

人工智能在生态环境监测监管应用研究进展

曹洁

山西省生态环境监测和应急保障中心(山西省生态环境科学研究院)

DOI:10.32629/acair.v4i2.20384

[摘要] 在生态环境治理现代化持续推进背景下,人工智能(AI)正由辅助工具向关键支撑技术转变。针对传统监测监管模式在时效性、精准性及决策支撑方面的不足,人工智能通过多源异构数据融合与智能建模,重构了生态环境监测监管的技术路径。本文系统梳理人工智能在大气环境、水环境、生态质量及污染源监管等领域的应用进展,从“数据—模型—应用”耦合视角分析其赋能机理与技术范式。研究表明,人工智能在污染预测、污染源识别及监管决策等方面显著提升了环境治理效能,但仍面临数据体系不完善、模型适配性不足、标准规范缺失及复合型人才短缺等问题。为此,提出构建统一数据资源体系、强化关键技术创新、完善标准评价体系及加强人才培养等发展路径,研究可为人工智能与生态环境治理深度融合提供理论支撑与实践参考。

[关键词] 人工智能; 环境监测; 智能监管; 多源数据融合; 精细化治理

中图分类号: X83 文献标识码: A

Research Progress on the Application of Artificial Intelligence in Ecological Environment Monitoring and Supervision

Jie Cao

Shanxi Provincial Ecological Environment Monitoring and Emergency Support Center (Shanxi Provincial Academy of Environmental Sciences)

[Abstract] Against the backdrop of advancing ecological governance modernization, artificial intelligence (AI) is evolving from a supportive tool into a key enabling technology. To address the limitations of conventional environmental monitoring and regulation in terms of timeliness, accuracy, and decision support, AI leverages multi-source heterogeneous data fusion and intelligent modeling to reconstruct the technical paradigm of environmental supervision. This paper systematically reviews the application progress of AI in atmospheric environment, water environment, ecological quality assessment, and pollution source regulation. From a “data-model-application” coupling perspective, the enabling mechanisms and technical paradigms are analyzed. The results indicate that AI significantly improves environmental governance efficiency in pollution prediction, source identification, and regulatory decision-making. However, challenges remain, including incomplete data systems, limited model adaptability, lack of standardized frameworks, and shortages of interdisciplinary talent. Accordingly, this study proposes development pathways, including the construction of unified data infrastructures, advancement of key technologies, establishment of evaluation standards, and strengthening of talent cultivation. The findings provide theoretical support and practical references for the deep integration of AI into ecological environmental governance.

[Key words] Artificial Intelligence; Environmental Monitoring; Intelligent Regulation; Data Fusion; Smart Governance

1 引言

生态环境治理正由总量控制向质量改善与系统治理转型,对监测监管的实时性、精准性与系统性提出更高要求。传统模式以人工经验与离散监测为主,其本质是“低频采样+事后分析”,

难以准确反映环境要素的动态演变特征。

人工智能通过对多源环境数据的深度挖掘与模式识别,使环境监管由“离散观测”转向“连续感知”,由“事后响应”转向“事前预判”,逐步构建以数据驱动为核心的智能监管模式。

有研究指出,数据融合与智能分析能力已成为智慧环保体系的核心支撑^[1,3]。但从整体看,当前应用仍以场景驱动为主,缺乏统一技术框架与系统化方法论,亟需从理论与实践层面加以整合提升。

2 人工智能赋能机理与技术范式

从技术实现路径看,人工智能在生态环境监测监管中的作用可抽象为“三层耦合机制”:

2.1 数据层: 多源异构数据融合

生态环境数据具有典型的多源异构特征,包括监测站点数据、遥感数据、气象数据及污染源数据等。通过数据清洗、对齐与融合,实现从“数据孤岛”向“数据集成”的转变,是人工智能应用的基础^[4]。

2.2 模型层: 环境过程智能表征

基于机器学习与深度学习算法,对污染扩散、水体演化及生态变化过程进行建模,实现由“机理模型主导”向“数据驱动模型补充”的转变,提升预测精度与适应性^{[2][5]}。

2.3 业务层: 监管决策智能化

通过将模型输出嵌入监管流程,实现污染识别、风险预警与执法决策的自动化,形成“感知—分析—决策—执行”闭环,提高监管效率与科学性^[3,6]。

如图1所示,人工智能通过数据层、模型层与应用层的分级耦合,实现了生态环境监测监管由数据获取到决策执行的系统性重构。

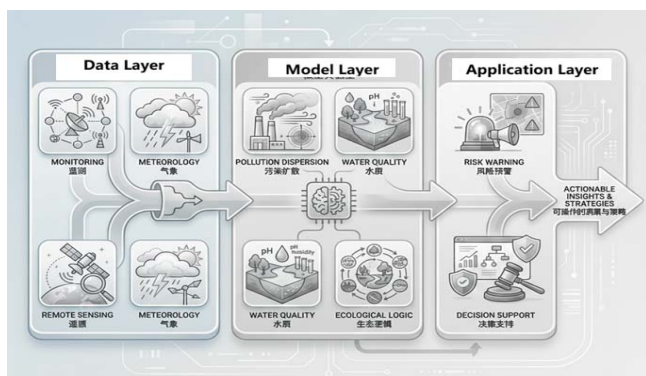


图1 人工智能赋能生态环境监测监管技术框架

注: 框架由数据层、模型层与应用层构成,体现“感知—分析—决策—执行”闭环过程。

3 典型应用领域进展

3.1 大气环境监测

大气环境具有污染物扩散快、来源复杂、时空分布不均的特点,人工智能技术有效解决了传统大气监测精准度低、溯源难、预测滞后的问题。在大气污染物浓度预测方面,基于LSTM长短期记忆网络、随机森林、深度学习等算法构建的预测模型,整合地面监测数据、卫星遥感数据、气象数据、污染源排放数据等多源信息,可实现PM_{2.5}、臭氧、VOCs等关键污染物短时精准预测,部分模型预测准确率达92%以上,较传统数值模型提升15个百分点,预测时长延长至72小时,为区域大气污染联防联控

提供精准支撑。

在污染源溯源与监管方面,人工智能结合卫星遥感、无人机航拍、地面传感网络,构建“天空地”一体化大气监测体系,通过图像识别、数据融合算法,精准定位工业废气无组织排放、露天焚烧、施工扬尘等污染源,实现污染源快速锁定与精准追溯^[2]。例如,部分城市搭建的AI大气监管平台,可自动识别违规排放行为并生成证据链,将污染源发现时间从传统的2天缩短至数分钟,显著提高执法效率。相关研究表明,基于多源数据融合的认可体系可显著缩短污染源定位时间^[1]。

3.2 水环境监测

人工智能在水环境中的应用主要体现在水质预测与污染识别。基于机器学习的水质模型可实现关键指标动态预测,并对异常变化进行提前预警^[5]。在水质实时监测与预警方面,基于机器学习的智能模型融合水质传感器、水文站、卫星遥感数据,可实时监测COD、氨氮、总磷、溶解氧等指标,有效识别水质异常状况,提前7-15天预警蓝藻水华、水质超标等风险,长江、珠江等流域应用的AI水质预警系统,已成功预警多起潜在水生态灾害事件,大幅降低水环境治理损失。

在监管实践中,视频识别与传感数据结合,可自动识别非法排污及水面异常情况,提升监管覆盖范围与实时性^{[3][6]}。同时,人工智能结合数字孪生技术,构建流域水环境虚拟模型,模拟污染物扩散路径、水文变化趋势,为流域协同治理、应急处置决策提供量化支撑,浙江、江苏等地区搭建的智慧水环境平台,实现了流域水质“监测—预警—溯源—处置”闭环管理^[3]。

3.3 生态质量与生物多样性监测

在生态质量监测方面,通过卫星遥感、无人机航拍结合深度学习算法,智能识别植被覆盖度、水土流失、土地荒漠化、生态破坏等状况,实时评估区域生态质量,生成生态质量评估报告,为生态保护红线监管、生态修复成效评价提供数据支撑。基于遥感与深度学习技术,可实现对植被变化及生态退化的自动识别,提高生态质量评估效率^[4]。

在生物多样性监测领域,声学识别、图像识别技术广泛应用,通过收录森林、湿地的自然声音,识别链锯声、非法捕猎声等异常声响,或通过红外相机影像自动识别野生动物种类、数量,监测野生动物栖息地变化,提升生物多样性监测与保护效率,遏制非法破坏生态的行为。同时,人工智能可分析生态系统演变规律,预测生态风险,为生态保护与修复决策提供科学指引。

3.4 污染源监管与智能执法

人工智能全面赋能污染源全流程监管与环境执法智能化升级,构建非现场、精准化、高效化的监管模式。在污染源在线监管方面,人工智能整合企业排污、治污设施运行、用电用能等数据,通过异常检测算法,实时识别超标排放、治污设施停运、数据造假等违规行为,实现全天候智能监管。

在环境执法方面,AI智能监管平台构建“智能发现—自动派单—执法处置—结果反馈”全流程闭环管理,依托视频监控、卫星遥感、传感数据自动识别环境违法行为并形成完整证据链,降低

执法成本,提升执法精准性与效率,防范人情执法与监管漏洞。同时,通过大数据执法决策模型,精准定位违法高发区域与类型,优化执法资源调配,提升监管效能。相关研究表明,人工智能在生态环境治理中应用不断深化,在数据融合、智能识别、辅助决策等方面发挥重要作用。

4 主要问题分析

4.1 数据支撑体系不完善,数据质量参差不齐

数据是支撑人工智能技术应用的关键要素,当前生态环境监测监管数据存在多方面问题:一是数据孤岛现象突出,生态环境数据分散在环保、水利、农业、气象、工信等多个部门,数据标准不统一、接口不兼容,难以实现跨部门、跨区域数据共享融合,人工智能模型无法获得全面的多源数据支撑;二是数据质量偏低,部分监测设备老化、运维不到位,导致数据失真、缺失,偏远地区监测点位覆盖不足,数据完整性差,影响模型训练效果与分析精准度;三是数据安全与隐私保护不足,生态环境数据涉及敏感信息,数据存储、传输、使用过程中缺乏完善的安全防护机制,存在数据泄露、滥用风险。

4.2 技术适配性不足,核心技术自主化程度低

一是技术与场景融合不深,当前人工智能技术多为通用型算法,针对生态环境监测监管特殊场景、复杂污染类型的定制化模型不足,模型通用性、可解释性差,在复杂地形、极端环境下应用效果不佳;二是核心技术依赖进口,高端监测传感器、核心算法框架、智能分析芯片等关键技术与设备仍依赖国外,国产化替代进程缓慢,存在技术“卡脖子”风险;三是多技术协同不足,人工智能与物联网、大数据、数字孪生等技术融合不够深入,监测、分析、监管、处置各环节衔接不畅,难以形成一体化智能监管体系。

4.3 标准体系不完善与复合型人才短缺制约应用发展

当前人工智能在生态环境监测监管领域应用仍处于发展阶段,存在标准规范体系不健全、复合型人才短缺等突出问题。一方面,缺乏统一的技术标准、应用规范与评估体系,监测设备、数据采集、算法模型、平台建设等标准尚未统一,造成各系统间兼容性差、难以互联互通;同时缺少科学的应用效果评估机制,无法有效量化监管成效,行业发展碎片化、无序化,难以规模化推广。另一方面,兼具环境科学、人工智能、大数据与信息技术的复合型人才严重不足,高校交叉学科建设与人才培养体系相对滞后;基层环保人员技术应用能力薄弱,技术人员又不熟悉环保业务流程,导致智能平台“重建设、轻运维、轻应用”,技术效能难以真正落地发挥^[5]。

5 发展路径与展望

5.1 强化生态环境数据治理与智能技术创新

未来将加快构建全国一体化生态环境大数据资源池,统一

数据采集、传输、存储与共享标准,打通跨部门、跨区域数据壁垒,推动环境质量、污染源、生态质量、气象水文等多源数据深度融合。加强数据质量管控,升级监测设备、完善监测网络,提升数据完整性与精准度;运用数据加密、隐私计算、区块链等技术构建全生命周期安全防护体系,实现数据“可用不可见”,保障安全合规使用,为AI模型训练提供高质量数据支撑。同时加大核心技术研发,聚焦高端传感器、国产化算法、专用AI模型等领域,突破技术垄断,实现自主可控;研发适配复杂场景的智能模型,推动人工智能与数字孪生、5G、遥感等融合,构建一体化智能技术体系,实现生态环境监测监管全流程智能化。

5.2 完善标准与评估体系,提升应用规范化水平

加快制定人工智能在生态环境监测监管领域的系列标准,涵盖技术研发、设备生产、平台建设、数据管理、算法评估、应用落地等全流程,形成统一的行业规范。推动国家标准、行业标准与地方标准协同衔接,完善技术应用效果评估指标体系,规范行业发展秩序,促进不同系统互联互通、互认共享,引导人工智能技术在生态环保领域规模化、规范化落地。

6 结论

人工智能通过重构生态环境数据处理与决策机制,正推动监测监管模式由经验驱动向数据驱动转型。从应用实践看,其在污染预测、源解析及执法协同等方面已展现出显著优势,但整体仍处于由“场景应用”向“体系化赋能”过渡阶段。

未来,应以数据体系与技术体系协同优化为核心,推动人工智能在生态环境监管中的深度嵌入,实现从被动响应向主动预警、从单点应用向系统治理的转变。该路径对于提升生态环境治理能力现代化水平具有重要意义。

[参考文献]

- [1]潘晓华.试论如何应用计算机技术整合环保在线监测数据[J].山西农经,2017,(18):68.
- [2]高贵康,戴博文,肖明波.在线环保监测系统中的大数据分析研究[J].信息与电脑,2016(3):32-34.
- [3]吴丽华.“互联网+”智慧环保生态环境多元感知体系发展研究[J].化工管理,2020,(02):44-45.
- [4]党芳.大数据时代推动智慧环保的有效途径[J].黑龙江科学,2021,12(04):128-129.
- [5]刘文清,杨靖文.“互联网+”智慧环保生态环境多元感知体系发展研究[J].中国工程科学,2018,20(2):111-119.
- [6]刘恒飞.基于智慧城市时空信息云平台的智慧环保构建[J].测绘与空间地理信息,2019,42(01):171-173.

作者简介:

曹洁(1975—),女,汉族,山西省隰县人,工程硕士,高级工程师,从事生态环境保护及生态环境监测信息化相关工作。