

环境空气自动站巡检智能化转型路径探析

任重远

新疆维吾尔自治区生态环境监测总站, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

摘要: 随着城市化和工业化的加速, 空气质量问题日益突出, 环境空气自动监测站的智能化巡检成为提升监管效率的关键。传统人工巡检存在响应慢、效率低等问题, 难以满足实时监测需求。物联网、人工智能等技术的发展为智能巡检提供了支持, 有助于提升设备维护精度、优化资源配置。本研究探讨了智能化技术在巡检流程优化、设备管理和数据平台建设中的应用, 分析了其在提升监测效率、故障预测和信息共享方面的优势, 并讨论了数据安全与系统稳定等保障机制。研究表明, 推进智能巡检有助于构建高效、可持续的环境监测体系, 提升数据准确性与运维效率, 推动智慧环保发展, 具有重要的实践价值和政策意义。

关键词: 环境空气; 生态监测; 巡检

Exploration of the Intelligent Transformation Path for Environmental Air Automatic Station Inspection

Zhongyuan Ren

Xinjiang Uygur Autonomous Region Ecological Environment Monitoring Station, Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization and industrialization, air quality issues have become increasingly prominent, and the intelligent inspection of environmental air automatic monitoring stations has become the key to improving regulatory efficiency. Traditional manual inspections suffer from slow response and low efficiency, making it difficult to meet real-time monitoring requirements. The development of technologies such as the Internet of Things and artificial intelligence provides support for intelligent inspection, which helps to improve equipment maintenance accuracy and optimize resource allocation. This study explores the application of intelligent technology in optimizing inspection processes, equipment management, and data platform construction. It analyzes its advantages in improving monitoring efficiency, fault prediction, and information sharing, and discusses mechanisms for ensuring data security and system stability. Research has shown that promoting intelligent inspection can help build an efficient and sustainable environmental monitoring system, improve data accuracy and operational efficiency, promote the development of smart environmental protection, and have important practical value and policy significance.

Keywords: ambient air; ecological monitoring; on-site inspection

0 前言

当前, 全国已建成超 8000 个空气质量自动监测站点, 覆盖所有地级以上城市及部分重点县域, 但传统人工巡检模式在效率、响应速度、人力成本等方面存在明显短板, 尤其在边远和复杂地形区域问题更为突出。随着物联网、人工智能、边缘计算等技术的发展, 环境监测正向智能化演进, 远程监控、故障预测、智能调度等功能显著提升了运维效率与数据质量。智能化巡检不仅提高覆盖率与响应速度, 还通过预测性维护降低维修成本、延长设备寿命, 是推动环境治理体系现代化的重要手段, 已成为生态环境监测高质量发展的必然趋势。

1 智能化技术应用

1.1 物联网技术

物联网 (IoT) 技术推动环境空气自动站巡检向智能化转型, 通过部署各类传感器并接入统一平台, 实现空气质量

数据的实时采集与传输。以北京某重点区域为例, 500 多个基于 LoRa 协议的终端设备可上传 PM_{2.5}、SO₂、NO₂ 等关键数据, 显著提升监测效率和准确性。同时, 物联网还支持远程监控与故障自诊断, 设备异常时自动报警并记录问题类型, 便于快速维护, 从而降低人力成本, 提高系统稳定性和可靠性。

1.2 人工智能

人工智能 (AI) 技术在环境空气自动站巡检中的应用主要包括数据分析、异常识别和预测建模等方面。通过机器学习与深度学习模型, 系统可自动识别潜在问题并提供科学决策依据, 替代传统依赖人工经验的空气质量分析方式。部分监测中心已采用卷积神经网络 (CNN) 识别污染趋势, 并结合时间序列模型预测未来空气质量等级。同时, 图像识别技术也用于巡检, 如在站点加装高清摄像头并接入 AI 视频分析系统, 可自动检测采样口遮挡或设备破坏情况, 提升安全性和巡检效率。人工智能的应用使空气自动站运维更加

智能、精细，为精准治污提供了有力支持。

1.3 大数据分析

大数据分析技术为环境空气自动站巡检系统的优化提供了有力支撑。通过对空气质量、气象参数、交通流量及工业排放等多源数据的整合分析，可揭示污染成因与演化规律，并用于构建高精度空气质量预测模型，助力重污染天气前的应对决策。例如，广州利用 Hadoop 和 Spark 技术实现 72 小时 AQI 预测，准确率超 85%。同时，大数据还应用于设备性能评估与故障预测，通过分析历史运行数据，识别老化趋势和故障模式，推动设备维护由被动向预防性转变。深圳部分站点已实施数据驱动的设备生命周期管理，提升运维效率。

2 巡检流程优化

2.1 数据采集升级

传统环境空气自动站的巡检数据采集多依赖于人工操作与固定频率的监测设备读数，这种方式存在数据滞后性强、采样精度低和覆盖率不足等问题。随着传感器技术、无线通信网络及边缘计算的发展，数据采集方式正在实现智能化升级。例如，近年来在多个城市的空气质量监测站点部署了具备实时数据上传功能的高精度 $\text{PM}_{2.5}$ 和 NO_x 传感器，其采样频率可达秒级，显著提升了污染物浓度变化的捕捉能力。基于 LoRaWAN 和 NB-IoT 等低功耗广域网 (LPWAN) 技术的传感器节点被广泛应用，实现了对偏远地区空气自动站的数据远程采集与传输，提高了采样区域的覆盖范围。数据显示，在北京市 2023 年实施智能采集试点的区域中，数据缺失率由原先的 7.2% 下降至 1.3%，数据更新频率从每小时一次提升至分钟级，极大增强了数据完整性与时效性。

2.2 异常识别改进

在传统巡检流程中，异常识别主要依靠人工经验判断或简单的阈值报警机制，难以应对复杂多变的环境因素，容易出现误报或漏报。引入人工智能算法后，特别是机器学习与深度学习模型的应用大幅提升了异常识别准确率。例如，基于 LSTM（长短期记忆网络）的时间序列预测模型结合滑动窗口法可用于判别传感器数值突变行为，从而有效区分真实异常与偶发波动。在广州市某区的空气自动站系统中，应用集成式随机森林分类器进行故障诊断，将传感器误差检测的准确率提高到了 97%，比原系统提升了近 20 个百分点。通过构建设备运行状态的知识图谱，可实现多源异构数据的联合分析，有助于发现潜在的协同性问题。例如，当温湿度传感器与气体传感器同时出现偏离正常值的趋势时，系统可自动判断为设备校准偏差，并触发校正流程，避免人为干预带来的响应延迟。

2.3 预警机制构建

构建科学合理的预警机制是推动巡检流程智能化转型的重要环节。传统预警方式通常基于单一指标设定报警阈

值，无法全面反映环境状况的变化趋势。而智能化预警系统则融合气象数据、历史污染数据、设备运行状态等多重信息，采用综合评估模型进行动态调整。例如，某些城市在空气自动站系统中集成了基于风险概率的贝叶斯推理模型，可根据当前污染物浓度发展趋势和未来天气条件预测可能发生的污染事件，并提前向相关部门发送预警信息。在江苏省南通市的实际应用中，该模型成功预测了多次区域性重污染过程，平均提前预警时间达到 4 小时以上，为政府决策提供了有力支持。基于移动端的消息推送平台和自动化语音通知系统的结合，也提升了预警信息传递的效率和覆盖面。据统计，采用智能预警之前的响应时间约为 2 小时，而在系统升级后，平均应急响应时间缩短至不到 30 分钟，大大提高了应对突发情况的能力^[1]。

3 设备管理升级

3.1 远程监控系统

远程监控系统革新了环境空气自动站设备管理，克服传统人工巡检效率低、响应慢的问题。某省 2023 年部署该系统后，实现全省 200 多个站点全天候在线监控，设备可用率达 98% 以上。系统由传感器、数据传输模块和控制平台组成，可采集电压、温度等参数，通过 4G/5G 上传并进行大数据分析与管理。具备报警联动功能，实现从“被动维修”向“主动干预”转变，显著提升运维效率与智能化水平。

3.2 故障预测维护

故障预测维护依托人工智能和机器学习技术，通过深度挖掘设备历史与实时数据，识别潜在故障并进行趋势预测，逐步取代传统周期性维护。以北京市环境保护监测中心为例，其采用深度学习模型成功预判 $\text{PM}_{2.5}$ 监测仪关键部件老化和传感器漂移问题，平均故障间隔时间延长约 30%。该技术主要包括数据采集、特征提取、模型训练与结果输出四个阶段，结合信号处理、统计分析及支持向量机、随机森林等算法提升预测精度，最终输出设备健康评分与剩余寿命评估，辅助制定科学维护计划。相比传统方式，有效降低非计划停机风险与维护成本。据生态环境部 2024 年报告，全国空气自动站设备故障导致的数据缺失率下降约 40%，运维费用节约 15% 左右。

3.3 生命周期管理

生命周期管理是提升环境空气自动站设备管理效率、保障设备长期稳定运行的重要手段，涵盖采购、安装调试、运行使用、维护保养到报废回收的全过程统筹规划和动态跟踪。近年来，随着环保监测任务加重和设备更新加快，该理念成为设备资产管理的新焦点。江苏省自 2022 年起建立统一的全生命周期管理平台，实现全省空气自动站设备数字化档案管理，并结合故障预测模块评估结果，为设备更换提供科学依据。上海市 2023 年试点旧设备拆解再利用计划，回

收配件超 500 件, 节省财政支出近 300 万元。生命周期管理有效提高设备利用率、延长使用寿命, 推动环境监测行业可持续发展。未来, 随着智能传感、区块链等技术融合, 设备生命周期管理将向更精细化、智能化方向发展^[2]。

4 数据平台建设

4.1 平台架构设计

在环境空气自动站智能化转型中, 数据平台作为核心系统, 承担数据采集、处理、存储与应用任务。高效稳定的架构须具备模块化、可扩展性和高可用性, 通常采用分层设计, 包括感知层、传输层、数据层、平台层和应用层。感知层对接监测设备, 采集空气质量数据; 传输层通过网络上传数据; 数据层利用分布式技术实现数据高效管理; 平台层提供数据清洗与分析服务; 应用层面向用户提供查询、可视化及决策支持。以某省生态环境监测中心为例, 其智能巡检平台日均处理超 100 万条数据, 实现多站点多参数的统一接入与集中管理。

4.2 数据可视化

数据可视化是提升数据价值和决策能力的重要手段, 广泛应用于现代环境空气自动站数据平台。通过图表、地图、动态趋势图等形式, 直观展示复杂空气质量信息。GIS 技术可实时显示污染物分布并反映扩散趋势, 时间序列图、柱状图等有助于分析变化规律和横向比较。随着 WebGL、D3.js、ECharts 等技术发展, 数据展示的交互性和实时性显著提升。部分平台还引入 VR 和 AR 技术, 实现三维沉浸式展示。如北京市环境保护监测中心开发的“城市空气感知系统”, 利用 VR 模拟空气流动, 为污染溯源提供新工具。

4.3 信息共享机制

推动环境空气自动站巡检智能化, 需构建高效信息共享机制以实现跨部门协同治理。当前空气质量监测数据分散于多个部门, 存在信息孤岛问题。为此, 多地建立统一环境数据交换平台, 促进数据在政府、企业与公众间的有序流通。

《生态环境部关于推进生态环境大数据建设的意见》提出建设国家一省一市三级数据共享平台, 打破行政壁垒, 提高数据利用率。信息共享机制应包括数据标准统一、接口规范、权限控制与数据脱敏等方面。区块链技术的应用为数据共享提供了去中心化、可追溯的新路径。例如, 上海市依托政务云平台建成“环境质量数据共享平台”, 实现全市 16 个区、120 余个站点的数据互联, 提升了空气质量监管效率与精度^[3]。

5 安全与保障体系

5.1 数据安全保障

在环境空气自动站智能化转型中, 数据安全至关重要。空气质量监测涉及 PM_{2.5}、PM₁₀、NO₂、SO₂ 等关键污染物的实时数据, 广泛用于环境评估和公共决策。因此, 需建立涵盖数据采集、传输、存储与处理的全链条安全防护体系。采集阶段应采用加密与认证机制防篡改; 传输过程使用

HTTPS、SSL 等协议保障公网安全, 部分地区已应用国密算法模块提升安全性; 存储方面结合分布式数据库与权限管理, 防止非法访问与泄露, 如“智慧环保云”采用多层加密与访问控制确保数据安全可控。

5.2 系统运行稳定

系统运行稳定性是环境空气自动站智能化巡检推进的基础。传统人工巡检易因人为因素导致数据缺失或误判, 而智能化系统虽提升效率, 也对自身可靠性提出更高要求。为此, 需从硬件冗余、软件容错、定期维护等多方面构建保障体系。硬件上, 核心设备应配置双机热备; 软件上, 采用微服务与容器化部署, 实现模块独立运行。例如, 江苏某市监测中心通过 Kubernetes 集群实现高可用性。同时, 还需制定日常维护计划, 预防潜在问题。

5.3 应急响应机制

面对突发状况, 建立健全的应急响应机制至关重要。智能化巡检系统应具备快速识别异常、自动报警与联动处置能力, 确保数据连续与准确。可通过分级响应机制应对不同故障: 一级故障自动切换备用电源或通信链路并告警; 二级故障启动自校准程序并标记异常数据; 三级故障立即启动远程诊断与恢复。建议设立应急指挥中心, 集成 GIS 定位、视频监控与通讯调度功能, 提升处置效率。例如, 深圳环境监测系统已应用 AI 预警模型, 可在 15 分钟内完成异常分析并通知责任人, 显著缩短响应时间。

6 结语

环境空气自动站巡检智能化转型中, 物联网、人工智能与大数据技术的应用显著提升了监测效率与预警能力, 试点城市数据显示故障发现时间缩短 40%, 维修效率提升 30% 以上。未来, 随着 5G、边缘计算等技术发展, 系统将实现多站点协同监测与智能联动, 并通过深度学习提升复杂污染场景应对能力。为推进智能化建设, 应加强顶层设计、统一技术标准, 优选智能硬件, 强化数据安全, 完善运维机制, 结合政策引导与人才培养, 推动系统规范化、模块化发展, 为空气质量监测和生态环境治理提供有力支撑。

参考文献:

- [1] 李霞, 邓茂林, 克选. 环境空气自动监测站智能化巡检系统的应用[J]. 广东化工, 2021, 48(12): 208-20+188.
- [2] 刘长江. 环境空气监测现场采样研究[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(2): 42-44.
- [3] 崔静. 环境空气自动监测系统数智化发展展望[J/OL]. 清洗世界, 1-6[2025-05-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4834.TQ.20250407.1023.016.html>

作者简介: 任重远(1990-), 男, 中国山西陵川人, 本科, 工程师, 从事大气环境监测、环境空气质量评价、空气质量监测网络管理研究。