

基于人工智能驱动的减污降碳协同机制研究

杜娟*, 邓雯卉*, 苏畅, 吴若宇, 何辉龙, 闫金涛

天津商业大学管理学院, 天津

收稿日期: 2025年7月22日; 录用日期: 2025年8月22日; 发布日期: 2025年9月5日

摘要

本文聚焦人工智能驱动减污降碳协同机制的研究, 将人工智能技术引入减污降碳协同治理体系, 详细阐述减污降碳协同治理机制内涵和人工智能技术赋能框架, 系统分析AI技术对减污降碳控制的“技术驱动力”、“经济拉动力”及“实施障碍阻力”, 深入剖析各因素的驱动机制。通过构建“技术赋能-经济优化-环境效应”的模型, 实现“污染治理智能化、碳排放管控精准化、协同效益量化”的目标, 揭示人工智能在减污降碳协同治理中的驱动机制, 为智能环境治理提供理论依据与实践路径。

关键词

人工智能, 减污降碳, 协同机制, 技术驱动, 环境治理

Research on an Artificial Intelligence-Driven Collaborative Mechanism for Pollution and Carbon Reduction

Juan Du*, Wenhui Deng*, Chang Su, Ruoyu Wu, Huilong He, Jintao Yan

School of Management, Tianjin University of Commerce, Tianjin

Received: Jul. 22nd, 2025; accepted: Aug. 22nd, 2025; published: Sep. 5th, 2025

Abstract

This paper focuses on the research of an artificial intelligence-driven collaborative mechanism for pollution and carbon reduction. It introduces artificial intelligence technology into the collaborative governance system for pollution and carbon reduction, elaborates on the connotation of the collaborative governance mechanism and the AI technology empowerment framework, systematically analyzes the “technical driving force”, “economic driving force”, and “implementation barriers”

*通讯作者。

文章引用: 杜娟, 邓雯卉, 苏畅, 吴若宇, 何辉龙, 闫金涛. 基于人工智能驱动的减污降碳协同机制研究[J]. 可持续发展, 2025, 15(9): 34-40. DOI: 10.12677/sd.2025.159251

of AI technology in pollution and carbon reduction control, and deeply analyzes the driving mechanisms of each factor. By constructing a “technical empowerment-economic optimization-environmental effect” model, the goals of “intelligent pollution control, precise carbon emission control, and quantified collaborative benefits” are achieved. This paper reveals the driving mechanism of artificial intelligence in the collaborative governance of pollution and carbon reduction, and provides a theoretical basis and practical path for intelligent environmental governance.

Keywords

Artificial Intelligence, Pollution and Carbon Reduction, Collaborative Mechanism, Technology Driven, Environmental Governance

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

进入 21 世纪, 气候变化和环境污染已成为全球性的严峻挑战, 深刻影响着人类的生存与发展。为了实现可持续发展, “减污降碳”(即减少污染物排放和降低二氧化碳等温室气体排放)已成为世界各国的共同目标和紧迫任务。我国作为负责任的大国, 也明确提出“双碳”目标(碳达峰、碳中和), 展现了推动绿色低碳转型的决心。然而, 实现减污降碳并非易事。传统的环境治理和能源管理模式常常面临数据获取难、分析效率低、决策滞后、调控粗放等问题。面对复杂的工业流程、庞大的城市系统和瞬息万变的环境要素, 我们亟需更智能、更高效、更精准的解决方案。

恰逢此时, 人工智能(AI)技术迅猛发展, 为我们应对这些挑战提供了强大的工具。AI 具备强大的数据挖掘、模式识别、预测分析和优化决策能力。它就像一双“智慧之眼”和一颗“超强大脑”, 能够从海量、复杂的环境和能源数据中, 洞察我们肉眼难以发现的规律和关联, 预测未来趋势, 并给出最优化的行动方案。

本论文旨在探讨人工智能赋能“减污降碳”的作用路径及面临的技术、制度和成本等挑战。最终, 本文通过对现有研究和实践的梳理, 展望人工智能在未来推动绿色低碳发展中可能扮演的重要角色, 为相关领域的研究和实践提供了参考依据。

2. 理论基础

(一) 减污降碳协同内涵

“减污”是大气污染治理法律规范体系下所形成的、与污染治理相关的各类措施、机制、制度的概念集合。“降碳”指降低大气中以二氧化碳为代表的各类温室气体含量, 亦即温室气体减排[1]。

减污降碳协同效应源于协同学理论与国际绿色低碳发展实践的结合[2], 是指统筹推进减污行动和降碳行动, 利用两者同根同源(主要来自化石能源消耗)的特性, 通过优化政策、技术和管理路径(如源头防控、过程优化、避免“高碳治污”), 实现少投入、多环境效益(环境改善与气候保护)最大化, 是更高效、经济的可持续发展路径。

(二) 人工智能技术赋能框架

人工智能的核心能力包括大数据分析、机器学习预测、智能决策优化等。人工智能赋能是指利用人工智能技术赋予传统产品或服务新的能力和价值。其工作原理是将人工智能算法与大数据、云计算等技

术相结合，对现有系统进行升级改造。通过机器学习、深度学习等技术，人工智能系统可以自主学习和优化，从而实现智能化决策、自动化运营等。人工智能赋能可以提高效率、降低成本、优化体验，为企业带来新的竞争优势。该过程需要对现有系统进行重构，并引入人工智能组件，实现人工智能与业务的深度融合[3]。

3. AI 驱动的减污降碳动力机制

在深入剖析 AI 驱动减污降碳动力机制的过程中，为了更直观地呈现其内在逻辑与运行模式，将用图 1 清晰地展示这一机制的具体架构与关键要素。

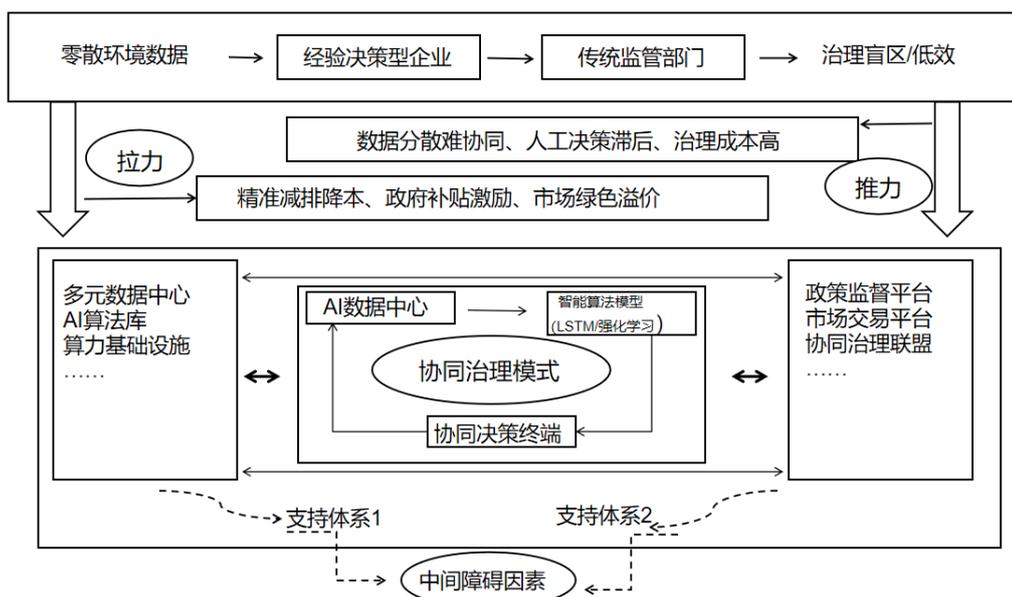


Figure 1. AI-driven model of the dynamic mechanism for pollution and carbon reduction
图 1. AI 驱动的减污降碳动力机制模型

(一) 技术驱动力

AI 驱动的减污降碳动力机制克服了传统治理手段难以适配精细化、高效化的减污减排需求的弊端，正有力回应着面对“双碳”目标硬约束与生态环境质量持续改善的双重压力，并且 AI 技术可以通过整合多维度环境数据，精准测算区域碳足迹与污染物排放强度，为精准减排提供科学依据，不仅助力突破“减污”与“降碳”协同治理的瓶颈，更成为应对环境压力、推动绿色转型的关键力量。

人工智能能够更好地处理不规则信息，对于系统资源的运转情况进行全面掌握，能够及时调整系统资源的变化情况，人工智能能够有效整合数据资源，实现网络信息资源共享，对用户之间的信息进行网络化集中管理，进一步提升了分布比较广泛的网络信息管理效率，综合提升网络信息管理的效益[4]。人工智能技术通过智能监控、实时捕捉污染源动态、依托数据分析精准预测污染趋势等功能，可以大幅提升减污降碳治理的效率并降低人工成本，有效解决传统治理方式中依赖人工检测导致的响应滞后、粗放式管控造成的资源浪费等问题，因此成为破解传统减污降碳治理困境的关键技术支撑。

(二) 经济拉动力

党中央统筹国内国际大局作出了碳达峰、碳中和的重大战略决策，为解决环境破坏、资源约束等问题提供了明确的政策指引，也为实现中华民族永续发展奠定了制度基础。正是在这一政策的拉动下，我国得以系统性地应对长期粗放型工业增长模式带来的生态环境压力——这一曾引发社会各界广泛关注的

难题，在政策的导向与推动下逐步迈向破解之路。

AI 技术可以通过精准识别污染源头、动态模拟碳排放趋势，提升治理的精确性与针对性，减少无效投入，优化能源资源利用效率，同时加速应急响应效率，进而大幅降低减污降碳的单位治理成本，这种显著的成本优势与效能提升形成强大拉力，可有效解决传统方式高成本、低效率的问题，满足了高效协同管控的现实需求。

(三) 实施障碍因素

人工智能的核心逻辑是“数据驱动的模式学习与应用”，即先从大量数据中学习特征规律并转化为模型参数，再用这些规律处理新问题，所以其具有场景适应能力差、缺乏因果理解、创造性不足和输出解释困难等局限性。进而衍生出技术缺陷导致输出错误、数据问题引发中毒、信息茧房、安全隐私泄露等潜在风险。

人工智能与制造业深度融合发展需以大数据为基础，而相对于消费环节，制造环节数据的可获得性、可通用性、可开发性明显更弱[5]。加上不同地区、不同行业的环保数据(如排污监测、能耗统计等)往往分散在各自系统中，形成“数据孤岛”的现象。人工智能若无法打破这种壁垒、实现数据的互通，就难以全面地学习和分析跨领域的减污降碳关联信息，可能导致对区域或行业整体排放趋势的判断片面化，进而影响减排策略的精准性。

跨部门合作的基础是协作，但由于各部门的职责分工不同，在危机爆发这种非常态的管理环境中，设立一个具有高度权威、能够统一指挥的中枢机构就显得尤为重要[6]。而我国目前在环保、能源、工信等部门的数据标准、管理权责不统一，难以形成协同的治理合力。人工智能在整合减污降碳的数据与策略时，可能会因部门壁垒而无法顺畅流通，导致技术方案落地时“卡壳”，最终削弱实际的减排效能。

人工智能的应用成本包括技术投入成本、技术开发成本、运营与更新成本等，这些成本叠加起来往往数额不菲，中小企业减污降碳资金本就有限，而 AI 部署需承担数据采集设备、算法开发及运维等成本。过高的成本投入远超其承受能力，导致了多数企业望而却步，难以借助 AI 技术实现减排目标，最终制约整体减污降碳进程。

4. AI 技术的作用路径分析

(一) 污染治理智能化

人工智能成为经济发展的新引擎。人工智能作为新一轮产业变革的核心驱动力，将进一步释放历次科技革命和产业变革积蓄的巨大能量[7]，其应用将给各个领域带来革命性的变化。人工智能技术的产生和推广，为环境污染治理带来了新的契机。首先，在环境监测方面，人工智能可以通过各类传感器和检测设备来感知环境中 PM_{2.5}、PM₁₀、二氧化硫等各类污染物的信息，进而提高环境污染信息的获取效率。在大数据时代，人工智能技术的应用可以通过机器学习、深度学习等算法快速处理和分析海量环境数据，从而快速提高信息的获取效率。人工智能超强的感知能力，可以更加高效地识别环境信息的来源，并对环境现状做出基本判断，为环境治理决策提供及时、准确的依据[8]。

(二) 碳排放精准管控

人工智能可以通过建立数据中心深度学习模型，实时监控运行数据，持续进行系统自主调优并给出维护策略[9]。在碳排放精准管控工作中，相关企业可借助人工智能技术强大的模拟预测能力，助力本企业未来的碳足迹及碳排放水平进行模拟与预测。基于这些具有预测性、前瞻性的分析结果，决策部门可结合企业的实际生产状况和行业减排标准等多重因素，制定出兼具科学性与可行性的碳排放目标。这种以数据预测为支撑的目标设定方式，既能避免因目标设置过高导致执行困难，又能防止因设定目标过低而弱化减排成效，为实现碳排放的精细化、精准化管控提供了重要依据。

(三) 协同效益量化

鉴于大气污染和温室气体(主要是二氧化碳)的共同来源及其治理机制的相似性,“减污”和“减碳”的协同治理已成为迫切需要,也是实现可持续发展的关键手段[10]。而 AI 技术可依托其强大的大数据分析能力,构建出涵盖“环境-经济-社会”的三维评价指标模型。该模型可以整合污染物削减量、碳排放强度、能源利用效率、成本投入、产业转型进度、公众健康收益等多源数据,通过算法精准测算出减污与降碳措施的协同效应。例如,量化某一减排技术在降低 PM_{2.5} 浓度的同时减少的碳排放量,以及由此带来的企业能耗成本节约和区域生态价值提升等关联效益,这些数据成果为评估政策或者技术的综合价值提供量化依据,助力实现减污降碳与经济社会发展的协同优化,推动更高效、更可持续的发展模式。

AI 技术的作用路径图示如图 2 所示。

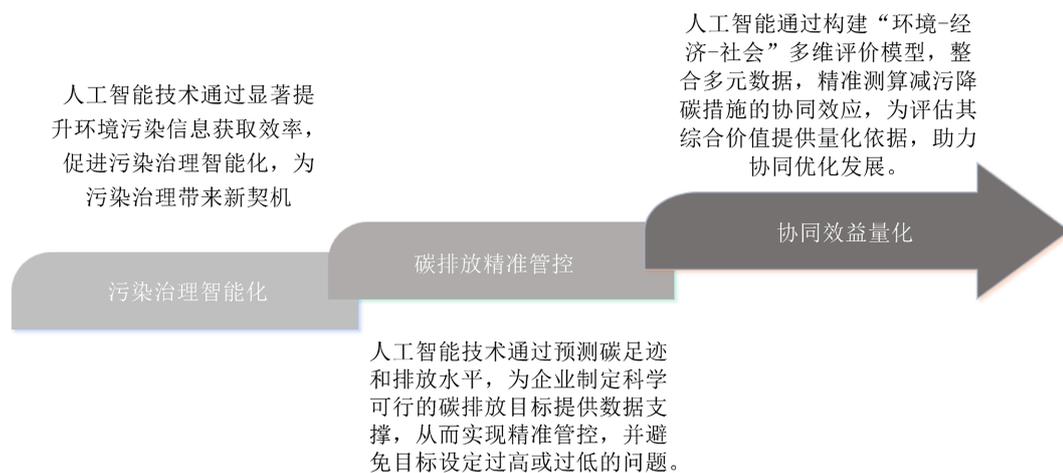


Figure 2. Analysis of the impact path of AI technology

图 2. AI 技术的作用路径分析

5. 机制模型构建——AI 减污降碳协同模型

(一) 输入层：多源环境数据

输入层是 AI 减污降碳协同模型的数据基础,主要负责整合多元环境与能源相关数据。具体涵盖了从实时空气质量监测数据(如 PM_{2.5}、NO_x 等污染物浓度)、各类能源消耗数据(化石能源消耗量、可再生能源发电占比等),到企业生产排放数据及区域生态环境基础数据等内容,通过标准化的处理方式形成结构化数据集,为模型后续分析提供全面、精准的原始信息支撑,克服因原始数据分散导致的数据利用价值不高等问题。

(二) 智能层：机器学习算法

智能层作为模型的核心处理环节,依托 LSTM (长短时记忆网络)、神经网络等机器学习算法实现数据深度解析。通过构建污染物与碳排放的关联模型,挖掘不同因素对减污降碳的影响机制,决定哪些信息需要丢弃或储存,同时模拟不同场景下的排放趋势与环境响应,实现对污染排放、碳足迹变化的精准预测,为后续决策提供科学的分析依据。

(三) 输出层：优化决策

输出层承担模型的决策生成功能,基于智能层的分析结果,输出具体优化方案。包括针对高排放企业停产限排的时段建议、可再生能源的动态调度策略和区域污染治理与碳减排协同措施等,将数据预测

转化为可落地的行动方案，确保减污降碳措施精准匹配实际需求，提升协同治理效能。

AI 减污降碳协同模型如图 3 所示。

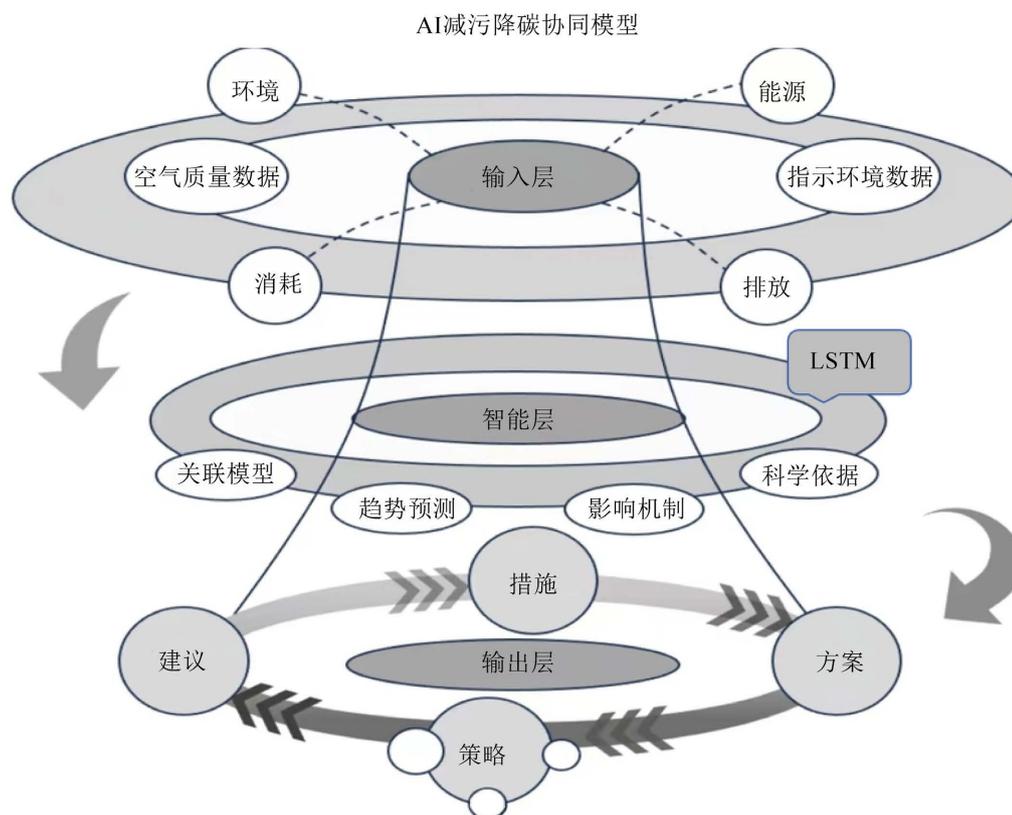


Figure 3. AI collaborative model for pollution and carbon reduction
图 3. AI 减污降碳协同模型

6. 结论与建议

本研究探讨了人工智能技术驱动减污降碳协同治理的机制与路径，通过构建“技术赋能-经济优化-环境效应”模型，揭示了 AI 在污染治理智能化、碳排放精准管控及协同效益量化中的核心作用。研究表明，AI 技术可通过整合多源环境数据、依托机器学习算法实现精准预测与优化决策，有效突破传统治理模式的效率瓶颈，为减污降碳协同提供技术支撑与量化依据。

同时，研究也发现，AI 在应用中仍面临技术壁垒(如数据孤岛)、制度短板(如跨部门协同不足)及成本约束等现实障碍。未来需通过完善数据共享机制、建立健全跨部门协同制度、降低技术应用成本等措施，推动 AI 技术与减污降碳深度融合，为实现“双碳”目标及绿色可持续发展提供更高效率的解决方案。

要推动 AI 减污降碳协同模型的有效应用，技术上需打破数据孤岛，搭建跨区域跨行业数据共享平台，优化 LSTM 等算法；制度方面，政府主导构建跨部门协同机制，完善配套政策，以税收优惠、优先扶持等激励企业；成本控制上，政府加大研发资金投入，鼓励技术输出方以租赁、云端服务等模式，为中小企业降本，促进模型广泛落地助力减污降碳。

基金项目

本文系 2024 年天津市哲学社会科学规划年度课题(项目编号: TJYJQN24-003)“数智融合驱动天津市

减污降碳协同治理机制与路径研究”的阶段性成果。

参考文献

- [1] 陈梓铭. 减污降碳协同治理的环境法典表达[J]. 南京工业大学学报(社会科学版), 2022, 21(5): 47-59+115-116.
- [2] 刘华军, 张一辰. 减污降碳协同效应的生成逻辑、内涵阐释与实现方略[J]. 当代经济科学, 2024, 46(3): 32-44.
- [3] 亚马逊云科技. 什么是人工智能赋能——人工智能有哪些优势[EB/OL]. <https://www.amazonaws.cn/what-is/artificial-intelligence-empowerment/>, 2025-07-10.
- [4] 韦银. 计算机网络技术中人工智能的应用研究[J]. 电脑迷, 2016(7): 47.
- [5] Du, J., Ren, X. and Wu, L. (2025) Zoning for Synergistic Reduction of Pollution and Carbon Emissions in the Beijing-Tianjin-Hebei and Its Surrounding Areas Based on Environmental Justice Principles. *Science of the Total Environment*, **990**, Article 179905. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.179905>
- [6] 邓洲. 促进人工智能与制造业深度融合发展的难点及政策建议[J]. 经济纵横, 2018(8): 41-49.
- [7] 国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2017(22): 7-21.
- [8] 王洛忠, 秦颖. 公共危机治理的跨部门协同机制研究[J]. 科学社会主义, 2012(5): 121-123.
- [9] 张伟, 李国祥. 环境分权体制下人工智能对环境污染治理的影响[J]. 陕西师范大学学报(哲学社会科学版), 2021, 50(3): 121-129.
- [10] 王淼. 人工智能助力城市“双碳”目标达成的路径及建议[J]. 中国经贸导刊, 2024(5): 50-53.