



生命周期评价方法在印染产品 环境影响分析中的应用

于钦明¹, 张雪冰¹, 杨洪彬², 夏泉海¹, 周乔木¹

(1. 黑龙江中医药大学人文与管理学院, 黑龙江哈尔滨 150040; 2. 哈尔滨医科大学
附属肿瘤医院, 黑龙江哈尔滨 150081)

摘要: 印染行业由于具有高水耗、高能耗和高污染的特性,成为全球范围内环境管理和可持续发展议程的重点行业。随着环境保护意识的增强和可持续发展需求的提升,生命周期评价方法可以评估产品从原材料获取、生产、使用到废弃全过程的环境影响,识别重点环境影响区域,提出相应的改进措施。在印染产品的环境影响中应用生命周期评价方法,可以通过详细的案例分析,定义目标和范围,执行生命周期清单分析,进行生命周期影响评估,并对结果进行解释。基于生命周期提出优化策略,可以为印染行业的环境影响减缓提供理论基础。

关键词: 生命周期评价; 印染产品; 环境影响

中图分类号: TS193.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0439(2024)05-0001-06

Application of life cycle assessment methodology in environmental impact analysis of printing and dyeing products

YU Qinming¹, ZHANG Xuebing¹, YANG Hongbin², XIA Quanhai¹, ZHOU Qiaomu¹

(1. School of Humanities and Management, Heilongjiang University of Chinese Medicine, Harbin 150040, China;
2. Harbin Medical University Affiliated Cancer Hospital, Harbin 150081, China)

Abstract: Due to its high water consumption, high energy consumption and high pollution, the printing and dyeing industry has become a key industry in the global environmental management and sustainable development agenda. With the increasing awareness of environmental protection and the increasing demand for sustainable development, life cycle assessment method can assess the environmental impact of the whole process of products from raw material acquisition, production, use to waste, identify key environmental impact areas, and propose corresponding improvement measures. Applying life cycle assessment methods to the environmental impact of printing and dyeing products, it is possible to define objectives and scope through detailed case studies, perform life cycle inventory analysis, conduct life cycle impact assessment, and interpret the results. The optimization strategy based on life cycle can provide a theoretical basis for the environmental impact mitigation of printing and dyeing industry.

Key words: life cycle assessment; printing and dyeing products; environmental impacts

随着全球化的发展和科技进步的加速,印染行业在技术创新、生产效率、产品多样性以及市场范围

收稿日期: 2024-01-20

基金项目: 2021年度黑龙江省大学生创新创业训练计划项目(202110228069s);黑龙江省中关药经典普及化专项课题项目(ZYW2023-050);2022年度黑龙江省中医药经典普及化研究专项课题重点资助项目(ZYW2022-014)

作者简介: 于钦明(1979—),男,副研究员,博士,研究方向为社会文化与心理健康教育、大学生创新创业教育。

通信作者: 周乔木(1973—),女,副教授,博士,研究方向为明清文学与文献、中国传统文化。

等方面均得到显著提升。据印染行业协会数据显示,2023年规模以上印染企业营业收入2 986.15亿元,利润总额139.15亿元(见图1)。

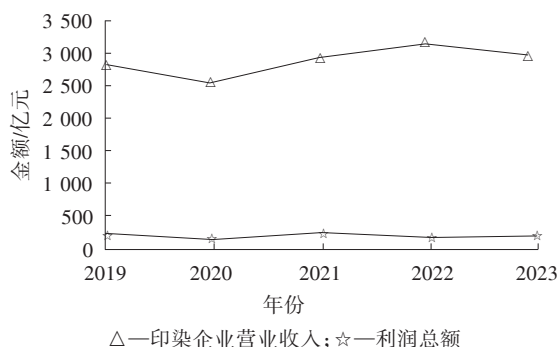


图1 2019—2023年中国规模以上印染企业营业收入与利润总额

随着人们环境保护意识的增强,印染行业作为全球纺织产业链中的关键环节,在将原始纤维转化为各种颜色和图案的织物时消耗大量水资源和能源以及排放大量化学物质,引起了较大关注。印染产品生产过程中大量的化学染料和助剂作为废弃物排放到环境中,容易对水质、土壤和空气质量造成长期的负面影响。在此背景下,减轻印染行业的环境负担成为行业发展的一个重要方向。生命周期评价方法作为一种评估产品或服务系统整个生命周期内(从原材料获取、生产、使用到废弃处理)产生的环境影响的工具^[1-2],可以帮助印染行业识别产品生命周期中的关键环境问题,优化印染产品的生产流程,促进环境友好技术的开发和应用。因此,本文将深入探讨生命周期评价方法在印染产品环境影响分析中的应用,以期为印染行业的环境管理和可持续发展策略制定提供参考。

1 生命周期评价(LCA)

生命周期评价(LCA)是一种综合性的环境管理方法,可以量化从原材料的提取与加工、产品的制造、使用,到最终废弃物处理的全过程环境负荷和资源消耗,为环境决策提供科学依据^[3-4]。随着环境保护意识的增强和可持续发展需求的增加,LCA因具有全面性和系统性,可以提供多维度的环境影响视角,应用范围逐渐扩展到能源、交通、建筑、电子产品等多个产业领域。LCA基于ISO 14040和ISO 14044国际标准,主要分为目标和范围定义、生命周期清单分析(LCI)、生命周期影响评估(LCIA)和结果解释4个主要阶段(见图2)。这种方法有助于识别产品或服务中环境影响的关键驱动因素,促进环境性能的持续

改进和创新^[5]。

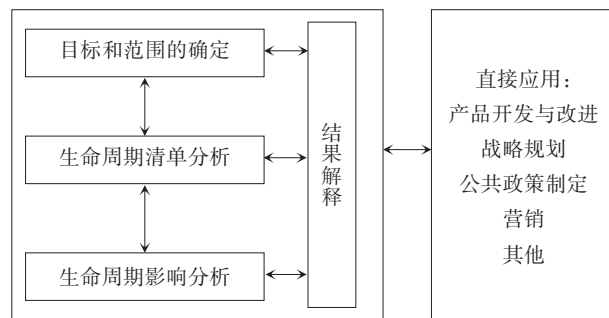


图2 生命周期评价框架

2 印染行业与印染产品

2.1 印染行业

印染行业融合了艺术设计与化学工程的复杂过程,专注于纤维、纱线、织物等材料的颜色和图案的加工与创造,满足消费者对服装、家居装饰品以及工业用纺织品的需求。随着全球经济的不断发展以及科技的进步,印染行业经历了从手工作坊到高度自动化和数字化生产的转变,提高了生产效率和产品质量,促进了新材料、新技术和新工艺的开发应用。低水耗染色技术、无水印刷技术和使用环境友好染料创新工艺有助于减少对自然资源的消耗和纺织品生产过程对环境的污染;数字化技术的应用使得小批量、快速反应的定制生产成为可能,有利于满足市场对多样化和个性化产品的需求,减少过度生产和库存积压,减少资源浪费,减轻环境压力。印染行业的产业链主要包括原材料、染料及助剂的上游产业、印染加工的中游产业、服装产业等下游产业,具体如图3所示。

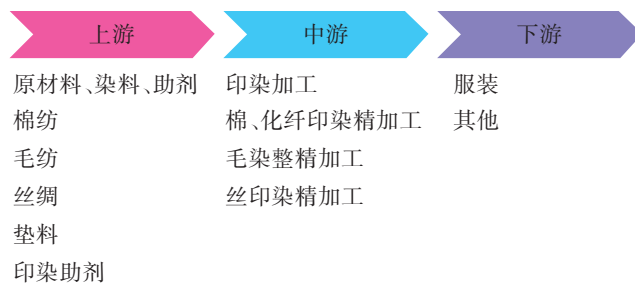


图3 印染行业的产业链

2.2 印染产品分类

印染产品可以根据纤维类型、印染技术、应用场景以及特殊功能等因素进行分类。印染产品分类如表1所示。

表1 印染产品分类

分类维度	描述	举例
纤维类型	根据印染产品所用纤维的类型和来源分类	天然纤维如棉、丝;合成纤维如聚酯;混合纤维如棉聚酯混纺
印染技术	按照印染产品在生产过程中采用的技术手段分类	传统染色如浸染法;现代印花技术如数字直接印花
功能性	根据产品具有的特殊功能特性分类	防水布料、阻燃安全服、抗菌医用纺织品
应用领域	基于印染产品的最终使用场景和用途分类	服装用纺织品、家居装饰布料、工业用布料
染料和助剂	依据使用的染料种类和助剂的化学性分类	直接染料、活性染料;柔软剂、增白剂

2.3 印染行业环境影响

印染行业需要消耗大量的水资源用于纤维的处理、染料的溶解和布料的清洗等,因而产生了废水。如果废水没有经过适当处理就直接排放到自然环境中,将严重威胁水生生态系统和人体健康,导致水体富营养化和土壤质量下降。此外,印染产品在生产过程中使用的染料和助剂中往往包含重金属、甲醛、芳香族胺等有毒有害物质,如果在生产过程中出现泄漏或者在使用后废弃,容易对环境构成长期的污染威胁。印染产品在生产过程中需要消耗大量的能源用于加热、烘干和机械运行、进行高温处理和热定型,引发大量温室气体和其他污染物的排放,加剧了全球气候变化和空气质量的恶化。另外,印染产品生产过程中的剪裁废料、不合格品以及消费者使用后废弃的纺织品,在没有得到有效回收和再利用的情况下容易以固体废物的形式堆积在填埋场,占用土地资源,进而造成二次污染^[6]。

3 生命周期评价方法在印染产品环境影响分析中的应用

3.1 案例选取

选取A纺织服装厂作为具体的案例。A工厂位于一个传统的纺织生产区域,具有完整的纺织品生产线,从原料加工到成衣制作涵盖了整个纺织品的生产周期。随着现代生产技术的发展,A服装厂引入现代化的生产设备和相对成熟的环境管理体系,以及绿色生产流程和循环经济概念,致力于减少生产过程对环境造成的负面影响,提高能效和废弃物管理。使用生命周期评价方法对A服装厂进行评价,可以系统地识别和量化在原料采购、生产加工、产品使用以及废弃处理等各个环节中的环境负荷,为环境管理和决策提供依据,促进可持续发展策略的实施。

3.2 目标与范围定义

采用征询表的方式,以A服装厂一个客户订单的完整数据作为功能单元进行分析。目标集中于评估棉质服装产品从原料采集、纺织、印染、成衣制造等各个环节的环境影响,以揭示整个生命周期中的环境热点。棉质服装产品分为纺纱、织布、印染以及成衣制造4个工艺阶段。其中,棉花的种植和运输包含在纺纱阶段。基于划分的阶段,将主要考察农药和化肥的应用、纺织机械的能源消耗和排放问题、染料和助剂的选择对水体污染的影响、运输方式对大气环境的污染、洗涤频率和方式对水和能源的需求等因素,为生态设计、环境标签和持续改进等提供基础。棉质服装产品生产加工过程的生命周期系统边界如图4所示。

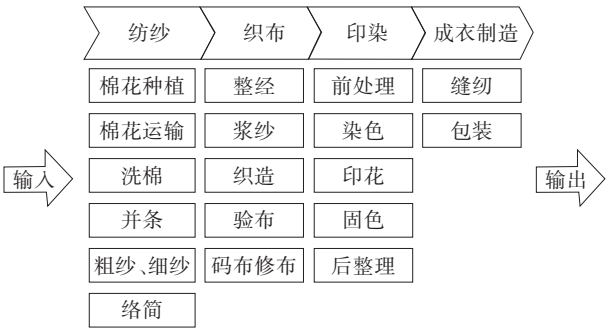


图4 棉质服装产品生产加工过程的生命周期系统边界

基于生命周期评价方法,主要分析初级能源消耗、资源消耗潜力(ADP)、酸化潜力(AP)、富营养化潜力(EP)、全球变暖潜力(GWP)、臭氧层损耗潜力(ODP)、光化学氧化物生成潜力(POCP)。

3.3 生命周期清单分析

收集A服装厂的数据,梳理资源和能源的输入数据,通过LCA模型计算输出数据,棉质服装产品资源和能源输入数据如表2所示。

表 2 棉质服装产品资源和能源输入数据

项目	纺纱阶段	织布阶段	印染阶段	成衣制作阶段
能源输入	电:56 271 kWh	电:67 266 kWh	电:15 432 kWh	电:760 kWh
	水:15 320 kg	水:15 300 kg	水:789 641 kg	机油:7 kg
	润滑油:7.89 kg	润滑油:12.18 kg	润滑油:3.80 kg	
		蒸汽:30 000 kg	蒸汽:143 568 kg	
			天然气:4 501 kg	
物质输入	棉:21 200 kg	浆液:3 000 kg	棉纱:1.21 kg	棉线:56 kg
		打包材料:51 kg	双氧水:640 kg	打包材料:204 kg
			烧碱:20 000 kg	
			精练剂:1 050 kg	
			染料:2 000 kg	
			助剂:2 450 kg	

3.4 生命周期影响评估与结果解释

3.4.1 初级能源消耗

棉质服装产品总初级能源消耗为 3.25×10⁶ MJ。其中,纺纱阶段占比约为 40%,织布阶段约占 25%,染整阶段能源消耗较大,占 34%,成衣制作约占 1%。棉

花生产过程的能源消耗和电能消耗量较大。

3.4.2 分类和特征化

采用定量的方法,使用 CML 2001 Dec07 特征化模型对棉质服装产品生产加工过程进行分析,结果如表 3 所示。

表 3 棉质服装产品环境影响特征化

生产阶段	ADP	GWP	AP	EP	ODP	POCP
纺纱阶段	1.15×10 ⁻²	7.00×10 ⁴	3.74×10 ²	1.38×10 ²	2.22×10 ⁻⁵	2.12×10 ¹
织布阶段	8.89×10 ⁻³	5.97×10 ⁴	8.97×10 ¹	8.89×10 ⁰	2.43×10 ⁻⁵	6.53×10 ⁰
印染阶段	3.35×10 ⁻¹	8.51×10 ⁴	2.14×10 ²	1.37×10 ¹	6.33×10 ⁻⁶	1.54×10 ¹
成衣制作阶段	3.61×10 ⁻³	1.23×10 ³	3.66×10 ⁰	3.21×10 ⁻¹	2.59×10 ⁻⁷	2.84×10 ⁻¹

3.4.2 归一化

为了更好地理解各种环境影响类型的相对重要性,使用 CMI 2001 模型进行归一化处理,结果如表 4 所示。纺纱阶段对富营养化潜力(EP)的贡献最为显著,占 85.76%,说明纺纱过程对水体和土壤富营养化的影响较大。全球变暖潜力(GWP)和酸化潜力(AP)的贡献也相对较高,为 32.40%和 54.89%,光化学氧化物生成潜力(POCP)的贡献为 48.83%,反映了对地表臭氧生成的显著影响。织布阶段在臭氧层损耗潜

力(ODP)方面贡献最大,达到 45.77%,表明织布过程涉及对臭氧层有害的物质排放。印染阶段消耗的非再生资源(ADP)占比达到 93.31%,表明这一阶段大量使用化学物质和能源。对全球变暖潜力(GWP)和光化学氧化物生成潜力(POCP)的贡献分别为 39.39%和 35.47%,显示染整阶段在这些环境影响指标上也有较大影响。成衣制作阶段在所有环境影响指标中的贡献最低,反映了这一阶段相比于其他阶段对环境的影响相对较小。

表4 棉质服装产品归一化处理结果

生产阶段	贡献率/%					
	ADP	GWP	AP	EP	ODP	POCP
纺纱阶段	3.20	32.40	54.89	85.76	41.82	48.83
织布阶段	2.48	27.64	13.16	5.52	45.77	15.04
印染阶段	93.31	39.39	31.41	8.51	11.92	35.47
成衣制作阶段	1.01	0.57	0.54	0.21	0.49	0.66

棉质服装产品环境影响比例图如图5所示。由图5可以看出,印染阶段消耗的非再生资源(ADP)高达93.31%;纺纱和印染阶段的全球变暖潜力(GWP)较大;纺纱阶段的酸化潜力(AP)和富营养化潜力(EP)较大;织布阶段的臭氧层耗竭潜力(ODP)最大;在光化学氧化物生成潜力(POCP)方面,纺纱阶段和印染阶段分别占48.83%和35.47%。

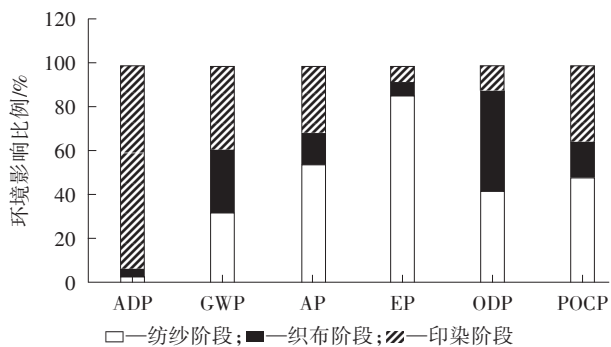


图5 棉质服装产品环境影响比例图

4 基于生命周期的印染产品优化策略

4.1 原材料的选择与优化

企业需要在供应链管理中充分考虑原材料的生产、加工过程及其对生态系统的潜在影响。在生产过程中,选择有机棉或再生纤维等可持续生产的天然纤维,显著降低对农药和化肥的依赖,减少土地和水资源的消耗;采用循环利用的聚酯等低环境影响的合成纤维,减少对化石燃料的依赖和温室气体排放量。这可以直接减少前端生产过程对环境的影响,在产品的整个生命周期带来连锁的环境益处。印染企业可以加强与供应商的紧密合作,以及与客户沟通,合作开发更环保的原料获取和处理方法,采用水耗和能耗更低的加工技术,提升原材料质量,延长最终产品的使用寿命,进而减少对资源的总体需求,实现原材料的最大化利用,提升产品在废弃阶段的可

降解性或可回收性,减轻对环境的长期影响,推动整个行业向环境可持续性的方向发展。

4.2 生产过程的节能减排

印染企业可以改进现有设备和工艺,使用更高效的热交换系统,采用低能耗的LED照明以及实施变频驱动技术以优化电力使用;也可以利用太阳能、风能或生物质能等清洁能源替代传统能源,降低对化石燃料的依赖并减少温室气体的排放。基于此,企业可以引入能源管理系统监测、分析和优化能源消耗模式,实施连续改进措施。另外,印染企业还需要关注化学品的管理和优化。在染料和助剂的使用方面,企业需要选择环境友好型的染料和助剂,提高染色工艺的上色率,减少染料和水的使用量,降低工人健康风险和环境事故发生的概率。在印染废水处理方面,企业可以采用膜生物反应器(MBR)或反渗透(RO)系统等先进的处理技术,实现水的高效循环利用,在满足经济效益的同时,提升印染行业的环境绩效,符合全球可持续发展的标准^[7]。

4.3 产品使用阶段降低环境影响

印染企业应通过采用高质量的原材料和先进的生产工艺,提升产品的耐用性,延长使用寿命;设计易于维护和修补的产品,减少整体的消费需求及相关的环境负担;提高产品的耐用性和维护性,可以减少因频繁更换导致的资源浪费,减少能源和资源消耗,有助于引导消费者养成环保的使用和护理习惯。另外,企业应积极组织客户教育和市场沟通,可以通过标签、使用说明或数字媒体,告知消费者如何正确洗涤和护理产品,减少水和能源的消耗,并延长产品的使用周期;也可以推广产品回收计划和二手市场,鼓励消费者参与循环经济,回收利用废旧产品,减少废弃物的生成。这可以减轻印染产品在使用阶段对环境造成的负面影响,打造企业积极的品牌形象,提升市场竞争力。

4.4 废弃阶段的资源回收与利用

废弃阶段的资源回收与利用需要转化废物为资源,以减少对新原材料的需求和减轻废弃物对环境的压力。印染企业应与废物处理专家和回收企业合作,建立有效的废物回收系统,提供回收指导和激励措施,鼓励消费者参与到产品回收中,确保产品在废弃后可以被有效分拣和处理。印染企业也应与制造商、设计师和材料供应商协作,推动和采纳能够支持循环经济的设计和生产方法,在产品设计时充分考虑生命周期的结束阶段,从而减少废弃物的环境和

社会成本,形成一个生产和消费过程闭环,在供应链中创造新的价值。这要求政府制定相关的环保标准和指导原则,提供税收优惠和补贴政策,为废弃阶段的资源回收与利用策略提供更为有力的推动,有效推动市场向更加可持续的方向发展,从而优化印染产品的生命周期管理,实现资源的可持续利用。

5 结论

生命周期评价方法作为一种综合性的环境管理方法,可以有效识别印染产品全生命周期的环境热点,提供改进建议。选取 A 纺织服装厂棉质服装生产制造案例,使用生命周期评价方法对其纺纱、织布、印染、成衣制作 4 个阶段进行综合评价,采用定量的方法揭示了 4 个阶段中的环境热点。基于生命周期,提出了优化原材料的选择、生产过程中采用节能减排措施、降低产品使用阶段的环境影响以及加强废

弃物的资源回收和利用等策略,以推动印染行业向更加绿色可持续的方向发展。

参考文献:

- [1] 童胜坤,赵开发,梁会会,等.基于全生命周期评价的镁合金后掀背门碳足迹研究[J].铸造工程,2024,48(2):53-56.
- [2] 丰翔,孙丽蓉,朱紫娜,等.纺织产品生命周期评价研究进展[J].印染助剂,2022,39(10):1-6.
- [3] 李贵,梅益.钢结构工业厂房全生命周期碳足迹评价研究——以吉安市鼎欣钢结构厂房项目为例[J].项目管理技术,2024,22(2):24-29.
- [4] 钱忠,张丽,付浩云,等.全生命周期智慧化印染服务平台推广过程及效益[J].印染助剂,2023,40(4):1-5,14.
- [5] 张冰倩,高晗博,田金平,等.面向双碳战略的前瞻性生命周期评价——研究进展与方法框架[J].资源科学,2023,45(12):2341-2357.
- [6] 汤玥,刘烨彤,高海龙,等.印染企业环境绩效评估研究——以江苏省太湖流域为例[J].环境污染与防治,2022,44(1):92-98,103.
- [7] 康宏.基于 LCA 的棉印染生产过程改进设计研究[D].大连:大连理工大学,2018.



福建广文科技有限公司

福建广文科技有限公司

主要生产有机硅、脱脂剂、甘油及精细化工中间体四大系列产品,公司于2016年8月整体变更设立,目前注册资本5000万元。横跨五大产业,侧重于投资管理和资产管理,公司秉承“创新农化科技,服务绿色产业”的企业使命,通过了质量、环境、职业健康安全三个管理体系认证,公司严格按照“三合一”管理体系标准组织生产,产品赢得企业客户的广泛赞誉。

平滑光亮剂 ADD360

平滑柔软剂 ADD360,是一种经过特殊改性的聚合物乳液,它不仅具有优异的柔软性能,更突出了滑爽性能的改善与光亮效果。经本品整理后的织物滑糯、细腻、丰满、光亮、柔软蓬松性极佳,同时也能明显地改善织物的撕裂强度和抗皱性能。

嵌段硅油 NT-848AB

三元共聚嵌段亲水性氨基硅油 NT-848AB 是采用当今最先进技术研制开发的全新一代纺织整理剂,是一种三元共聚的新型氨基硅油。能赋予织物及成衣杰出的柔软性和滑爽性,并在黄变度、剪切稳定性及热泳移等传统问题减至最低。

防水防油整理剂 AFF-118%

AFF-118% 可单独使用或与其他整理剂同时使用于各种织物的防水,防油整理中。在加入 AFF-118% 前,整理液的 pH 值应按 0.5-1ml/l 加入醋酸(60%)调整。一般,全氟化合物的耐剪切力很有限,因此应该尽可能控制液体的流动。如高速搅拌,乳液会破乳,同时产生奶黄色泡沫。在液体表面聚集的泡沫必须清除掉。要整理的织物必须被充分地预处理并没有表面活性残余物。防水防油效果可能会受整理织物上残留的杂质如纤维油剂,浆料,表面活性剂,染色助剂量的影响。适用含硅的整理油剂或柔软剂也会有影响。

地址:福建省泉州市晋江罗山街道华泰国际新城5幢108室

电话:0595-85011977

传真:0595-88088869

手机:13515050427 赖旺林

邮箱:admin@5422.cn

网站: <http://www.5422.cn>

广告