

收稿日期:2025-05-13

数字驱动、绿色协同： 城市低碳转型的三阶机制与路径优化

张臻雨

(江苏沿海发展研究院,江苏 盐城 224002)

摘要:在“双碳”目标约束下,探究数字经济驱动城市低碳转型的内在机制与实现路径具有重要意义。基于“技术-制度-社会”系统分析框架,构建了“技术支撑-产业优化-生态协同”的三阶段递进理论机制,并系统剖析了转型过程中面临的现实困境,运用政策分析与典型案例相结合的方法进行实证验证。研究发现,数字经济通过技术创新实现降耗增效、产业重构优化资源配置、数字治理促进多元协同等路径驱动城市低碳转型,但同时面临企业转型成本收益失衡、行业数据壁垒与技术适配不足、政府碳核算标准缺失与治理协同低效等障碍。基于问题导向,提出了通过技术赋能、产业协同、治理创新与实施保障等路径,构建低碳转型的数字化基础设施,重塑绿色低碳的产业生态,建立多元协同的低碳治理体系,完善绿色转型支撑体系。

关键词:数字经济;城市低碳转型;三阶协同机制;区域异质性;制度创新;数字治理;碳足迹管理

中图分类号:F49

文献标识码:A

文章编号:1003-6873(2025)05-0054-09

基金项目:盐城市社会科学基金项目“陆海统筹视域下盐城绿色低碳高质量发展路径研究”(25skA286)。

作者简介:张臻雨(1991—),女,山东淄博人,盐城师范学院江苏沿海发展研究院助理研究员,主要从事区域经济发展研究。

DOI:10.16401/j.cnki.ysxb.1003-6873.2025.05.059

城市是温室气体排放的主要来源地,其低碳转型已成为实现全球气候目标的关键所在^[1]。联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第六次评估报告明确指出,若要将全球升温控制在1.5℃以内,2030年前全球碳排放量必须减少43%。在此背景下,中国政府向国际社会作出“力争2030年前实现碳达峰,2060年前实现碳中和”的庄严承诺,彰显了负责任大国的使命担当。

数字经济作为推动经济社会发展的新引擎,为城市低碳转型提供了全新路径^[2]。2022年,中国数字经济规模达50.2万亿元,占GDP比重达41.5%,已成为推动高质量发展的重要力量^[3]。国家层面相继出台的“十四五”规划和《“东数西算”工程实施方案》《数字中国建设整体布局规划》等重大政策,均明确强调数字技术与绿色发展的协同推进,标志着数字技术正从辅助工具向变革性力量跃升。

然而,数字经济赋能城市低碳转型的实践仍面临诸多挑战。从技术供给看,数字基础设施能耗快速增长,2023年全国数据中心耗电量约2700亿千瓦时,占全社会用电量的3%以上;从产业

需求看,传统行业数字化转型进程缓慢,工业互联网普及率仅达21.5%,远低于发达国家40%以上的水平;从制度治理看,数字化碳足迹标准体系尚未统一,碳排放监测、报告、核查(MRV)体系的数字化水平亟待提升。

理论研究方面,现有研究多聚焦于单点技术突破或局部政策优化,缺乏对“技术-制度-社会”复杂系统的整体性分析。基于此,本文构建数字经济驱动城市低碳转型的“三阶协同机制”分析框架,从技术支撑、产业优化、生态协同三个递进层次,系统阐释数字驱动绿色转型的内在逻辑,深入分析企业、行业、政府三个层面的现实困境,并提出制度创新、标准完善、技术突破、治理升级的系统性路径优化策略,为城市依托数字经济实现绿色转型提供理论依据与实践指导。

一、数字驱动与绿色协同:理论逻辑与概念框架

近年来,数字经济如何推动城市绿色转型这个问题受到学术界的广泛关注。总体而言,研究者主要围绕数字经济的基本特点、经济作用以及在城市绿色转型中的工作机制进行了深入讨论。

(一)核心概念界定

1. 数字驱动的三层架构体系

数字驱动是指以数据为关键生产要素、以数字技术为核心动力、以智能平台为载体,推动经济社会系统性变革的过程^[4],可以分为三个层次:基础设施层包括5G、物联网、云计算等数字基础设施,构成城市运行的“神经系统”;核心产业层包括大数据、人工智能、区块链等技术的开发和应用,是价值创造的核心引擎;融合应用层通过产业数字化(比如智能制造)和数字产业化(比如平台经济)的相互融合,重新构建了传统的经济模式。

2. 绿色协同的系统性内涵

绿色协同需要整合多元主体、复合层次及交叉领域的系统性力量,引导“经济-社会-生态”系统采取低碳发展模式。从能源发展维度看,兼顾新能源开发利用与既有能源体系绿色升级,推动能源供应向多源协同方向演进^[5];从产业角度切入,采用循环经济体系协同绿色供应链实践,实现产业间减排联动与资源高效利用;从政策实施维度看,搭建多方协作的碳减排约束体系,形成政策设计、市场运行及社会监督的系统性整合。

(二)数字驱动绿色转型的作用机制研究

文献显示,绿色转型的数字化推进依托于技术创新、产业升级、政策协同及空间扩散等作用路径。现有研究证实借助绿色技术创新的推动,数字经济有效削减了碳排放水平,绿色发明专利的增多是数字经济助力城市减少碳排放的关键机制,且促进能源高效利用,推动传统行业绿色化转型^[4-6]。从产业转型升级角度观察,数字经济背景下产业结构快速升级转型,实现高耗能产业向低碳领域过渡,其影响强度随地域变化呈现梯度差异:东部区域的减排作用更为明显,中西部减排效能的提升需要政策助力^[7-8]。尤为关键的是,两类试点政策(低碳+创新)的联动效应,显著提升了城市低碳转型效率。相关政策组合凭借绿色科创与产业调整,绿色经济效率实现显著增长,同时带动邻近地区低碳转型的示范辐射作用^[9-11]。从空间溢出效应的角度分析,数字经济发展不仅影响本地碳排放水平,还通过溢出机制带动周边地区低碳转型进程。实证研究发现,数字经济对邻近地区的碳排放强度产生负向溢出效应,而对碳排放效率则具有正向溢出效应^[12-14]。然而,必须承认的是,数字经济在促进低碳转型的同时,自身也面临高能耗与高碳排放的内在矛

盾。相关研究显示,中国数字经济碳排放占比正在快速攀升,这一趋势不容忽视。未来需要通过优化数字基础设施建设、提升能源利用效率以及推进数字产业绿色化发展等途径,才能真正实现数字经济与低碳转型的协同发展^[14-16]。

从宏观层面看,数字经济助推低碳转型的学术探索已取得实质性进展,但在驱动路径、地域非均衡性及政策组合优化等前沿领域仍有探索空间,今后应着力探究数字经济与低碳发展间的系统性融合路径,筛选更匹配的政策工具与技术发展路径,夯实我国实现“双碳”目标的理论基础。

二、城市低碳转型三阶机制的运行逻辑

数字技术创新与城市绿色转型的深度融合正在为城市可持续发展探索全新的实现路径,这一融合过程并非简单的技术叠加,而是呈现明显的阶段性演进特征。这种演进不仅体现在技术层面的创新突破,更深层次地涉及产业模式的根本变革和社会生态的系统性重构,最终形成了一个层次分明、相互促进的有机整体。

(一)第一阶段:技术支撑——数字赋能下的能效革新

生态转型早期阶段,提升能效构成碳减排的关键实施路径。数字技术通过建立智能监测网络与数据决策机制,实现对能源运行参数的实时采集与动态优化,可突破旧有体系的技术壁垒。本阶段主要机制是借助信息流完成能源流的系统性整合,为优化资源配置和产业革新构建技术依托。

第一,技术创新推动实时数据监测能力提升。以云计算、大数据、物联网和人工智能为核心的数字技术渐次发展,带动传统产业的生产方式出现根本性转变。依靠安装智能传感器网络与建设实时数据分析平台,企业可对设备运行状态以及能源消耗情况进行实时监测,确切找到能效问题症结的关键点,顺利克服传统生产模式内边际效益递减的技术关卡^[17]。

第二,管理机制优化和生产流程重构。基于数字系统采用的数据驱动管理模式,结合计算机辅助设计与产品数据管理等工具,实现生产流程的系统优化和资源配置的灵活革新。这种数字化管理举措显著压低了单位产品的能耗水平,同时借助搭建数据可视化的绩效评估体系,把低碳目标深度嵌入企业的战略决策安排。

第三,创造积极的外部效应及技术扩散机制。即便数据中心和网络基础设施运转时会产生一定能耗,但从整体形势而言,数字化投入促成的技术溢出效应和正向外部特性,助力全行业能源利用效率实现跨越式增长,最终令碳排放总量出现结构性削减。依托智能电网、能源管理系统整合太阳能、风能等可再生能源类型,可构建起全新的能源生产消费新样式,进而让碳排放和资源的消耗得以减少^[18]。

(二)第二阶段:产业提质——数字重构资源组合

当数字技术深度渗透进产业体系后,开始对资源配置基本逻辑与产业链组织方式作出改变。传统产业显现出路径依赖和高碳锁定的属性,而数字平台借助促进信息整合、增强配置效率、带动碳成本透明化,引导产业朝绿色、低碳方面发展。该阶段关键是从能效的提升转变为结构的重构,达成从单点突破迈向系统转型的重大跨越。

第一,产业链协作实现信息整合。数字平台采用系统性构建产业链协同机制,实现了跨节点信息彼此互通和资源动态共享,有效改善了传统产业中交易成本过高与信息不对称的状况^[11]。依托全产业链的数字化重塑,能源投入及使用的效率得到系统性优化,依靠提高资源配置的效

率,大幅降低了分散管理体系里的能源浪费,进而引起碳排放总量的结构性缩减。

第二,突破路径依赖实现低碳转型。传统产业在技术采用以及组织管理方面呈现显著的路径锁定效应。凭借数字化工具建立起的实时数据监测体系及智能决策模型,企业有办法突破现有技术路径的禁锢,依靠生产工艺的清洁化改善和供应链的绿色化重排,完成生产系统的低碳蜕变。数字经济渗透效应已然成为打破路径依赖、推动技术创新以及组织变革的重要催化剂^[19]。

第三,制定市场激励规章。区块链技术的分布式记账特性与碳标签的量化追踪能力,让数字平台可达成碳排放全生命周期的精确核算。这种把碳成本清晰纳入企业经营决策的机制设计,重整了微观主体的激励架构,带动低碳生产模式从外部约束转化为内在竞争,进而推动企业主动开展技术创新和资源结构优化。

(三)第三阶段:生态协同——数字治理多元共治

当数字基础设施扩展到城市治理和社会生活的各个方面,这时仅靠单一主体的低碳举措难以契合系统性治理需求,必须构建多元主体协同治理体系。数字技术借助打通政府、企业和公众间的数据壁垒,强化反馈机制,增强制度响应能力,助力绿色目标内嵌进社会的运行逻辑,实现技术、制度、行为的协同变迁。

第一,智慧城市与宏观治理。数字经济发展催生了智慧城市和数字治理平台,例如数字孪生城市、智能电网和综合碳排放监测平台。这类系统不仅让城市管理的精细化水平得到提高,还为政府制定精准、即时的环境调控政策提供了数据支撑点,达成了宏观方面的绿色治理^[20]。

第二,公众参与和绿色生活模式。依靠移动互联网与智能终端的普及,绿色低碳理念正慢慢渗透到公众日常生活中,智能应用、碳足迹追踪工具以及积分奖励机制等推动环保消费和低碳出行的普及进程,让居民在自我驱动的低碳生活实践中,缔造全民参与的生态协同景象。

第三,多主体协同治理。实现名副其实的绿色转型,并非仅依赖技术与市场力量,还需政府、企业、科研机构与公众之间进行深度协同互动,数字化治理平台为各方构建起信息共享以及决策协同机制,构建起多层次、跨行业的低碳管理机制。

三、数字驱动城市低碳转型的现实困境

在“双碳”战略引领下,数字经济已成为城市绿色转型的关键动力,但在“技术支撑-产业优化-生态协同”三阶机制的具体运行过程中,仍面临不同层级的现实瓶颈。

(一)技术支撑阶段:企业绿色数字化转型内生动力不足

在“技术支撑”层面,企业是数字化绿色技术采纳的核心载体。然而,现阶段企业特别是中小企业在数字基础设施、人才能力与财务承受力上存在突出短板,制约了绿色技术从实验室走向产业化的实际进程。我国企业数字化转型的整体水平较低,工信部数据显示,截至2023年底,我国制造业数字化转型的覆盖占比仅为25.8%,而中小企业转型的占比不足15%。

第一,成本与收益的结构性失调。数字化改造高投入与长期回报呈现结构性矛盾,这个问题在我国传统制造业中显得尤为突出。企业实施数字化转型需要在设备智能化提升、工业软件采购及专业人才培养等方面进行高额投资,单条生产线实施智能化改造,成本大多超过500万元,工业软件的年使用费高达百万元规模,而同时掌握数字技术和行业知识的复合型人才,其培训周期长达3~5年^[16],节能减排形成的经济效益,得花5~10年时间才能收回投资。这种回报周期漫长的机制让企业在做决策时普遍陷入成本效益的两难选择。

第二,资金约束与投资决策困境。我国中小企业数量庞大,占全部企业数量的99.8%,但融

资难、融资贵的问题一直没有得到根本解决。统计数据显示,传统制造业中小企业平均利润率普遍低于5%,难以承受数字化改造产生的沉没成本。以浙江省制造业为例,2023年中小企业设备联网改造率仅为12%,与大型企业68%的改造率形成明显差距。很多中小企业即使认识到数字化转型的重要性,也难以承担相应的投资成本,成为了推进智能化转型的主要制度性障碍。

第三,组织惯性与管理模式冲突。国内多数传统企业长期采用金字塔式管理体系,审批流程繁复,技术迭代存在滞后性,传统型企业多采用6到8级的决策体系,数字化推进依赖技术方案的持续快速迭代^[19],有实验证据佐证,算法模型周更需求与两周审批流程的错配引发效率损失,导致近七成数字解决方案因审批延迟未能实施,当前管理体系与数字化发展需求的机动性存在抵触。

第四,复合型人才供给不足。我国数字经济发展中存在明显的人力资源短缺现象,既精通数字技术又深谙传统行业的复合型人才缺口尤其突出。技术采纳滞后现象与数字能力水平呈负相关,面对风险时偏向于追加资源投入而非采用技术革新。

(二)产业优化阶段:协同机制缺失与数据整合受限

在产业优化阶段,产业链协同应与数据流通构成绿色价值创造的核心机制,然而当前制度与平台机制未能有效打通产业各环节,阻碍了碳减排与资源配置的系统重塑。2023年,我国GDP总量中有8.2%由数字经济核心产业创造,但与传统领域的结合程度仍处于浅层,技术与产业间的协同矛盾日益凸显,成为数字经济支撑城市绿色化进程的掣肘。

第一,技术适配有待优化。数据处理模型对绿色场景的针对性不足,我国数字技术自主创新链条存在断点,直接影响绿色实践中的技术转化效果。本土工业软件针对能源系统多目标优化的技术指标仅覆盖国际前沿水平的60%,算法运行效率不高,我国能源互联网建设尚处初期阶段,架构核心部件长期倚重国际技术,造成电力、热力与交通系统的数据接口难以互通^[8],致使能源协同优化效果未达预期目标。

第二,信息阻隔与互通困境。不同行业间的数据壁垒导致碳足迹追踪精度下降,国内尚未形成统一的数据共享规范体系,各领域与机构之间的数据共享存在明显隔阂。就碳排放监测而言,中小企业普遍采用人工方式完成碳排放数据填报,数据误差超过三成。尽管我国工业互联网发展进程迅猛,平台累计接入设备数量达8100万台以上,但真正实现深度应用的不足30%,工业场景下边缘智能设备的采用比例不足一成,引发实时能效管理延迟跨越半秒大关。

第三,产业生态协同机制还不够完善。近年来,我国数字经济发展迅速,但在产业链各环节配合度及跨领域协同性上存在局限,现有协作模式效果欠佳,各产业的技术指标、数据形态与流程管理呈现多样化特征,不易形成整体联动,协同机制的缺位阻碍了数据要素的价值挖掘以及数字经济服务绿色发展的步伐。

(三)生态协同阶段:多元共治机制不完善

三阶机制的终端在于构建多主体参与的生态协同治理格局,目前数字政府建设在我国稳步推进,然而就数字经济实现绿色发展的标准而言,现行制度框架与治理模式尚未完全跟上。

第一,碳核算标准体系不够完善。各产业核算途径差异显著,现阶段我国碳核算体系主要针对发电、水泥等高能耗行业,而数字经济重点产业尚未形成核算制度规范。因标准体系存在漏洞,新兴领域碳排数据无法有效比较,难以实现高效管控^[20]。近90%的企业碳排放核算未超出其运营边界,未统计供应链上下游的关联性碳排放,产生全流程计量盲区,难以达成碳足迹的全面核查。生态环境部公开数据显示,截至2024年底,全国碳市场现已覆盖发电领域2000余个重

点排放主体,然而非电行业覆盖步伐相对缓慢,标准制度体系尚需查漏补缺。

第二,环境监管数据的治理结构存在缺陷。我国在环保数据整合方面尚存在部门分割的短板,机构间数据互通存在协调障碍。各地行政实践中部门协同普遍存在梯度性差异,阻碍了政策的高效落地实施,尽管各区域积极推进碳普惠等公众参与机制的实施,但效果欠佳。

第三,治理能力与数字发展需求存在落差。在数据统筹范畴,我国在立法层面已推出《数据安全法》《个人信息保护法》等法规,然而在实施层面尚存在部分不足。部分区域政务数据公开尚未达到规范要求,依法披露数据的工作不到位,对政策落地和治理改进形成阻碍,特别是乡村地区,智能治理基础设施薄弱,需财政持续输血。

四、数字驱动城市低碳转型的实践路径

基于前面分析的问题和挑战,需要从制度设计、标准建设、技术创新和治理升级四个方面入手,系统性地构建数字经济推动城市绿色发展的实践路径。结合我国当前发展实际,这些路径既要解决现实问题,又要顺应未来发展趋势。

(一)技术赋能路径:构建低碳转型的数字化基础设施

数字技术的全面应用是实现低碳转型的关键。有效解决传统生产体系的刚性特征与低碳转型灵活需求之间的矛盾,构建一个三层技术支撑体系至关重要。

一是感知层:全面数字化改造。感知层借助智能检测模块及联网技术实现,对生产设备及各环节实施整体监测,设备能即时采集工作机器的能耗数值、排放数据及运行状态,并利用网络传输通道把数据统一上传至中心数据库。需由政府牵头制定智能传感器与物联网技术的统一标准及相关政策,指导企业采购兼具环保合规与能源效率的技术产品。兑现补贴及税收优惠政策,降低企业实施智能改造的经济门槛,调动企业实施数字化变革的内生动力,全面加强物联网底层网络的铺设强度,强化5G等现代通信技术的实施,推动企业实现数据无缝传输与集约管理。

二是平台层:升级协同管理系统。在平台层,数字技术的应用主要体现在搭建协同管理系统,推动多部门、多环节之间的信息共享与协作。政府应积极开发整合式政务服务平台,融合政策精准推送、审批事项办理、实施过程监管等模块,尽可能地缩短企业业务处理周期,增强政务处理效率,与此同时,应实施多源数据整合共享方案,实现环保、工信、税务及金融相关系统的信息互通。建立“转型成效评估”评价制度,按阶段发布政策推进效果评估报告,健全政策实施中的动态跟踪及改进机制,实现政策预期目标。

三是应用层:突破关键技术瓶颈。应用层聚焦低碳转型中的核心技术,如智能电网的优化算法、工业过程的数字孪生仿真技术、碳排放的实时计量等。国家已将相关技术列入“十四五”科技创新重点专项,加大资金投入和政策支持,应明确边缘智能能效优化、数字孪生碳管理等重点攻关方向,推动数字技术、绿色技术改造提升传统产业,加快数字化绿色化协同转型发展。建立“揭榜挂帅”机制,实施研发费用加计扣除等税收激励,激发企业创新活力。同时,推动低碳算力基础设施建设,实现可再生能源与数据中心深度融合,优化数据中心能源系统,提升能源利用效率,降低碳足迹。

(二)产业协同路径:重塑绿色低碳的产业生态

在低碳转型的过程中,产业转型的最大挑战在于如何打破传统的产业链结构,实现从“点”到“线”再到“面”的整体转型。要解决这一问题,必须依托数字化手段,通过全产业链协同优化,推动产业集群的绿色低碳转型。

一是“点”层次:企业级数字化转型。企业级数字化转型是推动产业绿色转型的核心。在这一层级,通过建设能源管理中心、引入智能化生产设备、实施精细化能效监控与碳排放管理,企业可以在生产过程中实现能源的最优利用和碳排放的最小化。通过设计递进式补贴标准,使小微企业获得相对更高的财政支持力度,从而有效缓解其转型过程中的资金瓶颈。在金融支持层面,可探索开发“碳效信贷”等创新产品,将企业节能减排成效转化为可量化的信贷额度,丰富企业融资渠道。同时,建立政府主导的“绿色技术改造风险分担机制”,通过财政资金承担部分保险费用,降低企业技术创新风险,增强其转型动力。

二是“线”层次:产业链协同减排。产业链的协同是推动绿色转型的关键。上游原材料生产企业、中游的加工制造企业和下游的销售与物流环节,必须协同作战,共同推动绿色转型。应充分发挥龙头企业的示范带动作用,推行“链主企业+供应商”联合改造模式,形成产业链协同发展格局。鼓励龙头企业根据行业发展水平和自身实际建立产品碳足迹管理制度,带动上下游企业加强碳管理,推动供应链整体绿色转型。此外,实施“数字领导力”培训计划,将数字化转型成效纳入企业负责人考核体系,推动管理层树立数字思维,引领企业转型。

三是“面”层次:产业集群全面升级。区域性低碳目标的达成需依托产业集群的整体转型升级。基于行业范围工业互联网平台,可以促进集群企业间绿色技术的互通与合作,调整生产布局结构,加强绿色产业集群综合实力。同时,依托集群内部清洁能源的有效整合,发展微电网等低碳能源基建,减少集群综合碳排放水平,实现集群发展的绿色低碳化。需从政府层面出台匹配的政策工具,支持低碳企业形成伙伴关系,发放环境友好贷款并配套绿色转型补贴,进一步健全绿色供应链管理平台,为企业搭建技术及数据支持体系,实现产业链全域绿色升级。

(三)治理创新路径:推进多元共治的低碳治理模式

低碳治理需消除条块分割的传统管理弊端,采用体系化治理。实现低碳发展需超越企业层面的努力,需整合政府、市场及社会多方资源,采用多层级治理体系的建设路径,形成多元主体共治的格局。系统治理的核心是通过数字化平台实现各方数据的共享与实时监控,推动政府、企业和公众之间的深度合作。

第一,推进政府治理数字化转型。实现多维度环境监测架构,借助动态数据整合及智能挖掘,增强监督环节的精准把控与响应时效;建立政策效应仿真模型,对环保政策引发的经济生态双重响应进行仿真,优化政策搭配组合,优化公共数据整合共享机制,推进环境监测及能耗数据等关键数据的共享共用。实施数据信托制度探索,采用智能合约技术维护共享数据的安全,实现数据资源优化分配。

第二,优化多元共治的社会参与生态。实施居民碳行为核算制度,把绿色实践折算为数字收益,推动公众践行绿色发展理念。搭建公众数字参与平台,实现碳数据图形化展示及参与式治理,在促进智能社会高质量发展的进程中,同步实现数字化与绿色化的协同发展。

第三,完善市场机制与碳交易。碳交易市场的建设是推动低碳转型的重要工具。通过建立全流程数字化碳交易系统,实施基于人工智能的配额分配和风险预警,促进碳排放市场化管理,降低减排成本,提高减排效果。聚焦碳排放重点行业,加快急需标准的制定速度,及时修订现有标准。建立“基础标准+行业细则+区域指南”三级标准架构,提升标准体系的全面性和适应性。强化供应链碳排放披露要求,确保产品从原材料加工、运输、生产到出厂销售等全生命周期过程产生的碳排放数据的完整性和透明性。开发产品“碳护照”系统,集成全生命周期碳足迹数据,实现产品碳管理的可追溯。

(四)实施保障路径:完善绿色转型支撑体系

为了确保低碳转型的顺利推进,政府应制定统一的技术标准和碳数据采集规范,确保各环节的协调与执行。同时,通过推动数字技术的安全保障、培养数绿融合复合型人才以及提高碳数据的监测精度,为低碳转型提供强有力的支撑。

第一,推动数字技术的安全保障。随着数字技术的广泛应用,碳数据的安全性和隐私性至关重要。必须采用“区块链+隐私计算”等技术保障碳数据的透明性、不可篡改性和安全性。此外,建立完善的数据共享机制与权限管理体系,确保跨部门、跨企业的数据交流和合作不会导致数据泄露或滥用。

第二,培养数绿融合复合型人才。针对当前数字经济人才缺口较大的现状,在高校设立交叉学科专业,融合人工智能、环境科学、能源工程等学科,培养具备跨领域能力的专业人才。实施工业技能提升计划,培养大批智能制造工程师,为产业数字化转型提供人才支撑。各地应加大相关人才培养力度,通过校企合作、产教融合等方式提升人才培养质量。

第三,提高数据质量及监测水平。实施物联网碳监测传感设备的普及安装,增强数据采集的实时性,实现碳排放数据的高精度采集与实时更新;构建“团体-行业-国家”三位一体的标准发展体系,形成标准应用监测与定期修订体系,为不同规模机构建立统一的标准实施框架;打造专业第三方评估实体,加强碳排放监测数据审核,提升数据公信力。

参考文献

- [1] 李琦,刘力钢,邵剑兵.数字化转型、供应链集成与企业绩效:企业家精神的调节效应[J]. 经济管理,2021(10):5-23.
- [2] 万晓榆,罗焱卿.数字经济发展水平测度及其对全要素生产率的影响效应[J]. 改革,2022(1):101-118.
- [3] 陈雨露.数字经济与实体经济融合发展的理论探索[J]. 经济研究,2023(9):22-30.
- [4] 郭丰,杨上广,任毅.数字经济、绿色技术创新与碳排放:来自中国城市层面的经验证据[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版),2022(3):45-60.
- [5] 曹薇,赵伟,司玉静.数字经济对低碳发展的影响效应研究:基于绿色技术创新的调节效应与门槛效应分析[J]. 软科学,2023(9):47-54.
- [6] 张传兵,居来提·色依提.数字经济、碳排放强度与绿色经济转型[J]. 统计与决策,2023(10):90-94.
- [7] 王芳,董战峰.数字经济对我国碳排放的影响:基于省级面板数据的实证检验[J]. 改革,2023(3):76-90.
- [8] 吕德胜,王珏,唐青青.数字经济实现了绿色创新“增量提质”吗:基于异质环境关注视角[J]. 山西财经大学学报,2023(5):55-68.
- [9] 张梦,黄颖利.低碳城市和创新型城市双试点效果评估:基于绿色经济转型视角[J]. 中国环境管理,2024(1):73-81.
- [10] 肖春梅,高伟.智慧城市与海绵城市双试点政策的碳减排效应研究[J]. 海南金融,2024(7):19-32.
- [11] 孟望生,李丁.创新型城市 and 低碳城市双试点的绿色发展效应研究[J]. 城市问题,2023(11):55-65.
- [12] 徐维祥,周建平,刘程军.数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J]. 地理研究,2022(1):111-129.
- [13] 渠慎宁,史丹,杨丹辉.中国数字经济碳排放:总量测算与趋势展望[J]. 中国人口·资源与环境,2022(9):11-21.
- [14] 王硕,王海荣.双碳目标背景下中国数字经济健康发展的策略研究[J]. 当代经济管理,2022(8):11-16.
- [15] 冯子洋,宋冬林,谢文帅.数字经济助力实现“双碳”目标:基本途径、内在机理与行动策略[J]. 北京师范大学学报(社会科学版),2023(1):52-61.
- [16] 胡政卫.数字乡村建设对农民收入不平等的影响:来自淘宝村的经验证据[J]. 宜宾学院学报,2025(2):23-31.

- [17] 李晓菲,庄诗滢.数字化转型对绿色经济发展的影响与作用路径[J].资源与产业,2025(1):35-49.
- [18] 朱晖,王世杰.双碳背景下碳标签制度运行的困境与应对[J].浙江工业大学学报(社会科学版),2024(4):424-432.
- [19] 万姿显,张思.企业数字化转型的前因及结果:基于元分析的研究[J].科学学与科学技术管理,2025(3):22-40.
- [20] 葛立宇,莫龙炯,黄念兵.数字经济发展、产业结构升级与城市碳排放[J].现代财经(天津财经大学学报),2022(10):20-37.

Three-Stage Mechanism and Pathway Optimization of Urban Low-Carbon Transformation

ZHANG Zhenyu

(Institute of Jiangsu Coastal Development, Yancheng, Jiangsu, 224002, China)

Abstract: Under the guidance of the “dual carbon” goals, it is of great significance to explore the internal mechanism and practical pathway of urban low-carbon transformation driven by digital economy. Based on the systematic analysis framework of “technology-institution-society”, the researcher constructed a three stage progressive theoretical mechanism of “technological support-industrial optimization-ecological synergy”, and systematically analyzed the predicaments faced in the transformation, by adopting the methods of policy analysis and case study. The research findings reveal that the digital economy drives urban low-carbon transformation through pathways such as technological innovation facilitating energy reduction and efficiency enhancement; industrial restructuring ensuring resource allocation optimization; and digital governance promoting synergy. However, it also faces many barriers, including lower benefit and bigger cost for enterprise transformation, industrial data silos and insufficient technological support, and lack of official carbon accounting standards, and insufficient governance coordination. In order to address these problems, four pathways are proposed: technological empowerment, industrial collaboration, governance innovation, and implementation guarantee, so as to build a digital infrastructure for low-carbon transformation. We should endeavor to reshape the green and low-carbon industrial ecosystem, establish a diversified and collaborative low-carbon governance system; and improve the support system for green transformation.

Key words: digital economy; urban low-carbon transformation; three stage collaborative mechanism; regional heterogeneity; institutional innovation; digital governance; carbon footprint management

〔责任编辑:陈济平〕