



普通高等教育“十五”国家级规划教材

纤维化学与物理

詹怀宇 主编

李志强 蔡再生 副主编



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十五”国家级规划教材

纤维化学与物理

詹怀宇 主编

李志强 蔡再生 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书围绕轻化工(造纸、制革、染整)过程所需的纤维原料,从纤维分子结构、形态结构、聚集态结构及纤维的物理、机械性能和化学性质的角度,详细介绍了植物纤维(纤维素、半纤维素和木素)、动物纤维(胶原蛋白纤维、角蛋白纤维和蚕丝蛋白纤维)、合成纤维(聚酯纤维、聚酰胺纤维、聚丙烯纤维和其他新型纤维)的结构、性能及应用。

本书除可作为轻化工程专业的核心参考教材外,还可作为纺织服装、林产化工、资源科学与工程等相关专业的教学参考书,并可供相关行业从事生产、管理、研究开发的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

纤维化学与物理/詹怀宇主编. —北京:科学出版社,2005

(普通高等教育“十五”国家级规划教材)

ISBN 7-03-015081-3

I. 纤… II. 詹… III. ①纤维化学-高等学校-教材②纤维-物理性能-高等学校-教材 IV. TS102.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 031933 号

责任编辑:刘俊来 王志欣 吴伶俐 王国华 / 责任校对:陈丽珠

责任印制:安春生 / 封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年7月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2005年7月第一次印刷 印张: 36 1/4

印数: 1—3 500 字数: 690 000

定价: 50.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

轻化工程专业是1998年教育部本科专业目录调整时整合而成的高等学校工科本科专业,涵盖原有的制浆造纸工程、皮革工程和染整工程三个工科专业。轻化工程专业涉及的造纸、皮革、纺织服装等工业领域与人民生活息息相关,在我国国民经济中占据重要的地位。近20年来,我国的造纸工业、皮革工业和纺织工业迅速发展,逐渐成为世界纸和纸板、纺织服装、皮革和革制品的生产大国,也是世界最大的纺织服装、皮革和革制品出口国。行业的迅速发展要求我国高等教育培养更多的基础扎实、知识面广、能力强、素质高的轻化工程专业人才。

“纤维化学与物理”是轻化工程专业一门重要的专业基础课程。目前,轻化工程专业涵盖的原有三个专业分别使用各自的有关“纤维化学与物理”的教材,如制浆造纸工程专业使用《植物纤维化学》,主要阐述植物纤维原料的生物结构及其主要组分——纤维素、半纤维素和木素的化学组成、化学结构、物理性能和化学性质;皮革工程专业则使用《胶原纤维》,主要介绍动物纤维的结构和物理化学性能;染整工程专业以往采用《高分子化学与物理》和《纺织物理》等,主要阐述高分子化学基础与物理基础,纺织纤维的化学组成、分子结构及其主要物理机械性能。这些教材既有一定的差异,也有较大的共性,因此,将其整合为轻化工专业(含造纸、皮革、染整)通用的《纤维化学与物理》,既非常必要,也完全可能。事实上,现代造纸工业既以植物纤维为主要原料,也采用一定量的动物纤维和合成纤维,以提高某些纸张的品质或生产某些特殊用途的纸张;纺织工业既用天然纤维,也用合成纤维;制革和革制品工业以动物纤维(胶原蛋白纤维、角蛋白纤维)为主要原料,也结合使用植物纤维和合成纤维。因此,《纤维化学与物理》教材中涉及的纤维包括植物纤维、动物纤维和合成纤维,以拓宽知识面,增强适应性。

2001年11月在青岛召开的教育部轻工食品教学指导委员会第一次会议上,轻化工程专业教学指导分委员会讨论决定编写制浆造纸工程、皮革工程和染整工程三个专业方向通用的专业基础课教材《纤维化学与物理》。2002年5月,本教材被教育部批准为普通高等教育“十五”国家级规划教材。2003年7月在大连召开的轻化工程专业教学指导分委员会会议上,审查通过了编写组提出的《纤维化学与物理》编写大纲,要求于“十五”期间,完成本教材的编写和出版工作。

本教材结构和内容安排如下:

第一章绪论,主要讨论纤维学中的一些共性问题。在介绍纤维的来源与分类后,重点阐述纤维的基本结构和基本性质,包括纤维的分子结构、聚集态结构和形

态结构及纤维的吸湿、溶胀和溶解,纤维的力学性能、光学性能、热学性能、电学性能、燃烧性能和染色性能,还综述了纤维材料在造纸、制革、纺织和其他工业方面的应用,并概述了纤维的鉴别方法。

第二章至第五章属植物纤维部分。第二章植物纤维原料的化学成分及生物结构,首先介绍了植物原料的分类与命名,进而重点阐述植物纤维原料的化学成分、生物结构和细胞结构。第三章纤维素,重点阐述纤维素的分子结构、聚集态结构以及纤维素的物理和化学性质,还结合国内外的技术进展,专门介绍了黏胶纤维、Lyocell 和 Modal 等再生纤维素纤维和功能化纤维素材料。第四章半纤维素,首先介绍了半纤维素的分布、分离与提取,接着重点阐述半纤维素的物理和化学性质,并就半纤维素在造纸、纺织、化工、生物医药等方面的利用做了专门介绍。第五章木素,在叙述木素在植物体内的分布与生物合成机理的基础上,介绍了木素的分离、提取与检测,继而重点阐述了木素的化学结构、物理性质和化学性质。该章对木素-碳水化合物复合体(LCC)的存在与分离做了专门介绍,对蒸煮漂白过程中木素的亲核反应、亲电取代反应、氧化反应和呈色反应做了系统的阐述。

第六章至第八章属动物纤维部分。第六章蛋白质纤维原料的化学成分和生物结构,系统地介绍了蛋白质纤维的基础知识,包括氨基酸及其性质,蛋白质的结构、构象及物理化学性质,蛋白质纤维原料的生物结构与细胞形态。第七章胶原蛋白纤维,首先介绍胶原的分类、分离与制备,继而重点阐述胶原的氨基酸组成与序列、胶原纤维的化学结构、物理性质和化学性质,分析了胶原蛋白纤维的特点。第八章角蛋白和蚕丝蛋白纤维,就这两种蛋白纤维的化学组成、蛋白构象、聚集态结构、物理机械性能和化学性质做了系统的阐述。

第九章至第十二章(第十二章少数内容除外)属合成纤维部分。第九章聚酯纤维,首先介绍了合成纤维的基础知识,包括合成纤维的一般理化性能、常用术语、合成纤维与纺织品及合成纤维的一般生产方法;然后以涤纶为主线,阐述了聚酯纤维的结构与物理、化学性能,对其生产过程也做了概述,并介绍了几种新型聚酯纤维。第十章聚酰胺纤维——锦纶,介绍了锦纶的基本组成物质和生产过程,进而系统地阐述锦纶的结构、物理机械性能、化学性能和染色性能。第十一章聚丙烯腈纤维和其他合成纤维,重点阐述聚丙烯腈纤维(腈纶)的组成、结构与性能,对聚氨酯弹性纤维(氨纶)、聚丙烯纤维(丙纶)、聚乙烯醇纤维(维纶)、聚氯乙烯纤维(氯纶)和聚乙烯纤维也做了概述。第十二章新型纤维,根据国内外发展动态和科技成果,阐述了各种新型纤维,包括差别化纤维(超细纤维、异形纤维、复合纤维等)、高性能纤维(碳纤维、芳纶、PBI、PBO 等)和功能性纤维(传导性纤维、医疗卫生保健用纤维、阻燃纤维、防护功能纤维等)。对新型再生纤维素纤维和再生蛋白质纤维以及聚乳酸纤维也做了简要的介绍。

本书的特点如下:

1) 系统性强。本书从纤维分子结构、形态结构、聚集态结构到纤维的物理机械性能和化学性质,系统地阐述纤维化学与物理的基本概念、基本理论和专门知识。

2) 适应性广。围绕轻化工(造纸、制革、染整)过程所需的纤维原料,详细地介绍植物纤维、动物纤维和合成纤维的结构、性能及其应用,内容丰富,适应性广。除供轻化工程专业作为核心课程的教材外,也可作为纺织服装、林产化工、资源科学与工程等相关专业的教学参考书,并可供相关行业从事生产、管理、研究开发的工程技术人员参考。

3) 先进性好。在强调基本概念、基本理论的基础上,尽可能反映本课程领域国内外的最新进展和本学科及其与相关学科交叉的科技成果,介绍各种纤维新材料、新工艺和新技术。

4) 对重要的术语或名词在开始出现的地方加注英文,为高校学生双语教学提供帮助,也便于其他读者掌握专业英语词汇。

5) 每章均附有习题与思考题,便于读者理解和掌握所学内容,也便于自学。

本教材的编写参考了国内外大量的文献资料、教材和专著,若将其全部列出,将占很大篇幅。因此,只是在每章后列出了主要参考文献。

本教材涉及的纤维种类多,内容有较大的专业覆盖面,但是编者无意让各专业方向的学生在课堂上无遗漏地学习所有的章节,而是提供给各专业方向可以从中挑选适合自己的最需要的内容,以便有针对性地进行教学,而其他内容则可作为进一步拓展知识的参考。

参加本书编写的人员有:华南理工大学詹怀宇、唐爱民(前言,第一、三章),天津科技大学李群(第二章),陕西科技大学李新平(第四章),山东轻工业学院谢益民、陈嘉川(第五章),四川大学李志强(第六至八章),东华大学蔡再生(第九至十一章),北京服装学院黄关葆(第十二章)。全书由詹怀宇任主编,李志强、蔡再生任副主编。

本书编写过程中,得到高等学校轻化工程专业教学指导分委员会的支持和鼓励,也得到许多前辈和同仁的指导和帮助,担任相关课程教学的老师们根据多年的教学实践,提出了许多宝贵的意见,在此一并表示感谢!

本书的编写是轻化工程专业教学改革的一项举措,编者当然希望能反映时代的特征并受到读者的欢迎。但是,由于编者学识水平所限,错误和不当之处在所难免,恳望读者批评指正!

编 者

2005年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 纤维的来源与分类	1
一、天然纤维	1
二、化学纤维	2
第二节 纤维的基本结构	3
一、纤维的分子结构	3
二、纤维的聚集态结构	7
三、纤维的形态结构	12
第三节 纤维的基本性质	13
一、纤维的长度、宽度与密度	13
二、纤维的吸湿、溶胀和溶解	15
三、纤维的力学性能	17
四、纤维的光学性质	21
五、纤维的热性能	25
六、纤维的燃烧性能	27
七、纤维的电学性能	28
八、纤维的染色性能	30
第四节 纤维材料的工业应用	31
一、纤维原料用于造纸工业	31
二、纤维材料用于制革工业	32
三、纤维材料用于纺织工业	33
四、纤维材料用于其他工业	33
第五节 纤维鉴别概述	34
一、显微镜法	34
二、燃烧法	35
三、溶解法	36
四、着色性	36
习题与思考题	37
主要参考文献	38

第二章 植物纤维原料的化学成分及生物结构	39
第一节 植物原料的分类与命名	39
一、植物原料的分类原则	39
二、植物的拉丁学名	39
三、造纸植物纤维原料分类	40
第二节 植物纤维原料的化学成分	40
一、主要成分	41
二、次要成分	45
三、植物纤维原料化学组成比较	47
第三节 植物纤维原料的生物结构与细胞形态	49
一、植物纤维细胞构造	49
二、木材纤维原料的生物结构与细胞形态	55
三、竹子和草类纤维原料的生物结构与细胞形态	67
四、棉花和韧皮纤维原料的生物结构与细胞形态	73
习题与思考题	80
主要参考文献	81
第三章 纤维素	82
第一节 纤维素的分子结构	82
一、纤维素的化学结构	82
二、纤维素链的构象	85
三、纤维素的相对分子质量和聚合度	88
第二节 纤维素的聚集态结构	96
一、纤维素单元晶胞的结晶变体	97
二、纤维素结晶变体的相互转化	103
三、纤维素的聚集态结构模型、结晶度、取向度	105
第三节 纤维素的物理与物理化学性质	111
一、纤维素纤维的吸湿与解吸	111
二、纤维素的润胀与溶解	113
三、纤维素纤维的表面电化学性质	120
四、纤维素的热降解	120
五、纤维素的光降解	123
六、纤维素的机械降解	125
七、纤维素的离子辐射降解	126
第四节 纤维素的化学性质	127
一、纤维素的可及度与反应性	128

二、纤维素的多相反应与均相反应	129
三、纤维素的酸水解降解	131
四、纤维素的碱性降解	132
五、纤维素的氧化降解	134
六、纤维素的酶水解降解	137
七、纤维素的酯化反应	138
八、纤维素的醚化反应	142
九、纤维素的接枝与交联	145
第五节 再生纤维素纤维	149
一、黏胶纤维	149
二、新型溶剂法纤维素纤维——Lyocell 纤维	159
三、其他再生纤维素纤维	162
第六节 功能化纤维素材料	164
一、吸附分离纤维素材料	164
二、膜分离纤维素材料	165
三、高吸水性纤维素材料	166
四、微晶纤维素材料	167
五、液晶纤维素材料	167
六、医用纤维素材料	168
习题与思考题	169
主要参考文献	170
第四章 半纤维素	172
第一节 半纤维素的分布与命名	172
一、半纤维素的分布	172
二、半纤维素的命名	175
第二节 半纤维素的结构	176
一、半纤维素的分离与提取	176
二、半纤维素聚糖的类型及化学结构式	182
三、半纤维素与植物细胞壁中其他组分之间的连接	189
第三节 半纤维素的物理性质	192
一、溶解度	192
二、分支度	193
三、相对分子质量	194
第四节 半纤维素的化学性质	196
一、半纤维素的酸性水解	196

二、半纤维素的碱性降解	198
三、半纤维素的酶降解	200
四、半纤维素在化学制浆中的变化	202
五、半纤维素的化学改性	208
第五节 半纤维素的利用	209
一、半纤维素作为纸浆组分对纸浆及纸张性质的影响	209
二、半纤维素对纺织用纤维的影响	215
三、己糖的利用	216
四、戊糖的利用	216
习题与思考题	222
主要参考文献	222
第五章 木素	226
第一节 木素在植物体内的分布及生物合成机理	226
一、木素的存在	226
二、木素的分类及其分布和组成的不均一性	227
三、木素的生物合成途径	229
第二节 木素的分离和精制	232
一、天然木素的提取	232
二、从浆中分离木素	235
三、从制浆废液中提取木素	237
四、木素-碳水化合物复合体的分离	238
第三节 木素的定量法	239
一、Klason 木素和酸溶木素的测定	239
二、溶液中木素的测定	241
三、基于氧化剂消耗量的木素定量方法	243
第四节 木素的化学结构	244
一、主要木素结构的连接方式	244
二、官能团分析	247
三、化学分解法研究木素的化学结构	251
四、分光法研究木素的基本结构	261
五、木素结构的模型图	270
第五节 木素的物理性质	275
一、一般物理性质	275
二、木素的相对分子质量及木素分子的存在状态	276
三、木素的溶解性	279

四、木素的热性质	280
第六节 木素的化学性质	280
一、木素结构单元的化学反应性质	280
二、木素的亲核反应	282
三、木素的亲电取代反应	296
四、木素的氧化反应	300
五、木素的呈色反应	309
习题与思考题	314
主要参考文献	315
第六章 蛋白质纤维原料的化学成分和生物结构	317
第一节 氨基酸及其性质	317
一、主要氨基酸及其分类	320
二、氨基酸的物理化学性质	322
三、氨基酸的化学反应	328
第二节 蛋白质的结构和构象	330
一、肽键和肽	330
二、蛋白质分子的构象	332
三、蛋白质和多肽的类型	350
第三节 蛋白质的物理化学性质	352
一、两性电解质和等电点	352
二、蛋白质的溶解性	352
三、蛋白质的渗透压和透析	353
四、蛋白质的变性 & 复性	353
第四节 蛋白质纤维原料的生物结构与细胞形态	356
一、动物皮组织学及胶原纤维	356
二、毛的结构与细胞形态	359
三、蚕丝的形成及蚕的生物结构	365
习题与思考题	367
主要参考文献	368
第七章 胶原蛋白纤维	369
第一节 胶原的分类	369
一、胶原类型	369
二、几种常见的胶原	370
三、胶原的分离与制备	372
第二节 胶原的化学结构	374

一、胶原的氨基酸组成和序列	375
二、胶原的二级结构和分子间交联	377
三、胶原的超分子聚集	380
四、胶原纤维的形成和结构特征	387
第三节 胶原的物理性质	388
一、胶原基本物理常数	388
二、胶原的湿热稳定性和收缩温度	389
三、溶胀	389
四、旋光性	390
五、表面电性质	390
六、胶原的应力-应变模型	390
第四节 胶原的化学性质	391
一、酸、碱对胶原的作用	391
二、盐类对胶原的作用	391
三、酶对胶原的作用	392
四、胶原的交联改性	393
第五节 胶原纤维的应用	395
一、皮革和毛皮制造	395
二、明胶制造	395
三、生物医学应用	395
习题与思考题	396
主要参考文献	396
第八章 角蛋白和蚕丝蛋白纤维	399
第一节 角蛋白和蚕丝蛋白的化学组成和分子结构	399
一、角蛋白的化学组成和分子结构	399
二、丝蛋白的化学组成和结构	412
第二节 角蛋白中间纤丝和蚕丝芯蛋白的聚集态结构	422
一、角蛋白中间纤丝的聚集状态	422
二、蚕丝芯蛋白的聚集态结构	429
第三节 毛和蚕丝的物理机械性能	433
一、毛的物理机械性能	433
二、丝的物理机械性能	435
第四节 毛和蚕丝的化学性质	436
一、毛的化学性质	436
二、丝的化学性质	446

习题与思考题	447
主要参考文献	448
第九章 聚酯纤维	451
第一节 合成纤维的概述	451
一、合成纤维的一般理化性能	451
二、常见术语	453
三、合成纤维与纺织品	460
四、合成纤维的生产方法简述	461
第二节 聚酯纤维概述	462
第三节 涤纶的基本组成物质及其生产概述	463
一、聚对苯二甲酸乙二酯的制备	464
二、涤纶的生产过程	464
第四节 涤纶的结构	465
一、涤纶的分子结构	465
二、涤纶的形态结构	466
三、涤纶的聚集态结构	467
第五节 涤纶的物理性能	468
一、涤纶的热性能	468
二、涤纶的玻璃化温度	468
三、涤纶的物理机械性能	469
四、涤纶的吸湿性	470
五、涤纶的静电现象	470
六、涤纶的起毛起球现象	471
第六节 涤纶的化学性能	472
一、酸对涤纶的作用	472
二、碱对涤纶的作用	472
三、氧化剂和还原剂对涤纶的作用	473
四、溶剂对涤纶的作用	473
五、染色性能	474
六、低聚物及其对染色性能的影响	474
七、其他理化性能	475
第七节 其他聚酯纤维	475
一、阳离子染料可染聚酯纤维	475
二、常温常压可染聚酯纤维	476
三、PPT 纤维	476

四、PBT 纤维	477
五、PEN 纤维	477
习题与思考题	478
主要参考文献	478
第十章 聚酰胺纤维——锦纶	480
第一节 锦纶的基本组成物质及其生产概述	481
一、锦纶 66 的合成	482
二、锦纶 6 的合成	482
三、锦纶的生产过程	483
第二节 锦纶的结构	485
一、锦纶的分子结构	485
二、形态结构	485
三、聚集态结构	486
第三节 锦纶的物理机械性能	486
一、锦纶的吸湿	486
二、锦纶的热转变点	486
三、锦纶的耐热性	488
四、锦纶的机械性能	488
五、锦纶的耐光性	489
第四节 锦纶的化学性能	489
第五节 锦纶的染色性能	489
习题与思考题	490
主要参考文献	490
第十一章 聚丙烯腈纤维和其他合成纤维	492
第一节 腈纶的基本组成物质及其生产概述	492
一、腈纶的分子结构	492
二、丙烯腈三元共聚物的合成	494
三、腈纶的生产过程	494
第二节 腈纶的结构	496
一、腈纶的形态结构	496
二、腈纶的聚集态结构	496
第三节 腈纶的性能	497
一、腈纶的吸湿性	497
二、腈纶的机械性能	497
三、腈纶的玻璃化温度	498

四、腈纶的热弹性	498
五、腈纶的热稳定性	499
六、腈纶的燃烧性	499
七、腈纶的化学性能	499
八、腈纶的染色性	500
九、耐光、耐晒和耐气候性	500
十、腈纶的其他性能	500
第四节 其他合成纤维	500
一、聚氨酯弹性纤维	500
二、聚丙烯纤维	504
三、聚乙烯醇纤维	508
四、聚氯乙烯纤维	512
五、聚乙烯纤维	514
习题与思考题	515
主要参考文献	515
第十二章 新型纤维	517
第一节 差别化纤维	517
一、超细纤维	517
二、异形纤维	521
三、复合纤维	524
四、染色改性纤维	525
五、高收缩纤维	527
六、低熔点纤维	528
第二节 高性能纤维	529
一、碳纤维	529
二、芳香族聚酰胺纤维	533
三、超高相对分子质量聚乙烯纤维	536
四、聚四氟乙烯纤维	537
五、聚苯并咪唑纤维	538
六、聚苯并双噁唑纤维	539
第三节 功能性纤维	540
一、传导性纤维	540
二、医疗卫生保健用纤维	541
三、阻燃纤维	550
四、防护功能纤维	551

五、水溶性纤维	555
六、变色纤维	556
第四节 其他新型纤维	558
一、聚乳酸纤维	558
二、大豆蛋白改性纤维	559
三、竹纤维	560
四、新型纤维素纤维及其他再生纤维素类纤维	561
五、其他再生蛋白质纤维	561
习题与思考题	563
主要参考文献	563

第一章 绪 论

第一节 纤维的来源与分类

纤维(fiber)是形态学上的概念,是指一种长度与截面直径之比较大、具有一定柔性和强度的细长物体。由于新型纤维材料的不断出现,要给纤维一个确切的定义很困难。本书涉及的纤维是指造纸、制革、纺织染整等行业所用的纤维。

按原料进行分类,纤维通常可分为天然纤维(包含植物纤维和动物纤维)和化学纤维(包括人造纤维和合成纤维)。现分述如下。

一、天然纤维

1. 植物纤维

自然界中的植物原料年复一年地不断生长和更新,因此,植物纤维是自然界中最丰富的可再生资源。在生物界中,结合于有机体中的碳高达 $27 \times 10^{10} \text{t}$,其中99%以上的碳来自植物,约40%的植物中的碳是结合在纤维素中的,这意味着植物界中纤维素总量为 $26.5 \times 10^{10} \text{t}$ 。

植物纤维原料品种繁多,大体上可分为两类:木材纤维原料(针叶木、阔叶木)和非木材纤维原料(竹类、禾草类、韧皮类、籽毛类等)。

植物纤维是造纸工业的主要原料,许多植物纤维(如棉、麻类)也是纺织工业的重要原料,革制品工业也离不开植物纤维。

2. 动物纤维

动物纤维包括胶原纤维、角蛋白纤维和蚕丝蛋白纤维。

胶原纤维是动物皮板的主要成分,具有良好的亲和性和穿着舒适性,其强度高,并具有抑菌作用。胶原纤维是皮革工业的重要原料,制革的全过程是将胶原纤维处理加工成能适应人们需要的产品的过程。胶原蛋白是制造明胶的原料,在生物医学上也有广泛的应用。

角蛋白纤维(毛纤维)主要是羊毛。羊毛是最早利用的纺织纤维之一,至今仍是纺织工业的重要原料。羊毛纤维制品具有许多优良特性,如光泽柔和、手感丰富、弹性和悬垂性良好、不易沾污、吸湿性强、保暖性好、抗皱性较好、耐磨性优良等。因此,羊毛是最高档的纺织纤维之一。除羊毛纤维外,还有骆驼毛、兔毛、马海毛、山羊绒、牦牛绒等。