



“十四五”普通高等教育本科部委级规划教材
新工科系列教材

可持续纺织服装

杨旭红 / 主编

K E C H I X U F A N G Z H I F U Z H U A N G



中国纺织出版社有限公司

国家一级出版社
全国百佳图书出版单位



“十四五”普通高等教育本科部委级规划教材
新工科系列教材

可持续纺织服装

杨旭红 主编

 中国纺织出版社有限公司

内 容 提 要

本书以纺织服装工业的可持续发展为背景，介绍了纺织服装供应链中所涉及各类纤维，包括天然纤维、再生纤维和生物基合成纤维的可持续生产加工及可持续性评估，纺织服装生产过程中的可持续设计和加工技术，纺织服装的生态标签，以及与纺织服装相关的知名商家所采取的可持续措施。使读者对纺织服装生产中的可持续性问题有基本认知，从而在设计、生产和消费纺织品或服装时更符合环保理念。

本书可作为纤维科学、纺织和服装等相关专业的本科生教材，也可作为相关专业教师和企业技术人员的学习参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

可持续纺织服装 / 杨旭红主编. --北京: 中国纺织出版社有限公司, 2024. 3

“十四五”普通高等教育本科部委级规划教材 新工科系列教材

ISBN 978-7-5229-1247-9

I. ①可… II. ①杨… III. ①服装工业—可持续性发展—高等学校—教材 IV. ①F407. 86

中国国家版本馆 CIP 数据核字 (2023) 第 237895 号

责任编辑: 朱利锋 孔会云 特约编辑: 贺 蓉
责任校对: 高 涵 责任印制: 王艳丽

中国纺织出版社有限公司出版发行
地址: 北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码: 100124
销售电话: 010—67004422 传真: 010—87155801
<http://www.c-textilep.com>
中国纺织出版社天猫旗舰店
官方微博 <http://weibo.com/2119887771>
三河市宏盛印务有限公司印刷 各地新华书店经销
2024 年 3 月第 1 版第 1 次印刷
开本: 787×1092 1/16 印张: 19.25
字数: 430 千字 定价: 68.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社图书营销中心调换

前言

纺织服装产品是全球需求和消费量非常高的日常生活必需品，纺织服装产业也是我国具有国际竞争优势的支柱产业。不断增长的全球人口正在对自然资源的生产和消费产生直接影响，可持续消费和生产仍然是纺织价值链中存在的问题。在过去的几十年里，越来越多的环境问题迫使纺织工业寻找提高生产效率的替代工艺，同时降低生产成本、资源消耗和废物产生。在当前国家“双碳”战略目标的驱动下，纺织服装行业向绿色低碳转型已成为大势所趋，可持续纺织服装应该在不损害自然和环境的情况下满足人们的需求。纺织服装供应链是所有工业产品中最长、最复杂的供应链之一，了解纺织服装产业链中各个环节对环境的影响，并在生产和消费阶段减少对生态环境造成的负面影响，可以为地球的可持续发展做出积极贡献。

本书通过纺织服装供应链对可持续性进行审视。全书共分10章。第1章为绪论，介绍纺织服装供应链及相关可持续性问题；第2~4章为纤维原料部分，讨论各种纤维的可持续性以及这些纤维的加工如何在未来可持续发展；第5和第6章主要介绍纺织服装的可持续设计和加工；第7~10章为纺织服装的使用、评价、相关措施和技术研究案例，侧重于纺织品的循环利用、生态标签、商家采取的措施和一些可持续性技术案例。

本书由杨旭红为主编，刘宇清为副主编。全书章节架构由杨旭红确定，并完成全书的统稿。各章节编写分工如下：第1~3章由杨旭红编写；第4章4.1节由杨旭红编写，4.2节由高颖俊编写，4.3节由赵荟菁编写，4.4节由程丝编写，4.5节由徐玉康编写；第5章5.1节由杨旭红编写，5.2节和5.3节由王萍、张岩编写；5.4节由洪岩编写，5.5节由王萍、张岩编写；第6章由王萍、张岩编写；第7章由杨旭红编写；第8章由刘宇清编写；第9章由刘金鑫编写；第10章10.1节由刘帅编写，10.2节由丁远蓉编写，10.3节由朱新生编写。

由于笔者水平有限，且纺织服装可持续性生产、加工、评价等技术和方法也在不断发展，书中难免存在不足或不妥之处，诚挚地欢迎读者批评指正。

编者

2023年8月

第 1 章 绪论	1
1.1 纺织服装供应链	1
1.2 纺织服装工业生命周期评估及其对环境的影响	3
1.2.1 纺织品生产过程	3
1.2.2 纺织服装工业生命周期评估	4
1.2.3 纺织服装工业对环境的影响	5
1.3 纺织服装工业的可持续性问题	7
1.3.1 有毒化学品的使用	7
1.3.2 水消耗	8
1.3.3 能源消耗	8
1.3.4 废物的产生	8
1.3.5 气体排放	9
1.3.6 运输	9
1.3.7 包装材料	9
1.4 纺织服装企业社会责任	10
参考文献	12
第 2 章 天然纤维的可持续生产加工和应用	13
2.1 棉纤维	13
2.1.1 棉纤维的用途和对环境的影响	13
2.1.2 棉纤维生命周期评估	14
2.1.3 提高棉纤维可持续性的方法	16
2.1.4 发展趋势	19
2.2 麻纤维	21
2.2.1 麻纤维的种类、用途和对环境的影响	21
2.2.2 麻纤维生命周期评估	23
2.2.3 发展趋势	28
2.3 毛纤维	29
2.3.1 羊毛纤维的结构特点、用途和对环境的影响	29

2.3.2	羊毛纤维生命周期评估	30
2.3.3	发展趋势.....	35
2.4	蚕丝	36
2.4.1	蚕丝的用途、消费趋势和对环境的影响	37
2.4.2	蚕丝生命周期评估	38
2.4.3	发展趋势.....	41
	参考文献	43
第3章	再生纤维的可持续生产加工和应用	44
3.1	黏胶法再生纤维素纤维	45
3.1.1	基本性能和应用	45
3.1.2	生产工艺及其对环境可持续性的影响	48
3.2	溶剂法再生纤维素纤维——Lyocell 纤维	50
3.2.1	基本性能和应用	51
3.2.2	生产工艺及其对环境可持续性的影响	52
3.3	其他再生纤维素纤维——铜氨纤维和醋酯纤维	53
3.3.1	基本性能和应用	53
3.3.2	生产工艺及其对环境可持续性的影响	55
3.4	再生纤维素纤维的可持续性研究——环境影响评估	56
3.4.1	可持续性评估参数	57
3.4.2	可持续性评估	57
3.4.3	关于可持续性评估的其他研究	61
3.4.4	再生纤维素纤维可持续性总结	61
3.5	再生蛋白质纤维	62
3.5.1	再生蛋白质纤维的发展背景	62
3.5.2	形成再生蛋白质纤维的物质基础	64
3.5.3	生产工艺及其对环境可持续性的影响	67
3.6	再生合成纤维.....	69
3.6.1	回收 PET 概述	69
3.6.2	PET 及其消费后回收过程	71
3.6.3	PET 的价值回收	71
3.6.4	再生合成纤维的可持续性评估	72
	参考文献	74

第4章 新型生物基纤维的可持续生产加工和应用	76
4.1 生物基纤维概述	76
4.1.1 当前天然/合成聚合物对环境的影响和对替代材料的需求	76
4.1.2 生物聚合物分类	77
4.2 海藻纤维	79
4.2.1 海藻酸概述	79
4.2.2 海藻酸盐纤维结构和性能	80
4.2.3 海藻纤维制备工艺发展历史	83
4.2.4 海藻纤维应用领域	85
4.2.5 海藻纤维生产工艺	85
4.2.6 可持续性评估	89
4.3 甲壳素和壳聚糖纤维	91
4.3.1 基本结构	92
4.3.2 基本性质	94
4.3.3 生产工艺	98
4.3.4 可持续性评估	101
4.4 PLA 纤维	105
4.4.1 基本性能	105
4.4.2 生产工艺	108
4.4.3 可持续性评估	111
4.5 其他可用于纤维制造的生物基聚合物	114
4.5.1 PBAT	114
4.5.2 PHA	118
4.5.3 PBS	120
4.5.4 淀粉基材料	123
4.5.5 PCL	128
4.5.6 PGA	131
参考文献	133
第5章 纺织服装的可持续性设计	138
5.1 纺织服装图案数字化设计	138
5.1.1 纺织服装图案数字化表现形式	138
5.1.2 纺织服装图案数字化设计方法	139

5.1.3	交互式图案设计方法	140
5.1.4	算法式图案设计方法	141
5.1.5	智能化图案设计方法	142
5.2	纱线仿真设计	145
5.2.1	表面形态数据的获取	145
5.2.2	三维模型的表面重建	146
5.2.3	预构纱线的建立	146
5.2.4	捻度模型结构	148
5.2.5	纱线参数的获取	148
5.2.6	纱线切片建模	149
5.3	织物仿真设计	150
5.3.1	织物几何结构的理论研究	150
5.3.2	织物内纱线的屈曲形态	151
5.3.3	几种典型的几何模型图解	151
5.4	可持续性时装设计	153
5.4.1	设计概述	153
5.4.2	可持续性设计	153
5.4.3	可持续性时装设计概念及策略	155
5.5	可回收衣物的技术设计	168
	参考文献	169
第6章	纺织服装的可持续加工技术	172
6.1	成型加工中的可持续性问题	172
6.1.1	纱线成型的可持续性评估	172
6.1.2	织物成型的可持续性评估	180
6.2	染色中的可持续性问题	185
6.2.1	小浴比染色	186
6.2.2	低给液染色	187
6.2.3	超临界 CO ₂ 染色技术	188
6.2.4	溶剂染色技术	188
6.2.5	结构生色	189
6.2.6	羊毛可持续染色技术示例	191
6.2.7	活性染料废水零排放染色技术	193
6.3	环境友好的纺织品整理	194

6.3.1	抗菌整理	196
6.3.2	防皱整理	198
6.3.3	阻燃整理	198
6.3.4	拒水整理	199
6.4	可持续纺织服装中的新兴绿色技术和环保产品	199
6.4.1	一种新型防缩棉混纺面料	199
6.4.2	栗壳提取物对棉织物的功能性整理	200
6.4.3	海藻酸盐对纺织品的抗菌整理	201
6.4.4	大豆分离蛋白对聚酰胺 66 织物的防火涂层整理	202
6.4.5	简单工艺生产出的抗菌抗病毒棉织物	203
6.4.6	应用工程水纳米结构进行的多功能整理	203
6.4.7	防水拒水产品	204
	参考文献	204
第 7 章 纺织品的循环利用		209
7.1	纺织品回收的系统视角	209
7.1.1	纺织品的回收	209
7.1.2	分拣过程及分类类别	211
7.1.3	纺织品回收系统的构成	212
7.2	循环纺织纤维的消费者认知	214
7.2.1	与对可持续产品态度有关的消费者特征	214
7.2.2	影响消费者对可持续产品态度的因素	215
7.2.3	消费者对纺织品的认知	218
7.3	纺织品的废弃、再使用和再循环	218
7.3.1	纺织品的废弃	218
7.3.2	纺织品的再使用	220
7.3.3	纺织品的再循环	222
7.4	案例研究	223
7.4.1	羊毛的回收	223
7.4.2	企业服装的回收	225
7.4.3	回收纤维用于再生棉纱和牛仔服装	226
	参考文献	227
第 8 章 纺织服装的生态标签与生物可降解认证		228
8.1	纺织与生态	228

8.1.1	生态标签和可持续性的含义	229
8.1.2	纺织品中的生态概念	229
8.1.3	可持续性、新消费者和生态标签	231
8.2	纺织生态标签	231
8.2.1	纺织品标准和生态标签的定义	231
8.2.2	生态标签的检查和剖析	234
8.2.3	生态标签互联网化	237
8.2.4	生态标签品牌效应	237
8.3	生物基产品和可生物降解产品认证	238
8.3.1	生物基产品认证	238
8.3.2	可生物降解产品认证	239
	参考文献	244
第9章	商家采取的可持续措施	246
9.1	品牌商采取的可持续措施	246
9.1.1	安踏	246
9.1.2	李宁	248
9.1.3	波司登	249
9.1.4	欧步斯 (Allbirds)	250
9.2	零售商采取的可持续措施	251
9.2.1	百联集团	251
9.2.2	塔吉特 (Target)	251
9.3	制造商采取的可持续措施	252
9.3.1	盛虹控股集团有限公司	252
9.3.2	华孚时尚股份有限公司	253
9.3.3	德司达 (DyStar)	254
9.3.4	兰精 (Lenzing)	255
9.3.5	诺维信 (Novozymes)	255
	参考文献	256
第10章	可持续纺织服装技术研究案例	258
10.1	可持续纺织加工中的等离子体处理技术	258
10.1.1	低温等离子体在纺织材料表面处理及功能整理方面的应用	258
10.1.2	低温等离子体在纺织行业清洁生产中的应用	261

10.2 回收纺织品的非织造加工技术	265
10.2.1 回收纺织品的预处理	266
10.2.2 回收纺织品的非织造成网技术	266
10.2.3 回收纺织品的非织造固网技术	269
10.2.4 回收纺织品的非织造材料后整理技术	273
10.3 纺织废水处理技术	273
10.3.1 概述	273
10.3.2 纺织工业废水及其污染物	280
10.3.3 纺织工业废水处理技术分类及处理工艺	286
参考文献	293

第 1 章 绪论

随着世界各地对制成品的消费不断增加，产品制造系统对环境的影响受到了密切关注。在过去 60 多年里，自然资源的消耗急剧增加，几乎没有考虑到由此造成的环境退化，特别是在迅速工业化的国家。直到最近，人类才意识到这种对自然环境毫不在意的态度所带来的严重后果。由于化石燃料等自然资源枯竭，有毒废物排放，农业和工业造成的空气、水和土壤污染而导致的全球变暖等问题在全球范围内越来越严重，需要国际社会采取一致行动来解决这些问题。在这种情况下，每一个人都有责任积极参与，共同解决这些问题。每一个工业部门及企业也必须对人类健康和自然环境负责。

纺织业是许多国家经济的重要贡献者。就其产出或生产和就业而言，纺织业是世界上最大的工业之一。“道德”消费者对可持续服装的需求，监管机构在环境法规执行方面的显著改进，以及制造商更好地遵守法规，这些都清楚地表明，越来越多的人认识到纺织服装行业朝着更可持续模式发展的重要性。服装业是劳动密集型产业，在发达国家和发展中国家为非熟练劳动力提供了基本工作岗位。与此同时，纺织和服装（及时装）行业拥有高附加值的细分领域，其中设计、研究和开发是重要的竞争因素。

1.1 纺织服装供应链

纺织服装工业是满足人们基本需求的基础工业之一，因此成为人类生活中不可或缺的一部分。纺织服装工业的可持续性是一个巨大的主题，可持续性有助于各行业改善其供应链的生态、金融和社会表现。可持续性和可持续发展对不同的人有着不同的含义。就整个供应链而言，必须研究纺织品和服装的整个供应链的可持续性，评估并进一步改善整个供应链各个阶段的社会、环境和经济影响。

纺织服装终端产品在生产过程中涉及许多流程（图 1-1），其中有许多合作伙伴扮演着关键角色。新的消费市场的增长、现代零售业务的全球扩张、空中和海上运输的繁荣、纺织及相关生产技术的发展，都推动着全球纺织业的长期增长。自 1995 年以来，中国一直是世界上最大的纺织品和服装出口国。

纺织服装供应链的主要参与者包括跨国品牌所有者、原材料供应商、纺织和服装生产商、金融机构、零售商和客户，如图 1-2 所示（图中未包含品牌所有者）。企业有时要对供应链中的一个以上环节负责。例如，品牌所有者和零售商可能是同一家公司，或者品牌所有者可能有自己的内部生产链。供应链的复杂性不可避免地导致产品制造过程中所涉及各个步骤及其对环境的潜在影响缺乏透明度。

纺织服装高度复杂和庞大的供应链进一步加剧了问题的复杂性，如图 1-3 所示。其中输

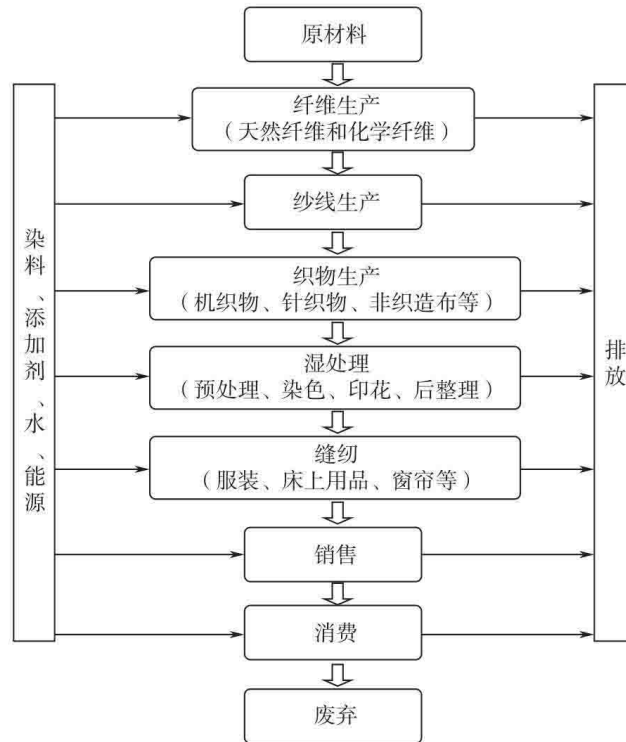


图 1-1 纺织服装供应链

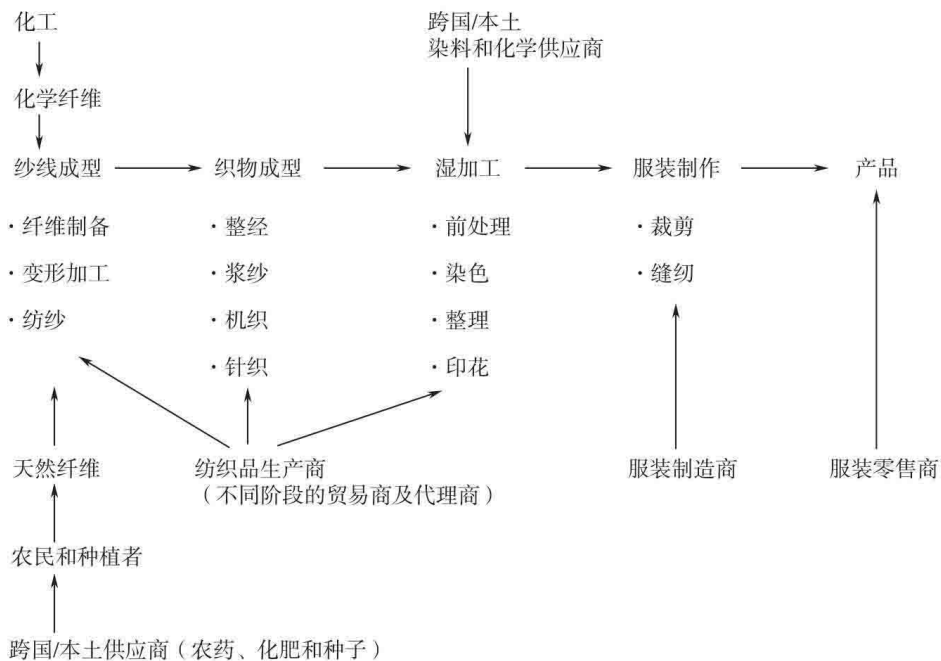


图 1-2 涉及纺织服装供应链的企业

入是指原材料、能源、水、化学品、辅助设备，甚至是人的输入（劳动）。输出是指成品、排放（对空气、水和土地）、废水和固体废物等的输出。

维两大类。

(2) 纱线和织物的生产。

(3) 为纺织品提供消费者需要的视觉、物理和美学性能而进行的后整理加工，如漂白、印花、染色和涂层。

(4) 纺织品转变为服装。

纺织品生产过程是一个很长的工序，消耗大量资源，如水、燃料和各种化学品，产生大量废物。与纺织业有关的主要环境问题通常是经处理的废水排放造成的水体污染以及废气排放，特别是挥发性有机化合物（VOCs, volatile organic compounds），另外还有过度的噪声或气味，以及工作场所安全。

一件服装在它生命的每一个阶段都对社会、环境和经济产生影响。

1.2.2 纺织服装工业生命周期评估

1.2.2.1 生命周期评估的概念

确定地球上生产的各种产品所产生的环境影响是减少这些影响的关键。在研究产品所造成的环境影响的各种技术中，生命周期评估（LCA）是应用最广泛和最流行的技术之一。LCA 是一种分析工具，它帮助我们了解从原材料的获取到最终处置的环境影响。也就是说，LCA 检查产品并量化产品从最初生产（摇篮）到最后阶段（坟墓）的整个生命周期中所产生的环境影响。

根据环境毒理学与化学学会（SETAC, The Society of Environmental Toxicology and Chemistry）的定义，LCA 是一个迭代过程，用于评估与产品、过程或活动相关的环境负担。它的工作方式是确定和量化所使用的能源和材料以及排放到环境中的废物，以便评估它们对环境的影响，并确定和评价改善环境的方法。评估包括产品、过程或活动的整个生命周期，包括原材料的获取和加工，制造、运输和分销，使用、再利用、维护、回收和最终处置。

1.2.2.2 纺织产品的生命周期评估模型

这里介绍一个为纺织公司设计的简化 LCA 模型，它以所使用的能源和化学品为依据，不包括运输在内。首先选择纤维类型，如果一个产品中使用了一种以上的纤维，模型必须针对每种纤维分别运行，并考虑它们的相对数量进行最终计算。对特定产品的各种单元操作，如纺纱、变形、机织/针织、化学处理过程（前处理、染色、印花、整理）、物品制造（服装）、单独清洗步骤（如果有的话）和废物管理进行识别。

在该模型的数据库中可找到默认值和数据从何处获得以及数据在什么条件下有效的描述；对于不同的单元操作，可获得下列基本的现金流数据：

(1) 原油、煤炭、天然气、水、化石燃料、水、耕地、林地等资源利用。

(2) 空气中 CO₂、CH₄、SO_x、NO_x、NH₃、VOC 和空气动力直径小于 10μm 的颗粒物的排放。

(3) 含生物需氧量（BOD）、化学需氧量（COD）、总磷、总氮的水体排放量（模型中未提及硫酸盐）。

(4) 成本。

该模型包括清单数据的汇总、全球变暖、酸化、富营养化和光氧化剂产生潜力的表征以及生态效率的解释（环境影响和效益之间的关系）。将运输包括在模型中可能很重要，例如在评估以低效方式运输的服装时。包装材料对于需要大量包装的产品来说是很重要的。当需要评估对水体的化学排放时，将废水处理厂包括在模型中也比较重要。该模型还可以补充对环境有负面影响的化学品的数据。

图 1-5 显示了一件棉 T 恤的生命周期。产品可以通过其生命周期的各个阶段进行评估，即：原料的提取或获取（主要是棉纤维），生产和加工（纱线制造、织物制造、前处理和染色），包装（纸张、塑料等），产品的运输和分销，使用和重复使用，再循环，废弃。



图 1-5 一件棉 T 恤的生命周期

在每一阶段，确定材料的投入和评估所需能源；测量有用产品的产出和废物的排放。确定最佳改进点，并估计生态效率。

1.2.3 纺织服装工业对环境的影响

任何工业活动都会以这样或那样的形式产生污染，具有复杂供应链的纺织服装工业也必然会向环境释放大量的污染物。表 1-1 概述了纺织生产过程中产生的废物数量。

表 1-1 纺织生产过程中产生的废物数量

工艺	排放	废水	固废
纤维制备	少或无	少或无	废纤维和包装废物

续表

工艺	排放	废水	固废
纺纱	少或无	少或无	包装废物、浆纱、废纤维、清理和处理废物
上浆	VOCs	BOD、COD、金属	纤维屑、废纱、包装废物、清理废物、未使用的淀粉基浆料
机织	少或无	少或无	包装废物、纱线和织物残屑、不合格的织物、用过的油
针织	少或无	少或无	包装废物、纱线和织物残屑、不合格的织物
簇绒	少或无	少或无	包装废物、纱线和织物残屑、不合格的织物
退浆	来自乙二醇醚的 VOCs	来自润滑剂、杀虫剂、防静电化合物的 BOD	包装废物、纤维屑、废纱、清理和护理材料
精练	来自乙二醇醚和精练剂的 VOCs	消毒剂、杀虫剂残留物、NaOH、洗涤剂、油、针织润滑剂、纺丝油剂、废溶剂	少或无；即使少，影响也可能是相当大的
漂白	少或无	H ₂ O ₂ 、稳定剂，高 pH	少或无
烧毛	燃烧器排出的少量废气	少或无	少或无
丝光	少或无	高 pH；NaOH	少或无
热定形	合成纤维生产中纺丝油剂的挥发	少或无	少或无
染色	VOCs	金属、盐、表面活性剂、有机加工助剂、阳离子材料、染料、BOD、COD、硫化物、酸性/碱性试剂、废溶剂	少或无
印花	溶剂、干燥烘焙箱排放的醋酸；气体	悬浮固体、尿素、溶剂、染料、金属；热；BOD、泡沫	少或无
整理	VOCs；购买的化学品中含有的污染物；甲醛挥发；烟气	COD、悬浮固体、有毒物质、沾污溶剂	织物残屑和剪屑、包装废物