

数字化绿色化协同转型发展的内在机理、 实践探索与路径选择

罗重谱

(重庆社会科学院重庆数字经济研究中心 重庆 400020)

〔摘要〕在全球正经历数字产业革命和绿色低碳转型两大变革的时代背景下,我国将数字中国建设与“双碳”战略作为高质量发展的核心支柱。数字化绿色化协同转型发展已上升至国家战略高度。数字化绿色化协同转型发展以大数据、人工智能、物联网、云计算、区块链等数字技术为驱动,以可持续发展理念为引领,通过数字技术与绿色低碳转型的深度协同和相互赋能,实现生产要素数字化重构、能源资源高效化利用、产业发展智能化绿色化升级。数字化通过技术赋能、效能提升、结构优化三条路径支撑绿色转型,绿色化则通过需求牵引、价值引领、制度规范引导数字技术向可持续方向演进。现阶段,我国已构建起国家—地方—行业三级数字化绿色化协同转型发展政策体系,并在工业、能源、交通等领域形成典型示范。然而,我国数字化绿色化协同转型发展仍面临技术、政策、市场、主体、人才五方面的困境,因而应从技术创新、政策优化、市场培育、主体赋能、人才建设等方面着力,构建系统化、可操作、多主体联动的转型路径体系,推动数字化绿色化协同转型从理念共识走向广泛实践。

〔关键词〕数字化;绿色化;双化协同;高质量发展

〔中图分类号〕F49

〔文献标识码〕A

〔文章编号〕1002-3909(2026)03-0086-11

DOI:10.14110/j.cnki.cn-37-1059/d.2026.03.010

当前,全球正经历以数字技术为核心驱动力的产业革命和以碳中和为目标导向的绿色低碳转型。以人工智能、大数据、物联网为代表的新一代信息技术迭代速度持续加快,应用场景不断拓展。这些技术不仅改变了传统生产要素的配置方式,而且为破解全球可持续发展面临的资源约束、环境压力等难题注入新动能。与此同时,自《巴黎协定》签署以来,全球绿色转型进程加快,截至2025年9月,已有165个国家提出碳中和目标^①。不仅如此,国际社会对数字化绿色化协同转型发展的认知日益深化:欧盟将2025年定为“绿色转型关键年”,设立7500亿欧元复苏基金,重点支持绿色经济与数字化转型^②;联合国推出“数字合作路线图”^③,强调数字技术对实现可持续发展目标的杠杆作用,呼吁构建系统性、全球化的数字赋能绿色发展机制。数字化绿色化协同转型发展已超越单纯的技术和产业融合范畴,成为各国打造核心竞争力的战略支点,更是各国在全球范围内抢占未来发展制高点的关键博弈领域,其发展态势将影响未来全球发展格局。

〔基金项目〕本文系重庆市社科规划重点项目“数字经济赋能成渝地区绿色新质生产力的实践困境与突破路径研究”(项目编号:2025WT23)的阶段性成果。

〔作者简介〕罗重谱,男,重庆社会科学院重庆数字经济研究中心特约研究员,研究方向为区域经济。

① 清华大学碳中和研究院、清华大学环境学院《2025全球碳中和年度进展报告》,https://baijiahao.baidu.com/s?id=1844921783358144186&wfr=spider&for=pc。

② 徐蔚冰《欧盟经济复苏曙光初现 中欧合作共拓新局》,《中国经济时报》2025年12月10日。

③ 联合国数字和新兴技术办公室《数字合作路线图》,https://www.un.org/digital-emerging-technologies/zh/content/roadmap-digital-cooperation。

立足新发展阶段,推动数字化绿色化协同转型发展,对于我国培育新质生产力、建设现代化产业体系、推进经济社会高质量发展具有重要现实价值。近年来,我国关于推动数字化绿色化协同转型发展的政策体系不断健全,数字化绿色化协同转型发展的基础设施更加坚实、科技创新效能不断提升,相关国际交流合作持续深化拓展。随着数字化绿色化协同转型发展实践探索的深入,学术研究亦持续升温,主要围绕数字化绿色化协同的需求创造效应、稳就业效应以及对促进共同富裕、发展新质生产力、增强供应链韧性、提升全要素生产率、改善企业 ESG 表现、推动制造业企业高质量发展、驱动出口企业绿色低碳转型等的影响而展开,也有少数学者对长三角城市群、长江中游地区的数字化绿色化协同转型发展水平进行了测度。这些学术成果深化了关于数字化绿色化协同转型发展的研究,在一定程度上填补了研究空白,但主要是定量研究。目前,关于数字化绿色化协同转型发展的理论阐释还不充分,不利于指导我国数字化绿色化协同转型发展实践。基于此,本文拟重点阐释数字化绿色化协同转型发展的内涵,揭示其内在机理,对我国相关政策和实践探索进行系统分析,从技术、政策、市场、主体、人才五个维度剖析现实困境,并提出针对性完善建议。

一、数字化绿色化协同转型发展的内涵阐释与内在机理

(一) 数字化绿色化协同转型发展的内涵阐释

数字化绿色化协同转型发展不是数字化和绿色化的简单相加,而是数字化和绿色化的互融互促。厘清数字化绿色化协同转型发展的内涵,首先要明晰数字化、绿色化的各自内涵。

数字化是指以大数据、人工智能、物联网、云计算、区块链等数字技术为核心驱动力,通过数字技术在经济社会各领域的深度渗透和协同应用,实现生产要素数字化重构、流程智能化优化、效率全方位提升的过程。数字化的本质是借助数字赋能打破信息壁垒,推动资源配置方式的革新。从实践维度看,数字化主要涵盖两大方向:一是数字产业化,即聚焦数字技术本身的研发、转化与产业化发展,构建涵盖基础技术、产品服务、产业链条的独立数字经济业态^①;二是产业数字化,即借助数字技术对传统产业的生产、运营、管理等环节进行改造,推动传统产业向网络化、智能化方向转型,催生新的商业模式和增长动能^②。

绿色化是以可持续发展理念为核心遵循,紧扣全球气候治理趋势与我国“双碳”战略目标要求,构建低能耗、低排放、低污染且高资源利用效率发展模式的实践过程。绿色化的核心要义在于将生态环境保护要求全面融入经济社会发展各层面、全过程,通过推动能源结构向清洁低碳转型、产业体系向绿色环保升级、消费模式向简约适度转变,实现经济发展与生态保护的协同共进^③。绿色化的最终目标是破解经济增长与环境约束的矛盾,筑牢生态安全屏障,促进形成人与自然和谐共生的可持续发展格局。

数字化绿色化协同转型发展则是指以大数据、人工智能、物联网、云计算、区块链等数字技术为驱动,以可持续发展理念为引领,通过数字技术与绿色低碳转型的深度协同和相互赋能,实现生产要素数字化重构、能源资源高效化利用、产业发展智能化绿色化升级的过程。这一概念的核心在于“双向协同”:一方面,借助数字技术的感知、分析、优化能力,推动能源结构转型、产业节能减排、生态环境精准治理、生活方式绿色变革,为绿色发展注入智能化新动能,催生新的商业模式和增长动能^④;另一方面,以“双碳”目标为导向,倒逼数字基础设施绿色升级(如绿色数据中心、绿色基站)、数字产业低碳发展以

① 叶阳平、马文聪、吴小节、赵洁《人工智能与产业技术融合对制造业企业产品创新绩效的影响研究》,《中国工业经济》2025年第11期。

② 邓明亮、吴传清《工业数字化转型的概念内涵、实践历程和推进路径》,《国土资源科技管理》2025年第4期。

③ 王红帅、董战峰《生态环境治理体系和治理能力现代化:内涵特征、推进思路 and 关键任务》,《改革》2023年第12期。

④ 苑泽明、黄灿、谢枚玲《数据资产何以助力企业“革绿出新”》,《广东财经大学学报》2025年第6期。

及数字技术在环保场景中的创新应用,形成以绿色需求驱动数字技术迭代的良性循环,进而实现经济发展与生态保护的协同共进^①。数字化绿色化协同转型发展的最终目标是通过“数绿协同”打破传统增长模式与环境约束的矛盾,构建覆盖生产、生活、治理全领域的智慧低碳运行体系,实现经济效益、社会效益和生态效益相统一。

(二) 数字化绿色化协同转型发展的内在机理

1. 数字化赋能绿色化

数字化以技术创新为核心驱动力,通过数字技术赋能、数字效能提升、数字结构优化三条核心路径,为绿色化转型提供系统性支撑,破解传统绿色发展中的技术瓶颈、效率短板、结构失衡等关键问题,推动绿色化转型向精准化、高效化、深度化演进。

一是数字技术赋能路径。数字化技术通过多维度创新应用为绿色化转型提供精准化、全覆盖的技术解决方案。大数据技术凭借多源数据整合和分析能力,构建生态环境综合监测大数据平台,实现对空气质量、水资源禀赋、碳排放强度等关键生态指标的实时动态监测,为环境治理决策提供数据支撑。人工智能技术通过算法优化和模拟仿真,深度挖掘生产系统和能源消耗中的节能潜力,构建个性化的节能优化模型。例如,在工业生产场景中,基于人工智能的智能生产调度系统可实时优化生产参数,降低单位产品能耗和污染物排放。物联网技术通过设备互联和全流程感知,实现绿色转型全环节的智能化监管,如农业领域的物联网传感网络可精准监测土壤墒情、光照强度等环境因子,进而优化生产流程,遏制农业面源污染^②。区块链技术依托去中心化、不可篡改的技术特性,构建碳排放数据可信存证与交易溯源体系,为碳市场规范化运行、碳配额精准管理提供技术保障,助力碳减排目标实现。

二是数字效能提升路径。数字化通过打破信息壁垒、重构管理流程全面提升绿色化转型的整体效能。数字技术驱动的资源配置平台能够有效破解绿色技术、绿色产品、低碳服务等优质资源的供需错配问题。例如,绿色技术数字交易平台可促进节能低碳技术在跨区域、跨行业企业间高效流转和深度应用,大幅提升技术转化效率;数字化流程再造可简化绿色管理的复杂流程,企业则通过数字化管理系统实现能源消耗和碳排放数据的自动化采集、分析、上报,能够减少人工干预带来的误差和成本,显著提升绿色管理的精准度和效率^③。此外,数字化推动生产方式向智能化转型,如智能制造中的数字孪生技术可实现生产过程的虚拟仿真和优化迭代,降低绿色技术应用的试错成本,在提升绿色制造效率的同时提升企业绿色转型的经济效益,进而激发绿色化转型的内生动力^④。

三是数字结构优化路径。数字化从产业结构和能源结构双重维度推动绿色化转型向深层次发展。在产业结构优化方面,数字化技术能够加速高耗能、高排放传统产业的转型升级,通过淘汰落后产能和改造传统生产工艺等方式推动产业向绿色化和智能化转型;同时,数字化催生绿色数字产业新模式,如绿色大数据服务、低碳人工智能解决方案、数字环保咨询等,拓展绿色产业发展边界,推动产业结构向低碳化和服务化重构。在能源结构优化方面,数字化技术能够为可再生能源的高效开发和利用提供支撑,通过大数据技术精准预测风能等可再生能源的发电潜力、通过人工智能技术优化可再生能源调度策略、通过物联网技术实现分布式能源系统的智能化管控,提升可再生能源在能源消费结构中的占比,推动能

① 孙博文、杨霄斐、苏鑫《国家级大数据综合试验区促进数字化绿色化协同发展研究》,《重庆大学学报(社会科学版)》2025年第1期。

② 杜华《智能化进阶:数字经济驱动农业发展的技术改造进路》,《河南师范大学学报(哲学社会科学版)》2024年第4期。

③ 李亨、张建《数字化绿色化协同对产业链韧性的影响机制研究》,《江西财经大学学报》2025年第5期。

④ 郑丽、秦丽斐《企业绩优能实现绿色创新“增量提质”吗》,《珞珈管理评论》2025年第4期。

源体系从化石能源主导向清洁低碳能源主导转型^①。

2. 绿色化牵引数字化

绿色化以可持续发展理念为核心导向,通过绿色需求牵引、绿色价值引领、绿色制度规范三条路径,为数字化转型明确发展底线和约束边界,推动数字化从单纯技术驱动转向绿色价值赋能,实现数字发展与生态保护协同增效。

一是绿色需求牵引路径。在“双碳”目标下,政府、企业、公众等多元主体的绿色需求持续升级,为数字技术创新和应用提供广阔市场空间。在政府层面,环境监管数字化、碳减排精准化等需求推动数字化监管技术的研发和应用,如智慧环保监测系统、碳排放在线监测平台等;在企业层面,节能降耗、低碳生产的现实需求倒逼数字化节能技术、绿色生产管理系统的创新,如工业企业的数字化能源管理平台、低碳生产调度系统等^②;在公众层面,绿色出行、低碳消费等生活需求催生数字化绿色服务,如绿色出行导航 App、低碳消费溯源平台等。多元绿色需求的集聚,引导数字技术研发资源向绿色低碳领域倾斜,推动数字技术和绿色需求深度协同,催生绿色数字技术和产品,拓展数字化产业的绿色发展空间。

二是绿色价值引领路径。绿色化发展理念为数字化转型提供明确的价值引领,破解传统数字化发展中重技术创新、轻生态影响的误区。在传统数字化发展过程中,数据中心高耗能、电子废弃物污染等问题凸显了数字化发展的生态短板,而绿色化发展理念引导数字化转型聚焦绿色方向,推动数字技术本身的节能降耗创新,如低功耗芯片研发、数据中心绿色冷却技术优化、绿色云计算模式推广等,增强数字产业的生态友好性;同时,绿色化将生态效益纳入数字化技术评价体系,引导数字化技术创新围绕绿色低碳目标展开,推动数字技术在环境治理、节能降耗、碳减排等领域的深度应用,实现数字化技术创新与生态保护的价值统一^③。

三是绿色制度规范路径。绿色化相关政策和标准为数字化发展设定刚性生态约束,倒逼企业数字化发展向数字化绿色化协同转型。为实现“双碳”目标,我国逐步建立起能源消耗总量与强度双控制度、碳排放权交易制度、绿色产品标准体系等一系列规范制度体系,对数字产业的能耗强度、污染物排放等提出明确要求,推动数字企业加大绿色技术研发投入,优化生产流程,降低环境负面影响;同时,绿色标准体系的完善推动数字产品和服务的绿色认证,引导市场资源向绿色数字产品倾斜,形成政策约束和市场引导并行的驱动机制,推动数字产业从规模扩张向绿色高质量发展转型。

二、数字化绿色化协同转型发展的政策演进与实践探索

在新一轮科技革命和产业变革加速突破的时代背景下,数字化绿色化协同转型发展是破解资源和环境约束的关键。数字化与绿色化并非两条完全独立的发展路径,而是可以实现协同转型,共同推动经济高质量发展。系统梳理数字化绿色化协同转型发展的相关政策和实践成果,有助于总结协同发展经验,更好推动全国范围内的协同转型。

(一) 数字化绿色化协同转型发展的相关政策演进

现阶段,我国已逐步形成国家顶层设计引领、地方政策配套细化、行业标准规范支撑的三级数字化绿色化协同转型发展政策体系。

^① 刘美玉、段红莉、黄速建《双化协同对企业高质量发展的影响》,《经济与管理研究》2025年第12期。

^② 李慧云、刘倩颖、罗峥汉、郑鸿锐《企业数字化绿色化协同转型发展水平测度与时空演进》,《统计与信息论坛》2025年第10期。

^③ 王军、胡文杰、王丽君《“因数而智”:数据要素市场化配置赋能企业实质性绿色创新》,《北京工商大学学报(社会科学版)》2025年第4期。

在国家层面,我国在“十四五”时期就强调数字化绿色化协同转型发展的顶层设计,战略布局日趋完善,重点领域实施路径逐渐清晰。从战略布局来看,2021年9月,中共中央、国务院出台《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》,提出要“加快推进工业领域低碳工艺革新和数字化转型”,“推动互联网、大数据、人工智能、第五代移动通信(5G)等新兴技术与绿色低碳产业深度融合”^①;2021年12月,国务院印发《“十四五”数字经济发展规划》,提出要“按照绿色、低碳、集约、高效的原则,持续推进绿色数字中心建设,加快推进数据中心节能改造,持续提升数据中心可再生能源利用水平”,强调要“在数字化转型过程中推进绿色发展”^②;2023年2月,中共中央、国务院印发《数字中国建设整体布局规划》,提出要“建设绿色智慧的数字生态文明”,将“加快数字化绿色化协同转型”^③作为数字中国建设的重要内容;2024年7月,中共中央、国务院印发《关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》,明确提出要“加快数字化绿色化协同转型发展”^④,推进产业数字化智能化同绿色化的深度协同,实现数字技术赋能绿色转型。从重点领域实施路径来看,2024年8月,中央网信办等十部门秘书局(办公厅、综合司)联合印发《数字化绿色化协同转型发展实施指南》,提出了“323”的总体框架,即三类实施主体、两大发力方向、三方面布局,明晰了数字化绿色化协同转型发展的路径,为各地推进协同转型提供了详细的操作指引。除此之外,国家相关部门还出台了行业性的数字化绿色化协同转型发展相关政策文件,为推动具体行业的协同转型提供政策指引,如2023年3月国家能源局印发《关于加快推进能源数字化智能化发展的若干意见》,2024年2月工业和信息化部等七部门印发《关于加快推动制造业绿色化发展的指导意见》,2024年2月住房和城乡建设部印发《“数字住建”建设整体布局规划》,2024年7月国家发展和改革委员会等四部门联合印发《数据中心绿色低碳发展专项行动计划》。

在地方层面,各地立足区域发展实际、产业结构特征和资源禀赋条件,将国家层面的战略部署转化为针对性强、可操作的配套政策,形成富有地方特色的数字化绿色化协同转型发展政策体系。各地相关政策文件涉及数字化绿色化协同转型发展的内容可归纳为三大方面:推动数字产业的绿色低碳发展、加快数字技术赋能传统行业绿色化转型、发挥行业绿色化转型对数字产业的带动作用。部分省份在政策文件中明确提出加快数字化绿色化协同转型发展或促进数字化和绿色化协同发展的总体要求。例如,2023年12月,中共山东省委、山东省人民政府印发《关于加快数字经济高质量发展的意见》,深入开展能源数字化绿色转型行动,实施“双碳”数字化驱动工程,建设智慧能源数据中心,加快推动工业园区数字化绿色化协同转型;2024年2月,上海市经济和信息化委员会、上海市发展和改革委员会联合印发《上海市推动制造业数字化和绿色化协同转型发展行动方案(2024—2027年)》,坚持以数字化赋能绿色化、以绿色化带动数字化,加快推动“工业互联网+绿色制造”,实现制造业数字化赋能增效、绿色化节能降碳;2024年10月,四川省人民政府办公厅印发《四川省加快制造业智能化改造数字化转型行动计划(2024—2027年)》,通过开展省级数字化绿色化协同转型发展综合试点,促进数字化和绿色化深度协同;2025年2月,江苏省人民政府印发《江苏省加快经济社会发展全面绿色转型若干政策举措》,部署从引导数字科技企业绿色发展,推动算力中心、数据中心、基站绿色化建设运行,加快数字技术赋能电力、工业、交通、建筑等领域绿色化转型等方面,打造数字化绿色化协同发展优势;2025年2月,福建省人民政府印发《福建省加快推进数字化全面赋能经济社会高质量发展总体方案》,部署深入实施数字化绿色化协同转型发展行动。其他省份出台的数字经济促进条例、发展规划、行动计划、行动方案以及制造业

① 《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》,《人民日报》2021年10月25日。

② 《“十四五”数字经济发展规划》,《人民日报》2022年1月13日。

③ 《中共中央国务院印发〈数字中国建设整体布局规划〉》,《人民日报》2023年2月28日。

④ 《中共中央国务院关于加快经济社会发展全面绿色转型的意见》,《人民日报》2024年8月12日。

高质量发展规划中也有关于建设工业互联网平台、绿色数据中心、数字化能碳管理中心,发展绿色算力,以及数字技术赋能绿色制造、生态环保、绿色能源等方面的内容。

在行业标准层面,我国已建立多层次、多维度的数字化绿色化协同转型发展标准体系,为绿色数据中心、绿色制造、智能网联汽车、智慧能源管控提供了标准规范保障。截至2024年,我国已发布和制定中的有关数字化绿色化协同转型发展的国家标准达170余项。其中,数字产业绿色低碳发展类、数字赋能传统行业转型升级类、生态环境数字化治理类、绿色智慧城市建设类分别占比32%、37%、16%、15%^①。

总体而言,我国数字化绿色化协同转型发展政策正由重点领域向全领域拓展、由特定产业向全行业覆盖,实施路径从分散推进转向统筹协同,政策工具从单一行政调控向财政补贴、税收优惠、金融支持、试点示范等多元组合方式升级。这些变化既顺应了全球数字化绿色化协同发展的大趋势,又契合了我国经济社会转型发展的内在需求,为各类市场主体参与协同转型提供了清晰的方向指引,有效激发了社会组织和公众的深度参与,逐步形成上下游联动、多方协同的良好发展格局。

(二) 数字化绿色化协同转型发展的实践探索

2022年,中央网信办等五部门联合印发通知,确定在河北省张家口市、辽宁省大连市、黑龙江省齐齐哈尔市、江苏省盐城市、浙江省湖州市、山东省济南市、广东省深圳市、重庆高新区、四川省成都市、西藏自治区拉萨市等10个地区首批开展数字化绿色化协同转型发展综合试点。10个试点地区充分结合自身资源禀赋、产业基础、发展潜力,聚焦重点领域、优先方向和瓶颈问题,积极探索可复制可推广的路径模式,不断提升数字化绿色化协同能力和水平,取得显著成效^②。除试点地区外,其他地方也围绕工业、能源、交通等重点领域形成丰富的实践成果。这些实践成果不仅验证了数字化绿色化协同转型发展的可行性和有效性,还为全面推进协同转型发展提供了宝贵的经验借鉴。从实践主体看,既有华为、比亚迪等民营企业的技术创新引领,又有宝武钢铁、国家电网等国有龙头企业的全产业链转型示范;从实践范围看,涵盖了重点行业、标杆企业、区域试点等多个层面,形成企业主导、行业联动、区域协同的实践格局;从实践成效看,实现了经济效益、环境效益和社会效益的有机统一,推动了经济发展方式的绿色转型。具体来看,我国数字化绿色化协同转型发展的实践探索主要集中在三个领域。

一是工业领域。工业领域是节能降碳的重点领域,能源消费约占全社会能源消费的65%^③。加快推进工业领域的数字化绿色化协同转型,不仅有利于提升能源资源利用效率,降低能源成本,还能推动工业领域工艺流程、生产设备更新换代,推动我国绿色低碳发展水平实现跃升。钢铁是工业的“基础粮食”,是工业能耗和碳排放的“第一大户”。钢铁行业的数字化绿色化协同转型进度,直接关系到工业领域的数字化绿色化协同转型进展。宝武钢铁集团作为全球钢铁行业的龙头企业,率先开展数字孪生工厂建设,成为工业领域协同转型的典范。宝武钢铁依托工业互联网平台,整合钢铁生产全流程的设备数据、能耗数据、质量数据、环保数据等,构建了全工序的数字孪生系统^④,通过实时采集各工序的能源消耗数据,结合AI算法构建能源调度优化模型,实现能源高效配置;同时,系统构建全流程环保检测体系,进一步强化绿色生产成效,并借助数字孪生仿真模拟功能,提前检验生产工艺方案,提升了生产效率。

二是能源领域。能源是国民经济的基础产业,能源领域的数字化绿色化协同转型是实现“双碳”目标的关键。近年来,能源领域的协同转型主要围绕数字电网建设、可再生能源项目数字化运维、储能系

① 《数字化绿色化协同转型发展报告(2025)》, https://www.cac.gov.cn/2025-12/19/c_1767699603173239.htm。

② 《数字化绿色化协同转型发展报告(2024)》, https://www.cac.gov.cn/2024-11/30/c_1734685875638875.htm。

③ 《六部门发布〈工业能效提升行动计划〉——推进重点行业绿色低碳发展》,《经济日报》2022年7月4日。

④ 《如何推动传统产业智能化转型升级?宝武这么干!》, https://www.toutiao.com/article/7531951822114751012/?upstream_biz=doubao&source=m_redirect。

统智能化升级等方面展开,主要通过数字技术提升能源生产、输送、消费各环节的效率,推动可再生能源的大规模开发,构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。国家电网作为我国能源领域的龙头企业,大力推进数字电网建设,实现了跨区域能源优化配置和可再生能源的高效消纳。国家电网构建了覆盖全国的能源大数据中心,整合电网运行数据、可再生能源发电数据、用户用电数据等,运用大数据、人工智能、区块链等技术实现电网的智能调度、精准预测和高效运行^①。数字电网调度系统可实时掌握全国电网的运行动态,对风电、光伏等可再生能源的发电功率进行精准预判,合理调整跨区域能源输送方案,让可再生能源的消纳效率得到有效提升。在输电线路运维方面,国家电网引入无人机巡检、智能传感器等数字化手段,实时掌握线路运行状况,提前预警潜在故障,既提高了电网运维的工作效率,又进一步增强了电网运行的安全性和可靠性。

三是交通领域。交通领域是能源消耗和碳排放的重要来源,交通领域数字化绿色化协同转型对于推动绿色发展、改善空气质量具有重要意义。近年来,交通领域的协同转型主要围绕智慧交通系统建设、新能源汽车推广应用、智能网联技术研发等方面展开,通过数字技术有效提升交通运行效率,推动交通能源结构优化。杭州“城市大脑”绿色出行模块的建设和应用成为我国智慧交通与新能源汽车协同发展的典范。杭州市依托数字技术优势构建了覆盖全市的“城市大脑”系统,其中绿色出行模块整合了公交、地铁、共享单车、网约车等多种出行方式的数据,为市民提供了个性化、智能化的出行规划服务^②。市民拿出手机,通过专用 App 即可随时查看实时公交到站时间、地铁拥挤程度、共享单车分布点位,轻松实现不同出行方式的顺畅衔接。同时,相关系统会根据实际情况智能调度,优化公交、地铁的运行线路和发车频次,让公共交通的运转效率更高。

三、数字化绿色化协同转型发展的现实困境

在现实推进过程中,数字化绿色化协同转型发展面临诸多制约因素。本文主要从技术、政策、市场、主体、人才五个维度系统剖析数字化绿色化协同转型发展所面临的现实困境。

(一) 技术层面困境: 技术瓶颈待破、数据壁垒待通、经济成本待降

尽管数字技术为绿色转型注入新动能,成为实现“双碳”目标 and 高质量发展的核心驱动力,但技术层面的瓶颈仍是制约数字化绿色化协同转型发展的关键障碍。这些困境主要表现为三个方面: 其一,在支撑绿色转型的核心数字技术领域,仍存在“卡脖子”风险,关键技术供给与国际先进水平还存在差距,核心环节对外依存度较高。例如,工业互联网底层架构、高端工业软件、先进半导体材料等基础软硬件的自主可控能力不足,直接影响了制造、能源等领域智能化改造的深度和安全。同时,面向“双碳”目标的专用数字技术尚处于研发起步或示范阶段,技术成熟度和可靠性尚未经过验证,难以满足重点行业精准控排和系统性减碳的紧迫需求^③。其二,数据要素流通和协同应用存在壁垒,生态协同基础薄弱。当前,我国绿色转型相关数据的治理体系存在短板,如能源、工业、建筑等不同行业之间存在标准不一、接口封闭、安全顾虑等问题,导致碳排放、能源消耗、资源利用等关键数据难以实现跨部门、跨行业高效共享。与此同时,绿色转型相关数据质量参差不齐以及数据时效性滞后,使得数字化降碳解决方案的效能难以充分实现。其三,技术成本与投资回报存在不确定性,制约了数字绿色技术的规模化推广应用。一些前沿数字绿色技术,如基于区块链的碳追溯系统、人工智能驱动的材料研发等,具有初始投入大、迭代

① 刘育权《以 AI 赋能数字电网发展》,《人民日报(海外版)》2025 年 2 月 10 日。

② 《数字经济创新发展试验区建设案例之十一:“城市大脑”赋能城市治理现代化》, https://www.nda.gov.cn/sjj/zhuanti/ztdsjblh/ztxwfb/0906/20240906165648487934177_pc.html。

③ 周雪峰、王大英《数据要素市场化、数字化转型与企业绿色创新》,《商业研究》2024 年第 3 期。

周期长、运营成本高等特点,其带来的节能降碳效益往往难以精准量化,回报周期存在较大不确定性,显著影响了企业特别是中小企业的技术采纳意愿^①。更为关键的是,当前我国尚未建立统一的数字化绿色化协同标准体系和全生命周期碳减排效益核算体系,导致技术选型缺乏科学依据、项目融资面临信用瓶颈、政策补贴精准性不足,阻碍了数字绿色技术的快速推广和规模化应用。

(二) 政策层面困境:政策协同不足、制度建设滞后、长期预期不稳

数字化绿色化协同转型发展不仅有赖于数字技术创新,更离不开系统性、协同性的政策支持和制度保障。现阶段,我国数字化绿色化协同转型发展的政策体系仍存在结构性短板,主要表现为三个方面:其一,政策工具协同性不足,激励约束机制未能形成合力。目前,绿色转型与数字化发展领域的政策尚未实现深度协同和精准联动。在绿色政策方面,节能环保补贴等工具往往未将企业数字化水平作为重要评价或激励依据;而在数字经济相关扶持政策中,也普遍缺少对绿色绩效的激励措施。与此同时,财政、税收、金融等经济手段未能精准聚焦数字化绿色化协同领域,市场导向的激励信号模糊,难以有效引导社会资本向数字化绿色化协同转型领域集聚;部分政策在执行过程中存在消极效应,如个别地区为追求数字产业规模扩张而放松能耗和碳排放约束,导致绿色目标在执行层面被虚化,与数字化绿色化协同转型发展的核心目标背道而驰^②。其二,制度建设滞后,现有制度体系不适应协同转型发展需求。当前,面向数字化绿色化协同转型发展的标准架构尚未建立。在数据层面,碳排放数据的采集方法、核算口径及数字化管理缺乏统一规范,以致计量结果可信度不高,难以支撑科学决策和市场交易;在技术层面,数字化绿色化协同解决方案的技术规范、接口互联标准、绩效评估准则尚未形成统一框架,导致技术路径分散、产品互操作性差,实施效果难以科学衡量;在法规层面,现有法规体系对数字化绿色化协同转型发展涉及的新型法律问题回应不足,如对于碳数据资产归属等核心问题缺乏明确规定,导致企业绿色化转型存在潜在的法律风险;在监管层面,传统分行业、分领域的监管模式难以应对数字化绿色化协同带来的系统性、交叉性风险,使得监管盲区和响应滞后等问题日益凸显。其三,政策预期稳定性不足与容错机制缺乏,影响市场主体长期投入意愿。数字化绿色化协同转型发展具有投入规模大、回报周期长、技术路线不确定等特征,需要持续稳定、可预期的制度环境作为支撑。然而,当前部分有关数字化绿色化协同转型发展的政策存在期限短、变动多、兑现难等问题,影响了企业进行长期研发和投资的信心。与此同时,对于前沿性与交叉性协同创新,尚未建立系统化的容错机制和风险分担体系,例如,政府在创新采购、示范应用、首台(套)推广等方面,缺乏对试错过程的制度化包容和针对性扶持。这种制度环境的不足使得企业在面对技术协同、模式协同等高度不确定领域时,往往倾向于采取风险规避策略,选择技术相对成熟但协同深度有限、转型深度不足的保守方案,从而延缓了数字化绿色化协同创新的探索步伐和迭代速度。

(三) 市场层面困境:需求激励不足、资金供给受限、市场秩序失范

数字化绿色化协同转型的市场化推进有赖于完善的市场机制和高效的资源配置,而当前我国市场体系仍存在缺陷,面临有效需求不足、供给能力错配、体系不完善等多重困境,抑制了市场内生动力的充分释放,制约了协同转型效率。这些困境主要表现为三个方面:其一,有效市场需求不足,可持续的商业模式尚未成熟。从需求侧看,终端消费者对数字化绿色产品的认知深度不足,绿色消费意愿和支付意愿尚未有效转化为实际购买力;政府采购作为绿色消费的标杆引领作用未能充分发挥,对数字化绿色产品的优先采购清单和强制性采购比例尚未明确,难以形成示范带动效应;市场层面尚未形成可持续的绿色价值付费和数据价值付费机制,难以形成规模化的市场需求响应。从商业模式看,多数数字化绿色化协

① 吴炜、覃姣媚《绿色科技赋能新质生产力的逻辑理路与实践进阶》,《理论学刊》2025年第6期。

② 袁航、夏杰长《科技政策与竞争政策协同推动中国产业绿色低碳转型了吗》,《商业经济与管理》2025年第6期。

同项目仍以政策驱动或企业自愿履责为主要动力,尚未形成具有韧性的市场化盈利模式。在数字化绿色化协同发展产业生态中,基础设施服务商、金融机构、终端用户之间的收益分配和风险分担机制尚不完善,导致产业合作关系松散,难以构建长期稳定的产业协同网络。其二,资本市场对数字化绿色化协同领域的价值认知存在偏差和滞后性,导致技术创新与资本供给呈现结构性错配、创新链与资金链协同衔接受阻。一方面,传统绿色技术投资更关注光伏、风电等硬件设施,对赋能性强的软性数字技术价值评估不足,投资意愿偏低;另一方面,数字科技投资偏好追逐纯线上模式的快速扩张,对需要深度协同实体产业、技术迭代周期长、回报周期不确定的绿色应用场景缺乏耐心。双重认知偏差导致处于协同创新早期和成长期的企业面临融资难、融资贵的发展瓶颈。与此同时,银行信贷仍以传统抵押担保模式为主,缺乏针对数字化绿色化协同项目核心资产的专业化风险评估体系和融资模式,金融供给与产业创新的需求之间存在较大缺口,难以有效支撑协同创新企业的成长和发展。其三,在标准规范不统一、认证机制不健全以及监管手段相对滞后的环境下,部分企业或利用市场信息不对称,通过夸大数字化技术的减排效果开展“绿色漂洗”^①,或将常规信息化项目包装为具有显著绿色效益的解决方案制造“数字泡沫”,以获取政策红利或市场竞争优势。这种投机行为不仅损害了真正开展协同创新企业的合法权益,破坏了公平竞争的市场环境,还侵蚀了市场整体的信任基础,提高了优质产品与服务的市场识别成本和交易成本。

(四) 主体层面困境: 企业能力欠缺、政府执行偏差、公众认知不足

数字化绿色化协同转型发展的成功有赖于各参与主体的认知、能力与行动协同^②。现阶段,企业、政府、社会公众等多元主体在意识、能力与协作层面均面临挑战,主要表现为三个方面:其一,多数企业尚未建立数字化绿色化协同转型的战略认知,未能将其纳入企业长期发展的核心战略框架。企业往往将数字化转型交由信息技术部门主导,将绿色低碳转型划归环境管理部门负责,导致两大转型任务的战略目标脱节、资源投入分散;与此同时,企业普遍缺乏兼具数字技术研发能力与绿色低碳管理能力的复合型人才和团队,许多企业尤其是中小微企业面临“不想转、不敢转、不会转”的困境。其二,地方政府在政策执行和治理实践中仍受到管理体制条块化的制约。发展改革、生态环境、科学技术等部门的权责与目标存在差异,在项目审批、资金分配中难以形成治理合力,降低了政策执行效率;与此同时,公职人员对数字化绿色化协同转型发展所催生的新技术、新模式、新业态的认知深度和理解广度不足,在制定精准化政策工具、构建科学的协同效益评估模型等方面存在能力短板,造成政策供给能力与市场创新需求之间的错配。其三,公众与社会组织认知不足、参与渠道匮乏。社会公众对数字化绿色化协同转型发展的认知多停留在概念表层,尚未形成对转型内涵、价值逻辑及其与自身生活消费、就业发展、社会福利深层关联的系统性认知。这种认知局限直接导致绿色数字生活方式的普及缓慢,公众通过消费选择、社会监督等方式形成的市场驱动力量未能充分释放,难以形成倒逼企业转型的外部市场压力。环保组织等社会力量则因缺乏权威数据、专业技术知识以及有效的政企社协同平台,参与监督、倡导、协作的作用未能充分发挥。社会力量参与转型治理的渠道不畅、机制不健全,导致以政府引导、企业主导、社会参与为核心的社会共治格局尚未形成,难以凝聚转型共识和合力。

(五) 人才层面困境: 高端人才短缺、技能供需错配、人才战略滞后

人才是驱动数字化绿色化协同转型发展的第一资源和核心引擎。当前,我国的结构性人才短缺问题已成为制约数字化绿色化协同转型发展的关键瓶颈,具体表现为三个方面:其一,领军型与高端研发

^① 孙建军、祖楠楠、王浩瑞《大数据赋能的企业会“环保作秀”吗?——基于漂绿行为视角》,《财经论丛》2024年第10期。

^② 刘宇、梁栋、张硕《数字化与绿色化协同转型如何赋能高质量发展——来自中国上市公司的证据》,《中国流通经济》2025年第1期。

人才短缺,核心技术自主创新受限。在数字化绿色化协同转型发展的核心技术领域,如碳计量与碳监测、AI算法研发、工业互联网节能优化平台构建、绿色半导体材料和器件研发等前沿方向,我国面临战略科学家和科技领军人才不足的困境。此类人才需同时具备深厚的理论基础和领导能力,能够引领跨领域团队实现技术集成和攻关。该层次人才的短缺削弱了我国在前沿技术领域的原始创新能力,导致产业转型的技术成本居高不下。其二,人才技能供需错配。数字化绿色化协同转型发展的最终实现,依赖于大批能够操作智能装备、开展数据分析并应用于具体节能降碳场景的高素质人才。然而,在现有产业工人与工程技术人员中,同时掌握数字化工具和绿色工艺知识的比例较低,制约了先进技术的落地推广和产业转型的实际成效。其三,企业人才战略与管理模式转型滞后,内部培养机制不健全。作为人才需求方面的核心主体,企业的人才战略和管理模式转型滞后于产业发展需求,成为制约人才集聚和效能发挥的重要因素。该问题在传统行业企业中表现得尤为突出,多数企业还没有把数字化绿色化协同能力提升到人才核心素养的高度。人力资源管理体系依旧采用传统职能划分模式,缺乏对数字化绿色化协同型岗位的清晰职责定义,使得复合型人才的职业发展空间受到限制。

四、数字化绿色化协同转型发展的路径选择

数字化绿色化协同转型发展是实现“双碳”目标与高质量发展的必然选择,也是一项涉及技术、政策、市场、主体、人才等多维度的系统工程。为此,需从顶层设计出发,构建系统化、可操作、多主体联动的转型路径体系,推动数字化绿色化协同转型从理念共识走向广泛实践。

(一) 技术创新路径:自主创新驱动、协同应用牵引、创新生态筑基

突破当前存在的关键技术短板、数据流通壁垒和经济可行性瓶颈,需践行以自主创新为导向、协同应用为落脚点的技术创新路径,核心是推动数字技术与绿色低碳需求的深度协同,统筹推进核心技术攻坚与创新生态构建。一方面,要聚焦底层数字技术的自主可控,着力攻克支撑绿色转型的高端工业软件、工业互联网底层架构等“卡脖子”领域和环节;另一方面,要瞄准“双碳”目标加速专用数字技术研发,比如打磨高精度碳计量监测与核算算法、搭建基于数字孪生的系统碳仿真平台,提升减排工作的精准性。在技术创新过程中,需加大政府对基础研究和关键共性技术的科研投入,设立数字化绿色化协同科技专项并采用“揭榜挂帅”等机制集中攻关;支持龙头企业牵头,联合高校、科研院所组建创新联合体和产业技术创新联盟,共建国家级和省级重点实验室、工程技术研究中心,实现知识共享和风险共担。建立健全技术成果转化平台,完善知识产权保护和交易机制,推动实验室技术快速走向规模化商用。此外,还可通过首台(套)重大技术装备保险补偿、示范应用项目补贴等方式,降低创新技术早期市场进入风险,推动技术快速迭代。

(二) 政策优化路径:政策协同整合、标准法规完善、预期稳定保障

针对政策碎片化、制度建设滞后、预期不稳等困境,亟须推进政策体系的系统性重构和协同化设计,核心任务是破解政出多门、激励分散、标准缺失等难题,推动绿色政策与数字政策从简单相加迈向有机协同。一是强化顶层设计和跨部门协同,建立由高级别领导机构牵头的数字化绿色化协同转型发展议事协调机制,统筹生态环境、科技、财政等部门的政策目标和工具,出台跨领域的综合性支持政策和行动方案。二是增强政策精准性,将企业数字化水平纳入绿色绩效评价和激励机制(如碳排放配额分配、绿色工厂认定),同时将绿色减排实效作为数字经济扶持政策的重要考核指标。特别要加大对中小企业数字化绿色化协同转型发展的普惠性支持,通过技改补贴、数字化服务券、绿色信贷贴息等方式降低其转型成本和风险。三是加快构建协同性标准和法规体系,尽快制定统一的碳排放数据采集、核算、审计与数字化管理国家标准,推动数字化绿色化解决方案的技术接口、绩效评估等标准体系建设,并明确碳

数据资产权属等新型法律问题。四是建立政策动态评估和调整机制,对政策实施效果进行定期跟踪评估,并根据技术发展和市场反馈及时优化,同时建立包容审慎的监管框架和创新容错机制,稳定市场主体长期预期。

(三) 市场培育路径: 内生需求激发、供给渠道拓宽、生态协同赋能

数字化绿色化协同转型市场化推进的重点是激发绿色消费内生需求、拓宽绿色金融供给渠道、创新可持续商业模式,从而缩短商业回报周期,形成市场自发驱动的良好循环。实施层面需从需求侧、供给侧、市场环境三端协同发力。在需求侧,大力推广绿色产品认证和能效标识制度,建立健全政府绿色采购标准并明确强制性采购比例,发挥公共机构的示范引领作用。同时,利用数字平台开展绿色消费宣传,探索建立个人碳账户,推动绿色消费激励和碳普惠机制,强化公众认知和支付意愿。在供给侧,积极发展绿色金融,创新金融产品和服务,鼓励商业银行开发基于项目节能降碳效益的绿色信贷产品;支持符合条件的企业发行绿色债券、碳中和债券;探索设立国家级数字化绿色化协同转型产业投资基金,引导社会资本投入;推动金融机构建立针对数据、算法、知识产权等无形资产的风险评估和抵押模式。在市场环境方面,加快建设全国统一的碳排放权交易市场,并探索将其与绿色电力交易等市场协同运作。强化市场监管,严厉打击“绿色漂洗”和“数字泡沫”,完善企业数字化信息披露制度,依托区块链等技术提升碳足迹等信息追溯的透明度和公信力,降低市场交易成本。

(四) 主体赋能路径: 企业能力提升、政府体制优化、公众意识培育

破解主体层面的认知割裂和行动分散,必须打破政府、企业、金融机构、公众之间的协同壁垒,搭建信息互通、资源互补、行动互促的协作平台。一是建立行业级与区域级协同转型联盟。在重点行业(如工业、能源、交通)层面,由行业协会或龙头企业牵头,联合产业链上下游企业、解决方案提供商、高校及金融机构,组建产业生态联盟,共同制定转型路线图,开展共性技术攻关和标准制定,共享转型经验和资源。在区域层面,推动产业集群所在地政府搭建区域性数字化绿色化协同服务平台,提供政策咨询、技术对接、人才培养等一站式服务。二是搭建高效的科研成果与产业需求对接平台。建设全国性或区域性数字化绿色化技术交易市场和成果转化平台,利用大数据、人工智能实现技术供给与企业需求的智能匹配。三是强化跨区域协同合作。鼓励东部技术、资本、人才优势地区与中西部资源能源富集地区开展对口协作,通过共建产业园区等模式,推动数字化绿色化技术和模式在不同区域的适配与推广,促进全国范围内的协同转型。

(五) 人才建设路径: 高端人才引育、产教精准匹配、企业战略协同

应对人才结构性短缺问题,应针对当前高端领军人才短缺、技能人才供需错配、企业内部培养滞后等问题,进行系统性改革,从教育端、产业端、政策端协同推进。在教育端,推动高等教育学科交叉融合,鼓励高校设立与数字化、绿色化有关的交叉学科或专业方向,增设碳计量监测、工业互联网节能、智慧环保等课程。深化职业教育体制改革,鼓励职业院校与企业共建实训基地,开发融合数字化技能与绿色工艺的模块化课程和认证体系。在产业端,强化企业的人才培养主体责任。支持龙头企业建立培训中心,开展针对在岗员工的数字绿色技能提升培训。推动企业改革人力资源管理体系,设立清晰的数字绿色协同型岗位序列,构建相应的能力模型、薪酬体系和职业发展通道。在政策端,加大高端人才引进力度,对国家急需的数字化绿色化领军人才及团队,在落户、子女教育、科研经费等方面给予一揽子政策优惠。加快制定数字化绿色化协同工程师等新职业的国家职业标准,推动社会化技能等级认定。同时,鼓励科研人员兼职兼薪或离岗创业,激励优秀人才在产学研之间有序流动。

[责任编辑: 张蕴萍]