

工程塑料

性能 · 成型 · 应用

石安富 龚云表 编著



上海科学技术出版社

工 程 塑 料

性 能 · 成 型 · 应 用

石安富 龚云表 编著

上海科学技术出版社

CLASSIC

S

工 程 塑 料

性能·成型·应用

石安富 龚云表 编著

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 950×1156 1/32 印张 18.5 字数 489,000

1986 年 9 月第 1 版 1986 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1—7,800

统一书号: 15119·2465 定价: 4.05 元

序

在新技术革命蓬勃兴起的浪潮中,《工程塑料——性能、成型、应用》一书出版了。

材料是发展技术的物质基础,新材料则是发展新技术的物质基础。在材料科学领域中,有机高分子材料是一个重要的分支。塑料是人们所熟知的高分子材料,它不但能制造出琳琅满目的日用消费品,而且能代替金属、木材等材料。特别是工程塑料,它已不仅是一种代用品,而且正在逐渐发展成为一种能适应特殊环境和具有各种特殊性能,为一般传统材料所不能代替的功能材料。它的应用领域在不断扩大,产量在不断增长。熟悉这些工程塑料的性能、成型加工方法和应用领域,是各行各业的产品设计和加工技术人员所必需的。当前,为了发展我国的工程塑料,首先必须推广和扩大它的用途。这方面书的出版,将对工程塑料的扩大应用起到很好的促进作用。

上海市合成树脂研究所的石安富和龚云表两位同志,根据他们长期从事合成树脂及工程塑料研制的经验和收集到的资料编著了这本书。它内容丰富,是一本适合于设计、应用技术人员和教学人员的参考书。我衷心希望它在我国实现四个现代化的进程中为发展工程塑料发挥积极作用。

姚锡福 一九八五年三月

前 言

工程塑料是随着石油化学工业的发展而崛起的一种新型合成材料,至今只有短短 40 余年的历史。但是,由于它具有一系列优异的性能和很高的使用价值,一经出现,即得到了迅速的发展。特别是近十几年来,工程塑料的生产能力和需要量迅速增长,合成工艺不断改进,品种和品级大量增加,应用领域日益扩大。现在,工程塑料已成为电子、机械、航空、纺织、交通运输等部门不可缺少的重要材料。它不仅应用于人造卫星、导弹、火箭上,而且在节约能源方面也具有不可低估的作用。今后,随着科学技术的不断发展,对材料的性能要求也将会越来越高,工程塑料的发展前景是极其广阔的。

近年来,国外工程塑料取得了令人瞩目的进展。通用工程塑料如聚酰胺(PA)、聚碳酸酯(PC)、聚甲醛(POM)、改性聚苯醚(PPO)、聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)和聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)等,由于高分子合金、共聚、增强、阻燃和快速成型加工等新技术的开发成功,出现了许多性能更为突出的新品种和新品级;与此同时,又相继出现了许多新型的特种工程塑料,如聚醚砜(PES)、聚酰胺酰亚胺(PAI)、聚芳酯(PAR)和聚醚醚酮(PEEK)等。

我国的工程塑料工业是在五十年代末期才起步的,尽管目前的产量与国外相比还有较大差距,但大类品种已基本齐全,各个工业部门也越来越多的采用各种工程塑料制造的零部件以代替原先使用的金属零部件。工程塑料作为一种原料易得、性能优良、加工方便的新型合成材料,在我国正显示出日益巨大的作用。

目前正在世界范围内蓬勃兴起的新技术革命,无论是规模还是深度,都超过了以往出现的产业革命,作为这场新技术革命两大

支柱的则是材料科学和信息科学。工程塑料学科作为材料科学的一个重要分支,最初并未被当成一个学科领域,而只是作为个别的成果分散于化学、物理的体系之中,在最近 20 年里,这些成果才逐步汇集成一个完整的学科体系。为了适应我国工程塑料工业进一步发展的需要,以及鉴于目前国内工程塑料方面的技术书籍还较缺乏的状况,我们结合自己的工作实践,并参照国内外有关资料撰写了这本书。我们力求尽可能系统、完整地介绍各种业已实现工业化的工程塑料的性能、成型加工和应用领域,同时对其发展历史、生产方法和发展动向也作一简要的介绍。我们希望本书能够对我国迅速发展的塑料工业作出一点微薄的贡献,并对从事工程塑料研制、生产、成型加工和应用工作的工程技术人员能有所裨益。

本书承上海市化学工业局副局长姚锡福高级工程师审阅并作序;上海市合成树脂研究所鲍素珍、戚文定工程师提出宝贵意见并提供有关资料;李琪琪同志绘制图稿,谨此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,疏漏错误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

作 者 一九八五年四月

目 录

序 前言

第一章 工程塑料总论

第一节 概述	1	二、挤出成型	30
一、分类	1	三、吹塑成型	34
二、发展简史	3	四、压制成型	36
三、发展动向	9	第四节 应用领域	39
第二节 性能及其测定	18	一、一般结构零部件	39
一、性能特点	18	二、传动结构零部件	40
二、主要性能	20	三、电气绝缘零件	43
三、性能测定	24	四、耐腐蚀零件	45
第三节 成型加工	26	五、静、动密封件	46
一、注射成型	26	六、高强度高模量结构零 件	47

第二章 聚 酰 胺

第一节 概述	51	二、注射成型	81
一、发展简史	51	三、挤出成型	86
二、生产方法	54	四、吹塑成型	90
第二节 性能	60	五、流化床浸渍涂覆	92
一、物理性能	60	六、烧结成型	93
二、机械性能	63	七、冷加工	94
三、热性能	69	第四节 改性和新型聚 酰胺	96
四、电性能	71	一、增强尼龙	96
五、化学性能	74	二、单体浇铸尼龙(MC 尼龙)	99
第三节 成型加工	77		
一、成型特性	77		

三、反应注射成型(RIM)	
尼龙	101
四、芳香族尼龙	102
五、透明尼龙	104
六、高抗冲尼龙	107
七、电镀尼龙	109

第五节 应用领域	110
一、汽车	110
二、机械设备	112
三、电子电器	116
四、化工设备	117
五、其它	118

第三章 聚 碳 酸 酯

第一节 概述	120
一、发展简史	120
二、生产方法	121
第二节 性能	124
一、物理机械性能	124
二、热性能	131
三、电性能	133
四、化学性能	134
第三节 成型加工	135
一、成型特性	136
二、注射成型	139
三、挤出成型	145
四、吹塑成型	148
五、冷加工	149

第四节 改性和新型聚碳 酸酯	151
一、增强聚碳酸酯	151
二、共混聚碳酸酯	154
三、卤代双酚 A 聚碳酸 酯	156
四、有机硅-聚碳酸酯共 缩聚物	157
五、聚酯碳酸酯	157
第五节 应用领域	158
一、电子电器	160
二、机械设备	161
三、光学照相器材	163
四、医疗器材	164

第四章 聚 甲 醛

第一节 概述	166
一、发展简史	166
二、生产方法	167
第二节 性能	171
一、物理机械性能	171
二、热性能	176
三、电性能	177
四、化学性能	178

第三节 成型加工	181
一、成型特性	181
二、注射成型	185
三、挤出成型	192
四、吹塑成型	193
五、二次加工	193
第四节 改性和新型聚 甲醛	194

一、增强聚甲醛	194
二、高润滑聚甲醛	198
三、电镀聚甲醛	201
四、柔性聚甲醛及其它新 型聚甲醛	202

第五节 应用领域

一、汽车	204
二、机械设备	207
三、电子电器	209
四、其它	209

第五章 聚 苯 醚

第一节 概述

一、发展简史	211
二、生产方法	213

第二节 性能

一、物理机械性能	215
二、热性能	219
三、电性能	220
四、化学性能	222

第三节 成型加工

一、成型特性	224
二、注射成型	226
三、挤出成型	230
四、压制成型	232

第四节 新型和其它改性

聚苯醚

一、聚苯乙烯接枝聚苯 醚	232
二、ABS 改性聚苯醚	238
三、改性聚苯醚板材	239
四、低发泡改性聚苯醚	240
五、电镀改性聚苯醚	242

第五节 应用领域

一、电子仪表	242
二、汽车	243
三、机械设备	245

第六章 聚对苯二甲酸丁二醇酯

第一节 概述

一、发展简史	248
二、生产方法	250

第二节 性能

一、物理机械性能	254
二、热性能	257
三、电性能	262
四、化学性能	265

第三节 成型加工

一、成型特性	266
二、注射成型	270

三、挤出成型	275
--------------	-----

四、二次加工	276
--------------	-----

第四节 改性和新型

PBT

一、共混改性 PBT	277
二、低翘曲 PBT	281
三、非析出型阻燃 PBT	282
四、耐低温冲击 PBT	282

第五节 应用领域

一、电子电器	283
--------------	-----

二、汽车	285	四、其它	289
三、机械设备	287		

第七章 聚对苯二甲酸乙二醇酯

第一节 概述	290	四、注射成型	308
一、发展简史	290	第四节 改性 PET	309
二、生产方法	292	一、改进结晶性 PET	309
第二节 性能	295	二、改进脱模性 PET	311
一、物理机械性能	295	三、低翘曲 PET	311
二、热性能	300	四、高抗冲 PET	312
三、电性能	301	第五节 应用领域	312
四、化学性能	302	一、电子电器	313
第三节 成型加工	303	二、汽车	314
一、成型特性	303	三、包装容器	315
二、双轴拉伸成型	305	四、机械设备	316
三、吹塑成型	306		

第八章 聚 酰 亚 胺

第一节 概述	318	第四节 改性和新型聚酰 亚胺	345
一、发展简史	318	一、聚醚亚胺	345
二、生产方法	322	二、可熔可溶性聚酰亚胺 PI-2080	348
第二节 性能	325	三、乙炔封端基聚酰亚 胺	350
一、物理机械性能	325	四、PMR 型聚酰亚胺	352
二、热性能	331	第五节 应用领域	354
三、电性能	334	一、电机	354
四、化学性能	336	二、电子电器	355
第三节 成型加工	338	三、机械设备	357
一、浸渍及流涎成型	339	四、汽车	359
二、模压成型	340	五、航空及宇航	360
三、注射成型	341		
四、挤出成型	343		
五、层压成型	344		

第九章 氟 塑 料

第一节 概述	362	一、填充聚四氟乙烯	395
一、发展简史	362	二、四氟乙烯-全氟丙烯 共聚物	400
二、生产方法	366	三、四氟乙烯-乙烯共聚 物	404
第二节 性能	369	四、四氟乙烯-全氟烷基乙 烯基醚共聚物	408
一、物理机械性能	369	五、三氟氯乙烯-乙烯共聚 物	410
二、热性能	376		
三、电性能	378		
四、化学性能	381		
第三节 成型加工	384	第五节 应用领域	411
一、压缩模塑成型	384	一、机械设备	411
二、挤出成型	388	二、电子电器	415
三、涂覆成型	391	三、化工设备	417
四、压延成型	393	四、医用材料	419
五、注射成型	395	五、建筑材料	420
第四节 改性和新型氟塑 料	395		

第十章 聚 砜

第一节 概述	421	第四节 改性和新型聚 砜	438
一、发展简史	421	一、玻璃纤维增强聚砜	438
二、生产方法	423	二、聚砜高分子合金	440
第二节 性能	426	三、玻璃纤维增强聚醚 砜	442
一、物理机械性能	426	四、耐摩擦磨耗聚醚砜	445
二、热性能	429	第五节 应用领域	447
三、电性能	431	一、电子电器	447
四、化学性能	433	二、机械设备	449
第三节 成型加工	435	三、交通运输	450
一、注射成型	435	四、医疗器械	450
二、挤出成型	437		
三、吹塑成型	438		
四、二次加工	438		

第十一章 聚 苯 硫 醚

第一节 概述	452	四、压制成型	476
一、发展简史	452	五、喷涂成型	479
二、生产方法	453	六、挤出包覆成型	481
第二节 性能	457	第四节 改性和新型聚 苯硫醚	482
一、物理机械性能	457	一、共混改性聚苯硫醚	482
二、热性能	459	二、高分子量聚苯硫醚	485
三、电性能	462	第五节 应用领域	487
四、化学性能	466	一、电子电器	487
第三节 成型加工	467	二、机械设备	489
一、成型特性	467	三、汽车	490
二、注射成型	472	四、其他	491
三、挤出造粒	475		

第十二章 聚 芳 酯

第一节 概述	492	芳酯	505
一、发展简史	492	一、玻璃纤维增强聚芳 酯	505
二、生产方法	493	二、耐药品聚芳酯	508
第二节 性能	495	三、耐磨耗聚芳酯	508
一、物理机械性能	495	四、高反射遮光聚芳酯	510
二、热性能	498	五、高屏蔽聚芳酯	511
三、电性能	499	六、高透明聚芳酯	511
四、化学性能	500	第五节 应用领域	512
第三节 成型加工	502	一、电子电器	512
一、成型特性	502	二、汽车	513
二、注射成型	503	三、机械设备	513
三、挤出成型	504	四、医疗器械及生活用 品	514
四、二次加工	505		
第四节 改性和新型聚			

第十三章 聚 苯 酯

第一节 概述	515	一、发展简史	515
--------------	-----	--------------	-----

二、生产方法	516	三、分散体涂覆成型	524
第二节 性能	517	四、注射成型	525
一、物理机械性能	517	第四节 改性聚苯酯	526
二、热性能	519	一、玻璃纤维增强聚苯酯	526
三、电性能	520	二、高润滑聚苯酯	528
四、化学性能	521	第五节 应用领域	531
第三节 成型加工	522	一、电子电器	531
一、压制成型	522	二、机械设备	532
二、等离子喷涂成型	523		

第十四章 超高分子量聚乙烯

第一节 概述	534	三、挤出成型	551
一、发展简史	534	四、注射成型	553
二、生产方法	535	五、吹塑成型	555
第二节 性能	537	第四节 应用领域	558
一、物理机械性能	538	一、交通运输	559
二、热性能和电性能	546	二、包装容器和管道	560
三、耐候性	547	三、农业、建筑机械	560
第三节 成型加工	548	四、造纸机械	561
一、成型特性	548	五、纺织机械	561
二、压制烧结成型	549	六、其它	562

第十五章 聚醚醚酮

第一节 概述	563	一、成型特性	571
一、发展简史	563	二、注射成型	572
二、生产方法	564	三、挤出成型	573
第二节 性能	565	四、层压成型及静电涂覆	754
一、物理机械性能	565	第四节 应用领域	575
二、热性能	566	一、电子电器	575
三、电性能	567	二、机械仪表	576
四、化学性能	568	三、交通运输	576
第三节 成型加工	571	四、其它	577

主要参考文献

第一章 工程塑料总论

第一节 概 述

一、分 类

塑料是以合成的或天然的高分子化合物为基本成分，可在一定条件下塑化成型，而产品最终形状能保持不变的材料。

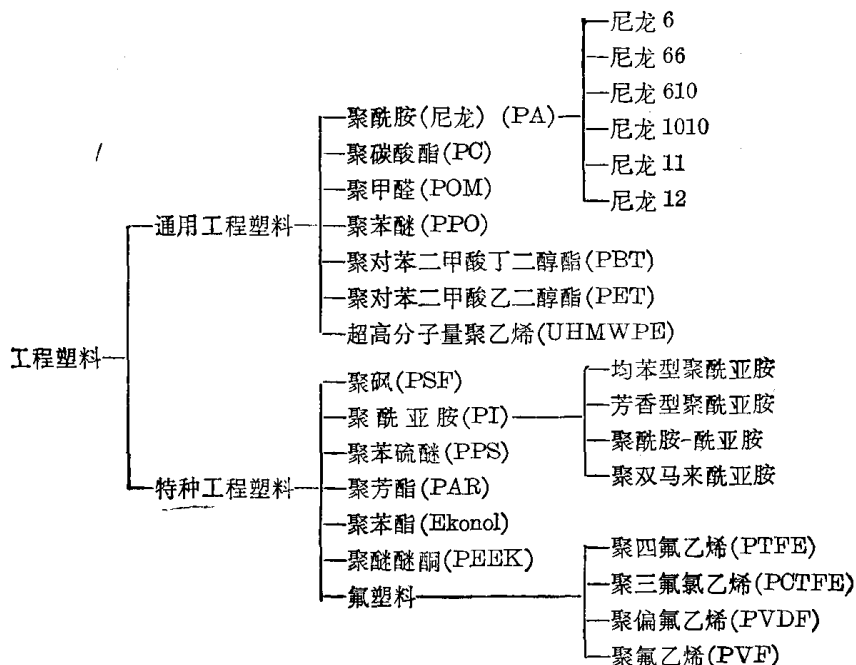
按照塑料的使用范围，通常分为通用塑料和工程塑料两大类。通用塑料一般仅能作为非结构材料使用，产量大，价格低廉，但性能一般，目前主要有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯和聚苯乙烯等。工程塑料一般是指可以作为结构材料，能在较广的温度范围内，在承受机械应力和较为苛刻的化学物理环境中使用的材料，如聚酰胺（尼龙）、聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚和聚酯，是目前被人们公认的五大工程塑料。它们与通用塑料相比，产量较小，价格较高，但具有优异的机械性能、电性能、化学性能，以及耐热性、耐磨性和尺寸稳定性等。

工程塑料的开发，过去大多是为了某一特定用途的需要而进行的，因此一般产量不大，价格较高。但是，近年来随着科学技术的迅速发展，对材料性能的要求越来越高，工程塑料产量逐年增长，应用领域不断得到开拓，致使工程塑料与通用塑料之间的界限有时难以截然划分。例如，ABS（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物）以前是一种十分重要的工程塑料，但由于它的产量和应用面越来越大，因此目前已基本上被当作通用塑料；PET（聚对苯二甲酸乙二醇酯）由于近年来被大量用于聚酯瓶的生产，在世界范围内以年平均增长率 15% 的速度得到迅速发展，因此也出现了与 ABS 相同的趋势；而作为典型通用塑料的聚丙烯，由于经过改性后能够具有与工程塑料相近的性能，所以目前也经常作为工程塑料使用。

此外,以不饱和聚酯和环氧树脂等为基体的玻璃钢材料在很多场合也被作为结构材料使用,但因成型工艺较为特殊等原因,因此一般也不划入工程塑料的范畴。

工程塑料有多种分类方法,目前较多的是按产量和使用范围来进行分类。按这种方法,工程塑料可分为通用工程塑料和特种工程塑料两类(表 1-1)。

表 1-1 工程塑料的分类及品种



工程塑料还可按化学组成、耐热等级、结晶性以及成型后的制品种类等进行分类。

按化学组成,工程塑料可分为聚酰胺类(尼龙 6、尼龙 66、尼龙 610、尼龙 11、尼龙 12 等),聚酯类(聚对苯二甲酸丁二醇酯、聚对苯二甲酸乙二酸酯、聚芳酯、聚苯酯等),聚醚类(聚碳酸酯、聚甲醛、聚苯醚、聚砜、聚醚砜、聚苯硫醚、聚醚醚酮等),芳杂环聚合物类(聚酰亚胺、聚苯并咪唑等),聚烯烃类(超高分子量聚乙烯)及含氟聚合物(聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯、聚偏氟乙烯、聚氟乙烯等)等。

按耐热等级,通常把在 200°C 以上,经过 1000h 仍具有足够机械强度的品种称为耐高温工程塑料;而低于上述条件的品种则称为一般耐热性工程塑料。属于耐高温工程塑料的品种主要有聚酰亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚四氟乙烯、聚苯并咪唑等。

按结晶性,工程塑料可分为:非结晶性通用工程塑料(PPO、聚碳酸酯等);结晶性通用工程塑料(聚酰胺、聚甲醛、PBT、PET等);非结晶性特种工程塑料(聚芳酯、聚砒、聚醚砒、聚醚亚胺、聚酰胺酰亚胺、聚酰亚胺等);结晶性特种工程塑料(聚苯硫醚、聚苯酯、聚醚醚酮、氟树脂等)。

按成型后的制品种类,工程塑料可分为:一般结构零部件;传动结构零部件;静、动密封件;电气绝缘零部件;耐腐蚀零部件;高强度、高模量零部件。

二、发展简史

工程塑料作为塑料的一个重要分支,它的发展是与塑料工业的发展分不开的。

塑料工业的发展已有较长的历史。早在 1845 年,人们就已制得天然高分子化合物纤维素的衍生物——硝酸纤维素;不久又制得了用樟脑与硝酸纤维素混合制取的可塑性材料。1872 年,人们用苯酚和甲醛合成了酚醛塑料,到上世纪末,又制得了以蛋白质为基础的塑料(如酪酐塑料),并逐渐在工业上得到了应用。进入二十世纪后,生产进一步发展,特别是由于电器工业的需要,天然材料已不能适应生产技术发展的要求,从而促进人们去研究新的合成材料。1909 年实现了以纯粹化学合成方法制备酚醛塑料的工业化,对于塑料工业的发展产生了深远的影响。随着以合成树脂为基础的塑料工业及其它合成高分子工业的兴起,积累了大量实验数据和生产经验,迫切要求提高到理论高度以便进一步指导和促进生产的发展。在 1925~1935 年间,人们提出了有关高分子化合物特征和生成的基本理论,从而在有机化学和物理化学基础上产生了高分子化学与物理这一新兴学科,有力地促进了塑料工业的发展。

从本世纪三十年代起,相继出现了醇酸树脂、聚氯乙烯、丙烯酸酯类树脂(如有机玻璃)和聚苯乙烯等新品种。此后,新的塑料品种不断涌现,塑料成型加工方法也不断得到创新和完善。从四十年代起,塑料工业更因科学技术和工业的高度发展,以及石油资源的广泛开发,获得了极其迅速的发展。1954年,人们发现通过定向聚合的方法可以得到性能优异的聚合物,随后,这种方法被作为提高产品性能的重要措施广泛应用于生产实践。另外,制备超纯单体,采用共聚、接枝、辐射处理等技术以提高产品性能,以及从理论上探讨聚合物老化过程以提高使用寿命,对发展塑料工业都具有十分重要的意义。

1935年世界塑料总产量仅 $2 \times 10^5 \text{t}$,1950年已达到 $1.5 \times 10^6 \text{t}$ 。到1960年猛增至 $6.77 \times 10^6 \text{t}$,塑料工业成为世界上各工业部门中发展速度最快的领域之一。1970年世界塑料总产量达 $3 \times 10^7 \text{t}$,已超过了有色金属产量的总和。1981年高达 $6 \times 10^7 \text{t}$ (美国、联邦德国这一年的塑料总产量以体积计已和钢的产量相等),预计今后将以8年翻一番的增长速度持续高速发展。其中发展最迅速的是热塑性塑料,约占全部塑料生产量的60%。

工程塑料正是在这样的背景中得到发展的。

目前在五大工程塑料中居首位的聚酰胺,早在1939年即被研制成功并实现了工业化,但在当时它主要用于制造合成纤维,只有少部分被作为塑料使用。工程塑料真正得到迅速发展,是在五十年代后期由于聚甲醛和聚碳酸酯研制成功后。这里,聚甲醛的出现具有特别重大的意义。由于聚甲醛的高结晶性,赋予其优异的机械性能,从而首次使塑料作为能代替金属的材料而跻身于结构材料的行列。以后随着共聚甲醛的开发成功以及螺杆式注射成型机的普及,进一步确立了工程塑料在材料领域中的重要地位。五十年代末期,美国通用电器(GE)公司首次发表了聚苯醚的技术专利,此后又提出将聚苯醚与聚苯乙烯共混,可得到改性聚苯醚,具有优良的耐热性、成型加工性和耐冲击性,从而预示了工程塑料通过改性途径大幅度提高性能的可能性。1964年美国杜邦(Du