强度及高韧性，可用于磁带底膜、蒸镀带、热敏打印带及扬声器振动板；利用其耐热性、尺寸稳定性好及低聚物含量少的优点，可用于高密度软磁盘、电子元件、集成数据卡、柔性电路板等；利用其气体阻隔性、耐化学药品性好的优点，可用作各种包装材料。

三、聚酯工程塑料

聚酯树脂的纯塑料制品，由于加工性能和制品性能的限制，很少单独使用，大都要用玻璃纤维增强或进行改性后使用。

改性后的 PBT 作为一种综合性能优异的工程塑料，在电子、电气、家电、汽车制造、仪器仪表、机械工业等领域得到广泛应用^[6,7]。

在汽车制造领域中，可用作烟灰缸、加速器及离合器踏板、空气过滤器外壳、挡风刷柄和支承、安全带组件、后视镜外壳、化油器组件等。

在电子电器、家电、照明用具和通讯领域里，可用于制作集电环、马达外壳、电子设备风叶、电容器外壳、负载断路器、集成电路基座、家电支架、旋钮面板、吸尘器部件、灯插座、基座、各种灯具外壳及光缆护套等。

此外，还可用作纺织纱管、船舱排水泵外壳和滑雪鞋松紧调节器等。

经改性或玻璃纤维增强的 PET 工程塑料，由于解决了加速 PET 结晶化方法和相应的成型加工问题，其机械性能和热性能也有大幅度改善，因此也得到迅速发展，并广泛应用于电子电器、机械、汽车、轻工和建材等领域。

第三节 非纤维用热塑性聚酯的技术发展动向

近年来世界聚酯工业一方面向规模化生产发展，另一方面积极开发新型聚酯品种或对原有的品种进行改性以拓宽聚酯的应用范围。

一、聚酯生产规模和生产工艺的发展

目前聚酯生产正向大型化、自动化、简单化、节能化的方向发展，着重于提高单系列生产能力和自控水平^[8,9]，如现在世界前 30 家聚酯生产厂家的平均产能达 360kt/a，规模最大的 Du Pont 公司已达 1400kt/a。我国纺织工业设计院等单位联合自行开发国产化聚酯装置其生产能力也已达到 100kt/a 以上，并大力发展装饰用、产业用聚酯和非纤维用聚酯，以满足不断增长的非纤维用聚酯的需要。

在聚酯生产工艺方面，以对苯二甲酸（PTA）为原料的直接

酯化法（PTA 法）已成为聚酯的主要生产工艺和发展方向。而 PTA 法又以连续生产工艺为主流，它适合于大规模化生产，世界主要聚酯生产厂商和工程公司如德国 Zimmer，美国 Du Pont，瑞士 Inventa 和日本钟纺等公司均采用此法。其中 Zimmer、Inventa、钟纺公司技术为五釜流程（第一酯化釜、第二酯化釜、预缩聚釜、缩聚釜、终缩聚釜）；杜邦公司为三釜流程（酯化釜、预缩聚釜、终缩聚釜）。这两个工艺流程各具特色，工艺基本相似，区别主要在于酯化工艺，如五釜流程酯化工艺采用较低温度和较低压力，而三釜流程则采用高 EG/PTA 摩尔比和较高的酯化温度来强化反应条件，加快反应速度，缩短反应时间。现在聚酯工艺有向三釜流程甚至两釜流程（酯化釜、缩聚釜）的方向发展。Dupont 公司已开发用于生产瓶级聚酯的全新 NG3 工艺。该工艺即为两釜流程，只需要经过酯化（反应时间约为 1.5h）和聚合（反应时间约为 20min）两釜完成。由于缩短了流程，减少了反应时间，生产效率大大提高，投资成本比传统工艺降低约 25%，生产成本比传统工艺的最低水平还低 40%。运用 NG3 工艺的第一套装置于 2000 年底开工建设。

在生产装置简化方面，Du Pont 公司正在开发取消缩聚部分的真空系统，改用向缩聚釜通入氮气，以抽出缩聚过程中的低分子物。常压缩聚使反应器结构简化，省去易堵的真空系统，有效的降低了操作费用，单耗及维修费用。

此外，在研究开发高效催化剂方面，也取得了一定的进展，主要集中于研制复合催化剂，即催化剂组合技术，如锰/钴/铈系复合催化剂、铈/钛/锡系复合催化剂等，以提高催化效率。台湾化工所称其研制的铈系催化剂的助催化剂可使装置的产能提高 7% ~ 20%；Zimmer 公司研制的一种用于生产瓶级树脂缩聚过程的助催化剂，可以提高聚酯瓶生产过程中瓶坯的红外线吸收能力，由此可大大降低吹塑瓶生产过程中的能耗，提高吹瓶生产效率。

毋庸置疑，工艺流程简化，生产效率提高、生产规模扩大，单线产能提高，已成为当今聚酯生产技术发展的趋势。

二、聚酯改性及新品种开发

(一) PET 改性

一般通过共聚或添加改性剂共混的方法对 PET 进行改性，以改善其加工性和制品的性能，扩大其应用范围。如采用共聚单体间苯二甲酸 (IPA) 取代部分 PTA，环己烷二甲醇 (CHDM) 取代部分乙二醇 (EG) 进行共聚合，可破坏 PET 大分子的规整性和结晶性，因而降低了吹塑成型温度，改进 PET 树脂的加工性能。醇改性 PET 生产的聚酯瓶则具有高光泽和高透明度，能充分展示内包装物。除了引入共聚单体外，还可以采用添加剂改性，赋予改性 PET 树脂的抗紫外、抗静电和阻燃等功能。此外，也可在原料聚酯中添加专用的硅酮粒子、聚酰亚胺粒子或不活泼无机粒子等，以改善聚酯薄膜的平滑性或耐划擦性，以生产高档聚酯薄膜^[10,11]。

(二) PEN 的开发

聚 2,6-萘二甲酸乙二酯 (PEN) 是一种令人瞩目的高性能聚酯，虽然早已被发现，但直至近年来，原料 NDC (2,6-萘二甲酸二甲酯) 实现了商品化生产，才使 PEN 开始进入了实用阶段^[12]。

美国 Amoco 化学公司和日本三菱化学公司是世界两大 NDC 的生产厂家，但规模仍偏小，目前正在不断扩大其生产能力和提高技术水平，以降低生产成本，促进 PEN 的商品化和发展。

此外，不少生产 PEN 的公司正积极进行产品的开发工作^[13,14]，如 Teijin 公司开发了可回收饮料瓶的 PEN 树脂，ICI 公司的用于双向拉伸膜的 PEN 树脂，开发重点是 PEN/PET 共聚物和共混物；Shell 公司开发的两种具有更好的耐化学药品性和耐热性的高性能 PEN 树脂，其中 Hipertuf35000 用于生产薄膜和注塑制品；Hipertuf90000 用于生产医药瓶和可蒸煮消毒的瓶类容器，具有更好的强度和透明性。PEN 的应用范围已日趋广泛。

(三) PTT

聚对苯二甲酸丙二酯 (PTT) 是 20 世纪 90 年代中期工业开发成功的新型聚酯材料，是代替尼龙制造地毯的一种优良的纤维材料。由于 PTT 的物理机械性能与其他热塑性工程塑料相比，其冲