

# Innovation path in the era of digital environmental protection: application and challenges of big data and artificial intelligence in air quality monitoring and pollution source tracking

Wenjing Yan

Jingchuan County Housing and Urban-Rural Development Bureau, Pingliang, Gansu, 744300, China

## Abstract

As environmental issues become more severe, environmental protection has become a global consensus. This article explores the application of big data and AI in air quality monitoring and pollution source tracking in the digital environmental protection era. Big data integrates and analyzes environmental data, while AI accurately predicts air quality and the location of pollution sources, showcasing the potential of digital technology. AI enhances the intelligence of monitoring, making pollution source tracking and quality assessment more efficient and accurate. However, its application also faces challenges such as data quality and security, algorithmic bias, technological innovation, and balancing environmental ethics. This article provides theoretical support and practical guidance for the digital transformation of environmental protection, focusing on the background of environmental protection, application cases, challenge analysis, and solutions, to help build a green and sustainable Earth.

## Keywords

environmental protection; digital technology; big data; artificial intelligence; air quality monitoring; pollution source tracking

## 数字环保时代的创新路径：大数据与人工智能在空气质量监测与污染源追踪中的应用与挑战

闫文静

泾川县住房和城乡建设局，中国·甘肃平凉 744300

## 摘要

随着环境问题加剧，环境保护成全球共识。本文探讨数字环保时代，大数据与AI在空气质量监测与污染源追踪的应用。大数据整合分析环境数据，AI精准预测空气质量与污染源位置，展现数字技术潜力。AI提升监测智能化，使污染源追踪与质量评估更高效准确。然而，其应用也面临数据质量与安全、算法偏见、技术创新与环保伦理平衡等挑战。本文为环保数字化转型提供理论支持与实践指导，围绕环保背景、应用案例、挑战分析及解决策略展开，助力构建绿色、可持续的地球家园。

## 关键词

环境保护；数字技术；大数据；人工智能；空气质量监测；污染源追踪

## 1 引言

全球经济发展与人口增长加剧环境问题，空气污染尤为突出，严重危害健康、破坏生态、影响气候，环保成为重大课题。数字技术尤其是大数据与AI的融合应用，为环保开辟新路径。大数据助力环境数据收集、分析及趋势预测，AI提升监测智能化，使污染源追踪与质量评估更高效准确。然而，其应用也面临数据质量与安全、算法偏见、技术创新与环保伦理平衡等挑战。本研究将梳理数字环保创新路径，围绕环保背景、应用案例、挑战分析及解决策略展开，旨在

为环保数字化转型提供理论与实践支持，共筑绿色家园。

## 2 数字环保时代的技术基础

### 2.1 大数据技术概述

大数据技术由互联网、物联网等新兴技术驱动，具有数据量巨大（Volume）、处理高速（Velocity）、类型多样（Variety）和真实性（Veracity）的“4V”特性。在环保领域，其可整合空气质量监测站、卫星遥感、地面观测等多源数据，提供全面实时支持。核心在于数据存储、处理与分析，Hadoop生态系统（含HDFS分布式文件系统与MapReduce计算框架）可实现高效分布式存储与并行处理，保障大规模数据分析<sup>[1]</sup>。

【作者简介】闫文静（1988-），女，中国甘肃平凉人，本科，工程师，从事生态环保研究。

## 2.2 人工智能技术原理

人工智能技术模拟人类智能, 涵盖感知、推理、决策和学习等能力, 核心为机器学习, 包括监督学习、无监督学习和强化学习三种类型。监督学习利用数据标签构建模型进行分类预测; 无监督学习从未标记数据中挖掘隐藏关系; 强化学习通过环境交互优化决策策略。在环保领域, 人工智能可应用于数据分析、预测与决策等环节, 有效整合多源信息, 提升环保工作效率与决策精准度, 展现巨大应用潜力<sup>[2]</sup>。

## 2.3 大数据与人工智能在环保领域的融合应用

在数字环保时代, 大数据与人工智能的融合为环保工作带来深刻变革。通过大数据技术, 空气质量监测站的数据得以整合, 形成全面监测网络; 同时, 污染源数据从多渠道被收集分析, 涵盖工业排放、交通尾气及农业污染等。人工智能算法则深度学习和分析这些数据, 不仅精准预测空气质量、预警污染, 还精准追踪定位污染源, 发现其关联规律。此外, 两者融合为环保决策提供了有力支持, 挖掘问题瓶颈, 提出解决方案, 并模拟预测政策效果, 为科学决策奠定坚实基础<sup>[3]</sup>。

## 3 空气质量监测的大数据应用

### 3.1 空气质量监测的重要性

空气质量监测对公众健康、环境保护与经济发展意义重大。长期暴露于污染空气会提升呼吸道、心血管疾病风险, 损害生活质量与寿命。同时, 空气质量是评估环境状况的关键指标, 监测分析可追溯污染源、量化污染程度, 为政策制定提供科学支撑。此外, 空气污染会冲击农业、林业、旅游业等产业, 削弱城市吸引力与竞争力。因此, 加强空气质量监测对保障健康、优化环境、推动经济可持续发展至关重要<sup>[4]</sup>。

### 3.2 大数据平台在空气质量监测中的构建

大数据平台是空气质量监测的核心。构建高效系统需先精准选址监测站点, 覆盖人口密集区、工业区等关键区域, 并配备高灵敏度、低维护成本的监测仪器, 实时追踪污染物浓度。随后, 依托云计算技术, 大数据平台高效处理海量数据, 完成存储、清洗、整合与分析。最终, 通过实时数据传输与可视化处理, 生成直观图表报告, 清晰展现空气质量状况与变化趋势, 助力用户快速理解并决策<sup>[5]</sup>。

### 3.3 数据整合与分析方法

数据整合与分析在空气质量监测中至关重要。它涉及将地面监测站点、卫星遥感及社交媒体等多源数据融合, 以全面理解城市空气质量状况, 发现污染热点与趋势。关键的数据分析方法包括描述性统计来总结数据特征, 数据可视化通过图表直观呈现信息, 假设检验验证研究假设, 相关分析探索变量间关系, 以及回归分析探究自变量对因变量的影响, 这些共同为识别污染来源、制定科学环保政策提供坚实依据<sup>[6]</sup>。

## 3.4 空气质量预测模型与优化策略

空气质量预测模型作为空气质量监测的重要工具, 利用大数据和人工智能技术, 如 GCN 和 LSTM 模型, 综合考虑空间与时间特征, 精准预测未来空气质量, 为政府和公众制定应对措施提供重要参考。为提升模型准确性和可靠性, 需不断优化模型参数与算法, 加强监测站点布局与数据质量, 同时强化跨部门协作和信息共享, 以全面提升空气质量预测的精确度和应急响应效率<sup>[7]</sup>。

## 4 污染源追踪的人工智能实践

### 4.1 污染源追踪的难点与挑战

污染源追踪面临多重挑战: 一是监测网络覆盖不足, 水质与空气质量监测站分布稀疏, 难以全面实时掌握环境状况, 影响追踪时效与精度; 二是监测技术受限, 部分环境参数监测手段不成熟或成本高昂, 设备灵敏度与稳定性需要提升; 三是数据处理能力薄弱, 难以高效提取关键信息用于预警; 四是污染源种类繁多, 工业、农业、生活及交通等污染特性各异, 排放规律复杂; 五是跨部门协作不畅, 信息共享机制缺失; 六是法规标准不完善, 缺乏明确法律依据与判定标准, 导致追踪工作难以有效推进<sup>[8]</sup>。

### 4.2 人工智能算法在污染源识别中的应用

人工智能算法是污染源识别的核心。通过传感器网络和监测设备, AI 实时采集空气质量、水质等环境参数, 利用决策树、神经网络及支持向量机等机器学习算法深度处理数据, 自动识别并预测污染状况。深度学习技术凭借深度神经网络, 擅长处理复杂环境数据, 实现模式识别与预测。结合无人机与卫星遥感, AI 系统可精准定位污染源, 制定个性化治理方案, 模拟生态演替指导修复, 显著提升生态修复效能。

### 4.3 污染源追踪的实时性与准确性提升

人工智能技术显著提升污染源追踪的实时性与准确性。通过物联网, 传感器节点实时传输数据至中央服务器, 实现全球数据采集, 增强监测灵活性。AI 系统即时分析数据, 快速锁定污染源并预测其动态, 具备智能预警与应急响应能力, 环境异常时迅速评估风险并启动预案, 如雾霾预报。此外, AI 可基于历史数据建模预测污染趋势, 为治理提供科学依据, 如分析水质数据预测河流污染物扩散, 精准指导治理方案制定。

### 4.4 跨地域、跨部门的污染源协同治理

人工智能技术是跨地域、跨部门污染源协同治理的核心。它通过智能手机、社交媒体等强化信息共享, 让公众与部门便捷获取环保信息, 倡导低碳生活。同时, 建立区域联动机制, 加强沟通协作, 制定统一规划, 成立协调机构共克治理难题。此外, 完善环保法规, 明确跨区域治理责任与执法依据。AI 系统还提供智能监控与决策支持, 精准给出治理建议, 有效提升环境治理的效率与效果。

## 5 数字技术应用的挑战与应对策略

### 5.1 隐私保护与数据安全

大数据与人工智能在空气质量监测及污染源追踪领域的应用,引发了个人隐私与企业安全的重大挑战,敏感信息泄露风险加剧。为此,需强化数据加密与访问控制,采用先进技术保障数据传输存储安全;建立严格访问机制,限制敏感数据权限;构建隐私保护框架,规范数据使用流程,加强隐私教育;同时完善安全管理体系,涵盖备份、恢复、审计与监控,全方位筑牢数据安全防线。

### 5.2 算法偏见与公平性

大数据与人工智能算法在空气质量监测中的应用,若数据偏差或算法设计不当,易导致算法偏见,影响监测结果的准确性和公平性。这种偏见可能表现为地域或群体歧视,或对特定污染源的忽视,引发社会不公和信任危机。因此,需加强算法审查与评估,确保其公正性、准确性和透明度。通过引入多样化数据源和算法模型,优化算法设计,减少数据偏差影响。同时,增强算法可解释性,提升公众信任度。建立算法监管机制,持续监测和评估算法应用,及时纠正偏见问题。

### 5.3 技术更新与人才培养

随着大数据与人工智能技术快速发展,空气质量监测领域技术更新日新月异。然而,环保领域人才队伍在技术水平、创新能力等方面尚存差距。为此,需加强技术研发与创新,鼓励科研机构、高校和企业深入探索,推动技术深入应用。同时,加强人才培养与引进,设立专项基金、建立培训基地,提升环保领域人才技术水平。加强与国内外交流合作,提高创新能力。建立技术更新机制,及时跟踪评估新技术,确保环保领域技术水平领先。

### 5.4 法规政策与标准制定

大数据与人工智能在空气质量监测中的应用,需法规政策与标准规范引导。当前相关法规存在空白与模糊,给技术应用和监管带来挑战。因此,需加快完善法规政策体系,明确技术标准、要求及责任主体;制定数据全流程标准规范,推动技术规范应用;建立监管执法机制,严惩违法违规;并加强公众宣传教育,提升环保与法律意识,确保技术应用合规高效,共筑空气质量防线。

## 6 案例分析

### 6.1 国内外数字环保成功案例介绍

数字环保领域创新不断,成都大气污染 AI 小尺度溯源系统与美国洛杉矶 AirNow 系统为成功典范。成都系统整合多源数据,利用大数据与 AI 算法,实现千米级、小时级网格化空气污染精准感知,提升溯源准确率并降本 50%,还自动识别扬尘点位。美国 EPA 的 AirNow 系统整合多源空

气质量数据,提供实时 AQI 与预报,引导公众防护,且通过 API 接口开放数据,促进信息传播,提升公众环保意识。

### 6.2 案例中的技术特点与效果评估

成都市大气污染 AI 小尺度溯源系统与美国洛杉矶 AirNow 系统彰显了数字技术在环保领域的成效。成都系统利用大数据与 AI 算法,整合多源数据实现空气污染精准预测与溯源,准确率超 80%,成本节省约 50%,且能自动识别扬尘点位,提升监管效率,覆盖 3730 平方公里区域,助力大气污染治理。洛杉矶 AirNow 系统则整合多源空气质量数据,提供实时 AQI 与预报,增强公众环保意识,助其采取防护措施。该系统还通过 API 接口开放数据,促进信息传播与应用,提升社会整体环保行动能力。

### 6.3 案例对环境保护的启示与借鉴

成都市大气污染 AI 小尺度溯源系统与美国洛杉矶 AirNow 系统是数字环保的成功案例。成都系统整合多源数据,利用 AI 算法实现空气污染精准预测与溯源,为空气质量监测和污染源追踪树立典范,凸显技术创新在环保中的关键作用。洛杉矶 AirNow 系统整合多方数据,提供实时准确空气质量信息,提升公众环保意识,还通过 API 接口开放数据,促进信息传播,为空气质量信息公开共享提供榜样。

## 7 结论与展望

数字技术在环保领域贡献显著但也存在局限,大数据与人工智能提升了空气质量监测与污染源追踪的效率,为政策制定提供依据。然而,数据隐私安全、算法偏见及技术更新与人才培养等问题亟待解决。展望未来,数字环保技术将迈向多元化与智能化,物联网、云计算等技术将实现环境质量实时监测与响应,人工智能将深入挖掘数据,提供精准决策支持。为此,建议加强数据隐私保护,提升公众意识;审查评估算法公正性;加强技术更新与人才培养,推动数字环保技术发展,助力环保领域数字化转型。

### 参考文献

- [1] 陕西2020年空气质量持续好转. 艾永华. 陕西日报, 2021-01-30
- [2] 北京空气质量首次全面达标. 骆倩雯. 北京日报, 2022-01-05
- [3] 去年昆明空气质量在全国168个重点城市中排第15名. 董宇虹. 昆明日报, 2022-02-15
- [4] 珠海全年总体空气质量位列全国第十位. 郑振华. 珠海特区报, 2022-02-09
- [5] 我区向3个地市发出环境空气质量预警函. 陈敏. 华兴时报, 2022-04-18
- [6] 一季度深圳空气质量全国第五. 窦延文. 深圳特区报, 2022-04-22
- [7] 今年前5月全国城市空气质量优良天数同比上升. 寇江泽. 人民日报, 2022-06-20
- [8] 今年前五个月全国城市空气质量优良天数同比上升. 寇江泽. 人民日报海外版, 2022-06-20