

965208

TQ342
4421E2
1

高等纺织院校教材

合成纤维生产工艺学

(第二版)

(上册)

纺织工业出版社

高等纺织院校教材

合成纤维生产工艺学

第二版

(上册)

董纪震 罗鸿烈 等编
王庆瑞 曹振林

纺织工业出版社

刷
子

50

(京)新登字037号

高等纺织院校教材
合成纤维生产工艺学
第二版
(上册)

董纪震 罗鸿烈 等编
王庆瑞 曹振林

*

纺织工业出版社出版
(北京东直门南大街4号)
纺织工业出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

*

850×1168毫米 1/32 印张: 17.5 字数: 455千字

1993年6月 第二版第五次印刷

印数: 1—3,000 定价: 5.35元

ISBN 7-5064-0517-2/TS·0507 (课)

内 容 提 要

本书为《合成纤维生产工艺学》(1981年出版)的第二版。本书详细讨论了合成纤维生产的工艺原理,内容包括:纤维的基本概念和合成纤维生产方法概述;纺丝流体(高聚物熔体或浓溶液)的流变性质和挤出过程;熔体纺丝(包括高速纺)、湿法纺丝、干法纺丝和其他纺丝方法(特种纺丝)的工艺原理;以及拉伸和热定型工艺原理。

本书可供高等院校化学纤维专业或高分子材料加工专业作专业教材,亦可供相应专业的技术人员、科研人员参考。

责任编辑: 詹 延

前 言

本书为全国统编教材，由纺织工业部化学纤维专业教育委员会组织编写和修订，供高等院校化学纤维或高分子材料专业高年级学生学习专业课时使用。本书详细讨论了合成纤维生产的工艺原理，课堂讲授约需60~80学时，使学生在修毕专业理论课——高分子化学和物理的基础上，系统学习并加深理解合成纤维生产的工艺理论。与本书配套的《合成纤维生产工艺学》（下册），即工艺部分，课堂讲授约需50~60学时。

《合成纤维生产工艺学》（上册）1981年第一版及此次修订（第二版）的编写人员分工如下：

绪论、第一章、第六章由董纪震编写；

第二章第一版由孙桐、古大治编写，第二版由罗鸿烈修订；

第三章第一版由古大治编写，第二版由罗鸿烈修订；

第四章第一版由孙桐等编写，第二版由王庆瑞修订；

第五章第二版由周一心编写；

第七章、第八章第一版由董纪震编写，第二版由曹振林修订。

全书由董纪震主持修订并统稿。

为适合作为教材的要求，由李燕立，张大省提供了各章的习题和思考题。

虽然本书已在教学实践中使用过十年，但由于执笔者水平所限，书中难免存在缺点和错误，希望广大读者批评指正。

编 者

1991年4月

目 录

绪论	(1)
第一章 基本概念和生产方法概述	(11)
第一节 纤维的基本概念	(11)
一、纤维	(11)
二、长丝	(11)
三、短纤维	(12)
四、丝束	(13)
五、异形截面纤维	(13)
六、复合纤维	(15)
七、变形纱	(16)
第二节 成纤高聚物的主要性质	(17)
一、纺织纤维应具备的基本性质	(18)
二、成纤高聚物应具备的基本性质	(19)
三、高分子链结构对成纤高聚物性质的影响	(21)
四、成纤高聚物的热性质	(26)
五、成纤高聚物的结晶能力	(38)
第三节 合成纤维生产方法概述	(41)
一、纺丝熔体的制备	(41)
二、纺丝溶液的制备和纺前准备	(43)
三、合成纤维纺丝方法概述	(48)
四、合成纤维的后加工	(56)
第四节 化学纤维主要品质指标的意义及其表示方法	(64)
一、纤度	(65)
二、断裂强度	(66)

三、断裂伸长.....	(68)
四、初始模量.....	(69)
五、张力-延伸性质和屈服点.....	(70)
六、断裂功.....	(72)
七、回弹性.....	(73)
八、耐多次变形性.....	(76)
九、对高温作用的稳定性.....	(77)
十、阻燃性.....	(80)
十一、对日光和大气作用的稳定性.....	(82)
十二、吸湿性能.....	(83)
十三、染色性能.....	(86)
十四、短纤维的附加品质指标.....	(87)
小结.....	(89)
第二章 纺丝流体的流变性和挤出过程.....	(93)
第一节 纺丝流体的非牛顿剪切粘性.....	(93)
一、非牛顿流体.....	(93)
二、切力变稀流体的流动曲线.....	(94)
三、切力变稀的原因.....	(98)
四、流动曲线对化学纤维生产工艺的意义.....	(99)
第二节 影响纺丝流体剪切粘性的因素.....	(103)
一、高聚物的分子量和分子量分布.....	(103)
二、高聚物的浓度.....	(109)
三、温度.....	(112)
四、溶剂的性质.....	(115)
五、粒子填充剂.....	(118)
六、流体静压.....	(119)
第三节 纺丝流体的拉伸粘性.....	(121)
一、拉伸粘度与剪切粘度间的关系.....	(121)
二、拉伸粘度与拉伸应变速率的关系.....	(122)

三、拉伸粘度与温度的关系	(124)
四、拉伸粘度与分子量及其分布的关系	(127)
第四节 纺丝流体的弹性	(129)
一、纺丝流体弹性的表现和表征	(129)
二、稳态流动时纺丝流体弹性的测定原理	(131)
三、影响纺丝流体弹性的因素	(133)
第五节 纺丝流体在孔道中的流动参数	(140)
一、孔道中的剪切应力 σ_{12}	(140)
二、孔道中的流动线速度 $v(r)$	(141)
三、平均流出体积速度 Q	(142)
四、孔道壁上的切变速率 $\dot{\gamma}_w$	(143)
五、非牛顿性指数 n	(143)
第六节 纺丝流体的挤出及细流的类型	(147)
第七节 熔体破裂	(150)
第八节 纺丝流体的可纺性	(155)
一、可纺性的概念	(155)
二、可纺性理论	(155)
三、纺丝工艺中的可纺性问题	(160)
小结	(161)
第三章 熔体纺丝工艺原理	(167)
第一节 概述	(167)
一、熔体纺丝工艺的一般特点	(167)
二、纺丝过程的基本规律和主要参数	(169)
第二节 熔体纺丝的运动学和动力学	(172)
一、概述	(172)
二、纺丝线上的直径变化和速度分布	(173)
三、纺丝线上的力平衡	(177)
第三节 熔体纺丝的传热	(184)
一、纺丝线上的传热与温度分布	(184)

二、熔体纺丝线的冷却长度 L_K	(186)
三、丝条冷却的传热系数	(187)
四、丝条的径向温度梯度 $\partial T / \partial r$	(191)
第四节 熔体纺丝过程的模拟算法	(192)
第五节 非稳态纺丝	(195)
一、概述	(195)
二、熔纺丝条在冷却气流中的扰动	(199)
第六节 熔体纺丝过程中纤维结构的形成	(201)
一、熔体纺丝过程中的取向作用	(202)
二、熔体纺丝过程中的结晶	(208)
三、高速纺丝线上结晶的特征	(216)
小结	(227)
第四章 湿法纺丝工艺原理	(233)
第一节 成纤高聚物溶解的基本规律	(234)
一、溶解过程的特点和热力学解释	(234)
二、影响溶解度的结构因素	(237)
三、溶剂的选择	(239)
四、聚合物-溶剂体系的相平衡	(249)
五、高聚物溶解过程的动力学	(254)
第二节 湿法成形的运动学	(256)
一、湿法成形过程中纺丝线上的速度分布	(256)
二、湿法成形区内的喷丝头拉伸	(260)
第三节 湿法成形中纺丝线上受力分析	(266)
一、纺丝线上轴向的力平衡	(266)
二、纺丝线上径向应力分析	(272)
第四节 凝固溶液的流动场对成形的影响	(277)
一、凝固溶液的流线分布	(277)
二、凝固溶液的流型	(280)
三、溶液的流体动力学阻力	(281)

四、管中成形时溶液的流动速度及其对纺丝线的影响.....	(284)
第五节 纺丝原液细流的固化.....	(291)
一、相分离的热力学条件.....	(291)
二、扩散定律和衡量扩散速率的基本量.....	(295)
第六节 湿法纺丝过程中纤维结构的形成.....	(310)
一、初生纤维的溶胀度.....	(311)
二、宏形态结构.....	(314)
三、微形态结构.....	(323)
四、超分子结构.....	(330)
小结.....	(334)
第五章 干法纺丝工艺原理.....	(339)
第一节 概述.....	(339)
第二节 溶剂选择与干法纺丝工艺.....	(341)
一、溶剂的选择.....	(341)
二、纺丝溶液的制备和纺前准备.....	(341)
三、干纺工艺.....	(348)
四、溶剂回收.....	(350)
第三节 干纺溶液细流的固化.....	(351)
一、干纺时的热量和质量交换.....	(351)
二、干纺时介质气体动力学的特征.....	(356)
三、干纺的基本方程.....	(357)
第四节 干纺纤维结构的形成和性能.....	(361)
一、干纺时纤维结构的形成.....	(361)
二、干纺成形条件与纤维的性能.....	(363)
小结.....	(365)
第六章 其他纺丝方法.....	(369)
第一节 干湿法纺丝.....	(370)
第二节 由刚性链高聚物的各向异性溶液纺制纤维	

——液晶纺丝	(374)
一、刚性链聚合物纺丝溶液的特性	(374)
二、刚性链聚合物溶液的纺丝——液晶纺丝	(381)
三、纤维结构的形成	(383)
第三节 冻胶纺丝法(半熔体纺丝法)	(386)
第四节 相分离纺丝法	(387)
第五节 乳液或悬液纺丝法	(391)
第六节 反应纺丝法	(393)
第七节 不规则的纤维和纤维材料的成形方法	(395)
一、静电纺丝	(395)
二、喷射纺丝	(396)
三、离心纺丝	(396)
四、无喷头熔池纺丝法	(397)
五、膜裂纺丝法	(399)
第八节 获得高聚物取向结构的新方法	(402)
第九节 非织造材料的制法——纺粘工艺	(405)
小结	(407)
第七章 拉伸工艺原理	(411)
● 第一节 概述	(411)
一、拉伸的目的和作用	(411)
二、拉伸过程的进行方式	(412)
第二节 拉伸过程中应力-应变性质的变化——拉伸曲线	(413)
一、拉伸曲线的基本类型	(413)
二、初生纤维结构对拉伸性能的影响	(419)
三、拉伸条件的影响	(430)
第三节 连续拉伸的运动学、动力学和拉伸热效应	(437)
一、拉伸过程的连续性方程	(438)
二、拉伸线上的速度和速度梯度分布	(439)

三、拉伸线上的张力分布.....	(442)
四、拉伸热效应和热交换.....	(446)
第四节 拉伸过程中纤维结构和物理-机械性质的 变化.....	(451)
一、拉伸过程中纤维结构的变化.....	(451)
二、拉伸对纤维物理-机械性质的影响.....	(463)
第五节 拉伸机理和拉伸形态学.....	(470)
一、拉伸形变机理.....	(470)
二、细颈拉伸与拉伸形态学.....	(477)
第六节 纤维拉伸工艺的稳定性.....	(481)
一、不均匀初生纤维的拉伸.....	(481)
二、拉伸比.....	(483)
三、特殊拉伸条件所造成的不规则纤维.....	(488)
四、拉伸机的不稳定操作.....	(489)
小结.....	(490)
第八章 热定型工艺原理.....	(494)
第一节 概述.....	(494)
一、热定型与纤维结构和尺寸的稳定性.....	(494)
二、热定型的目的和作用.....	(495)
三、热定型的进行方式和效果.....	(496)
第二节 纤维在热定型中的力学松弛.....	(497)
一、纤维在后加工过程中的形变.....	(497)
二、纤维在热定型过程中的收缩.....	(500)
三、热定型温度的选择.....	(502)
第三节 热定型过程中纤维结构与性质的变化.....	(506)
一、热定型过程中纤维结构的变化.....	(506)
二、热定型对纤维物理-机械性质的影响.....	(514)
第四节 热定型机理.....	(528)
一、热定型过程中大分子间作用能的变化.....	(528)

二、热定型与分子运动.....	(532)
三、热定型机理.....	(536)
小结.....	(543)

绪 论

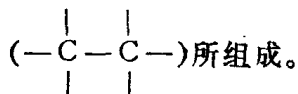
一、合成纤维的分类

纺织纤维可分为两大类：一类是天然纤维，如棉花、羊毛、蚕丝、麻等；另一类是化学纤维●，即用天然或合成高分子化合物经化学加工而制得的纤维。化学纤维又可分为两大类：

1. 再生纤维 (Regenerated fibre) 即用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，其中用纤维素为原料制得的纤维称为再生纤维素纤维，用蛋白质为原料制得的纤维叫再生蛋白质纤维。

2. 合成纤维 (Synthetic fibre) 即用石油、天然气、煤及农副产品等为原料，经一系列的化学反应，制成合成高分子化合物，再经加工而制得的纤维。根据大分子的化学结构，合成纤维又可分为杂链纤维和碳链纤维两类。

杂链纤维的大分子主链中除碳原子以外，还含有其他元素（氮、氧等）。碳链纤维的大分子主链则纯系碳-碳键

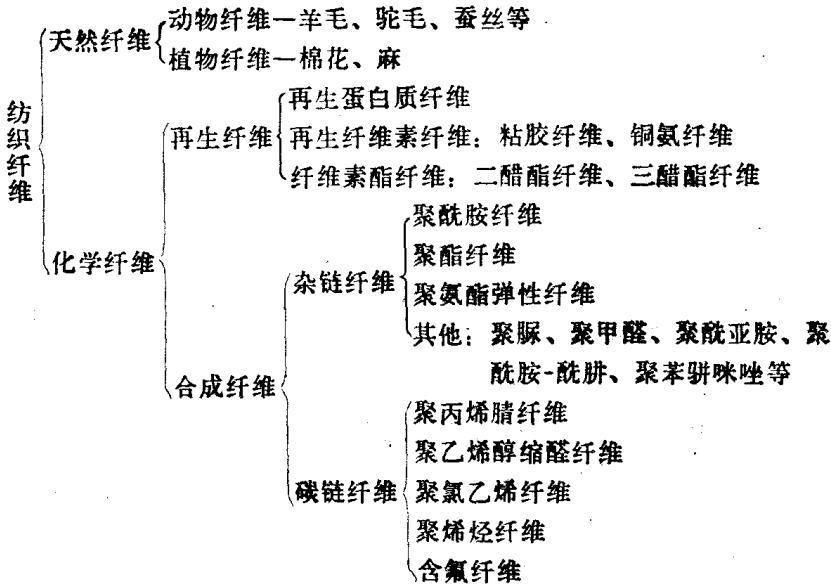


兹将纺织纤维的分类列于表1中。

目前世界上生产的合成纤维品种繁多，据统计有几十种，但其中最主要而得到重点发展的只有聚酯、聚酰胺、聚丙烯腈和等规聚丙烯纤维四种，其次是聚乙烯醇和聚氯乙烯类纤维。其他一些属于特种用途的纤维，称为高技术纤维或高性能纤维，它们的生产量虽不大，但在国民经济中占有重要的地位，因此受到很大

●英文名称为Chemical fibre或Man-made fibre。

表1 纺织纤维的分类



的重视。表2表明主要的合成纤维品种。

二、合成纤维生产简史和发展概况

合成纤维生产是在本世纪30年代中期开始的。当时采用了几种碳链类成纤高聚物，如氯乙烯与醋酸乙烯的共聚物（纤维称为“维纶”）、聚乙烯醇以及氯化聚氯乙烯等作为原料。将这种高聚物的溶液用干法或湿法纺丝制成纤维。制造这类纤维与再生纤维（特别是醋酸酯纤维）的生产过程十分相似。但由于纤维性能低下等一系列原因，以致在生产上没有得到显著的发展。

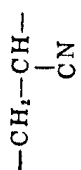
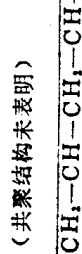
1935年，美国W. Carothers等首先研究成功第一种聚酰胺纤维——尼龙66，1938年建立了中间试验工厂，1939~1940年开始工业化生产。以后这一纤维在西方工业国家得到了广泛的发展，所以实际上尼龙66是第一种正式生产的合成纤维。一般认为合成纤维的发展史是从1938~1940年算起的。这种纤维具有一系列新而优异的性能如高弹性及高强度等，生产时采用了一种新的纺丝方法——熔体纺丝法。

表2

合成纤维的主要品种

类别	学名	单体	主要重复单元的化学式	商品名称
脂肪族聚酰胺纤维	聚酰胺6	己内酰胺	$-\text{HN}-(\text{CH}_2)_5-\text{CO}-$	锦纶6、尼龙6、卡普纶、贝纶等
	聚酰胺66	己二胺、己二酸	$-\text{HN}(\text{CH}_2)_4\text{NHOC}(\text{CH}_2)_4\text{CO}-$	尼龙66、阿尼特
	其他(包括曾经有过小批量生产或正在试验研究中的这类纤维)有: 聚酰胺3, 4, 7, 9, 11, 610, 612, 1010等等			
芳香族聚酰胺纤维	脂环族聚酰胺纤维	双-(对氨基环己基)甲烷、十二二酸	$-\text{HN}-\langle \bigcirc \rangle-\text{CH}_2-\langle \bigcirc \rangle-$ $-\text{NHOC}(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}-$	锦环纶、凯纳(Qiana)
	聚间苯二甲酰间苯二胺	间苯二胺、间苯二甲酸	$-\text{C}(=\text{O})-\langle \bigcirc \rangle-\text{C}(=\text{O})-\text{N}-\langle \bigcirc \rangle-\text{N}-$ $-\text{C}(=\text{O})-\langle \bigcirc \rangle-\text{C}(=\text{O})-$	芳纶1313; Nomex、HT-1
	聚对苯二甲酰对苯二胺	对苯二胺、对苯二甲酸	$-\text{C}(=\text{O})-\langle \bigcirc \rangle-\text{C}(=\text{O})-\text{N}-\langle \bigcirc \rangle-\text{N}-$ $-\text{C}(=\text{O})-\langle \bigcirc \rangle-\text{C}(=\text{O})-$	芳纶1414; Kevlar、纤维B
	聚对苯甲酰胺	对氨基苯甲酸	$-\langle \bigcirc \rangle-\text{CO}-\text{NH}-$	芳纶14; Kevlar 49 (PRD-49)

续表

类别	学名	单体	主要重复单元的化学式	商品名称
聚酯纤维 (包括聚酯酯)	聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET)	对苯二甲酸 (TPA) 或 对苯二甲酸二甲酯 (DMT)、乙二醇或环氧乙烷	$-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-$ 	涤纶、特丽纶、达克纶、帝特纶、拉美桑等
	聚对苯二甲酸环己基-1,4-二甲酯	TPA 或 DMT、环己烷二甲醇-1,4	$-\text{O}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-$ 	Kodel
	聚对羟基苯甲酸乙二醇酯	对羟基苯甲酸、环氧乙烷	$-\text{O}-\text{C}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-\text{C}-\text{O}-\text{O}-$ 	荣辉、A-Tell
聚丙烯腈纤维	聚丙烯腈纤维 (Acrylic Fibres) 系指丙烯腈与少量 (15%以下) 其他单体的共聚物纤维	除丙烯腈 (AN) 外, 第二、三单体有: 丙烯酸甲酯、醋酸乙烯, 苯乙烯, 苯乙腈, 磷酸钠, 甲基烯丙基吡啶, 甲基丙烯酸钠, 甲叉丁二酸等等	$-\text{CH}_2-\text{CH}-$  (共聚结构未表明)	腈纶、奥纶、阿克列纶、克列丝纶、开司米纶、考妥、齐弗纶等
	改性聚丙烯腈纤维 (Modacrylic Fibres) 系指含多量 (15%以上) 第二组分的聚丙烯腈共聚物纤维	丙烯腈、氯乙烯 丙烯腈、偏二氯乙烯	$-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-$  (无规共聚物)	卡耐卡纶、达耐尔、维蒙 N
			$-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-$  (无规共聚物)	CaHBB Verel