

物联网驱动的高速公路施工污染多维度监测数据整合与预警响应机制

张宏泓

四川泰合聚力工程咨询有限公司

DOI:10.32629/eep.v8i10.2923

[摘要] 高速公路建设规模的持续拓展,使得施工污染对周边生态影响日益严重,并且传统监测存在感知单一、数据碎片化、响应不足等短板。基于此,本文依托物联网全域感知与智能分析优势,构建多维度监测体系,整合异构数据,搭建动态预警与分级响应机制。明确监测维度、优化终端与核心指标实现全域感知,以标准化转换等破解数据兼容问题,借助数据融合与机器学习构建预警模型,分级响应与闭环保障管控效果。研究旨在突破传统监测瓶颈,为施工污染精细化管控提供技术支撑,拓展物联网在工程环保领域的应用范式。

[关键词] 物联网; 高速公路施工污染; 多维度监测; 数据整合; 预警响应机制

中图分类号: V271.4+7 文献标识码: A

Integration of Multi-Dimensional Monitoring Data and an Early Warning Response Mechanism for Highway Construction Pollution Based on Internet of Things Technology

Honghong Zhang

Sichuan Taihe Juli Engineering Consulting Co., Ltd.

[Abstract] With the continuous expansion of highway construction, construction-related pollution has increasingly impacted surrounding ecological environments. Traditional monitoring approaches suffer from limitations such as single-dimensional data acquisition, data fragmentation, and inadequate response capabilities. By leveraging the advantages of the Internet of Things (IoT) in comprehensive environmental perception and intelligent data analysis, this study proposes a multi-dimensional monitoring system that integrates heterogeneous data sources and establishes a dynamic early warning and tiered response mechanism. The framework defines key monitoring dimensions, optimizes sensor deployment and core indicators to ensure full coverage, and addresses data compatibility through standardized data transformation protocols. Data fusion techniques combined with machine learning algorithms are employed to develop predictive early warning models. A tiered response strategy coupled with closed-loop management ensures timely and effective pollution control. This research aims to overcome the limitations of conventional monitoring methods, provide technical support for refined management of construction-induced pollution, and extend the application of IoT technology in engineering environmental protection.

[Key words] Internet of Things; highway construction pollution; multi-dimensional monitoring; data integration; early warning response mechanism

引言

高速公路作为交通基础设施核心,建设涉及土方开挖、机械作业等多环节,易产生扬尘、噪声、土壤扰动、水体影响等污染,影响周边生态与宜居性,传统监测依赖人工巡检与单点设备,存在范围有限、数据滞后、指标联动不足等问题,无法适配复杂施

工动态管控需求。物联网的全域感知、实时传输、智能分析特性,为突破传统监测瓶颈提供新路径,本文聚焦多维度监测体系、异构数据整合及预警响应机制,探析物联网应用逻辑,通过数据整合与智能预警实现污染精准甄别,为工程建设与生态保护协同提供技术支撑。

1 高速公路施工污染多维度监测体系构建

1.1 监测维度的科学划分

高速公路施工污染源分布零散、污染形态多元、时空维度呈动态波动态势,监测维度界定需契合施工全周期实际场景,锚定施工各环节核心特质,界定大气污染、土壤扰动、噪声污染、水体影响四大核心监测维度,实现施工阶段主要污染形态的全域覆盖。不同监测维度间存在显著耦合效应,土方作业过程中扬尘扩散与噪声扩散往往同步发生,多维度协同监测可精准捕捉污染叠加影响,规避单一维度监测造成的管控疏漏,为后续异构数据整合及精准预警模型构建筑牢全域感知根基^[1]。

施工单位必须选用符合国家有关标准的机械设备,尽量选用低噪声的施工机械和工艺,生产作业尽量向现场外部发展,减少现场施工作业量或作业内容,对于产生强噪声的成品、半成品的机械加工及制作,可以在工厂、车间内完成,减少施工现场加工制作产生的噪声。积极改进作业技术,采用先进设备与材料,降低作业噪声的产生量,施工现场围护结构的全封闭技术,以及新型隔音围护的使用,可以大大降低施工作业噪声向外界的传播强度。

1.2 物联网监测终端部署优化

监测终端部署遵循场景适配、覆盖均衡、成本可控准则,针对不同监测维度遴选适配传感器,在扬尘高发的土方开挖区、材料堆放场布设颗粒物传感器,机械密集区搭载噪声与有害气体复合传感器,水体及土壤敏感地带布设水质、土壤湿度与压实度设备。结合地形地貌调整布局,采用关键节点加密+全域均匀分布模式,缩减监测盲区,契合施工流程动态,实现全域无死角污染感知^[2]。

1.3 监测指标的精准选取

指标遴选统筹考量污染表征价值、监测实操性与数据耦合性,规避指标冗余与关键信息缺位,大气维度锁定颗粒物、挥发性有机物等核心参数,噪声维度聚焦等效连续A声级及峰值噪声参数,土壤维度重点关注扰动深度、含水率等关键指标。水体维度选取悬浮物、pH值等核心参数,这些指标既完整呈现污染程度与扩散态势,又契合物联网传感器的监测能力,同时保障各维度指标间的内在关联,为多源数据融合分析提供统一参照标准,增强后续预警响应的严谨性。

2 物联网驱动的监测数据整合关键技术

2.1 异构数据兼容处理技术

施工监测涵盖多样类型与不同品牌的传感器装置,输出数据呈现格式异质、单位各异、精度参差等状况,确立统一数据转换规约,借助标准化接口将模拟信号、数字信号等异质数据转化为JSON通用格式,达成设备间数据交互,运用Z-score标准化手段消解不同设备的系统偏差。针对缺失数据,依托时间序列插值补充技术进行完善,依据3 σ 准则辨识并剔除异常数值,数据格式规整、偏差校准与质量甄选的,保障多源数据在同一维度下的可比属性,为整合分析肃清数据层面的阻碍^[3]。

2.2 数据传输实时性保障技术

契合施工区域信号环境复杂、设备布局分散的实际工况,搭建边缘计算+5G+LoRa混合传输架构,边缘计算节点针对近端传感器数据实施预处理,筛除冗余信息并压缩数据体量以缓解传输带宽负载,5G网络承载核心数据高速传输,依托低时延优势满足实时监测诉求,LoRa技术发挥补充支撑作用。填补信号薄弱区域覆盖空白以维系数据传输的连贯性,嵌入TCP/IP协议达成数据可靠传输,运用AES加密算法筑牢数据安全屏障,以数据包重传机制规避数据丢失风险,打造预处理-高速传输-安全保障全链条传输体系,保障数据实时性与可靠性^[4]。

2.3 数据存储与预处理技术

选用时序库与关系型库组合的分布式存储架构,契合海量监测数据存储诉求,时序库承载实时流式监测数据存储任务,支撑高并发写入与快速查询,关系型库存储设备参数、场景信息及预警响应记录,实现结构化数据有序管理^[5]。数据预处理环节借助滑动窗口滤波技术削弱环境干扰引发的信号噪声,运用特征工程方法发掘数据趋势特征与突变特征,将原始数据转化为适配预警分析的有效信息。存储架构与预处理流程的协同规划,既支撑数据存储的安全稳定与高效运转,又为后续智能预警提供高品质数据依托,兼顾数据存储全流程的可靠性与后续分析应用的实用性。

3 多维度监测数据整合与预警模型构建

3.1 多源数据融合算法设计

多维度监测数据具有关联特征与互补效用,二级融合策略包含浅层与深层融合,浅层运用加权平均法整合同维度不同传感器监测数据提升可信度,深层通过贝叶斯网络算法挖掘不同维度潜在关联。熵权法引入确定各维度数据权重占比避免主观干扰,算法优化保障数据融合客观精准,为预警模型提供全面可靠输入信息。

3.2 动态预警阈值模型构建

摆脱传统固定阈值的固有局限,搭建锚定施工场景动态调整的预警阈值模型,统筹施工阶段差异化特征、周边环境要素及污染扩散规律,选用机器学习领域的随机森林算法拟合阈值调整模型,以历史监测数据与场景特征参数为输入项。灵活输出各维度污染的预警阈值,达成场景适配-实时调整-精准预警的完整逻辑链条,划定阈值缓冲区间规避数据微小波动引发的误预警情况,阈值动态优化过程强化预警模型的适配能力与判别精度,清晰界定正常波动与污染超标情形。

3.3 多级别预警信号生成机制

依托动态阈值模型输出构建轻度预警-中度预警-重度预警三级架构,轻度预警对应污染指标趋近阈值未超限,提示加密监测频次,中度预警针对单一维度指标超限,需实施靶向管控,重度预警适用于多维度同步超限或单维度大幅超限,需启动紧急响应。生成时关联污染源头定位数据与扩散态势预判,可视化界面清晰展现污染核心地带、波及范围及演化走向,为响应决策提供清晰依据,设计校验机制通过多源数据交叉核验规避误预警,确保预警信号可信权威。

4 预警响应机制的优化设计

4.1 分级响应策略制定

适配不同预警级别的层级响应方案拟定, 保障措施靶向适配度与实践效能轻度预警场景下推行加密监测频次、调整施工时段排布等温和调控手段降低污染滋生风险中度预警情境中落地专项治理方案, 扬尘超限区域提升洒水作业密度、噪声超标设备开展降噪优化处理、土壤扰动区域实施应急遮盖防护重度预警情形下启动应急管控方案。中止高污染作业环节、转移周边敏感地带人员、污染区域采取紧急处置措施层级适配的响应方案需契合施工场景实际特质, 统筹污染治理成效与工程推进节奏, 规避管控过度引发的资源冗余消耗。

4.2 响应流程闭环设计

搭建预警触发-指令下达-措施执行-效果反馈-调整优化的闭环响应体系, 预警信号形成之际物联网平台智能分发响应指令至适配管控主体, 界定责任归属、处置方案及办结期限, 执行阶段监测终端动态回传管控成效搭建动态追踪体系。管控措施落地后污染指标未达预期即触发响应升级机制优化管控力度, 响应办结后留存处置全流程及成效数据构建案例储备体系为后续响应优化供给借鉴, 以信息化手段支撑闭环体系达成全链路可追溯性, 保障管控措施切实落地, 规避响应时效不足或执行缺位等情形。

4.3 响应机制动态调整

响应机制应兼具动态适配优化属性, 依托施工流程演进与监测数据反馈持续迭代精进, 以历史响应案例的落地成效分析助力优化不同预警级别对应的处置措施组合, 强化管控效能, 参照施工阶段更迭调整响应策略核心导向。契合不同阶段污染特征差异, 依托监测数据中浮现的新型污染形态或扩散规律, 增补

对应的预警参数与处置手段, 拓展机制覆盖维度, 同步搭建反馈考评机制, 常态化归集管控单元的执行反馈与优化提议, 经由持续循环优化强化响应机制的适配度与实践价值。

5 结语

聚焦物联网驱动的高速施工污染管控, 构建多维度监测体系、异构数据整合路径及动态预警与分级响应机制, 优化监测维度划分、终端部署与指标选取实现全域感知, 数据兼容、混合传输与分布式存储技术破解多源数据整合难题, 数据融合与机器学习赋能预警模型提升判别精准度。分级响应与闭环流程保障管控实效, 研究突破传统监测局限, 为施工污染精细化管控提供完整技术方案, 未来可深挖AI算法在污染趋势预测中的价值, 精进监测终端低功耗与智能化水平, 推动管控更高效精准。

[参考文献]

- [1]廖光坚.长大段落高速公路全断面零污染路面统筹施工研究[J].科技与创新,2023,(10):128-131.
- [2]龚涛.高速公路施工中的环境污染及防治措施[J].交通标准化,2014,42(08):48-50.
- [3]李元俊,张乃琦,李琰.论高速公路施工中环境污染与对策[J].北方环境,2011,23(11):50.
- [4]沈健.高速公路施工营运中环境污染治理研究[J].国外建材科技,2004,(06):36-38+43.
- [5]杨翠红.基于物联网技术的绿色建筑施工场地PM2.5污染监测方法研究[J].环境科学与管理,2024,49(09):147-152.

作者简介:

张宏泓(1972--),男,汉族,重庆市江津区人,大专,中级,研究方向:环境工程。