

建筑施工扬尘治理智能监测系统设计与应用

缙高鹏

新疆准实检测有限公司, 新疆 喀什 844000

[摘要]随着城市化进程的加速, 建筑施工现场扬尘污染问题愈发突出, 成为影响城市空气质量与居民健康的重要因素, 为实现扬尘治理的精准化与实时化监控, 此文构建并应用了一套智能监测系统, 该系统整合传感器采集、数据通信、平台分析及联动控制等功能, 可实时监测 PM10、PM2.5、温湿度、风速风向等关键环境参数, 并通过物联网技术与管理平台联动, 实现智能预警与远程控制, 现场应用结果表明, 系统运行稳定、响应迅速, 扬尘控制效果显著, 具备广泛的推广价值。

[关键词]建筑施工; 扬尘治理; 智能监测; 物联网; 环境控制

DOI: 10.33142/aem.v7i5.16765

中图分类号: TU7

文献标识码: A

Design and Application of Intelligent Monitoring System for Construction Dust Control

GOU Gaopeng

Xinjiang Zhunshi Testing Co., Ltd., Kashgar, Xinjiang, 844000, China

Abstract: With the acceleration of urbanization, the problem of dust pollution on construction sites has become increasingly prominent, becoming an important factor affecting urban air quality and residents' health. In order to achieve precise and real-time monitoring of dust control, this article constructs and applies an intelligent monitoring system. The system integrates sensor collection, data communication, platform analysis, and linkage control functions, and can monitor key environmental parameters such as PM10, PM2.5, temperature and humidity, wind speed and direction in real time. Through Internet of things technology and management platform linkage, intelligent warning and remote control can be achieved. The on-site application results show that the system runs stably, responds quickly, and the dust control effect is significant, with wide promotion value.

Keywords: construction; dust control; intelligent monitoring; Internet of things; environmental control

引言

建筑工地扬尘是城市面源污染的重要组成部分, 其治理成效直接关联施工文明程度与生态环境质量, 传统人工巡检模式存在响应迟缓、监测数据不连续等弊端, 亟待借助智能化手段提升治理效能, 近年来, 物联网与智能传感技术在环保领域的应用渐趋成熟, 为建筑施工扬尘治理提供了创新技术路径, 本文针对工地环境特征, 设计智能扬尘监测系统并开展现场验证, 探索其在施工扬尘精准治理中的技术路线与实施效果。

1 系统总体设计方案

1.1 系统架构设计

建筑施工扬尘治理智能监测系统的整体架构由“感知层-传输层-平台层”三部分组成, 形成覆盖数据采集、远程传输、智能分析与治理联动的闭环式系统架构, 感知层作为系统前端核心, 由 PM2.5/PM10 颗粒物检测器、风速风向仪、温湿度传感器等多种环境传感器构成, 采用模块化设计, 根据施工现场粉尘源分布科学布点, 实时获取精准环境数据, 传输层负责前端到平台的数据无线通信, 借助 GPRS、4G 或 LoRa 等网络技术, 保障数据在复杂工地环境中具备高可靠性与抗干扰能力, 平台服务层作为系统“大脑”, 通过大数据分析引擎对上传数据进行实时处理、

趋势分析和图形可视化, 结合预设阈值策略自动预警, 并与智能喷淋、雾炮等治理设备联动, 实现精准高效的自动扬尘控制, 构建全流程智能化、闭环式的施工环保监管体系。

1.2 硬件选型与布点原则

建筑施工扬尘治理智能监测系统的整体架构由“感知层-传输层-平台层”三大模块构成, 形成贯穿数据采集、远程传输、智能分析与治理联动的闭环式系统架构, 感知层作为系统的前端核心单元, 由 PM2.5/PM10 颗粒物检测器、风速风向仪、温湿度传感器等多元环境传感器组成, 通过模块化设计模式, 依据施工现场粉尘源分布特征科学布置点位, 实时采集精确的环境数据, 传输层承担前端数据至平台的无线通信功能, 依托 GPRS、4G 或 LoRa 等网络技术, 确保数据在复杂工地环境中具备高可靠性与强抗干扰能力, 平台服务层作为系统的“智能中枢”, 借助大数据分析引擎对上传数据实施实时处理、趋势分析及图形可视化操作, 结合预设阈值策略触发自动预警机制, 并与智能喷淋、雾炮等治理设备实现联动控制。

1.3 通信与供电解决方案

系统数据通信作为智能扬尘监测系统实现远程监管的核心支撑, 需满足高稳定性、低延迟、强抗干扰性及适应多变施工环境的能力, 建筑施工现场常面临网络基础设

施薄弱、传统有线网络部署难度大的问题，因此无线通信方案更具适用性，建议采用 LoRa 自组网技术或 4G 无线通信模块两种模式：LoRa 技术具备低功耗、广覆盖特性，适用于数据传输频次较低但距离较远的场景；4G 模块则能满足高频次、大数据量的实时传输需求，尤其在大中型项目中可保障数据上传的时效性与完整性，在供电设计方面，针对部分监测点位于露天或偏远区域的情况，系统宜采用太阳能与锂电池组合供电模式，以太阳能板作为主供电电源，白天通过光伏转换为设备供电并为锂电池充电；锂电池作为备用电源，在夜间或阴雨天气维持系统持续运行，同时配置 MPPT（最大功率点跟踪）智能充电管理模块，可有效提升太阳能利用效率，为保障供电安全与系统稳定运行，还需引入欠压保护、电源异常报警及电量监测反馈机制。

2 系统功能模块与技术实现

2.1 数据采集与预处理

系统借助多传感器并联部署，构建起覆盖广泛、响应敏捷的实时数据采集网络，在感知层，PM_{2.5} 与 PM₁₀ 传感器运用激光散射原理，可精确捕捉空气中不同粒径颗粒物的浓度波动；风速风向传感器通过超声波技术获取气流速度与方向，为分析粉尘扩散路径提供依据；温湿度传感器基于电容式原理，监测施工区域微气候变化，对探究污染源变化规律具有重要参考意义，多源环境数据由本地集成控制器统一采集，按预设采样频率（如每分钟一次）稳定输出，实时性显著。在数据质量控制环节，针对施工环境复杂、电磁干扰与物理扰动较多的情况，系统内置移动平均、中值滤波等算法对信号进行去噪处理，同时设置阈值识别机制，自动剔除异常突变数据，提升数据的稳定性与可信度，所有采集数据均统一标注时间戳、传感器编号等元信息，并采用 JSON 或 MQTT 协议等标准化数据格式打包上传，确保传输过程的准确性及与平台的兼容性，为后续云端分析、预警联动及历史数据追溯奠定坚实基础。

2.2 云平台分析与可视化界面

预处理后的采集数据经无线通信模块稳定传输至云端平台，平台内置的数据分析引擎可自动对接收的数据流进行解析、分类、清洗与存储，形成结构化数据库，为后续分析奠定数据基础，系统支持对各监测点历史数据开展多维度建模分析，涵盖时段分析、空间分布对比、浓度变化规律识别等，能有效识别扬尘污染与施工作业时间、风力风向等环境因子的关联性，实现污染源精准溯源与责任界定，平台配备可视化操作界面，支持 PC 端与移动 APP 同步访问，用户可查看时间趋势图、风玫瑰图、污染热力图、等级分布图等多种图表，提升管理者直观认知与决策效率，权限分级管理功能保障数据安全，不同角色可查看对应内容，满足监管、施工、运维等多方需求，系统还内置趋势预测模型，结合时间序列算法对未来扬尘变化进行

短期预判，辅助提前制定应对措施，所有数据自动分类归档并定期备份，可用于后期环保稽查、政府备案或工程质量追溯，确保信息可查、可控、可追责。

2.3 报警联动与智能控制逻辑

为实现扬尘污染的即时响应与自动化治理，系统集成基于预设规则的智能联动控制模块，构建高效闭环的应急响应机制，当任意监测点的 PM_{2.5} 或 PM₁₀ 浓度超过设定阈值（如 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）时，系统通过短信、APP 推送、管理平台弹窗等多渠道同步发出报警信息，确保管理人员实时掌握异常状态，与此同时，系统自动触发喷淋、雾炮等抑尘设备启动，精准覆盖污染区域，实现无人干预的主动治理，联动模块支持多级响应机制：浓度处于“黄色预警”阶段时，仅提示人工关注；达到“红色预警”标准时，自动执行全流程降尘操作。系统内嵌自学习算法，通过分析历史报警次数、响应效果与气象条件等数据，动态优化阈值设置与响应逻辑，持续提升治理精准度与执行效率，所有报警事件、处理过程及设备运行状态均自动记录，形成系统日志与报表，既为绩效考核、环境监管提供数据支撑，也为后期问题追溯与系统优化奠定基础。

3 应用实践与运行效果分析

3.1 工地部署与测试场景描述

为验证智能扬尘监测系统的实际应用效果与响应能力，以某市重点市政道路改扩建工程施工现场为试验场景，该工地占地总面积约 2.8 万 m^2 ，施工内容涵盖土方开挖、材料转运、结构施工等多环节，扬尘污染源密集且动态变化显著，具有典型示范意义，系统在施工主通道、砂石堆场、搅拌作业区、拆除作业区及出入口等 5 个关键点位部署监测终端，平均布点密度为每 5000 m^2 设置一个监控点，每台终端均集成 PM_{2.5}/PM₁₀ 传感器、风速风向仪及温湿度探头，并通过 4G 通信模块与云平台实现数据实时交互。

3.2 实时监测数据分析

对系统采集的监测数据开展多维度分析后发现，施工现场扬尘浓度显著受作业类型、时间分布及气象条件影响，数据显示，每日清晨 6:30~8:00 运输高峰期，PM₁₀ 浓度平均值高达 168 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而中午 12:00~13:00 非作业时段，该数值骤降至 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，呈现明显的时段性变化规律，PM_{2.5} 日均浓度约 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，但当风速超过 5m/s 时，浓度短时间内可飙升至 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上，证实强风会加剧粉尘扩散，将监测数据与施工日志交叉比对可知，土方转运、物料装卸、车辆频繁通行等高扰动作业是引发扬尘峰值的关键因素，风向数据分析结果表明，当盛行西南风时，堆料区扬尘会向东侧办公区扩散，导致局部空气质量恶化，系统生成的趋势图、风玫瑰图和热力分布图，能够直观呈现污染高发时段与扩散轨迹，为施工单位科学规划作业时间、灵活调整洒水频次、优化抑尘设备布局提供数据支撑，助力提升扬尘治理的效率与精准度。

3.3 治理效果与节能评估

智能报警联动机制启用后,工地扬尘治理模式从传统定时洒水转变为动态按需响应,显著提升了治理精准度与资源利用效率,选取第15日至第30日作为对比周期,监测数据显示,PM10日均浓度由启用前的 $145\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 $98\mu\text{g}/\text{m}^3$,降幅达32.4%;PM2.5日均浓度从 $68\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 $46\mu\text{g}/\text{m}^3$,降幅同样为32.4%,颗粒物控制效果突出,洒水降尘作业频次从每日6次缩减至2次,单次洒水用水1.5t,单日节水3t,30天累计节水90t,有效减轻了现场用水负担,喷淋设备运行时长减少过半,按日耗电9.5度计算,每月可节电约140度,降低能源消耗与运营成本。

4 系统优化与推广应用建议

4.1 数据融合与多源感知发展方向

着眼于增强监测系统的环境适应性与治理精准度,未来优化可着重推进多源感知数据融合,在保留PM2.5、PM10等核心监测指标基础上,新增噪声监测模块,实现施工噪声强度的动态捕捉,支撑“扬尘-噪声”复合污染的协同评估;针对打桩、爆破等高振动施工场景,部署振动传感器,量化机械作业对周边建筑的影响程度,同时,引入气压传感器解析大气压力变化与扬尘扩散的关联,完善预测模型参数体系,通过整合多元环境数据构建统一分析模型,系统将突破单一指标局限,精准识别复杂施工场景下的污染特征,为监管部门绘制全景式工地环境质量图谱,驱动行业监管向精细化、智能化方向迈进。

4.2 移动端集成与智能运维

为进一步强化监测系统对复杂环境的适应能力与治理精准度,未来优化的核心方向可聚焦于多源感知数据的深度融合,在延续PM2.5、PM10等传统核心监测指标的同时,增设噪声监测模块,对施工过程中的环境噪声强度实施动态监测,从而实现“扬尘-噪声”复合污染的协同评估;针对打桩、爆破等具有高振动特性的施工场景,部署振动传感器,以此量化高频机械作业对周边建筑结构的影响程度,此外,引入气压传感器,深入解析大气压力变化与扬尘扩散之间的内在关联,进一步完善预测模型的参数体系,通过整合多元环境数据并构建统一的分析模型,监测系统将打破单一指标的评估局限,精准识别复杂施工场景下的污染特征,为监管部门提供全景式的工地环境质量画像,有力推动行业监管向精细化、智能化方向转型升级,未来可拓展“自动巡检+远程诊断”智能运维功能模块,借助后台

智能算法对数据采集稳定性及传输延时情况进行周期性检测,通过实时监测传感器运行状态与数据链路质量,系统能够主动识别潜在故障隐患,实现设备异常的早期预警,该模块可替代传统人工巡检模式,显著降低运维人力成本。

4.3 政策对接与行业标准化建议

为加速建筑扬尘治理智能系统的推广普及,构建规范化行业生态,需深化系统与政策、标准的衔接适配,当前,多地住建及生态环境部门已强制要求重点工程部署扬尘在线监控设备,并完成与监管平台的数据互通,在此背景下,智能监测系统应着重优化数据接口设计,确保与城市环保监管平台在协议规范、数据格式层面的无缝兼容,同时,建议行业主管部门牵头制定《建筑工地智能扬尘监测系统技术规范》,从传感器性能参数、监测点位布局密度、数据采集频率设定,到报警联动逻辑规则等核心要素,建立统一技术标准,规避设备质量参差不齐、功能流于形式等问题,此外,可将智能扬尘监测系统纳入政府采购目录及绿色建筑评价体系,作为重要考核指标,以此提升市场认可度,推动技术从试点示范向大规模应用跨越,助力智慧工地建设与绿色施工模式的深度融合。

5 结语

建筑施工扬尘治理智能监测系统依托多传感器集成、无线通信技术与云端数据分析平台,实现了扬尘污染的实时监测、智能研判与自动化控制,显著提升了扬尘治理效率与环保管理效能,实际工程应用表明,该系统运行稳定可靠,兼具节能降耗优势,具备广阔的推广前景,面向未来,需持续拓展多源数据感知能力,优化移动端运维管理功能,并加快行业标准化进程,为建筑行业实现绿色低碳发展注入强劲技术动能。

[参考文献]

- [1]张秋苓.高效喷雾系统在建筑施工扬尘控制中的应用技术[J].石材,2025(5):155-157.
 - [2]林雄魁.浅谈施工现场扬尘控制暨智能化立体降尘管控[J].建筑安全,2020,35(11):26-30.
 - [3]解晓亮.现代城市建筑施工扬尘治理策略研究[J].工程建设与设计,2024(20):236-238.
- 作者简介: 缙高鹏(1982.4—), 毕业院校: 西安交通大学, 所学专业: 环境工程, 当前就职单位: 新疆准实检测有限公司, 职务: 副总经理/授权签字人, 职称级别: 环境保护工程师。