

| 纺织服装高等教育“十三五”部委级规划教材

长丝工艺学 (2版)

主 编 白 伦

副主编 谢瑞娟 李明忠

东华大学出版社

纺织服装高等教育“十三五”部委级规划教材

长丝工艺学 (2版)

主 编 白 伦

副主编 谢瑞娟 李明忠

东华大学出版社

· 上海 ·

内 容 提 要

本书系统地介绍桑蚕生丝和涤纶长丝的加工原理和工艺,简要地介绍锦纶长丝、丙纶长丝、腈纶长丝、维纶长丝等其他化学纤维长丝的加工工艺,以及化纤长丝的纺丝新技术。

本书可作为高等纺织院校和高职院校相关专业的教材,也可以供纺织企业的工程技术人员和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

长丝工艺学 / 白伦主编. —2 版. —上海: 东华大学出版社, 2018. 8

ISBN 978-7-5669-1441-5

I. ①长… II. ①白… III. ①长丝—生产工艺 IV. ①TQ341

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 168954 号

责任编辑: 张 静

封面设计: 魏依东

出 版: 东华大学出版社(上海市延安西路 1882 号, 200051)

本 社 网 址: <http://dhupress.dhu.edu.cn>

天猫旗舰店: <http://dhdx.tmall.com>

营 销 中 心: 021-62193056 62373056 62379558

印 刷: 句容市排印厂

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 21.5

字 数: 537 千字

版 次: 2018 年 8 月第 2 版

印 次: 2018 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5669-1441-5

定 价: 59.00 元

编委名单

编者 (按姓氏笔划为序)

白 伦 李明忠 谢瑞娟 戴礼兴

编审委员会

主 任 白 伦

副主任 谢瑞娟 李明忠

委 员 (按姓氏笔划为序)

白 伦 白秀娥 李明忠 徐回祥

钱镇海 谢瑞娟 蒋雪璋 戴礼兴

前 言

根据纺织专业本科生的教学特点和要求,本书系统地介绍桑蚕生丝和化学纤维长丝的加工工艺及有关理论,在力求继承现有教材总结的纺织科学技术成果的同时,充分反映近年来产业内涵结构不断优化、产业技术不断进步及相关科学技术的成果。根据高等院校专业教学拓宽学科专业领域的要求,将桑蚕生丝和化学纤维长丝的加工工艺纳入一本教材中,这是一种新的尝试。书中将天然蚕儿吐出长丝的加工工艺与人类学习蚕儿等昆虫吐丝过程所发明的化学纤维长丝加工工艺并列,将规模化生产的桑蚕生丝、人造丝、聚酰胺长丝和聚酯长丝这四大长丝产品技术组成一个系统。对于纺织及相关学科中的专业教学,其意义在于强调人类从昆虫吐丝过程中学会的利用高聚物纺制出纺织长丝的成形方法及发明相关加工技术的价值和意义,激发读者在现代技术背景下对仿生科学技术产生更深的思考与理解。相信这对于人类从自然界发现更多的纺织科学理论,学到更多自然技巧,以及推动化纤长丝工艺技术的进一步革新与进步,是十分重要的。另一方面,对于近年来纺织长丝工艺及技术进步的成果,本书也注意吸取并纳入其中。例如在桑蚕生丝工艺部分,编入了我国研究的生丝抽样检验分级理论,该理论改变了我国只能参照国外的生丝分级标准制定国家标准的状况,使我国生丝标准的信赖性大大提高,也改变了现有教材中在生丝检验章节只介绍检验程序和方法的状况。此外,为了将《制丝学》与《化纤工艺学》这两本教材中庞大复杂的内容糅合在一起,同时考虑到教材篇幅与教学时数的限制,精心进行了教学内容的遴选及教材结构的调整,希望形成的这本教材不仅能成为本科教学比较系统化的范本,同时能成为工程技术人员及有兴趣了解长丝加工与成形技术等相关内容的读者的一本有用的学习用书。

本教材编写分工如下:第一篇第二章、第五章由白伦编写;绪论、第一篇第一章、第三章、第四章、第六章由李明忠编写;第二篇第七章至第十四章由谢瑞娟编写;第三篇第十五章至第二十章由戴礼兴编写。

本教材在编写、修改和整理过程中得到了苏州大学纺织与服装工程学院的大力支持,在编写与审稿过程中得到了钱镇海、徐回祥、白秀娥、蒋雪璋等老师的支持与帮助,在此表示衷心的感谢。此外,要特别感谢东华大学出版社对本书编写、出版的鼎力支持。

本教材在诸多方面进行尝试与探讨,而随着纺织科学技术的快速发展与持续变革,工程技术教材如何适应时代需求,需在实践过程中不断探索,加之编者学识与专业水平有限,书中难免有遗漏或疏忽与谬误之处,敬请读者提出宝贵意见,以便今后补充修正。

编者一同

谨识

目 录

绪论	1
一、基本概念	1
二、长丝成形概述	2
三、本课程目的和内容	4

第一篇 桑蚕生丝加工工艺原理

第一章 蚕茧	6
第一节 茧的形成	6
一、蚕的一般知识	6
二、茧丝的形成	7
三、茧丝的排列形式	8
四、吐丝结茧过程中影响蚕茧质量的因素	9
第二节 茧的性状	9
一、茧的形状和大小	9
二、茧的颜色和光泽	10
三、茧层的缩皱	11
四、茧层的厚薄和松紧	11
五、茧层的通气性和通水性	12
第三节 茧的工艺性能	12
一、茧丝长	12
二、茧丝量	13
三、茧丝纤度	15
四、茧的解舒	19
五、茧丝的颞节	21
第四节 鲜茧的品质评定	22
第五节 蚕茧的干燥	23
一、蚕茧干燥的目的和要求	23
二、蚕茧干燥原理	24
三、影响蚕茧干燥的因素	25
四、蚕茧干燥设备	26
第六节 干茧的品质评定	28

第二章 生丝检验	29
第一节 生丝检验概述	29
一、生丝检验的目的和要求	30
二、生丝检验项目与检验程序	30
三、生丝产品的包装形态与抽样	31
第二节 外观检验	31
一、外观检验的目的	31
二、检验设备	31
三、检验规程	31
第三节 质量检验	34
一、质量检验的目的	34
二、质量检验的规程	34
第四节 品质检验	35
一、纤度检验	35
二、匀度检验	36
三、清洁及洁净检验	38
四、切断、强伸力和抱合检验	39
第五节 生丝分级	42
一、分级的目的	42
二、分级标准	42
三、生丝分级规定	43
四、最新修订的生丝分级规定	44
第六节 生丝抽样检验分级理论	46
一、生丝定级正确性的评价	46
二、各种检验指标的定级正确性	48
三、生丝等级划分方法	49
四、不同规格生丝等级的关系	51
五、生丝检验分级标准制订的基本步骤	52
第三章 混茧、剥茧和选茧	54
第一节 混茧	54
一、混茧的目的和要求	54
二、混茧的条件	54
三、混茧的方法和设备	55
四、混茧比例的计算	55
第二节 剥茧	56
一、剥茧的目的和要求	56
二、剥茧机工作原理	56
第三节 选茧	56
一、选茧的目的和要求	56

二、选茧的分类标准	57
三、选茧方法和设备	57
第四节 混剥选茧的输送连续化	58
第五节 混剥选茧的工艺检查	59
第四章 煮茧	60
第一节 煮茧的目的和要求	60
第二节 煮茧的原理	60
一、渗透	61
二、煮熟	67
三、调整和保护	68
四、煮茧前处理	69
第三节 煮茧设备	72
一、循环蒸汽煮茧机	72
二、真空渗透煮茧机	76
第四节 煮茧工艺管理	77
一、煮茧工艺标准	77
二、煮熟茧鉴定和保护	78
三、适应立缫的煮茧工艺	79
四、适应自动缫的煮茧工艺	79
五、煮茧弊病的成因	79
六、不同原料茧的煮茧工艺	80
七、煮茧生产能力的计算	81
第五章 缫丝	82
第一节 缫丝概述	82
一、缫丝的概念	82
二、缫丝技术的变迁	82
三、缫丝的工艺要求	83
四、缫丝机	84
第二节 缫丝工艺过程	87
一、索理绪	87
二、茧丝的离解	91
三、添绪和接绪	92
四、集绪和捻鞘	103
五、卷绕和干燥	105
六、落绪茧收集输送和分离	112
第三节 缫丝工艺管理	114
一、工艺条件	115
二、工艺检测	118
三、纤度管理	122

四、给茧机管理	124
五、产量和落丝桶数计算	124
六、接缫	124
七、缫剩茧处理	125
八、生丝小疵疵点及其防止方法	126
第四节 缫丝工艺设计	129
一、工艺设计概述	129
二、抽取样茧和茧质调查	130
三、立缫工艺初步设计	134
四、自动缫工艺初步设计	139
五、工艺设计的方案决策	144
第六章 复摇和整理	147
第一节 复摇	147
一、复摇的目的和要求	147
二、小簇丝片平衡	147
三、小簇丝片给湿	148
四、复摇机	151
五、复摇工艺管理	153
第二节 整理	156
一、编检和大簇丝片平衡	156
二、绞丝和称丝	156
三、配色、打包、成件和成批	157

第二篇 涤纶长丝加工工艺

第七章 概述	160
第一节 涤纶长丝的发展概况和趋势	160
一、涤纶长丝的发展概况	160
二、涤纶长丝的发展趋势	161
第二节 涤纶长丝的分类、性能和用途	162
一、分类	162
二、性能	162
三、用途	163
第三节 涤纶长丝的生产工艺路线	163
一、常规纺丝工艺	164
二、中速纺丝工艺	164
三、高速纺丝工艺	164
四、纺丝拉伸一步法工艺	165
五、其他纺丝工艺	165

第四节	涤纶长丝的生产特点	165
第五节	涤纶长丝的品质标准	166
	一、物理指标	166
	二、外观指标	167
第八章	聚酯切片及其干燥	168
第一节	长丝生产对切片质量的要求	168
	一、PET 的结构和性质	168
	二、长丝生产对切片质量的要求	169
第二节	切片的可纺性	170
	一、可纺性的基本理论	171
	二、纺前对切片可纺性的判断	173
	三、可纺性的表现特征	174
第三节	切片干燥	174
	一、切片干燥的目的和要求	174
	二、切片干燥原理	175
	三、切片干燥工艺条件	176
第九章	常规纺丝	177
第一节	熔体纺丝工艺原理	177
	一、熔体纺丝工艺的一般特点	177
	二、熔体纺丝工艺原理	179
第二节	常规纺丝	181
	一、纺丝工艺流程	181
	二、纺丝工艺条件	183
第三节	拉伸加捻	186
	一、拉伸的目的和要求	186
	二、拉伸工艺条件	186
	三、拉伸过程中纤维结构的变化	188
第四节	拉伸丝的假捻变形	189
	一、假捻变形原理	189
	二、转子式假捻变形工艺流程	190
	三、假捻变形工艺条件	190
第十章	高速纺丝	193
第一节	高速纺丝的特征	193
	一、POY 性能的要求	193
	二、纺程上熔体的变化	195
	三、纺程上丝条取向结构的形成	195
	四、喷丝孔吐出量对纤维成形的影响	196
第二节	高速纺丝工艺	198
	一、纺丝工艺流程	198

	二、聚酯质量的要求	200
	三、切片干燥的要求	203
	四、纺丝工艺条件	203
	五、高速卷绕成形	214
第三节	POY 内在质量的评定	216
	一、条干不匀率	216
	二、动态热拉伸应力	219
	三、沸水收缩率	220
	四、POY 的冷拉伸应力—应变曲线	221
	五、不匀率	221
第十一章	预取向丝的拉伸变形加工	222
第一节	叠盘式摩擦拉伸变形工艺	222
	一、工艺流程	222
	二、工艺条件对生产过程和产品质量的影响	223
	三、拉伸变形加工过程中的假捻张力	230
	四、拉伸变形丝的质量评价	233
第二节	皮圈夹捻式摩擦拉伸变形工艺	235
	一、假捻原理	235
	二、工艺条件对生产过程和产品质量的影响	236
第十二章	全拉伸丝	240
第一节	全拉伸丝工艺路线	240
	一、热辊拉伸工艺路线	240
	二、水膜拉伸工艺路线	241
	三、热管法纺丝拉伸工艺路线	242
	四、高速纺丝冷盘拉伸蒸汽定型工艺路线	242
	五、超高速纺工艺路线	243
第二节	热辊拉伸工艺	243
	一、热辊拉伸工艺的生产特点	243
	二、热辊拉伸的主要工艺条件	244
	三、工艺条件与丝的性能	245
第三节	水膜拉伸工艺	246
	一、水膜拉伸原理	246
	二、水膜拉伸的主要工艺参数	247
第四节	超高速纺丝工艺	247
	一、超高速纺丝的技术经济特点	247
	二、超高速纺丝的工艺特点	248
	三、超高速纺丝的主要工艺条件	249
	四、超高速纺丝产品的结构和性能	251
第十三章	喷气加工技术	253

第一节	网络加工技术	253
	一、网络生成的原理	253
	二、网络器的结构和要求	254
	三、网络加工工艺条件	256
	四、网络丝的物理力学性能	261
第二节	空气变形加工技术	261
	一、空气变形原理	262
	二、空气变形丝的几何结构	262
	三、空气变形机的组成及其作用	263
	四、空气变形加工的主要工艺条件	265
	五、空气变形丝的应用	268
第十四章	微细纤维及其纺丝技术	270
第一节	微细纤维的特性及分类	270
	一、微细纤维概述	270
	二、微细纤维的特性	271
	三、微细纤维的分类	271
第二节	细纤维的纺丝技术	272
第三节	超细纤维的纺丝技术	273
	一、工艺路线	274
	二、技术特点	274
第四节	极细纤维的纺丝技术	275
	一、复合纺丝设备	276
	二、工艺技术	276
第五节	超极细纤维的纺丝技术	277
	一、复合纺丝法技术	278
	二、共混纺丝法技术	279

第三篇 其他化学纤维长丝加工工艺

第十五章	锦纶长丝	282
第一节	概论	282
第二节	纺前准备	283
	一、聚酰胺的制备	283
	二、切片的萃取和干燥	286
第三节	纺丝成形	287
	一、高速纺丝	287
	二、全拉伸丝	288
第四节	后加工	289
	一、拉伸加捻	289

	二、弹力丝加工	291
	三、帘子布生产	291
	四、膨体长丝生产	292
第五节	锦纶长丝的性能和用途	293
	一、性能	293
	二、用途	293
第十六章	丙纶长丝	294
第一节	概论	294
第二节	成形加工	295
	一、常规熔体纺丝	295
	二、膜裂纤维	296
	三、膨体长丝	296
	四、纺黏法	297
第三节	丙纶长丝的性能和用途	297
	一、性能	297
	二、用途	298
第十七章	腈纶长丝	299
第一节	概论	299
	一、工艺流程	299
	二、聚合物合成	299
第二节	纺丝成形	300
	一、原液制备	300
	二、湿法纺丝	301
	三、干法纺丝	303
第三节	腈纶长丝的性能和用途	305
	一、性能	305
	二、用途	305
第十八章	氨纶长丝	306
第一节	概论	306
	一、聚氨酯合成	306
	二、氨纶弹性机理	307
第二节	纺丝成形	307
	一、干法纺丝	307
	二、湿法纺丝	308
	三、熔融纺丝	308
	四、反应纺丝	309
第三节	氨纶的性能和用途	309
	一、性能	309
	二、用途	309

第十九章	维纶长丝	311
第一节	概论	311
第二节	纺丝成形	311
	一、湿法纺丝	311
	二、干法纺丝	313
第三节	缩醛化	313
	一、缩醛化反应	313
	二、缩醛化工艺参数	313
第四节	维纶长丝的性能与用途	314
	一、性能	314
	二、用途	315
第二十章	黏胶长丝	316
第一节	概论	316
第二节	黏胶的制备	318
	一、碱纤维素制备	318
	二、碱纤维素的老成	318
	三、纤维素黄酸酯的制备及溶解	319
第三节	黏胶的纺丝及拉伸	320
	一、纺前准备	320
	二、纺丝	321
	三、拉伸	323
第四节	新溶剂法纤维素纤维	324
第五节	黏胶纤维的性能和用途	325
	一、性能	325
	二、用途	326
主要参考文献		327

绪 论

一、基本概念

1. 纤维

从形状上说,纤维是一种比较柔软的细而长的物质。供纺织用的纤维的长度与直径之比一般大于 $1\,000:1$ 。典型的纺织纤维的直径为几微米至几十微米,长度超过 25 mm ,细度的数量级为 10^{-6} g/mm 。

对于纺织纤维,一般还要求有较大的断裂伸长率并具备较好的弹性恢复性。纺织纤维的典型断裂伸长率为 $10\%\sim 50\%$,这一指标比普通的动物鬃毛高得多,但比橡胶小得多。典型橡胶的初始模量为 $10^6\sim 10^7\text{ N/m}^2$,取向的结晶高聚物(包括纤维)和有机玻璃的初始模量则高达 $10^9\sim 10^{10}\text{ N/m}^2$ 。从分子间作用力看,纤维为 $16.72\sim 29.26\text{ kJ/mol}$,橡胶为 $4.18\sim 6.69\text{ kJ/mol}$,塑料为 $8.36\sim 16.72\text{ kJ/mol}$ 。

2. 长丝

由单根或数根连续的纤维所构成,长度以千米计的光滑而有光泽的物体称为长丝。长丝包括单丝和复丝。

所谓单丝,是指一根单纤维的连续丝条。但是,往往也将由 2 根丝素纤维靠丝胶黏合而成的蚕丝,以及由 3~6 孔喷丝头纺成且含 3~6 根单丝的少孔化纤丝称为单丝。较粗的合成纤维单丝(直径 $0.08\sim 2\text{ mm}$)称为鬃丝,用作绳索、毛刷(例如牙刷)、日用网袋、渔网或工业滤布;细的锦纶单丝用作透明女袜或其他高级针织品。有时,用较粗的单丝可制成有特殊装饰效果的纺织品。

复丝是指由数根单纤维组成的丝条。蚕丝的复丝又称为生丝,一般由 5~20 根蚕丝组成。化学纤维的复丝一般由 8~100 根单纤维组成。采用复丝织造纺织品,是为了改进丝条的可加工性和织物的性能。

长丝按原料的分类如图 0-1。天然纤维中,蚕丝、蜘蛛丝是长丝。化学纤维中,根据纤维的特点,有些品种(例如锦纶)以长丝为主,有些品种(例如腈纶)则以短纤维为主,有些品种(例如涤纶)的长丝和短纤维的比例比较接近。



图 0-1 长丝的分类

3. 异形截面丝

为了改善丝的手感、回弹、起球、光泽等性能,开发了各种非圆形截面形状的丝或中空丝,称为异形截面丝,简称异形丝。

与圆形截面丝相比,异形截面丝具有一系列优点。例如,三角形截面的维纶光泽良好,不易沾尘土,其织物较耐穿着;“支”字形截面的锦纶回弹性好,有良好的抗起球性;五叶形截面的涤纶长丝则有类似真丝的光泽,手感良好,覆盖性好,有抗起球性。中空丝则因丝条内部有空腔,能散射光线,灰尘不明显,并且质轻,保暖性良好。采用不同的异形截面,可使织物具有仿毛、仿丝或仿麻的感觉。

异形纤维广泛用于制作膨体织物、针织物、绒线、地毯等。有些异形纤维另有特殊用途。例如,中空丝可用于逆渗透膜、人工肾脏、食品工业、海水淡化、硬水软化、溶液浓缩、污水处理等。

4. 复合丝

同一根长丝丝条内同时存在两种或两种以上不同种类的纤维成分,称为复合丝。

复合丝的种类很多,有并列型、皮芯型、散布型(海岛型)等。并列型和皮芯型复合丝,根据皮层和芯层的分布状况不同,又可分为同心圆式和偏心圆式,也有呈异形截面形状的。

5. 变形丝

变形丝包括所有经过变形加工的丝。如弹力丝和膨体丝都属于变形丝。

弹力丝可分高弹丝和低弹丝两种。弹力丝的伸缩性、蓬松性好,其织物在厚度、密度、透明度、覆盖度和外观特征等方面接近毛织品、丝织品或棉织品。涤纶弹力丝多数用于衣着,锦纶弹力丝宜用于织造袜子等,丙纶弹力丝则多用于地毯等家用织物。

变形丝有捻回性的和非捻回性的变形丝之分。捻回性的变形丝呈规则的螺旋形,加工方法以假捻法为主;非捻回性的变形丝呈波形、圈形及各种不规则的卷曲形,加工方法有擦过法、填塞箱法、空气喷射法、假编法及赋型法等。

6. 特种纤维长丝

特种纤维长丝是指具有特殊的结构、性能和用途的长丝,如高性能纤维长丝、功能纤维长丝等。它们具有耐高温、耐腐蚀、耐辐射、高强、高模、反渗透、导光或导电等特性,主要用于产业及尖端技术领域。

二、长丝成形概述

早在几千年前,人类就开始将天然纤维用于纺织,直到 19 世纪末,纺织仍然都使用天然纤维。虽然棉、麻、毛纤维的来源丰富,但作为长丝的蚕丝纤维的诸多优良性质是它们所不具备的。蚕丝的稀有和珍贵,引起人们的浓厚兴趣。在 17 世纪就曾有人提出,人类可以模仿蚕吐丝来制造纺织纤维。经过两百多年的探索,人们在对蚕丝的形成过程进行观察和研究的基础上,开始利用天然高聚物——纤维素和酪素作为原料,模仿蚕的吐丝过程进行人工纺丝。1884 年,法国的蚕病理研究者 H. B. Chardonnet 将硝酸纤维素溶解在乙醇或乙醚中制成黏稠液,再用细管冲到空气中凝聚而形成细丝,制成最早的化学纤维——硝化人造丝;1891 年在法国建厂进行工业生产,从而掀开了化学纤维工业的历史。

制造第一批人造纤维所用的天然高聚物原料在高温分解之前不熔化,这决定了纤维制造的第一种工艺方法,即为了改变原料的物理形状,首先必须把它溶解,配成溶液,然后像蚕吐丝