

口罩产品生产碳足迹核算与分析

王彩虹¹ 林焰峰² 朱丽平² 叶翔宇³ 徐小方⁴ 王来力¹

1. 浙江理工大学服装学院, 浙江 杭州 310018;
2. 建德市朝美日化有限公司, 浙江 杭州 311603;
3. 浙江省质量科学研究院, 浙江 杭州 310018;
4. 湖北省纤维检验局, 湖北 武汉 430064

摘要:为研究典型口罩产品生产碳足迹大小及其影响因素,基于碳足迹理论对医用外科口罩、KN95(纱布)口罩、KN95(4层不带阀)口罩、KN95(5层不带阀)口罩和KN95(4层带阀)口罩等5款典型口罩产品生产碳足迹进行核算和分析。结果表明:相同声明单位的KN95(纱布)口罩生产碳足迹最大,医用外科口罩的生产碳足迹最小;设备机构驱动、超声波焊接、口罩厚度、呼吸阀开孔等因素影响口罩生产碳足迹大小,且通常情况下设备机构驱动对口罩生产碳足迹的影响最大。

关键词: 口罩;生产阶段;碳足迹;核算;影响因素;声明单位;设备机构驱动

中图分类号:TS 179

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2024)09-0032-06

Carbon footprint accounting and analysis of masks production

Wang Caihong¹, Lin Yanfeng², Zhu Liping², Ye Xiangyu³, Xu Xiaofang⁴, Wang Laili¹

1. School of Fashion Design & Engineering, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, Zhejiang, China;
2. Jiande Chaomei Daily Chemical Co., Ltd., Hangzhou 311603, Zhejiang, China;
3. Zhejiang Academy of Quality Science, Hangzhou 310018, Zhejiang, China;
4. Hubei Fiber Inspection Bureau, Wuhan 430064, Hubei, China

Abstract: To investigate the carbon footprint of typical masks production and its influence factors, the carbon footprint of five typical masks production, including surgical masks, KN95 (gauze) masks, KN95 (four-layer without exhalation valve) masks, KN95 (five-layer without exhalation valve) masks, and KN95 (four-layer with exhalation valve) masks, was calculated and analyzed based on the carbon footprint theory. The results showed that the carbon footprint of KN95 (gauze) masks production, with the same declared unit, was the largest, while the carbon footprint of medical surgical masks production was the smallest. Factors such as equipment mechanism drive, ultrasonic welding, mask thickness, and breathing valve opening affect the carbon footprint of masks production, and the equipment mechanism drive usually has the greatest impact on the carbon footprint of masks production.

Keywords: masks; production stage; carbon footprint; accounting; influence factors; declared unit; equipment mechanism drive

基金项目:湖北省市场监督管理局技术保障专项项目(Hbsejg-JS2022002)

收稿日期:2024-03-16

作者简介:王彩虹,女,1999年生,在读硕士研究生,研究方向为纺织服装碳足迹核算与评价

通信作者:徐小方,ss_xuxiaofang@163.com

口罩在呼吸道传染病流行期及空气污染环境中能起到非常好的卫生防护作用^[1]。近 4 年,由于新冠病毒感染及其他呼吸道疾病的传播,口罩的使用需求量快速攀升。据世界卫生组织统计,全球日均口罩消耗量最高可达数十亿只,相当于每秒使用约 12 000 只口罩^[2]。大量口罩的生产会消耗较多的电能,还会间接造成温室气体的排放。与此同时,国家“双碳”战略要求各行业将节能降碳作为行业绿色低碳发展的重要内容^[3]。

碳足迹(carbon footprint, CF)是量化产品生产加工过程中直接和间接排放的温室气体的工具,其能为产品生产加工过程中的碳减排提供重要参考^[4]。在口罩产品碳足迹研究领域,Boix Rodríguez 等^[5]研究了一次性口罩和可重复使用口罩从生产到废弃阶段的碳足迹,结果表明可重复使用口罩在环境影响方面具有明显的优势;Van Straten 等^[6]计算发现,从口罩生产到废弃阶段,再加工口罩相较于一次性口罩碳排放量有所减小,且一次性口罩再加工和再使用 5 次时,对气候变化的影响更小;Lyu 等^[7]对比分析了不可降解聚丙烯口罩和可降解聚乳酸口罩从生产到废弃阶段的碳足迹,结果显示聚乳酸口罩的碳排放量比聚丙烯口罩的更低;Maceno 等^[8]计算了新冠病毒防护用一次性口罩和棉口罩的碳足迹,结果显示棉口罩的使用及其重复使用对环境的影响更小,在新冠病毒流行时期大规模使用棉口罩更具环境可持续性;Luo 等^[9]根据碳足迹大小及防护效果判断防疫用口罩在高中低风险地区潜在的环境影响,且敏感性分析结果显示,口罩生产加

工过程中用水量对碳足迹的影响最大。

2022 年,中国产业用纺织品行业经济运行分析报告指出:相比新冠疫情前,我国口罩的产量和消费量依然处于高位,平均每日消费量超过 1 亿只,累积用量仍然不容忽视^[10]。口罩生产加工的过程是口罩整个生命周期的重要环节,深入研究口罩生产加工过程的碳排放状况,对于制定碳减排策略和提高生产加工过程的环境友好性具有指导意义,其可为口罩生产企业提供优化的生产工艺,以及减少碳排放的建议和参考,推动口罩企业向绿色低碳转型。然而,上述有关口罩产品碳足迹的文献均未系统分析口罩产品生产加工过程碳足迹及其影响因素。鉴于此,本文选取 5 款典型的口罩产品,基于碳足迹理论构建口罩产品生产碳足迹核算模型,并通过实地调研获取口罩生产设备功率、生产时间、产品产量等数据,核算口罩产品生产加工过程的碳足迹,并对核算结果进行评价和分析,以期对口罩产品生产加工过程的碳减排提供依据。

1 产品信息

本文选取医用外科口罩和颗粒物防护口罩 2 种类型共 5 款典型口罩产品作为研究对象,它们分别是医用外科口罩、KN95(纱布)口罩、KN95(4 层不带阀)口罩、KN95(5 层不带阀)口罩和 KN95(4 层带阀)口罩。其中,后 3 款口罩产品除层数和有无呼吸阀和活性炭布不同外,其材料构成完全相同。5 款典型口罩分别以 YY 口罩、KN95-1 口罩、KN95-2 口罩、KN95-3 口罩、KN95-4 口罩表示,基本信息见表 1。

表 1 5 款典型口罩产品的基本信息

Tab. 1 Basic information of five masks

产品名称	佩戴方式	呼吸阀	材料构成(从表到里)	分类
YY 口罩	耳挂式	无	纺黏布-熔喷布-纺黏布	医用外科口罩
KN95-1 口罩	耳挂式	无	纱布-熔喷布-热风棉-热风棉-热风棉-热风棉-熔喷布-纺黏布	颗粒物防护口罩
KN95-2 口罩	头戴式	无	纺黏布-热风棉-熔喷布-纺黏布	颗粒物防护口罩
KN95-3 口罩	头戴式	无	纺黏布-活性炭布-热风棉-熔喷布-纺黏布	颗粒物防护口罩
KN95-4 口罩	头戴式	有	纺黏布-热风棉-熔喷布-纺黏布	颗粒物防护口罩

2 生产碳足迹核算

2.1 声明单位和系统边界

根据 ISO 14067:2018,声明单位是产品碳足迹

核算和结果声明中用作参考单位的基准^[11]。本文根据所选典型口罩产品的特点,以 1 000 只口罩产品为生产加工过程碳足迹核算的声明单位。

5 款典型口罩产品的基本生产工序包括口罩体生产、组装、检验和包装等。其中,口罩体生产工序

包括非织造布放料及复合、装鼻梁条(粘鼻梁垫)、层叠/折叠、(开孔)、口罩压边及裁切等,该阶段消耗的电能主要用于设备机构驱动和超声波焊接;组装工序包括耳带安装(焊接、缝纫)和呼吸阀安装等;检验工序包括对口罩成品材料及外观结构等的检验,且主要采用人工检验的方式;包装工序包括单只口罩的封装,以及装盒和装箱等,其中 YY 口罩和

KN95-1 口罩使用高速枕式自动包装机单独包装,其余口罩均采用人工包装。

本文聚焦 5 款典型口罩产品,通过收集生产系统和辅助系统的温室气体排放源数据,对生产加工阶段的碳足迹进行核算。系统边界设定为从口罩生产原料输入到口罩产品包装入库,具体如图 1 所示。

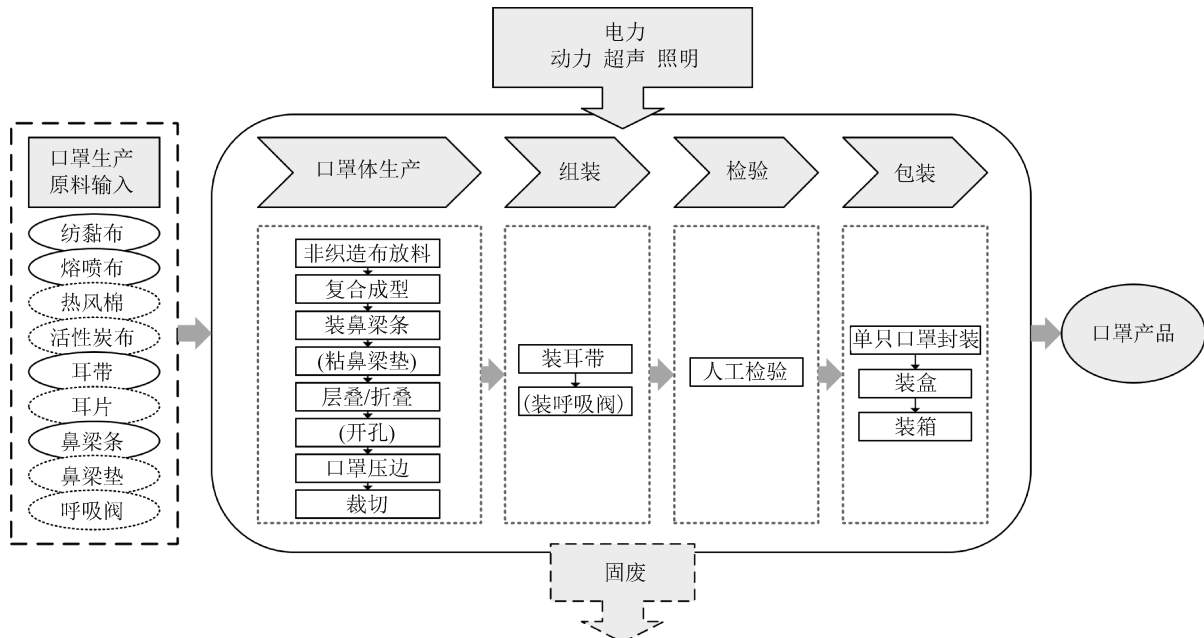


图 1 口罩产品生产碳足迹核算系统边界

Fig. 1 Carbon footprint system boundary of masks production

2.2 核算方法

根据企业调研,口罩产品生产阶段温室气体排放源为电能消耗,其碳足迹核算方法:

$$C_F = \sum P_i \times N_i \times t_i \times e_{EF} \quad (1)$$

式中: C_F 为声明单位口罩产品生产碳足迹,以二氧化碳当量(CO_2eq)表示,kg; P_i 为口罩生产设备 i 的功率,kW; N_i 为口罩产品生产设备 i 的台数; t_i 为口罩产品生产设备 i 的工作时间,h; e_{EF} 为电力的温室气体排放因子,以消耗 1 kWh 电力所产生的温室气体排放量表示,kg/kWh。

2.3 核算数据

本文的核算数据均为实地调研测量的一手数据,由浙江省某口罩生产企业提供,数据收集时间范围为 2023 年 10 月 7 日—27 日,电力的温室气体排放因子参考《中国区域电网二氧化碳排放因子研究(2023)》中的浙江省 2020 年电网排放因子,即 e_{EF}

为 0.532 kg CO_2eq/kWh 。设备清单见表 2。

3 结果与分析

基于调研收集的碳足迹核算数据,根据式(1)核算 5 款典型口罩产品生产碳足迹,并以 5 款典型口罩中碳足迹最大的产品 KN95-1 口罩为基准,绘制 5 款典型口罩产品生产碳足迹对比图,结果如图 2 所示。

由图 2 可知,KN95-1 口罩生产碳足迹最大,其后依次为 KN95-3 口罩、KN95-4 口罩、KN95-2 口罩,YY 口罩生产碳足迹最小。YY 口罩是 5 款典型口罩中最薄的一款产品,其使用了 1 层熔喷布和 2 层纺黏布,材料复合所需时间最短,口罩机出片速度最快,生产设备所需功率最小,生产声明单位(1 000 只)口罩的耗电量最少,因此其口罩生产碳足迹最小。KN95-1 口罩是 5 款典型口罩中最厚的一款产

表 2 口罩产品生产阶段设备清单

Tab. 2 List of equipment for the production stage of masks

类型	生产阶段	电动机	数量
YY	口罩体生产	滑台电动机	2
		皮带传送	1
		伺服电动机	5
		超声电动机	2
	组装	超声电动机	2
		伺服电动机 1	2
		步进电动机 1	5
		伺服电动机 2	6
	包装	步进电动机 2	1
		高速枕式自动包装机	1
KN95-1	口罩体生产	步进电动机	1
		伺服电动机 1	1
		伺服电动机 2	8
		滑台电动机	1
	组装	超声电动机	2
		直驱电动机	1
		伺服电动机 1	1
	包装	伺服电动机 2	1
		步进电动机	1
		高速枕式自动包装机	1
KN95-2、 KN95-3	口罩体生产	伺服电动机 1	6
		伺服电动机 2	2
		步进电动机	2
		滑台电动机	2
	组装	超声电动机	2
		超声电动机	1
KN95-4	口罩体生产	伺服电动机 1	7
		伺服电动机 2	2
		步进电动机	2
		滑台电动机	2
	组装	超声电动机	2
		超声电动机	1

品,其使用了 2 种不同厚度的热风棉,且最外层使用了涤棉混纺纱布,为确保口罩复合牢度合格,口罩机生产速度不宜设置太大,所以生产声明单位(1 000 只)口罩的耗电量最多,口罩生产碳足迹最大。3 款折叠式 KN95 口罩(KN95-2、KN95-3、KN95-4)中,KN95-3 口罩的层数最多,生产阶段需减小口罩机出片速度,增加面料复合时间,故生产声明单位(1 000 只)口罩的耗电量较多,口罩生产碳足迹较大;KN95-4 口罩生产工序最多,还包括一个开孔工序,故设备工作时间增加,生产声明单位(1 000 只)口罩的耗电

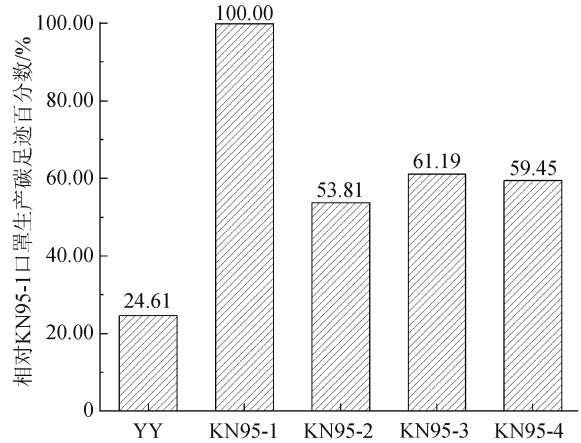


图 2 5 款典型口罩产品生产碳足迹对比
Fig. 2 Comparison of carbon footprint of five typical masks production

量增多,口罩生产碳足迹增大。

上述分析表明,口罩厚度和呼吸阀开孔是影响口罩产品生产碳足迹的因素。以 KN95-2 口罩为对照组,KN95-3 口罩和 KN95-4 口罩分别比 KN95-2 口罩多产生约 13.71% 和 10.48% 的碳排放,说明口罩厚度对口罩产品生产碳足迹的影响大于呼吸阀开孔对口罩产品生产碳足迹的影响。因此,可在保证口罩产品性能的前提下,选用更薄的非织造布,降低口罩生产工序的耗电量,减小口罩产品生产碳足迹。

图 3 根据口罩生产工序和耗电类型对耗电做了进一步的拆分,得到了 5 款典型口罩生产碳足迹分布图。

由图 3 可知,在 5 款典型口罩的生产阶段,口罩体生产工序碳足迹占比最大,为 43.49%~79.85%;其次为包装工序和组装工序;生产辅助照明耗电碳足迹占比最小,小于 2%。进一步拆分口罩体生产工序碳足迹发现,YY 口罩的动力耗电碳足迹占比约为 23.40%,超声耗电碳足迹占比约为 20.09%;KN95-1 口罩的动力耗电碳足迹占比约为 28.00%,超声耗电碳足迹占比约为 50.04%;3 款折叠式 KN95 口罩的动力耗电碳足迹占比为 42.76%~45.29%,超声耗电碳足迹占比为 34.02%~35.63%。5 款典型口罩产品中,YY 口罩的传送距离最长,其使用滑台电机和皮带共同传送,因而动力耗电占比较大;3 款折叠式 KN95 口罩生产需使用多个辊,包括压花辊、橡胶辊等,以增强材料复合的牢度,并赋予口罩独特的外观纹样,此类口罩生产工序较

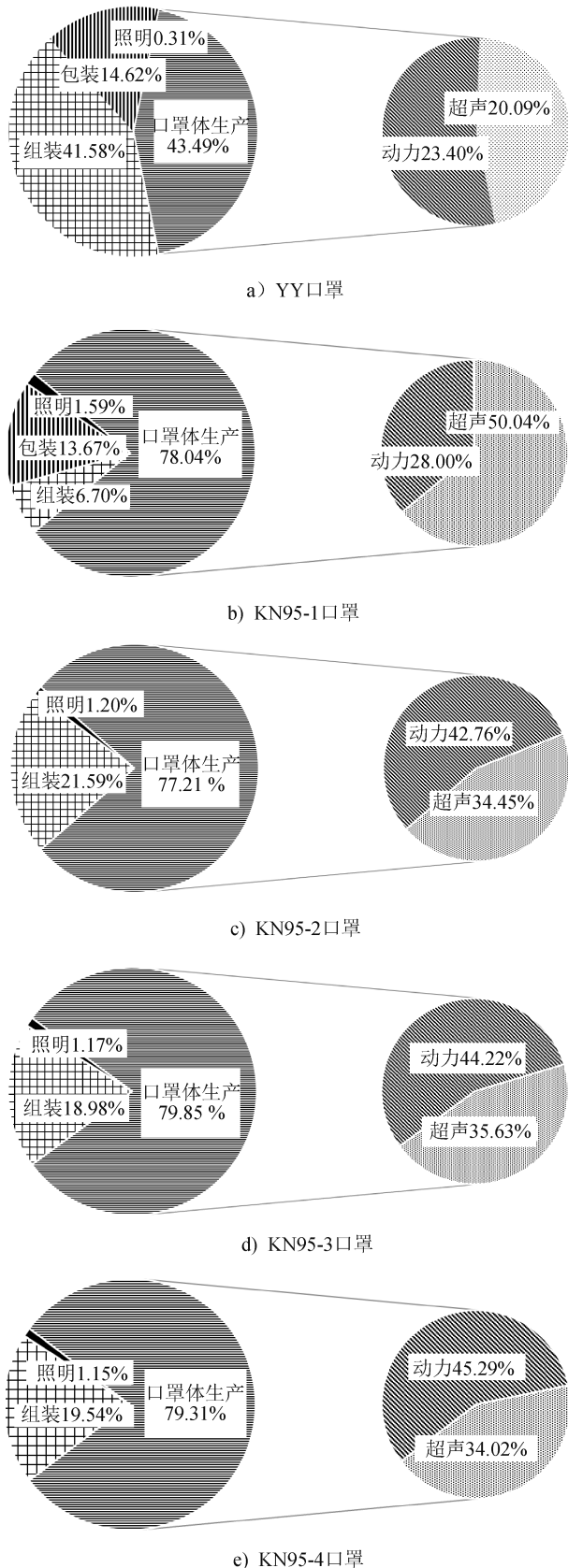


图3 5种典型口罩生产碳足迹分布

Fig. 3 Carbon footprint distribution of five typical masks production

多,因此这3款口罩的动力耗电占比较大。YY口罩的组装工序为耳带点焊,其包括耳带输送、裁剪、放置和点焊等环节,最为复杂,因而其组装工序碳足迹在5款典型口罩中占比最大;KN95-1口罩的组装工序为车缝耳带,最为简单,因而其组装工序碳足迹在5款典型口罩中占比最小;3款折叠式KN95口罩采用头戴式耳带,其使用超声波焊接耳片以增大耳带与口罩体的焊接面积,增强耳带的断裂强力,故耗电量较多,因而其组装工序碳足迹在5款典型口罩中占比较大。

上述分析表明,设备机构驱动和超声波焊接耗电是口罩体生产工序碳足迹的影响因素,且通常情况下设备机构驱动对口罩体生产工序碳足迹的影响大于超声波焊接,因此在确保生产质量合格产品的同时,合理提高口罩机生产速度,降低口罩体生产工序耗电量,对减小整个口罩生产碳足迹具有重要意义。此外,增加清洁电力的比例同样可以减小口罩产品生产碳足迹,例如生产企业使用光伏电力替代国网电力,则口罩产品生产碳足迹可降低约89.74%。

4 结论

量化口罩产品生产碳足迹并分析影响碳排放的因素,可为口罩产品生产加工过程中的节能减碳提供参考。本文对5款典型口罩产品生产碳足迹进行核算与分析,得出主要结论如下:

(1)5款典型口罩中,使用纱布的KN95口罩生产碳足迹最大,其次为5层KN95口罩,医用外科口罩生产碳足迹最小。

(2)口罩厚度和呼吸阀开孔是影响口罩生产碳足迹的因素。当生产同类口罩产品时,多1层活性炭布和多1个开孔工序会分别比对照产品多产生13.71%和10.48%的碳排放,且口罩厚度对产品生产碳足迹的影响大于开孔工序对产品生产碳足迹的影响。

(3)口罩体生产工序耗电量最大,其碳足迹占产品生产碳足迹的43.49%~79.85%。拆分口罩体生产工序碳足迹发现,设备机构驱动和超声波焊接耗电是产生温室气体的主要来源,且通常情况下设备机构驱动对口罩体生产工序碳足迹的影响大于超声波焊接。

(4)在保证口罩产品质量合格的前提下,选用更薄的非织造布,并加快口罩机生产速度,同时使用清洁电力替代国网电力,可减小口罩产品生产碳足迹。



期刊采编平台



中国知网下载

参考文献

- [1] 王波. 我国非医用口罩常见质量问题分析[J]. 中国纤检, 2022(3): 34-37.
- [2] 金水. 如何处理废弃口罩[J]. 防灾博览, 2021(3): 62-63.
- [3] 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见[EB/OL]. (2021-09-22) [2024-02-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5649728.htm.
- [4] WIEDMANN T, MINX J. A definition of 'carbon footprint' [M]//PERTSOVA C C. Ecological economics research trends. New York: Nova Science Publishers, 2008: 1-11.
- [5] BOIX RODRÍGUEZ N, FORMENTINI G, FAVI C, et al. Engineering design process of face masks based on circularity and life cycle assessment in the constraint of the Covid-19 pandemic [J]. Sustainability, 2021, 13(9): 4948.
- [6] VAN STRATEN B, LIGTELIJN S, DROOG L, et al. A life cycle assessment of reprocessing face masks during the Covid-19 pandemic [J]. Scientific Reports, 2021, 11: 17680.
- [7] LYU L X, PENG H, AN C J, et al. An insight into the benefits of substituting polypropylene with biodegradable polylactic acid face masks for combating environmental emissions [J]. Science of The Total Environment, 2023, 905: 167137.
- [8] MACENO M M C, JOÃO S, VOLTOLINI D R, et al. Life cycle assessment and circularity evaluation of the non-medical masks in the Covid-19 pandemic: a Brazilian case [J]. Environment, Development and Sustainability, 2023, 25(8): 8055-8082.
- [9] LUO Y, YU M F, WU X Y, et al. Carbon footprint assessment of face masks in the context of the Covid-19 pandemic: based on different protective performance and applicable scenarios [J]. Journal of Cleaner Production, 2023, 387: 135854.
- [10] 中纤网. 2022 年中国产业用纺织品行业经济运行分析[EB/OL]. [2024-03-01]. <http://cnita.org.cn/Doc/ArticleUpFile/2023-04/files/20230419091044183.pdf>.
- [11] International Organization for Standardization. Greenhouse gases-carbon footprint of products-requirements and guidelines for quantification; ISO 14067: 2018(en) [EB/OL]. [2024-01-04]. <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:en>.
- [12] WANG Q Z, LI J J, BAI Y, et al. Photodegradation of textile dye Rhodamine B over a novel biopolymer-metal complex wool-Pd/CdS photocatalysts under visible light irradiation [J]. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2013, 126: 47-54.
- [13] 孙荟云, 胡珊珊, 孔凤英, 等. CO₂ 激光对聚酰亚胺织物的表面改性研究[J]. 产业用纺织品, 2023, 41(10): 44-51.
- [14] 马跃起, 龙家杰, 赵建平, 等. 超临界 CO₂ 流体处理对锦纶 6 纤维的影响 [J]. 丝绸, 2010, 47(9): 4-10.
- [15] 吴加会. 发热毛型针织混纺面料的设计与开发[D]. 上海: 东华大学, 2021.
- [16] 孙作江, 薛江红. 对太阳的可见光谱的观测与分析 [J]. 物理通报, 2015(6): 86-88.
- [17] HOQUE M T, MAHLTIG B. Realisation of polyester fabrics with low transmission for ultraviolet light [J]. Coloration Technology, 2020, 136(4): 346-355.
- [18] LEI X, XIE A L, YUAN X Y, et al. Fabrication of superhydrophobic and light-absorbing polyester fabric based on caffeic acid [J]. Polymers, 2022, 14(24): 5536.

(上接第 31 页)