

碳足迹研究进展及纺织行业的应用与挑战

刘月华

福建师范大学环境与资源学院, 福建 福州 350117

DOI: 10.61369/SDME.2026020024

摘 要： 在实现“双碳”目标的大背景下，量化人类活动温室气体排放的碳足迹已成为新的研究热点。传统高耗能、高排放的纺织行业是实现低碳发展和绿色转型的关键部门，其全生命周期碳足迹包括原材料获取、生产制造、产品流通和废弃处置的全过程。本文基于文献调研，梳理了碳足迹的概念、核算方法和纺织行业的碳足迹研究进展，分析了在纺织产业链各环节的管控措施，指出了当前存在核算标准不统一、数据获取困难和低碳技术应用性不足的转型挑战。本文为纺织行业的低碳转型提供了理论依据与实践路径。

关 键 词： 碳足迹；纺织行业；核算方法；挑战

Research Progress on Carbon Footprint and Its Application and Challenges in the Textile Industry

Liu Yuehua

College of Environment and Resources, Fujian Normal University, Fuzhou, Fujian 350117

Abstract： Against the backdrop of achieving the "dual carbon" goals, quantifying carbon footprints from human activities has emerged as a key research focus. The textile industry, traditionally energy-intensive and high-emission, is pivotal to low-carbon development and green transformation. Its full lifecycle carbon footprint encompasses raw material sourcing, production, product distribution, and end-of-life disposal. Through literature review, this study examines the concept of carbon footprint, calculation methodologies, and advancements in textile industry research. It analyzes control measures across the textile supply chain while identifying transformation challenges including inconsistent accounting standards, data acquisition difficulties, and limited applicability of low-carbon technologies. This paper provides theoretical basis and practical path for the low-carbon transformation of textile industry.

Keywords： carbon footprint; textile industry; accounting methods; challenges

引言

全球气候变化已成为全人类共同面临的严峻挑战，温室气体排放引发的气温升高、极端天气频发等问题，严重威胁生态环境安全与人类社会可持续发展。为应对气候变化，《巴黎协定》明确提出将全球平均气温升幅控制在工业化前水平以上2℃之内，并努力限制在1.5℃之内^[1]，各国纷纷出台一系列“碳达峰、碳中和”的战略规划，加快推动产业结构优化与能源转型。

据统计，全球纺织行业每年温室气体排放量占全球总排放量的5%~10%，超过国际航空业与航运业排放量之和^[2]，纺织行业是全球经济的重要支柱产业，也是典型的高耗能、高排放、高污染产业之一^[3]，其中化纤生产、印染加工等环节是主要碳排放源。《纺织工业发展规划（2016—2020年）》明确提出，到2020年，纺织行业规模以上企业单位工业增加值能耗累计下降18%、二氧化碳排放强度累计降低22%，再利用纺织纤维总量达1200万吨^[4]。随着五年规划的逐步实行与碳关税的贸易壁垒，纺织行业进行低碳转型已迫在眉睫。

随着研究的深入，为量化人类活动（包括生产、消费、生活等）过程中直接或间接产生的温室气体排放量引入了碳足迹（Carbon Footprint，单位为二氧化碳当量（CO₂eq））。自碳足迹的概念提出以来，现已形成较为完善的理论体系与核算方法，广泛应用于农业、工业、服务业等多个领域。本文将基于碳足迹研究成果，结合纺织行业的产业特点，系统分析碳足迹在纺织行业的应用与目前碳足迹管理面临的挑战。

一、碳足迹研究进展

（一）碳足迹概念界定与分类

根据核算范围与对象的不同，碳足迹可分为不同类型：按核算主体可分为个人碳足迹、企业碳足迹、产品碳足迹；按核算范

围可分为直接碳足迹（Scope 1）、间接碳足迹（Scope 2和Scope 3），其中直接碳足迹指核算主体直接产生的温室气体排放，间接碳足迹指核算主体消耗外购能源、原材料等间接产生的温室气体排放，Scope 3则涵盖了供应链上下游未被Scope 2覆盖的所有间接排放，如原材料开采、产品运输、废弃处置等环节。

（二）碳足迹核算方法研究进展

目前碳足迹主流的核算方法为生命周期评价法（LCA）、投入产出法（IO）和实测法三大类。

生命周期评价法（LCA）识别从原材料获取、生产制造、包装运输、使用消费到废弃处置的全过程所有温室气体的排放源，结合相关活动水平数据，最终计算产品全生命周期碳足迹。采用该方法可以达到全面精准核算的目的，但核算流程复杂、数据需求量大且因核算边界设定和数据选择差异导致核算结果的可比性较差。

投入产出法（IO）的本质是投入产出表，通过部门间投入产出的流动情况，将经济关系转化为温室气体排放的关系，通过计算投入产出系数从而计算产业或产品的间接碳足迹。采用该方法核算高效、数据获取相对简便，能反映产业间的碳排放关联，适用于区域和产业碳足迹核算。但存在无法精准识别产品全生命周期中的具体排放源，更新周期较长的缺点。

实测法是通过现场监测、仪器分析等方式，直接获取温室气体排放量。基于实际监测数据，确保了核算结果的真实性与准确性。实测法适用于企业直接碳足迹的核算，但存在监测成本高、覆盖范围有限，无法核算间接碳足迹的局限性。

（三）碳足迹评价与管控研究进展

截止目前，以碳足迹为关键字在知网中进行搜索，在环境领域发表文章共11179篇，发文量从2020年开始迅速增长。与此同时碳足迹的研究方向从单一碳足迹排放核算向“碳足迹－驱动因素分析－情景降碳”体系演进。先前的研究主要采用过程分析法 (Process Analysis)^[5-6] 或投入产出模型 (Input-Output Model)^{[7][8][9][10]} 进行碳足迹的静态测算，而近年来大多研究更注重于将结构分解分析 (SDA) 与生命周期评估 (LCA) 相结合，将碳排放总量变化分解为排放强度变化、技术结构变化、消费结构变化、人均消费水平变化、人口变化等驱动因素的贡献，以揭示社会经济因素与产业路径的交互作用^[11]。例如，对中国纺织业的动态研究表明，2012年后碳足迹增速放缓并非因单一技术改进导致，而是人均最终需求效应减弱、产业结构调整与能效提升等多种因素共同作用的结果。这种多因素综合分析突破了传统“排放清单”的局限性，分解影响排放的主导因素，为制定减排提供了更科学的理论依据。

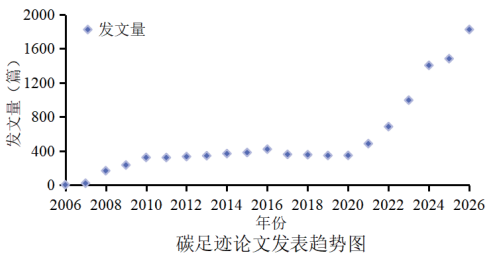


图 1 碳足迹论文发表趋势图

工业碳足迹是指“一个生产场所或一个工业部门在一定时间内的排放总量”，是产品在生产阶段的碳排放。而产品碳足迹则关注于“一件产品从摇篮到坟墓”，工业碳足迹是产品碳足迹的基础，使得牛仔裤、毛纱等具体产品的碳足迹核算成为可能。研究表明，纺织品生产中的染色工序通常贡献40%–60%的碳排

放^[12]，而蒸汽使用则是棉纺环节的主要排放源^[13]。该研究结果表明企业可以通过优化工艺流程实现降碳，例如采用清洁能源加热洗水工序可减少牛仔裤9.84kgCO₂当量工业碳足迹的30%^[14]。更值得关注的是，碳足迹与水足迹的协同研究揭示了环境治理的复杂性：对服装行业而言，节水措施可能增加能源消耗，而碳减排方案又可能加剧水资源压力^[10]。

碳足迹研究呈现出明显的区域差异。发达国家更关注消费端碳足迹的核算与标签体系，而发展中国家则聚焦于生产过程的减排潜力。Rubashkina 等基于1997–2009年间17个欧洲国家的制造业部门面板数据，支持了“弱版本”波特假说，即环境规制确实能刺激企业的创新活动^[15]。王等人^[16]通过建立符合本土产业特点的棉衬衫碳足迹评估框架，为应对国际贸易中的“碳壁垒”提供了技术支撑。而王文磊等人^[6]对浙江纺织业的实证分析结果表明纱线、布料等细分领域的碳强度差异可达5倍，故行业内碳排放的不均衡性，需要企业积极开展碳足迹核算。

二、碳排放热点环节识别与低碳改进

通过碳足迹核算，纺织行业明确了碳排放热点主要集中在原材料生产、印染加工等环节，占纺织产品全生命周期碳排放量的80%以上，针对这些热点环节，行业逐步开展低碳改进措施，提升低碳发展水平。

（一）原材料生产环节

原材料生产环节是纺织行业碳足迹的主要来源环节，尤其是化纤原材料（如聚酯、锦纶、腈纶等）的生产，该环节消耗化石能源产生的电力和热力并排放温室气体。纺织行业可以采用优化原材料结构、推广绿色原材料等方式，降低碳排放。例如应用再生纤维，相比原生纤维，再生聚酯纤维能减少化石能源消耗与废弃物排放，由此可降低30%~50%的碳排放量。

（二）印染加工环节

印染加工环节是纺织行业高耗能、高排放的核心环节，染色、印花、后整理等工艺需要消耗大量的能源（电力、蒸汽等），同时产生的废水、废气，其处理与处置过程间接增加了碳排放量。纺织企业可以优化印染工艺、采用低碳技术、加强废水废气处理等方式，降低碳排放。例如，采用无水染色、数码印花等低碳印染技术，减少用水与废水排放，进而降低能源消耗，相比传统染色工艺，碳排放量可降低20%~30%。

（三）供应链碳管控与协同减排

纺织行业产业链长、涉及环节多，供应链各环节的碳排放直接影响行业整体碳足迹水平，因此，在低碳产品开发的基础上，供应链水平的碳管控已成为纺织行业碳足迹应用的重要方向。

表 1 产业链协同减排路径

产业链类型	减排环节	减排措施
供应链上游	原材料生产与供应环节	企业合作推动原料生产低碳化，提升再生原料和生物质原料供应率，优化原料生产工艺。

供应链中游	生产与物流运输环节	企业优化生产流程，低碳印染，减少废弃物排放与能源消耗；例如集中采购、集中运输。
供应链下游	产品流通、使用、废弃处置环节	采用可降解包装材料，减少包装废弃物排放；采用新能源物流车辆；推动废旧产品再生利用。

三、纺织行业碳足迹应用的挑战

尽管碳足迹在纺织行业的应用取得了一定进展，推动了行业低碳转型，但由于纺织行业产业链长、环节复杂、中小企业众多等特点，当前碳足迹在应用过程中仍面临着标准不统一、数据获取困难、技术支撑不足、成本压力较大、认知水平有待提升等突出挑战，制约了碳足迹在行业中的广泛应用与深度推广。

（一）碳足迹核算标准不统一，可比性差

纺织行业当前主要受到国际绿色贸易政策的影响，以全生命周期的碳足迹核查为主，国内尚无官方标准，欧盟标准也尚未完全披露。国内的碳市场交易采用的是面向组织的碳排放核算，为了避免不同行业排放量的重复计算，目前只考虑范围一的直接排放。

目前，全球范围内尚未形成统一的纺织行业碳足迹核算标准，不同国家、组织制定的核算标准在核算边界、排放源识别、数据选择、计算方法等方面存在差异，导致不同企业、不同产品的碳足迹核算结果缺乏可比性，难以形成统一的行业碳足迹评价体系。例如，ISO14067标准、PAS2050标准、GHG Protocol 标准在核算边界的设定上存在差异。国际绿色贸易政策的核算边界多样复杂，欧盟边境调节政策不仅考虑范围一的直接排放，也部分考虑了范围二的间接排放和范围三的上游排放，其中间接排放受管控行业都需要上报，但是仅有水泥和化肥行业出口产品的间接排放需要按欧盟碳价缴纳税费，而对上游排放的管控，也只针对特定前体材料的隐含碳排放，而非上游过程中的全部排放。其他国际绿色贸易政策多以产品碳足迹核算为主线，但是不同核算方法包括的产品阶段并不完全一致，比如欧盟新电池法案只考虑材料获取与预处理、生产、分发与存储和寿命终止四个环节，不考虑使用环节。

（二）碳足迹数据获取困难，数据质量参差不齐

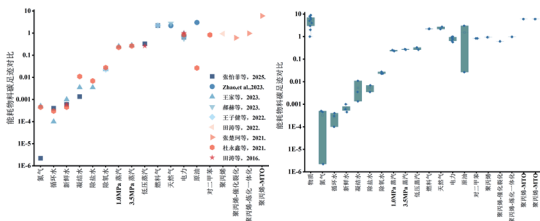


图2 碳足迹对比图

1、产业链数据不完善。纺织鞋服行业内企业小微企业众多，工艺过程及产品繁复，上游企业未开展碳足迹核算或因商业机密不愿披露，导致下游企业无法获取完整的原材料碳排放数据。

2、数据质量难以保证。中小企业普遍存在数据记录不完整、不规范的问题。因计量单位、统计方法不统一，数据的对比整合存在一定难度。

3、排放因子数据不通用。由于国内碳排放数据库建设相对

较晚，而国际数据库在建设过程中多依托欧美研究和行业数据统计，无法反映中国实际的生产工艺及对应的排放特征。而且这些数据库普遍更新缓慢，中国的技术水平、能源结构发展速度快于世界其他国家，数据更新滞后将严重影响对中国企业产品碳排放核算的真实性。

（三）低碳技术支撑不足，减排潜力未充分释放

碳足迹在纺织行业的应用，离不开低碳技术的支撑，低碳技术的研发与应用是降低纺织行业碳足迹的核心手段。目前，我国纺织行业低碳技术整体水平仍有待提升，核心低碳技术，如无水染色等技术的研发与应用仍存在不足，成本高、稳定性差，尚未实现规模化应用，难以被广大中小企业接受。

四、结论与展望

随着“双碳”目标的深入推进，碳足迹管理将成为纺织行业高质量发展的核心竞争力，未来纺织行业应抓住“双碳”战略机遇，通过碳足迹核算与管控，精准识别碳排放重点环节，推动企业低碳技术升级，优化产品结构，构建低碳供应链，实现绿色低碳转型与高质量发展。

参考文献

[1]United Nations & framework convention on climate change.adoption of the Paris Agreement[R].Paris:UN & FCCC,2015.

[2] 新华网,低碳环保, 纺织业新时尚[EB/OL].http://www.xinhuanet.com//fortune/2019-11/06/c_1210343401.htm,2019-11-6.

[3] 纺织行业“十四五”发展纲要[J].纺织科学研究,2021,(07):40-49.

[4] 工信部发布《纺织工业发展规划(2016~2020年)》[J].人造纤维,2016,46(06):35.

[5] 杜欢政,刘建成,陆莎.双碳目标下纺织产业的绿色创新与发展[J].纺织学报,2022,43(9):120-128.DOI:10.13475/j.fzxb.20220307009.

[6] 王文磊.涤棉卫衣碳足迹评估及核算软件开发[D].浙江理工大学,2023.DOI:10.27786/d.cnki.gzjlg.2023.000893.

[7] 周杰民,丁志刚,徐琪.浙江纺织产业碳足迹关键影响因素的实证分析[J].资源开发与市场,2015,31(02):133-137.

[8] 莫茵.快时尚行业环境足迹驱动因素及减缓策略研究[D].广东工业大学,2025.DOI:10.27029/d.cnki.ggdgu.2025.003019.

[9]ISO 14067-2024, Greenhouse gas—Quantification of the carbon footprint of products—Requirements and guidelines[S].

[10] 黄建铭.中国水足迹和碳足迹的驱动因素与产业路径分析[D].中国石油大学(北京),2022.DOI:10.27643/d.cnki.gsybu.2022.001181.

[11] 朱丽哲.中国外商直接投资碳足迹的测算及其影响因素研究[D].浙江工商大学,2023.DOI:10.27462/d.cnki.ghzhe.2023.000716..

[12] 王来力,吴雄英,丁雪梅,等.棉针织布的工业碳足迹和水足迹实例分析初探[J].印染,2012,38(07):43-46.

[13] 屠莉华.基于PAS 2050的牛仔裤生产碳足迹研究[D].东华大学,2012.

[14] 李一,王君涛,王来力.牛仔裤工业碳足迹核算与评价示范[J].现代纺织技术,2017,25(06):58-61.DOI:10.19398/j.att.2017.06.013.

[15]Rubashkina Y ,Galeotti M ,Verdolini E .Environmental regulation and competitiveness: Empirical evidence on the Porter Hypothesis from European manufacturing sectors[J].Energy Policy,2015,83288-300.DOI:10.1016/j.enpol.2015.02.014.

[16]Wang C ,Wang L ,Liu X , et al.Carbon footprint of textile throughout its life cycle: a case study of Chinese cotton shirts[J].Journal of Cleaner Production,2015,108464-475.DOI:10.1016/j.jclepro.2015.05.127.

[17] 王晓蓬,王君涛,李一.基于PAS 2395的纺织产品碳足迹核算与评价[J].现代纺织技术,2018,26(03):44-46.DOI:10.19398/j.att.2018.03.009.