

低碳转型视角下电子商务可持续发展路径研究

——基于碳足迹解构与模式创新分析

窦伊迪

南京林业大学马克思主义学院, 江苏 南京

收稿日期: 2025年5月8日; 录用日期: 2025年5月27日; 发布日期: 2025年6月30日

摘要

在“碳达峰碳中和”目标背景下, 电子商务作为数字经济的核心领域, 其低碳转型对经济社会系统性变革具有重要意义。本文通过解构电子商务全生命周期的碳足迹, 揭示商品生产、仓储管理、物流运输、配送退换及废弃处理等环节的碳排放特征与关键矛盾。针对技术、模式与制度三重维度, 提出技术驱动型减碳路径, 包括智能算法优化物流网络、区块链追溯碳足迹; 创新共享仓储、循环包装等运营模式; 构建碳标签、碳普惠等制度保障体系等。在电子商务可持续发展的过程中, 企业短期利益与长期责任冲突、消费者行为割裂及政府治理矛盾构成转型现实障碍, 需通过多方协同治理破解。本文为电子商务低碳转型提供全生命周期视角的理论框架与实践策略, 助力“双碳”目标实现与数字经济可持续发展。

关键词

电子商务, 碳足迹, 低碳转型, 可持续发展

Research on the Sustainable Development Path of E-Commerce from the Perspective of Low-Carbon Transformation

—Based on Carbon Footprint Deconstruction and Model Innovation Analysis

Yidi Dou

School of Marxism, Nanjing Forestry University, Nanjing Jiangsu

Received: May 8th, 2025; accepted: May 27th, 2025; published: Jun. 30th, 2025

Abstract

Under the “Carbon Peak and Carbon Neutrality” goals, e-commerce, as a core sector of the digital

economy, holds significant importance in driving systemic socio-economic transformation through its low-carbon transition. This study deconstructs the carbon footprint across the entire lifecycle of e-commerce, revealing carbon emission characteristics and key contradictions in product production, warehousing management, logistics transportation, delivery/returns, and waste disposal. From technological, operational, and institutional dimensions, it proposes technology-driven decarbonization pathways including intelligent algorithm-optimized logistics networks and blockchain-enabled carbon tracing. Innovative operational models such as shared warehousing and circular packaging are suggested, alongside institutional safeguards like carbon labeling and inclusive carbon mechanisms. The sustainable development of e-commerce faces practical challenges including corporate conflicts between short-term profits and long-term responsibilities, fragmented consumer behaviors, and governance contradictions, requiring multi-stakeholder collaborative solutions. This research provides theoretical frameworks and practical strategies for e-commerce's low-carbon transition from a lifecycle perspective, contributing to both "Dual Carbon" goal achievement and sustainable digital economy development.

Keywords

E-Commerce, Carbon Footprint, Low-Carbon Transformation, Sustainable Development

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

党的二十大报告中指出：“积极稳妥推进碳达峰碳中和。实现碳达峰碳中和是一场广泛而深刻的经济社会系统性变革。”[1]作为全球经济发展的重要推动力，电子商务行业的低碳转型显得尤为关键。当前我国对电子商务的低碳转型研究多集中于分析和整理电子商务的发展对碳排放量的影响，以及电子商务的可持续发展研究。但现有研究存在明显的局限性：大多数研究只关注电商产业链的某一个环节，比如只研究物流或者生产。没有把电商的整个流程作为一个整体来分析，从网络基础设施到平台运营，再到商品流通和消费者行为作为一个循环。杨刚强等学者认为电子商务作为产业数字化的重要表现形式，克服了数字技术的绿色悖论，为碳减排提供了稳定的激励[2]。但是这类研究忽略了一个重要问题：虽然数字技术提高了能效，但也可能因为刺激了更多消费需求反而导致总体碳排放增加。张乾等学者认为电子商务是全球数字经济发展的早期实践形式，也是当前我国数字经济最具创新与活力的领域[3]。并且绝大多数学者都将目光聚焦到物流和供应链等环节中，孙祎卓认为在“双碳”目标下，我国电商物流在减少碳排放上取得一定成果[4]。曾可昕等学者认为电子商务生产和消费的跨时空特征，可以实现供应链各企业的聚集，企业从而根据市场动态需求进行协作和要素配置优化，提高产业链各环节协同程度，降低各环节交易成本[5]。然而，尽管电子商务相较于传统行业污染较低，但其在全生命周期中的碳足迹都不容忽视，我国学者很少从电子商务的全生命周期的碳排放进行研究。现有研究对电商碳足迹的测算存在明显短板：一是测算范围不完整，普遍忽略服务器能耗、包装废弃物处理等“隐形”环节；二是数据来源单一，多采用行业估算值而非企业实际运营数据。从商品生产到末端配送，各环节的碳排放对环境产生了不同程度的影响。当前研究对各环节的碳关联性认识不足：生产端的绿色设计可降低末端维修难度，但这类跨环节协同减排的实证研究不足；物流环节的算法优化可能带来包装材料增加的反效果，这种“减排抵消效应”尚未被量化分析。如何在推动电子商务高效发展的同时，减少碳排放，达成“双碳”目标，是当前亟待解决的重要问题。本研究通过分析电子商务碳足迹的现状，结合技术创新、运营模式创新和

制度保障的路径，提出了具有可操作性的低碳转型策略，为实现电子商务的可持续发展提供理论支持。

2. 电子商务碳足迹解构与现状分析

2.1. 电子商务碳足迹生命周期界定

基于数字经济和互联网的电子商务进一步崛起的过程中，在进一步拉动全球经济增长的同时，也在各个环节出现了不同程度的碳排放。尽管电子商务属于低污染、低能耗的新兴行业，但是在电子商务的全生命周期依然有着明显的碳排放足迹。电子商务的每一个环节的碳排放虽程度不同，但都或多或少地影响着“双碳”目标的实现。

电子商务碳足迹生命周期指的是在整个电子商务运作过程中，从原材料获取到仓储、运输、配送、退换货最后到废弃处理全过程的、全生命周期的碳排放足迹。生产环节的碳足迹源于供应链网络复杂性带来的资源损耗，仓储环节涉及空间集约化与能源管理效能的博弈，运输配送环节则存在路径优化与能源类型的双重选择困境。逆向物流与废弃物处理作为生命周期末端，其碳管理效果直接影响系统边界的完整性。这种系统边界的科学划定，为后续减排路径设计确立了时空维度。

2.2. 关键排放源现状分析

电子商务的碳排放足迹贯穿电子商品全生命周期，形成了从生产端到消费端的完整排放链条。商品在互联网进行售卖的过程中，商品的生产、仓储管理、干线运输、末端配送、退货处理以及废弃处置等六个环节构成了系统化碳排放网络。当前整个行业整体面临资源利用率偏低、逆向物流重复耗能、末端配送冗余等共性问题，需要通过流程优化和技术升级来实现整体的低碳转型。

第一，商品生产环节的碳排放现状。我国制造业能源消费呈现显著的结构性特征。根据国家统计局数据显示，2024 年电子商务交易额 464,091 亿元，比上年增长 3.9%。网上零售额 152,287 亿元，比上年增长 7.2% [6]。但是，就商品生产环节的碳排放基于原材料供应链的模式来说，原材料的开采过程依然依赖化石能源驱动的重型机械，矿产资源的减少导致单位原料加工的能源需求呈现出逐渐递增的趋势。商品制造环节的碳排放量受工艺质量影响，传统的生产设备因技术依赖问题难以兼容清洁能源输入形式，因此会形成能源结构与排放强度的刚性约束。在产品阶段，设计者缺乏模块化理念，导致后期维修与再制造可能性降低，间接推高生命周期的资源消耗总量。

第二，仓储管理环节的碳排放现状。现代物流仓储系统的能源消耗呈现非线性增长趋势。国家大力倡导发展智能物流设备，例如智能多层多向穿梭车、智能大型立体仓库等智能物流与仓储装备、信息系统，智能港口装卸设备，农产品智能物流装备等[7]。仓储设备中的自动化设备与清洁能源匹配度较小，导致对能源的高能耗加剧，削弱可再生能源的实际消纳能力。仓储环节的碳排放主要来源于仓储空间的资源配置。库区布局不合理会导致货物搬运次数增加，机械设备的无效做功会转化为额外的电能损耗。库存周转率低导致商品滞留时间延长，仓储空间占用率与周转率无法形成正反馈循环。

第三，干线运输环节的碳排放现状。干线运输的碳排放受制于运输方式的结构性失衡以及运输网络的协同性不足。对公路运输的过度依赖会削弱多式联运的降碳潜力，不同运输载体之间的差异性会阻碍货物运输的无缝衔接。目前，我国运输网络的布局未能充分考虑区域产业的特征，空载率高、重复运输率高都会导致运输过程碳排放量增高，于全国均值对比，可见长三角地区空驶率较全国平均高出 6.5 个百分点[8]。运输过程中，货物装载缺乏整合规划，运输空间利用率不足导致单位运力的碳排放强度持续高位运行。

第四，配送环节与退换货处理环节的碳排放现状。商品通过电商卖出后，必然会有配送和退换货环节，这两个环节形成正向和逆向物流两个环节。物流路径规划重叠和折返现象会造成无效里程的能源浪

费。包装运输材料的选择影响着碳排放的程度，一次性材料和塑料制品的过度使用会导致环境的污染。消费者的退换货行为缺乏碳成本的约束机制，非必要的退换货行为会诱发运输、分拣、质检等环节的碳重复排放。

第五，废弃处理环节的碳排放现状。目前，我国对商品废弃处理仍依赖于较为粗放的填埋与焚烧处理方法。回收产业的前端分类技术与后端再制造环节存在技术断层，降级回收模式导致多次循环的碳减排效益流失。生产者的责任延伸制度多难以执行，导致产品设计端与废弃处理端的责任主体产生割裂，生态设计创新难以转化为实际的碳减排效能。

3. 电子商务低碳模式创新路径

3.1. 技术驱动型减碳

技术驱动型减碳路径本质上是对电子商务商品生产要素的数字化重构，在基于互联网进行交易的过程中，通过物联网建构出“物质流 - 能量流 - 信息流”的三重映射系统，使碳排放的可视化从静态核算转向动态监测。在物流行业中，低碳电子商务的实践路径之一是通过优化物流体系来减少碳排放[9]。通过对智能算法的优化，对物流网络进行结构性调整，能够在运输路径规划中平衡时效性与碳排放量的双重约束。人工智能驱动运筹优化，其智能算法在路径规划、库存调配等场景可以产生结构性减排效应，例如，菜鸟网络的 AI 调度系统，极大限度降低了路径规划的空驶率。区块链技术的应用通过智能合约的自动执行，打破了传统供应链中的信息不对称困境，为碳足迹追溯提供信息技术载体。在物流系统智能化改造时，需要分三步走：第一步给每辆运输车安装数据采集器，实时记录货物重量、油耗和行驶路线；第二步开发智能调度软件，在规划送货路线时既要考虑送货速度，也要计算不同路线产生的碳排放量；第三步建立动态调整机制，每天根据交通状况和订单变化更新四次配送方案。区块链技术应用重点建立产品碳足迹追踪链条，让工厂、物流公司和电商平台共享数据，自动核对每个环节的能源消耗情况。电商商品生产过程中使用清洁能源代替传统的重污染能源，运输过程以电力和氢能源运输设备代替传统燃油运输设备，让技术创新与生态导向协同运作，共同推动碳减排末端治理转向源头控制。

3.2. 电子商务运营模式重构

电子商务运营模式的创新性重构可以极大限度使电子商务价值模式向生态化转化。在电商运营过程中，共享物流网络建设遵循资源聚合理论，通过空间经济学原理将离散的仓储节点转化为弹性供给网络，将闲置资源进行重新再利用。云仓储模式通过空间复用率提升破解仓储能耗困局，动态定价机制平衡供需弹性。共享仓储网络建设需要解决三个关键问题：第一，建立区域仓储信息数据库，详细记录每个仓库的位置、面积和空闲时段；第二，制定灵活租用规则，在销售旺季提高仓库使用费，淡季降低费用吸引商家存储；第三，统一货物包装标准，使不同商家的商品能快速适配仓库货架。包装循环体系要设计完整的回收流程，给每个包装箱印制专属编号，消费者退还包装可获得运费抵扣，各城市设立专门站点进行包装消毒和二次分发。循环商业模式创新体现为产品服务化转型，将所有权与使用权分离延长商品生命周期。传统的包装材料往往会产生大量的塑料废弃物，对环境造成严重污染。转向使用可降解、可回收或可循环利用的绿色包装材料是降低碳排放的有效途径[10]，商品在运输过程中的包装要采用可循环包装体系，将线性经济中的单向流动转化为物质代谢的闭合回路。绿色供应链管理运用压力传递机制，通过核心企业环境标准倒逼上下游协同改进。这些模式创新本质是生产关系适应低碳生产力发展的调整，重构了价值创造与环境保护的利益分配格局。

3.3. 制度创新保障

制度创新保障体系的构建需要遵循激励相容原则和制度变迁规律。碳标签制度是通过信号传递机制

来降低绿色产品的市场识别成本，被广泛运用于电商的选品环节。碳普惠机制设计基于行为经济学中的助推理论，将外部性内部化的过程转化为可量化的个体收益，这种制度装置能够有效激发利他主义与理性选择的协同效应。碳定价机制通过市场信号引导资源再配置，配额交易制度与碳税工具的组合使用可兼顾效率与公平。绿色金融创新运用风险共担原理，将环境绩效转化为资本市场的估值要素。第三方认证体系则依据制度合法性理论，在市场主体间建立可验证的信任契约，这种制度安排降低了低碳转型过程中的交易费用。政策工具的迭代演进呈现路径依赖特征，从自愿性规范到强制性标准的过渡，反映着制度刚性随技术成熟度提升的演变规律。

4. 挑战与对策建议

4.1. 电子商务在低碳转型中的现实障碍

第一，对于企业来说，电商平台存在短期利益与长期责任的矛盾，大型企业虽具备技术能力却担忧成本回收周期，中小物流企业受限于资金储备难以承担设备更新费用。部分平台企业利用市场支配地位，将环保改造成本向供应商转嫁，导致供应链矛盾激化。制造端企业面临生产工艺改造的技术风险，担心绿色转型影响产品交付稳定性。现有物流基础设施的资产专用性形成沉没成本障碍，企业因路径依赖难以突破传统能源范式。创新扩散受到边际效应的影响，清洁能源设备的规模效应尚未突破临界点。

第二，对于消费者来说，价格敏感型消费者呈现出意识与行动割裂的特征，虽认同环保理念却拒绝承担额外支出，其支付意愿呈现明显价格弹性特征。高收入群体虽具有支付能力，但对企业的环保承诺存在普遍性质疑，担心支付溢价未能产生实际环境效益。年轻消费者更易受社交传播影响，其绿色消费行为具有从众性与不稳定性。消费者认知偏差构成需求端制约，支持电子消费的消费者环保意识与购买决策行为之间存在明显行为鸿沟。利益相关者博弈引发“搭便车”现象，公共物品理论阐释低碳转型中的集体行动困境。

第三，对于政府来说，地方政府面临经济增长与生态治理的双重考核压力，环保部门监管要求与招商部门经济指标存在内在冲突。基层执行层面存在技术能力缺口，难以有效核查企业碳排放数据真实性。政策执行过程中存在区域竞争博弈，部分地区为吸引电商投资主动降低环保准入门槛。环境外部性内部化不充分导致市场失灵，政策工具协同不足引发政府失灵，地方政府在环境规制执行中存在动机扭曲现象。中小企业转型能力缺口形成“马太效应”，各个电商平台对资源的技术获取能力的差异加剧导致行业分化。绿色金融工具的流动性缺陷反映出信息的极度不对称，环境信息披露质量制约资本市场定价效率。

4.2. 多方协同治理对策建议

第一，企业端的技术革新策略。电商平台及关联企业应承担技术创新主体责任，构建渐进式绿色转型路径。头部平台需开放物流路径优化算法接口，允许中小商家免费调用基础智能调度模块；物流企业应建立设备更新成本分摊机制，将新能源车购置成本按订单比例分摊至未来三年的运输服务定价中；制造企业须完善绿色供应链管理，通过嵌入碳追踪芯片实现商品全生命周期碳排放可视化，借助平台数据优化生产工艺。

第二，消费者参与的行为激励体系。激活消费端环保力量需构建可持续的行为引导机制。电商平台应设计嵌入式碳足迹反馈系统，在订单支付环节动态显示包装材料、配送距离等维度的碳排放数据；建立跨平台碳积分银行体系，将消费者选择的环保配送、绿色包装等行为转化为可累计的通用积分，支持兑换快递折扣或公益捐赠；推行环保行为信用增值计划，对持续践行低碳消费的用户提供免押金租借、优先售后服务等专属权益。

第三，政府层面的制度供给创新。政府部门需破解环境治理的公共产品供给难题，重点构建电商低碳转型的基础支撑体系。应建立电商物流碳核算国家标准，统一仓储能耗、运输里程等核心指标的计量规则，消除区域间碳数据壁垒；创新财政工具使用方式，将新能源车辆补贴从购置端转向运营端，依据实际行驶里程实施动态补贴；强化监管科技赋能，通过接入平台物流信息系统实时监测企业减排进展，建立环境信用分级管理制度。

5. 结语

随着全球碳中和目标的提出，电子商务行业面临着前所未有的转型压力与机遇。未来，随着技术的不断进步，物联网、人工智能、区块链等新兴技术将不断推动电商行业在碳减排方面的突破，尤其是在物流优化、能源替代和绿色供应链建设等方面取得重要进展。同时，消费者环保意识的提高以及绿色金融、政策支持体系的逐步完善，也将为电子商务的低碳转型提供更多动力。然而，低碳转型并非一蹴而就，仍然需要克服技术、市场和制度上的种种障碍，各方应共同打造一个更加绿色、可持续的电商生态。随着绿色消费的崛起和绿色创新的加速，未来电子商务将不仅仅是经济发展的引擎，更将成为推动社会和环境可持续发展的重要力量。

参考文献

- [1] 高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的讲话[N]. 人民日报, 2022-10-26(01).
- [2] 杨刚强, 王海森, 范恒山, 等. 数字经济的碳减排效应: 理论分析与经验证据[J]. 中国工业经济, 2023(5): 80-98.
- [3] 张乾, 葛国庆, 薛健. 数字经济促进了企业避税吗——基于电子商务示范城市创建的准自然实验[J]. 会计研究, 2022(4): 71-88.
- [4] 孙祎卓. “双碳”目标下电子商务物流发展研究[J]. 商展经济, 2024(12): 117-120.
- [5] 曾可昕, 张小蒂. 数字商务与产业集群外部经济协同演化: 产业数字化转型的一种路径[J]. 科技进步与对策, 2021(16): 53-62.
- [6] 国家统计局. 中华人民共和国 2024 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. 2025-02-28. http://www.stats.gov.cn/sj/zxfb/202502/t20250228_1958817.html, 2025-06-25.
- [7] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 产业结构调整指导目录(2024 年本) [EB/OL]. 2023-12-01. https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11206/202403/content_6937897.html, 2025-06-25.
- [8] 交通运输部. 2023 年交通运输行业发展统计公报[EB/OL]. 2024-06-14. http://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/zhghs/202406/t20240614_4142419.html, 2025-06-25.
- [9] 庄梦依. 基于低碳经济背景下我国低碳物流高质量发展对策研究[J]. 物流科技, 2023, 46(2): 23-25.
- [10] 陈翮. 基于低碳理念的快递包装设计研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安工程大学, 2019.