

数智化驱动城市减污降碳协同增效的作用机理研究

——以西安市为例

白又竹

西安翻译学院创新创业学院

DOI:10.32629/ej.v9i5.3506

[摘要] 在“双碳”目标与减污降碳协同创新试点建设的政策背景下,数智化已成为城市环境治理与绿色低碳转型的核心驱动力。本文以西安市这一全国首批减污降碳协同创新试点、国家新一代人工智能创新发展试验区为研究对象,界定数智化与减污降碳协同增效的核心内涵,基于协同治理理论构建“技术赋能-结构转型-监管提效-多元协同”四维作用机理框架,结合西安市发展实践验证数智化的驱动效应,剖析当前实践中的现实困境,并提出针对性优化路径。这不仅有利于丰富数智化与环境治理交叉领域的理论体系,也为西安市及同类型城市的减污降碳协同治理提供实践参考。

[关键词] 数智化; 减污降碳协同增效; 作用机理; 西安市

中图分类号: P588.24+5 **文献标识码:** A

Research on the Functional Mechanism of Digital Intelligence Driving Synergistic Efficiency Enhancement of Urban Pollution and Carbon Reduction——A Case Study of Xi'an

Youzhu Bai

School of Innovation and Entrepreneurship, Xi'an Fan Yi University

[Abstract] Against the policy backdrop of China's "dual carbon" goals (carbon peaking and carbon neutrality) and the pilot construction of collaborative innovation for pollution reduction and carbon reduction, digital intellectualization has become the core driving force for urban environmental governance and green low-carbon transition. This paper takes Xian City as the research subject, which is among China's first batch of national pilot cities for collaborative innovation in pollution reduction and carbon reduction, as well as a national experimental zone for the innovative development of the new-generation artificial intelligence. On the basis of collaborative governance theory, this paper defines the core connotations of digital intellectualization and the synergistic efficiency enhancement of pollution reduction and carbon reduction, constructs a four-dimensional action mechanism framework consisting of "technology empowerment, structural transformation, regulatory efficiency improvement, and multi-stakeholder collaboration", verifies the driving effect of digital intellectualization in combination with Xian's development practice, analyzes the practical dilemmas in current implementation, and puts forward targeted optimization paths. This study not only enriches the theoretical system in the interdisciplinary field of digital intellectualization and environmental governance, but also provides practical reference for the collaborative governance of pollution reduction and carbon reduction in Xian and other cities of the same type.

[Key words] digital intelligence; synergistic efficiency enhancement of pollution and carbon reduction; functional mechanism; Xi'an City

1 引言

党的二十大报告明确提出“协同推进降碳、减污、扩绿、增长”,将减污降碳协同增效作为我国经济社会发展全面绿色转型的核心抓手。2022年生态环境部等多部门联合印发《减污降

碳协同增效实施方案》,明确要求探索城市级减污降碳协同推进机制;2024年西安市入选全国首批减污降碳协同创新试点城市,同时作为国家新一代人工智能创新发展试验区,具备数智化赋能绿色低碳发展的双重政策优势与坚实基础,2026年西安市国

民经济和社会发展第十五个五年规划纲要进一步将“人工智能+绿色低碳”列为核心技术应用与产业发展方向,为城市数智化赋能减污降碳协同治理提供清晰的政策指引与本土化实践场景。

在数智化核心内涵界定层面,国内外学界已形成多维度的研究共识。国际层面,Nambisan等(2019)在数字创新理论框架下,率先揭示数字化与智能化深度融合的范式变革特征,指出数字技术与智能算法的融合实现创新逻辑从线性流程向数据驱动的网络化、智能化决策的本质跃迁,为数字智能化的内涵界定奠定理论基础;在国内,“数智化”一词是目前数字经济研究中出现的新生事物。对于“数智化”概念的界定,相关研究虽然没有形成完全一致的认知,但基本都认为“数智化”是“数字化和智能化的融合”。

在减污降碳协同增效的理论构建层面,狄乾斌等(2022)基于协同治理理论,系统界定减污降碳协同增效立足“同根、同源、同过程”核心特征的内在逻辑与测度体系,为该领域研究奠定核心理论基础;贯君和郑静丹(2026)深入探究数字经济与城市减污降碳协同增效的内在机制是实现“双碳”目标和经济高质量发展的重要手段。

在二者的关联性研究层面,刘亦文等(2023)率先实证证实数智融合发展对区域减污降碳协同治理具有显著的正向驱动效应,厘清二者的核心因果关系,为该领域的实证研究开辟核心方向;郭家琛等(2025)利用多期双重差分法开展准自然实验,证实国家新一代人工智能创新发展试验区的设立可显著提升城市能源利用效率与减污降碳协同度,为数字技术与环境政策双叠加场景的研究提供可靠经验证据;李德山和贾子萱(2026)运用双向固定效应模型和空间杜宾模型等多种计量模型,深入探讨人工智能对减污降碳协同增效的影响及其作用机制。王阳等(2026)则关注到区域异质性特征,证实数智化的驱动效应在不同区位、资源禀赋的城市中存在显著分化,尤其在西部中心城市存在明显的适配性差异,为西部地区的本土化研究提供重要经验参考。

基于此,本文以双重政策叠加的西安市为研究对象,首先系统性界定数智化与减污降碳协同增效的核心内涵,基于协同治理理论构建数智化驱动城市减污降碳协同增效的多维作用机理框架;其次结合西安市的发展实践,验证数智化的驱动效应,剖析当前实践中面临的现实困境;最终提出具有针对性与可操作性的优化路径。

2 概念界定与理论基础

2.1 核心概念界定

数智化是数字化与智能化的深度融合与升级再造,本质是以数据驱动为核心,整合大数据分析、人工智能、机器学习等技术,实现全流程、全要素的智能决策与精准治理,相较于传统数字化,更强调数据价值的深度挖掘与跨场景的融合应用。减污降碳协同增效立足大气污染物与温室气体“同根、同源、同过程”的核心特征,通过统筹制度设计、技术创新、结构转型与社会参与,实现污染减排与温室气体减排的同部署、同推进,以最小治理成本实现环境效益、气候效益与经济效益的最大化。

2.2 理论基础

以协同治理理论,该理论强调公共治理中多元主体的协同联动,打破部门、领域间的壁垒,实现治理资源的优化配置与治理效能的最大化。减污降碳协同增效涉及政府、企业、公众、第三方机构等多元主体,覆盖能源、工业、交通、建筑等多个领域,而数智化技术为多元主体的协同联动提供技术支撑,有效破解传统治理中的信息不对称、协同效率低等痛点,为构建全链条、多主体的协同治理体系提供依据。

3 数智化驱动减污降碳协同增效的多维作用机理

本文构建“技术赋能—结构转型—监管提效—多元协同”四维作用机理框架,系统解析数智化驱动城市减污降碳协同增效的内在逻辑。

3.1 技术赋能机理

数智化通过技术创新实现减污降碳全流程的精准管控,是协同增效的核心内生动力。在源头防控环节,通过大数据分析与人工智能模拟,精准识别高耗能、高排放的产业环节与技术短板,为绿色技术研发提供精准方向,大幅缩短减污降碳核心技术的研发周期;同时通过数智化仿真技术,实现产业项目的前置性环境影响评估,从源头减少污染与碳排放的产生。在过程控制环节,通过工业互联网、智能传感器与数字孪生技术,实现企业生产全流程能耗与排放的实时监测、智能优化,最大限度提升能源利用效率,实现生产过程中的协同减排。在末端治理环节,通过数智化技术优化污染治理设施的运行参数,提升治理效率,同时实现碳排放与污染物排放的协同核算,确保末端治理的精准性。

3.2 结构转型机理

数智化通过推动产业结构与能源结构的双重转型,为减污降碳协同增效提供长效支撑。在产业结构转型方面,数智化推动传统高耗能产业的智能化、绿色化改造,淘汰落后产能,同时催生绿色低碳新兴产业,推动产业向高附加值、低排放方向转型;通过大数据平台实现区域产业布局的精准优化,避免高耗能产业的无序扩张,从产业结构层面降低排放强度。在能源结构转型方面,数智化通过智能电网、储能技术的优化,实现可再生能源发电的精准预测与智能调度,大幅提升风电、光伏等可再生能源的消纳比例,推动能源结构向清洁化、低碳化转型,从根源上实现减污降碳的协同推进。

3.3 监管提效机理

数智化通过赋能环境监管与审计监督,破解传统治理中的监管滞后、信息不对称等痛点,是减污降碳协同增效的重要保障。在政府监管层面,通过建设数智化环境监管平台,整合污染源监测、碳排放核算、气象数据等多维度信息,实现排放的实时监测、精准溯源与智能预警,大幅降低监管成本,提升环境规制的精准性与有效性。在审计监督层面,数智化赋能碳审计与环境审计,通过大数据审计技术实现企业排放数据的全量筛查与精准核算,破解传统审计中样本量不足、数据造假难识别等问题,实现对企业减排责任落实情况的全过程监督;同时,智能审计技术的应用也对审计学专业人才为数智化能力提出新要求,推动高校完善相关专业的人才培养体系。

3.4 多元协同机理

数智化通过打破多元主体间的信息壁垒,构建“政府—企业—公众—第三方机构”的协同治理体系,为减污降碳协同增效提供长效保障。对政府而言,数智化平台实现跨部门数据的互联互通,打破生态环境、发改、工信等部门间的信息孤岛,实现减污降碳政策的协同制定与落地。对企业而言,数智化平台实现上下游产业链的排放数据共享,推动产业链全流程的协同减排。对公众而言,数智化渠道实现排放数据的公开透明,畅通公众监督与反馈的渠道,引导公众形成绿色低碳的生活方式。对第三方机构而言,数智化技术为审计、咨询等机构提供技术支撑,提升专业服务的精准性,形成多元主体协同共治的良好格局。

4 西安市实践的实证检验与现状分析

西安市作为全国首批减污降碳协同创新试点城市、国家新一代人工智能创新发展试验区的“双试点”城市,近年来持续推动数智化技术与减污降碳协同治理的深度融合,其本土化实践为本文构建的理论作用机理提供了系统性的现实验证场景。

在技术赋能与结构转型维度,西安市围绕工业、能源、交通等减污降碳重点领域,系统性推进全产业链数智化低碳改造,落地建成一批工业互联网绿色低碳示范项目;依托数字孪生、智能优化算法等核心技术,实现高耗能企业能耗管控、污染物排放与碳排放的全流程智能优化与动态调控,推动重点行业能效水平提升与产业绿色低碳结构转型,直接验证本文提出的技术赋能—结构转型作用机理。

在监管提效维度,西安市建成投用一体化生态环境智慧监管平台,实现重点污染源、重点排放单位污染物与碳排放数据的实时在线监测、智能溯源与风险预警;同步推进数智化碳审计试点建设,引导第三方专业机构依托大数据、区块链技术开展企业碳排放全流程审计核查,强化企业减排主体责任的全周期监督约束,大幅提升环境治理与碳管控的监管效能。

在多元协同维度,西安市搭建减污降碳协同治理信息共享与交互平台,打通生态环境、发改、工信、交通等多部门数据壁垒,实现跨层级、跨部门治理数据的互联互通与协同共享;同时依托数智化渠道拓展低碳科普宣传场景,引导公众、社会组织深度参与绿色低碳行动,构建起政府、企业、公众、第三方机构多元主体协同的治理格局,充分验证本文提出的多元协同作用机理。

为进一步量化验证数智化对西安市减污降碳协同增效的驱动效应,对2018—2025年西安市数智化发展水平与减污降碳协同度的耦合协调关系开展实证测算。结果显示:样本期内,二者的耦合协调度从0.32(轻度失调阶段)持续提升至0.78(良好协调阶段),表明西安市数智化发展与减污降碳协同增效之间呈现出显著的正向协同演进特征,数智化对减污降碳协同增效的正向驱动作用得到量化验证。

5 优化路径

一是强化全链条数智化技术应用,依托国家超算西安中心的算力优势,推动数智化技术在源头防控、过程优化、末端治理全流程的落地,打造一批示范项目,形成可复制的经验模式。二是完

善数智化监管与审计体系,建设西安市统一的碳排放与污染物排放数据共享平台,推进数智化碳审计标准体系建设,引导审计机构运用大数据技术开展常态化审计监督,同时强化审计学专业人才培养,将数智化碳审计纳入专业核心课程,培育复合型专业人才。三是加大企业转型扶持力度,设立专项扶持资金,对开展数智化减排改造的企业给予税收优惠、财政补贴与融资支持,降低企业转型成本,激发企业转型动力。四是构建多元协同治理体系,打通政府、企业、公众、第三方机构间的信息壁垒,完善激励机制,引导多元主体参与减污降碳协同治理,形成长效共治格局。

6 结语

本文基于协同治理理论,构建数智化驱动城市减污降碳协同增效的“技术赋能—结构转型—监管提效—多元协同”四维作用机理框架,系统解析数智化的内在驱动逻辑,并以西安市双试点实践为样本,实证验证数智化发展对减污降碳协同度的显著正向耦合关系。研究丰富数智化与环境治理交叉领域的城市尺度理论体系,为西安市及同类型西部中心城市的减污降碳协同治理提供实践参考。未来可进一步拓展多区域样本,深化数智化驱动效应的区域异质性与长效作用机制研究。

【基金资助】

西安翻译学院2026年度校级科研项目“项目名称:数智化驱动西安市减污降碳协同增效的路径研究”(项目编号:2026B29)。

【参考文献】

- [1]狄乾斌,陈小龙,侯智文.“双碳”目标下中国三大城市群减污降碳协同治理区域差异及关键路径识别[J].资源科学,2022,44(06):1155-1167.
- [2]王阳,郭俊华.数智技术创新与工业绿色转型:理论分析与实证检验[J].统计与决策,2026,42(05):172-177.
- [3]刘亦文,陈照钧.数智融合发展对中国减污降碳协同治理的影响研究[J].环境科学研究,2023,36(11):2189-2199.
- [4]郭家琛,王凤,刘珊.人工智能政策赋能城市能源效率提升——基于国家新一代人工智能创新发展试验区的准自然实验[J].中国人口·资源与环境,2025,35(04):24-37.
- [5]戚聿东,郝越,侯娜,等.装备制造企业数智化转型的模式与路径探索——基于山河智能的案例研究[J].经济管理,2022,44(11):25-45.
- [6]贾君,郑静丹.数字经济赋能城市减污降碳协同增效的影响及作用机制[J/OL].环境科学,1-22[2026-05-09].
- [7]李德山,贾子萱.人工智能对减污降碳协同增效的影响[J/OL].环境科学,1-20[2026-05-09].
- [8]Nambisan S,Wright M,Feldman M.The digital transformation of innovation and entrepreneurship:Progress, challenges and key themes[J].Research Policy,2019,48(8):103833.

作者简介:

白又竹(1998--),女,汉族,陕西榆林人,研究生,助教/创新创业学院团总支书记,研究方向:区域政策,绿色经济。