

天然纺织纤维原料 过程工程原理与应用

陈洪章 彭小伟 著



NLIC2970802606



科学出版社

天然纺织纤维原料 过程工程原理与应用

陈洪章 彭小伟 著



NLIC2970802606

科学出版社

北京

内 容 简 介

天然纺织纤维原料种类繁多,转化方法多样,产品丰富。本书从天然纺织纤维原料特征分析入手,利用过程工程及生态学原理,梳理归纳了其共性转化规律,提出了天然纺织纤维原料生态产业新模式。

本书在总结天然纺织纤维原料炼制共性规律和方法的基础上,分别对茎秆纤维生态产业、韧皮纤维生态产业、叶脉纤维生态产业、植物蛋白纤维生态产业、废弃动物毛纤维生态产业、海洋生物纤维生态产业和发酵纤维生态产业进行论述,分析了其具体存在的问题及新技术、新方法和生态产业模式。

本书可供从事纺织纤维科学研究、教学的科研人员及研究生阅读,也可从事生物质资源利用和产业开发的科技人员和管理人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

天然纺织纤维原料过程工程原理与应用/陈洪章,彭小伟著. —北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-034060-3

I. ①天… II. ①陈…②彭… III. ①纺织纤维-纺织工业 IV. ①TS1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 072834 号

责任编辑:杨向萍 陈 婕 刘志巧 / 责任校对:包志虹
责任印制:张 倩 / 封面设计:耕者设计工作室

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

骏 立 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 5 月 第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 5 月 第一次印刷 印张: 20

字数: 390 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

来源于生物体的天然纺织纤维因具有自然、舒适、生物相容性好、可再生等优点而受到大众的青睐。天然纺织纤维原料种类繁多，可来源于植物、动物和微生物。来源于植物的纤维又分为种子纤维、韧皮纤维、叶脉纤维、果实纤维、茎秆纤维、植物蛋白纤维和海藻纤维。来源于动物的纤维原料主要为毛和丝，毛类有羊毛、羊绒、马海毛、兔毛、驼毛、驼绒和牛绒等；丝类有桑蚕丝和柞蚕丝。来源于微生物的纤维主要有细菌纤维素、聚羟基脂肪酸酯类聚合物系列纤维和聚乳酸等。应用天然纺织纤维原料制备纺织纤维，需要经原料预处理、纤维分离提取、改性或再生等过程。面对广泛的天然纺织纤维原料、多样化的纤维制备方法和多功能纤维产品，如何梳理归纳其共性规律、提高纤维的制备效率和品质、减少污染、降低成本是作者一直思考的问题。作者经过多年的研究和产业化实践，形成了一些新的认识。

天然纺织原料组分复杂，除含有纤维素和蛋白质等可制备纤维的组分外，还含有半纤维素、果胶、木质素、脂类和药用化合物等组分，不但可以制备纤维，同时还可联产多种产品。以获取纤维为唯一目的，其他组分作为废弃物排放或低值化利用，导致污染严重和生产成本高，这是目前天然纺织纤维产业普遍存在的问题。改变天然纺织纤维单一技术、单一产品的开发路线，利用过程工程的思路和方法，在研究天然纤维原料特性的基础上，从天然原料中高效、清洁、经济地分离制备纺织纤维，通过多种技术工艺的有机交叉和耦合，在分离制备纺织纤维的同时，对原料的非纤维组分进行综合利用，形成天然纤维原料生态产业集成，这是天然纺织纤维原料产业发展的方向。本书在分析目前天然纺织纤维原料开发利用存在的问题的基础上，结合过程工程原理，阐述了天然纺织纤维原料生态产业链基本原理，提出了天然纺织纤维原料生态产业新模式，以便指导天然纺织纤维原料清洁炼制和高值化利用。

复杂天然纺织原料转化成丰富多样的产品涉及多种技术和方法。本书对天然纺织原料研究方法进行梳理和归纳，从原料预处理、原料组分分离与转化、原料组分分析与表征以及纤维制备与改性几个方面阐述了天然纺织原料研究方法。

在总结天然纺织纤维原料炼制共性规律和方法的基础上，本书分别对茎秆纤维生态产业、韧皮纤维生态产业、叶脉纤维生态产业、植物蛋白纤维生态产业、废弃动物毛纤维生态产业、海洋生物纤维生态产业和发酵纤维生态产业进行论述，分析了具体存在问题及新技术、新方法和生态产业新模式，以供读者参考。

作者在该方面的研究得到了国家重点基础研究发展计划（973 计划）（2004CB719700 和 2011CB707400）、“十二五”国家科技支撑计划（2011BAD22B02）、国家高技术研究发展计划（863 计划）（SS2012AA022502）、中国科学院知识创新工程重要方向项目（KGCX2-YW-328）和中国科学院知识创新工程重大项目（KSCX1-YW-11A1）的资助。迟菲、张建兴、杨叶、翁媛媛、刘丽英、彭小伟和王宁等学生在天然纺织纤维方面的研究工作是本书得以出版的重要前提，其中彭小伟博士参与了第 1 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章和第 10 章的撰写和汇总，王宁博士参与了第 11 章的撰写。同时，本书的撰写得到与作者在天然纺织纤维中试和产业化方面有密切合作的北京赛特瑞科技发展有限公司的大力支持，公司总经理王开利研究员参与了第 2 章的撰写，总工程师孙立参与了第 6 章的撰写，研发部主任任玉枝参与了第 9 章的撰写，工程师任晓雪、林凯、刘泽超分别参与了第 3 章、第 7 章和第 8 章的撰写。此外，本书的撰写还参考了大量国内外前辈和同行撰写的书籍和期刊论文资料，在此一并表示衷心的感谢。

书中有不当之处，诚请读者批评指正，并欢迎来函指导。

陈洪章

2011 年 12 月于中国科学院过程工程研究所生化工程国家重点实验室

E-mail: hzchen@home.ipe.ac.cn

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 纺织原料的发展历程	1
1.2 天然纺织纤维原料及其纤维制备方式	2
1.3 天然纤维和再生纤维的特点	3
1.3.1 天然纤维	3
1.3.2 再生纤维	4
1.4 天然纺织纤维原料炼制存在的问题	4
1.5 过程工程与天然纺织纤维原料炼制	5
1.5.1 过程工程原理及内涵	5
1.5.2 过程集成理论基础	6
1.5.3 过程研究开发思路与方法	8
1.5.4 天然纺织纤维原料过程工程	10
1.6 天然纺织纤维原料炼制新模式	11
1.6.1 过程替代	11
1.6.2 原料替代	12
1.6.3 综合利用	13
1.6.4 生物量全利用技术集成和生态产业链的建立	14
参考文献	14
第 2 章 天然纺织纤维原料种类与特性	16
2.1 植物纤维原料	17
2.1.1 种子纤维	17
2.1.2 韧皮纤维	20
2.1.3 叶脉纤维	25
2.1.4 茎秆纤维	44
2.1.5 植物蛋白纤维	48
2.1.6 海藻纤维	55
2.2 动物纤维原料	56
2.2.1 动物毛	56
2.2.2 蚕丝	57

2.2.3 甲壳素	58
2.3 微生物纤维原料	59
参考文献	60
第3章 天然纺织原料研究方法	63
3.1 原料预处理	63
3.1.1 物理预处理方法	63
3.1.2 化学预处理方法	64
3.1.3 生物预处理方法	66
3.1.4 汽爆预处理方法	68
3.2 原料组分分离与综合利用	69
3.2.1 半纤维素的分离与利用	69
3.2.2 木质素分离与利用	70
3.2.3 羊毛脂的分离与利用	71
3.2.4 药用成分的提取与分离	73
3.3 原料组分分析与表征	77
3.3.1 化学分析方法	77
3.3.2 仪器分析方法	79
3.4 纤维制备与改性	82
3.4.1 天然纤维制备	82
3.4.2 再生纤维制备	82
3.4.3 纤维改性	84
参考文献	91
第4章 天然纺织纤维原料生态产业链基本原理	96
4.1 生态产业链原理	96
4.1.1 生态产业要素	96
4.1.2 生态产业链的理论基础	97
4.2 生态产业链的三个层次	100
4.3 生态产业链的特点和功能	100
4.3.1 注重整体生态效率	100
4.3.2 梯级循环利用资源	101
4.3.3 促进企业结构转型	101
4.3.4 保护生态环境	101
4.3.5 实现经济环境双赢	102
4.4 天然纺织纤维原料生态产业链构建	102
4.4.1 技术创新	102

4.4.2 技术集成	103
4.4.3 经济分析	104
参考文献	105
第5章 茎秆纤维生态产业	107
5.1 茎秆纤维资源特性及利用现状	108
5.1.1 木材纤维	108
5.1.2 秸秆纤维	108
5.1.3 竹纤维	108
5.2 茎秆纤维产品特性及制备方法	111
5.2.1 竹纤维产品	112
5.2.2 黏胶纤维	115
5.2.3 新型功能纤维	121
5.3 产业目前存在的问题	126
5.4 生态产业开发的可行性分析	126
5.5 生态产业链开发关键技术	127
5.6 生态产业新模式	128
5.7 生态产业技术示范	129
参考文献	130
第6章 韧皮纤维生态产业	133
6.1 韧皮纤维资源状况	134
6.2 韧皮纤维原料生态特征及应用现状	137
6.2.1 生态特征	137
6.2.2 应用现状	138
6.3 韧皮纤维原料化学组分	141
6.3.1 韧皮纤维的化学组成与特性	141
6.3.2 韧皮纤维植物根、叶、花和籽成分	142
6.4 韧皮纤维产业目前存在的问题	143
6.5 建设新的韧皮纤维原料生态产业链的必要性	144
6.6 韧皮纤维生态产业化基础	145
6.6.1 原料基础	146
6.6.2 行业现状	146
6.6.3 新技术的开发应用	147
6.7 韧皮纤维原料生态产业化应用方向	149
6.8 韧皮纤维生态产业链开发关键技术	150
6.8.1 韧皮纤维传统脱胶	150

6.8.2	韧皮纤维化学脱胶	151
6.8.3	韧皮纤维生物脱胶	153
6.8.4	韧皮纤维微波、超声波物理脱胶	155
6.8.5	韧皮纤维汽爆清洁脱胶	155
6.8.6	韧皮纤维改性	159
6.8.7	韧皮纤维原料及加工落物的综合利用	162
6.9	韧皮纤维生态产业技术示范	165
	参考文献	166
第7章	叶脉纤维生态产业	168
7.1	叶脉纤维资源及利用现状	168
7.2	叶脉纤维的特性及用途	170
7.2.1	菠萝纤维	170
7.2.2	香蕉纤维	171
7.3	植物叶脉纤维纺织原料加工存在的问题	172
7.4	植物叶脉纤维生态产业开发的重点方向	173
7.4.1	高值化利用	173
7.4.2	扩大生产规模	173
7.4.3	加快相关标准的制定	174
7.4.4	清洁生产	174
7.4.5	综合利用	174
7.5	叶脉纤维生态产业链开发关键技术	175
7.5.1	植物叶脉纤维原料刮制机械制备技术	175
7.5.2	叶脉纤维脱胶技术	177
7.5.3	叶脉纤维原料组分的综合利用技术	180
7.5.4	叶脉纤维的改性技术	181
7.6	叶脉纤维生态产业新模式	182
	参考文献	183
第8章	植物蛋白纤维生态产业	186
8.1	植物蛋白资源特点	187
8.1.1	玉米蛋白	187
8.1.2	棉仁蛋白	188
8.1.3	大豆蛋白	189
8.2	植物蛋白产业存在的问题	190
8.2.1	玉米蛋白产业	191
8.2.2	棉籽粕产业	192

8.3 植物蛋白的成分及理化性质	193
8.3.1 玉米蛋白的成分及理化性质	193
8.3.2 棉仁蛋白的成分及理化性质	196
8.4 植物蛋白纤维生态产业开发可行性分析	197
8.4.1 玉米蛋白纤维生态产业开发的可行性分析	197
8.4.2 棉仁蛋白生态产业开发的可行性分析	204
8.5 植物蛋白纤维生态产业链开发关键技术	206
8.5.1 植物蛋白原料组分分离技术	206
8.5.2 植物蛋白提取技术	206
8.5.3 植物蛋白接枝改性技术	211
8.5.4 植物蛋白与黏胶混纺技术	212
8.6 植物蛋白纤维生态产业新模式	214
参考文献	215
第9章 废弃动物毛纤维生态产业	219
9.1 动物毛资源分布	219
9.1.1 全国养羊概况	220
9.1.2 羊毛资源分布	220
9.1.3 其他动物毛资源分布	221
9.2 废弃动物毛的成分及理化性质	222
9.2.1 羊毛的成分及理化性质	222
9.2.2 羽毛的形态结构和成分	222
9.2.3 角蛋白的形态结构和性质	223
9.3 产业目前存在的问题	227
9.4 废弃动物毛生态产业开发的可行性分析	228
9.5 废弃动物毛生态产业链开发关键技术	229
9.5.1 废弃动物毛中角蛋白的提取	229
9.5.2 角蛋白与不同的载体交联、共混制备纤维或地膜	234
9.5.3 角蛋白制备有机饲料	241
9.5.4 角蛋白制备后整理剂	245
9.5.5 羊毛脂的提取及其应用	248
9.6 废弃动物毛生态产业新模式	251
9.6.1 羊毛生态产业新模式	251
9.6.2 羽毛生态产业新模式	251
参考文献	252
第10章 海洋生物纤维生态产业	254
10.1 丰富的海洋纤维资源	254

10.2	海洋生物纤维的特点及其用途	255
10.2.1	海藻纤维	255
10.2.2	甲壳素	257
10.2.3	海洋生物纤维资源非纤维组分及用途	259
10.3	海洋生物纤维产业目前存在的问题	260
10.4	海洋生物纤维资源生态开发可行性分析	261
10.5	海洋生物纤维资源生态开发关键技术及重要产品	262
10.5.1	原料炼制技术	262
10.5.2	新型共混海藻纤维制备技术	264
10.5.3	海藻复合纤维制备技术	266
10.5.4	功能性海藻纤维的制备	267
10.5.5	海藻纤维面料的研究与开发	272
10.5.6	甲壳素纤维	273
10.6	海藻纤维开发生态产业链模式	278
	参考文献	280
第 11 章	发酵纤维生态产业	283
11.1	发酵纤维的性能与制备方法	283
11.1.1	PLA 纤维	283
11.1.2	PTT 纤维	288
11.1.3	PHA 系列纤维	289
11.1.4	细菌纤维素	292
11.2	产业目前存在的问题	295
11.2.1	PLA 纤维产业存在的问题	295
11.2.2	PTT 纤维产业存在的问题	296
11.2.3	PHA 纤维产业存在的问题	296
11.2.4	细菌纤维素存在的问题	297
11.3	发酵材料开发的可行性分析	297
11.4	发酵纤维开发关键技术	298
11.4.1	木质纤维素炼制	299
11.4.2	玉米原料炼制工程——汽爆组分分离及各组分定向转化	300
11.5	发酵材料生态产业新模式	301
11.6	发酵材料生态产业技术示范	301
11.6.1	以秸秆资源为原料发酵生产生化原料的生态产业技术示范	302
11.6.2	以玉米为原料发酵生产生化原料的生态产业技术示范	303
	参考文献	305

第 1 章 绪 论

随着人们生活水平的提高，“回归自然”成为世界潮流，人们对与人体亲密接触的服饰自然更加讲究。来源于生物体的天然纺织纤维具有自然、舒适、生物相容性好和可再生等优点，受到大众的青睐，天然纺织纤维原料越来越成为纺织行业的宠儿。天然纺织纤维原料种类繁多，有植物的韧皮部、叶、茎秆和植物蛋白，动物的毛发、蚕丝和外壳等，还有藻类和通过微生物发酵而成的细菌纤维素和 PHA 等。应用天然纺织纤维原料制备纺织纤维，需要经提取、改性或再生等过程，这些过程往往会产生严重的污染，如麻纤维化学脱胶产生大量的高 COD 废水，黏胶纤维的制备过程产生大量的有毒气体二硫化碳。如何实现纺织纤维的高效清洁制备是学术界、产业界和有关部门共同关注的问题。

过程工程是以研究物质的物理、化学和生物转化过程（包括物质的运动、传递、反应及其相互关系）的过程科学为基础，任务是解决实验室成果向产业化转化的瓶颈问题，创建清洁高效的工艺、流程和设备，其要点是解决不同领域过程中的共性问题^[1,2]。利用过程工程的思路和方法，在研究天然纤维原料特性的基础上，从天然原料中高效、清洁、经济地分离制备纺织纤维，通过多种技术工艺的交叉和融合，在分离制备纺织纤维的同时，对原料的非纤维组分进行综合利用，形成一些独具特色的天然纤维原料生态产业集成，是天然纺织纤维原料产业发展的新思路。

1.1 纺织原料的发展历程

衣、食、住、行是人类生存的四大要素，衣乃四维之冠。在历史发展的长河中，人们的穿着经历了蔽体遮羞、保暖、美观、舒适和环保等几个阶段。我国是世界文明古国，在现代纺织工业出现以前，已有悠久的手工纺织业历史。远在新石器时代，人们已经开始利用葛、麻等韧皮纤维纺纱织布。4700 多年前，已能制造比较精细的丝绸。经过长期的发展，到商周时期，规格化的布（苧麻为原料）已经作为商品在市场上广泛流通。春秋战国时期和西汉初年，纺织技术已达到很高的水平，主要原料为麻和丝。养蚕取丝是举世公认的伟大发明之一，早在 2000 多年前就传往东南亚，1800 多年前传到朝鲜和日本，1600 多年前传到中亚，1400 多年前传到希腊，900 年前传到意大利，意大利人正是受到养蚕吐丝的启发后发明了化学纤维的生产技术！从汉代到唐代，大量的精美丝织品经由海路

和陆路向外输出, 开拓了历史上著名的“丝绸之路”, 中国因此被欧亚诸国誉为“丝绸之国”。到了两宋和元代, 随着棉花在中原地区和长江流域的广泛种植, 手工棉纺织业得到迅速发展, 棉花逐渐成为主要的纺织原料。

由于棉花适宜于集中种植, 单位产量高, 服用性能好, 再加上棉纺织加工技术的发展, 特别是 18 世纪中叶开始, 以蒸汽机为动力, 以棉纺织工业为带头产业, 两者的结合率先在英国构成推动世界第一次产业革命的原动力, 从此棉花生产登上了世界纺织纤维的主导地位, 直至 20 世纪 50 年代, 棉花及棉纺织工业一直处于世界纺织工业的中心地位。蚕丝、羊毛虽然历史也很悠久, 但是由于养殖条件和地域环境上的种种限制, 产量一直处于微弱地位, 只能当做一种珍贵纺织原料而存在。因此, 从世界第一次产业革命到 20 世纪中叶, 以棉花为基础的纺织工业先后统治世界纺织工业达 200 年之久。

第二次世界大战结束以后, 以黏胶纤维为主体的纤维素纤维和以“耐纶、涤纶、腈纶”为三大支柱的合成纤维开始进入工业化大生产。化学纤维的诞生和发展是世界纺织工业史上的一次伟大革命, 它正改变着纺织工业的整个面貌。在短短 30 多年的时间里, 一方面, 它从数量上把纺织工业几千年来依附于农业的一元型属性推进到以农业和工业加工型为特征的二元型结构体系上来; 另一方面, 它从使用性能上可以依靠人们的智慧和力量创造出具备前所未有的特殊功能的纤维, 使之成为工业、农业、交通运输、医药卫生和许多高科技领域中的基本原材料, 把纺织工业由原来的单纯加工业发展成原材料工业+加工工业的复合型的地位^[3]。

人们生活质量在不断提高, 越来越追求舒适、环保的服饰。天然纺织纤维由于存在穿着舒适、透气性好、有保健作用、防静电和抗菌等优点而备受青睐, 同时天然纺织纤维具有可生物降解和可再生的特征, 符合清洁环保和可持续发展要求。石油等化石资源在不断枯竭, 可以预见, 天然纺织原料将成为纺织产业的主导原料。天然纺织纤维将保持强劲的市场需求态势, 清洁天然原料炼制技术的应用以及新型天然纤维原料开发将取得更大进展。纯天然竹原纤维、桑皮纤维、罗布麻纤维、菠萝叶纤维和椰子壳纤维等将成为纺织业的常用原料。

1.2 天然纺织纤维原料及其纤维制备方式

天然纺织纤维原料是指自然界存在的纺织纤维原料, 包括植物纤维原料、动物纤维原料、微生物发酵原料和矿物纤维原料。由于矿物纤维原料使用范围窄、不可再生, 本书不予讨论。植物纤维原料来源于植物的韧皮部(如苧麻和桑皮)、植物叶(如菠萝叶和剑麻)、植物茎秆(如竹子)、植物种子(如大豆蛋白)、植物果实(如椰壳)和海藻等。动物纤维原料主要为动物的毛发、甲壳类动物外壳

和蚕分泌的蚕丝。来源于微生物的纤维原料有细菌纤维素、乳酸和聚羟基脂肪酸酯等。

由天然纺织纤维原料提取和制备纤维的方式主要有：①机械分离，天然纤维中棉纤维的纤维素含量（质量分数，下同）达到90%，直接从棉籽上机械分离便可用作纺织原料。②植物纤维脱胶，植物韧皮部、叶和果中的纤维素的含量较低，提取纺织纤维需要去除纤维素以外的其他组分，通常称为脱胶，脱胶方式有化学脱胶、生物脱胶和汽爆脱胶（在以后的章节中将详述）。③微生物发酵制备，微生物利用淀粉或纤维素等作为碳源定向转化生产具有特殊功能的纤维，如细菌纤维素（bacterial cellulose, BC）和聚羟基脂肪酸酯（polyhydroxy alkanates, PHA）等，随着生物质炼制技术和发酵技术的进步，微生物发酵纤维产业将逐渐壮大。④改性再生，以自然物中提取的天然高分子化合物为原料，经化学方法处理后纺成纤维，如再生纤维素纤维中的黏胶纤维和竹纤维；以蛋白质为原料的植物蛋白纤维和毛蛋白纤维；还有甲壳素、壳聚糖和珍珠粉与黏胶共混而成的纤维素纤维。改性再生产出的纤维称再生纤维，通常也归类于人造纤维类，但其许多性能与天然纺织纤维相似，有些性能优于天然纤维。例如，黏胶纤维属再生纤维素纤维，它的含湿率最符合人体皮肤的生理要求，具有光滑凉爽、透气、抗静电和染色绚丽等特性。再生纤维是天然纺织原料利用的重要形式，本书将作详细讨论。

1.3 天然纤维和再生纤维的特点

可以用来制造纺织品的纤维，称为纺织纤维。为满足纺织加工和使用过程中的要求，纺织纤维必须具备以下物理和化学性质：①具有一定的长度和整齐度；②具有一定的强度；③具有一定的弹性；④具有一定的抱合力和摩擦力；⑤具有一定的吸湿性；⑥化学稳定性好，具有一定的对光、热、酸、碱及有机溶剂等的抵抗能力。

天然纺织纤维原料可直接提取天然纤维，或经化学方法处理后纺丝制备再生纤维，它们有各自的优缺点。

1.3.1 天然纤维

不同种类天然纤维有不同的优点，同时也存在一些缺陷。

棉纤维的优点是穿着柔软、舒适，色泽鲜艳，颜色丰富，耐热，吸水性强，透气性好；缺点为易起皱、需整烫、易染色、易发霉和耐酸性较差。

麻纤维特性与棉基本相似，吸水性更强，穿着凉爽；缺点为易皱，布料粗糙，穿着时没有光滑的感觉。

取自动物身体的毛发，主要为羊毛及羊绒，其优点为保暖，轻，穿着时无潮

湿感，柔软而舒适，遇水不易掉色；缺点有水洗处理难，不能机洗，需平干，易变形，缩水性强。

蚕丝是衣料中的高档品种，是世界上最好的纺织原料之一。蚕丝支支纤细，光洁柔软，耐磨耐拉，富有弹性，而且能够吸收人体排出的汗湿潮气。蚕丝是天然纤维中最长、最细、最软、最光亮的纤维。一个小小的蚕茧被解开时，它的蚕丝可长达 1 km 以上。蚕丝的弹性好，吸湿性强。但蚕丝也很娇贵，不耐日晒，不耐水洗。柞蚕丝比桑蚕丝粗，耐晒力稍强，但由于天然色素的存在，柞蚕丝难以漂白、染色，日晒后容易泛黄、褪色。用蚕丝织成的丝绸给人的印象是轻薄、飘逸，是四季皆宜的服装面料。

1.3.2 再生纤维

再生纤维的大分子化学结构与纺前原料所具有的结构相同，改性后往往被赋予新的性能，如耐磨、抗腐蚀和阻燃等。再生纤维主要为再生纤维素纤维和再生蛋白纤维。再生纤维素纤维具有类似于天然纤维素纤维的吸湿性强、抗静电性能好、易染色、作阻燃整理以及所制成的服用织物穿着舒适等优点。近年来，出现的莫代尔 (Modal) 和天丝 (Tencel) 等新一代再生纤维素纤维，深受消费者喜爱。但是，再生纤维素纤维也具有不可弥补的缺陷：首先是结构稳定性较差，湿强是干强的 38%~42%，尤其是纺织品缩水率达到 10% 以上；其次是强力低，常规的黏胶纤维强力最高不超过 2.85 cN/dtex，一般在 2.5 cN/dtex 以下，低于 1.96 cN/dtex 的纤维难以正常纺纱；最后，再生纤维素纤维制备过程污染严重，目前常规黏胶生产路线都存在大量废气、废水的排放问题，虽然在治“废”技术上有些进展，但不能改变其污染严重的局面。

再生蛋白纤维中大豆蛋白纤维织物与人体肌肤有良好的亲和性，光泽柔和，手感柔软，悬垂性好，吸湿、透湿性优良，穿着舒适凉爽，是制作高档内衣和时装的首选面料。该纤维可纯纺、混纺，其纱线可用于机织和针织，因此，它的市场发展前景良好。而角蛋白纤维是一种由动物毛发加工而成的纺织新材料，如以羊绒加工后的废弃物为原料，通过提取角蛋白，进行化学加工而制成的纤维。这种纤维既有天然山羊绒所具有的手感柔软、轻滑舒适的特点，又有山羊绒所无法比拟的快干、吸汗和透湿功能；然而其加工过程也存在污染严重的问题。

1.4 天然纺织纤维原料炼制存在的问题

天然纺织原料组分复杂，除能用于制备纤维的组分如纤维素和蛋白质外，还有其他组分，如果胶、半纤维素、木质素和脂类等，这些组分的存在严重影响着纤维组分的提取和再加工。另外，在纤维制备过程中这些组分往往按废弃物处

理,既浪费资源又污染环境。事实上,这些组分都有其用途,开发利用这些组分将其变废为宝,不但可以提高原料的综合利用效率,还能减少污染,形成天然纺织纤维原料的良性发展。归纳起来,天然纺织纤维原料炼制存在以下几个问题:

(1) 对原料组分特性的研究有待深入。原料组分研究是组分分离的基础,只有深入研究原料组分结构特性及相互关系才能将用于制备纤维的组分高效提取出来,同时综合利用其他组分。目前对原料组分的研究主要集中在化学组成及各组分含量上,对各组分的空间结构及各组分之间的连接方式和相互关系还有待于进一步研究。

(2) 没有形成有效的技术集成。目前天然纺织纤维原料的加工大多是以获取纤维为唯一目标,其他组分以废弃物处理,造成资源浪费和环境污染。例如,原麻纤维脱胶制备精干麻,所采用的方法都是将原麻中的胶质(非纤维素组分)去除,保留纤维素组分并尽量不损伤纤维,保持纤维的强度,没有重视非纤维素组分提取和利用。其实原麻的非纤维素组分如半纤维素、果胶和木质素都有应用价值,如半纤维素可制备低聚木糖、糠醛和木糖醇等,也可用于发酵生产沼气、丁醇、微生物油脂的产品,而木质素可用来制备酚醛树脂、黏合剂和分散剂等化工产品,甚至原麻中可以提取药用成分,如黄酮和生物碱类化合物。在研究纤维原料组分特性的基础上开发各组分分级利用技术,并形成有机的集成,将天然纺织纤维原料分级利用,不仅获得纤维产品,同时其他组分也转化为产品,这是天然纺织纤维原料炼制的发展方向。

(3) 能耗高、污染严重是天然纺织纤维原料炼制普遍存在的问题,传统的化学脱胶方法,制备 1 t 精干麻需要消耗煤 1.5 t、液碱(32%) 1.5 t、硫酸 80 kg,排放废水 400 t 以上,废水中碱和胶质的降解物混合在一起,形成高 COD 废水,给周边环境造成巨大的污染,许多脱胶工厂被迫关闭,严重影响麻纺产业的发展。黏胶纤维以天然纤维素为原料制成可溶性纤维素磺酸酯,再溶于稀碱液制成黏胶,经湿法纺丝而制成,其过程大量使用 NaOH 与 H_2SO_4 ,生成大量 CS_2 与 H_2S 气体,形成严重的污染。如何降低能耗、减少污染是天然纺织纤维原料炼制必须解决的问题。新技术、新工艺的开发刻不容缓。

1.5 过程工程与天然纺织纤维原料炼制

1.5.1 过程工程原理及内涵

依据生产方式及生产时物质所经受的主要变化来分类,工业可以分为过程工业(process industry)与产品工业(product industry)两大类。作为过程工业的理论基础,过程科学可以被认为是以不同规模物质和能量转化与传递过程的共

性规律作为其主要研究内容,将物质、能量、信息转化与传递过程的实验室研究成果转化为现实生产力的科学,其实质还是一门技术(工程)科学,其工程应用就形成了过程工程。从某种意义上说,过程工程可以理解为“泛化学工程”,但又作了科学意义上的提升,其要点是解决不同领域过程中的共性问题,它包括实现物质转化“过程”的定量、设计、放大和优化等操作^[4]。

从科学技术的角度出发,从诸多不同目标的工业中寻找和抽提出共性内涵,并形成普适性科学知识,然后反馈到广泛应用对象的知识循环,称为过程工程的学识基础。将众多过程中的共性操作进行归类和归纳,分别进行研究,如从发酵液中分离出乙醇采用精馏,同样,浓缩乙酸也采用精馏;从甘蔗液制糖和从海水中制盐同样属于结晶过程,这些都属于工艺操作的学识基础,称为单元操作^[4]。过程工程有别于工业设计之处在于,设计工作是依据现有的成熟技术进行的,而过程工程是开发新工艺、新流程和新设备的创新研究,无论是过程原理的创新,还是系统集成创新,所得到的都是新的工业技术,是在为设计工作提供可靠的依据。过程工程研究的核心内容就是通过各个单元操作考察物质流的传递与转化过程、能量流的传递与转化过程,以及信息流的传递与集成过程^[5]。

过程工程的内涵与科学基础正在不断发展,目前已经涉及信息论的范畴,过程工程要处理复杂系统,包括尺度效应和协调机制等,因此过程工程理论的研究使系统工程理论得到丰富。而系统工程的思路也对过程工程的形成起到提升的作用,如在单元操作阶段,虽然也考虑了一定的物质转化的共性问题,但远远没有从整体上进行综合和把握,一旦引入系统工程产生过程系统工程,才最终发展到过程工程阶段。另外,过程工程需要将不同的单元过程进行系统集成,这便产生了过程集成理论及过程系统工程^[4]。

1.5.2 过程集成理论基础

过程集成的研究始于20世纪70年代末,最初主要用于系统节能,并发展了用于换热网络分析和设计的系统方法——夹点技术,在过程工业领域得到广泛应用,在换热网络的集成思想和夹点技术的基础上,其应用领域逐步扩展到提高原料利用率、降低污染物排放和过程操作等方面。目前过程集成的尺度主要在宏观范围内,其最简化的层次是单一生产过程内的集成;其次是把不同工艺过程之间的能量及物质集成统一起来考虑,构成企业级的过程集成;最高层次是要考虑过程工业与社会、环境的协调发展,形成生态工业。其中,过程和企业水平上的集成较为成熟,相比之下,工业生态化的过程集成研究则处于起步阶段。建立一个生态工业系统的关键是要通过技术集成实现系统各过程之间的物质、能量和信息的充分利用和交换,因此必须对系统的物质集成、能量集成和信息集成进行研究。另外,水是过程工业不可或缺的重要资源,现今研究将其作为一个重要的研究领域^[6]。