科学技术与教育 2026年第10期
ISSN: 3079-4455

智慧校园环境监测网络规划设计与运行管理

李佳乐，龙娟，蒋芯怡，张子媛，朱梦豪晴，江嘉翔*
景德镇艺术职业大学，江西景德镇，中国
*通讯作者

【摘要】校园环境质量与师生身体健康、校园教学运行秩序密切相关。传统人工巡检方式存在监测覆盖不全、异常响应不及时等短板，为此本文从功能分区、时段叠加、人群敏感三个维度构建环境风险识别框架，结合不同区域特征筛选适配的监测指标。感知层布设多参数传感器，采用有线-无线备份链路完成数据分层汇聚；平台层运用边缘预处理与云端协同模式，保障网络中断时仍可持续采集数据并实现本地告警。系统运行管理采用动态阈值与三级响应联动机制，依靠模块化建设、标准接口完成成本管控与绩效评估。实践证明，该架构能够压缩高频监测数据，加快环境异常识别速度。研究认为，监测网络的核心是将环境异常信息转化为管理处置行为，形成部署、运维、预警、处置的完整闭环。

【关键词】智慧校园；环境监测；网络规划；运行管理；边缘计算

【基金项目】大学校园生态环境检测应用研究—以景德镇艺术职业大学为例（项目编号:JVUASZZX202512）

1.引言

校园环境质量直接关乎师生健康以及日常教学秩序。校园内时常出现新装修教室甲醛释放、教室内 CO2 浓度超标、照明条件不佳等现实问题，环境监测由此逐步纳入校园基础管理范畴。依靠人工巡检与分散仪表开展监测，存在巡检频次有限、监测覆盖范围狭小、异常问题发现滞后等弊端。伴随物联网、边缘计算与云平台技术在校园场景落地，针对教学楼、实验楼、宿舍、运动区域搭建环境监测网络已具备现实基础。但监测网络稳定运行，重点在于传感器布设、通信传输、数据治理和运维方案之间相互适配，并非简单叠加监测设备。本文围绕智慧校园环境监测网络的规划设计与运行管理，在控制建设成本、保障系统可拓展的基础上给出可行方案，为校园环境治理工作提供实践参考[1]。

2.问题指向与需求边界

2.1 校园环境风险的识别框架

校园环境风险呈现非均匀分布特征，和建筑功能、使用时段、人员活动模式存在较强关联。教室、实验室、图书馆、宿舍、运动场的环境暴露特征各有区别：新改造空间易积聚甲醛与总挥发性有机物，人员密集教室通风不畅会造成 CO_2 升高，宿舍夜间噪声、实验室气体泄漏、运动场气象变化同样属于重要风险源。仅依靠单一污染物超标开展评判，会割裂各类风险的内在联系，难以识别潜伏性的累积环境问题。为此风险识别框架从功能分区-时段叠加-人群敏感三个维度构建，结合空间用途划分风险类型，依托课表与人员密度修正暴露程度，结合青少年生理特征制定更为严格的管控标准。该框架并不覆盖全部风险类型，旨在为传感器布设、预警阈值确定提供校准依据，保障监测网络具备明确目标与现实解释力[2]。

2.2 监测指标筛选与区域差异

校园环境监测不宜把室内外全部参数纳入统一指标清单，否则既会抬高硬件布设成本，还会降低系统对核心环境问题的捕捉灵敏度。室内优先监测 CO_2、甲醛、TVOC、温湿度、噪声与照度，这类指标直接影响师生呼吸道健康、课堂专注力与视觉疲劳程度；室外活动区域补充 $PM_{2.5}$、PM_{10}、风向风速、降雨量与地表温度等微气象项，便于在雾霾、高温天气及时调整户外教学安排。各功能区监测重点存在明显区别：实验楼重点防范特种气体泄漏，机房与配电间需要重点监测水浸与温度骤变，宿舍噪声管控还要结合作息时段单独划定标准。即便针对同一监测项目，阈值也不能一概而论，例如教室 CO_2 预警值应低于走廊，宿舍夜间噪声限值要严于日间。这种差异化指标选取，并不取决于传感器布设数量，而是贴合空间功能与人群暴露特征；只有做到这一点，后续数据分析与自动联动管控才能真正落地[3]。

3.感知网络与节点规划

3.1 传感器选型与分区部署

传感器选型应当结合实际功能需求与现场安装条件，不能片面追求监测参数的完备性。室内教学场所优先选用能够同步采集CO_2、甲醛、总挥发性有机物、温湿度以及光照数据的一体化多参数传感器，该类设备体积小巧、功耗较低，适合逐间教室单独安装，还可以降低施工作业对正常教学活动造成的影响。实验楼需要针对氯气、氨气以及可燃气体泄漏风险，配备电化学或者催化燃烧探测模块，设备灵敏度要优于常规空气传感器，并实现和通风系统的联动控制。室外区域选择高防护等级的微气象站，整合$PM_{2.5}$/PM_{10}、风速风向、降雨量等监测要素，采用市电搭配太阳能的混合供电模式。宿舍、机房和配电间额外增设水浸、烟感传感器，用以处置非空气质量类安全隐患。分区布设的节点密度无需盲目加大，要依据人员暴露时长和风险等级确定：高频使用的教室做到每间布点，走廊这类过渡区域间隔布设，操场周边按照 50-100 米的间隔布置测点。选型阶段还要核查传感器通信接口和数据协议，为后续设备校准、器件替换留出调整余地，防止因兼容问题产生数据信息孤岛[4]。

3.2 通信架构与备份链路

通信架构设计需要综合考量信号覆盖范围、数据传输时效以及项目建设成本。室内区域可以复用已建成的校园网络，借助 RS485 总线或者 Wi-Fi 网络，把传感器采集的数据汇总至楼层网关；部分老旧建筑布线施工难度大，LoRa、NB-IoT 这类低功耗广域通信技术更加适配，单跳通信距离能够达到数百米，终端设备功耗水平低，依靠电池就可以实现长时间不间断工作。室外监测点位搭载 4G/5G 模组直接完成数据上报，减少中间中继设备，增强极端天气条件下通信链路的稳定性。网关承担感知层与平台层的数据中转工作，需要支持协议转换、本地缓存与断点续传功能，上行网络发生故障时先在本地保存数据，网络恢复之后自动完成补传。为规避单点故障风险，重点区域搭建有线、无线双链路互为备份，日常以有线链路作为主通道，无线链路保持热备用状态；主链路丢包率超出设定阈值后，网关自动切换至备用通路，同步上报链路异常信息。网络拓扑不建议使用纯星形架构，结合楼宇布局采用分层汇聚模式，核心交换机和边缘网关之间借助 VLAN 做业务隔离，防止监测业务流量挤占教学网络资源。备份链路并不能完全杜绝通信中断，其实际作用是把数据缺失时段控制在运维可承受区间，留存完整时间序列数据，用于后期核查审计[5]。

4.数据链路与平台运行

4.1 边缘处理与云端协同

边缘处理并不是直接将云端算法移植至现场设备，而是结合任务响应时效与通信链路条件，重新划分系统的处理权责。楼层网关或是独立边缘计算单元可在本地完成数据清洗、阈值比对与异常初步甄别，把高频原始数据压缩为分钟级统计结果或者事件摘要，只有触发预设判定规则时，才生成告警信息并上报云端。该处理模式能够将 CO_2 骤升、实验楼气体泄漏等突发事件的响应压缩至毫秒级别，也有效减轻上行网络带宽负担[6]。

云端平台则立足于全局，开展长周期趋势研判、模型迭代训练、管控策略下发以及跨区域综合诊断。边缘端与云端依托 MQTT 轻量协议实现双向交互，边缘端定时回传聚合数据与设备运行状态，云端同步更新模型参数、告警阈值。当部分边缘节点告警集中、算力吃紧时，云端可调度周边节点分担预处理工作，实现弹性协同。

二者协同并非要求全部数据上传云端解析，边缘设备应当具备独立运行能力，即便网络断开依旧可持续采集数据、触发本地告警；网络恢复后再由云端补全历史数据，完成模型修正。这套架构既可以实现突发事件实时处置，也保留了对环境长期演变规律的分析能力。

4.2 数据质量与安全审计

数据质量管控不应后置至数据汇集云端阶段，需要从感知节点开始实施分层管控。边缘端可依托传感器状态信息与物理量变化速率剔除跳变、重复等无效数据；针对短时数据缺失可采用线性插值补全，若缺失时间超出阈值则标记数据失效，避免干扰后续统计分析。云端层面建立时间戳对齐机制，统一各测点采样周期与上报时延，并开启异常模式检测，甄别传感器老化、设备遮挡、供电波动引发的系统性数据偏差。

安全审计需要整合访问权限管控、传输加密与操作留痕等多项机制。监测数据和学生活动时空信息存在密切联系，室内环境数据对外展示、共享前必须完成脱敏处理，仅输出区域层面的统计结果。边缘与云端通信

启用双向身份认证和加密传输，抵御伪造数据注入攻击。平台采用角色权限划分机制，区分运维、校内管理员与第三方服务商的读写权限，全部配置修改、查询操作均留存不可篡改日志，日志保存周期不少于 180 天。针对重点区域，定期抽检数据完整度与模型输出结果的一致性，保障审计过程可追溯。

数据质量管控与安全审计是平台稳定运行的基础，既能够减少误告警带来的管理资源损耗，也可以规避数据篡改、违规使用风险，为后续拓展能耗统计、健康校园评价等业务提供合规支撑。

5.运行管理与预警机制

5.1 常态运维与动态阈值

监测网络能否长期发挥效用，并不完全取决于设备布设初期的测量精度，关键在于常态化运维能否保障传感器维持可靠的测量水平。日常运维主要包含三部分内容：第一是传感器周期性校准，电化学气体传感器连续工作三个月便容易产生数据漂移，温湿度、颗粒物传感器每季度也要和标准仪器做比对，偏差超标时及时更换设备或修正补偿系数；第二是通信链路与供电状况巡检，着重核查网关缓存、备用电池电压、室外立杆防水以及天线接口，规避供电不足、接口氧化带来的隐性通信故障；第三是抽样核查数据完整度，对照边缘端与云端的时间戳、聚合数据，排查固件异常引发的重复上报、数据漏报问题。

相较于固定告警阈值，动态阈值更加适配校园实际场景。夏季教室密闭开空调时 CO_2 会快速升高，若采用统一告警标准，通风条件较好的春秋、冬季便很难触发预警。动态阈值结合历史数据、课程安排、人员密度、室外气象，借助滑动窗口或简易回归模型生成场景化告警上限，并自动降低夜间、假期等低人流时段的告警灵敏度。但阈值不宜频繁改动，否则会降低预警公信力，也难以区分真实环境异常和传感器漂移。实践中应当设置基础安全限值作为底线，动态阈值在该区间内浮动，兼顾环境适配性与系统运行稳定性。

5.2 多级响应与联动控制

环境异常事件的处置应当分层推进，不可把全部预警信息无差别推送至所有人员，或是直接触发整套自控设备。系统将响应等级划分为三级：一级属于提示预警，CO_2、照度、噪声仅小幅偏离舒适范围，尚未构成健康威胁，信息仅下发至教室终端与任课教师，建议开窗通风、调节照明，不触发自动设备；二级为警告预警，甲醛、总挥发性有机物、颗粒物超出管控标准，存在健康风险，同步告知后勤、校医室及年级管理人员，向通风设备发送预备指令；三级为应急预警，发生实验楼可燃气体泄漏、配电间水浸、户外狂风暴雨等险情，立刻开启声光告警，通知应急队伍，执行预设联动处置流程。

联动控制能否生效，取决于设备工况和控制逻辑的严密程度。条件许可时可将新风、排风扇、智能窗、照明与空调接入自控体系，但必须保障人工操作具备最高优先级。联动策略需按风险类别差异化设置：室外 $PM_{2.5}$ 超标时新风切换内循环、收小开窗幅度；室内 CO_2 偏高且室外空气质量优良，则优先开窗并启动排风。涉及切断阀门、电源这类高危动作，需在告警确认后短暂延时执行，同步推送故障原因和恢复手段，规避误操作带来的次生风险。联动机制还应定期开展演练仿真，保证各类网络状态下执行逻辑依旧可靠。

6.实施保障与评价指标

6.1 模块化实施与成本约束

校园环境监测网络建设不宜追求一步到位实现全域覆盖，需要结合现实业务需求与经费状况，拆解为多个能够独立运行的功能模块开展建设。基础模块优先完成教学楼、宿舍区域室内空气质量与温湿度监测，该部分投入可控，可以较快落地并产生实际管理成效；后续再通过扩展模块逐步增加实验室气体检测、室外微气象监测、能耗关联分析等功能。各模块依靠标准数据接口对接，新增业务无需改动原有系统架构。

成本管控层面，预算除设备采购以外，还需要涵盖安装调试、数据迁移、人员培训以及后期运维支出。运维开销通常占项目总投入的两成以上，如果没有配套专项经费，系统运行一至两年后，会因传感器校准、电池及通信链路维护不及时出现功能失效。充分复用现有资源能够有效压降成本，例如共用安防监控网络作为数据传输载体，新建工程阶段同步布设共用管线，减少重复施工。经费紧张的学校可优先搭建轻量化平台与少量监测点位，待数据积累、管理需求进一步明晰后再扩容，规避前期过度建设带来的设备闲置。模块化建设还要求供应商交付完整接口文档与版本管理方案，摆脱单一厂商绑

定，保障后续采购选择与调整空间。

6.2 标准接口与绩效评估

测系统需要和校内其他业务平台、上级管理系统打通数据交互，才能避免沦为封闭的信息孤岛。项目规划阶段就应当明确接口标准，选用 JSON、MQTT 这类通用协议，预留对接教育主管部门、生态环境平台以及疾控系统的条件。标准接口除数据格式外，还需要覆盖设备注册、身份鉴权、告警订阅、配置下发等操作接口，实现多品牌设备的统一管理。

绩效评估不能仅考核设备在线率，还需要综合数据完整度、告警准确度、处置响应时效与使用者反馈。可按月统计测点数据上传率是否达到 99%以上、误报率是否控制在允许范围、预警确认平均耗时是否达标，并借助师生问卷收集预警可读性与处置满意度。评估结果定期通报并反馈至运维工作，用于调整告警阈值、补全薄弱测点、更换故障设备。缺少绩效评价，系统极易演变为单纯的数据展示大屏，难以服务管理决策。绩效指标还应当跟随系统阶段动态调整，建设阶段重点考察部署进度与连通性，常态化运行后加大预警、联动控制的考核比重，以评价推动优化，形成持续迭代的管理闭环。

7.结论

校园环境监测网络从规划到落地运行，无法依靠单一技术环节解决全部问题，节点布设、数据链路与运维策略之间存在相互制约关系。只有监测目标适配校园空间特征，构建起数据采集、传输、预警到处置的完整闭环，系统才能由阶段性建设过渡为常态化管理。后续仍需关注传感器长期漂移、多校区数据互通、楼宇自控系统兼容等现实问题。环境监测的核心并非不断累积海量数据，而是实现环境异常的快速识别，并推动相应管理举措落地。该思路对新建校区与老旧校园改造均具备参考价值，也为碳排放核算、健康校园评价等拓展应用预留空间。

参考文献

[1]林壮志. 智慧校园的网络安全体系规划策略分析 [J]. 信息与电脑,2026,38(11):128-130.
[2]龚猷龙. 基于 3D 建模的智慧校园无线网络优化与仿真 [J]. 自动化应用,2025,66(18):232-235.
[3]徐华宇. 智慧校园分布式数据采集系统研究[J].粘接,2021,47(9):102-105.
[4]张安然.基于新能源和物联网的校园生态环境监测系统设计[D].华北电力大学(北京),2021.
[5]潘丽丽,吴加春. 基于云平台的校园监控系统设计与实现 [J]. 大众标准化,2021,(3):52-54.
[6]王世运,石焕玉. 智慧校园环境下无线传感器网络的监测系统需求研究[J].数字技术与应用,2018,36(8):49-50+52.