

# 全棉水刺非织造布后脱脂生产工艺的碳足迹和水足迹核算与评价

王彩虹<sup>1a</sup> 徐小方<sup>2</sup> 赵宇迪<sup>2</sup> 宋雨薇<sup>2</sup> 叶翔宇<sup>3</sup> 朱斐超<sup>1b,4</sup> 刘国金<sup>1b,4</sup> 王来力<sup>1a</sup>

1. 浙江理工大学 a. 服装学院, b. 纺织科学与工程学院(国际丝绸学院), 浙江 杭州 310018;
2. 湖北省纤维检验局, 湖北 武汉 430064;
3. 浙江省质量科学研究院, 浙江 杭州 310018;
4. 新疆润弘医卫新材料有限公司, 新疆 阿拉尔 843399

**摘要:**为探究后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产过程中影响碳足迹和水足迹的主要因素,基于碳足迹和水足迹理论,对后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹和水足迹进行核算与分析,并与前脱脂工艺全棉水刺非织造布进行对比。结果显示:从皮棉喂入到产品包装入库的系统边界内,1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布的总碳足迹为 3 193.70 kg(CO<sub>2</sub>e),其中电力和蒸汽是最主要的碳排放源;1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布的直接水稀缺足迹和直接水富营养化足迹分别为 2.87 m<sup>3</sup>(H<sub>2</sub>Oe)和 0.33 kg(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>e),通过构建中水回用系统,可将实际直接水稀缺足迹降至 1.15 m<sup>3</sup>(H<sub>2</sub>Oe);氨氮是引发水体富营养化的主要污染物;相同系统边界内,同一声明单位的后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹低于前脱脂工艺全棉水刺非织造布,但其直接水稀缺足迹和直接水富营养化足迹相对较高,表明采用后脱脂工艺生产全棉水刺非织造布可以降低碳足迹,但需优化其废水处理技术,提高中水回用率。

**关键词:** 水刺非织造布;后脱脂;前脱脂;碳足迹;水足迹;核算

中图分类号:TS 176

文献标志码:A

文章编号:1004-7093(2025)04-0035-08

## Accounting and evaluation of carbon footprint and water footprint of cotton spunlace nonwovens with post-degreasing production process

Wang Caihong<sup>1a</sup>, Xu Xiaofang<sup>2</sup>, Zhao Yudi<sup>2</sup>, Song Yuwei<sup>2</sup>, Ye Xiangyu<sup>3</sup>, Zhu Feichao<sup>1b,4</sup>,  
Liu Guojin<sup>1b,4</sup>, Wang Lai-li<sup>1a</sup>

1. a. School of Fashion Design & Engineering, b. College of Textile Science and Engineering (International Institute of Silk), Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, Zhejiang, China;
2. Hubei Fiber Inspection Bureau, Wuhan 430064, Hubei, China;
3. Zhejiang Institute of Quality Sciences, Hangzhou 310018, Zhejiang, China;
4. Xinjiang Runhong Medical & Health New Materials Co., Ltd., Alear 843399, Xinjiang, China

**Abstract:** To investigate the main factors affecting carbon footprint and water footprint in the production of cotton spunlace nonwovens with post-degreasing process, based on the theories of

基金项目:浙江省科技计划项目(2023C01197);湖北省市场监督管理局技术保障专项项目(Hbsejg-JS2022002)

收稿日期:2024-12-31

作者简介:王彩虹,女,1999年生,在读硕士研究生,研究方向为非织造布碳足迹核算与评价

通信作者:王来力, wangll@zstu.edu.cn

carbon footprint and water footprint, the carbon footprint and water footprint in the production stage of cotton spunlace nonwovens with post-degreasing process were accounted and analyzed, and compared with those of cotton spunlace nonwovens with pre-degreasing process. The results showed that the total carbon footprint of 1 t cotton spunlace nonwovens with post-degreasing process was 3 193.70 kg (CO<sub>2</sub>e) within the system boundary from lint feeding to product packing and storage, among which electricity and steam were the main sources of carbon emissions. The direct water scarcity footprint and direct water eutrophication footprint of 1 t cotton spunlace nonwovens with post-degreasing process were 2.87 m<sup>3</sup> (H<sub>2</sub>Oe) and 0.33 kg (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>e), respectively. By constructing a water reuse system, the actual direct water scarcity footprint could be reduced to 1.15 m<sup>3</sup> (H<sub>2</sub>Oe). Ammonia nitrogen was the main pollutant triggering the eutrophication of the water body. Within the same system boundary, the carbon footprint of the production stage of cotton spunlace nonwovens with post-degreasing process in the same declared unit was lower than that of the cotton spunlace nonwovens with pre-degreasing process, but its direct water scarcity footprint and direct water eutrophication footprint were comparatively higher. This indicated that using the post-degreasing process in the production of cotton spunlace nonwovens could reduce the carbon footprint, but it is necessary to optimize the wastewater treatment technology and to improve the reuse rate of reclaimed water.

**Keywords:** spunlace nonwoven; post-degreasing; pre-degreasing; carbon footprint; water footprint; accounting

全棉水刺非织造布被广泛应用于医疗卫生、个人护理等领域,是水刺非织造布行业主要的产品类别,其市场需求量逐年增加<sup>[1]</sup>。全棉水刺非织造布的生产工序包括水刺、脱脂和包装。其中,脱脂是尤为重要的环节,可分为前脱脂工艺和后脱脂工艺2种。前脱脂工艺先对皮棉进行脱脂漂白,再对脱脂后的棉进行梳理和水刺加工,制备全棉水刺非织造布;后脱脂工艺则先对皮棉进行梳理和水刺加工,再对制成的全棉水刺非织造布进行脱脂漂白。研究表明,采用后脱脂工艺制得的全棉水刺非织造布,在柔软性、透气性和吸水性等方面表现更佳<sup>[2]</sup>,尤其适合应用于对卫生性能要求较高的医疗卫生及个人护理等领域。工业和信息化部国家发展和改革委员会印发的《关于产业用纺织品行业高质量发展的指导意见》,提出了围绕碳达峰、碳中和战略目标,制定节能减碳行动方案,推动行业节能减排和清洁生产建议。在此背景下,推进节能减碳、节水减排工作,成为非织造布行业实现绿色发展的核心要点。

碳足迹能够量化产品在生产加工环节直接和间接产生的温室气体排放量,水足迹则综合考虑了水资源的消耗与污染情况,能够综合反映用水来源、用水

量及污染程度<sup>[3-4]</sup>。当前,关于非织造布及其制品碳足迹和水足迹的研究已有少量报道,如:对口罩<sup>[5-11]</sup>、医用洁净室工作服<sup>[12]</sup>、成人尿布和成人纸尿裤<sup>[13]</sup>、非织造布购物袋<sup>[14]</sup>等产品的碳足迹核算与评价;对口罩<sup>[7,15]</sup>、医用洁净室工作服<sup>[12]</sup>的水稀缺足迹、水富营养化足迹和水酸化足迹的核算与评价。然而,目前尚未有研究对全棉水刺非织造布的碳足迹和水足迹展开探究。鉴于此,本文应用碳足迹和水足迹理论,对采用后脱脂工艺制得的全棉水刺非织造布(简称“后脱脂工艺全棉水刺非织造布”)生产阶段的碳足迹和水足迹进行量化与评价,并与采用前脱脂工艺生产的全棉水刺非织造布(简称“前脱脂工艺全棉水刺非织造布”)生产阶段的碳足迹和水足迹核算结果进行对比,旨在识别后脱脂工艺生产过程中的高碳排放源,探究影响其水足迹的主要因素,为全棉水刺非织造布的绿色低碳生产提供参考依据。

## 1 后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段碳足迹与水足迹核算

### 1.1 系统边界

后脱脂工艺全棉水刺非织造布的生产工序包括

水刺、后脱脂及包装。其中,水刺环节包括皮棉开松除杂、梳理成网、纤网预湿及水刺等,该环节主要消耗电力与水资源。后脱脂环节包括水刺非织造布脱脂漂白、洗涤、脱水干燥等,该环节会消耗电力、蒸汽、水资源,还需使用脱漂用化学品,如氢氧化钠、双氧水、精练剂、稳定剂、硫酸及工业盐等。包装环节则主要包括卷绕和包装 2 个部分,该环节会消耗电力及各

类包装材料,如聚乙烯膜、缠绕膜和纸圆盘等。

依据 FZ/T 08006—2024《产品碳足迹 产品种类规则 纺织产品》和 FZ/T 07023—2021《纺织产品水足迹核算、评价与报告通则》,本文将后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段碳足迹和水足迹核算与评价的系统边界设定为从皮棉喂入至全棉水刺非织造布包装入库的整个过程,具体如图 1 所示。

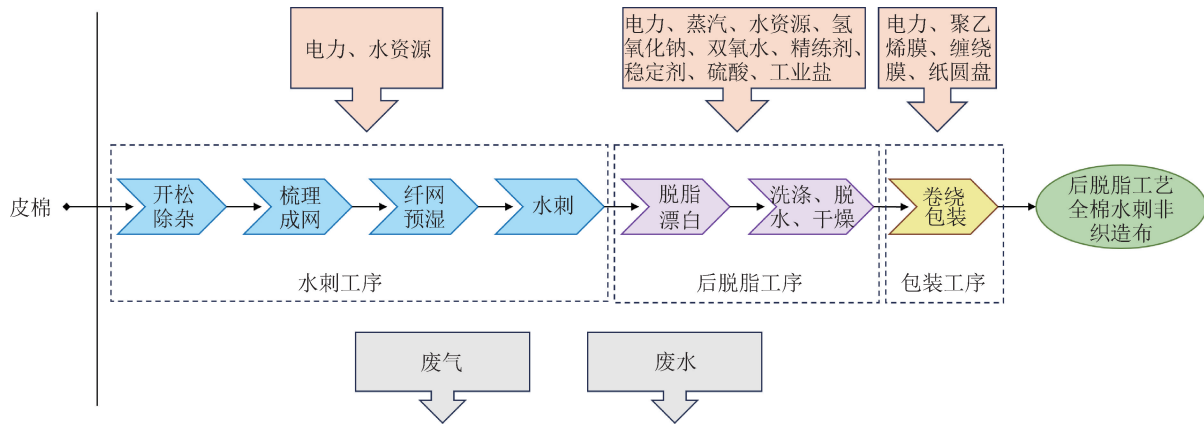


图 1 后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段碳足迹和水足迹核算的系统边界

Fig. 1 System boundaries for carbon footprint and water footprint accounting in the production stage of cotton spunlace nonwovens with post-degreasing process

## 1.2 核算方法

非织造布生产阶段的碳足迹是指非织造布产品在其整个生产流程中直接或间接排放的温室气体总量,以二氧化碳当量( $\text{CO}_2\text{e}$ )作为计量单位进行量化。后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段碳足迹的核算方法如式(1)所示。

$$C_F = \sum_{i=1}^n I_i \times F_i \quad (1)$$

式中: $C_F$ 为后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹, $\text{kg}(\text{CO}_2\text{e})$ ;  $I_i$ 为温室气体排放源  $i$  的活动数据,单位根据排放源类别而定;  $F_i$ 为温室气体排放源  $i$  的排放因子,单位根据排放源类别而定。

依据 FZ/T 07023—2021,纺织产品水足迹涵盖水稀缺足迹和水劣化足迹,其中,水劣化足迹又可根据特征污染物的不同,分为水富营养化足迹、水酸化足迹、水碱化足迹和水生态毒性足迹等。由于后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产过程中需消耗大量水资源,同时会排放出含有氮、磷等污染物的废水,因此,量化水稀缺足迹和水富营养化足迹,能够较准确地评估该生产过程对水资源和水环境造成的影响。纺织产品的直接水足迹是指纺织产品整个生命周期

中直接消耗新鲜水和排放废水污染物而产生的水足迹<sup>[16]</sup>。直接水足迹又可细分为直接水稀缺足迹和直接水富营养化足迹,其具体核算方法分别如式(2)和式(3)所示。

$$W_{\text{sca}} = \frac{W_{\text{pro}}}{W_{\text{nat}}} \times Q \quad (2)$$

$$W_{\text{eu}} = \sum_{j=1}^m F_{\text{eu},j} \times m_{\text{eu},j} \quad (3)$$

式中: $W_{\text{sca}}$ 为后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水稀缺足迹, $\text{m}^3$ (水当量, $\text{H}_2\text{Oe}$ );  $W_{\text{pro}}$ 为后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产地区的水压力指数,无量纲;  $W_{\text{nat}}$ 为全国平均水压力指数,无量纲;  $Q$ 为后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的用水量, $\text{m}^3$ ;  $W_{\text{eu}}$ 为后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水富营养化足迹, $\text{kg}$ (磷酸根当量, $\text{PO}_4^{3-}\text{e}$ );  $F_{\text{eu},j}$ 为直接水富营养化污染物  $j$  的特征化因子, $\text{kg}(\text{PO}_4^{3-}\text{e})/\text{kg}(\text{污染物})$ ;  $m_{\text{eu},j}$ 为水富营养化污染物  $j$  的排放质量, $\text{kg}$ 。

## 1.3 核算数据

本文以生产 1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布作为碳足迹和水足迹核算与评价的声明单位,核算

数据来源于水刺非织造布生产企业,涵盖材料消耗量与污染物排放量。后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产地区的水压力指数  $W_{pro}$  采用该企业所在省份的水压力指数,其值为 0.026 6;全国平均水压力指数  $W_{nat}$  采用我国的平均水压力指数,其值为 0.602 0<sup>[17]</sup>。根据 FZ/T 07023—2021,选取化学需氧量(COD,用于表征水中可被氧化的还原性物质的总量)、氨氮和总磷作为核算指标用于直接水富营养化足迹的核算,其特征化因子分别为 0.022、0.380 和 3.060 kg( $PO_4^{3-}e$ )/kg(污染物)。测量废水中这 3 项核算指标对应物质的质量浓度,再结合废水排放量,可以计算出相应污染物的排放质量。其中:COD 的测定借助化学反应定量评估水中可被氧化的还原性物质的总质量浓度;氨氮是在水中主要以游离

氨( $NH_3$ )和铵离子( $NH_4^+$ )形式存在的无机氮化合物的总称,通过测量  $NH_3$  和  $NH_4^+$  的质量浓度,可以确定氨氮的质量浓度;进行总磷质量浓度测定时,需先将水中各种形式的磷转变成  $PO_4^{3-}$ ,再测定每升水中的磷含量<sup>[18]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段碳足迹核算结果

根据式(1)对 1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹进行核算,得到后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹核算结果,见图 2。

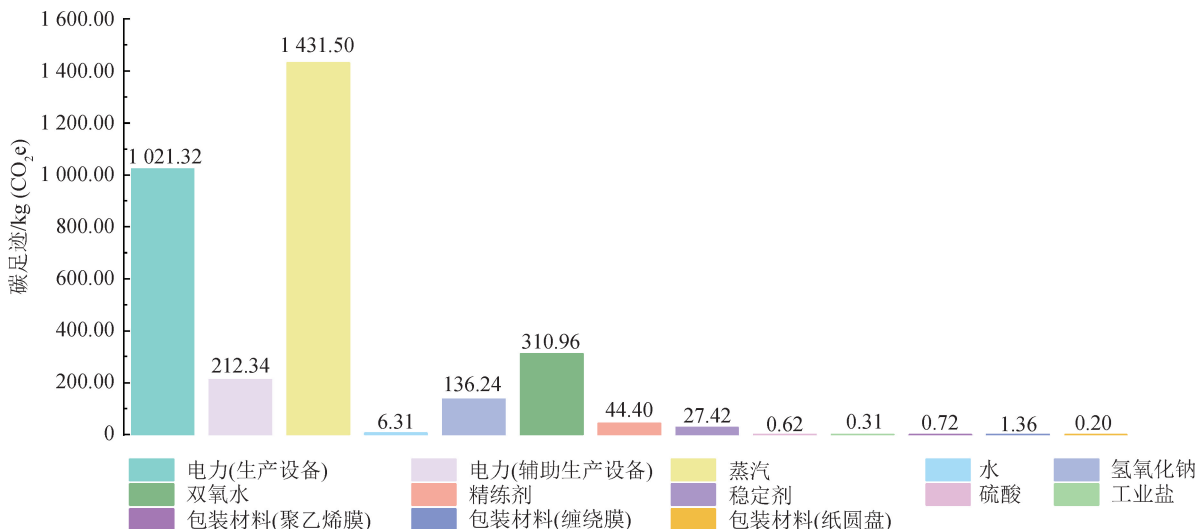


图 2 后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹

Fig. 2 Carbon footprint of the production stage of cotton spunlace nonwovens with post-degreasing process

由图 2 可知,在后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段,1 t 产品的总碳足迹为 3 193.70 kg ( $CO_2e$ )。其中:蒸汽是后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段最主要的碳排放源,其碳足迹占比约 44.8%;电力次之,生产设备用电的碳足迹占比约 32.0%,辅助生产设备用电的碳足迹占比约 6.6%;双氧水是除能源(蒸汽、电力)外最主要的碳排放源,其碳足迹占比约 9.7%;硫酸、工业盐和包装材料(聚乙烯膜、缠绕膜、纸圆盘)的碳足迹占比极小。后脱脂工艺全棉水刺非织造布的脱脂漂白处理采用高温碱氧工艺,需维持较高的温度<sup>[19]</sup>,且脱脂漂白处理结束后的干燥工序还需消耗大量的蒸汽,因此蒸汽消耗

量大,碳足迹占比最大。生产设备(如水刺设备、高压水泵、脱脂设备和烘干设备)与辅助生产设备(如照明、空调、空压机等)的运行需大量电力驱动,因此电力的碳足迹占比大。双氧水在脱漂过程中用量大,而双氧水的生产需消耗化石能源,因此双氧水的碳足迹占比相对较大<sup>[20]</sup>。

综上所述,减少蒸汽和电力消耗对降低后脱脂工艺全棉水刺非织造布的总碳足迹至关重要。为此,可通过引入等离子体冷堆脱脂漂白工艺替代传统高温工艺降低蒸汽需求,提高清洁能源在电力供应中的使用比例,选用高效低能耗的先进生产设备提升能源利用效率等,有效减少能源消耗导致的碳

足迹<sup>[21-22]</sup>。

## 2.2 后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段水足迹核算结果

根据式(2)和式(3)对 1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的水足迹进行核算,得到其直接水稀缺足迹为  $2.87 \text{ m}^3 (\text{H}_2\text{Oe})$ ,直接水富营养化足迹为  $0.33 \text{ kg} (\text{PO}_4^{3-}\text{e})$ 。后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水富营养化足迹分布情况如图 3 所示。

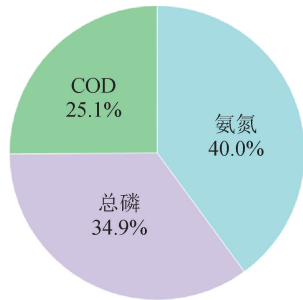


图 3 后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水富营养化足迹分布情况

Fig. 3 Distribution of direct water eutrophication footprint in the production stage of cotton spunlace nonwovens with post-degreasing process

后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的水资源消耗主要集中在水刺和脱脂工序。其中,水刺工序的废水中仅含有少量水刺过程脱落的短纤维,经过滤等处理后,这部分水可以直接回用(中水回用)。通过构建中水回用系统,可将水的回用率提高至 60%,进而将实际直接水稀缺足迹降低至  $1.15 \text{ m}^3 (\text{H}_2\text{Oe})$ 。

提高后脱脂工艺全棉水刺非织造布水刺工序的中水回用率,对降低实际直接水稀缺足迹尤为重要。可通过应用气浮、超滤、反渗透膜等技术,有效提高中水回用率,降低后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的实际直接水稀缺足迹。

在后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段,氨氮和总磷是导致水富营养化的主要污染物。由图 3 可知,后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段直接水富营养化足迹中,氨氮占比 40.0%、总磷占比 34.9%。水刺加工后,棉纤维中仍含有脂肪、蜡质、果胶、蛋白质及糖类等成分,需通过脱脂漂白工序进一步处理。在脱脂漂白阶段,采用氢氧化钠和双氧水等对全棉水刺非织造布进行处理,同时利用硫酸

对含有有机物的废水进行水解酸化。该过程中,脂肪、蜡质及蛋白质等成分进入废水中,导致直接水富营养化足迹中氨氮的占比较大;从纤维中去除的有机杂质中含有磷化物,其在酸性环境下容易溶解或释放,从而导致直接水富营养化足迹中总磷占比较大。

采用低碱练漂等清洁生产工艺,如使用高效精练剂减少练漂过程中的碱用量,有效降低双氧水在后脱脂工艺全棉水刺非织造布脱脂漂白过程中的无效分解,减少废水中含氨氮污染物、含磷污染物及可被氧化的还原性物质的产生,减轻废水处理负担。此外,该工艺还能降低废水处理过程中的能耗和物耗,进一步降低碳排放。

## 2.3 前脱脂、后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹和水足迹对比分析

除后脱脂工艺外,前脱脂工艺在全棉水刺非织造布生产中也占据着重要地位。前脱脂工艺与后脱脂工艺在生产流程、能源消耗和水资源利用等方面存在明显的差异,这些差异可能导致 2 种工艺在碳足迹和水足迹方面有着不同的表现。为更全面地了解后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹和水足迹情况,为全棉水刺非织造布行业提供更具针对性的绿色生产建议,选取 1 t 前脱脂工艺全棉水刺非织造布进行碳足迹和水足迹的对比分析。

前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产工序主要包括脱脂棉生产和水刺非织造布生产 2 个阶段。脱脂棉生产阶段涵盖开松、清花、梳棉、打饼、脱脂漂白、洗涤、脱水、干燥、精选、打包等工序,此阶段需消耗电力、蒸汽、水资源,用于脱脂漂白的化学品(如氢氧化钠、双氧水),以及包装材料。水刺非织造布生产阶段包括开松、成网、铺网、水刺、脱水、干燥和包装等工序,需要消耗电力、蒸汽、水资源和包装材料<sup>[23-24]</sup>。本文前脱脂棉生产阶段的碳足迹核算数据、废水污染物排放量及水重复利用率来源于文献[25],水刺非织造布生产阶段的单位产品取水量参照文献[26],单位产品综合能耗参照文献[27],水重复利用率及废水污染物排放量参照文献[28]。为提高核算结果的可比性,尽量减小因水压力指数差异对水稀缺足迹计算结果的影响,采用后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产地区的水压力指数 0.026 6 进行核算。

前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹核算结果如图4所示。由图4可知,1 t前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的总碳足迹为3 548.04 kg(CO<sub>2</sub>e),高于后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹。其中:脱脂棉生产阶段,电力是最主要的碳排放源,其碳足迹占比56.90%;蒸汽次之,碳足迹占比38.60%。此阶段脱脂棉生产设备(如抓棉机、压饼机、煮漂设备、脱水设备)及辅助生产设备(如照明、空调、空压机)的运行需消耗大量电力,这是电力成为最大碳排放源的主要原因。脱脂棉生产采用煮漂一体工艺,需在高温高压条件下进行,能耗较大。同时,脱脂棉洗涤采用渐次热水方式,且后续干燥过程亦需消耗大量能源。因此,蒸汽消耗量较大,蒸汽碳足迹占比较大。在水刺非织造布生产阶段,综合能耗(电力、蒸汽)是最大的碳排放源,碳足迹占比超过99.00%。此阶段,开松、成网、铺网、卷绕等工序均需消耗电力以驱动设备,且水刺后的非织造布干燥过程需消耗蒸汽,因此综合能耗产生的碳足迹占比非常大。

根据式(2)和式(3)对1 t前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的水足迹进行核算,得到1 t前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水稀缺足迹为1.46 m<sup>3</sup>(H<sub>2</sub>Oe),直接水富营养化足迹为0.06 kg(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>e),低于后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水稀缺足迹和直接水富营养化足迹。前脱脂工艺全棉水刺非织造布脱脂棉生产阶段的打饼工序和第一道水洗工序已实现生产用水的循环使用,这使脱脂棉生产阶段的水重复利用率达29%,进而使脱脂棉生产阶段的实际直接水稀缺足迹降低至0.26 m<sup>3</sup>(H<sub>2</sub>Oe)。在水刺非织造布生产阶段,根据文献[28],非织造布水刺生产工艺的废水重复利用率高达90%,因此,该阶段的实际直接水稀缺足迹较低,为0.11 m<sup>3</sup>(H<sub>2</sub>Oe)。总体而言,1 t前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的实际直接水稀缺足迹为0.37 m<sup>3</sup>(H<sub>2</sub>Oe),与后脱脂工艺全棉水刺非织造布相比,直接水稀缺足迹明显降低。

前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水富营养化足迹分布情况如图5所示。由图5可知,在前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段,COD是水体富营养化的主要影响指标,在脱脂棉生产阶段和水刺非织造布生产阶段,直接水富营养化足迹

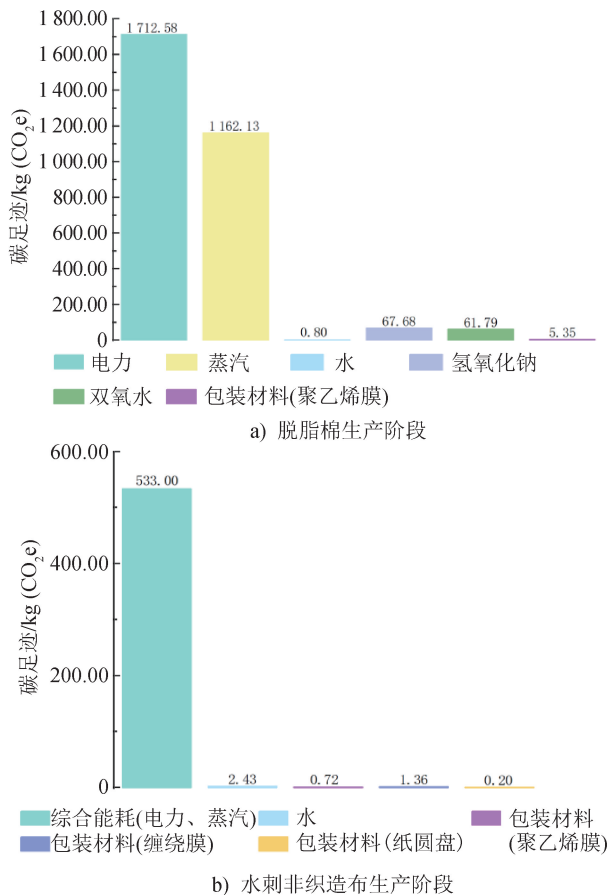


图4 前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹  
Fig.4 Carbon footprint of the production stage of cotton spunlace nonwovens with pre-degreasing process

分别占比57.1%和52.0%。在脱脂棉生产阶段,碱氧练漂工艺中退除的浆料,以及漂白环节产生的浆料、浆料分解产物、纤维碎屑及果酸等有机物会进入废水,导致还原性物质质量浓度高,直接水富营养化足迹中COD占比大<sup>[29]</sup>;在水刺非织造布生产阶段,脱脂棉上残留的有机物随废水排放,同样会导致水中可被氧化的还原性物质质量浓度增大,造成直接水富营养化足迹中COD占比较大。

综上所述,与前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹相比,后脱脂工艺全棉水刺非织造布的较低,原因是后脱脂工艺的生产流程更优,降低了非织造布生产中的能源消耗,碳足迹随之减小。然而,后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的水足迹高于前脱脂工艺全棉水刺非织造布,后续可通过优化废水处理技术和提高中水回用率,降低后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水稀缺足迹和直接水富营养化足迹。

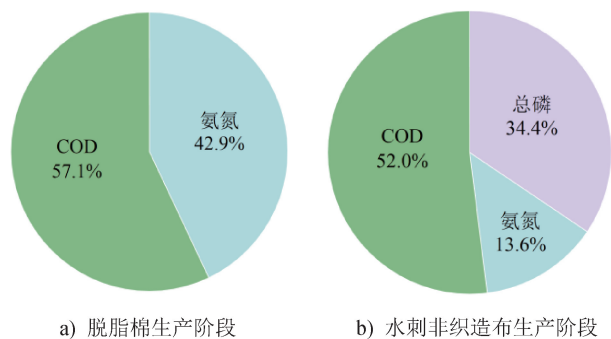


图 5 前脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的直接水富营养化足迹分布情况

Fig. 5 Distribution of direct water eutrophication footprints in the production stage of cotton spunlace nonwovens with pre-degreasing process

### 3 结论

本文对生产 1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布的碳足迹和水足迹进行核算与分析,并与前脱脂工艺全棉水刺非织造布进行对比,得出如下主要结论。

(1) 生产 1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布的碳足迹为 3 193.70 kg(CO<sub>2</sub>e),其中蒸汽和电力是最主要的碳排放源,分别占总碳足迹的 44.8% 和 38.6%。

(2) 生产 1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布的直接水稀缺足迹为 2.87 m<sup>3</sup>(H<sub>2</sub>Oe)。通过构建中水回用系统,可将水的回用率提高至 60%,进而将实际直接水稀缺足迹降低至 1.15 m<sup>3</sup>(H<sub>2</sub>Oe)。

(3) 生产 1 t 后脱脂工艺全棉水刺非织造布的直接水富营养化足迹为 0.33 kg(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>e),其中氨氮是引发水体富营养化的主要污染物,占直接水富营养化足迹的 40.0%。

(4) 相同系统边界内,后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产阶段的碳足迹低于前脱脂工艺全棉水刺非织造布,其直接水稀缺足迹和直接水富营养化足迹则相对较高。

基于上述研究结论,后脱脂工艺全棉水刺非织造布生产企业可以通过下述措施实现碳减排:优化能源结构,如引入等离子体冷堆脱漂工艺、提高清洁电力的使用比例、选用高效低能耗设备,降低产品碳足迹;提高中水回用率,如采用气浮、超滤、反渗透膜等水处理技术,降低实际直接水稀缺足迹;采用低碱

练漂等清洁生产工艺,减少水体富营养化污染物的产生,减轻废水处理负荷,在降低直接水富营养化足迹的同时进一步降低整体碳足迹。



期刊采编平台



中国知网下载

### 参考文献

- [1] 中国产业用纺织品行业协会. 2024 中国非织造擦拭行业可持续发展报告[EB/OL]. (2024-09-19)[2024-11-17]. <https://ncstatic-file.clewm.net/rsrc/2024/0912/12/407fd9c9c4b8c413764568c02af77b3e.pdf>.
- [2] 蒋佩林, 俞晶颖, 金平良, 等. 脱漂工艺对医用水刺全棉非织造材料性能的影响[J]. 纺织学报, 2017, 38(10): 88-93.
- [3] WIEDMANN T, MINX J. A definition of 'carbon footprint' [M]. Hauppauge, USA: Nova Science Publishers, 2008.
- [4] 李素梅, 闫书琪, 陈莎, 等. 水足迹量化方法研究[J]. 质量与认证, 2022(1): 64-67.
- [5] 王彩虹, 林焰峰, 朱丽平, 等. 口罩产品生产碳足迹核算与分析[J]. 产业用纺织品, 2024, 42(9): 32-37.
- [6] WANG C H, LIN Y F, ZHU L P, et al. Carbon footprint assessment of surgical masks and KN95 respirator masks [J]. Fibres & Textiles in Eastern Europe, 2024, 32(5): 49-58.
- [7] 余梦凡. 基于生命周期评价的防疫用口罩环境影响研究[D]. 上海: 东华大学, 2022.
- [8] VAN STRATEN B, LIGTELJN S, DROOG L, et al. A life cycle assessment of reprocessing face masks during the COVID-19 pandemic[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 17680.
- [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] GIUNGATO P, MORAMARCO B, RANA R L, et al. Carbon footprint of FFP2 protective facial masks against SARS-CoV-2 used in the food sector: effect of materials and dry sanitisation[J]. British Food Journal, 2024,

- 126(1): 33-47.
- [11] CORNELIO A, ZANOLETTI A, FEDERICI S, et al. Environmental impact of surgical masks consumption in Italy due to COVID-19 pandemic[J]. *Materials*, 2022, 15(6): 2046.
- [12] VOZZOLA E, OVERCASH M, GRIFFING E. Life cycle assessment of reusable and disposable cleanroom coveralls[J]. *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 2018, 72(3): 236-248.
- [13] MUTHU S S, NG F S F, LI Y, et al. Carbon and eco-footprints of adult incontinence products[J]. *Fibers and Polymers*, 2013, 14(10): 1776-1781.
- [14] MUTHU S S, LI Y, HU J Y, et al. Carbon footprint of production processes of polypropylene nonwoven shopping bags[J]. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 2012, 20, 3(92): 12-15.
- [15] SCHMUTZ M, HISCHIER R, BATT T, et al. Cotton and surgical masks: what ecological factors are relevant for their sustainability? [J]. *Sustainability*, 2020, 12(24): 10245.
- [16] 中华人民共和国工业和信息化部. 纺织产品水足迹核算、评价与报告通则: FZ/T 07023—2021[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [17] 刘思思, 王克, 陈芳丽, 等. 涤纶印花面料水足迹的核算与评价[J]. *染整技术*, 2021, 43(3): 11-15.
- [18] 郝彩. 纺织服装产品综合环境影响成本核算方法研究与示范[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2023.
- [19] 孙婷, 张如全, 唐子杰, 等. 全棉水刺非织造布的低碳节能冷堆处理工艺[J]. *纺织学报*, 2022, 43(1): 89-95.
- [20] 贾玉珂. 蒽醌法制备过氧化氢的生命周期环境影响分析[D]. 济南: 山东大学, 2024.
- [21] 刘骏稻, 孙婷, 涂虎, 等. 全棉水刺非织造布的等离子体冷堆脱脂漂白工艺响应面法优化[J]. *纺织学报*, 2023, 44(11): 132-141.
- [22] 中国产业用纺织品行业协会. 《水刺非织造布企业综合能耗计算办法及基本定额》编制说明[EB/OL]. (2024-03-25) [2024-10-04]. <http://cnita.org.cn/bzjs/bzxx/202404/W020240408347698516933.pdf>.
- [23] 牛亚雯. 水刺非织造布用芯轴输送机设计[J]. *产业用纺织品*, 2024, 42(5): 49-52.
- [24] 韦雪梅. 基于工业互联网的智能监测与维护系统在水刺法非织造布成套装备中的应用[J]. *国际纺织导报*, 2024, 52(2): 14-18.
- [25] 安徽四维环境工程有限公司. 新疆同展棉业有限公司一四二团脱脂棉加工项目环境影响报告表[EB/OL]. (2018-09-01) [2024-11-14]. <https://www.doc88.com/p-9874811529361.html>.
- [26] 中国产业用纺织品行业协会. 水刺非织造布取水定额(征求意见稿)[EB/OL]. (2024-03-25) [2024-11-14]. <http://cnita.org.cn/bzjs/bzxx/202404/W020240408347698169672.pdf>.
- [27] 中国产业用纺织品行业协会. 水刺非织造布企业综合能耗计算办法及基本定额[EB/OL]. (2024-03-25) [2024-11-14]. <http://cnita.org.cn/bzjs/bzxx/202404/W020240408347698721538.pdf>.
- [28] 中华人民共和国生态环境部. 非织造布制造行业系数手册[EB/OL]. (2021-05-09) [2024-11-14]. <https://max.book118.com/html/2021/0708/6141154134003211.shtm>.
- [29] 巩小曼, 柳疆梅, 朱顺, 等. 全棉毛巾染整主要工序水足迹核算与评价[J]. *印染*, 2021, 47(1): 61-64.

(上接第 22 页)

- [74] LI S, FAN Y, LI X, et al. Ultralight hard carbon nanotubes nanofiber foam/epoxy nanocomposites for comprehensive microwave absorption performance [J]. *Polymer Composites*, 2021, 42(9): 4673-4683.
- [75] ZHAO R, XIA J, ADAMAQUAYE P, et al. High density interfaces enhanced microwave absorption in multifunctional carbon nanotubes-glass fiber-epoxy composites[J]. *Polymers for Advanced Technologies*, 2022, 33(3): 818-830.
- [76] LEE S E, LEE W J, OH K S, et al. Broadband all fiber-reinforced composite radar absorbing structure integrated by inductive frequency selective carbon fiber fabric and carbon-nanotube-loaded glass fabrics [J]. *Carbon*, 2016, 107: 564-572.
- [77] SI T T, XIE S, JI Z J, et al. *In situ* anchoring of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/CNTs hybrids on basalt fiber for efficient electromagnetic wave absorption[J]. *Nanotechnology*, 2023, 34(40): 405602.