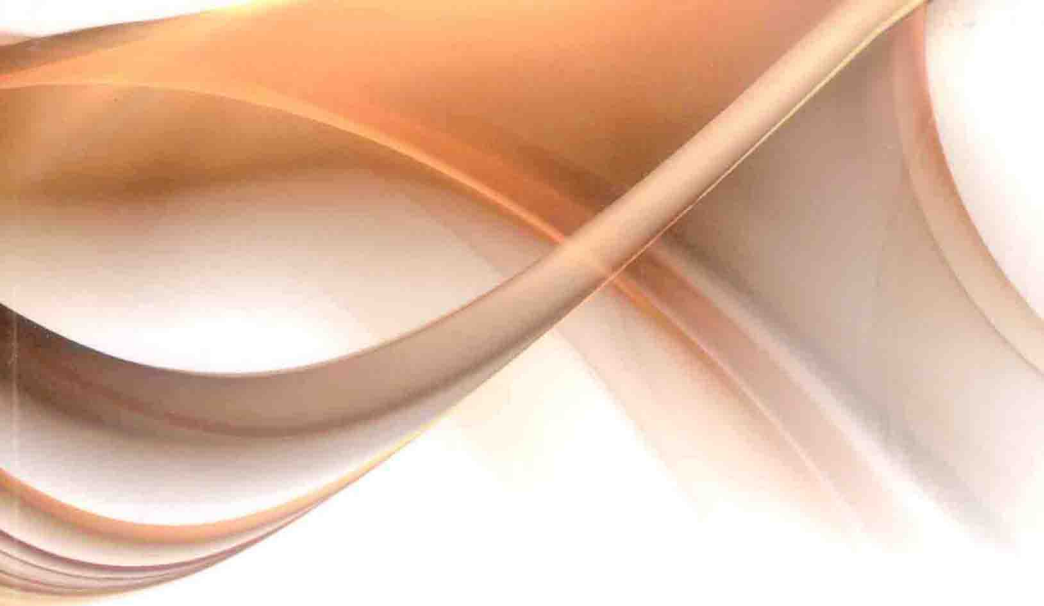


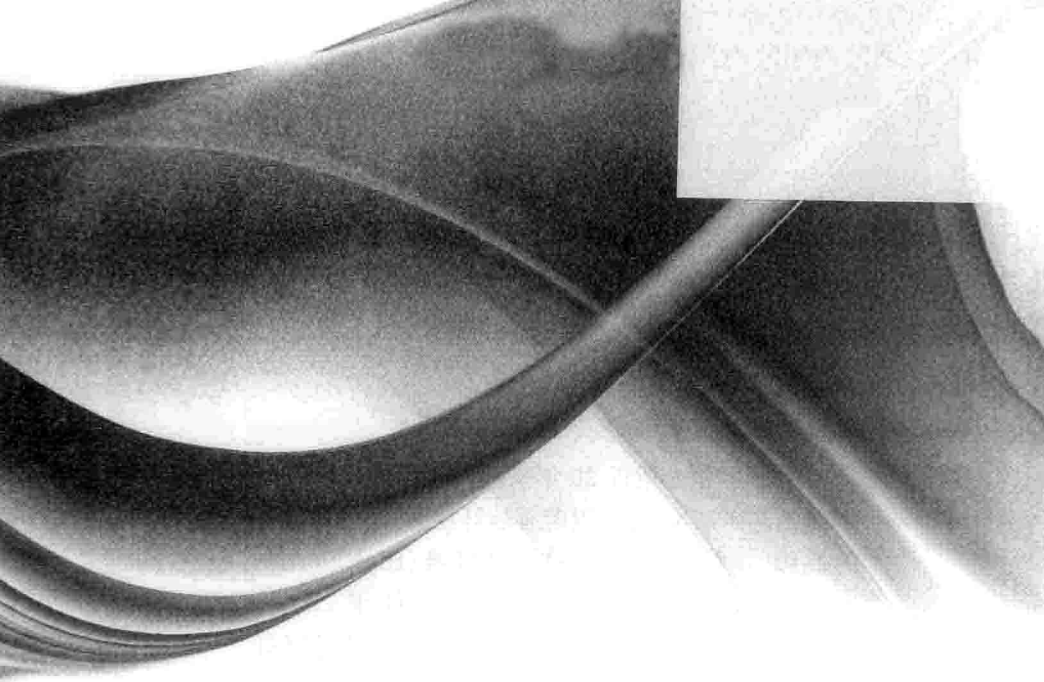


高科技 纤维概论

GAOKEJI XIANWEI GAILUN

王曙中 王庆瑞 刘兆峰 编著

东华大学出版社



高科技 纤维概论

GAOKEJI XIANWEI GAILUN

王曙中 王庆瑞 刘兆峰 编著

东华大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高科技纤维概论/王曙中, 王庆瑞, 刘兆峰编著
—上海: 东华大学出版社, 2014.6

ISBN 978-7-5669-0529-1

I. ①高… II. ①王… ②王… ③刘… III. ①功能性
纤维 IV. ①TQ342

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第113546号

责任编辑 杜亚玲

封面设计 魏依东

高科技纤维概论

王曙中 王庆瑞 刘兆峰 编著

东华大学出版社出版

(上海市延安西路1882号 邮政编码:200051)

新华书店上海发行所发行 江苏省南通印刷总厂有限公司印刷

开本:850mm×1168mm 1/32 印张:14 字数:348千字

2014年6月第1版第1次印刷

ISBN 978-7-5669-0529-1/TS·494

定价:32.00元

内 容 提 要

本书主要介绍近 30 年来新发展起的采用高技术新工艺研制生产的,以芳香族纤维、碳纤维为代表的高强、高模、耐高温的高性能纤维(High Performance Fibers)[也有人称为超级纤维(Super Fibers)],在仿真仿生技术的基础上开发的超真纤维、高感性纤维和具有特殊功能(如抗静电、膜分离、医疗保健、光、电、热等功能)的纤维(Function Fibers)。书中叙述了这些纤维的制造工艺技术、结构与性能、大分子高次构造的基础理论、纤维的应用领域和高科技纤维的发展新趋势。

本书可供从事化学纤维、高分子材料、纺织材料以及纤维复合材料等产业部门的有关人员参考,可作为高等院校相关专业师生的参考书,也是一本较为完整的高科技纤维知识的普及读物。

序 一

近年来科学技术发生深刻的变革,微电子技术、通讯技术、有机高分子合成材料及生物工程技术的发展,形成一大批高科技产业群体。纤维科学界把高分子纤维材料的高性能化、多功能化作为纤维技术进步的方向,近 25 年来新发展的以芳香族高性能纤维、碳纤维为代表的高强度高模耐高温的超级纤维(Super Fibers),也有人称为高性能纤维(High Perfomance Fibres);以仿真仿生技术为基础的超细纤维、超真纤维以及赋予特殊功能的纤维,称为功能性纤维(Function Fibers)。这些用高技术发展起来的化纤材料,又统称为高科技纤维(High Technology Fibers)。它们广泛地应用在航天航空、高速交通工具、海洋工程、新颖建筑、新能源、环境产业以及国防建设和尖端科学等领域。在运动与休闲、服装时尚、环境和健康等方面都需要适应时代潮流的纤维材料,以提高人们的生活质量。

本书几位作者长期从事高科技纤维方面的教学和科研,自 70 年代末就承担了高性能纤维和膜分离的科研项目,80 年代中开设了“高技术纤维”的课程,在与国外有关大学如日本大阪市立大学、美国奥本大学、阿克隆大学、德国德累斯顿大学等相关专业建立双边学术交流基础上,积累了大量的材料,这次新编写的教材比较系统地反映高科技纤维的发展历史,新工艺和新技术,对于新的学科基础知识如高分子液晶基础、纤维极限强度和模量、凝胶纺丝原理、纤维功能的赋予、仿真和超真技术、纤维膜分离机理等等都有深入浅出地介绍。

在这部教材中引入该校一些高科技纤维的科研新成果,有利

于充实教材的内容,也有别于其它同类教材,可培养学生的阅读和思索能力。同时该书收集了近期市场上出现的各种高科技纤维的技术数据和资料,取材新颖、覆盖面广,并详细地介绍它们在各个领域中的应用情况。因此,该书对于我国从事化纤、纺织材料、产业用纺织品和复合材料等行业的生产研究技术人员都有一定参考和使用价值。也是一本介绍新纤维材料的科普读物。

孙晋良
中国工程院院士

序 二

材料是人类生活和生产的物质基础,材料的开发及应用是衡量社会文明的一种尺度。随着新世纪的到来,科学技术的进步,已经形成一大批高新科技产业的群体,纤维科学界也以高分子纤维材料的高性能化、多功能性作为纤维技术的发展方向,开发了以芳香族纤维、碳纤维为代表的高强、高模、耐高温的高性能纤维(High Performance Fibers)[也有人称为超级纤维(Super Fibers)],在仿真仿生技术的基础上发展了超真纤维、高感性纤维以及具有特殊功能(如抗静电、膜分离、医疗保健、光、电、热等功能)的纤维(Function Fibers)。

世界合成纤维年产量已经超过 2 000 万吨,在服用、装饰、产业用三大领域迅速发展。以碳纤维和芳纶为代表的又轻又强的纤维材料,在航天航空、新型建筑、高速交通工具、海洋开发、体育器械及防护用具等行业作为增强材料得到广泛的应用。面向 21 世纪正在兴起的高新产业,都需要高性能、轻量化的纤维材料。

社会生产水平的高度发展,社会物质的极大丰富,使人们开始要求高质量的生活方式、美好舒适的生活环境,更加关心时装和感性,在运动和休闲时追求宽松、透气、富裕的高品位感觉。社会的老龄化和信息时代的到来,也需要能够适应时代要求的功能性纤维。这就促进了高感性和功能性纤维的发展。随着聚合物纤维基础理论的深入研究,已经发现和制造了一系列高性能和多功能性的新颖高科技纤维。可以预计,随着新技术的发展,今后高科技纤维还将不断地发展。同时,在纤维高性能和功能化原理、基本规律、纺丝工艺技术等方面还有许多问题需要继续研究,现有纤维的一些弱

点需要进行改进。我们期望本书的出版将会对我国的高科技纤维发展和应用起到一定的作用。

本书介绍了高性能、功能性纤维的制造方法,它们的结构和性能关系以及在衣料、产业领域中的应用,还指出了高科技纤维的发展趋势。本书第1、9至11章及第15章由王曙中编写,第2、4、5、7章由王庆瑞编写,第12至14章由刘兆峰编写,第3、6章由关桂荷编写,第8章由吴清基编写。

孙晋良院士和梁伯润教授对全书进行了认真的审阅,并由孙晋良院士作了序。在此谨表衷心的感谢。

由于高科技纤维发展非常迅速,有的还在不断地开发更新,因此书中难免有疏漏及错误之处,恳请读者多提宝贵意见予以指正。本书中少数学术用语保留了习惯用法,如浓度、g/d等。本书的编写和出版过程得到许多人士提供的资料和帮助,谨借此机会表示衷心感谢。

编 者

目 录

序 一	(I)
序 二	(I)
第 1 章 绪 论	(1)
1.1 前 言	(1)
1.2 化学纤维发展的历史及现状	(3)
1.3 高性能纤维的特点	(4)
1.4 功能性纤维的特点	(12)
1.5 高性能和功能性纤维的发展	(15)
第 2 章 高感性纤维	(18)
2.1 前 言	(18)
2.2 仿真丝纤维	(19)
2.3 超细纤维	(27)
2.4 独特风格和特殊性能纤维	(33)
2.5 异形截面纤维	(35)
2.6 仿生纤维	(37)
第 3 章 防护功能纤维	(42)
3.1 前 言	(42)
3.2 抗静电纤维	(43)
3.3 防辐射纤维	(54)
3.4 防紫外线纤维	(60)
3.5 保温纤维	(65)
第 4 章 分离功能纤维	(71)
4.1 前 言	(71)

4.2	膜分离科学与技术·····	(77)
4.3	各种膜过程及其分离机理·····	(86)
4.4	纤维膜材料·····	(118)
4.5	纤维膜的制造及膜分离装置·····	(131)
4.6	膜分离技术的应用·····	(153)
第5章	医疗保健功能纤维·····	(190)
5.1	前 言·····	(190)
5.2	医疗卫生用纤维·····	(196)
5.3	抗菌防臭纤维·····	(209)
5.4	人工器官用纤维·····	(212)
5.5	医用纤维复合材料·····	(219)
第6章	传导性纤维·····	(225)
6.1	前 言·····	(225)
6.2	导电纤维·····	(226)
6.3	光导纤维·····	(238)
6.4	超导电纤维·····	(249)
6.5	其它传导纤维·····	(255)
第7章	生物高分子活性纤维材料·····	(260)
7.1	前 言·····	(260)
7.2	生物膜反应器·····	(260)
7.3	生物膜传感器·····	(269)
7.4	医疗用水和高分子药物及其释放送达体系·····	(272)
7.5	高分子食品添加剂·····	(276)
7.6	农用高分子活性材料·····	(279)
第8章	甲壳质与壳聚糖纤维·····	(284)
8.1	前 言·····	(284)
8.2	甲壳质与壳聚糖的结构简介·····	(287)
8.3	甲壳质与壳聚糖的制备·····	(289)

8.4	甲壳质与壳聚糖纤维的成形	(290)
8.5	主要的性质和指标	(293)
8.6	临床应用	(299)
8.7	今后的研究和开发方向	(301)
第9章	芳香族聚酰胺纤维	(307)
9.1	前 言	(307)
9.2	聚对苯二甲酰对苯二胺纤维	(312)
9.3	聚间苯二甲酰间苯二胺纤维	(338)
第10章	芳香族聚酯纤维	(349)
10.1	前 言	(349)
10.2	芳香族聚酯的合成	(352)
10.3	纤维成形	(355)
10.4	纤维的结构和性能	(359)
10.5	用 途	(361)
第11章	芳香族杂环类纤维	(363)
11.1	聚对苯撑苯并双噁唑纤维(PBO)	(363)
11.2	聚苯并咪唑纤维(PBI)	(371)
第12章	高强高模聚乙烯纤维	(377)
12.1	前 言	(377)
12.2	凝胶纺丝的由来和依据	(379)
12.3	纺丝成形工艺及其原理	(386)
12.4	纤维的性能及用途	(391)
第13章	其它高强柔性链高分子纤维	(397)
13.1	前 言	(397)
13.2	高强高模聚乙烯醇纤维的进展及其工艺原理	(399)
13.3	高强高模聚丙烯腈纤维的进展	(405)
第14章	碳纤维	(407)
14.1	前 言	(407)

14.2	聚丙烯腈基碳纤维·····	(412)
14.3	沥青基碳纤维·····	(421)
14.4	纤维素基碳纤维·····	(424)
14.5	活性碳纤维·····	(426)
第 15 章	高性能无机纤维概况 ·····	(429)
15.1	前 言·····	(429)
15.2	玻璃纤维·····	(429)
15.3	氧化铝纤维·····	(433)
15.4	碳化硅纤维·····	(434)

第 1 章 绪 论

1.1 前 言

近年,纤维科学界把高分子纤维材料的高性能化、高功能化作为重要的研究方向,开发了一大批具有高性能(高强度、高模量、耐高温性等),高功能(高感性、高吸湿、透湿防水性、抗静电及导电性、离子交换性和抗菌性等)的新一代化学纤维,形成纤维行业的高新产业体系,引人注目。

纤维与橡胶、塑料是高分子材料的三大形态,而纤维是高分子最主要的用途之一,纤维不仅作为衣料还在装饰、产业用纺织品方面有广泛的应用。纤维与人类的密切关系可追溯到 5 000 年以前,在亚洲,棉和丝绸起源于中国和印度,在中亚首先实际使用羊毛。而人造纤维的发明始于 19 世纪末。到 20 世纪 30 年代美国 Carothers 发明尼龙之后,又开发了涤纶和腈纶构成三大合成纤维品种,促进了现代纤维科学的进步。随着纤维技术的发展和积累,新技术与新的基础理论相结合,开始形成新纤维品种的诞生,尤其是近年来随着宇宙开发、航空、新能源、海洋及通讯信息等高新技术产业的发展,需要多种高科技纤维的支持,从而推进新纤维的研制与开发。依靠高技术和纤维学科最新的基础理论概念研制成功的具有高性能和高功能性的一系列新纤维材料称为高科技纤维(High Technology Fibers)。

对于高科技纤维而言,纤维的“性能”和“功能”是相当重要的

材料属性,它们是密切相关特性中的两个方面,不仅是纤维,所有的材料都具有某种性能和功能。一般说来,所谓“性能”是指材料对于来自外部的应力、热、光与电等物理作用或化学药品的化学作用的抵抗能力。避免材料遭到破坏失去使用价值的能力称为材料的性能(Performance),如强度、弹性模量等力学性能,在水及普通溶剂中不溶解性,一定温度下的耐热性等等。而纤维的功能(Function),是指纤维受到外部作用时,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、光电及生物相溶性等方面的能力。在纤维的一般形态功能上赋予新的特殊的功能,所以有时更广义地也包括超高性能纤维。然而“性能”与“功能”两词的法还是有些区别的,因此在本书中高科技纤维包括了高性能纤维、高功能纤维及高感性纤维。

早期的纤维主要用于衣服,其性能满足一般的服用要求,没有什么特别的功能要求。随着社会生产的发展和科技的进步,生产水平和人们生活水平的提高,尤其是高科技产业的兴起,对纤维产业提出了更高的要求。在强度、模量、耐温性方面,在不同环境下的适应性方面,石油化工、电子等特殊产业都对纤维材料提出了许多新的性能和功能的要求。例如:航空航天、海洋工程、原子能及新型土木建筑等行业需要高强度、高模量的高性能纤维,耐热防火、耐腐蚀耐辐射的耐环境性纤维;化工电子等特殊产业需要具有导电性、抗静电性、光电性及光导性等功能的纤维;在生命科学领域,需要具有满足人体适应性、血液相容性和分离渗透性等生物医用功能的纤维。同样,人们生活水平的提高也要求衣料更加柔软舒适,颜色更加鲜明,风格更加特殊,不仅漂亮而且还要有保健卫生功能、体育休闲防水透气功能,从而满足不同生活层次人们的需要。

1.2 化学纤维发展的历史及现状

回顾纤维的发展历史可以看到,人类最初应用的纤维是天然纤维,亚麻、毛很早就被利用来手工纺纱织布。至少大约 5 000 年前,在亚洲,在中国已经使用麻、毛、棉和丝绸四大天然纤维了,中国的丝绸之路促进了世界纤维产业的交流。在古代欧洲,丝绸是比黄金还要贵重的物品,因此仿制丝绸一直是欧洲人追求的目标,直到 19 世纪 80 年代法国人获得从硝酸纤维素制取人造丝的专利,开始了人造纤维的发展历史,其中粘胶人造丝延续到现在还在生产。20 世纪 20 年代有机合成化学和高分子合成化学的发展,使美国科学家发明锦纶合成纤维,完全人工合成的方法,引起工业界极大的兴趣。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它合成纤维高得多,所以叫做三大合成纤维。

纤维的产量 1990 年达到 3 846 万吨,其中化学纤维为 1 772 万吨,而三大合成纤维占化纤总量的 85%。到 1995 年世界的化学纤维产量上升为 2 137 万吨,其中以涤纶为主的三大合成纤维达到 1 829 万吨。合成纤维的产量迅速增加,预示着纤维技术将会得到进一步的发展。从分子结构看,传统纤维的性能仍处于相当低的水平,纤维科学的基础理论计算表明,纤维大分子的高次结构和分子的理想分子结构模型相差甚远。因此,通过控制原料高分子的化学结构、基团的组成以及纤维加工成形技术的进步,使新纤维的大分子结构向理想分子模型靠拢,从而研究开发了一系列高性能化、高功能化的高科技纤维,如图 1-1 所示。

高科技纤维技术的发展覆盖了许多领域,例如新的成纤高分子物合成技术,新的干一湿法纺丝纤维成形技术,微细(Micro)和

随机(Random)的微纤化技术以及在新产业上的应用。这些技术的发展对于纤维的高性能化和高功能化发挥了巨大的作用,并向着更高水平、更加复杂以及跨学科领域发展,运用高新技术的纤维行业会不断地创造出新的纤维产品,迎接 21 世纪的到来。

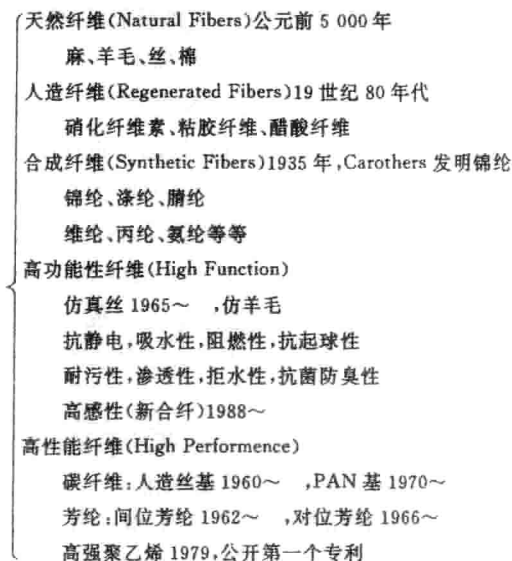


图 1-1 纤维发展的历史

1.3 高性能纤维的特点

1.3.1 高性能纤维的分类

高性能纤维目前还没有共同的定义,一般是指强度大于 17.6 cN/dtex,模量 440 cN/dtex 以上的纤维,在日本这类纤维也称为超纤维(Super Fibers)。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(以后简称高模

量)和耐高温等高性能、轻量化的研究为目标。到了 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,可以说高科技产业的发展,促进了高性能纤维的发展。现在高性能纤维中有代表性的是有机刚性链的对位芳纶、有机柔性链的高强聚乙烯纤维,无机类的是碳纤维,可以分成几大类如图 1-2 所示。高性能纤维的生产目前只有美国、欧洲、日本及俄罗斯等少数几个国家能够掌握。我国对高性能纤维的开发也相当重视,组织高校、科研单位和工厂进行碳纤维、芳纶(PPTA 和 MPIA)、高强聚乙烯纤维等品种的研制,已经完成小试及中试,并设计安装小型设备投入小批量生产,一些纤维产品已供用户应用试验。但从总体来说,我国的高科技纤维还处在开发阶段,今后有少数品种将达到产业化水平。

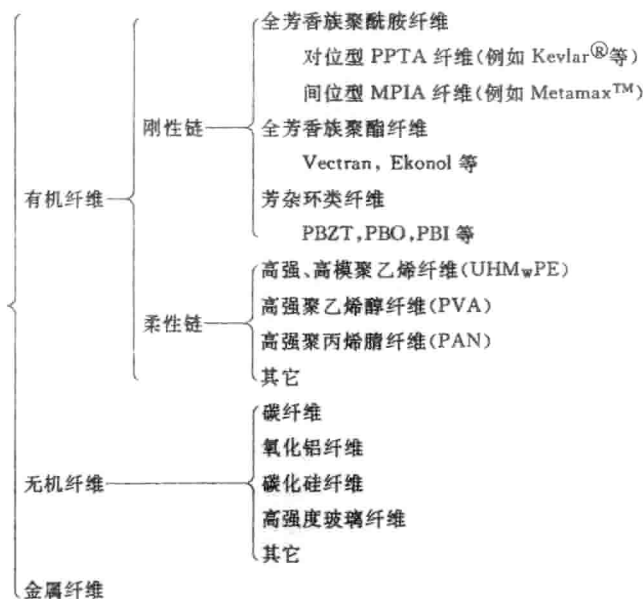


图 1-2 高性能纤维的种类