



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高技术纤维概论

GAOJISHU XIANWEI GAILUN (第2版)



西 鹏◎主 编

张宇峰 安树林◎副主编

 中国纺织出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

高技术纤维概论

(第2版)

西鹏 主编

张宇峰 安树林 副主编



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书结合近年来高技术纤维的研究进展对其基本概念、发展状况、功能特性、制造工艺与原理以及应用等内容进行了详细的阐述,其中包括:高性能纤维(高强高模聚乙烯纤维、碳纤维、聚苯硫醚纤维、聚酰亚胺纤维),高功能纤维(稀土发光纤维、阻燃纤维、导电纤维),特种高技术纤维(相变储能纤维、生物医学纤维)。

本书可作为高等院校高分子材料专业的教材,也可作为广大高技术纤维研究者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

高技术纤维概论/西鹏主编. —2版. --北京:中国纺织出版社, 2015. 11

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

ISBN 978-7-5180-1455-2

I. ①高… II. ①西… III. ①化学纤维—高等学校—教材
IV. ①TQ340.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 055387 号

责任编辑:范雨昕 责任校对:余静雯
责任设计:何 建 责任印制:何 建

中国纺织出版社出版发行

地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124

销售电话:010—67004422 传真:010—87155801

http://www.c-textilep.com

E-mail: faxing@c-textilep.com

中国纺织出版社天猫旗舰店

官方微博 http://weibo.com/2119887771

北京通天印刷有限责任公司印刷 各地新华书店经销

2012 年 3 月第 1 版 2015 年 11 月第 2 版

2015 年 11 月第 2 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:18

字数:381 千字 定价:48.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

出版

本教材编委会

顾问: 郁铭芳 徐 坚 肖长发 张兴祥 程博闻

编委: (按章节顺序)

西 鹏	王雅珍	丁长坤	李振环
安树林	夏 磊	邱晓荣	宋 俊
张宇峰	黄象安	顾晓华	沈新元

出版者的话

全面推进素质教育,着力培养基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的人才,已成为当今教育的主题。教材建设作为教学的重要组成部分,如何适应新形势下我国教学改革要求,与时俱进,编写出高质量的教材,在人才培养中发挥作用,成为院校和出版人共同努力的目标。2011年4月,教育部颁发了教高[2011]5号文件《教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见》(以下简称《意见》),明确指出“十二五”普通高等教育本科教材建设,要以服务人才培养为目标,以提高教材质量为核心,以创新教材建设的体制机制为突破口,以实施教材精品战略、加强教材分类指导、完善教材评价选用制度为着力点,坚持育人为本,充分发挥教材在提高人才培养质量中的基础性作用。《意见》同时指明了“十二五”普通高等教育本科教材建设的四项基本原则,即要以国家、省(区、市)、高等学校三级教材建设为基础,全面推进,提升教材整体质量,同时重点建设主干基础课程教材、专业核心课程教材,加强实验实践类教材建设,推进数字化教材建设;要实行教材编写主编负责制,出版发行单位出版社负责制,主编和其他编者所在单位及出版社上级主管部门承担监督检查责任,确保教材质量;要鼓励编写及时反映人才培养模式和教学改革最新趋势的教材,注重教材内容在传授知识的同时,传授获取知识和创造知识的方法;要根据各类普通高等学校需要,注重满足多样化人才培养需求,教材特色鲜明、品种丰富。避免相同品种且特色不突出的教材重复建设。

随着《意见》出台,教育部及中国纺织工业联合会陆续确定了几批次国家、部委级教材目录,我社在纺织工程、轻化工程、服装设计与工程等项目上均有多种图书入选。为在“十二五”期间切实做好教材出版工作,我社主动进行了教材创新型模式的深入策划,力求使教材出版与教学改革和课程建设发展相适应,充分体现教材的适用性、科学性、系统性和新颖性,使教材内容具有以下几个特点:

(1)坚持一个目标——服务人才培养。“十二五”普通高等教育本科教材建设,要坚持育人为本,充分发挥教材在提高人才培养质量中的基础性作用,充分体现我国改革开放30多年来经济、政治、文化、社会、科技等方面取得的成就,适应不同类型高等学校需要和不同教学对象需要,编写推介一大批符合教育规律和人才成长规律的具有科学性、先进性、适用性的优秀教材,进一步完善具有中国特色的普通高等教育本科教材体系。

(2)围绕一个核心——提高教材质量。根据教育规律和课程设置特点,从提高学生分析问题、解决问题的能力入手,教材附有课程设置指导,并于章首介绍本章知识点、重点、难点及专业技能,增加相关学科的最新研究理论、研究热点或历史背景,章后附形式多样的习题等,提高教材的可读性,增加学生学习兴趣和自学能力,提升学生科技素养和人文素养。

(3)突出一个环节——内容实践环节。教材出版突出应用性学科的特点,注重理论与生产

实践的结合,有针对性地设置教材内容,增加实践、实验内容。

(4)实现一个立体——多元化教材建设。鼓励编写、出版适应不同类型高等学校教学需要的不同风格和特色教材;积极推进高等学校与行业合作编写实践教材;鼓励编写、出版不同载体和不同形式的教材,包括纸质教材和数字化教材,授课型教材和辅助型教材;鼓励开发中外文双语教材、汉语与少数民族语言双语教材;探索与国外或境外合作编写或改编优秀教材。

教材出版是教育发展中的重要组成部分,为出版高质量的教材,出版社严格甄选作者,组织专家评审,并对出版全过程进行过程跟踪,及时了解教材编写进度、编写质量;力求做到作者权威,编辑专业,审读严格,精品出版。我们愿与院校一起,共同探讨、完善教材出版,不断推出精品教材,以适应我国高等教育的发展要求。

中国纺织出版社
教材出版中心

序

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、高功能化的方向发展。

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的分子模型靠拢,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,而人们也开始进入高技术纤维时代。

高技术纤维的发展,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力学性能,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各的发展空间,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。

我国在高技术纤维的开发上起步较晚,与世界先进水平相比,无论在产品质量、品种、生产规模、销售网络等方面都有相当大的差距。面对国外对我国在高技术纤维方面的技术封锁,要发展高技术纤维就必须走自我创新、自我开发之路。

在本书中,编者从高性能纤维、高功能纤维和特种高技术纤维三个方面对各种高技术纤维的发展历程、制备方法、性能表征与改性、应用领域以及发展方向进行了较为详尽的阐述。在内容的编排上,突出了“实际、实用、实践”的三实原则,在讲述基本知识的基础上,注重了对国内外高技术纤维领域的新知识、新技术的讲解。更为重要的是,在本书的编写过程中,引入了编者近年来在高技术纤维方面的新成果,有力地充实了该书的内容,也使其有别于其他同类书籍。同时,书中列出了大量的文献资料,为读者进一步深入研究提供了重要保证。作为基础教材,

本书内容详略得当,深入浅出,可作为高分子材料专业的本科生教材,也可作为研究生和工程技术人员的主要参考书,对培养我国高技术纤维研究与开发领域的高精尖人才,将发挥重要作用。

胡錦芳

中国工程院院士
2012年1月

第 2 版前言

产业用纺织品和非织造布行业的应用与发展,为我国纺织工业的发展和振兴提供了新的契机。在该行业所采用的纤维原料中,高技术纤维由于能赋予织物特殊的性能和功能,目前已经成为产业用纺织品满足下游行业工程要求、推动国民经济发展的重要新兴产品。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。自 20 世纪中期高技术纤维问世以来,它的生产与技术长期被美国、日本、韩国等国家垄断。我国从 2006 年起才开始大规模研究生产以碳纤维等高性能纤维为主体的高技术纤维。经过近十年的努力,我国在高技术纤维领域已经取得诸多成果。例如,烟台氨纶股份有限公司的对位芳纶具有高强高模、耐高温和阻燃等优异性能,同时还有相对密度小、耐疲劳、耐剪切的优点,在个体防护、航天航空、电子信息等领域得到广泛使用,已发展成为世界上产量最大、用途最广的高性能纤维。上海特安纶纤维有限公司生产的芳腈纶,是拥有自主知识产权的有机耐高温纤维,可广泛应用于防护制品、过滤材料、电绝缘材料、摩擦材料等领域,在高性能有机材料领域有着重要地位。然而,我国的高技术纤维研发之路才刚刚起步,还需要大量的高技术纤维领域的高级人才不断融入我国的高技术纤维研究创新的洪流之中;同时,也只有这样我国的高技术纤维产业才能迅速的发展,才能更好地满足诸如航天、航空、船舶、汽车、体育用品和尖端科学等工业的发展需求。

为了推动高技术纤维的发展和对高技术纤维知识的普及,我们在《高技术纤维概论》的基础上,对本书的各章内容进行了补充与修改,增加了高技术纤维近年来的最新研究成果,尤其是对发展较快的聚苯硫醚纤维和生物医学纤维的内容进行了重新编写,并补加了“相变储能纤维”的内容。为了便于读者阅读和学习,本书保留了《高技术纤维概论》内容中对高技术纤维的基本概念、性质特点、发展状况、功能特性、制造工艺与原理以及应用的系统阐述,以利于读者对书中内容的理解。

全书分为高技术纤维和高功能纤维两篇,共九章,具体内容及分工如下:第一章由王雅珍、西鹏编写,第二章由丁长坤、西鹏编写,第三章由李振环、安树林编写,第四章由夏磊、西鹏编写,第五章由西鹏、邱晓荣编写;第六章由宋俊、张宇峰编写,第七章由丁长坤、黄象安编写,第八章由顾晓华、西鹏编写,第九章由沈新元、宋俊编写。全书由西鹏进行统稿,由西鹏、张宇峰、安树林统一定稿。

在本书的编写过程中得到了业内同行的大力支持和帮助,在此深表感谢! 由于作者水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳请读者提出宝贵意见,予以批评指正。

编者

2015 年 5 月

第1版前言

现代科学技术的进步带动了高性能纤维、高功能性纤维以及特种高技术纤维的发展,为传统工业不断技术创新和向高技术产业转化创造了有利条件。

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,正呈现出越来越强的生命力。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;在60年代,出现了各种芳香杂环类有机耐高温纤维,然后又研制出了有机阻燃纤维;在70年代,高强度高模量纤维和各种功能纤维得到了迅速发展;到80年代,高技术纤维的研究和开发达到高峰期,具有各种功能的新型纤维大量出现;到90年代末,高技术纤维在发展中国家得到了广泛的应用。进入21世纪以来,随着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、智能化之外,还在传统高强高模纤维的基础上,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、高功能特种纤维产品。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、体育用品和尖端科学等工业的发展,而且对标志着当前技术革命的光纤通信、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。现在,纺织工业已突破仅能生产服饰面料的范畴,跨入了平面材料及三维立体结构的新格局,呈现出服用、家用、产业三足鼎立的新形势。

为了推动高技术纤维的发展和对高技术纤维知识的普及,我们编写了这本《高技术纤维概论》。本书以高技术纤维问世以来国内外发表的文献、著作和学位论文为主体,对近年来发展的高技术纤维的基本概念、性能特点、发展状况、功能特性、制造工艺与原理以及应用,进行了系统阐述。全书共分三篇九章,具体内容及分工如下:第一章由西鹏、李宗仁、徐乃库编写;第二章由西鹏、张姗、丁长坤编写;第三章由康丁、西鹏、安树林编写;第四章由夏磊、赵苗、安树林编写;第五章由西鹏、邱晓荣、夏磊编写;第六章由张宇峰、段玉情、西鹏编写;第七章由顾晓华、费鹏飞、黄象安编写;第八章由林立刚、张玉忠、赵义平编写;第九章由宋俊、丁长坤、沈新元编写。全书由西鹏进行统稿,由西鹏、张宇峰、安树林统一定稿。

在本书的编写过程中,得到了业内同行的大力支持和帮助,在此深表感谢!由于作者水平有限,此书中难免有疏漏之处,恳请读者提出宝贵意见,予以批评指正。

编者

2011年9月



课程设置指导

课程名称:高技术纤维概论

适用专业:材料科学与工程专业

总学时:45

课程性质:本课程是高分子材料本科专业的专业主干课,是必修课。

课程目的:

1. 掌握高性能纤维、高功能纤维的种类、特点及基本性质,为其应用与开发提供理论基础。
2. 掌握各种高技术纤维的制备方法与加工工艺。
3. 通过了解高技术纤维的研究现状与发展方向、科研与工业化生产面临的关键技术问题,培养学生在新型高技术纤维产品的分子结构设计、合成及表征等方面的创新能力。

课程教学基本要求:

教学环节包括课堂教学、课外作业、课堂练习、阶段性测验和考试。通过各个教学环节重点培养学生对所学知识的理解与运用能力。

1. 课堂教学

在讲授基本知识的基础上采用启发式、引导式教学方式,列举实例来系统讲述各种高技术纤维的分子结构特点、性能以及制备方法间的本质联系。及时更新、补充各种高技术纤维的国内外最新发展动态。详细介绍各章节涉及的专业术语与基本概念并给出英文注释。

2. 课外作业

结合各章节所学的知识,在课后习题的基础上布置适量的专题查阅作业,提高学生对基础知识的掌握程度,拓宽学生的学习视野。

3. 考核

采用课堂练习、阶段性测验进行阶段性考核,以考试作为全面考核。考核形式根据情况采用开卷或闭卷笔试方式,题型一般包括基本概念、填空题、判断题、简答题、论述题和计算题。

 课程设置指导

教学学时分配

章 数	讲 授 内 容	学时分配
第一篇	高性能纤维	24
第一章	高强高模聚乙烯纤维	4
第二章	碳纤维	8
第三章	聚苯硫醚纤维	8
第四章	聚酰亚胺纤维	4
第二篇	高功能纤维	10
第五章	稀土发光纤维	4
第六章	阻燃纤维	3
第七章	导电纤维	3
第三篇	特种高技术纤维	10
第八章	相变储能纤维	4
第九章	生物医学纤维	6
总复习		1
合 计		45

目录

第一篇 高性能纤维

第一章 高强高模聚乙烯纤维	001
第一节 概 述	001
一、高强高模聚乙烯纤维的诞生与发展历程	001
二、国内外高强高模聚乙烯纤维的生产概况	004
第二节 高强高模聚乙烯纤维的制备	006
一、凝胶纺丝法	007
二、固体挤出法	010
三、超拉伸或局部拉伸法	011
四、表面结晶生长法	011
第三节 高强高模聚乙烯纤维的性能与用途	012
一、高强高模聚乙烯纤维的性能	012
二、高强高模聚乙烯纤维的用途	016
第四节 高强高模聚乙烯纤维的性能缺陷及改性	018
一、高强高模聚乙烯纤维的性能缺陷	018
二、高强高模聚乙烯纤维的改性	019
三、主要的表面改性方法比较	021
四、改性高强高模聚乙烯纤维性能表征方法	022
第五节 展 望	022
专业术语与基本概念	023
习题和思考题	024
参考文献	024
第二章 碳纤维	027
第一节 概 述	027
一、碳纤维的基本性能	027
二、碳纤维的分类	028
三、碳纤维的发展历程	029
四、世界碳纤维的需求	031

第二节 碳纤维的制造	033
一、聚丙烯腈基(PAN)碳纤维的制造	033
二、沥青基碳纤维的制造	039
三、黏胶基碳纤维的制造	042
第三节 碳纤维的表面处理	043
一、氧化处理	044
二、涂覆处理	046
三、射线、激光、等离子体处理	047
四、接枝聚合表面处理	047
五、表面生长晶须处理	047
第四节 气相生长碳纤维	048
一、气相生长碳纤维的生长机理	048
二、气相生长碳纤维的催化剂	050
三、气相生长碳纤维的生产工艺	050
四、气相生长碳纤维的结构和性能	051
第五节 活性炭纤维	052
一、活性炭纤维的性能特点	052
二、活性炭纤维的种类	053
三、活性炭纤维的活化机理	053
四、活性炭纤维的生产工艺	054
五、活性炭纤维的应用	055
第六节 PAN 基碳纤维	056
一、PAN 基碳纤维的性能	056
二、PAN 基碳纤维的发展状况	058
三、PAN 基碳纤维的用途	060
第七节 碳纤维复合材料的制备与复合改性	062
一、碳纤维复合材料的力学性能改性	062
二、碳纤维复合材料的摩擦性能改性	063
三、碳纤维复合材料的结晶性能改性	064
四、碳纤维复合材料的导电性能改性	064
五、碳纤维复合材料的导热性能改性	065
专业术语与基本概念	065
习题和思考题	066
参考文献	066

第三章 聚苯硫醚纤维	070
第一节 概 述	070
一、PPS 纤维的结构和性能	070
二、PPS 纤维的应用	076
三、国内外 PPS 纤维的发展现状	078
第二节 线型聚苯硫醚树脂的合成	080
一、PPS 的合成进展	080
二、聚苯硫醚合成进展与机理分析	082
第三节 PPS 纤维的制备	086
一、PPS 熔体的流变性能与可纺性	086
二、PPS 纤维的纺丝工艺	086
第四节 PPS 纤维改性	090
一、PPS 结构改性	091
二、PPS 纤维共混改性	092
三、PPS 纤维新产品的开发	095
四、PPS 纤维的表面改性处理	100
专业术语与基本概念	101
习题和思考题	102
参考文献	103
第四章 聚酰亚胺纤维	106
第一节 概 述	106
一、聚酰亚胺简介	106
二、聚酰亚胺纤维的发展概况	108
三、聚酰亚胺纤维的性能介绍	109
四、聚酰亚胺纤维的应用	110
五、聚酰亚胺纤维的种类	110
第二节 聚酰亚胺纤维的制备	111
一、聚酰亚胺的合成方法	111
二、聚酰亚胺纤维的制备方法	114
第三节 聚酰亚胺纤维的改性	119
一、聚酰亚胺的改性	119
二、聚酰亚胺(PEI)纤维	122
三、PEI 纤维的性能	123
第四节 展 望	123
专业术语与基本概念	124

习题和思考题	124
参考文献	125

第二篇 高性能纤维

第五章 稀土发光纤维	127
第一节 概 述	128
一、稀土元素简介	128
二、稀土资源现状	129
三、稀土发光原理	130
四、稀土发光纤维的定义与分类	132
第二节 稀土发光纤维的制备	134
一、稀土发光纤维的制备流程	134
二、稀土发光纤维的制备	134
第三节 稀土发光纤维的研究进展	139
一、稀土发光材料的研究历史	139
二、国内稀土发光纤维的研究进展	141
三、国外稀土发光纤维的研究进展	142
四、稀土发光纤维的现实意义	142
五、稀土发光纤维在各方面的运用	143
六、稀土发光纤维的主要生产厂家	148
七、稀土发光纤维研究及生产中存在的问题及可能的解决途径	149
第四节 展 望	150
专业术语与基本概念	150
习题和思考题	151
参考文献	151

第六章 阻燃纤维	154
第一节 概 述	154
一、纤维的燃烧性能	154
二、阻燃剂及其阻燃作用	156
三、纤维的阻燃改性方法	159
四、纤维的阻燃性能表征	162
五、阻燃纤维的用途	164
第二节 阻燃黏胶纤维	164
一、概述	164
二、黏胶纤维的热性能和燃烧性	165

三、黏胶纤维的阻燃改性	167
四、阻燃黏胶纤维的应用	168
第三节 阻燃聚酯纤维	169
一、概述	169
二、聚酯纤维的热性能与燃烧性	170
三、聚酯纤维的阻燃改性	170
四、阻燃聚酯纤维的发展与应用	174
第四节 阻燃聚丙烯纤维	176
一、概述	176
二、聚丙烯纤维的热性能和燃烧性	176
三、聚丙烯纤维的阻燃改性	178
四、典型的聚丙烯阻燃纤维及其应用	179
专业术语与基本概念	180
习题和思考题	180
参考文献	180
第七章 导电纤维	183
第一节 概 述	183
一、导电纤维的性能	183
二、导电纤维的发展概况	186
三、导电纤维的导电机理及其影响因素	188
四、导电纤维的应用及其市场前景	192
五、导电纤维的分类	193
第二节 主要导电纤维的制备	193
一、金属系导电纤维的制备	193
二、炭黑系导电纤维的制备	195
三、金属化合物型导电纤维的制备	197
四、聚合物导电纤维的制备	198
第三节 聚苯胺导电纤维	201
一、聚苯胺的结构与性质	201
二、聚苯胺导电机理	201
三、聚苯胺导电纤维的优点	202
四、聚苯胺导电纤维的制备方法	202
第四节 导电纤维目前的生产厂家	205
一、深圳市中晟创新科技股份有限公司	205
二、北京中纺优丝特种纤维科技有限公司	205