

数字化赋能基建扬尘与噪声污染精准防控技术应用

魏彬

神华新街能源有限责任公司，内蒙古鄂尔多斯 017200

DOI:10.61369/EAE.2025060008

摘要：我国城市化加速推动基建项目密集上马，施工产生的扬尘与噪声污染，已成为影响城市环境质量与居民生活品质的突出问题。传统粗放式、被动响应式管理模式，难以满足新时代生态文明建设的高标准要求。本文旨在探讨以数字化技术赋能，构建集实时监测、数据分析、智能预警与精准管控于一体的污染防控体系，系统分析物联网、大数据等核心技术的应用路径，结合案例论证其有效性与前瞻性，为绿色施工及“智慧环保”城市建设提供支撑。

关键词：数字化；基础设施建设；扬尘污染；噪声污染；精准防控

Digital Empowerment for Precision Control Technology Applications in Construction Dust and Noise Pollution

Wei Bin

Shenhua Xinjie Energy Co., Ltd., Ordos, Inner Mongolia 017200

Abstract : The acceleration of urbanization in China has led to a surge in infrastructure projects, and the dust and noise pollution generated during construction have become prominent issues affecting urban environmental quality and residents' quality of life. Traditional extensive and passive response management models are difficult to meet the high-standard requirements of ecological civilization construction in the new era. This paper aims to explore the empowerment of digital technology to build a pollution prevention and control system that integrates real-time monitoring, data analysis, intelligent early warning, and precise control. It systematically analyzes the application paths of core technologies such as the Internet of Things and big data, verifies their effectiveness and forward-looking nature through case studies, and provides support for green construction and the development of 'smart environmental protection' cities.

Keywords : digitalization; infrastructure construction; dust pollution; noise pollution; precision prevention and control

引言

基础设施建设是国民经济发展的基石，但其施工活动无可避免地会带来扬尘与噪声等环境负外部性。扬尘是大气颗粒物（PM2.5、PM10）的重要来源之一，不仅导致空气质量恶化，还直接危害施工人员与周边居民的健康。噪声污染则干扰人们正常的工作、学习和休息，长期暴露可能引发心血管疾病与心理问题。传统的监管模式主要依赖人工巡查、群众举报和定期抽查，存在数据不连续、覆盖范围有限、响应滞后、取证困难等弊端，导致监管效率低下，难以实现从“末端治理”到“全过程控制”的转变。

在此背景下，“数字化赋能”即通过引入先进的信息技术，重塑业务流程，提升决策效能。将其应用于基建环境污染防治，意味着将施工环境视为一个可感知、可分析、可干预的智能实体，从而实现从“人防”到“技防”、从“经验驱动”到“数据驱动”的根本性变革，达成精准、高效、经济的污染防治目标。

一、数字化赋能精准防控的核心技术体系

数字化赋能精准防控体系的构建，依赖于一个多层次、协同工作的核心技术集群。

（一）感知层负责物联网构建“全天候”监测网络

感知层是数字化防控的体系的“神经末梢”，负责全面采集环

境数据。通过在施工场地边界、重点作业区域（如土方开挖区、材料搅拌站）、运输道路及敏感保护目标（如学校、医院、居民区）周边，布设各类环境监测传感器，形成一张高密度的物联网。扬尘监测是采用激光散射法等原理在线监测仪采用激光散射式传感器（测量范围0–1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，精度 $\pm 10\%$ ），在施工场地边界（每500m1台）、土方作业区（移动设备，随作业面移

作者简介：魏彬（1983.10-），男，汉族，河北邢台人，大学本科，助理工程师，从事企业基建期环境保护研究。

动)、材料堆场(固定安装)部署,实时监测PM2.5、PM10浓度,并联动气象五参数(风速、风向、温度、湿度、大气压力)站,分析污染与气象条件的关联;噪声监测通过部署具备自动校准功能的噪声传感器,实现等效连续A声级Leq的实时测量,并能捕捉突发性噪声事件;视频监控利用高清球机与枪机结合,对重点区域进行可视化监控,既可直观判断污染来源(如裸土未覆盖、车辆冲洗不到位),又能为后续的取证与责任认定提供依据。所有传感器数据通过4G/5G或LoRa等无线通信技术,实时传输至云端数据中心,确保了数据的连续性与完整性。

(二) 网络层与平台层是云计算与大数据构筑“智慧中枢”

网络层负责数据的稳定传输,而平台层则是整个体系的“大脑”。基于云计算技术构建的环保监控云平台,负责海量异构数据的汇聚、存储、管理与分析。

数据融合与治理,通过平台整合来自传感器、视频流、业务系统(如施工计划、车辆信息)乃至外部数据(如气象预报、城市交通流),形成统一的“环境数据湖”。大数据分析则运用分布式计算框架,对历史与实时数据进行深度挖掘。例如,通过关联性分析,找出噪声峰值与特定施工机械(如打桩机、混凝土泵车)作业时间的对应关系;通过回归分析,建立扬尘浓度与风速、湿度及土方作业强度的预测模型。污染溯源与扩散模拟需要结合GIS地理信息系统,利用CALPUFF等大气扩散模型或噪声传播模型,在电子地图上动态模拟污染物在空间上的扩散范围与影响程度,快速锁定主要污染源,实现从“面”到“点”的精准定位。

(三) 应用层是人工智能驱动“智能决策与闭环管控”

应用层直接面向用户,提供具体的管控功能,是数字化赋能的最终价值体现。

平台预设污染物浓度阈值(如PM10超过 $150\mu\text{g}/\text{m}^3$,噪声夜间超过55分贝)。一旦数据超标,系统立即通过短信、APP推送、自动语音电话等方式,向项目经理、环保专员及监管人员发出多级报警。AI图像识别技术可自动分析视频画面,识别“未湿法作业”、“渣土车冒装撒漏”等违规行为,并触发报警,从而实现智能预警与报警。智能联动控制是实现“感-联-控”一体化。当扬尘监测点数据超标时,系统可自动联动现场的喷淋、雾炮等降尘设备开启;当噪声监测点数据异常,可自动调整高噪声设备的作业时间或向司机发出提醒,实现从“监测”到“治理”的无人化闭环。所有数据、报警、设备状态均在平台驾驶舱以图表、曲线、热力图等形式直观展示。管理人员可“一图总览”全局污染态势,进行远程调度与指挥。同时,平台基于大数据分析生成的污染趋势报告、治理效果评估报告等,能为管理者优化施工工艺、调整作业方案提供科学的数据支撑。

二、数字化赋能下的精准防控应用实践

以某大型城市地铁建设项目为例,该项目在长达10公里的施工线上全面应用了上述数字化防控体系。

1. 精准溯源,解决“扯皮”问题,过去当周边居民投诉扬

尘大时,施工方与相邻工地常相互推诿。部署监测网络后,通过平台的风玫瑰图与浓度热力图叠加分析,清晰地显示在特定风向下,主要污染源来自于本项目土方开挖段,促使施工方立即加强该区域的覆盖与喷淋,责任一目了然。

2. 预见性防控,变被动为主动,系统根据气象局发布的次日大风预警,结合施工计划,提前向管理人员发出“明日风力4-5级,建议暂停大面积土方作业,并提前开启全场喷淋系统”的建议。管理人员采纳建议,有效避免了可能发生的扬尘超标事件。

3. 噪声精细化管理,和谐社区关系。在靠近居民区的标段,系统设定了更严格的夜间噪声阈值。一旦监测到噪声持续接近阈值,平台会自动向附近的挖掘机操作手手持终端发送“降噪操作提醒”,建议其采用“轻抬慢放”等低噪声作业方式,避免了因噪声投诉导致的工期延误。

4. 闭环管理,提升治理效率。系统捕捉到一处围挡喷淋设备故障离线,同时该区域PM10浓度缓慢上升。平台自动生成工单,派发给维护人员。维护人员通过APP接收任务,前往修复,并在完成后于APP上上传照片确认,形成完整的“监测-报警-处置-反馈”闭环,确保了治理设施的有效运行。

该项目的环境投诉率同比下降了70%以上,扬尘与噪声超标时长减少了超过50%,降尘设备能耗因智能化联动控制降低了约30%,真正实现了环境效益与经济效益的双赢。

数字化赋能基建扬尘与噪声污染精准防控技术应用

三、当前存在的问题与优化建议

尽管数字化赋能基建扬尘与噪声精准防控技术在实践中展现了显著成效,但其在大规模推广与深度应用过程中,仍面临一系列技术、经济与管理层面的挑战。认识到这些问题,并寻求有效的优化路径,是推动该技术关键。

(一) 面临的主要问题

1. 技术融合深度不足,智能水平有待提升

当前系统虽集成了多项技术,但多处于“数据可视化管理”阶段,真正的智能决策能力仍有欠缺。模型精度与适应性局限,现有的污染扩散预测模型(如CALPUFF)多为通用模型,在复杂城市地貌、高密度建筑群等特定施工环境下,其模拟精度会受到影响。AI算法的训练依赖于大量高质量数据,但在项目初期数据积累不足,或遇到未曾见过的施工场景(如新型工艺、特殊地质)时,模型的预测准确性和泛化能力会显著下降。系统孤岛现象依然存在,数字化防控平台与项目的BIM管理系统、智慧工地平台、企业ERP系统等尚未实现深度融合。数据壁垒导致防控系统难以提前获取精确的施工计划、设备调度信息,从而限制了其从事中干预向事前预测跃迁的能力。智能联动颗粒度偏粗,当前的联动控制多局限于“超标即开启”的简单逻辑。例如,当扬尘超标时,系统会开启整个区域的喷淋系统,而非根据风向、污染源位置进行精准靶向控制,造成了水资源和能源的浪费。

2. 初始投入与运维成本较高,制约中小企业应用

数字化防控体系的建设是一项资本密集型投资。硬件成本高

昂，高精度、高稳定性的环境传感器、智能识别摄像头等前端设备价格不菲。要实现全面覆盖，尤其对于大型线性工程（如公路、地铁），一次性硬件投入巨大。软件平台开发与运维复杂，定制化云平台的开发、后期的维护升级以及数据存储与分析服务都需要持续的资金投入。这对于利润空间有限、技术实力较弱的中小型施工企业而言，构成了较高的准入壁垒，可能导致技术应用的不平衡。

3. 数据质量与标准体系尚不完善

传感器性能参差不齐，市场上前端监测设备品牌众多，其精度、稳定性、抗干扰能力（如对湿度、温度的交叉敏感性）差异较大。若选用了低质量设备，将直接导致监测数据失真，使后续所有分析决策失去意义。缺乏统一的行业标准，目前对于监测点的布设密度、数据传输协议、数据质量控制和校准规范等，尚缺乏国家或行业层面的强制性统一标准。这导致不同项目、不同厂商的数据难以横向对比和汇聚利用，阻碍了区域级环境监管大数据的形成。

4. 复合型人才短缺，组织协同存在障碍

人才技能断层，数字化环保管理要求人员既懂施工现场的环保业务，又熟悉数据分析、物联网和AI的基本原理。当前，同时具备这两种知识结构的复合型人才极为稀缺，导致系统功能无法被充分挖掘，或问题出现时无法进行有效诊断和优化。组织架构与流程不匹配，传统的施工管理组织架构和流程并未针对数字化防控进行重塑。环保专员、设备管理员、IT运维人员分属不同部门，协同效率低。当系统发出预警或联动指令时，可能因职责不清、流程繁琐而得不到快速响应，使得“闭环管理”在最后一公里被打破。

（二）系统性优化建议

针对上述问题，应从技术、模式、标准与人才四个维度协同发力，推动体系的迭代升级。

1. 技术深化从“感知智能”迈向“认知智能”

引入数字孪生技术，构建与物理施工现场完全映射的数字孪生模型。通过在虚拟空间中集成BIM、GIS、实时IoT数据与物理规律模型，可以对施工活动可能产生的环境影响进行高保真模拟与推演。管理人员能在动工前，就在数字世界中测试和优化施工方案与降噪降尘措施，实现真正的“预见性”防控。发展自适应AI算法，投入研发资源，采用迁移学习和在线学习等先进AI算法，使模型能够利用已有项目知识，并在新项目的数据流中持续自我优化，不断提升其在复杂场景下的预测精度和适应能力。实现资源精准调控，优化智能联动逻辑，结合气象数据与污

染溯源结果，实现喷淋、雾炮等治理设备的自适应精准启停与流量控制。

2. 模式创新降低应用门槛，培育产业生态

推广“平台即服务”模式，鼓励有实力的科技企业或第三方专业机构，搭建行业级的“智慧环保SaaS云平台”。中小企业无需承担高昂的开发和运维成本，可按需订阅服务，通过网页或APP接入使用，大幅降低技术应用门槛。探索政企合作与金融服务这样对于大型公共基建项目，政府可探索采用“补贴+监管”的模式，激励施工企业应用数字化防控技术。同时，鼓励金融机构开发“绿色信贷”产品，为积极进行环保数字化升级的企业提供优惠贷款，以经济手段驱动技术普及。

3. 标准建设夯实数据基石，保障规范应用

建议由行业协会或主管部门牵头，联合龙头企业、科研机构，加快制定行业标准规范，对设备选型、布点原则、数据格式、质控流程等做出统一规定。建立设备认证与数据校准体系，推行前端监测设备的强制性认证或推荐性名录制度，确保入网设备的质量。同时，要求项目建立定期的人工比对与校准机制，并将校准记录上传平台，确保数据的长期可靠性与法律有效性。

4. 人才培养与组织重塑激发体系内生动力

实施跨领域人才培训计划，企业和高校、职业院校应加强合作，开设面向在职工程师的数字化技能培训班，以及面向学生的“智能建造与环境工程”交叉学科课程，系统性培养复合型人才。优化组织流程与绩效考核，企业应设立跨部门的“数字化环保工作组”，明确其在预警响应、设备维护、数据解读等方面的权责。同时，将数字化防控系统的使用效能（如预警响应率、闭环处置率、节能减排量）纳入项目团队和个人的关键绩效指标，从制度上激励员工主动使用和优化系统。

四、结束语

数字化赋能基建扬尘与噪声污染防控，是顺应时代发展的必然选择。它通过构建“感知互联、数据驱动、智能决策、精准执行”的技术体系，彻底改变了传统环境监管的被动与低效局面。该技术应用能够显著提升污染治理的精准度与效率，降低环境风险与运营成本，是推动建筑业绿色、可持续发展的关键路径。面对当前的挑战，需要政府、企业、科研机构协同努力，加大投入、完善标准、培养人才，共同推动数字化防控技术不断走向成熟与深化应用，为建设美丽中国、智慧城市提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 孙雨欣, 段媛媛, 王文婷, 浦真煜, 周燕, 伍彩云. 施工现场扬尘噪声污染的智能化监测研究 [J]. 中国设备工程, 2022 (13): 173-174.
- [2] 秦涵祥. 建筑施工中的施工污染问题与对策探讨 [J]. 住宅与房地产, 2019 (15): 273.
- [3] 刘曾可, 彭思泽. 工地施工对周围环境影响影响探讨 [J] 资源节约与环保, 2018 (10): 130-132.