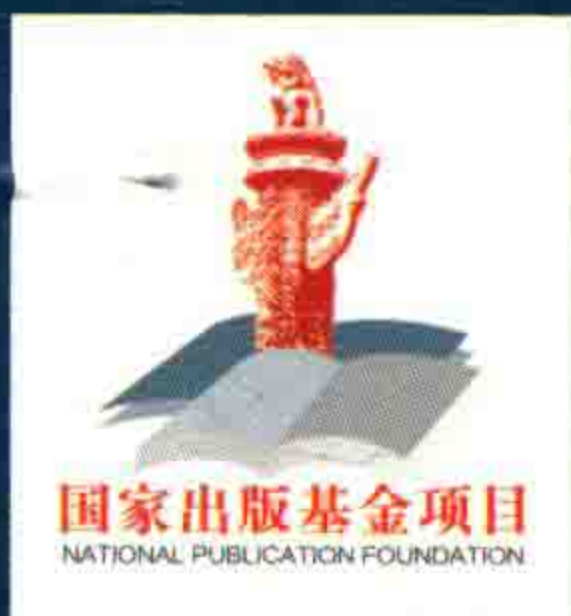




国家出版基金项目
“十二五”国家重点出版物出版规划项目

中国战略性新兴产业——新材料

工程塑料

中国材料研究学会组织编写
丛书主编◎黄伯云
编 著◎杨桂生 等

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE



国家出版基金项目

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

中国战略性新兴产业——新材料

工 程 塑 料

中国材料研究学会组织编写

丛 书 主 编 黄伯云

丛书副主编 韩雅芳

编 著 杨桂生 等

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

“中国战略性新兴产业——新材料”丛书是中国材料研究学会组织编写的，被新闻出版广电总局批准为“十二五”国家重点出版物出版规划项目，并获 2016 年度国家出版基金资助。丛书共 16 分册，涵盖了新型功能材料、高性能结构材料、高性能纤维复合材料等 16 种重点发展的材料。本分册为《工程塑料》。

本书从发展战略性新兴产业的高度，着重论述工程塑料在国民经济和国防建设重大工程 and 项目中的地位 and 作用、技术基础、最新研究成果、应用领域及发展前景。主要内容包括聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯、热塑性聚酯、聚苯醚、氟塑料、聚酰亚胺、聚苯硫醚、耐高温尼龙、聚芳醚酮、聚砒、液晶聚合物和聚芳酯、聚丙烯及其复合材料。

本书可供新材料研究院所、高等院校、新材料产业界、政府相关部门、新材料中介咨询机构等领域的人员参考，也可作为普通高校材料类专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

中国战略性新兴产业. 新材料. 工程塑料/杨桂生等编著. —北京:
中国铁道出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-113-23971-8

I. ①中… II. ①杨… III. ①新兴产业-产业发展-研究-中国②工程塑料-产业发展-研究-中国 IV. ①F121.3②F426.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 269425 号

书 名：中国战略性新兴产业——新材料
工 程 塑 料

作 者：杨桂生 等编著

策 划：李小军 许 璐 读者热线：(010) 63550836
责任编辑：许 璐 李小军
封面设计：MX DESIGN STUDIO
责任校对：张玉华
责任印制：郭向伟

出版发行：中国铁道出版社（100054，北京市西城区右安门西街 8 号）
网 址：<http://www.tdpress.com/51eds/>
印 刷：中煤（北京）印务有限公司
版 次：2017 年 12 月第 1 版 2017 年 12 月第 1 次印刷
开 本：787 mm×1 092 mm 1/16 印张：22.75 字数：485 千
书 号：ISBN 978-7-113-23971-8
定 价：98.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书，如有印制质量问题，请与本社教材图书营销部联系调换。电话：(010) 63550836
打击盗版举报电话：(010) 51873659

“中国战略性新兴产业——新材料”丛书

编 委 会

主 任：黄伯云（中国工程院院士、中国材料研究学会名誉理事长）

副 主 任：韩雅芳（教授、中国材料研究学会副理事长兼秘书长）

田京芬（中国铁道出版社社长、全国新闻出版行业领军人才）

编 委：李元元（中国工程院院士、中国材料研究学会理事长）

魏炳波（中国科学院院士、中国材料研究学会副理事长）

周 玉（中国工程院院士、中国材料研究学会副理事长）

谢建新（中国工程院院士、中国材料研究学会常务副理事长）

郑有炆（中国科学院院士、南京大学教授）

李 卫（中国工程院院士、北京钢铁研究总院教授级高级工程师）

潘复生（中国工程院院士、中国材料研究学会副理事长）

姚 燕（教授、中国材料研究学会副理事长）

罗宏杰（教授、中国材料研究学会副理事长）

韩高荣（教授、中国材料研究学会副理事长）

唐见茂（教授、中国材料研究学会常务理事、咨询专家）

张新明（教授、俄罗斯工程院院士、俄罗斯宇航科学院院士）

朱美芳（教授、中国材料研究学会常务理事）

张增志（教授、中国材料研究学会常务理事兼副秘书长）

武 英（教授、中国材料研究学会常务理事兼副秘书长）

赵永庆（教授、中国材料研究学会理事）

李贺军（教授、中国材料研究学会理事）

杨桂生（教授、中国材料研究学会理事）

吴晓东（清华大学材料学院副研究员）

吴 玲(教授、国家新材料行业生产力中心主任)
尚成嘉(北京科技大学教授、中国材料研究学会理事)
徐志康(浙江大学教授)
杨 辉(浙江大学教授)
姜希猛(深圳清华大学研究院研究员)
赵 静(中国铁道出版社总编办主任)

责 任 编 委：唐见茂
丛 书 主 编：黄伯云
丛书副主编：韩雅芳

序

新材料是高技术和现代产业的基础和先导,对培育和发展战略性新兴产业、国家重大工程项目的建设以及可持续发展都具有重要的支撑和保证作用。在我国政府大力支持下,我国新材料在产业规模、技术进步、创新能力、应用水平等方面均取得了重大进展,自主的产业体系初步形成,具备了良好的发展基础。同时,从全球高新技术和新兴产业的发展前景看,新材料的基础地位和先导作用也越来越重要。

“中国战略性新兴产业——新材料”丛书是为贯彻落实国务院 2010 年颁布的《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》(国发〔2010〕32 号)而组织编著出版的。在国发〔2010〕32 号文中,新材料被列为我国七种重点发展的产业之一,其总体目标定位是:“大力发展稀土功能材料、高性能膜材料、特种玻璃、功能陶瓷、半导体照明材料等新型功能材料。积极发展高品质特殊钢、新型合金材料、工程塑料等先进结构材料。提升碳纤维、芳纶、超高分子量聚乙烯纤维等高性能纤维及其复合材料发展水平。开展纳米、超导、智能等共性基础材料研究。”本丛书由中国材料研究学会负责组织编著、中国铁道出版社出版,并成功入选“‘十二五’国家重点出版物出版规划项目”,获得 2016 年度国家出版基金资助。这是论述我国新材料发展战略的第一部系统性科技系列著作,代表了当代新材料发展的主流,对推动我国战略性新兴产业和可持续发展都具有重要的现实意义和深远的指导意义。

本丛书从发展国家战略性新兴产业的高度出发,重点选择了国发〔2013〕32 号文件鼓励的高性能结构材料、特种功能材料和高性能纤维及其复合材料,全面系统阐述了发展这些重点新材料的产业背景及战略意义,系统地论述了这些新材料的理论基础和应用技术、我国取得的最新研究成果、应用方向及发展前景,针对性地提出了我国发展这些新材料的主要方向和任务,分析了存在的主要问题,提出了相应的对策和建议,是我国近年来在新材料领域内具有领先水平的科技著作丛书。丛书最大的特点是体现了一个“新”字:介绍和论述了我国材料领域取得的最新研

究成果、开发的最先进材料品种和最新制造技术,所著内容代表当代全球新材料发展方向和主流。丛书既具有较高的学术性和技术先进性,同时对我国新材料产业发展也具有重要的参考价值。

中国材料研究学会是全国一级学术团体,具有资源、信息和人才的综合优势,多年来在促进材料科学进步、开展国内外学术交流、承接政府职能转移、提供新材料产业发展决策咨询、开展社会化服务等方面做了大量的、卓有成效的工作,为推动我国新材料发展发挥了重要作用。参加本丛书编著的作者都是我国从事相关材料研究和开发的一流的科研单位和院校、一流的专家学者,拥有数十年的科研、教学和产业开发经验,并取得了国内领先的科研成果,创作态度严谨,从而保障了本套丛书的内容质量。

本丛书的编著和出版是近年来我国材料研究领域具有足够影响的一件大事。我们希望,本丛书的出版能对我国新材料技术和产业发展产生较大的助推作用,也热切希望广大材料科技人员、产业精英、决策机构积极投身到发展我国新材料研发的行列中来,为推动我国新材料产业又好又快的发展做出更大贡献!

中国材料研究学会名誉理事长

中国工程院院士



2016年6月

前 言

“中国战略性新兴产业——新材料”丛书是中国材料研究学会组织编著的,被国家新闻出版广电总局批准为“十二五”国家重点出版物出版规划项目。

根据国务院《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》,新材料被列为我国战略性新兴产业之一。本丛书定位为:从战略性新兴产业的高度,着重论述该类新材料在国民经济和国防建设重大工程 and 项目中的地位 and 作用、技术基础、最新研究成果、应用领域及发展前景。其特点是体现一个“新”字,即在遵守国家有关保密规定的前提下论述当代新材料的最先进的工艺和最重要的性能。它代表当代全球新材料发展主流,对实现可持续发展具有重要的现实意义和深远的指导意义。丛书共 16 分册,涵盖了新型功能材料、高性能结构材料、高性能纤维复合材料等 16 种重点发展材料。本分册为《工程塑料》。

工程塑料是具有极广阔发展前景的新材料,在现代高技术和国民经济建设中得到广泛的应用,工程塑料质轻、高强、加工制造方便、可回收再用,对可持续发展有特殊重要意义。本书是近年在工程塑料方面具有国内先进水平的专著,其特点如下:一是内容全面,涵盖了工程塑料所有的重点产品和应用领域;二是内容基础性和前沿性相结合,有许多前沿发展的内容;三是内容安排有侧重,即根据不同产品的特点安排重点论述内容。这对于量大面广的工程塑料是必要的。另外,还对产业背景需求和发展前景都做了较全面的阐述,含有大量最新技术资料和信息。本书的出版对科研教学人员、企业家、决策和咨询服务机构学习有参考意义。

本书全面、系统地论述了工程塑料的分类、品种范围及性能特点等,重点论述了性能改进的途径、性能优化设计和各种先进材料的制备工艺,同时也论述了发展我国工程塑料的产业背景及战略意义、在国民经济和国防建设重大工程 and 项目中的地位 and 作用,提出了发展我国工程塑料产业的主要任务及应对策略。

本书由上海杰事杰新材料集团董事长杨桂生等编著,参与编写的有夏厚胜博士、李兰杰博士、姚晨光博士、刘燕博士、裴爱华博士、吴波震博士和杨桂生教授的博士研究生段建平、李鹏、付绪兵、赵兴科、赵大江、吴建明和张娜。

因编者能力和时间有限,难免有不妥之处,恳请读者指正。

编著者

2017 年 6 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 工程塑料的定义	1
1.1.2 工程塑料的分类	1
1.1.3 工程塑料的性能特点	2
1.2 工程塑料的改性	3
1.2.1 改性分类	3
1.2.2 改性趋势	4
1.3 工程塑料的应用	5
1.3.1 在汽车领域的应用	5
1.3.2 在电子电气中的应用	7
1.3.3 在建筑中的应用	8
1.3.4 在机械工程中的应用	8
1.3.5 在其他领域的应用	8
1.3.6 新兴应用	9
1.4 工程塑料发展趋势	11
1.4.1 并购正在改变世界工程塑料产业格局	11
1.4.2 亚太将成全球工程塑料增长引擎	12
1.4.3 全球 PA、PC 等树脂或将产能过剩	12
1.4.4 中国市场成为世界工程塑料增长的主导力量	13
1.4.5 材料基因组计划将改变工程塑料商业模式	14
1.5 中国工程塑料发展机遇与挑战并存	15
1.5.1 加大工程塑料合成树脂的开发力度	15
1.5.2 行业亟须转型升级	15
1.5.3 加大国家政策扶持力度	16
参考文献	16
第 2 章 聚酰胺	17
2.1 概述	17

2.1.1	聚酰胺简介	17
2.1.2	聚酰胺产业现状	18
2.2	聚酰胺复合材料及合金	21
2.2.1	填充聚酰胺	21
2.2.2	增强聚酰胺	22
2.2.3	增韧聚酰胺	25
2.2.4	阻燃聚酰胺	27
2.2.5	聚酰胺合金	29
2.2.6	聚酰胺纳米复合材料	35
2.2.7	其他类型聚酰胺	38
2.3	聚酰胺的应用及发展趋势	40
2.3.1	聚酰胺的应用进展	40
2.3.2	发展趋势	43
	参考文献	46
第3章 聚甲醛		51
3.1	概述	51
3.1.1	聚甲醛的结构	51
3.1.2	聚甲醛的性能	51
3.2	聚甲醛的成型加工	55
3.2.1	聚甲醛成型加工特点	55
3.2.2	加工成型方式	56
3.3	聚甲醛主要应用领域	58
3.3.1	汽车部件	58
3.3.2	电子电器领域	59
3.3.3	工业部件	59
3.3.4	水暖和灌溉器材	59
3.3.5	消费品方面的应用	60
3.3.6	小家电、工具及五金件	60
3.3.7	挤出制品与其他方面	60
3.4	国内外主要公司聚甲醛产品	60
3.4.1	赫司特公司	62
3.4.2	德国巴斯夫 Ultraform 公司	62
3.4.3	杜邦公司	62
3.4.4	三菱工程塑料公司	62

3.4.5 国内生产厂家	62
3.5 聚甲醛产能分析与预测	63
3.5.1 国内聚甲醛生产状况	64
3.5.2 国内市场行情	65
3.6 应用研究进展	66
3.6.1 聚甲醛合成研究进展	66
3.6.2 聚甲醛复合材料及合金	68
参考文献	72
第4章 聚碳酸酯	74
4.1 概述	74
4.1.1 PC的制备	74
4.1.2 PC基本性能	75
4.2 PC改性	77
4.2.1 合金化	77
4.2.2 共聚合改性	85
4.2.3 PC基复合材料	88
4.2.4 PC纳米复合材料	89
4.3 PC用途与展望	91
4.3.1 用途	91
4.3.2 展望	101
参考文献	106
第5章 热塑性聚酯	111
5.1 概述	111
5.1.1 热塑性聚酯的发展概况	111
5.1.2 热塑性聚酯的结构与性能	114
5.1.3 热塑性聚酯的成型加工	115
5.2 热塑性聚酯复合材料及合金	115
5.2.1 热塑性聚酯的共聚改性	116
5.2.2 热塑性聚酯的共混改性	117
5.2.3 填充改性	120
5.2.4 增韧改性	124
5.2.5 化学交联	124
5.2.6 热塑性聚酯复合材料及合金的主要产品	125

5.3 应用与发展趋势	129
5.3.1 热塑性聚酯的应用	129
5.3.2 其他聚酯的概况与发展趋势	130
参考文献	134
第6章 改性聚苯醚	137
6.1 概述	137
6.1.1 聚苯醚	137
6.1.2 改性聚苯醚	139
6.2 聚苯醚的改性与成型加工	141
6.2.1 聚苯醚合金改性	141
6.2.2 聚苯醚的化学改性	152
6.2.3 改性聚苯醚的成型加工	154
6.3 改性聚苯醚的应用与展望	156
6.3.1 改性聚苯醚的应用	156
6.3.2 改性聚苯醚的展望	158
参考文献	160
第7章 氟塑料	164
7.1 聚四氟乙烯(PTFE)	164
7.1.1 概述	164
7.1.2 改性研究	167
7.2 其他氟塑料	172
7.2.1 概述	172
7.2.2 改性研究	179
7.3 氟塑料的发展和展望	181
7.3.1 氟塑料在新兴产业中的应用	181
7.3.2 氟塑料的未来发展	182
参考文献	183
第8章 聚酰亚胺	188
8.1 概述	188
8.1.1 不熔性聚酰亚胺	188
8.1.2 可熔性聚酰亚胺	190
8.1.3 热固性聚酰亚胺	192
8.1.4 改性聚酰亚胺	195

8.2	聚酰亚胺复合材料及合金	198
8.2.1	聚合改性聚酰亚胺	198
8.2.2	增强聚酰亚胺	200
8.2.3	填充聚酰亚胺	201
8.2.4	聚酰亚胺合金	202
8.3	国内外主要公司产品介绍	204
8.3.1	Dupont 产品介绍	204
8.3.2	UBE 产品介绍	204
8.3.3	Kaneka 产品介绍	205
8.3.4	Sabir 产品介绍	205
8.3.5	Evonik 产品介绍	206
8.3.6	Mitsui 产品介绍	206
8.3.7	RTP 产品介绍	207
8.3.8	Quadrant 产品介绍	207
8.3.9	国内产品介绍	208
8.4	应用领域和产能分析	208
8.4.1	应用领域	209
8.4.2	全球产能分析与预测	212
	参考文献	214
第9章	聚苯硫醚	217
9.1	概述	217
9.1.1	聚苯硫醚生产技术的发展历程	217
9.1.2	聚苯硫醚主要合成方法	218
9.1.3	聚苯硫醚产能分析	219
9.1.4	聚苯硫醚发展现状	221
9.2	聚苯硫醚结构与性能	222
9.2.1	聚苯硫醚结构	223
9.2.2	聚苯硫醚性能特点	223
9.3	聚苯硫醚的应用	225
9.3.1	汽车领域	226
9.3.2	电子电气领域	226
9.3.3	机械领域	226
9.3.4	环保领域	226
9.3.5	军工国防领域	227

9.3.6	化工领域	227
9.3.7	建材领域	227
9.4	聚苯硫醚复合材料及合金	227
9.4.1	化学改性	227
9.4.2	聚苯硫醚合金	228
9.4.3	聚苯硫醚复合材料	231
	参考文献	235
第 10 章	耐高温尼龙	238
10.1	概述	238
10.1.1	脂肪族耐高温尼龙	238
10.1.2	半芳香族耐高温尼龙	238
10.1.3	全芳香族耐高温尼龙	240
10.2	研究进展	241
10.2.1	传统耐高温尼龙品种	241
10.2.2	新型耐高温尼龙	242
10.2.3	改性耐高温尼龙	245
10.3	应用与展望	250
10.3.1	应用领域	250
10.3.2	全球产能分析与预测	256
	参考文献	258
第 11 章	聚芳醚酮	261
11.1	概述	261
11.1.1	聚芳醚酮的结构与性能	261
11.1.2	聚芳醚酮的合成方法	261
11.1.3	聚芳醚酮的全球产能分析与预测	262
11.1.4	聚芳醚酮产品开发进展	263
11.2	聚芳醚酮复合材料与合金	265
11.2.1	聚芳醚酮的化学改性	265
11.2.2	PEEK 复合材料与合金	266
11.3	聚芳醚酮的应用研究进展	268
11.3.1	聚芳醚酮最新应用	268
11.3.2	涂覆工艺新进展	269
11.3.3	聚芳醚酮的最新进展及未来前景	270

参考文献	270
第 12 章 聚砒	273
12.1 概述	273
12.1.1 双酚 A 型聚砒	273
12.1.2 聚芳砒	277
12.1.3 聚醚砒	279
12.2 聚砒复合材料及其合金	282
12.2.1 共聚改性聚砒	282
12.2.2 聚砒合金	286
12.2.3 矿物填充 PSF	290
12.2.4 玻璃纤维增强聚砒	290
12.3 聚砒树脂应用	291
12.3.1 应用领域	291
12.3.2 发展展望	292
参考文献	293
第 13 章 液晶聚合物和聚芳酯	296
13.1 液晶聚合物(LCP)	296
13.1.1 概述	296
13.1.2 改性研究	301
13.1.3 发展和展望	304
13.2 聚芳酯(PAR)	304
13.2.1 概述	304
13.2.2 改性研究	308
13.2.3 发展和展望	311
参考文献	311
第 14 章 聚丙烯合金及其复合材料	315
14.1 概述	315
14.1.1 聚丙烯基本性能	315
14.1.2 聚丙烯生产工艺	316
14.1.3 国内聚丙烯产能分析	316
14.2 聚丙烯合金及其复合材料	318
14.2.1 化学功能化聚丙烯	319
14.2.2 填充聚丙烯	320

- 14.2.3 纤维增强聚丙烯..... 321
- 14.2.4 聚丙烯合金..... 325
- 14.2.5 增韧聚丙烯..... 327
- 14.2.6 阻燃聚丙烯..... 330
- 14.2.7 聚丙烯纳米复合材料..... 333
- 14.2.8 其他高性能化聚丙烯..... 335
- 14.3 聚丙烯新技术和研究展望..... 338
 - 14.3.1 聚丙烯树脂..... 338
 - 14.3.2 连续纤维增强聚丙烯复合材料..... 341
- 参考文献..... 344

第1章 绪论

工程塑料作为化工新材料最重要的领域之一,自诞生的半个世纪以来飞速发展,因其轻质高强、耐腐蚀、易加工等特点,在汽车、电子、电气、通信、交通、航天航空、机械等领域得到广泛应用,已成为衡量一个国家工业发展水平的重要标志之一。据统计,2020 年全球工程塑料需求量将达到 2 910 万 t。

1.1 概述

1.1.1 工程塑料的定义

工程塑料是指一类可以用作工程结构件的塑料,相对于通用塑料具有优良的机械性能和良好的尺寸稳定性,它能在较宽的温度范围内承受机械应力,能在较为苛刻的物理环境中使用。工程塑料拉伸强度通常在 50 MPa 以上,弯曲模量通常在 2 GPa 以上。另外,工程塑料通常也指可长期在 100 °C 以上使用的塑料。

1.1.2 工程塑料的分类

通常,人们根据工程塑料最重要的指标——耐热性进行分类,依据其长期使用温度分为通用工程塑料和特种工程塑料,通用工程塑料使用温度在 100~150 °C,特种工程塑料使用温度在 150 °C 以上:

(1)通用工程塑料主要包括五类:尼龙(PA)、聚甲醛(POM)、聚碳酸酯(PC)、热塑性聚酯(PBT、PET、PTT)和聚苯醚(PPO)。聚丙烯(PP)复合材料及合金,由于其强度较高、耐热性较好,本书也将其列入通用工程塑料的范畴,专门进行介绍。

(2)特种工程塑料主要品种包括氟塑料、聚苯硫醚(PPS)、耐高温尼龙、聚醚醚酮(PEEK)、热塑性聚酰亚胺(TPI)、聚芳酯、聚砒(PSF)以及液晶聚合物(LCP)等。

根据分子链官能团特性,工程塑料可以分为:

(1)聚酰胺类(俗称尼龙):产量最大、应用面最广和种类最多的工程塑料,常用的有二十几个品种,主要包括尼龙 6、尼龙 66、尼龙 11、尼龙 46、尼龙 6T、尼龙 12、尼龙 9T、PA10T、尼龙 610 等;

(2)聚酯类工程塑料:包括聚碳酸酯(PC)、聚对苯二甲酸丁二酯(PBT)、聚芳酯、液晶聚合物(LCP)、聚对苯二甲酸乙二酯(PET)等;

(3)聚醚类工程塑料:包括聚甲醛、聚苯醚、聚苯硫醚、聚醚醚酮等;