

数字生态文明视域下美丽中国数字化治理体系建设的理论逻辑及突破路径

蒋亢¹, 孙博文^{2,3}

(1. 河南警察学院 法律系, 河南 郑州 450046;

2. 中国社会科学院 数量经济与技术经济研究所, 北京 100732;

3. 中国社会科学院 习近平新时代中国特色社会主义思想研究中心, 北京 100732)

摘要: 数字生态文明是数智时代社会主义生态文明的全新标识性概念和高级形态, 为美丽中国建设提供了新的理论范式和实践路径。坚持以习近平生态文明思想为指导, 结合技术—经济范式变革与社会—制度协同演进的分析框架, 本研究系统阐释了美丽中国数字化治理体系建设的理论与实践逻辑。构建美丽中国数字化治理体系, 要以深刻把握美丽中国内在“五位一体”的内涵为理论前提, 统筹推进生态环境、能源资源、经济产业、人居生活等领域的数字化绿色化协同转型, 并通过深化体制机制改革, 实现经济治理、政府治理、社会治理与法治治理的系统集成。不过, 当前治理体系建设仍面临数据要素流通不畅、数字技术赋能不足、治理效能有待提升等现实挑战。未来须直面实践中的难点、痛点和堵点, 通过深化技术与制度创新双轮驱动, 加快构建具有中国特色的美丽中国数字化治理体系。

关键词: 数字生态文明; 美丽中国数字化治理体系; 生态环境保护; 高质量发展

中图分类号: X32; X196; F062.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4407(2025)09-178-10

Theoretical Logic and Breakthrough Pathways of Digital Governance for Beautiful China from the Perspective of Digital Ecological Civilization

JIANG Kang¹, SUN Bowen^{2,3}

(1. Department of Law, Henan Police College, Zhengzhou Henan 450046, China;

2. Institute of Quantitative & Technical Economics, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China;

3. Research Center on Xi Jinping Thought on Socialism with Chinese Characteristics for a New Era, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732, China)

Abstract: Digital ecological civilization represents a new hallmark concept and advanced form of socialist ecological civilization in the era of digital intelligence, offering fresh theoretical frameworks and practical pathways for advancing the Beautiful China initiative. Guided by Xi Jinping Thought on Ecological Civilization, this study systematically explores the theoretical and practical logic of constructing a digital governance system for Beautiful China, integrating an analytical framework that combines techno-economic paradigm shifts with socio-institutional co-evolution. Building this digital governance system requires a firm grasp of the intrinsic “five-in-one” connotation of Beautiful China as a theoretical premise, coordinated promotion of digital-green synergistic transformation across ecological, energy-resource, industrial-economic, and human settlement domains, and systemic integration of economic, governmental, social, and legal governance through deepened institutional reforms. However, current challenges include fragmented data element circulation, limited empowerment through digital technologies, and insufficient governance effectiveness. Future efforts must address practical bottlenecks by accelerating dual-driven innovation in technology and institutions to establish a distinctive Chinese model for digital governance in building Beautiful China.

Key words: digital ecological civilization; digital governance system for Beautiful China initiative; eco-environmental protection; high-quality development

基金项目: 国家社会科学基金一般项目“行政职权转移的类型化与法治化研究”(24BFX021); 习近平经济思想研究中心 2025 年度研究专题项目“科技创新对经济社会发展全面绿色转型支撑作用研究”; 国家自然科学基金青年项目“中国清洁生产环境规制的减污降碳协同效应、机制与路径研究”(72303239); 中国社会科学院习近平新时代中国特色社会主义思想研究阐释工程重点项目“生态文明 3.0: 数字生态文明标识性概念与三重逻辑研究”

第一作者简介: 蒋亢, 博士, 讲师, 研究方向为社会治理、数字法治。E-mail: jkandlaw@163.com

通讯作者简介: 孙博文, 博士, 副教授, 副研究员, 研究方向为绿色低碳经济理论与政策。E-mail: sunbowen@cass.org.cn

新一轮科技革命与产业变革下，人类社会正经历着从工业文明向后工业文明时代数字文明和生态文明并行交织、互相融合的数字生态文明时代。数字生态文明是中国特色社会主义生态文明的高级阶段，也是重要标识性概念。作为关乎中华民族永续发展的千年大计，美丽中国建设既是中国式现代化的重要内涵，也是推动构建人类命运共同体的生动实践，标志着我国生态文明建设实现了从理念先行到制度创新、再到实践突破的历史性跨越。构建美丽中国数字化治理体系是实现数字生态文明建设的内在实践要求，以大数据、人工智能、云计算、物联网、区块链为代表的新一代信息技术渗透生态文明建设全过程，为构建美丽中国数字化治理体系提供支撑。从政策部署到实践推进，我国美丽中国建设正步入数字化赋能的新阶段。2022年6月，国务院发布的《国务院关于加强数字政府建设的指导意见》要求“全面推动生态环境保护数字化转型”。2023年7月，习近平总书记在全国生态环境保护大会上指出，深化人工智能等数字技术应用，构建美丽中国数字化治理体系，建设绿色智慧的数字生态文明。2024年1月，中共中央、国务院印发了《关于全面推进美丽中国建设的意见》，为形成以实现人与自然和谐共生的现代化为导向的美丽中国建设提供了方向指引。这一系列重大部署既体现了数字生态文明建设的战略延续性，也展现出新时代生态文明建设与时俱进的理论创新和实践深化，为以数字化治理推动人与自然和谐共生的现代化建设提供系统解决方案。

1 文献综述

梳理既有研究发现，有学者从新质生产力及绿色低碳视角切入，研究如何推动和赋能美丽中国建设的逻辑理路及具体路径^[1-2]，也有研究指出深化环境经济政策改革和制度体系构建对于美丽中国建设的重要性^[3-4]。有学者从数字赋能的视角论述信息技术渗透至生态文明建设的过程及路径优化^[5-7]，也有学者针对数字化赋能生态治理的理论逻辑和实践路径做出研究，从理念、技术、制度等视角强调系统提升生态治理的智能化水平^[8-10]，以及通过数字技术赋能推动绿色产业转型、同步优化全球气候治理和创新生物多样性保护，助力实现全球可持续目标^[11]。从实践层面出发，围绕生态环境智慧治理和政府运行协同高效目标，国家相关部门运用大数据、人工智能、区块链等数字技术推动山水林田湖草沙一体化保护和系统治理，并以生态环境综合管理信息化平台为统领，着力推进生态环境的政务服务、监督治理及行政运行的高效化^[12]。不过作为生态文明建设高阶形态的美丽中国，其内涵不仅

包含传统的生态环境领域，也拓展到了绿色发展、碳达峰碳中和、生态安全领域^[4]，在数字文明与生态文明深度融合的中国式现代化这一人类文明新形态下，更要融入经济建设、政治建设、文化建设、社会建设各方面和全过程。美丽中国数字化治理体系本质上体现了数字技术与生态约束全面渗透至人类经济、政治、文化、社会与生态文明各领域的治理创新，落脚于“五个建设”的全面数字化和生态化。作为数字生态文明建设的中国实践，它既强调数字技术革命对生态文明各领域的赋能作用，又突出数字技术与经济、政治、社会、文化等领域实现绿色化融合的要求^[13]。鉴于此，对于美丽中国数字化治理体系建设的理论逻辑、实践路径以及突破路径。

本文的边际贡献在于：一是基于数字生态文明视角，遵从技术—经济范式变革与社会—制度匹配的互动逻辑，突破了既有研究以数字技术赋能生态治理的美丽中国数字化治理体系的狭义框架。二是立足习近平生态文明思想与习近平经济思想，深入阐释美丽中国数字化治理体系建设的“生态优先、绿色发展”核心价值导向以及以“人民福祉最大化”的治理目标，为数智时代统筹生态环境高水平保护与高质量发展提供中国方案。三是基于“五位一体”视角理解美丽中国建设要求和治理逻辑，摒弃碎片化治理思维，从要素、技术、产业、社会和制度(法治)等方面探讨美丽中国数字化治理体系的实践突破路径。

2 美丽中国数字化治理体系建设的内涵

从人类社会发展的趋势来看，美丽中国数字化治理体系建设是社会技术形态变迁在公共治理领域的必然结果，不仅促进数字文明与生态文明深度融合，促进数字生态文明建设，更致力于实现全面推进人与自然和谐共生的现代化，并始终贯彻“以人民为中心”的价值理念。

2.1 历史向度：推进后工业文明时代的数字生态文明建设

人类文明的演进始终以物质资料的生产方式为核心动力，而技术革命则是推动生产力变革的关键因素。从原始文明到后工业文明，技术进步与人与自然关系的动态调整构成了文明转型的核心线索。这一历史进程中，数字生态文明作为数字文明与生态文明深度融合的新形态，成为中国式现代化这一人类文明新形态的重要标志，为美丽中国数字化治理体系的构建提供了历史向度的理论支撑。

原始文明与农耕文明阶段，技术进步与人与自然的关系呈现出朴素性特征。原始文明时期，人类依赖石器

等简单工具改造自然,技术进步缓慢且以生存需求为导向,人与自然处于原始和谐状态。进入农耕文明后,农业技术(农耕、灌溉、畜牧)逐步发展,人类开始主动改造自然以获取稳定的食物来源,但过度开发也导致水土流失、土地荒漠化等问题。此时,人类对自然的认知仍处于感性阶段,技术应用以传统方法为主,尚未形成系统性的生态治理理念。

工业文明时代,四次工业革命(蒸汽机、电力、计算机、数字技术)推动了生产力的飞跃,但也加剧了人与自然关系的对立。工业技术群的涌现极大解放了人类的生产力,但以煤炭、石油等化石能源为基础的工业化模式导致资源过度消耗和生态环境破坏。尽管第四次工业革命以绿色低碳技术为特征,试图通过可再生能源和智能化手段缓解生态危机,但工业文明的扩张性本质仍难以完全解决人与自然的紧张关系。这一阶段的教训表明,单纯依赖技术突破无法实现生态与经济的协同发展,必须转向更高层次的文明形态。

后工业文明时代,数字生态文明的兴起标志着人类文明从工业文明向更高形态的跃升。数字技术(大数据、人工智能等)与生态文明的深度融合,为破解工业文明的生态矛盾提供了系统性解决方案。一方面,数字技术通过数据驱动、智能决策和精准治理,赋能污染监测、生态修复、碳排放管理等,推动生产方式向绿色低碳转型。另一方面,生态文明理念强调尊重自然规律、维护生态系统的完整性,为数字技术的应用划定绿色边界,避免技术异化带来的生态风险。数字生态文明不仅是技术革命的产物,更是对工业文明的继承与超越,其核心在于通过技术与制度的协同创新,实现人与自然和谐共生的现代化目标。

在中国式现代化的框架下,数字生态文明的实践路径体现了“五个文明”(物质、政治、精神、社会、生态)的协调发展。数字技术渗透于经济、政治、文化、社会各领域,推动生产方式、治理模式和生活方式的全面绿色化。这一过程不仅重构了生产力与生产关系的互动逻辑,也重塑了社会一制度结构,形成“技术赋能生态、生态约束技术”的动态平衡。

2.2 实践向度:全面推进人与自然和谐共生的现代化

党的二十大报告将“促进人与自然和谐共生”作为中国式现代化的本质要求之一。党的二十届三中全会通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》提出,聚焦建设美丽中国,加快经济社会发展全面绿色转型,健全生态环境治理体系,推进生态优先、节约集约、绿色低碳发展,促进人与自然和谐共生。中国式现代化是人与自然和谐共生的现代化,美丽中国数字化治理体系建

设是全面推进人与自然和谐共生的现代化的应有之义。

实践中,我国正加快推进经济社会发展全面绿色转型,尽管生态环保工作取得阶段性成效,但产业结构性污染源尚未彻底破解,资源环境约束趋紧态势持续显现,生态环境治理面临新形势新任务^[14]。现实压力和对传统发展方式的反思推动着经济社会发展必须走向现代化,要实现生态保护和经济发展的平衡。而美丽中国的数字化治理体系的建设,一方面以数字技术发展为基础,更新美丽中国治理理念。数字时代的生态治理应适应社会发展要求,构建符合社会发展的新型体制机制,使各方面制度都相对科学、合理、协调^[15]。换言之,数字化平台打破了政府主导的单一治理模式,构建政企社多元共治网络。这种协同机制将分散的治理力量整合为有机整体,使经济发展、社会活动与生态保护形成内生性平衡;另一方面,以数字技术赋能为手段,提升经济发展与生态保护能力。借助产业互联网、能源互联网等数字化平台,将资源消耗与污染排放等环境成本全面融入经济运行体系。通过智能算法优化产业空间布局,利用数字孪生技术模拟生态修复路径,依托区块链实现生态产品价值的确权与流转,最终推动经济增长与生态资本增值的协同发展。

2.3 价值向度:贯彻以人民为中心理念

良好生态环境是最公平的公共产品,是最普惠的民生福祉。生态治理的最终目的是实现全社会整体生态福利和效益的提升^[16],而生态公共价值的创造本质在于将人民主体地位作为根本立场,通过制度设计和实践创新系统性回应人民群众对美好生活的追求。中国特色社会主义进入新时代,我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。随着经济社会的发展,人民对生活品质有了更高追求,良好生态环境与高质量发展成为美好生活不可或缺的部分。美丽中国数字化治理体系建设的重要价值诉求就是与时俱进地发挥新型生产要素的作用,提供更多更普惠的生态产品、生态服务,为绿色低碳发展注入新的动力。

美丽中国数字化治理体系通过数据整合与智能分析,将抽象的生态指标转化为可感知的民生质量参数,使空气质量、水质安全、绿色空间等要素直接对应人民群众对美好生活的需求。数字化平台打破了传统环境治理的封闭性,通过碳普惠等工具,使每个公民既是生态保护的受益者,也成为治理过程的参与者。在微观层面,这种赋权机制使个体环境行为数据转化为治理体系的决策依据,推动形成“人人有责”的生态文明共同体;在宏观层面,通过公众参与形成的海量行为数据,倒逼治理体系建立更精准的反馈调节机制,实现从人民诉求到政策优化的持

续改进。此外，数字技术通过建立生态资源确权、环境成本核算等机制，破解了传统发展模式环境中环境权益分配失衡的困境，使绿色发展成果更多更公平惠及全体人民。

3 美丽中国数字化治理体系建设的理论逻辑

在历史唯物主义框架下，美丽中国数字化治理体系建设可视为“数字时代生产力与生产关系矛盾运动”的具体实践。数据要素与生态要素作为新型生产要素与数字技术共同构成新型生产力，其与生产关系的动态适配推动社会形态向数字生态文明演进。在“技术—经济”范式转型与“社会—制度”协同演进的框架下，美丽中国数字化治理体系的核心目标是通过数字技术与制度创新的深度融合，破解生态保护与经济发展的二元矛盾，重构经济、社会、环境治理的底层逻辑，实现“高质量发展”与“生态文明”的双重目标。

3.1 美丽中国数字化治理体系建设的理论基础

一是技术创新驱动生产要素与生产力变革。从经济学角度出发，技术革命通过引入数据等新型生产要素，推动传统劳动与资本要素的智能化、数字化升级，显著改变了传统经济增长的路径和资源配置方式。这一变革打破了传统生产要素的稀缺性约束和组合边界，从而重构生产函数及其效率边界。首先，以数据为代表的新型非竞争性生产要素，具有边际成本趋近于零的复制与共享特性。这意味着，数据可以被多个主体同时使用而不会发生损耗，也不会因使用而减少其价值。这种特性突破了土地、劳动和资本等传统的排他性和稀缺性限制，极大地提升了资源配置的效率和广度。其次，随着人工智能、大数据分析和高性能计算的发展，算法与算力成为将海量数据转化为经济价值的关键工具。它们不仅提高了信息处理的速度与精度，还增强了对市场结构、消费者行为、供应链等复杂系统的认知与调控能力，从而优化决策过程和资源配置效率。在这种背景下，传统的线性叠加式生产函数，即产出是土地、劳动与资本的加总函数，逐渐被一种更具协同效应的指数级生产函数所取代。换言之，当数据、技术和资本共同作用时，其整体贡献可能远超各要素单独作用之和，形成“ $1+1+1 > 3$ ”的增长效果。同时，技术发展将空气、水、森林等生态资源通过卫星监测、区块链确权等数字化手段转化为可量化、可交易的自然资本，使其直接参与生产过程，成为新型生产力要素。通过绿色技术创新，提升生态资源的利用效率，推动传统产业向低碳化、生态化升级。在此过程中，数据要素与生态环境要素作为新型关键生产要素的地位日益凸显，两者的深度融合，正在推动美丽

中国建设向更高效率、更强韧性、更可持续的方向发展。

二是技术变革对生产关系的适应性要求。随着数字生态文明时代的到来，以大数据、云计算、人工智能、5G、物联网和区块链为代表的数字技术集群，广泛渗透到经济社会的生产端、消费端与治理端，重塑了生产体系(新技术等)、市场结构(新兴消费形态等)以及治理体系，推动“数字技术—经济”范式不断走向成熟^[17]。与此同时，绿色技术与数字化、智能化技术的深度融合，催生出新一代更高效、更具协同性的“绿色技术—经济”范式，使智能化与绿色化并重发展成为可能。一方面，数字技术为绿色创新提供强大支撑；另一方面，绿色发展的目标也反过来引导和约束数字技术的发展方向。由此，数字技术与绿色转型形成“双螺旋”式的协同发展路径，构建起面向未来的可持续发展新模式。质言之，由技术创新引致的新型生产要素(数据要素和生态要素)产生和优化组合理论创新不仅从技术层面推动了数字化、智能化的快速发展，而且通过推动“技术—经济”范式的变革引致生产关系的匹配性变化，塑造出反映社会生产力发展整体水平的“社会—制度”框架^[18]，在经济、社会及治理(制度)等多个维度对美丽中国建设形成有效支撑。

3.2 美丽中国数字化治理体系建设的框架内容

根据2020年印发的《美丽中国建设评估指标体系及实施方案》以及2024年实施的《美丽中国建设评估技术指南》，美丽中国建设评价指标体系以生态文明建设为核心，构建了“五大核心领域+四类扩展维度”的多维评估框架，形成覆盖生态环境质量、资源利用效率、人居环境改善及绿色发展动能的综合评估内容。这表明美丽中国治理体系建设不是狭义的生态环境治理，而是广义上的经济社会全面发展的全面绿色转型，尤其是突出降碳(经济转型与“双碳”目标)、减污(环境治理)、扩绿(生态修复)、增长(高质量发展)四位一体发展。因此，对于美丽中国数字化治理体系建设的框架内容应涉及生态环境、能源资源、经济产业、人居生活以及制度建设(法治)等多方面。数据要素与技术创新构成经济社会发展的基础动力，两者的互动协同推动“技术—经济”范式重构，并加速社会结构的深度转型。在美丽中国数字化治理体系中，经济治理、政府治理、社会治理与法治治理构成有机联动的整体框架。其中，经济治理是核心引擎，通过重构市场机制与生态规律的互动逻辑，驱动绿色经济循环发展；政府治理是系统枢纽，以整体性治理框架整合多元主体与资源，破解生态系统的跨界性难题；社会治理是内生动力，通过数字赋权重构公众参与机制，形成生态文明的共建共治网络；法治治理是制度基石，将生态价值固化为刚

性规则,保障治理行为的合法性与稳定性。需要明确的是,四者虽各具治理侧重,但并不孤立分裂,而是在美丽中国建设过程中发挥全面融合并协同渗透的耦合作用,共同构成美丽中国数字化治理体系的有效支撑。

(1)美丽中国数字化经济治理体系维度。经济治理体系通过制度设计与市场机制的双重作用,重构经济活动与生态系统的互动关系。首先是生态要素的数据化建设。生态要素数据化是对生态要素数字化的升级,是利用一定的现代信息技术手段将数字化的生态要素信息进一步加工和整合,形成结构化、标准化的数据集,实现各类生态要素的数据化、科学化管理,形成大数据资源,为生态环境数字化治理提供基础数据支撑。生态要素数据化和数据要素生态化是数字生态文明建设的要素理论基础,体现了新质生产力形成过程中的劳动者、劳动资料(劳动工具)与劳动对象等要素的优化组合,是加快形成绿色低碳新质生产力的内在要求。其次是产业结构的数字生态化转型。数字技术通过实时监测与数据追踪,将环境成本精准量化并嵌入生产流程,有效提高传统产业链运作效率、生产效率、资源能源利用率,极大地提高了资源的利用效率和可持续利用率。同时,数字化平台打破了产业链的物理边界,推动跨企业、跨行业的资源共享与协同生产,达到既降低单位产品的资源消耗,又促进多品类绿色产品的协同开发的目标。最后是生态技术数字化创新协同。在传统模式下,环保技术研发往往独立于产业需求,导致技术成果难以落地应用。大数据分析、云计算等技术构建起跨领域的技术协作平台,汇聚不同行业的技术需求与解决方案,促进清洁能源、循环经济等绿色技术的跨界融合。这种技术协同不仅降低了重复研发的成本,还通过知识共享加速创新扩散,使环保技术的正外部性突破行业边界,形成研发、应用及反馈的良性循环,打通生态保护与产业升级的技术壁垒,推动两者协同发展。

(2)美丽中国数字化政府治理体系维度。政府治理体系通过构建覆盖多领域、贯通多层次的协同治理网络,在推动绿色发展过程中发挥着统筹协调与政策制度供给的核心作用。该体系以生态环境承载能力为基本约束条件,通过国土空间规划、环境准入清单等制度工具,将生态红线转化为具有可操作性的管理边界和执行依据。一方面,在环境政策供给上,传统政策制定常受制于数据分散、信息滞后,容易出现决策偏差的问题。而数字技术能够整合多部门、多层次的生态环境数据,包括空气质量、资源消耗、生态承载力等,构建统一的数据资源体系,有效打破信息孤岛。在此基础上,智能分析手段可从海量数据中提取关键变量之间的联系,精准识别环境问题的成

因及其演化规律。由此,政策制定者得以突破经验决策的局限,构建起监测、决策、反馈一体化机制,推动经济生态政策不断优化。另一方面,传统环境政策往往陷入“一刀切”式管理与市场激励机制脱节的困境。而数字化技术通过精准量化如碳排放的社会成本等环境外部性,并将其转化为如碳配额和碳价格等可交易的市场信息,使企业的污染行为具备更清晰的经济代价,从而推动环境治理从行政主导向市场驱动转型,提升政策效率与执行弹性。政府依托数据平台设定排放上限与交易规则,形成刚性约束,而市场则通过价格波动引导企业自主优化减排策略,激发技术创新动力。借助数字化工具的实时监测和智能合约技术,可以提升政策执行的透明度与公信力,同时有效降低监管成本。如此既避免过度干预扭曲市场效率,又防止自由放任导致公地悲剧,从而在生态保护与经济发展之间实现更协调、可持续的平衡。

(3)美丽中国数字化社会治理体系维度。社会治理体系聚焦于激发社会主体的内生动力,其核心是通过价值重塑与机制创新,构建全民参与的生态文明实践网络。该体系以环境权益保障为基础,通过信息公开、文化普及、公众监督等渠道,将生态治理从政府主导的单一模式转向社会共治的多元格局。一方面,在社会主体多层次参与下,分散的环保行为被转化为可衡量、可追踪的公共价值。个体的低碳生活方式通过数据积累形成社区生态环境画像,社区层面的绿色实践经由算法分析转化为区域治理的决策依据,专业机构的技术方案也能够更精准地匹配具体应用场景。这种架构推动信息传递方式从单向发布向多方互动转变,使环境保护逐渐由外部强制转化为社会成员的内在自觉。另一方面,数字技术重塑了文化内容的生产与传播模式,为美丽中国的价值理念融入社会认知提供新的载体。通过数字化媒介,传统的环保宣传教育正在向多维度、互动式的认知构建方式演进。原本较为抽象的生态理念,如今借助短视频、虚拟现实等具体场景化叙事手段,以沉浸式体验的方式增强公众对自然价值的情感共鸣,进而激发其内在的环保意识。社交媒体平台则通过算法推荐与社群互动机制,推动“绿色生活”“低碳消费”等理念在日常生活中的持续渗透,使环保从口号逐步转化为可操作的行为习惯。与此同时,借助数字技术推动生态价值理念、生态科学知识、生态道德规范以及生态文学作品等内容的创作、生产、传播等,以数字化形式促进生态文化产业发展和生态文化建设,进一步拓展生态文化的呈现方式,提升产业效能与文化传播效率^[19]。由此形成的社会治理网络,既保持了社会参与的广泛性,又通过技术赋能提升了治

理效能，助力实现美丽中国建设的共建共治共享。

(4)美丽中国数字化法治体系维度。法治治理体系为美丽中国建设提供刚性保障，其核心任务是将生态文明理念转化为具有强制力的制度规范体系。该体系通过立法、执法、司法的系统性改革，构建覆盖生态环境全要素的法律制度网络。在立法层面，推动环境法典编纂，整合分散的生态保护法律，确立“生态优先”原则的法律地位；在执法层面，建立生态环境综合执法机制，运用卫星遥感、在线监测等技术提升执法精准度，破解“守法成本高、违法成本低”的顽疾；在司法层面，完善环境公益诉讼制度，探索生态损害赔偿的量化评估标准，强化司法对生态环境的保障功能。着眼于美丽中国数字化治理体系建设，法治治理的创新性体现在三个方面：一是将“双碳”目标转化为具有法律约束力的碳排放总量控制制度；二是建立生态产品价值实现的法律保障机制，明确自然资源资产产权归属与交易规则；三是构建与国际接轨的环境标准体系，通过绿色贸易规则倒逼国内产业升级。这种法治框架不仅规范政府、企业、个人的环境行为，更通过法律制度的稳定性与预见性，为绿色转型提供长期制度预期，确保美丽中国建设始终在法治轨道上稳步推进。

4 美丽中国数字化治理体系建设面临的困境

当前，对美丽中国数字化治理体系建设的探索取得重要进展，但在数据与生态环境信息要素流通、数字技术驱动生态技术创新、绿色低碳领域产业数字化转型、生态产品价值实现、生态环境数字化治理及低碳数字社会转型和生态环境数字化治理的规则保障等方面还有待完善。

4.1 数据要素及生态环境信息要素流通不畅

(1)生态环境数据要素在获取、采集及运用存在基础性瓶颈。将生态要素信息以数字化方式进一步加工和整合，形成结构化、标准化的数据集，实现各类生态要素的数据化科学管理、形成大数据资源，是生态环境数字化治理的基础条件。但目前生态环境数据分散于国土、林业、水利、海洋等多个部门，其获取缺乏统一的标准化平台整合，并且经济社会统计、城市规划等跨领域数据与生态环境数据存在割裂，难以支撑系统性决策。同时，传统监测技术对于新型污染物的检测精度有限，造成原始数据中存在“模糊地带”，这对基于数据分析做出的治理决策构成挑战。在数据运用和共享过程中，各部门数据格式、编码规则、存储方式差异大，存在数据应用标准不一的困境，不仅制约不同部门之间生态环境数据融合创新，而且导致生态环境碎片化治理困境。以河南省为例，该省生态环境系统信息化、标准化建设取得一定成果，汇

聚整合了环境质量、污染源、核与辐射、固废、环境执法、政务管理等 50 余个信息化业务系统，数据量达 109 余亿条，但同时在信息化建设过程中信息孤岛、信息烟囱等问题时有发生，生态环境信息化标准工作成果少，尚未充分发挥生态环境标准技术的支撑作用等^[20]，这是生态环境智慧治理水平提升亟须解决的现实问题。

(2)数据要素在流通过程中存在“杰文斯悖论”。作为新型生产要素，数据要素除了自身在供给侧发挥作用之外，还会与土地、劳动力、资本等其他传统生产要素深度融合后发生作用，并广泛渗透于社会生产过程的各个环节^[21]，在提高能源利用效率、促进可再生能源发展以及推动碳排放减少方面发挥积极作用。但同时需注意的是，实现数据信息计算、存储、传递、加速、展示等功能的数据中心通常具有突出的高耗能问题^[22]。数字技术的普及和推广增加了对电子设备的需求，而这些设备在生产、运行和维护的过程中需要大量能源，导致与其相关的碳排放显著增加。报告显示，到 2035 年，预计全国 5G 基站数量约 758 万个，中国数据中心和 5G 基站总用电量约是 2020 年的 2.5 ~ 3 倍，将占中国全社会用电量的 5% ~ 7%；中国数据中心和 5G 基站的碳排放量将达 2.3 亿 ~ 3.1 亿吨，约占中国碳排放量的 2% ~ 4%^[23]。尽管数字技术显著提升了资源利用效率，但这种效率提升反而可能导致资源总消耗量的增加，这就带来了如何实现数据要素绿色低碳化的现实需求。

4.2 数字技术驱动生态技术创新不足

生态技术创新作为新质生产力的核心要素，为高质量发展的美丽中国建设提供基础支撑。在美丽中国建设实践中，生态技术创新有助于淘汰落后产能，提供节能减排、污染治理的新方法，形成绿色发展的新模式，实现经济效益和环境效益的双赢。在数字生态文明时代，利用数字技术增强和优化传统生态技术，使其更加高效智能具有重要价值。数字技术对绿色创新的赋能效应，不仅体现为数字技术能够汇聚各类创新资源，打破信息交互的壁垒，从而显著提升技术研发的效率，而且可通过精准匹配供需关系，加快科技成果转化与应用，同时重塑知识的生产与传播机制，构建跨区域的协同创新网络^[24]。然而，从实际情况看，我国数字技术激发创新的复合效应并不突出。在算法层面，国内广泛应用的人工智能开源框架中，超过 90% 依赖于谷歌等国外企业的产品；算力方面，英伟达占据了全球约 75% 的人工智能芯片市场，而国内在 FPGA 等领域尚未形成具有竞争力的原创成果；在电子系统领域，高端可编程逻辑控制器及工业网络协议大多被国外厂商所主导^[25]。此外，我

国原创性生态技术储备不足, 高端技术研发面临显著瓶颈, 尤其是储能、CCUS 技术作为新型电力系统安全稳定和实现“负碳”的重要保障, 相关领域技术突破还有较大空间^[26]。这表明, 绿色技术融合创新的模式还未完全形成, 新质生产力发展的技术基础还需进一步夯实。

4.3 绿色低碳领域产业数字化转型及生态产品价值实现存在梗阻

绿色低碳领域的产业数字化转型通过智能监测与精准调控, 显著提升环境治理效能和资源利用效率, 是美丽中国建设的重要环节。生态产品价值实现借助数字化平台打通市场转化路径, 激活生态保护和高质量发展的内生动力。然而, 一方面, 传统产业绿色转型面临高碳路径依赖与技术、制度层面的多重障碍。当前诸多行业仍依赖高碳能源结构, 煤炭发电系统智能化改造进展缓慢, 电网等基础设施的数字化水平不高。高耗能行业的生产流程缺乏智能优化, 能源管理方式粗放, 碳减排技术应用不够深入。另一方面, 生态资产市场化机制存在不足, 导致生态资源的经济价值释放受阻。各地虽然深入开展生态产品价值实现的实践探索, 积累了不少宝贵经验, 但依然存在生态文明建设“争地”、生态产品价值核算方法市场认可度不高、金融创新不足、生态产品交易平台及变现渠道仍有待拓展等问题^[27], 制约生态产品供给与需求的高效精准匹配。

4.4 生态环境数字化治理存在体系性障碍

推进生态环境治理数字化治理是提升生态环境治理体系和治理能力现代化水平的内在要求, 也是落实美丽中国建设的重要实践。目前生态环境数字化治理存在体系性障碍。首先, 生态环境数据整合与治理能力不足。生态环境监测网络尚未实现全域覆盖, 空气质量、碳排放等关键指标在部分区域和环节存在监测盲区, 导致数据采集的完整性和代表性不足。其次, 跨部门协同机制尚未形成系统性突破。各部门间数据接口标准不统一, 信息孤岛现象普遍存在, 导致环境、气象、水利等系统间难以实现高效联动。跨区域生态治理数字化协作平台建设仍处于初级阶段, 流域生态补偿等机制仍依赖人工经验判断, 缺乏动态调整能力。再次, 公众参与机制尚未形成有效闭环。环境数据开放程度不足, 可视化平台更新滞后, 公众对碳治理的认知多停留在表层。在线监督渠道功能单一, 碳足迹追溯与举报反馈机制不健全, 企业环境行为透明度不足, 削弱了社会监督效能。此外, 政府、企业与公众之间的协同网络缺乏数据联动与激励机制, 社会共治格局尚未真正形成, 导致公众参与流于形式, 难以转化为实际治理动能。

4.5 低碳数字社会转型存在客观挑战

生活方式是生产力与生产关系互动关系的具体体现, 涵盖人们衣食住行、消费娱乐、社会交往等各个方面, 反映了生产力和生产关系条件下的生活状态及文化特征, 也是人们价值观、审美观、道德观和社会习俗的集中表现。在数字生态文明时代, 人们的生活方式呈现数字化、绿色化协同转型态势, 是数字生态社会的显著特征^[13]。但在数字低碳生活方式领域, 绿色理念与实践之间存在明显落差。尽管公众对低碳生活的认知逐步提升, 但绿色消费习惯尚未普及, 例如一次性用品使用频繁、智能家电长期待机耗电等现象普遍存在。家庭能源消耗结构仍以传统化石能源为主, 清洁能源占比偏低, 尤其在农村地区, 煤炭、生物质能仍占主导地位。有研究指出, 中国基于消费的人均碳排放量从 1990 年的 2.01 吨上涨至 2020 年的 7.04 吨, 若不推动消费者行为的低碳化转型, 居民部门的能源消耗和碳排放不仅总量将持续上升, 其在全社会中的占比也可能进一步扩大, 这将对实现碳中和目标形成一定制约^[28]。社区和城市作为人类集群的重要载体, 其智慧化与低碳化转型是保护生态环境、提升生活质量的必然选择。城市是减碳主阵地, 增量建设与存量更新都面临挑战^[29]。智慧低碳的城市建设涉及社区建设、能源支撑、交通出行及智慧互联运营系统等方面的内容要求, 也是当前亟须进一步讨论和细化的问题。

4.6 生态环境数字化治理存在规则困境

在立法层面, 人工智能、大数据、数字孪生等新技术在环境治理中的应用缺乏专门立法支持, 导致数据权属、算法透明度等核心问题无法可依。浙江 GEP 核算、武汉碳普惠等地的创新实践取得显著成效, 但并未上升为全国性的法律法规, 可能出现“地方先行、法律滞后”的制度断层。在执法决策层面, 数字技术虽提升执法效率, 但算法决策存在透明性与可解释性不足, 其内在逻辑难以被大众理解, 易引发执法争议。此外, 基于算法平台数据计算和分析自动化作出的生态治理决策行为, 本质上仍是公共部门行使治理权的体现, 但随着技术与权力的深度结合, 人类角色逐渐向“监督者”转化, 加之技术中性等观念的影响, 原本清晰的权责对应关系开始出现模糊。在司法层面, 生态损害赔偿诉讼中, 碳汇损失、生物多样性破坏等新型生态环境权益具有无形性、系统性和长期性特征, 难以直接用传统财产损害的计算方式衡量, 导致诉讼请求难以具体化、精确化。物联网设备、卫星遥感、AI 分析生成的生态环境损害证据, 在诉讼中的采信规则不明, 影响了公益诉讼与赔偿制度实效。

5 美丽中国数字化治理体系建设的突破路径

美丽中国数字化治理体系建设是实现美丽中国建设目标和中国式现代化的重要路径，需直面实践困境，精准识别和解决问题，针对性提出优化路径，助力实现美丽中国数字化治理体系建设。

5.1 推进生态环境数据融合创新

首先，应加快构建全国统一的自然资源三维立体“一张图”数据库体系。强化多源异构数据的整合能力，通过引入遥感监测、地理信息系统(GIS)与物联网感知技术，实现土地、矿产、森林等自然资源的多维动态建模与可视化呈现，构建覆盖全域的立体化生态数据基础。其次，推动污染物与温室气体排放数据采集体系的精准化与智能化。推动环境监测体系的智能化升级，试点部署边缘计算节点与智能传感设备，结合 AI 图像解析技术，精准捕捉工业废水、大气颗粒物等传统污染物的时空分布特征，同步拓展对微塑料等新型污染物的识别与追踪能力，形成污染源全生命周期数据链。最后，强化生态环境数据的标准化管理与跨领域融合能力。建立跨领域数据协同机制，打通生态环境数据与宏观经济、城市规划、产业运行等领域的壁垒，通过制定统一的数据编码规则与接口标准，构建动态更新的“数据立方体”，为生态治理决策提供多维度、高时效的支撑。

5.2 构建低碳化智能数据中心基础设施体系

首先，建立适应气候变化的数据中心规划框架。利用地理空间大数据分析，筛选出气候寒冷、空气干燥且清洁能源丰富的地区作为建设算力枢纽的优先选址。通过多目标优化模型，综合考虑网络延迟、能源效率和碳排放等因素，实现数据中心节点的分级布局。其次，推进新能源与数据中心的能源系统集成。探索将数据中心与风电、光伏等可再生能源电站进行物理连接与数字模拟联动的方式，开发集成风、光、储一体化的柔性供能系统，并基于智能合约技术，打造绿色电力动态交易机制，实现电力供应波动与数据中心用电弹性的高效匹配。再次，深化智能化的融合调控技术体系。构建融合边缘计算与云计算的混合架构，部署含温度场、气流组织监测矩阵的多维度环境感知网络，整合热力学仿真平台和实时温度传感设备，协调服务器负载、制冷效率以及余热回收之间的关系。在散热管理方面，重点研究相变材料储能冷却、量子点辐射制冷等新技术，并结合流体模拟技术，构建智能气流调控模型，实现“主动式热管理+被动式节能”目标。最后，完善覆盖全生命周期的碳评估体系。引入建筑信息模型和数字孪生技术，搭建碳

流追踪平台，形成自然冷源与机械制冷的智能切换机制，最终实现数据中心从设计到运维的全过程数字化管理。

5.3 构建数字技术驱动的绿色低碳技术协同创新机制

首先，打造智能化的绿色技术协同研发平台，通过大数据分析 with 人工智能算法优化研发流程。基于深度学习算法对实验参数进行动态优化建模，实现数据驱动的研发范式转型，形成虚拟仿真和实体验证的技术研发机制，大幅提升研发效率并降低试错成本。其次，建立跨领域多主体协同创新生态，推动形成“政产学研金介用”的数字化合作网络。应用区块链搭建跨领域知识协作平台，打通企业、高校、金融机构和政府部门间的数据孤岛，基于智能合约实现技术成果转化中的权益自动分配与风险共担机制，系统性提升绿色低碳技术的扩散效率与资源配置优化水平。最后，打造智能化绿色技术交易市场基础设施，开发基于深度学习算法的供需智能撮合系统，通过自然语言处理技术解析技术需求特征，结合多维度数据挖掘构建动态匹配模型，实现技术供给端与需求端的精准对接。依托物联网设备构建技术应用效果链上追踪体系，形成覆盖研发、交易、落地的全生命周期可信评估生态，压缩中间冗余环节，提升技术市场化效率。

5.4 加强产业数字化绿色化协同转型

一是升级能源体系。推动煤电系统向智能、绿色新型能源体系转变，利用智能分散控制系统提升燃煤机组效率，实现节能降碳。提高电网等基础设施的信息化和智能化水平。二是推动制造业绿色化转型。针对高能耗行业，通过数智化手段优化生产流程，提高能源资源使用效率，降低故障率和产品残损，助力企业实现碳减排目标。三是构建绿色智慧供应链。在供应链各环节应用数字技术，从研发到循环利用，实现全程绿色管理。四是搭建循环经济体系。建立数字化平台支持商品交换、共享及回收，运用 RFID 和传感器技术实现组件再利用和再制造，构建循环生产模式。五是实现绿色建筑优化。采用大数据等技术改进建筑设计、施工、运营过程，提高资源利用效率和建筑能效，并实时监控环境质量。六是交通运输升级。投资建设智慧交通设施，包括智能信号灯等，提升交通枢纽间的衔接能力，发展多式联运的绿色智慧物流体系。七是发展绿色智慧农业。创建智慧农业云平台，促进农业资源高效利用、精准管理以及信息共享，确保农产品安全可追溯，推进农业生态化转型。

5.5 以数字技术破解生态产品价值实现难题

通过生态系统修复、生态环境治理保障生态产品的存量供给，已经成为生态产品价值实现的前提和典型模式^[30]。生态经济数字化通过技术赋能生态产品价值实现

的全流程,推动生态修复、环境治理、生态保护补偿及生态产品交易等环节协同创新^[3],破解生态产品价值实现中的“五难”问题。一是在供给端构建天地空立体感知网络,依托卫星遥感、智能传感器网络与边缘计算节点,实时监测生态修复进程与森林碳汇动态,通过智能决策系统优化生态产品生产规划,实现供给规模与生态容量的动态平衡。二是在价值度量维度开发复合评估模型,整合多源数据构建生态资产数字档案,精准核算生态产品的存量、流量和质量,为生态补偿、碳交易等提供可信量化依据。三是在金融赋能层面构建生态资产数据中台与区块链存证系统,通过动态环境因子与市场变量的机器学习预测,生成智能估值报告与风险预警图谱,驱动绿色金融产品从抵押贷款向碳汇期权等衍生品升级。四是在交易环节构建涵盖生态产品类别、产地、价格等信息的智能化数据库,结合大数据、人工智能优化交易平台运营效率。搭建多层次数字化交易市场,推动碳排放权等生态权益交易,并通过区块链技术确保数据真实不可篡改,增强市场公信力。五是在价值变现领域利用区块链实现生态产品信息可查询、质量可追溯,促进溢价增值,并通过电商平台、直播带货等渠道拓展消费路径。同时,搭建生态交易数字平台,推动生态产品供需精准对接,并通过科学核算生态价值,为跨区域补偿、政府购买服务等机制提供数据支撑,实现生态价值向经济收益转化。

5.6 构建生态环境全周期数字化治理体系与数字碳中和实现路径

一是建立多维度生态环境信息集成平台。通过构建智慧化生态环境管理平台,实现对空气质量、水体质量、土壤健康、生物多样性及碳排放等核心指标的全域、全要素动态感知与实时监测,提升环境风险预测的时效性与精准性。强化多源异构数据融合能力,完善数据采集、分类、共享及应用的标准化规范体系,推动生态环境数据的深度挖掘与跨领域协同应用。依托动态监测技术,对区域、城市、行业、园区及微观主体的碳排放量进行全生命周期追踪,构建“双碳”目标落实主体的可监测、可管理、可视化大数据解决方案,为碳减排责任量化提供科学依据。二是构建跨部门协同治理的数据共享机制。通过制定统一的数据共享协议与接口标准,推动生态环境、气象、水利、交通等多部门数据的互联互通,打破“数据烟囱”与“数据孤岛”现象。强化跨区域、跨流域的联防联控能力,建立大气污染联控、水污染协同治理及固体废物转移监管的数字化协作网络,实现流域上下游生态保护补偿的精准核算与动态调整,提升生态环境治理的系统性与协同性。三是推动生态环境治理决策的智能化与精准化转型。集

成大数据分析、人工智能等技术,构建生态环境监测感知、预警预报、形势研判、风险防控、应急处置、监管执法的全链条决策支持体系。通过算法模型优化,精准核算企业与区域的碳排放强度及配额分配,基于智能合约技术实现碳配额交易的实时撮合与动态调整,确保碳市场运行的公平性与效率性。利用数字孪生技术模拟生态环境演变趋势,辅助政策制定者优化治理策略,从而破解重点领域的治理瓶颈。四是构建公众参与的生态环境监督体系。建立开放型环境监测数据可视化平台,通过多渠道信息传播普及碳治理知识,增强公众对碳减排的认知与参与度。完善数字化法治化监督机制,支持公众通过在线举报、碳足迹追溯等功能监督政府与企业的治理行为,提升碳治理的透明度与公信力。通过构建政企社三方协同的数字化监督网络,形成全社会共同参与的生态环境治理新格局。

5.7 构建数字低碳生活方式新范式与智慧零碳城市体系

一是培育数字赋能的低碳消费行为模式。通过数字化媒介传播绿色低碳理念,系统提升公众数字环保素养;普及智能化家居与照明系统,优化家庭能源消耗结构;推动远程办公、在线会议及共享出行服务的规模化应用,重塑低碳消费场景。构建个人碳账户体系,配套积分激励机制,形成基于数字技术的碳减排量化评估与正向反馈机制。二是打造数字化零碳社区生态系统。构建社区级智能微电网系统,集成分布式能源管理与需求响应技术,实现能源生产、传输与消费的闭环优化。依托物联网技术实现设备互联与数据集成,部署社区碳排放动态监测平台,通过多维度碳足迹核算模型实时追踪碳排放轨迹。运用数字孪生技术提升水资源管理、垃圾分类回收等基础设施的智能化水平,构建社区级资源循环利用网络。三是构建智慧城市低碳转型支撑体系。建立城市低碳转型动态监测体系,覆盖重点行业、产业园区及公共设施的碳排放全链条监管。研发城市智能电网与能源数字孪生系统,融合多源异构数据实现能源生产、传输及消费的智能优化决策。构建智慧交通决策支持平台,集成共享出行调度算法与交通流量预测模型,优化城市交通碳排放结构。搭建城市废弃物全生命周期数字管理平台,通过区块链技术实现垃圾减量化、资源化与无害化处理的可追溯监管。最终形成以数据驱动、智能协同、闭环反馈为核心的智慧城市低碳发展范式,为实现“双碳”目标提供系统性解决方案。

5.8 健全生态环境数字化治理体系的法治保障

美丽中国建设离不开有力的法治支撑,必须始终坚持依法治国的基本原则,以《生态环境法典》的编纂为核心引领,不断完善和优化环境法律体系,同时加强司法

机制和执法能力建设，推动生态文明治理迈向更高水平。一是建议在《生态环境法典》中增设数字环境治理专章内容。将“数字环境治理”作为独立专章纳入环境法律体系，确立遥感监测、物联网、大数据分析、人工智能等数字技术在环境监管、执法、司法中的法律地位和效力。同时采取审慎监管的方式，建立将治理经验转化为制度成果的有效渠道，通过动态立法不断完善数字治理规则体系，规范环境数据采集、处理与应用活动，保障数据安全与权益，最终构建涵盖风险预防、权益保护和责任追究的多层次法治保障体系。二是明确提升生态环境数字治理决策的透明性和可解释性。为提升数字生态治理的监督质效，对于算法的运作过程、数据来源、模型结构及其决策逻辑应当适当对外公开，使相关方能够了解算法如何处理输入数据并产生输出结果。同时强调能够清晰解释环境质量数据标准及其算法决策过程，使非专业人士也可对空气、水质、土壤等环境数据信息有所认知，并理解数字决策为何做出特定的判断或预测。三是加强生态环境领域的标准建设。应加快制定《生态环境损害鉴定评估技术规范》的配套细则，明确碳汇损失和生物多样性损害的量化评估技术规范。同时，整合科研机构、监测网络数据，建立不同区域、不同类型生态系统的本底数据库和关键参数推荐值库，为公益诉讼和赔偿评估提供科学支撑。■

参考文献：

- [1] 潘中祥，单胜道. 以绿色低碳发展赋能美丽中国建设[J]. 红旗文稿，2025（6）：45-48；
- [2] 韩娇柔. 新质生产力推动美丽中国建设的逻辑理路、现实梗阻与基本途径[J]. 重庆社会科学，2024（9）：6-20.
- [3] 董战峰，周佳. 美丽中国建设的制度体系研究[J]. 生态经济，2025，41（1）：13-18.
- [4] 董战峰，昌敦虎，郝春旭，等. 全面推进美丽中国建设的环
境经济政策创新研究[J]. 生态经济，2023，39（12）：13-18.
- [5] 郭晓燕. 数字化赋能生态文明转型的难题与路径[J]. 人民论坛，2022（6）：60-62；
- [6] 刘国菊. 数字生态文明建设的内在逻辑与实践路径[J]. 人民论坛·学术前沿，2023（18）：87-91.
- [7] 黄爱宝. 数字生态文明的理论蕴涵、实践机理与建设价值[J]. 南京工业大学学报（社会科学版），2024，23（2）：12-22.
- [8] 刘希刚，刘轩宇. 生态环境治理现代化的数智化赋能及其实践进路[J/OL]. 南京邮电大学学报（社会科学版），2024：1-9. <https://doi.org/10.14132/j.cnki.nysk.20241203.001>.
- [9] 陈军，尹芃. 数字技术赋能生态环境治理：生成逻辑、运行机理与优化路径[J]. 中南民族大学学报（人文社会科学版），2025，45（2）：123-135.
- [10] 顾金喜. 生态治理数字化转型的理论逻辑与现实路径[J]. 治理研究，2020，36（3）：33-41.
- [11] BINDER J, WADE M. Digital sustainability for a better future [J]. *Stanford Social Innovation Review*, 2023, 22(1): 52-60.
- [12] 孙金龙. 以美丽中国建设全面推进人与自然和谐共生的现代化[J]. 环境保护，2024，52（Z2）：8-10.
- [13] 孙博文. 面向中国式现代化的数字生态文明建设的三重逻辑[J]. 改革，2024（10）：62-77.
- [14] 李宏伟. 健全生态环境治理体系共建美丽中国[N]. 经济日报，2024-10-08（10）.
- [15] 唐玉青. 多元主体参与：生态治理体系和治理能力现代化的路径[J]. 学习论坛，2017，33（2）：51-55.
- [16] 李晓华. 我国地方政府生态治理能力提升路径研究：评《生态治理现代化》[J]. 生态经济，2022，38（2）：230-231.
- [17] 杨虎涛. 数字经济：底层逻辑与现实变革[M]. 北京：社会科学文献出版社，2023.
- [18] PEREZ C. Structural change and assimilation of new technologies in the economic and social systems [J]. *Futures*, 1983, 15(5): 357-375.
- [19] 黄爱宝. 数字生态文明的理论蕴涵、实践机理与建设价值[J]. 南京工业大学学报（社会科学版），2024，23（2）：12-22.
- [20] 河南省生态环境厅对省政协十三届二次会议第1320931号提案的答复[EB/OL].（2021-05-31）[2025-04-01]. <https://sthjt.henan.gov.cn/2024/06-13/3007737.html>.
- [21] 张夏恒，刘彩霞. 数据要素推进新质生产力实现的内在机制与路径研究[J]. 产业经济评论，2024（3）：171-184.
- [22] ANDRAE A S, EDLER T. On global electricity usage of communication technology: Trends to 2030 [J]. *Challenges*, 2015, 6(1): 117-157.
- [23] 《中国数字基建的脱碳之路：数据中心与5G减碳潜力与挑战（2020—2035）》报告发布[EB/OL].（2021-05-31）[2025-04-01]. <https://www.cenews.com.cn/news.html?aid=175824>.
- [24] 唐萍萍，任保平. 数字经济赋能我国生态现代化的机制、路径与政策[J]. 烟台大学学报（哲学社会科学版），2024，37（5）：85-99.
- [25] 孟浩，王伟强. 数据要素驱动数字经济发展的现状、问题及应对建议[J]. 通信世界，2024（12）：18-19.
- [26] LIU Z, DENG Z, HE G, et al. Challenges and opportunities for carbon neutrality in China [J]. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2022, 3(2): 141-155.
- [27] 孙博文. 建立生态产品价值实现机制：“五难”问题及优化路径[J]. 天津社会科学，2023（4）：87-97.
- [28] 林伯强，贾寰宇. 消费者行为低碳转型：困境及出路[J]. 社会科学战线，2023（11）：55-63.
- [29] 王凯. “双碳”背景下的城市发展机遇[J]. 城市问题，2023（1）：15-18.
- [30] HANSEN K, DUKE E, BOND C, et al. Rancher preferences for a payment for ecosystem services program in Southwestern Wyoming [J]. *Ecological Economics*, 2018, 146: 240-249.
- [31] 孙博文. 建立健全生态产品价值实现机制的瓶颈制约与策略选择[J]. 改革，2022（5）：34-51.

（责任编辑：冯胜军）