



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

高性能纤维

中国材料研究学会组织编写

丛书主编◎黄伯云

编 著◎朱美芳 周 哲 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

高性能纤维

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 朱美芳 周 哲 等

常州大学图书馆
藏书章

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《高性能纤维》。

本书在总结近年来国内外相关研究与应用开发成果的基础上,系统论述了高性能纤维的基本概念、品种范围和发展趋势,并着重论述了高性能纤维的主要品种碳纤维、芳香族聚酰胺纤维(芳纶)、超高分子量聚乙烯纤维、聚酰亚胺纤维、聚苯硫醚纤维、聚四氟乙烯纤维以及新型的碳纳米管和石墨烯纤维的性能特点、研究进展与产业化进程等内容。

本书内容先进,适合我国高性能纤维产业相关的基础科学和技术领域的科技工作者参考,也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。

图书在版编目(CIP)数据

中国战略性新兴产业.新材料.高性能纤维/朱美芳等编著. —北京:
中国铁道出版社,2017.11
ISBN 978-7-113-23960-2

I. ①中… II. ①朱… III. ①新兴产业-产业发展-研究-中国 ②化学
纤维工业-产业发展-研究-中国 IV. ①F121.3 ②F426.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 269670 号

书 名: 中国战略性新兴产业——新材料
高性能纤维
作 者: 朱美芳 周 哲 等编著

策 划: 李小军 读者热线: (010) 63550836
责任编辑: 李小军 许 璐 徐盼欣
封面设计: **MX** DESIGN
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11月第1版 2017年11月第1次印刷
开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 14.25 字数: 300千
书 号: ISBN 978-7-113-23960-2
定 价: 68.00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）

郑有炘（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”丛书由中国材料研究学会组织编写,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。

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,着重论述新材料在国民经济和国防建设重大工程和项目中的地位 and 作用、技术基础、最新研究成果、应用领域及发展前景。其特点在于体现一个“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。本丛书共 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《高性能纤维》。

高性能纤维是指对外界的物理和化学作用具有特殊耐受能力的一类特种纤维,也是近年来全球化学纤维工业的主要发展方向,市场需求持续快速增长,产能和产量不断扩大。高性能纤维不仅是发展航空航天和国防工业所迫切需要的重要战略物资,而且在推进各类战略性新兴产业和低碳经济、节能减排中起着不可替代的作用,是体现一个国家综合实力与技术创新的标志之一。日本、美国和欧洲发达国家高度重视并垄断着全球高性能纤维的研发技术、生产与市场。2006 年以来,在国家政策与财政的重点支持下,我国高性能纤维产业发展迅速,已建立起较为完整的国产高性能纤维制备技术研发、工程实践和产业体系,产品质量不断提高,“产学研用”格局初步形成,从而有效缓解了国民经济和国防建设对国产高性能纤维的迫切需求。

本书在总结近年来国内外相关研究与应用开发成果的基础上,系统论述了高性能纤维的基本概念、品种范围和发展趋势,并着重论述了高性能纤维的主要品种——碳纤维、芳香族聚酰胺纤维(芳纶)、超高分子量聚乙烯纤维、聚酰亚胺纤维、聚苯硫醚纤维、聚四氟乙烯纤维以及新型的碳纳米管和石墨烯纤维的性能特点、研究进展与产业化进程等内容。

本书内容先进,适合我国高性能纤维产业相关的基础科学和技术领域的科技工作者参考,也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。

本书由朱美芳、周哲等编著。具体编写分工如下:第1章由周哲编著,第2章由王世超编著,第3章由周家良编著,第4章由王兴平编著,第5章由孟思编著,第6章由胡泽旭编著,第7章由毛宇辰编著,第8章由麻伍军编著。全书由朱美芳和周哲负责统稿定稿。

高性能纤维发展迅速,涉及内容比较广泛,研究成果不断涌现,加之编著者学识和水平有限,书中存在疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

编著者

2017年7月

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 高性能纤维的界定	1
1.1.1 纤维	1
1.1.2 高性能纤维的定义	2
1.2 高性能纤维的分类和应用领域	3
1.2.1 高性能纤维的分类	3
1.2.2 高性能纤维的应用领域	6
1.3 高性能纤维简要发展历程	8
1.3.1 国外高性能纤维发展历程与现状	8
1.3.2 我国高性能纤维发展历程与现状	10
1.4 高性能纤维发展前景展望	14
1.4.1 高性能纤维产业的发展趋势	14
1.4.2 我国高性能纤维产业发展方向	14
参考文献	15
第 2 章 碳纤维	18
2.1 碳纤维的结构与性能	18
2.1.1 PAN 的结构与性能	18
2.1.2 PAN 纤维的结构与性能	19
2.1.3 预氧化纤维的结构与性能	20
2.1.4 碳纤维的结构与性能	20
2.2 碳纤维的先进工艺技术	21
2.2.1 丙烯腈共聚合工艺	21
2.2.2 PAN 的纺丝成形工艺	22
2.2.3 PAN 纤维的后处理工艺	23
2.2.4 PAN 纤维的预氧化工艺	24
2.2.5 PAN 纤维的碳化工艺	25
2.2.6 PAN 纤维的石墨化工艺	25

2.3 碳纤维的研究现状与发展趋势	25
2.3.1 PAN 基碳纤维的研究现状与发展趋势	25
2.3.2 黏胶基碳纤维的研究现状与发展趋势	27
2.3.3 沥青基碳纤维的研究现状与发展趋势	28
2.3.4 木质素基碳纤维的研究现状与发展趋势	29
2.4 发展碳纤维产业背景及战略意义	31
2.4.1 碳纤维在国民经济和国防建设重大工程 and 项目中的地位 and 作用	31
2.4.2 国外碳纤维产业发展现状及趋势	33
2.4.3 我国碳纤维产业发展现状及趋势	35
2.5 发展我国碳纤维产业的主要任务及应对策略	36
参考文献	37
第3章 芳香族聚酰胺纤维	41
3.1 芳香族聚酰胺纤维的结构与性能	41
3.1.1 对位芳香族聚酰胺纤维的结构与性能	43
3.1.2 间位芳香族聚酰胺纤维的结构与性能	47
3.1.3 杂环芳香族聚酰胺纤维的结构与性能	51
3.2 芳香族聚酰胺纤维的先进工艺技术	54
3.2.1 PPTA 的制备及纺丝	54
3.2.2 PMIA 的制备及纺丝	57
3.2.3 杂环芳香族聚酰胺的制备及纺丝	62
3.3 芳香族聚酰胺纤维的研究现状与发展趋势	64
3.3.1 合成方法	64
3.3.2 结构改性	66
3.3.3 表面改性	70
3.4 发展芳香族聚酰胺纤维的产业背景及战略意义	72
3.4.1 芳香族聚酰胺纤维在国民经济和国防建设重大工程 and 项目中的地位 and 作用	72
3.4.2 国外芳香族聚酰胺纤维产业发展现状及趋势	73
3.4.3 我国芳香族聚酰胺纤维产业发展现状及趋势	73
3.5 发展我国芳香族聚酰胺纤维产业的主要任务及应对策略	74
参考文献	75
第4章 超高分子量聚乙烯纤维	79
4.1 超高分子量聚乙烯纤维的结构与性能	79

4.1.1	超高分子量聚乙烯的结构	79
4.1.2	加工过程中聚乙烯大分子结构的变化	81
4.1.3	超高分子量聚乙烯纤维的性能	81
4.2	超高分子量聚乙烯纤维的先进工艺技术	86
4.2.1	超高分子量聚乙烯的纺丝方法	86
4.2.2	UHMWPE 冻胶纺丝工艺原理	88
4.2.3	UHMWPE 冻胶纺丝工艺路线	89
4.3	超高分子量聚乙烯纤维的研究现状与发展趋势	90
4.3.1	改善界面黏结性能	90
4.3.2	提高力学性能及改善耐蠕变性能	92
4.3.3	UHMWPE 纤维的应用	94
4.4	发展超高分子量聚乙烯纤维产业背景及战略意义	95
4.4.1	超高分子量聚乙烯纤维在国民经济和国防建设重大工程和项目中的地位 和作用	95
4.4.2	国外超高分子量聚乙烯纤维产业发展现状及趋势	96
4.4.3	我国超高分子量聚乙烯纤维产业发展现状及趋势	97
4.5	发展我国超高分子量聚乙烯纤维产业的主要任务及应对策略	99
	参考文献	100
第 5 章	聚酰亚胺纤维	103
5.1	聚酰亚胺纤维的结构与性能	103
5.1.1	聚酰亚胺纤维的主要性能	103
5.1.2	聚酰亚胺化学结构与性能的关系	105
5.1.3	聚酰亚胺纤维物理结构与性能的关系	119
5.2	聚酰亚胺纤维的先进工艺技术	120
5.2.1	二步法纺制聚酰亚胺纤维	120
5.2.2	一步法纺制聚酰亚胺纤维	121
5.2.3	干法纺丝方法制聚酰亚胺纤维	123
5.2.4	熔融纺丝方法制聚酰亚胺纤维	123
5.2.5	静电纺丝方法制聚酰亚胺纤维	124
5.3	聚酰亚胺纤维的研究现状与发展趋势	124
5.4	发展聚酰亚胺纤维的产业背景及战略意义	128
5.4.1	聚酰亚胺纤维在国民经济和国防建设重大工程和项目中的地位 和作用	128
5.4.2	国外聚酰亚胺纤维产业发展现状及趋势	129

5.4.3 我国聚酰亚胺纤维产业发展现状及趋势	129
5.5 发展我国聚酰亚胺纤维产业的主要任务及应对策略	131
参考文献	132
第6章 聚苯硫醚纤维	136
6.1 聚苯硫醚纤维的结构与性能	136
6.1.1 初生丝结构与性能研究	136
6.1.2 牵伸丝结构与性能研究	138
6.1.3 牵伸丝的沸水收缩率研究	139
6.2 聚苯硫醚纤维的先进工艺技术	140
6.2.1 聚苯硫醚及其纤维的耐热氧化性研究	140
6.2.2 聚苯硫醚及其纤维的力学性能研究	142
6.2.3 聚苯硫醚及其纤维的紫外光稳定性研究	143
6.2.4 聚苯硫醚/聚合物复合改性研究	144
6.2.5 等离子改性聚苯硫醚及其纤维的研究	145
6.2.6 结论	146
6.3 聚苯硫醚纤维的研究现状与发展趋势	146
6.3.1 聚苯硫醚基离子交换纤维	146
6.3.2 聚苯硫醚纤维负载催化剂	147
6.3.3 聚苯硫醚超细纤维及多孔纤维	148
6.4 发展聚苯硫醚纤维产业背景及战略意义	148
6.4.1 聚苯硫醚纤维在国民经济和国防建设重大工程 and 项目中的地位 和作用	148
6.4.2 国外聚苯硫醚纤维产业发展现状及趋势	149
6.4.3 我国聚苯硫醚纤维产业发展现状及趋势	149
6.5 发展我国聚苯硫醚纤维产业的主要任务及应对策略	150
参考文献	151
第7章 聚四氟乙烯纤维	156
7.1 聚四氟乙烯纤维及织物的结构与性能	156
7.2 聚四氟乙烯纤维的生产工艺技术	159
7.2.1 载体纺丝法	159
7.2.2 凝胶状挤压纺丝法	161
7.2.3 膜裂纺丝法	162
7.2.4 糊料挤出纺丝法	163

7.2.5 PTFE 共聚物熔体纺丝法	164
7.3 聚四氟乙烯纤维的改性研究	166
7.3.1 表面改性	166
7.3.2 填充改性	168
7.3.3 聚合物共混改性	169
7.4 发展聚四氟乙烯纤维产业背景及战略意义	169
7.4.1 聚四氟乙烯纤维的应用	169
7.4.2 国外聚四氟乙烯纤维产业发展现状	172
7.4.3 我国聚四氟乙烯纤维产业发展现状	174
7.5 发展我国聚四氟乙烯纤维产业的主要任务及发展方向	176
参考文献	177
第 8 章 碳纳米管和石墨烯纤维	180
8.1 碳纳米管纤维	180
8.1.1 碳纳米管纤维的制备	180
8.1.2 碳纳米管纤维的力学性能	188
8.1.3 碳纳米管纤维的物理特性	191
8.1.4 碳纳米管纤维的潜在应用	193
8.2 石墨烯纤维	197
8.2.1 石墨烯纤维的制备方法	197
8.2.2 石墨烯基纤维的应用	203
参考文献	207

第1章 概 论

高性能纤维是指对外界的物理和化学作用具有特殊耐受能力的一类特种纤维,也是近年来全球化学纤维工业的主要发展方向之一,是通过分子设计、工程控制不断向材料极限挑战的一种努力,通常具有高强度高模量、耐高温及抗燃或耐强腐蚀性等性能。与常规大品种纤维用于纺织服装所不同,其主要应用于工业领域。高性能纤维不仅是发展航空航天和国防工业所迫切需要的重要战略物资,而且在推进各类战略性新兴产业和低碳经济、节能减排中起着不可替代的作用,是体现一个国家综合实力与技术创新的标志之一。日本、美国和欧洲发达国家高度重视并长期垄断着全球高性能纤维的研发技术、生产与市场。2006年以来,在国家政策与财政的重点支持下,我国高性能纤维产业迅速发展,不仅建立起较为完整的国产高性能纤维制备技术研发、工程实践和产业体系,而且不断取得突破性进展,大幅缩短了与发达国家的差距,目前已成为全球范围内高性能纤维生产品种覆盖面最广的国家,有效缓解了国民经济和国防建设对国产高性能纤维的迫切需求。

1.1 高性能纤维的界定

1.1.1 纤维

按照国际人造纤维标准化局(BISFA)的术语^[1],纤维(fiber)被定义为具有柔韧性、细度、长度与横截面积比大等特征的一种物质。纤维按其原料来源通常分为天然纤维和化学纤维两大类。

1. 天然纤维

天然纤维是指来源于自然界中原有的或经人工培植的植物、人工饲养的动物以及矿物中直接取得的纺织纤维。包括取自于植物的棉纤维、麻类纤维等,取自于动物的毛类纤维、蚕丝纤维等,取自于矿物岩石的石棉纤维等。天然纤维在纺织品方面的利用可追溯至 5000 多年前。今天,大部分天然纤维仍被用于衣物、家用和其他纺织品,用来确保人们日常生活的温暖、舒适和美观。自 20 世纪 60 年代以来,虽然化学纤维的发展利用迅速增加,天然纤维已丧失了大量市场份额,但是其在纺织纤维年总产量中仍约占 1/3。

2. 化学纤维

化学纤维是采用天然或合成的高分子合成物、无机以及金属物质为原料,在人工条件下加工所制成的纤维,可分为有机纤维和无机纤维。其分类及主要品种见表 1-1^[2]。

表 1-1 化学纤维分类及主要品种

分 类	特 征	主要纤维品种
有机纤维	再生纤维 (人造纤维)	再生纤维素纤维：黏胶纤维、铜氨纤维、富强纤维、莫代尔纤维、莱赛尔纤维
		纤维素酯纤维：二醋酸纤维、三醋酸纤维
		再生蛋白质纤维：大豆蛋白纤维、花生蛋白纤维、酪素蛋白纤维、丝素蛋白纤维
		再生多糖纤维：甲壳素纤维、海藻纤维
合成纤维	以人工合成的高分子合成物为原料，经纺丝加工制成	碳链纤维：聚丙烯腈纤维、聚烯烃纤维、聚乙烯醇缩甲醛纤维、含氯纤维和含氟纤维
		杂链纤维：聚酯纤维、聚酰胺纤维、聚氨酯纤维、杂环纤维、聚醚酯纤维、聚甲醛纤维和聚苯硫醚纤维
无机纤维	以无机物或含碳高聚物纤维为原料制成	玻璃纤维、碳纤维、金属纤维、陶瓷纤维

与天然纤维的悠久历史相比，化学纤维的发展历史并不长。1884 年，法国人伊莱尔·德·夏杜内(Hilaire de Chardonnet)发明了最早的人造丝——硝酸酯纤维，并于 1891 年进行工业化生产，这标志着化学纤维工业的开端，随后其发展主要经历了三个阶段：人造纤维工业化、合成纤维工业化和化学纤维高速发展。

20 世纪 80 年代以后，随着化学纤维产量的高速稳定增长，更加重视新产品的开发，通过化学、物理改性及纺丝加工新技术对常规大品种纤维的使用性能进行较大改进，如染色、光热稳定、防污、抗起球、蓬松、手感、吸湿等，开发了各种仿天然纤维的改性品种，主要使常规化纤具有某种特定性能和风格，提升其服装用途的性能，这些纤维被称为差别化纤维(differential fibers)。

另一方面，随着国防军工和高新技术产业的发展需求，化学纤维作为一种重要的工程材料，其在众多产业领域的应用被不断拓展，由此推动了一批具有特殊性能与功能的纤维品种的研发和规模化生产。这些纤维区别于差别化纤维，主要满足某种特需目的并大多应用于高技术产业领域，被称为特种合成纤维(specialty fibers)或高技术纤维(high technology fibers)，主要包括高性能纤维(high performance fibers)和高功能纤维(high function fibers)^[3]。

1.1.2 高性能纤维的定义

一般而言，纤维的性能是指其对来自外界的物理或化学作用的抵抗能力，是纤维避免自身遭到破坏而失去使用价值的能力，包括物理性能、力学性能、稳定性能、加工和使用性能等^[2]。而对于涤纶、锦纶等常规大品种纤维来说，其性能主要是能够满足服装用途。

因此，高性能纤维通常是指物理化学结构特殊、用于特定领域，并具有高强度高模量、突

出的耐高温及抗燃性或者化学稳定性等优异性能的一类特种化学纤维^[4]。高性能纤维与普通纤维相比,其对外界的物理和化学作用具有特殊的耐受能力,某一项或几项性能指标显著高于普通纤维,其高性能的特点主要体现在比普通纤维具备更高的拉伸强度和模量,更好的热稳定性、耐强腐蚀性、耐候性及电绝缘性等,属于特殊用途的纤维。

高性能纤维是新材料领域研究开发的重要方向之一,是通过分子设计、工程控制不断向材料极限挑战的一种努力,这些性能的获得和应用往往与高新技术或尖端科学领域相关,是材料学、材料加工工程、材料物理与化学、化学反应工程、化工设备设计与制造等多学科交叉融合的结果。虽然其生产量很小,远不能与常规纤维品种相比,但在国民经济中占有重要的地位,是其他材料所难以取代的,不仅是发展航空航天和国防工业所迫切需要的关键性战略物资,而且在船舶、电子信息、医疗、环境保护、能源、桥梁建筑、交通运输、体育娱乐等领域具有广阔的应用前景^[5]。可以认为,高性能纤维是发展高新技术产业的先导和支柱材料之一。

1.2 高性能纤维的分类和应用领域

1.2.1 高性能纤维的分类

1.2.1.1 按性能分类

按性能特点,高性能纤维主要可划分为高强度高模量纤维、耐高温纤维、抗燃纤维、耐强腐蚀纤维。其中有些高性能纤维只是某种性能突出,而有些高性能纤维却是两种或两种以上性能突出,所以这种分类方式会有所交叉。例如,超高分子量聚乙烯纤维主要是高强度高模量性能突出;聚苯撑苯并二噁唑纤维不仅属于高强度高模量纤维,而且其耐高温性能也非常优异;聚苯硫醚纤维、聚四氟乙烯纤维不仅属于耐高温纤维,而且其耐酸碱等强腐蚀性能也很突出;还有无机高性能纤维往往同时具有高强度高模量、高耐热性等突出性能。

1. 高强度高模量纤维

高强度高模量纤维一般指强度大于 2.5 GPa(17.7 cN/dtex)、模量高于 55 GPa(441.5 cN/dtex)的纤维。从化学结构上看,属均聚和共聚的芳杂环类及一些无机类纤维,包括对位芳酰胺及其共聚纤维、聚芳酯、聚醚酰亚胺、聚苯并双噁唑和噁唑、超高分子量聚乙烯、聚乙烯醇、碳纤维、碳化硅、氮化硅、碳化硼、硼纤维、氧化铝纤维等^[6]。

代表性品种包括聚对苯二甲酰对苯二胺纤维(对位芳纶或芳纶 1414, PPTA)、超高分子量聚乙烯纤维(UHMWPE)、聚苯撑苯并二噁唑纤维(PBO)、聚芳酯纤维(PAR)、聚(2,5-二羟基-1,4-亚苯基吡啶并二咪唑)纤维(PIPD, M5)、碳纤维(CF)等。主要品种的性能指标对比见表 1-2。