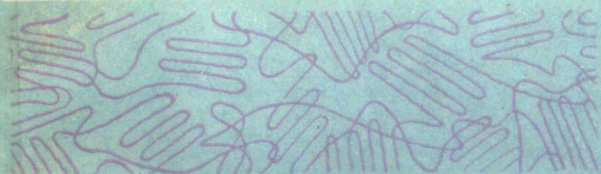
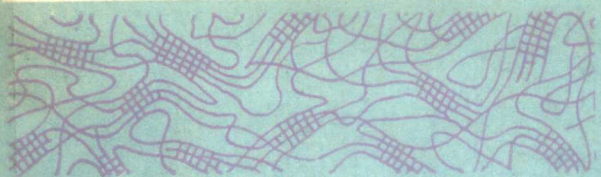


纺织纤维的结构和性能

吴宏仁 吴立峰 编

纺织工业出版社



纺织纤维的结构和性能

吴宏仁 吴立峰 编

纺织工业出版社

内 容 提 要

本书深入浅出地介绍了纤维的结构和性能之间的关系，并较详细地介绍了纤维素纤维、羊毛、蚕丝、涤纶、锦纶、腈纶、维纶、丙纶等纤维的结构和性能的特征；简要地介绍了某些结构和性能指标的表征方法和测试原理。

本书内容比较通俗易懂，可供具有中专程度以上的、从事化学纤维生产和纺织、染整等加工的工程技术人员阅读，也可供纺织院校的师生阅读和参考。

责任编辑：高玉梅

纺织纤维的结构和性能

吴宏仁 吴立峰 编

*

纺织工业出版社出版
(北京东长安街12号)

北京纺织印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092毫米 1/32 印张：7 24/32 字数：171千字

1985年2月 第一版第一次印刷

印数：1—11,000 定价：1.15元

统一书号：15041·1305

序 言

大力发展化学纤维，以满足全国人民日益增长的需要，是政府的一项英明决策。我国石油资源丰富，这是发展化学纤维很为重要的基础；而化学纤维工业的大幅度发展，又能为我国社会主义建设积累必要的资金。

促进工业发展的一个很为重要的方面是必须依靠现代科学技术。也就是要使基础理论、材料科学和应用技术三者密切结合，才能使丰富的资源得到最好的利用，获得最高的经济效益。在化学纤维的生产和科研工作中，同样须要掌握好基础理论。为此，我们在北京的化纤行业中组织了两次专题讲座，约请吴宏仁、吴立峰两位老师系统讲授纤维结构和性能的关系。两位老师以几种主要的天然纤维和化学纤维为实例，通过讲述它们的结构特征，阐述其化学和物理-机械性能；并以深入浅出的方式，以理论结合实际，阐明它们之间的各种关系，对于生产和应用起到了指导作用，产生了很好的效果。为了进一步普及理论知识，纺织工业出版社请两位老师对讲稿进行修改和充实，并正式加以出版。可以相信，这本书的出版对化纤和纺织、染整专业的科技人员会有很大帮助。

乐 嗣 传

一九八三年三月

编 者 的 话

1981 和 1982 年间，我们接受北京纺织工程学会化纤分会的约请，为在北京从事化纤生产和纺织、染整加工的工程技术人员，作了《纤维结构和性能的关系》的专题讲座。事后鉴于国内目前尚少这类读物，在学会的热情鼓励和帮助下，使我们得以鼓起勇气编写这本书。我们对原讲座的内容重新进行了整理和补充，力求对纤维结构和性能之间的关系，做到深入浅出地进行阐述。但限于编者的水平，缺点和错误在所难免。尚请有关专家和读者批评指正。

本书的第一、二、三、六章由吴宏仁同志执笔编写，第四、五章由吴立峰同志执笔编写；最后由吴宏仁同志统稿。

在本书的编写过程中，曾得到北京化学纤维研究所副所长乐嗣传高级工程师，总工程师陆白天高级工程师和北京纺织工程学会化纤分会总干事张海迎工程师等的热情鼓励，全书写成后，又曾请北京化纤工学院化纤教研室姜胶东老师通读，提出了很好的修改意见。特此一并表示深切的感谢！

编 者

封面设计：常燕生

科技新书目： 88—123

统一书号：15041·1305

定 价： 1.15 元

目 录

引言	(1)
第一章 纤维的链结构	(3)
第一节 链的化学结构	(4)
第二节 链的chemical和立体的异构	(10)
一、链的支化异构	(10)
二、链的顺序异构	(13)
三、链的结构异构	(15)
四、链的旋光异构	(15)
五、链的几何异构	(18)
第三节 链的长度——分子量及其分布	(19)
一、长链分子的分子量	(19)
二、分子量分布	(20)
第四节 链的柔顺性	(27)
一、内旋转活化能	(27)
二、均方末端距	(31)
三、均方回转半径	(35)
四、链段长度	(35)
五、玻璃化温度	(36)
第二章 纤维的聚集态结构	(40)
第一节 分子间作用力	(40)
第二节 纤维的晶态结构	(45)
一、结晶学的基本概念	(47)

二、成纤高聚物的结晶结构·····	(51)
三、纤维的结晶组织和结构模型·····	(64)
四、成纤高聚物的结晶过程·····	(69)
五、常见几种测定纤维结晶度的方法·····	(73)
六、晶态结构对纤维性能的影响·····	(78)
第三节 纤维的非晶态结构 ·····	(81)
一、成纤高聚物非晶态结构的模型·····	(81)
二、成纤高聚物非晶态(区)序态的表征·····	(82)
三、非晶态(区)结构对纤维性能的影响·····	(87)
第四节 纤维的取向结构 ·····	(88)
一、拉伸过程中纤维取向结构的变化·····	(88)
二、表征纤维取向度的参数及其测定·····	(93)
三、取向结构对纤维性能的影响·····	(104)
第三章 纤维的形态结构 ·····	(105)
第一节 纤维的多重原纤结构·····	(105)
第二节 纤维断面的形状·····	(108)
第三节 纤维断面的结构·····	(117)
第四节 纤维断面的组成·····	(118)
第五节 纤维结构中的空洞·····	(120)
第四章 纤维的力学性能及其表征 ·····	(123)
第一节 纤维的应力-应变曲线·····	(123)
一、纤维应力-应变曲线的类型及其与性能的关系·····	(123)
二、纤维应力-应变曲线的分子运动论解释·····	(127)
第二节 纤维主要力学性能指标及其表征方法·····	(128)
一、断裂强度和断裂伸长·····	(128)
二、初始(弹性)模量·····	(131)

三、屈服点·····	(132)
四、结节强度和环扣强度·····	(132)
五、断裂功·····	(131)
六、回弹性(弹性回复)·····	(136)
七、耐磨性和耐多次变形性·····	(142)
八、抗扭转性和抗压缩性·····	(147)
第三节 测试条件对纤维力学性能指标的影响·····	(149)
一、湿度的影响·····	(149)
二、温度的影响·····	(150)
三、试样夹持长度的影响·····	(152)
四、拉伸速度的影响·····	(152)
第五章 纤维其他理化性能及其表征 ·····	(154)
第一节 纤维的吸湿性·····	(154)
一、吸湿性指标·····	(154)
二、吸湿机理·····	(156)
三、吸湿对纤维性能的影响·····	(158)
第二节 纤维的电学性能·····	(160)
一、纤维的电阻·····	(160)
二、纤维的静电效应·····	(163)
第三节 纤维的热学性能·····	(167)
一、比热·····	(167)
二、导热性·····	(169)
三、耐热性·····	(169)
四、热对纤维性能的影响·····	(169)
第六章 纺织纤维的结构及其性能 ·····	(176)
第一节 纤维素纤维·····	(177)
一、各种纤维素纤维的结构特征·····	(179)

二、纤维素纤维的性能·····	(181)
第二节 蛋白质纤维·····	(187)
一、羊毛与蚕丝的结构特征·····	(189)
二、羊毛与蚕丝的性能·····	(195)
第三节 杂链类合成纤维·····	(199)
一、聚酯和聚酰胺纤维的结构特征·····	(199)
二、聚酯和聚酰胺纤维的性能·····	(207)
第四节 碳链类合成纤维·····	(214)
一、几种碳链类合成纤维的结构特征·····	(214)
二、几种碳链类合成纤维的性能·····	(221)
第五节 特种用途的合成纤维·····	(228)
一、聚氨酯弹性纤维·····	(228)
二、耐高温纤维·····	(229)
三、耐燃纤维·····	(233)
附录 1 纤维服用性能和其内在性质与附加性质 的关系·····	(236)
附录 2 纤维保管性能和其内在性质与附加性质 的关系·····	(237)
附录 3 织物制品的平均舒适数据·····	(237)
主要参考资料·····	(238)

引 言

在人们的日常生活中，要接触到许多种纤维材料及其制品，有天然纤维的，也有化学纤维的，它们各自具有不同的性能。例如，有的纤维吸湿性好，服用中穿着舒适；有的则吸湿性很差，但它具有“洗可穿”的特性。再例如，有的纤维弹性好，穿着中平整挺括，不易起皱褶，尺寸稳定性和保型性均好；有的则极易发生皱褶，穿着中保型性较差。有的强度极高，可达6克/旦以上；有的强度很差，尚不足2克/旦。有的很易于被染成多种鲜艳的颜色，有的则很难进行染色。有的耐日光-大气稳定性极佳，有的又十分低下。凡此种种，均同该纤维所具有的结构有关。

何为纤维的结构？它具体指的是哪些内容？如所周知，任何一个物体，它总可以被分割为若干个更为细小的结构单元。例如某一种织物，它是由一种或几种纱线按一定的密度、一定的组织织成的，而纱线通常又可由各种不同的纤维所纺成。从某种意义上来说，织物的结构单元是纱线，而纱线的结构单元又是纤维；当然纤维又由更为细小的结构单元——成纤高聚物的长链分子所构成。因此，从不同角度来看某个物体，相应就产生了不同层次的结构。所谓纤维的结构，就是指构成纤维不同层次的结构单元，当它们处于平衡态时所具有的空间排列特征。例如，首先需要进行研究和讨论的是：构成该纤维的成纤高聚物的长链分子，它是由哪些原子或原子团所构成的？它们在空间的排列位置如何？这

就是纤维的一次结构特征，它也称纤维的链结构或分子结构。纤维的二次结构特征，则指处于平衡态时组成该纤维的成纤高聚物的长链分子，它们相互间的几何排列特征如何？它也称纤维的聚集态结构或超分子结构。纤维的三次结构特征，乃指纤维中尺度比超分子结构更大一些单元的特征。诸如纤维中多重原纤的排列，纤维断面的结构、组成和形状，以及可能存在于纤维中的空洞、裂隙、微孔的大小和分布等，它也称纤维的形态结构。所以说，通常所谓纤维的结构，就是指纤维这三个层次的结构特征。

纤维的结构特征，相应决定了纤维所具有的某些性能。纤维结构和性能是一个事物的两个方面，从内在本质方面讲是结构；从结构反映于外部，则成为我们直接或间接能感受到的，并能加以利用的性能。本书将按照这三个层次，阐述纤维结构和性能之间的关系，相应结合着介绍一些有关的基本概念。

第一章 纤维的链结构

高聚物分子具有链状结构的概念，最早是在本世纪的二十年代由施陶丁格（Staudinger）所提出。后来，许多科学工作者的研究结果都支持了他的这一论断。所以迄今为止，高聚物分子呈长链状结构，已成为大家研究和讨论问题的基础。

当然高聚物的长链分子远比低分子物的小分子要复杂。严格地说，由于聚合过程中的种种变异，同一高聚物的每一个长链分子很难完全相同。为此，当我们研究或论及高聚物的长链分子时，必须注意到它的这一特征。

纤维的链结构，其含义乃指构成该纤维的成纤高聚物的单个长链分子，它们是由哪些和多少个原子或原子团所构成？它们相互间在空间处于怎样的排列状态？具体地说，所谓链结构，它包括近程链结构和远程链结构，前者指的是该长链分子的化学结构及其化学的和立体的异构，后者则论及它的长度以及构象（链的形态）。

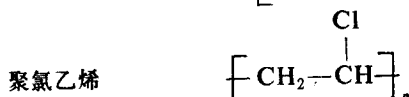
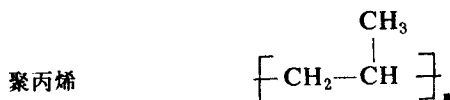
纤维链结构是决定该纤维各种理化性能最主要、最基本的因素。因为它不仅直接地决定着纤维的某些性能（诸如吸湿性、对温度的稳定性、对化学试剂的稳定性、对日光-大气的稳定性等），而且还强烈地影响着所得纤维可能具有的聚集态结构。另外，纤维的链结构又是构成宏观纤维的最基本的单元，如象一般低分子物中的分子那样，分子虽然还可以向微观世界再细分下去，但是它是保持该物质各种属性

的、并能独立地存在的最小的单元。纤维的链结构也是如此，尽管它还可以被细分下去，但它是保持该成纤高聚物属性的最小单元。所以，纤维的链结构又称纤维的分子结构。

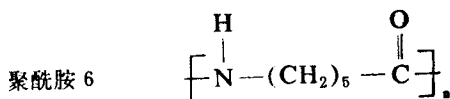
第一节 链的化学结构

成纤高聚物一般都为线型结构。其长链分子链节[●]的化学构成，是表征该高聚物长链化学结构的主要内容。一般高聚物长链分子链节化学结构的类型有：

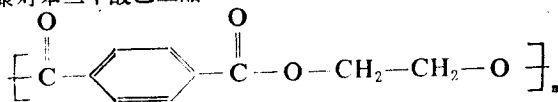
(1) 碳链高聚物：该类高聚物主链完全由相同的C原子以共价键相连接而组成。如



(2) 杂链高聚物：在该类高聚物的主链中，除了含有C原子以外，还含有其他的原子，如O, N, S等。它们也都以共价键的形式被连接在主链中。如

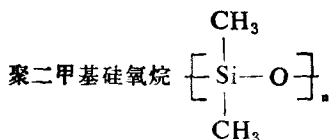


聚对苯二甲酸乙二醇酯

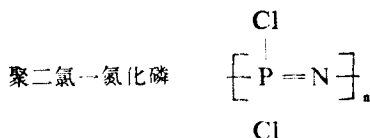


● 链节是指高聚物长链分子中最小的化学构成的重复单元。

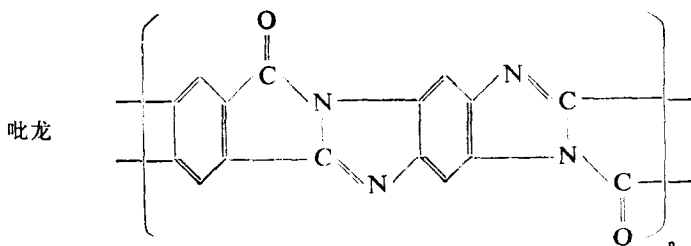
(3) 元素有机高聚物：在该类高聚物的主链中不含有任何 C 原子，它的主链主要由 Si, B, P, Al, Ti, As 等元素和氧所组成，但在该高聚物的侧基中却含有某些具有 C 原子的有机取代基团。如



(4) 无机高聚物：在该类高聚物中，不仅主链不含有 C 原子，而且也不含有具有 C 原子的有机侧取代基，是纯粹由 C 以外的其他元素所构成的高聚物。如



(5) 梯形或双螺旋型的高聚物：该类高聚物的主链不是一根单链，它是由象“梯子”或“双股螺旋”样并列着的长链所构成的。如



我们日常所见的绝大多数成纤高聚物，都属杂链类或碳链类的高聚物。它们的化学结构如表 1-1 所示。

成纤高聚物链节的化学构成，对于所得纤维的化学反应

表 1-1 常见各种典型成纤高聚物的链节结构

纤维	链节结构	生成用单体
棉花 ^①		
羊毛 ^②		
涤纶		
锦纶		
锦纶66		
腈纶 ^④		

续表

纤维	链节结构	生成用单体
维纶 ^⑤	$\sim \text{CH}_2 - \underset{\text{O} - \text{CH}_2 -}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \underset{\text{OH}}{\text{CH}} - \text{CH}_2 - \text{CH} \sim$	$\text{CH}_3 - \underset{\text{OCOCH}_3}{\text{CH}}$
丙纶	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{CH}}{\text{CH}} \right]$	$\text{CH}_3 - \underset{\text{CH} = \text{CH}}{\text{CH}}$
氯纶	$\left[\text{CH}_2 - \underset{\text{Cl}}{\text{CH}} \right]$	$\text{CH}_2 = \underset{\text{Cl}}{\text{CH}}$

注 ① 也是天然纤维麻类和化学纤维中粘胶纤维、铜氨纤维等的链节结构。

② 也是蚕丝等天然蛋白质纤维的链节结构。

③ 也可取用 $\text{H}_3\text{COOC} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{COOCH}_3$ (DMT) 为生成用单体。

④ 长链分子中还含有少量(7~9%)第二单体和第三单体的构成单元。

⑤ 长链分子中约有 30% 的羟基与甲醛缩合成六元环, 其余约 70% 羟基被保留。

性、染色性、热稳定性、对日光-大气的稳定性等有重要影响。表 1-2 列出了一些常见共价键的典型键长和离解能数据。

一般说来, 主链中只含有 C—C 键的碳链类成纤高聚物, 它们的耐化学试剂的稳定性相对都比较好; 但是, 它们所含的叔碳原子, 有时会成为光氧化反应的敏感点, 从而导致它们的耐日光-大气稳定性较差。

杂链类成纤高聚物中的酯键、酰胺键, 对于水解反应都比较敏感, 水解能使它们发生降解。但是, 如果在这类键的附近引入苯环, 会对该类键的水解具抑制作用。如果在成纤