

· 四川大学精品立项教材 ·

纤维化学与物理

2 IANWEI HUAXUE YU WULI

程海明 陈 敏 主编



四川大学出版社

· 四川大学精品立项教材 ·

纤维化学与物理

2

IANWEI HUAXUE YU WULI

程海明 陈 敏 主编



四川大学出版社

责任编辑:唐 飞
责任校对:蒋 珂
封面设计:墨创文化
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

纤维化学与物理 / 程海明, 陈敏主编. —成都:
四川大学出版社, 2017. 7
ISBN 978-7-5690-0994-1
I. ①纤… II. ①程… ②陈… III. ①纤维化学②纤维—物理性能 IV. ①TS102. 1
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 188947 号

书名 纤维化学与物理

主 编	程海明 陈 敏
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5690-0994-1
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	18.25
字 数	444 千字
版 次	2017 年 7 月第 1 版
印 次	2017 年 7 月第 1 次印刷
定 价	39.80 元



版权所有◆侵权必究

- ◆读者邮购本书, 请与本社发行科联系。
电话: (028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码: 610065
- ◆本社图书如有印装质量问题, 请
寄回出版社调换。
- ◆网址: <http://www.scupress.net>

前 言

“纤维化学与物理”是轻化工程专业(造纸方向、皮革方向、染整方向)的一门核心专业基础课,涵盖了植物纤维、动物纤维和合成纤维的基础知识和应用。其核心是使学生理解和掌握纤维材料的结构、性能以及结构与性能之间的关系。

本教材是编者根据多年“纤维化学与物理”课堂教学经验和教学内容进行编写的,内容以纤维为主线,主要对轻化工行业所涉及的纤维材料的结构、化学与物理性能等内容进行全面的论述,并扼要介绍纤维的最新前沿研究成果及其发展趋势。本教材可以帮助轻化工程专业的学生建立专业知识体系,为后续专业课程的学习奠定知识基础。本教材也可供在相关行业从事研究开发、生产管理的工程技术人员参考。

本教材既涵盖了合成纤维、植物纤维和动物纤维的基本知识,适合轻化工程专业三个方向的教学需要;又重点突出了制革方向对动物纤维相关知识的拓展,其目的是适应轻化工程专业制革方向本科学生的培养。

全书共5章:第1章绪论,包括纤维的基本知识,如纤维的来源与分类、纤维的有关术语、纤维的生产方法,以及纤维的发展及应用前景等。第2章为高分子物理基础,因学分和课时的限制,一些学校轻化工程专业的教学计划中未专门开设高分子物理课程,而纤维化学与物理的主要内容是从高分子物理的基本内容发展而来的,因此需要补充介绍。第3章至第5章分别介绍蛋白纤维、纤维素纤维和合成纤维。四川大学生物质与皮革工程系陈敏老师编写了第4章和第3章3.4节。四川大学生物质与皮革工程系程海明老师编写了全书的其余部分,并负责全书的统稿。

本教材在编写过程中,得到了四川大学教务处的资助,得到了许多前辈和同仁的指导和帮助。本书在编写时参考了大量国内外文献资料,限于篇幅没有一一列出。研究生江明芳、张俊卿、贺昇昇参与了书稿中大量分子式和图表的制作。本教材书稿完成后,由四川大学廖隆理教授审阅并提出了重要的修改建议,在此一并表示感谢!

本教材虽经过反复校订,但由于编者水平有限,书中内容和文字存在不足和不妥在所难免,恳请各位读者不吝赐教。

编者

2017年3月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 纤维的来源与分类	1
1.1.1 天然纤维	1
1.1.2 化学纤维	2
1.2 纤维的有关术语	3
1.2.1 纤维的长度、宽度与密度	3
1.2.2 差别化纤维	4
1.2.3 断裂强度	5
1.2.4 断裂伸长率	5
1.2.5 初始模量	6
1.2.6 纤维的吸湿	6
1.3 纤维的生产概述	8
1.3.1 原料准备	9
1.3.2 纺丝	9
1.3.3 后加工	11
1.4 纤维的发展及应用前景	12
1.4.1 蛋白纤维的功能化应用	12
1.4.2 功能化纤维素材料	13
1.4.3 高性能纤维	15
1.4.4 绿色纤维	16
思考题	17
第2章 高分子物理基础	18
2.1 高聚物的结构	18
2.1.1 分子结构	19
2.1.1.1 近程结构	19
2.1.1.2 远程结构	24
2.1.2 聚集态结构	32
2.1.2.1 聚合物的分子间作用力	33
2.1.2.2 晶态结构	34
2.1.2.3 聚合物非晶态结构	44
2.1.2.4 取向态结构	46
2.1.2.5 高分子液晶	48

2.1.2.6 共混高聚物	51
2.2 聚合物的分子运动与热转变	54
2.2.1 聚合物分子运动的特点	55
2.2.2 聚合物的力学状态和热转变	57
2.2.3 聚合物的玻璃化转变	58
2.2.3.1 玻璃化温度的测定	58
2.2.3.2 玻璃化转变的自由体积理论	59
2.2.3.3 影响玻璃化温度的因素	59
2.2.3.4 玻璃化温度以下的松弛——次级转变	64
2.3 聚合物的力学性能	65
2.3.1 玻璃态和结晶聚合物的力学性质	65
2.3.2 聚合物的橡胶弹性	68
2.3.2.1 橡胶的使用温度范围	68
2.3.2.2 高弹性的特点	70
2.3.3 高聚物的黏弹性	70
2.3.3.1 聚合物的力学松弛现象	70
2.3.3.2 黏弹性的力学模型	74
2.3.3.3 黏弹性与时间、温度的关系——时温等效原理	77
2.3.3.4 Boltzmann 叠加原理	79
2.4 聚合物的电学性能、光学性能和热性能	79
2.4.1 聚合物的电学性能	79
2.4.1.1 聚合物的导电性	79
2.4.1.2 静电及消除	82
2.4.2 聚合物的光学性质	83
2.4.2.1 光折射与非线性光学性质	83
2.4.2.2 光的吸收与反射	84
2.4.3 聚合物的热性能	84
2.4.3.1 比热容	84
2.4.3.2 纤维材料的热收缩性	85
2.4.3.3 耐热性	85
思考题	86
第3章 蛋白纤维	88
3.1 蛋白质化学基础	88
3.1.1 氨基酸及其性质	88
3.1.1.1 主要氨基酸及其分类	89
3.1.1.2 氨基酸的物理化学性质	91
3.1.1.3 氨基酸的化学反应	95
3.1.2 蛋白质的结构和构象	98

3.1.2.1	肽键和肽	98
3.1.2.2	蛋白质分子的构象	101
3.1.2.3	蛋白质的分类	114
3.1.3	蛋白质的物理化学性质	116
3.1.3.1	两性电解质和等电点	116
3.1.3.2	蛋白质的溶解性	116
3.1.3.3	蛋白质的渗透压和透析	117
3.1.3.4	蛋白质的变性及其复性	117
3.2	胶原蛋白纤维	120
3.2.1	胶原蛋白的分类	120
3.2.1.1	胶原蛋白类型	120
3.2.1.2	动物皮肤中常见胶原蛋白介绍	121
3.2.2	胶原蛋白的生物合成	122
3.2.2.1	胞内生物合成	122
3.2.2.2	胞外生物合成	122
3.2.3	胶原蛋白的化学结构	123
3.2.3.1	胶原蛋白的氨基酸组成和序列	123
3.2.3.2	胶原蛋白的二级结构	126
3.2.3.3	胶原蛋白的超分子聚集	126
3.2.3.4	胶原纤维的形成和结构特征	134
3.2.4	胶原蛋白的物理性质	135
3.2.5	胶原蛋白的化学性质	137
3.2.5.1	酸碱对胶原蛋白的作用	137
3.2.5.2	盐类对胶原蛋白的作用	137
3.2.5.3	酶对胶原蛋白的作用	138
3.2.5.4	胶原蛋白的交联改性	138
3.2.6	胶原蛋白的分离与制备	140
3.3	角蛋白纤维	142
3.3.1	角蛋白的类型	142
3.3.2	角蛋白的结构	143
3.3.2.1	分子结构	143
3.3.2.2	角蛋白的二级结构	148
3.3.2.3	角蛋白的超二级结构	150
3.3.2.4	毛纤维的形态结构	153
3.3.3	角蛋白的物理化学性质	155
3.3.4	角蛋白的化学反应	156
3.4	动物皮纤维的形态—组织学	165
3.4.1	组织学研究方法和技术介绍	165

3.4.2 动物皮的一般组织结构	168
3.4.3 动物皮中的非纤维成分	175
3.5 蚕丝蛋白纤维	176
3.5.1 蚕丝蛋白的化学组成和分子结构	176
3.5.1.1 丝蛋白的氨基酸组成	177
3.5.1.2 重链	179
3.5.1.3 轻链	181
3.5.1.4 P25 蛋白	182
3.5.1.5 丝胶蛋白	183
3.5.2 丝芯蛋白和丝胶蛋白的超分子结构	185
3.5.3 蚕丝的物理和机械性质	187
3.5.4 蚕丝的化学性质	188
思考题	189
第4章 纤维素纤维	191
4.1 植物纤维素的生物合成	191
4.2 纤维素的分子结构	193
4.2.1 化学结构	193
4.2.2 纤维素大分子的构象	195
4.2.3 纤维素的分子量和聚合度	195
4.2.4 纤维素的聚集态结构	198
4.2.5 纤维素的结晶度和可及度	202
4.2.6 纤维素的细纤维结构	203
4.2.7 纤维素大分子间的氢键及其影响	204
4.3 纤维素的物理性能及物理化学性质	206
4.3.1 纤维素的吸湿与解吸	206
4.3.2 纤维素纤维的润胀与溶解	208
4.3.3 纤维素的电化学性质	212
4.3.4 纤维素的热降解	213
4.3.5 纤维素的物理指标	214
4.4 纤维素的化学性质	214
4.4.1 纤维素的降解反应	214
4.4.2 纤维素的酯化和醚化	221
4.4.2.1 酯化反应	222
4.4.2.2 醚化反应	226
4.4.3 纤维素的化学改性	227
4.4.3.1 纤维素的接枝共聚	227
4.4.3.2 纤维素的交联	229
思考题	230

第5章 合成纤维	231
5.1 聚酯纤维	231
5.1.1 涤纶的基本组成物质及其生产概述	231
5.1.2 聚酯纤维的纺丝	232
5.1.3 涤纶的结构	235
5.1.4 涤纶的物理性质	237
5.1.5 涤纶纤维的性能	238
5.2 聚酰胺纤维	242
5.2.1 聚酰胺的生产	243
5.2.1.1 聚己二酰己二胺的制备	243
5.2.1.2 聚己内酰胺的制备	245
5.2.2 聚酰胺的纺丝	245
5.2.2.1 聚己内酰胺的纺前处理及切片干燥	245
5.2.2.2 聚酰胺的纺丝工艺及特点	246
5.2.2.3 聚酰胺纤维的后加工	246
5.2.3 聚酰胺的结构	247
5.2.4 聚酰胺的性质	249
5.2.5 聚酰胺纤维的性能	250
5.2.6 聚酰胺纤维的主要用途	251
5.3 聚丙烯腈纤维	252
5.3.1 聚丙烯腈的制备	252
5.3.1.1 单体及其他基本原料	252
5.3.1.2 丙烯腈的聚合	253
5.3.2 聚丙烯腈纤维的纺丝	255
5.3.2.1 纺丝原液的制备	255
5.3.2.2 湿法纺丝	255
5.3.2.3 干法纺丝	257
5.3.2.4 后加工	257
5.3.3 聚丙烯腈纤维的结构	261
5.3.4 聚丙烯腈的性能	261
5.4 聚乙烯醇纤维	262
5.4.1 聚乙烯醇的制备	262
5.4.2 聚乙烯醇纤维的生产	264
5.4.3 聚乙烯醇纤维的结构	265
5.4.4 聚乙烯醇纤维的性能	265
5.5 聚氯乙烯纤维	267
5.5.1 聚氯乙烯的制备	267
5.5.2 聚氯乙烯的结构	268

5.5.3 聚氯乙烯纤维的性能	268
5.6 聚氨酯弹性纤维	269
5.6.1 聚氨酯的合成	270
5.6.2 聚氨酯弹性纤维的生产	271
5.6.3 聚氨酯弹性纤维的结构	273
5.6.4 聚氨酯弹性纤维的性能	274
5.7 聚丙烯纤维	274
5.7.1 等规聚丙烯的制备	275
5.7.1.1 等规聚丙烯的合成	275
5.7.1.2 等规聚丙烯的结构和性能	276
5.7.1.3 成纤聚丙烯的性能特点和质量要求	277
5.7.2 聚丙烯纤维的生产	278
5.7.3 聚丙烯纤维的性能和用途	278
思考题	279
参考文献	280

第 1 章 绪 论

1.1 纤维的来源与分类

纤维(Fiber)是一类重要的高分子材料。由于新型纤维材料的不断涌现,很难给出纤维一个确切的定义。从形态学上来说,纤维一般是指直径在几微米到几十微米,长度与截面直径之比(长径比)比较大(通常大于 1000),具有一定柔性和强度的细长物体。本书所涉及的纤维是指制革、造纸和纺织染整等行业所用的纤维。

按纤维原料来源进行分类,可将纤维分为天然纤维(Natural fibers)和化学纤维(Chemical fibers)两类。

1.1.1 天然纤维

1. 植物纤维

植物纤维来源于植物体的纤维素,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 27×10^{10} 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,这意味着植物界中的纤维总量为 26.5×10^{10} 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(如针叶木、阔叶木等)和非木材纤维原料(如竹类、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。它们的基本组成物质均为蛋白质。

胶原纤维是动物皮板的主要成分,是制作皮革服装、皮鞋、真皮沙发以及包袋的主要材料,具有良好的亲和性和穿着舒适性,强度好。胶原纤维是皮革工业的重要原料,制革的全过程是将皮胶原纤维处理加工成适应人们需要的产品的过程。胶原纤维在生物医学领域也有广泛的应用。

角蛋白纤维主要是指动物的毛发纤维。羊毛纤维是最早被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。除羊毛纤维外,还有骆驼毛纤维、兔毛纤维、海马毛纤维、山羊绒纤维、牦牛绒纤维等。

蚕丝蛋白纤维。蚕有家蚕和野蚕两类。家蚕在室内饲养,以桑树叶为饲料,吐的丝称为桑蚕丝或家蚕丝(俗称真丝)。野蚕有柞蚕、蓖麻蚕、木薯蚕等,从野蚕蚕茧中只能

获取少量的纤维作丝使用。蚕丝蛋白纤维具有柔和悦目的光泽、柔软平滑的手感、轻盈美丽的外观,以及吸湿性好、穿着滑爽舒适等优良性能,因此是高档纺织原料之一。

1.1.2 化学纤维

1. 人造纤维

人造纤维包括人造纤维素纤维和人造蛋白质纤维。

人造纤维素纤维主要为再生纤维素纤维,如黏胶纤维、铜氨纤维、醋(酸)酯纤维等。

人造蛋白质纤维有酪素纤维、玉米蛋白纤维、花生蛋白纤维、大豆蛋白纤维等,属于再生植物蛋白质纤维类。如大豆蛋白纤维,是以天然食用蛋白质为原料,采用化学、生物的方法从榨取油脂(大豆中约含 20% 油脂)的大豆豆渣(含 35% 蛋白质)中提取球状蛋白质,通过添加功能性助剂,与含腈基、羟基等的高聚物接枝、共聚、共混,制成一定浓度的蛋白质纺丝溶液,改变蛋白质空间结构,经湿法纺丝而成的人造纤维。其生产过程对环境、空气、人体、土壤、水质等无污染,纤维本身易生物降解,主要成分是大豆蛋白质(23%~55%)和分子聚乙炔醇(45%~77%)。大豆蛋白纤维密度小,单丝线密度低,强度与伸长率较高,耐酸、耐碱性较好,具有羊绒般的手感,蚕丝般的光泽,棉纤维的吸湿、导湿性和穿着舒适性,以及羊毛的保暖性。

2. 合成纤维

合成纤维是低分子化合物聚合为高分子化合物,经成型加工而得到的纤维。并不是从任何高分子化合物都能得到有机高分子纤维。定性地说,有机高分子纤维的大分子互相缠结,整体看形成线状,并且各处具有一定的结晶,能防止大分子间滑移,使纤维富有力学性能。因此,成纤高分子化合物应具备以下条件:尽可能是线型的,具有一定的链长(相对分子质量 $10^4 \sim 10^6$),具有结晶性,含极性基团。

合成纤维又分为碳链类合成纤维和杂链类合成纤维。

碳链类合成纤维有聚丙烯腈纤维(腈纶)、聚丙烯纤维(丙纶)、聚乙烯醇缩醛纤维(维纶)、聚氯乙烯纤维(氯纶)等。

杂链类合成纤维有聚酯纤维(涤纶)、聚酰胺纤维(锦纶、芳纶)、聚氨酯弹性纤维(氨纶)、聚酰亚胺纤维(PI 纤维)、聚苯并咪唑纤维(PBI 纤维)、聚苯撑三叠氮纤维(PTA 纤维)等。

对成纤高分子化合物一般要求如下:①成纤高分子化合物的大分子必须是线形的、能伸直的分子,支链尽可能少,没有庞大侧基;②高分子化合物的分子之间有适当的相互作用力,或具有一定规律性的化学结构和空间结构;③高分子化合物应具有适当高的分子量和适当的分子量分布;④高分子化合物应具有一定的热稳定性,其熔点或软化点应比允许使用温度高得多。

纤维的主要品种如表 1-1 所示。

表 1-1 纤维的主要品种

分类	中文名	英文名	英文缩写
天然纤维	棉花纤维	Cotton	CO
	蚕丝蛋白纤维	Silk	SE
	羊毛纤维	Wool	WO
	麻纤维	Hemp	HA
人造纤维	黏胶纤维	Viscose	CV
	醋(酸)酯纤维	Acetate	CA
	大豆蛋白纤维	Soybean	SPE
合成纤维	聚乳酸纤维	Polylactic acid	PLA
	聚酰胺纤维	Polyamide	PA
	聚对苯二甲酸乙二醇酯纤维	Polyethylene terephthalate	PET
	聚氨酯纤维	Polyurethane	PU
	聚丙烯腈纤维	Polyacrylonitrile	PAN
	聚丙烯纤维	Polypropylene	PP
	聚乙烯醇纤维	Polyvinyl alcohol	PVA
	聚醋酸乙烯纤维	Polyvinyl acetate	PVAC

1.2 纤维的有关术语

1.2.1 纤维的长度、宽度与密度

1. 线密度(纤度, Fineness)

在法定计量单位中,表示化学纤维粗细程度的量称为线密度,在我国化学纤维工业中,旧称“纤度”。线密度的单位为特(tex),其 1/10 称为分特(dtex)。在公定回潮率下,1000 m 长的纤维的克数即为该纤维的特数。纤维线密度越小,单纤维越细,手感越柔软,光泽柔和且易变形加工。线密度单位的换算如下:

1 tex = 1 g/1000 m = 10⁻⁶ kg/m = 1 mg/m

1 dtex = 0.1 g/1000 m = 10⁻⁷ kg/m = 0.1 mg/m

纤维的长度是外部形态的主要特征之一,天然纤维的长度随纤维种类的不同而不同,而且每种纤维的长度又有一定的分布宽度。

化学纤维一般是模仿天然纤维各种平均长度等长切断的,现在开始有模仿天然纤维而制备的异长度纤维(如芳纶纤维的浆粕化)。化纤长丝则不进行切断。

表 1-2 给出了几种天然纤维的相对密度、长度和线密度。

表 1-2 几种天然纤维的相对密度、长度和线密度

纤维	棉花	亚麻	苧麻	羊毛	蚕丝
相对密度	1.54~1.56	~1.50	1.50	1.32	1.33~1.45
长度/mm	13~70	4~70	60~250	40~70	—
线密度/tex	0.11~0.22	~0.19	0.69	0.33~0.83	0.12~0.19

2. 长丝(Filament)

化学纤维制造过程中, 纺丝流体(熔体或溶液)经纺丝成形和后加工工序后, 得到的长度以千米计的纤维称为长丝。长丝包括单丝、复丝和帘线丝。

单丝(Mono-filament): 原指用单孔喷丝头纺制而成的一根连续单纤维, 但在实际应用中, 往往也包括 3~6 孔喷丝头纺成的 3~6 根单纤维组成的少孔丝。较粗的合成纤维单丝(直径为 0.08~2 mm)称为鬃丝, 用作绳索、毛刷、日用网袋、渔网或工业滤布; 细的聚酰胺单丝用作透明女袜或其他高级针织品。

复丝(Multi-filament): 由数十根单纤维组成的丝条。化学纤维的复丝一般由百根以下单纤维组成。绝大多数的服用织物都是采用复丝织造, 因为由多根单纤维组成的复丝比同样直径的单丝柔顺性好。

帘线丝: 由 100 多根到几百根单纤维组成、用于制造轮胎帘子布的丝条。

3. 短纤维(Staple fibers)

化学纤维的产品被切成几厘米至十几厘米的长度, 这种长度的纤维称为短纤维。根据切断长度的不同, 短纤维可分为棉型、毛型、中长型短纤维。

棉型短纤维: 长度为 25~38 mm, 纤维较细(线密度为 1.3~1.7 dtex), 类似棉花。主要用于与棉混纺, 例如用棉型聚酯短纤维(涤纶)与棉混纺, 得到的织物称为“涤棉”织物。

毛型短纤维: 长度为 70~150 mm, 纤维较粗(线密度为 3.3~7.7 dtex), 类似羊毛。主要用于与羊毛混纺, 例如涤纶毛型短纤维与羊毛混纺, 得到的织物称为“毛涤”织物。

中长型短纤维: 长度介于棉型短纤维和毛型短纤维之间。

1.2.2 差别化纤维

差别化纤维(Differential fibers)是差别化化学纤维的简称。差别化纤维一词来源于日本, 是指通过化学或物理改性, 使常规纤维的形态结构、组织结构发生变化, 提高或改变纤维的物理、化学性能, 使常规化学纤维具有某种特定性能和风格的化学纤维。差别化纤维的品种有很多, 主要有超细纤维、异型纤维、复合纤维等, 还有着色纤维、高收缩纤维、高吸湿高吸水纤维、抗静电和导电纤维及阻燃纤维等。

1. 超细纤维

单纤维的粗细对于织物的性能影响很大。常规纤维的线密度为 1.5~4 dtex, 而采用双组分复合裂离法、海岛法、熔喷法等生产的纤维的线密度可以达到 0.11~0.55 dtex, 称之为超细纤维。

与常规纤维相比，超细纤维具有手感柔软滑润、光泽柔和、织物覆盖力强、服用舒适性好等优点。其最大的缺点是抗皱性差，染色时染化料消耗大。超细纤维主要用于高密度防水透气织物、人造皮革、仿麂皮、仿桃皮绒、仿丝绸织物、高性能擦布等。

2. 异型纤维

在合成纤维纺丝成形加工中，用非圆形喷丝板加工的非圆形截面的纤维，称为异型纤维。异型纤维喷丝孔及横截面形状如图 1-1 所示。

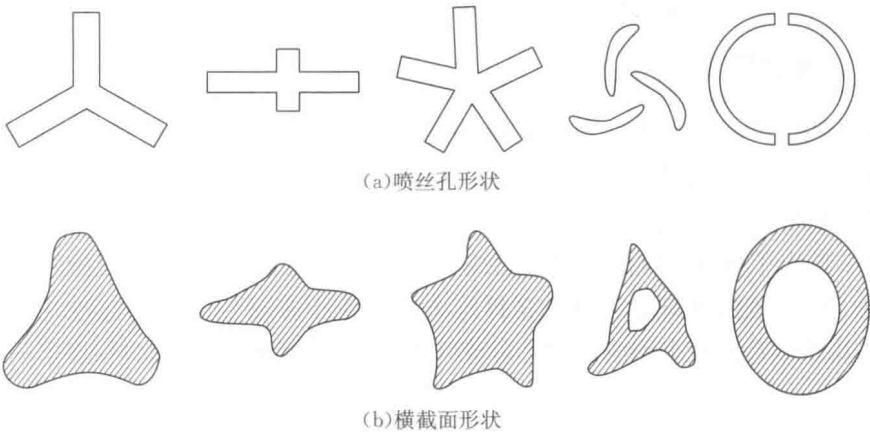


图 1-1 异型纤维喷丝孔及横截面形状

1.2.3 断裂强度

常用相对强度表示化学纤维的断裂强度(Tensile strength)，即纤维在连续增加负荷的作用下，直至断裂所能承受的最大负荷与纤维的线密度之比。单位为牛顿/特(N/tex)、厘牛顿/特(cN/tex)。断裂强度是反映纤维质量的一项重要指标。断裂强度高，纤维在加工过程中不易断头、绕辊，最终制成的纱线和织物的牢度也高；但断裂强度太高，纤维刚性增加，手感变硬。

纤维在干燥状态下测定的强度称为干强度；纤维在润湿状态下测定的强度称为湿强度。回潮率较高的纤维，湿强度比干强度低，如一般黏胶纤维的湿强度要比干强度低30%~50%。大多数合成纤维的回潮率很低，湿强度接近或等于干强度。

比强度：断裂强度与纤维密度的比值，单位是 MPa/(g·cm⁻³)。

1.2.4 断裂伸长率

纤维的断裂伸长率(Elongation)一般用断裂时的相对伸长率，即纤维在伸长至断裂时的长度比原来长度增加的百分数表示：

$$Y = \frac{L - L_0}{L_0} \times 100\% \tag{1-1}$$

式中 L_0 ——纤维的原长；

L ——纤维伸长至断裂时的长度。

纤维的断裂伸长率是决定纤维加工条件及其制品使用性能的重要指标之一。断裂伸长率大的纤维手感比较柔软。

1.2.5 初始模量

纤维的初始模量(Initial modulus)，即弹性模量，是指纤维受拉伸而伸长变形，当伸长率为原长的 1% 时所需的应力。

初始模量表征纤维对小变形的抵抗能力，体现在服装上则反映纤维对小延伸或小弯曲所表现的硬挺度。

比模量：模量与纤维密度的比值，单位是 $\text{MPa}/(\text{g} \cdot \text{cm}^3)$ 。

1.2.6 纤维的吸湿

纤维的吸湿性是指纤维从大气中吸水或纤维中的水逸散到大气中的综合现象。

纤维的大分子上的极性基团依靠氢键与水分子缔合形成水合物，这是纤维具有吸湿性的主要原因。

图 1-2 给出了各种纤维的吸湿等温线。从图 1-2 可以看出，天然纤维的吸湿性优于合成纤维。因为蛋白质纤维、纤维素纤维中都含有很多极性基团，如羟基、氨基、羧基、酰胺基等，容易与水形成氢键。合成纤维中的极性基团就相对少得多。

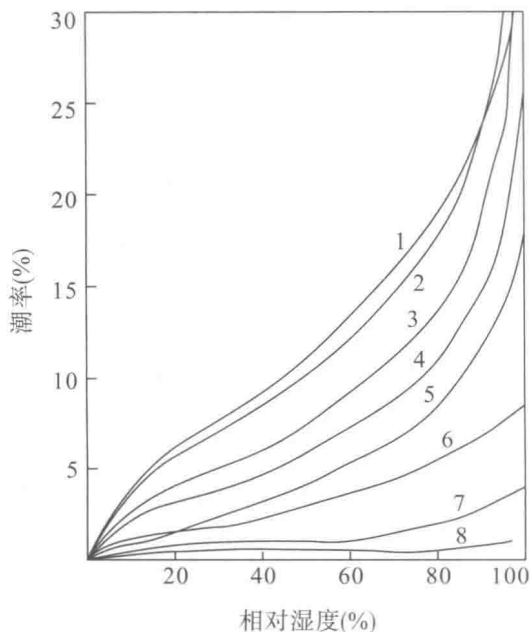


图 1-2 各种纤维的吸湿等温线

1—羊毛；2—黏胶纤维；3—蚕丝；4—棉；5—醋酸纤维；6—锦纶；7—腈纶；8—涤纶

1. 影响纤维吸湿的内因

亲水性基团：与水分子形成氢键的极性基团的数量越多，形成的氢键越强，则纤维的吸湿性越强。

蛋白纤维和纤维素纤维由于分子上含有大量亲水性基团，从而具有良好的吸湿性能。合成纤维的吸湿性有以下规律。

维纶：含有羟基($-\text{OH}$)，经缩醛化后一部分羟基被封闭，吸湿性减小，但在合成

纤维中其吸湿能力最好。

锦纶 6、锦纶 66：每 6 个碳原子上含有 1 个酰胺基(—CONH—)，具有一定的吸湿能力。

腈纶：只有亲水性弱的极性基团氰基(—CN)，吸湿能力小。

涤纶、丙纶：缺少亲水性基团，吸湿能力极差。

纤维聚集态结构中的结晶度：结晶度越大，吸湿性越差。

纤维内部的孔隙：纤维孔隙越多，吸湿性越强。

表面吸附：纤维越细，比表面积越大，则吸附水分子的能力越强。

2. 影响纤维吸湿的外因

吸湿时间：吸湿与脱湿是一个平衡过程，达到平衡的时间很长。所以在进行各种纤维材料物理性能的检验时，需要把它们放置在标准的湿度、温度环境中进行定时调湿。

环境的湿度：相对湿度(RH)增大，纤维的吸湿性增强。

吸湿等温线(Moisture sorption isotherm)：纤维在一定的温度下，通过改变相对湿度所得到的平衡回潮率曲线称为吸湿等温线。

纤维吸湿等温线的特点：曲线都呈反 S 形。当 RH=0~15% 时，曲线斜率较大；当 RH=15%~70% 时，曲线斜率较小；当 RH>70% 时，曲线斜率又明显增大。

环境的温度：温度较高时，一方面，水分子热运动的动能增大，逸出纤维表面的概率增加，纤维的吸湿性较小；另一方面，纤维膨胀，纤维内部的孔隙增多，吸湿能力又会增加。

3. 吸湿滞后

同样的纤维在一定的大气温度、湿度条件下，从脱湿达到平衡和从吸湿达到平衡这两种平衡的回潮率不相等，前者大于后者，这种现象称为吸湿滞后。图 1-3 给出了纤维素纤维的吸湿和解吸等温线。

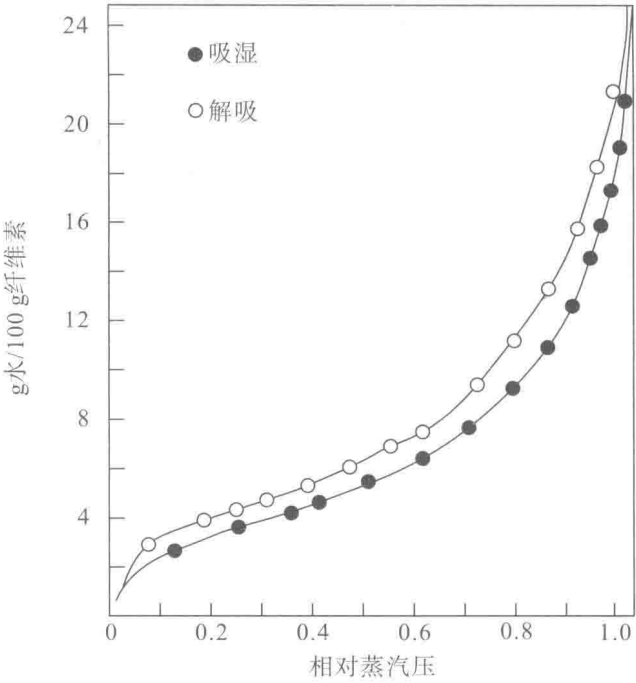


图 1-3 纤维素纤维的吸湿和解吸等温线