

XIANWEI CAILIAO GONGYIXUE

纤维材料

工艺学

张旺玺 编著



黄河水利出版社

纤维材料

工字字

2000 年 11 月

纤维材料工艺学

张旺玺 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书以聚酯纤维、聚丙烯腈纤维、聚酰胺纤维、聚烯烃纤维等为重点,介绍了几种重要的合成纤维,并根据纤维化学结构对纤维类别进行了归整,如把聚乳酸等新型纤维归入聚酯纤维,聚烯烃纤维涵盖了聚乙烯系和聚丙烯纤维;以碳纤维为重点,介绍了几种高性能和常用的无机纤维;还涉及纤维功能改性、纤维复合材料及先进成形技术等。每章后还附有英文辅助阅读材料。

本书可作为高分子材料与工程、纺织工程等专业的本科教材,还可以供相关专业研究生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

纤维材料工艺学/张旺玺编著. —郑州:黄河水利出版社,2010.2
ISBN 978-7-80734-747-7

I. 纤… II. 张… III. 合成纤维-工艺学-高等学校-教材 IV. TQ342

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 202371 号

策划组稿:李洪良 电话:0371-66024331 E-mail:hongliang0013@163.com

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371-66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclchs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:15

字数:356 千字

版次:2010 年 2 月第 1 版

印数:1—2 000

印次:2010 年 2 月第 1 次印刷

定价:28.00 元

前言

作者自 1985 年考入成都科技大学(现四川大学)高分子材料系化学纤维专业学习以来,对纤维知识的认识和理解与日俱增。大学毕业后,作者多年从事纤维材料的生产工艺和技术管理,到后来读了硕士、博士,20 年来对纤维的研究越来越深入,获得的一些经验和知识想与读者共享,如有益,则甚感欣慰。

纤维从形状上看它是一种细而长的简单线形物质。不仅在人们的日常生活中离不开纤维,而且在现代高新技术领域中,如航空、航天、军事、信息、医疗、建筑、化工等,纤维的作用也举足轻重,不可替代,越来越重要。像卫星、宇宙飞船、现代大型客机、运输机及隐形飞机中用到碳纤维、芳纶纤维、无机陶瓷纤维等;通信光缆用光导纤维;防弹装甲(车)、防弹衣(头盔)等用到超分子量聚乙烯纤维和芳纶纤维等;医疗用可降解生物相容性聚酯或聚乳酸纤维;等等。

近几年,教学实践中发现,《纤维材料工艺学》作为一门高分子材料工程专业课,纤维材料知识体系需要进一步归纳和整理,教学时需要重点突出,理论联系实际,并需要把相关的最新技术和研究成果补充进教学内容。为此,笔者根据近几年编写的教学讲义,进一步修改、完善成此书。本书主要内容分为 14 章,以聚酯纤维、聚丙烯腈纤维、聚酰胺纤维、聚烯烃纤维等为重点,介绍了几种重要的合成纤维,并根据纤维化学结构对纤维类别进行了归整,如把聚乳酸等新型纤维归入聚酯纤维,聚烯烃纤维涵盖了聚乙烯系和聚丙烯纤维;以碳纤维为重点,介绍了几种高性能和常用的无机纤维;还涉及纤维功能改性、纤维复合材料及先进成形技术等。本书内容丰富、有简有繁、重点突出、选题新颖,为提高学生的专业英语水平,每章后还附有英文辅助阅读材料,旨在激发学生学习兴趣,提高学习效果。

本书由中原工学院出版基金资助。本书正式出版,是为了更便于教与学。本书第 14 章湿法聚丙烯腈纤维的部分内容由好友徐光明高工提供,在此表示感谢。借此,还要感谢中国科学技术大学化学学院化学物理系李宏伟和中原工学院同仁的支持及帮助。

由于作者水平有限,本书存在的不足之处,恳请读者批评指正。

张旺奎

2009 年 12 月于郑州

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
1.1 纤维的概念及分类	(1)
1.2 成纤高聚物的基本特性	(3)
1.3 纤维的主要生产方法概述	(4)
1.4 纤维的发展概况	(8)
1.5 纤维常用的基本概念	(10)
参考文献	(12)
复习题	(12)
英文辅助阅读材料	(13)
第二章 聚酯纤维	(14)
2.1 概述	(14)
2.2 PET 纤维	(14)
2.3 PTT 纤维	(19)
2.4 聚乳酸纤维	(21)
2.5 PHA 类聚酯纤维	(31)
参考文献	(32)
复习题	(33)
英文辅助阅读材料	(33)
第三章 聚丙烯腈纤维	(35)
3.1 聚丙烯腈的结构与性能	(35)
3.2 聚丙烯腈纤维纺丝成形	(38)
参考文献	(54)
复习题	(55)
英文辅助阅读材料	(55)
第四章 聚酰胺纤维	(57)
4.1 概述	(57)
4.2 脂肪族聚酰胺纤维	(58)
4.3 芳香族聚酰胺纤维	(64)
参考文献	(73)
复习题	(74)
英文辅助阅读材料	(74)

第五章 聚烯烃纤维	(76)
5.1 聚丙烯纤维	(76)
5.2 超高分子量聚乙烯纤维	(77)
参考文献	(83)
复习题	(83)
英文辅助阅读材料	(84)
第六章 天然纤维与再生纤维	(85)
6.1 天然纤维	(85)
6.2 纤维素纤维	(86)
6.3 大豆蛋白纤维	(96)
参考文献	(99)
复习题	(99)
英文辅助阅读材料	(99)
第七章 聚乙烯醇纤维	(100)
7.1 概述	(100)
7.2 聚乙烯醇纤维的制备	(100)
7.3 聚乙烯醇纤维的应用	(102)
参考文献	(103)
复习题	(103)
英文辅助阅读材料	(103)
第八章 聚氨酯纤维	(104)
8.1 概述	(104)
8.2 聚氨酯纤维的原料	(104)
8.3 聚氨酯的合成	(106)
8.4 聚氨酯纤维的纺丝	(108)
8.5 聚氨酯纤维的结构与性能	(111)
8.6 聚氨酯纤维的应用	(111)
参考文献	(112)
复习题	(112)
英文辅助阅读材料	(112)
第九章 碳纤维	(114)
9.1 概述	(114)
9.2 聚丙烯腈原丝的制备	(119)
9.3 预氧化	(122)
9.4 炭化	(127)
9.5 石墨化	(129)
9.6 提高碳纤维性能的方法	(129)
9.7 碳纤维的结构与性能	(135)

9.8 碳纤维的应用	(141)
参考文献	(143)
复习题	(145)
英文辅助阅读材料	(145)
第十章 无机纤维	(147)
10.1 玻璃纤维(Glass Fibers)	(147)
10.2 氧化铝纤维(Alumina Fibers)	(150)
10.3 碳化硅纤维(Silicon Carbide Fibers)	(151)
10.4 硼纤维(Boron Fibers)	(152)
参考文献	(152)
复习题	(152)
英文辅助阅读材料	(152)
第十一章 功能纤维及纤维改性	(154)
11.1 离子交换纤维	(154)
11.2 活性碳纤维	(156)
11.3 导电纤维	(161)
11.4 阻燃纤维	(162)
11.5 高吸水纤维	(163)
11.6 纤维的改性	(164)
参考文献	(168)
复习题	(168)
英文辅助阅读材料	(168)
第十二章 超细纤维及纳米纤维	(170)
12.1 超细纤维	(170)
12.2 静电纺丝制备纳米纤维	(173)
12.3 纳米碳纤维	(178)
参考文献	(180)
复习题	(181)
英文辅助阅读材料	(181)
第十三章 纤维复合材料	(184)
13.1 增强纤维(Reinforcement Fibers)的概念	(184)
13.2 复合材料的定义	(184)
13.3 复合材料的发展过程	(185)
13.4 复合材料的命名和分类	(187)
13.5 复合材料的基本性能	(188)
13.6 复合材料的应用	(189)
13.7 基体材料	(191)
13.8 纤维复合材料的主要成形方法	(194)

参考文献	(195)
复习题	(195)
英文辅助阅读材料	(195)
第十四章 湿法聚丙烯腈纤维	(196)
14.1 原料	(196)
14.2 湿法聚丙烯腈纤维工业的发展概况	(206)
14.3 湿法聚丙烯腈纤维生产工艺路线比较	(209)
14.4 湿法聚丙烯腈纤维工艺	(211)
14.5 湿法聚丙烯腈纤维主要聚合设备	(217)
14.6 纺丝及后处理工艺与设备	(219)
14.7 溶剂回收	(223)
参考文献	(224)
复习题	(224)
英文辅助阅读材料	(224)
附表	(225)

第一章 绪 论

1.1 纤维的概念及分类

什么是纤维？从形状上说，纤维是比较柔韧的细而长的物质，是一维线性材料，如图 1-1 所示。[So what's a polymeric fiber? Since you asked, a polymeric fiber is a polymer whose chains are stretched out straight (or close to straight) and lined up next to each other, all along the same axis, kind of like you see in the picture.]



图 1-1 聚合物纤维链聚集示意图

纤维最常用于纺织材料，一般适合于纺织用纤维的长径比 (L/D) 大于 1 000/1。也正是因为纤维的形状决定了它的可编织、可纺织性，使纤维在复合材料中得到广泛应用。随着新材料的发展，形式多样的纤维增强复合材料在现代复合材料开发应用中的地位日益重要。

从材料的维度上来认识纤维，见图 1-2。

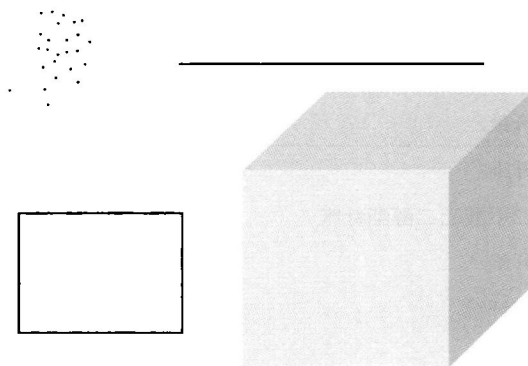


图 1-2 材料维度示意图

零维：颗粒、粉体；

一维：纤维（单轴取向）；

二维：薄膜（双轴取向）；

三维：各种材料制品（三维空间）。

到目前为止，对纤维仍没有统一的分类方法。纤维的种类很多，最常见的是纺织纤维（衣着用）。纺织纤维可以分为两类：一类是天然纤维（Natural fibers），如羊毛、蚕丝、

麻、棉花等；另一类是化学纤维（Chemical fibers），这是一类用天然或合成高分子化合物经化学加工而制得的纤维。化学纤维又通常分为再生纤维（Regenerated fibers）和合成纤维（Synthetic fibers）。再生纤维是以天然高分子化合物为原料，经化学处理和机械加工而制得的纤维，最常见的是再生纤维素纤维和再生蛋白质纤维。合成纤维是以石油、天然气、煤及农副产品等为原料，由单体经一系列化学反应，合成高分子化合物，再经加工制得的纤维。根据高分子化学组成结构的不同，合成纤维可以分为杂链纤维和碳链纤维两大类。杂链纤维的大分子主链上除碳原子以外，还含有其他元素（氮、氧、硫等）。碳链纤维的大分子主链上则完全以碳-碳键相连接。

随着现代复合材料的发展，非衣用纺织用途的一些高性能纤维开始出现并得到广泛应用。这些非衣用纺织纤维，主要用在复合材料中，习惯上被称做增强纤维。复合材料是指把两种或两种以上宏观不同的材料，合理地进行复合而制得的一种材料。明显具有两相或多相，在复合材料中构成连续相的单一材料称基体材料，而不构成连续相的单一材料称为增强材料。纤维是现代复合材料中最常见的增强材料。

表 1-1 列出了纤维的主要品种。

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	Silk	SE
	羊毛	Wool	WO
	麻纤维	Hemp	HA
再生纤维	黏胶纤维	Viscose	CV
	醋酸酯纤维	Acetate	CA
	大豆蛋白纤维	Soybean	SPF
	聚乳酸纤维	Polylactic acid	PLA
合成纤维	聚酰胺纤维	Polyamide	PA
	聚对苯二甲酸乙二醇酯纤维	Polyester	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
无机纤维	玻璃纤维	Glass fiber	GF
	陶瓷纤维	Ceramic	CEF
	碳纤维	Carbon	CF

纤维增强复合材料按照增强纤维的种类可以分为：①碳纤维复合材料；②玻璃纤维复合材料；③有机纤维（包括芳纶纤维、超高分子量聚乙烯纤维等）复合材料；④金属纤维（如钨丝、不锈钢丝等）复合材料；⑤陶瓷纤维（包括氧化铝、碳化硅、硼纤维、二氧化锆纤维等）复合材料；⑥用两种或两种以上的纤维增强同一基体的混杂纤维复合材料等。

从广义的概念上来说，任何一种纤维都可以作为增强纤维。以前，人们在建筑土坯房时，把一些稻草、麦秸等植物纤维掺到土里面，就具有增强作用。现在，在建设高速公路、河堤、大型广场、礼堂等大型建筑时，都用聚丙烯纤维等增强，来提高抗裂性、防渗漏等。从狭义的概念上来讲，增强纤维是用于现代复合材料中的增强材料。这些纤维有的是有机高分子纤维，如芳纶纤维（芳香族聚酰胺纤维）、超高分子量聚乙烯纤维等；有的是无机纤维，如玻璃纤维、碳纤维、碳化硅纤维、硼纤维、三氧化二铝纤维等。而有些无机纤维则以有机高分子纤维为前驱体，如碳纤维、碳化硅无机纤维。除此之外，增强纤维还有金属纤维、陶瓷纤维、单晶晶须纤维等。

1.2 成纤高聚物的基本特性

用于化学纤维生产的高分子化合物，常被称为成纤高聚物或成纤聚合物。成纤高聚物有两大类：一类为天然高分子化合物，用于生产再生纤维；另一类为合成高分子化合物，用于生产合成纤维。作为化学纤维生产的原料，成纤高聚物的性质不仅在一定程度上决定了纤维的性质，而且对纺丝、后加工工艺也有重大影响。

对成纤高聚物一般要求如下：①成纤高聚物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高聚物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高聚物应具有适当高的分子量和适当的分子量分布；④高聚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。

化学纤维的成形普遍采用高聚物的熔体或浓溶液进行纺丝，前者称为熔体纺丝，后者称为溶液纺丝。因此，成纤高聚物必须在熔融时不分解，或能在普通的溶剂中溶解而形成浓溶液，并具有充分的成纤能力和随后使纤维性能强化的能力，保证最终所得纤维具有一定的良好综合性能。

表 1-2 是几种主要成纤高聚物的热分解温度和熔点。可以发现，为什么有的纤维可以采用熔融纺丝，有的纤维要采用溶液纺丝？聚乙烯、等规聚丙烯、聚己内酰胺和聚对苯二甲酸乙二酯的熔点低于热分解温度，可以进行熔体纺丝。聚丙烯腈、聚氯乙烯和聚乙烯醇的熔点与热分解温度接近，甚至高于热分解温度，而纤维素及其衍生物，则观察不到熔点，像这类成纤高聚物，如果不进行改性只能采用溶液纺丝方法成形。

成纤高聚物的主链结构对成纤高聚物及最终纤维结构和性能有决定性影响。例如，当主链上引入双键时，由于诱导效应或共轭效应，会改变链中原子间的相互作用力。引入与主链原子不同价的原子、双键或环结构，则会改变链的柔性。高聚物的主链结构还会改变分子间相互作用力的大小、链的构型和晶格，以及分子间的距离。高聚物分子链侧基也会改变纤维的结构与性能。侧基通过改变分子中电子云排布、大分子链平衡构型，改变晶格及分子间作用力，进而影响纤维的相转变温度、机械性能、电性

能、光学性能等。

表 1-2 几种主要成纤高聚物的热分解温度和熔点

高聚物	热分解温度 (°C)	熔点 (°C)
聚乙烯	350 ~ 400	138
等规聚丙烯	350 ~ 380	176
聚丙烯腈	200 ~ 250	320
聚氯乙烯	150 ~ 200	170 ~ 220
聚乙烯醇	200 ~ 220	225 ~ 230
聚己内酰胺	300 ~ 350	215
聚对苯二甲酸乙二酯	300 ~ 350	265
纤维素	180 ~ 220	—
醋酸纤维素酯	200 ~ 230	—

高聚物的分子量及分子量分布、大分子的形状、链的刚性、支链、添加剂、填充物等决定了聚合物的流变等性能，对纤维的成形、性能有重要的影响。大多数成纤高聚物是半结晶性的，影响结晶（和熔融）温度、结晶度或结晶动力学的因素非常重要。这样的因素包括分子的组成和立构规整性（即立构规整度、共聚单体组分、支化等）、分子量及添加剂（如成核剂、抗氧剂、着色剂等）的影响。

1.3 纤维的主要生产方法概述

纤维的种类、品种繁多，原料及其生产方法各异，其生产过程可以概括为以下四个主要工序。

- (1) 原料准备：高分子化合物合成或天然高分子化合物的化学处理和机械加工。
- (2) 前纺工序：纺丝前的熔体或纺丝溶液（原液）的制备。
- (3) 纺丝工序：纤维的成形加工。
- (4) 后纺工序：初生纤维的水洗、牵伸、卷曲、干燥、切断、落筒或打包等后加工。

1.3.1 原料准备

对合成纤维来说，原料制备过程是将有关单体通过一系列化学反应，聚合成具有一定官能团、一定分子量和分子量分布的线形高聚物。由于聚合方法和聚合物的性质不同，合成的高聚物可能是熔体状态或溶液状态。对于高聚物熔体可直接送去纺丝，称为直接纺丝法；也可将聚合得到的高聚物熔体经铸带、切粒等工序制成“切片”，再以切片为原料，加热熔融形成熔体进行纺丝，这种方法称为切片纺丝。直接纺丝和切片纺丝在工业生产中都有应用。对于高聚物溶液也有两种方法，将聚合后的高聚物溶液直接送去纺丝，这种方法称一步法；另一种方法是先将聚合得到的淤浆分离制成颗粒状或粉末状的成纤高聚物，然后再溶解制成纺丝溶液，这种方法称二步法。

再生纤维的原料制备过程主要是将天然高分子化合物经一系列的化学处理和机械加

工, 除去杂质, 并使其具有能满足再生纤维生产的物理和化学性能。例如, 黏胶纤维的基本原料是浆粕(纤维素), 它是将棉短绒或木材等富含纤维素的物质, 经备料、蒸煮、精选、精漂、脱水和烘干等一系列工序制备而成的。

1.3.2 纺丝成形

将成纤高聚物的熔体或浓溶液, 用计量泵(Metering Pump)连续、定量而均匀地从喷丝头(或喷丝板、喷丝帽)的毛细孔中挤出, 而成为液态细流, 再在空气、水或特定的凝固浴中固化成为初生纤维的过程称做“纤维成形”, 或称“纺丝(Spinning)”, 这是化学纤维生产过程中的核心工序。调节纺丝工艺条件, 可以改变纤维的结构和物理机械性能。化学纤维的纺丝方法主要有两大类: 熔体纺丝法和溶液纺丝法, 其中溶液纺丝根据凝固方式的不同又分为湿法纺丝和干法纺丝。化学纤维生产中绝大部分采用上述三种纺丝方法。此外, 还有一些特殊的纺丝方法, 如乳液纺丝、悬浮纺丝、干湿法纺丝、冻胶纺丝、液晶纺丝、静电纺丝、相分离纺丝和反应挤出纺丝法等, 但用这些方法生产的纤维数量很少。

1. 熔体纺丝(Melt spinning)

熔体纺丝工艺最早的记载出自 1845 年的英国专利。1939 年熔体纺丝作为制造尼龙 66 纤维的生产工艺获工业化应用。如图 1-3 所示, 熔体纺丝基本过程包括物料熔融、从喷丝板中挤出、熔体细流冷却固化成形。制成的长丝可以卷绕成筒或进行其他的加工。在熔体纺丝工艺中, 聚合物喂入挤出机, 经过挤压熔融向前送至计量泵; 计量泵控制并确保聚合物熔体稳定流入纺丝组件, 在组件中熔体被过滤并被压入多孔喷丝板中; 挤出的细流在被垂直于丝条的横吹风快速冷却(骤冷)的同时, 由于导丝辊的作用还产生预拉伸, 使直径变细; 初生纤维被卷绕成一定形状的卷装(对于长丝)或均匀落入盛丝桶中(对于短纤维)。

熔体纺丝的主要工艺参数有: ①挤出温度; ②聚合物通过喷丝板各孔的质量流速; ③卷绕速度或落丝速度; ④纺丝线的冷却条件; ⑤喷丝孔形状、尺寸及间距; ⑥纺程长度。

这些参数之间并非完全互不相干。例如, 纺程长度常常受纺丝线上冷却效率的控制, 高效的冷却可以缩短纺程。由于熔体细流在空气介质中冷却, 传热和丝条固化速度快, 而丝条运动所受阻力很小, 因此熔体纺丝的纺丝速度要比湿法纺丝高得多, 目前熔体纺丝一般纺速为 1 000 ~ 3 000 m/min, 采用高速纺丝时, 可达 3 000 ~ 6 000 m/min 或更高。为了加速冷却固化过程, 一般是在熔体细流离开喷丝板后向丝条吹风冷却。近年来, 一种用于纺制丙纶、涤纶短纤维的短程纺技术得到迅速发展。纺丝中熔体细流从喷丝孔挤出后, 迅速用水冷却, 冷却固化距离(纺程)只有 50 cm 左右, 比通常熔体纺丝机上数米长的冷却区要短得多, 因此纺丝机的结构比较简单, 投资费用较少。

聚酯、聚酰胺、聚丙烯、聚乳酸纤维等一般采用熔体纺丝成形。

2. 溶液纺丝(Solution spinning)

腈纶、维纶、黏胶纤维等一般采用溶液纺丝成形。根据纺丝时采用的初生丝的凝固成形方式, 溶液纺丝分为干法纺丝(Dry spinning)、湿法纺丝(Wet spinning)、干湿法纺丝(Dry-wet spinning)(又称为干喷湿纺)。聚丙烯腈纤维可以用这三种方法纺丝, 下面就

以聚丙烯腈纤维为例分别对上述三种纺丝方法进行介绍。

对于干法纺丝，加热的聚合物溶液通过喷丝板喷出后，进入一个加热的甬道，与高温的循环气体（通常是氮气）进行热交换，把初生丝中的溶剂蒸发掉一大部分，成形的纤维再从甬道中出来，进入下一道工序，去水洗牵伸。

湿法纺丝则是喷丝头直接浸入一种凝固浴，所以初生丝也就直接喷入了凝固浴中，经过与凝固浴进行传热传质交换，初生丝凝固成形，然后从凝固浴出来，经导丝罗拉去水洗或牵伸。湿法纺丝所用的凝固浴在工业生产中，通常是溶解聚合物制备纺丝溶液的同一种溶剂，这是为了降低溶剂回收成本的缘故，其实该凝固浴同样可以用其他溶剂与凝固介质的混合溶液来实现。

干湿法纺丝是介于干法和湿法之间的一种纺丝方法，初生丝从喷丝孔出来经过一段空气层，然后再进入凝固浴成形，如图 1-4 所示。

这三种纺丝方法的优缺点对比见表 1-3。

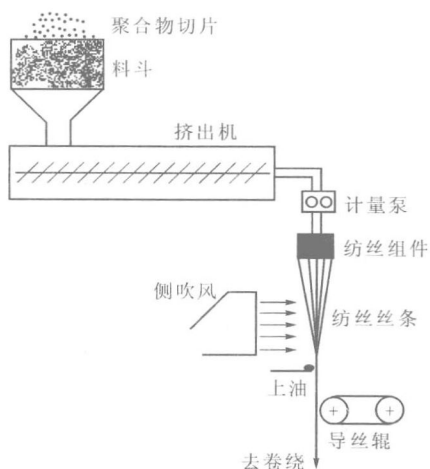


图 1-3 熔体纺丝工艺示意图

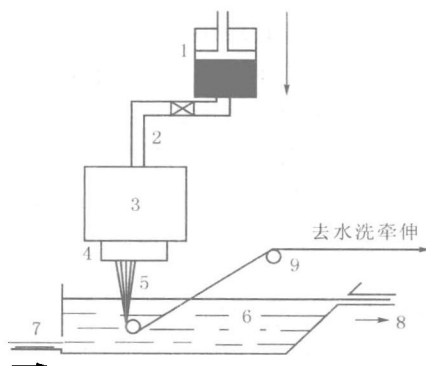


图 1-4 干湿法纺丝示意图

1—纺丝溶液槽；2—阀门；3—喷丝头组件；4—喷丝帽；5—初生丝；
6—凝固浴槽；7—凝固浴循环进口；8—凝固浴循环出口；9—导丝罗拉

1.3.3 初生纤维后加工

纺丝成形后得到的初生纤维结构还不完善，物理机械性能较差，如伸长大、强度低、尺寸稳定性差，还不能直接用于纺织加工，必须经过一系列的后加工。后加工随化纤品种、纺丝方法和产品要求而异，其中主要的工序是拉伸（Drawing）和热定型。

拉伸的目的是使纤维的断裂强度提高，断裂伸长率降低，耐磨性和对各种不同形变的疲劳强度提高。拉伸的方式有多种，按拉伸次数分，有一道拉伸和多道拉伸；按拉伸介质（空气、水蒸气、水浴、油浴或其他溶液）分，有干拉伸、蒸汽拉伸和湿拉伸；按拉伸温度可分为冷拉伸和热拉伸。总拉伸倍数是各道拉伸倍数的乘积，一般熔纺纤维的总拉伸倍数为 3~7 倍，湿纺纤维可达 8~15 倍，生产高强度纤维时，拉伸倍数更高，甚至达数十倍。

表 1-3 干法、湿法和干湿法纺丝的优缺点对比

干法纺丝	湿法纺丝	干湿法纺丝
纺丝速度最高,一般在 200 ~ 300 m/min,最高可达 600 m/min	第一导辊线速度一般为 5 ~ 10 m/min,最高不超过 50 m/min	纺丝速度介于干法和湿法之间
喷丝头孔数在 200 ~ 3 000,工业生产多在 1 100 ~ 2 800	喷丝头孔数可达几十万,可采用组合式喷丝头	喷丝头孔数在几十到几百之间
适合于纺长丝,但也可纺短纤维	多用于纺短纤维,纺长丝效率低	一般仅仅用于纺长丝
成形过程和缓,纤维内部结构均匀,纤维物理机械性能及染色性能较好	成形比较剧烈,易造成孔洞或产生失透现象	介于干法和湿法之间
长丝外观、手感似蚕丝,适合于做轻薄仿真丝绸织物	似羊毛,素有“人造羊毛”之称,适宜于做仿毛织物	适合于致密化的聚丙烯腈原丝,然后用于制备碳纤维
溶剂回收简单	溶剂回收复杂	溶剂回收复杂
纺丝设备比较复杂	纺丝设备比较简单	纺丝设备仅在喷丝头上比湿法复杂
设备密闭性要求高,溶剂挥发少,劳动条件较好	溶剂挥发比较多,劳动条件稍差	基本上与湿法相同
流程紧凑,占地面积少	占地面积较大	与湿法相同
多用二甲基甲酰胺	可选用多种溶剂	可选用多种溶剂,但浸润性强的不太好
纤维断面为犬骨形,或哑铃形	纤维断面容易实现圆形	纤维断面容易实现圆形
蓬松性最好,适合于毛毯、玩具、装饰织物等,可以棉纺和毛纺	可以用做毛纺、棉纺织物	多用于碳纤维原丝

热定型的目的是消除纤维的内应力,提高纤维的尺寸稳定性,并且进一步改善其物理机械性能。热定型可以在张力下进行,也可在无张力下进行,前者称为张紧热定型,后者称为松弛热定型。热定型的方式和工艺条件不同,所得纤维的结构和性能也不同。

在化学纤维生产中,无论是纺丝还是后加工都需进行上油。上油的目的是提高纤维的平滑性、柔软性和抱合力,减小摩擦和静电的产生,改善化学纤维的纺织加工性能。上油形式有:油槽或油辊上油及油嘴喷油。不同品种和规格的纤维需采用不同的专用油剂。

除上述工序外,在用溶液纺丝法生产纤维和用直接纺丝法生产锦纶的后处理过程中,都要有水洗工序,以除去附着在纤维上的凝固剂和溶剂,或混在纤维中的单体和齐聚物。在黏胶纤维的后处理工序中,还需设脱硫、漂白和酸洗工序。在生产短纤维时,需要进行卷曲和切断。在生产长丝时,需要进行加捻和落筒。加捻的目的是使复丝中各根单纤维紧密地抱合,避免在纺织加工时发生断头或紊乱现象,并使纤维的断裂强度提高。落筒是将丝筒或丝饼退绕至锥形纸管上,形成双斜面宝塔形筒装,以便运输和纺织加工。生产强力丝时,需进行变形加工。生产网络丝时,在长丝后加工设备上加装网络喷嘴,经喷射气流的作用,单丝互相缠结而呈周期性网络点。网络加工可改进合纤长丝的极光效应和蜡状

感,又可提高其纺织加工性能,免去上浆、退浆,代替加捻或并捻。为了赋予纤维某些特殊性能,还可在后加工过程中进行某些特殊处理,如提高纤维的抗皱性、耐热水性、阻燃性等。随着合成纤维生产技术的发展,纺丝和后加工技术已从间歇式的多道工序发展为连续、高速一步法的联合工艺,如聚酯全拉伸丝(FDY)可在纺丝/牵伸联合机上生产,而利用超高速纺丝(纺速5 500 m/min以上)生产的全取向丝(FOY),则不需进行后加工,便可直接用做纺织原料。

1.4 纤维的发展概况

人们最初所使用的纤维主要是天然纤维,如棉花、麻、羊毛、蚕丝等。人类历史上最早探索制造人造纤维的记录是在1664年,英国科学家Robert Hooke提出了生产一种人造纤维的方法,在某些方面胜于蚕丝。第一个关于人造蚕丝的专利是1885年在英国申请的,瑞士科学家Audemars把纤维状桑树内皮溶解,经化学处理制得纤维素,并得到了纤维。此后,英国科学家Joseph W. Swan在Audemars工作的基础上,采用喷丝孔喷丝进入凝固浴的方法制得了纤维,并制成碳纤维应用到爱迪生发明的电灯灯丝中。

人造纤维最早获得商业生产是在法国Count Hilaire de Chardonnet工作的基础上实现的,1889年他生产的“人造丝绸”纤维织物在巴黎展览会上引起了人们的注意。两年以后,他建立了第一个生产黏胶纤维的工厂。1893年,醋酸纤维素胶片开始出现,1924年美国Celanese公司实现了醋酸纤维素纤维的工业化生产。再生纤维素纤维的生产早于高分子的结构被人类认清之前。

随着高分子科学的发展,人们对有机高分子的认识由模糊不清到越来越深刻。20世纪20年代,德国科学家Hermann Staudinger(见图1-5)提出了高分子学说,即小分子通过共价键相互连接形成长链高分子化合物。这在当时受到强烈的反对和质疑。Hermann Staudinger早期的支持者Wallace Carothers在美国杜邦公司实验室里通过合成实验,证明了聚合物是大分子,而不是小分子的胶体聚集体。人们开始试图以合成聚合物为原料,并试图制备更好性能的纤维。经过不断试验,美国杜邦公司于1939年实现了聚酰胺纤维(商品名:Nylon,我国称为尼龙、锦纶)的商业化生产,这是纤维工业的一次革命。开始主要应用于尼龙丝袜的生产,在第二次世界大战中由于军用轮胎、帐篷、绳索等方面的应用,以致尼龙丝袜的价格由战前1.25美元/双上升到40 000美元/双。随后,许多新型纤维开始由实验室走向商业生产。1941年由德国Schlack发明的聚己内酰胺纤维实现工业化生产。1946年,德国又实现了聚氯乙烯纤维的工业规模生产。20世纪50年代初期,聚丙烯腈纤维、聚乙烯醇缩甲醛纤维、聚酯纤维等相继实现了工业化。随着丙烯Ziegler-Natta催化聚合反应的研究成功,1960年聚烯烃纤维中的主要产品——聚丙烯纤维在意大利实现了工业化。20世纪60年代,石油化学工业的迅猛发展,极大地促进了合成纤维工业的



图1-5 高分子科学的
奠基人 H. Staudinger 博士