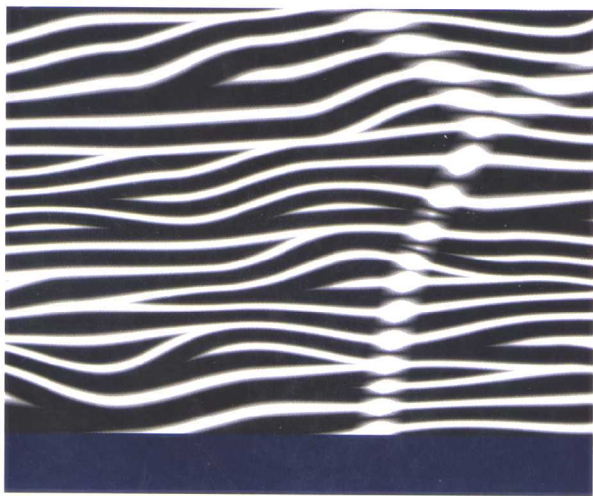


西鹏 高晶 李文刚 等编著

高技术纤维



Chemical Industry Press



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

高技术纤维

西 鹏 高 晶 李文刚 等编著



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

高技术纤维/西鹏等编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7
ISBN 7-5025-5965-5

I. 高… II. ①西…②高…③李… III. 纤维
IV. TS102

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 081870 号

高 技 术 纤 维

西 鹏 高 晶 李文刚 等编著
责任编辑: 邢 涛 龚浏澄
责任校对: 吴桂萍
封面设计: 潘 峰

*

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
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市宇新装订厂装订
开本 850mm×1168mm 1/32 印张 15 字数 402 千字
2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-5965-5/TB·63
定 价: 36.00 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

现代纤维科学的进步带动了高性能纤维、功能性纤维、差别化纤维的发展，为传统工业不断技术创新，向高技术产业转化创造了有利条件。

随着社会的进步和经济的迅速发展，人们开始追求舒适美好的生活空间，对时尚和流行、运动和休闲、环境和健康提出了更高质量要求，希望今天的纤维材料除了接近自然、仿生态，具有真丝般柔软感和纤细感之外，同时还要求赋予特殊功能，以适应人们生活富裕化、人口老龄化和社会信息化发展的需要。这便给高技术纤维提供了广阔的发展空间和动力。

现在，高技术纤维及其织物的开发和应用，作为纺织行业的一个崭新领域，正呈现出愈来愈强的生命力。所谓高技术纤维，是指采用高新技术制成的具有多种功能和良好性能的新型纤维。对高技术纤维的研究和开发始于 20 世纪 50 年代，最早投入工业生产的是含氟纤维，60 年代出现各种芳香杂环类的有机耐高温纤维，然后又研制出有机阻燃纤维。在 20 世纪 70 年代高强度、高模量纤维和各种功能纤维得到迅速发展，到 80 年代，高技术纤维的研究和开发达到高峰期，具有各种功能的新纤维大量出现，90 年代末，高技术纤维在发展中国家得到了广泛的应用。随着 21 世纪的到来，高新技术产业的发展，化纤产品除了尽力追求功能性、差别化、智能化产品之外，还在传统高强高模纤维基础上，努力追求高强、高模和超细的极限产品，不断开发高科技领域所不可缺少的高性能特种产品。特种纤维的产量、质量及品种的提高与发展，不仅推动了诸如航天、航空、船舶、汽车、体育用品等工业的发展，而且对标志着当前技术革命的光纤通讯、生物工程、机器人、大规模集成电路等技术的发展也做出了重要贡献。纺织工业已突破仅能生产服饰

面料的范畴，跨入平面材料及三维立体结构的新格局，呈现服用、装饰、产业三足鼎立的形势。

为了推动高技术纤维的发展和对高技术纤维知识的普及，我们编写了本书。本书对近年产生和发展的高技术纤维的功能特性、制造工艺、原理、分类以及应用进行了系统阐述。同时除了在第一章中对高技术纤维的基本概念、特点和发展情况进行了总体描述之外，为有利于读者对本书中后几章中讲述的高性能纤维、功能纤维和高感性纤维内容的理解，在第二章，第三章分别对纤维的结构和性能进行简单论述。全书共分十章，具体内容及分工如下：第一章由西鹏、邱晓荣、蒋斌编写；第三章由西鹏、高括、邱晓编写；第二章、第九章由高晶、蒋斌编写；第四章由王连军、李立民、肖雪春编写；第五章由李立民、李文刚、西鹏、王连军编写；第六章由蒋瑜、西鹏编写；第七章由邹汉涛、高晶编写；第八章由吴军、李文刚、西鹏编写；第十章由邹海霞、李文刚、高晶编写。在本书的编写过程中，储才元、王善元教授提供了大量的资料，同时东华大学国家纤维改性重点实验室的黄象安教授和纺织材料学院的于伟东教授及其他老师对本书的编写也给予了大力支持和帮助，在此深表感谢！全书由西鹏、高晶、李文刚统一定稿。

由于作者水平有限，此书中难免有疏漏和错误之处，恳请读者提出宝贵意见，予以批评指正。

西 鹏

2004 年 3 月于东华大学

内 容 提 要

随着科技的发展,航天飞行器的耐烧蚀材料,高效率通信纤维,五光十色的服装,各种功能的服装面料不断涌现。高技术纤维不仅代表着科技的发展,更与人民生活息息相关。

本书对近年产生和发展的高技术纤维的功能特性、制造工艺、原理、分类以及应用进行了系统阐述。全书共分十章,主要包括高技术纤维的特性与分类,纤维结构的表征,纤维的特性及测试方法、碳纤维、高强高模纤维、芳香族纤维、防护功能纤维、传导纤维、高感性纤维、无机纤维等内容。它适合于大专以上学历的学生进行高技术纤维方面知识的了解和研究。同时对于从事高技术纤维方面生产的科技人员也具有重要的指导意义。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 化学纤维概论	1
一、概述	1
二、纤维的发展阶段	2
第二节 高性能纤维	4
一、高性能纤维的分类	4
二、几种典型的高性能纤维	4
三、高性能纤维面临的问题	16
第三节 高功能性纤维	16
一、高功能性纤维的概念和技术特点	16
二、高功能性纤维的分类	17
第四节 高感性纤维	21
一、高感性纤维概况	21
二、高感性纤维的分类及特点	23
主要参考文献	24
第二章 纤维结构的表征	26
第一节 纤维的分子结构	26
一、长链分子的化学结构	27
二、长链分子的化学的和立体的异构	30
三、长链分子的长度——分子量及其分布	31
四、分子链的构象及其柔顺性	34
第二节 纤维的超分子结构	37
一、纤维的晶态结构	37
二、纤维的取向结构	47
第三节 纤维的形态结构	49
一、纤维的多重原纤结构	49
二、纤维的截面	50

第四节 常用纤维的实际结构	52
一、纤维素纤维	52
二、蛋白质纤维	61
三、合成纤维	68
四、特种纤维	82
主要参考文献	88
第三章 纤维的物理性能	89
第一节 纤维的力学性能	89
一、纤维的拉伸性质	89
二、纤维的黏弹性	94
三、纤维的回弹性和耐多次变形性	121
第二节 纤维的热学性能	124
一、纤维材料的三态变化	125
二、纤维材料在玻璃化温度下的多重转变	127
三、纤维的耐热性	129
四、纤维的阻燃性能	131
五、纤维的一些热性能参数及测定方法	138
第三节 纤维的电性能	141
一、纤维的导电性质	141
二、纤维的介电性能	147
三、纤维的静电性质	153
第四节 纤维的光学性质	157
一、反射与光泽	157
二、折射与双折射	158
三、耐光性	161
主要参考文献	164
第四章 碳纤维	165
第一节 概述	165
一、碳纤维的基本性能	165
二、碳纤维的发展及需求	166
三、碳纤维及其复合材料的应用	169
四、碳纤维的分类	170
五、碳纤维生产中存在的缺点	171

第二节 碳纤维的制造	172
一、聚丙烯腈基碳纤维 (PAN) 的制造	172
二、沥青基碳纤维的制造	181
三、黏胶基碳纤维	187
第三节 碳纤维的表面处理	188
一、氧化处理	189
二、涂覆处理	191
三、射线、激光、等离子体处理	193
四、接枝聚合表面处理	194
五、表面生长晶须处理	194
第四节 气相生长碳纤维	194
一、生长机理	195
二、催化剂	197
三、生产工艺	197
四、碳纤维的结构和性能	198
第五节 活性碳纤维	200
一、活性碳纤维的性能特点	200
二、活性碳纤维的种类	202
三、活性碳纤维的活化机理	202
四、活性碳纤维的生产工艺	203
五、活性碳纤维的应用	205
第六节 纳米碳纤维	206
一、纳米碳纤维的制备	207
二、纳米碳纤维的应用	208
第七节 碳纤维增强复合材料	209
一、碳纤维增强树脂基复合材料	210
二、碳纤维增强碳基复合材料 (C/C)	214
三、碳纤维增强金属基复合材料 (CFRM)	217
四、碳纤维增强陶瓷基复合材料 (CFRC)	218
五、碳纤维增强橡胶复合材料 (CFRR)	218
六、碳纤维增强水泥基复合材料	219
主要参考文献	219
第五章 高强高模纤维	224

第一节 高强高模对位芳纶纤维	224
一、对位芳纶的发展	224
二、芳纶的制备	227
三、高强高模对位芳纶的结构与性能	229
四、对位芳纶的应用	237
第二节 超高模聚乙烯纤维 (UHMWPE)	240
一、UHMWPE 的发展与现状	240
二、国外主要公司的生产工艺及发展概况	243
三、UHMWPE 的制备	245
四、UHMWPE 纤维的性能	248
五、UHMWPE 纤维的用途	252
主要参考文献	254
第六章 芳香族纤维	257
第一节 芳香族聚酰胺纤维	257
一、间位聚芳酰胺纤维	258
二、芳纶浆粕纤维的结构性能与应用	261
第二节 聚苯唑类芳香族杂环纤维	266
一、液晶芳香族聚苯唑纤维	266
二、PBO 纤维	274
三、聚苯并咪唑纤维 PBI	285
第三节 芳香族聚酯纤维	294
一、芳族聚酯的合成	295
二、热致型液晶的纺丝	298
三、全芳族聚酯纤维的性能与结构	302
主要参考文献	303
第七章 防护功能纤维	305
第一节 抗静电纤维	305
一、概述	305
二、静电的产生及影响因素	305
三、抗静电剂的种类	307
四、静电消除机理	308
五、抗静电纤维的制备	310
六、抗静电纤维的应用	317

第二节 防紫外线纤维	317
一、概述	317
二、紫外线辐射对人类健康的影响	318
三、防紫外线机理	319
四、防紫外线纤维的制备	324
五、防紫外性能评价方法	327
第三节 防辐射纤维	329
一、概述	329
二、耐辐射纤维——聚酰亚胺纤维	330
三、复合性防辐射纤维	331
第四节 新型调温、保温纤维	338
一、概述	338
二、蓄热保温机理	339
三、单向温度调节保温材料	340
四、双向温度调节保温材料	344
五、温敏变色纤维	348
主要参考文献	349
第八章 传导性纤维	351
第一节 导电纤维	351
一、概述	351
二、导电纤维的作用机理及种类	353
三、导电纤维的制造	354
四、导电纤维的性能及用途	358
五、导电纤维研究新进展	360
第二节 超导导电纤维	364
一、概述	364
二、高密度超导纤维的制备	365
三、超导纤维的其他纺丝制备法	368
四、超导电及超导导电纤维的应用	368
第三节 光导纤维	371
一、概述	371
二、光导纤维的发展简史	372
三、光导纤维传光、传像的基本原理	373

四、光导纤维的制造和成型	374
五、光导纤维的发展现状及展望	380
六、光导纤维的应用实例	382
主要参考文献	385
第九章 高感性纤维	387
第一节 仿真(丝)纤维	388
一、仿真丝技术的发展历程	388
二、仿真丝原料的发展	390
三、仿真丝技术加工	392
第二节 超细纤维	400
一、超细纤维的特点	401
二、超细纤维的生产方法	401
三、超细纤维的应用	404
第三节 异形纤维	407
一、异形纤维的特性	408
二、异形纤维的应用	409
第四节 仿毛纤维	410
一、纤维原料的选用	411
二、新型纺纱技术的利用	412
三、多重多异复合加工丝仿毛技术	413
第五节 仿生纤维	413
一、蛾的角膜与超微坑纤维	413
二、蝴蝶翅膀与多重螺旋纤维	414
三、荷叶结构与超级防水织物	415
四、会呼吸的纤维	415
五、变色龙与变色纤维	416
六、仿蜘蛛丝	416
第六节 仿羽绒纤维	417
一、羽绒的结构和性质	417
二、三维卷曲中空纤维	418
第七节 其他特殊风格和性能的纤维	419
一、透湿防水纤维	419
二、亲水性纤维	420

三、超蓬松纤维	420
四、超柔软纤维	421
五、超悬垂纤维	421
主要参考文献	421
第十章 无机纤维	424
第一节 玻璃纤维	425
一、玻璃纤维的分类	425
二、玻璃纤维的制备	427
三、玻璃纤维的性能	432
四、玻璃纤维的应用	433
第二节 氧化铝 (Al_2O_3) 纤维	436
一、氧化铝纤维的制备	437
二、 Al_2O_3 纤维的性能	440
三、 Al_2O_3 纤维的应用	442
第三节 碳化硅 (SiC) 纤维	443
一、碳化硅纤维的制备	443
二、 SiC 纤维的性能	448
三、 SiC 纤维的应用	449
第四节 硼基纤维	450
一、硼 (B) 纤维	450
二、氮化硼 (BN) 纤维	452
第五节 晶须纤维	454
一、晶须纤维的制备	455
二、晶须纤维的性能	455
三、晶须纤维的应用	456
第六节 不锈钢纤维	457
一、不锈钢纤维的制备	457
二、不锈钢纤维的性能	458
三、不锈钢纤维的应用	458
主要参考文献	459

第一章 绪 论

第一节 化学纤维概论

一、概述

纤维作为与人们的生活密切相关的高分子材料，其发展与人类生产力的发展水平紧密相连。可以说一种新型纤维产品的出现，代表着一定的社会生活水平；而人们生活水平的不断提高以及对纤维应用性能的不断要求，也成了纤维不断发展的动力。现在纤维早已不再单一局限于服饰上的应用，在航天、航空、电子、电信等多个领域也发挥着重大作用。同时也正是为了适应多领域、多环境的需求，纤维正向着高性能化、高功能化方向发展。

一般来说纤维的性能是指纤维对于来自外部的应力、热、光以及电等物理或化学作用的抵抗能力。对于纤维来说其主要性能包括：力学、电学、光学、热学性能等。而纤维的功能是指纤维在受到外部作用时，使这些作用发生质的转变或量的变化，使纤维产生导电、传递、储存、光电及生物相容性等方面的能力。要实现纤维的高性能化、高功能化不但要通过控制成纤原料的大分子结构、基团的组成以及纤维加工成型技术的进步，使纤维的大分子结构向理想分子模型靠拢，同时还要开发应用新的成纤高分子材料合成技术，新的干-湿法纺丝成型技术，微细和微纤化等高新技术。因此说目前要研究开发的纤维是高技术含量的纤维，而人们也开始进入了高技术纤维时代。

高技术纺织纤维的发展，是纺织品摆脱传统模式的束缚，走向一种全新境界的起点和基础。所谓高技术纤维，是指采用高新技术制成的具有多种功能和良好性能的新型纤维。它不仅保持了传统天然纤维优良的服用性能和合成纤维的机械性能，还具有传统天然纤

维和合成纤维无法比拟的优良特性，如环保功能、保健功能等。高技术纤维主要包括：高性能纤维、高功能性纤维和高感性纤维三大类。这三类纤维在性能、功能、舒适性三个方面各有发展空间，但都是以高新技术为依托并已成为世界高科技领域的热点。

二、纤维的发展阶段

（一）纤维的分类

一般来说，纤维可分为纺织纤维和非纺织纤维。纺织纤维可分为两大类：一类是天然纤维，如棉花、羊毛、蚕丝、麻等；另一类是化学纤维，即用天然或合成高分子化合物经加工制得的纤维。化学纤维又可分为两大类。

（1）再生纤维 即用天然高分子化合物为原料，经过化学处理和机械加工而制得的纤维，其中用纤维素为原料制得的纤维称为再生纤维，用蛋白质为原料制得的纤维叫再生蛋白质纤维。

（2）合成纤维 即用石油、天然气、煤及农副产品等为原料，经过一系列的化学反应，制成合成高分子化合物，再经过加工而制得的纤维。根据大分子的化学结构，合成纤维可分为杂链和碳链纤维两类。杂链纤维的大分子主链中除碳原子以外，还含有其他元素（如：氮、氧等）。碳链纤维的大分子主链则纯系由碳-碳键组成。具体的纺织纤维的分类如图 1-1 所示。

目前世界上生产的合成纤维品种繁多，据统计有几十种，但其中最主要的，并得到重点发展的只有聚酯、聚酰胺、聚丙烯腈和等规聚丙烯纤维四种，其次是聚乙烯醇和聚氯乙烯类纤维。其他一些属于在本书中即将重点论述的特种用途的纤维，称为高技术纤维，它们的生产量虽不大，但在国民经济中占有重要的地位，因此越来越受到人们的广泛关注。

（二）化学纤维的生产简史

化学纤维生产是在 20 世纪 30 年代中期开始的。当时采用了几种碳链类成纤高聚物，如氯乙烯与醋酸乙烯的共聚物（纤维成为“维紫”）、聚乙烯醇以及氯化聚氯乙烯等作为原料。将这种高聚物的溶液用干法和湿法纺丝制成纤维。制造这类纤维与再生纤维（特

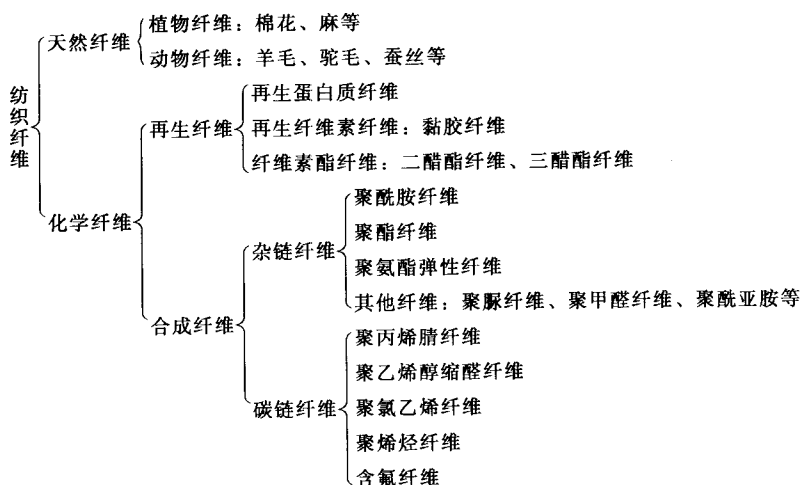


图 1-1 纺织纤维的分类

别是醋酯纤维)的生产过程十分相似。但由于纤维性能低下等一系列原因,以致在生产上没有得到显著的发展。

1935 年,美国 W. Carothers 等首先研究成功第一种聚酰胺纤维——尼龙 66,1938 年建立了中间试验工厂,1939~1940 年开始工业化生产。以后这一纤维在西方工业国家得到了广泛的发展,所以实际上尼龙 66 是第一种正式生产的化学纤维。一般认为化学纤维的发展史是从 1938 年算起的。这种纤维具有一系列新而优异的性能,如高弹性及高强度等,生产时采用了一种新的纺丝方法——熔体纺丝法。不久涤纶、腈纶相继问世,作为合成纤维的品种还有维纶、丙纶、氨纶等许多产品,但由于涤纶、锦纶和腈纶的生产量比其他合成纤维高得多,所以被称为三大合成纤维。

从 1938 年迄今,化学纤维生产已有五十余年历史,它的发展可以分成四个阶段。

第一阶段 1938~1950 年,主要发展尼龙,同时集中探索新的成纤高聚物;

第二阶段 1950~1956 年,尼龙以外的主要化学纤维(涤纶和腈纶)问世,并实现了工业化;

第三阶段 1956~1960 年, 发展第二代化学纤维——改性纤维, 包括差别化纤维;

第四阶段 1960 年迄今, 发展特种纤维, 亦称高功能性纤维和高性能纤维, 这些纤维可称为第三代合成纤维, 包括碳纤维(石墨纤维)、耐热的和高强高模的聚芳酰胺纤维(芳纶)、聚氨酯高弹性纤维(氨纶)、超高分子量并高强高模的聚乙烯纤维等。

第二节 高性能纤维

一、高性能纤维的分类

高性能纤维是指强度为 25GPa (17.7CN/dtex), 模量为 55GPa (441.5CN/dtex) 以上的特种纤维。高性能纤维具有普通纤维所不及的物理机械性能、热性能和化学性能。它们通常采用高技术制成, 且大多应用在特殊或高科技领域。

高性能纤维的生产是从 1965 年, 美国 Kwolek 等人发现了对位芳香族聚酰胺能生成液晶溶液的性能, 制得强度超过 2.64GPa (20g/d) 的 Kevlar 纤维开始的。当初研究的背景是基于军事装备和宇宙开发等尖端科学的需要, 致力于高强度、高弹性模量和耐高温等高性能、轻量化为目标。到了 20 世纪 80 年代高科技产业的兴起, 大型航空器材、海洋开发、超高层建筑、医疗及环境保护、体育和休闲业的发展, 这些新的产业领域需要多种高性能纤维材料, 可以说高技术产业的发展, 促进了高性能纤维的发展。目前主要的高性能纤维的代表品种为: 有机纤维的对位芳纶(聚对苯二甲酰对苯二胺)、超高分子量聚乙烯、聚苯并双噁唑纤维; 无机纤维有碳纤维和高性能玻璃纤维。具体分类如图 1-2 所示。

二、几种典型的高性能纤维

(一) 碳纤维

1. 碳纤维的发展

碳纤维是由有机纤维经高温炭化而成。早在 1879 年, 爱迪生曾发明用碳纤维做电灯丝, 但直到 1950 年, 美国才制成了具有一定机械性能的碳纤维, 使碳纤维能够作为复合材料的增强材料, 开