



普通高等教育“十一五”国家级规划教材(本科)

纤维化学与物理

■ 蔡再生 主编

 中国纺织出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材(本科)

纤维化学与物理

蔡再生 主编



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书简明地介绍了高分子化学、高分子物理的基础知识;概要地总结了纺织纤维的一些基本理化性能;系统地阐述了纤维素纤维、蛋白质纤维、合成纤维的化学组成、形态结构、聚集态结构和性能。本书的内容既突出纺织纤维的基本知识和性能,又兼顾到纺织纤维的最新发展状况。

本教材是轻化工程(染整工程)专业系列教材之一,对于在相关领域从事学习和研究的硕士生、科研工作者、工程技术人员也有很好的参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

纤维化学与物理/蔡再生主编. —北京:中国纺织出版社, 2009. 3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 本科

ISBN 978-7-5064-5431-5

I. 纤… II. 蔡… 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(2008)第 205886 号

策划编辑:冯 静 责任编辑:范雨昕 责任校对:余静雯
责任设计:李 然 责任印制:何 艳

中国纺织出版社出版发行

地址:北京东直门南大街 6 号 邮政编码:100027

邮购电话:010-64168110 传真:010-64168231

<http://www.c-textilep.com>

E-mail: faxing@c-textilep.com

北京画中画印刷有限公司印装 各地新华书店经销

2009 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:20.25

字数:429 千字 定价:38.00 元(附光盘 1 张)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

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,已成为当今本科教育的主题。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。2005年1月,教育部颁发了教高[2005]1号文件“教育部关于印发《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》”(以下简称《意见》),明确指出我国本科教学工作要着眼于国家现代化建设和人的全面发展需要,着力提高学生的学习能力、实践能力和创新能力。《意见》提出要推进课程改革,不断优化学科专业结构,加强新设置专业建设和管理,把拓宽专业口径与灵活设置专业方向有机结合。要继续推进课程体系、教学内容、教学方法和手段的改革,构建新的课程结构,加大选修课程开设比例,积极推进弹性学习制度建设。要切实改变课堂讲授所占学时过多的状况,为学生提供更多的自主学习的时间和空间。大力加强实践教学,切实提高大学生的实践能力。区别不同学科对实践教学的要求,合理制定实践教学方案,完善实践教学体系。《意见》强调要加强教材建设,大力锤炼精品教材,并把精品教材作为教材选用的主要目标。对发展迅速和应用性强的课程,要不断更新教材内容,积极开发新教材,并使高质量的新版教材成为教材选用的主体。

随着《意见》出台,教育部组织制定了普通高等教育“十一五”国家级教材规划,并于2006年8月10日正式下发了教材规划,确定了9716种“十一五”国家级教材规划选题,我社共有103种教材被纳入国家级教材规划,其中本科教材56种,高职教材47种。56种本科教材包括了纺织工程教材13种、轻化工程教材16种、服装设计与工程教材24种、美术教材2种,其他1种。为在“十一五”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两个特点:

(1)围绕一个核心——育人目标。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,并于章后附有复习指导及形式多样的习题等,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。

(2)突出一个环节——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。

(3)实现一个立体——多媒体教材资源包。充分利用现代教育技术手段,将授课知识点制作成教学课件,以直观的形式、丰富的表达充分展现教学内容。

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

纤维化学与物理是纺织化学与染整工程的专业基础。

轻化工程(染整工程)专业教学的核心之一是使学生理解和把握纺织纤维的结构、性能及它们的相互关系。纺织纤维的发展很快,内容很丰富,一本教科书不可能涵盖所有内容;加上专业教学的改革,学时数趋于紧缩,一门课也不可能涉及所有内容;旨在以培养能力为主的高校本科生的教学理念也不提倡面面俱到。为此,在编写本书的过程中,以贯彻突出重点、兼顾最新发展为原则。

《纤维化学与物理》是编者参考国内外的众多专著和研究资料,结合多年教学、科研体会编写而成的。它是轻化工程专业系列教材之一,对于在相关领域学习和研究的硕士生、科研工作者、工程技术人员也有很好的参考作用。

高分子化学与物理是纺织纤维科学的基础,为了使學生能很好地掌握纤维科学的知识和理论,更好地为纺织染整生产和科研服务,必须有高分子化学和物理方面的基础知识作为铺垫。因课时数所限,大多数高校染整工程专业的教学大纲中不专门开设高分子化学、高分子物理课程,为此,本书前两章首先介绍高分子化学基础和g分子物理基础。

全书共分六章:高分子化学与物理基础两章,纤维共性知识一章,纤维素纤维、蛋白质纤维和合成纤维各一章。东华大学的葛风燕老师编写了第五章第二节羊毛纤维;浙江理工大学的郑今欢老师编写了第五章第三节蚕丝纤维;河北科技大学的崔淑玲老师编写了第四章第五节中的彩棉纤维、竹纤维,第六节中的 Lyocell、Modal,第六章第九节高性能合成纤维;东华大学的蔡再生老师编写了全书的其余部分,并负责全书的统稿和审校。

另外,本书编写过程中参考了大量国内外文献资料和专著,限于篇幅只列出了主要的参考文献。研究生程曼丽、曹振博参与了部分文字输入和资料收集工作,在此表示感谢!

为了便于教学和自学,除了在首次出现专业术语或名词的地方加注英文、每章后附有思考题外,还附有复习指导。另外,本书还配备课堂教学 PPT 课件,以供授课教师教学参考。

由于编者水平有限,书中难免存在不足或不妥之处,欢迎读者批评指正。

蔡再生

2009年1月



课程设置指导

课程名称 纤维化学与物理
英文名称 Chemistry & Physics of Fibers
适用专业 轻化工程(染整工程)
总学时 48

课程性质 本课程是高等工科大学轻化工程专业教学计划中的一门重要专业基础课,是必修课。

课程目的

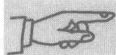
通过这门课程的学习,使学生获得必要的高分子化学及物理的基础知识,熟悉和掌握各类常用纺织纤维的分子结构、形态结构、超分子结构以及它们的力学、化学、染色等性能和性质,为学习后续的染整工艺原理课程以及今后从事科研和生产奠定必要的理论基础。

课程基本要求

1. 熟悉和掌握高分子化学与物理的基本概念、基本理论。
2. 了解高分子物的聚合方法。
3. 理解各种纺织纤维的理化性能。
4. 熟悉和掌握各种常规纤维的化学组成、结构和性能。
5. 了解各种纺织纤维的鉴别方法。
6. 了解常见特种纤维的结构和性能特征。

课程教学基本要求

1. 本课程教学要求学生应具有一定化学和物理的基础知识。
2. 学生预习、复习,上课,做习题时间比例为1:1:1。
3. 理论教学和实验教学可分开进行,也可以结合进行,视各校具体情况而定。
4. 进行课堂教学过程中,最好组织学生参观化纤厂、纺织厂、染整厂,增加学生对纺织产业链的感性认识,以提高教学效果。



教学环节学时分配表

章 目	讲授内容	学时分配
第一章	高分子化学基础	7
第二章	高分子物理基础	15
第三章	纺织纤维的基本理化性能	3
第四章	纤维素纤维	8
第五章	蛋白质纤维	7
第六章	合成纤维	8
合 计		48

第一章 高分子化学基础	1
第一节 高分子物的基本概念	1
第二节 高分子物的命名和分类	2
一、高分子物的命名	2
二、高分子物的分类	3
第三节 高分子物的基本合成反应	4
一、逐步聚合反应	5
二、链式聚合反应	13
三、逐步聚合与链式聚合的比较	22
四、共聚合反应	22
第四节 聚合方法概述	27
一、逐步聚合反应的实施方法	27
二、链式聚合反应的实施方法	29
第五节 高分子物的相对分子质量及其分布	31
一、高分子物的相对分子质量与其物理性能	31
二、高分子物平均分子量的含义	32
三、高分子物相对分子质量的测定方法	33
四、高分子物的相对分子质量多分散性和相对分子质量分布	39
复习指导	41
思考题	42
参考文献	43
第二章 高分子物理基础	45
第一节 高分子物的结构层次	45
第二节 高分子链的结构	47
一、高分子链的近程结构	47
二、高分子链的远程结构	48
第三节 高分子物的聚集态结构	52
一、有关概念	52
二、高分子聚集态结构模型	55

三、晶体的基本概念及其测定	59
四、取向的基本概念及其测定	68
五、高分子物的分子运动和热转变	74
六、高分子混合物的聚集态结构	80
第四节 高分子物的力学性能	81
一、高分子物力学性能的分类	81
二、高分子物的高弹性	82
三、高分子物的力学松弛特性——黏弹性	84
四、高分子物的强迫高弹性与脆化	88
五、结晶高分子物拉伸过程的形变特性	89
六、高分子物的力学强度	90
第五节 高分子物的流变性	90
一、高分子物熔体的流变特性	90
二、牛顿型流体和黏度	91
三、非牛顿型流体	92
第六节 高分子溶液	94
一、高分子溶液的特点	94
二、高分子溶液的性质与其浓度的关系	95
三、高分子物溶解热力学	95
四、高分子物的溶解过程及其特点	96
五、高分子物溶剂的选择	97
第七节 高分子物结构和性能测定方法概述	99
一、高分子物结构的测定方法	99
二、高分子物分子运动(转变与松弛)的测定	100
三、高分子物性能的测定	100
复习指导	101
思考题	101
参考文献	103
第三章 纺织纤维总论	105
第一节 纺织纤维的分类	105
第二节 纺织纤维与纺织品	106
一、服用纺织纤维及其产品	106
二、装饰用纺织纤维及其产品	106
三、产业用纺织纤维及其产品	107
四、纤维性能与产品的用途	107

第三节 纺织纤维的物理性能	109
一、纤维的长度	109
二、纤维的粗细度及其表征方法	110
三、纤维的横截面及纵向形态结构	112
四、纤维的卷曲性能	113
第四节 纺织纤维的吸湿性	113
一、空气湿度的表示方法	114
二、标准大气	114
三、纤维的吸湿现象及其表征	115
四、纤维的溶胀	119
第五节 纺织纤维的力学性质	120
一、有关力学术语	121
二、纤维的拉伸性质	122
第六节 纺织纤维的热学性质	136
一、比热容	136
二、导热性	137
三、耐热性	138
第七节 纺织纤维的燃烧性	139
一、点燃温度和火焰最高温度	139
二、极限氧指数	139
三、燃烧特性	140
第八节 纺织纤维的电学性质	141
一、纤维的导电性能	141
二、静电及消除	144
第九节 纺织纤维的光学性质	146
一、纤维的折光指数与双折射	146
二、纤维的光泽	147
三、纤维的耐光性	147
四、二色性	148
第十节 纺织纤维的鉴别方法	148
一、手感目测法	148
二、显微镜法	149
三、燃烧法	149
四、溶解法	149
五、着色法	150

六、系统鉴别法	151
复习指导	152
思考题	152
参考文献	153
第四章 纤维素纤维	155
第一节 棉纤维的形态结构及组成	155
一、棉花品种	155
二、棉纤维的形态结构	156
三、棉纤维的组成	157
第二节 纤维素纤维的分子链结构和链间结构	158
一、纤维素纤维大分子的近程结构	158
二、纤维素纤维大分子的远程结构	159
三、纤维素纤维的聚集态结构	160
第三节 纤维素纤维的物理性质	165
一、纤维素纤维的吸湿性	165
二、纤维素纤维的溶胀与溶解	165
第四节 纤维素纤维的化学性质	167
一、碱对纤维素纤维的作用	167
二、液氨对纤维素纤维的作用	169
三、铜氨氢氧化物对纤维素纤维的作用	170
四、酸对纤维素纤维的作用	171
五、氧化剂对纤维素纤维的作用	173
六、热对纤维素纤维的作用	175
七、光对纤维素纤维的作用	176
八、纤维素纤维的酯化、醚化反应	176
第五节 其他天然纤维素纤维	177
一、彩棉纤维	177
二、麻纤维	178
三、天然竹纤维	181
第六节 再生纤维素纤维	182
一、黏胶纤维	182
二、Lyocell	187
三、Modal(莫代尔)	188
四、再生竹纤维	189
五、铜氨纤维	190

第七节 醋酯纤维	191
复习指导	191
思考题	191
参考文献	193
第五章 蛋白质纤维	194
第一节 蛋白质的基础知识	194
一、蛋白质的化学组成	194
二、氨基酸	195
三、蛋白质分子的结构层次	197
四、维系蛋白质分子构象的作用力	200
五、蛋白质的主要性质	202
第二节 羊毛纤维	206
一、羊毛的结构特征	206
二、羊毛的表观性状	211
三、羊毛的近程结构	213
四、羊毛的远程结构	213
五、羊毛的聚集态结构	214
六、羊毛纤维的性能	214
第三节 蚕丝纤维	223
一、蚕丝的形成和形态	223
二、蚕丝的组成和结构	224
三、蚕丝的主要性能	227
四、绢丝	234
五、丝素蛋白的其他用途	234
第四节 其他动物纤维	234
一、蜘蛛丝	234
二、兔毛	235
三、马海毛	237
四、山羊绒	238
五、骆驼绒	239
六、牦牛绒	240
第五节 蛋白复合纤维	242
一、大豆蛋白复合纤维	242
二、牛奶蛋白复合纤维	242
三、蚕蛹蛋白复合纤维	243

复习指导	243
思考题	243
参考文献	244
第六章 合成纤维	246
第一节 合成纤维的基础知识	246
一、合成纤维的共性	246
二、常见术语	247
三、合成纤维与纺织品	253
四、合成纤维生产方法简述	254
第二节 聚酯纤维	255
一、概述	255
二、涤纶	256
三、其他聚酯纤维	263
第三节 聚酰胺纤维	265
一、概述	265
二、聚酰胺 66 纤维(锦纶 66)和聚酰胺 6 纤维(锦纶 6)	267
第四节 聚丙烯腈纤维	272
一、概述	272
二、聚丙烯腈纤维的生产原理	273
三、聚丙烯腈纤维的结构特征	273
四、聚丙烯腈纤维的性能	274
五、超吸水性变性腈纶“LANSEAI”	277
六、阻燃腈纶	277
第五节 聚丙烯纤维	277
一、概述	277
二、聚丙烯纤维的生产原理	278
三、聚丙烯纤维的形态结构和聚集态结构	279
四、聚丙烯纤维的性能	280
五、细旦聚丙烯纤维	281
六、易染聚丙烯纤维	281
第六节 聚氨酯弹性纤维	282
一、概述	282
二、聚氨酯弹性纤维的生产原理	283
三、聚氨酯弹性纤维的结构与弹性	283
四、聚氨酯弹性纤维的性能	285

五、高吸放湿聚氨酯纤维	286
第七节 聚乙烯醇缩醛化纤维	286
一、概述	286
二、聚乙烯醇缩醛化纤维的生产原理	286
三、聚乙烯醇缩醛化纤维的结构	288
四、聚乙烯醇缩醛化纤维的性能	288
第八节 聚氯乙烯纤维	290
一、概述	290
二、聚氯乙烯的结构	291
三、聚氯乙烯纤维的性能	291
第九节 高性能合成纤维	292
一、芳香族聚酰胺纤维	293
二、超高分子量聚乙烯(UHMWPE)纤维	294
三、聚苯并双噁唑(PBO)纤维	295
四、聚苯并咪唑(PBI)纤维	297
五、碳纤维	298
复习指导	301
思考题	301
参考文献	303

第一章 高分子化学基础

高分子化学是研究高分子物合成和反应的一门科学。高分子合成涉及高分子物的合成机理、动力学、合成反应与高分子的分子结构、相对分子质量及其相对分子质量分布之间的关系等内容。高分子反应涉及高分子的化学反应、改性和防老化等内容。作为轻化工程(染整方向)专业的学生掌握高分子化学的基本理论知识是非常重要的。本章主要介绍高分子化学的基本概念、主要合成反应及其实施方法,高分子物的相对分子质量以及相对分子质量分布等内容,突出高分子科学与纺织、染整等学科的关系^[1]。

第一节 高分子物的基本概念^[1-6]

高分子化合物 (macromolecule),简称高分子物是一种由许多结构相同的简单单元通过共价键重复连接而成的相对分子质量很大的(一般自几万至几十万,几百万,甚至上千万,而普通低分子物质的相对分子质量只有几十或几百),分子链较长(一般为 $10^3 \sim 10^4$ nm)的化合物,亦称大分子化合物、聚合物(polymer)或高聚物(high polymer)。与低(小)分子化合物相比,高分子化合物显示出许多特殊的性能:

(1)高分子物固体的力学性质是固体弹性和液体黏性的综合,而且,在一定条件下又表现出相当大的可逆力学变形(高弹性)。

(2)恒温下,能抽丝或制成薄膜,即高分子材料会出现高度各向异性。

(3)高分子物在溶剂中能表现出溶胀特性。

(4)高分子物溶液的黏度特别大。

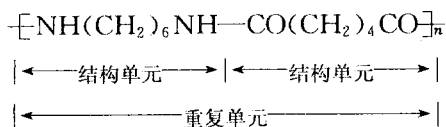
这些特性取决于组成高分子的原子或基团的本性及其数量(相对分子质量)、空间的排列(几何结构)、大分子形态(运动中的大分子的统计特性)以及聚集态结构。

对于大多数高分子物,尤其是合成高分子物均有相同的化学结构多次重复连接而成的特点,但对化学结构组成多样、排列顺序严格的生物高分子,则仍称其为高分子或大分子。

对于聚氯乙烯 $[-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-]_n$ 这样的聚合物,括号内的化学结构称为结构单元(structure

unit),由于聚氯乙烯分子链可以看成由相同结构单元的多次重复而构成,因此,括号内的化学结构也可称为重复单元(repeating unit)或链节(chain element)。n代表重复单元的数目,称为聚合度(degree of polymerization, DP)。

合成高分子物的起始原料叫单体(monomer)。聚氯乙烯是由氯乙烯合成的,因此,氯乙烯是聚氯乙烯的单体。对比聚氯乙烯的链节与单体氯乙烯的结构,两者的原子种类、个数相同,仅电子结构不同。因此,其结构单元也称为单体单元(monomer)。对于有些非人工合成或不能直接由单体合成的高分子物,与单体单元相对应的单体只能称为假想单体。如纤维素的假想单体是葡萄糖,聚乙烯醇的假想单体是乙烯醇。但锦纶 66,其化学结构式有另一种特征:



式中的结构单元分别是一 $\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}$ —和— $\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}$ —,比其单体己二胺和己二酸要少一些原子,因此,这种结构单元不宜再称为单体单元。另外,结构单元和重复单元(链节)的含义也不再相同。

由聚合物的分子式可以看到,聚合物的相对分子质量 M 等于重复单元的相对分子质量 M_0 ,与聚合度 DP (链节数 n)的乘积。即:

$$M = n \cdot M_0 \quad (1-1)$$

例如,聚氯乙烯相对分子质量为 $5 \times 10^4 \sim 15 \times 10^4$,其重复单元的相对分子质量为 62.5,由此可算得平均聚合度为 $800 \sim 2400$ 。就是说一个聚氯乙烯分子约由 $800 \sim 2400$ 个氯乙烯单元构成。

但当结构单元是由两种单体组成时,如锦纶 66 等,根据分子式来计算相对分子质量 M 时,情况较复杂,一般有两种不同的计算方法:一种是把 $\left[\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}-\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CO} \right]_n$ 视为锦纶 66 的重复单元,计算该重复单元的 M_0 值,再按式(1-1)求出大分子的相对分子质量 M ;另一种是既不用— $\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}$ —的 M_0 ,也不用— $\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}$ —的 M_0 ,而是用这两种结构单元 M_0 的平均值来计算相对分子质量。

例如,锦纶 66 的结构单元总数 n' 为 120,可以按下列方法求它的相对分子质量 M 。因为— $\text{NH}(\text{CH}_2)_6\text{NH}$ —的 M_0 为 114;— $\text{CO}(\text{CH}_2)_4\text{CO}$ —的 M_0 为 112,则两种结构单元的平均值 $M_0 = \frac{114+112}{2} = 113$,因此, $M = n' \cdot M_0 = 120 \times 113 = 13560$ 。

这里,两种结构单元数 n' 为重复单元数 n 的 2 倍,即 $n' = 2n$ 。在计算时应注意。

总之,聚合度、链节数和相对分子质量,都可作为表征聚合物分子大小的参数。聚合物包括高聚物 and 低聚物。若聚合物的一系列物理性能不再随分子链中重复单元数的增减而变化时就称为高聚物,反之为低聚物。

第二节 高分子物的命名和分类^[1,3,6]

一、高分子物的命名

高分子物种类繁多,为便于研究和应用,就必须进行命名,但迄今高分子物的命名尚无统一