

物联网监测技术在建筑工程现场安全管理中的应用

朱 磊

成都环境建设管理有限公司 四川 成都 610000

摘 要：建筑施工现场风险点位多、工况复杂，传统人工巡检、纸质记录的安全管理模式存在监测滞后、覆盖不全、预判能力弱等问题，难以满足现代化施工安全管控需求。本文围绕物联网监测技术的核心架构与应用优势，从人员、设备、环境、结构四个维度阐述其在施工现场安全管理中的具体应用，总结当前技术落地存在的各类问题，并提出针对性优化对策，展望技术发展方向，为智慧工地安全管理建设提供参考。

关键词：物联网监测技术；建筑工程；现场安全管理；应用

引言：安全管理是建筑工程施工管控的重中之重，直接关系到施工进度、工程质量与人员财产安全。现阶段传统安全管理模式弊端日益凸显，人工监管存在诸多盲区，隐患处置滞后，极易引发安全事故。物联网监测技术凭借实时感知、智能预警、数据可视化等优势，成为革新工地安全管理的关键手段。本文结合施工现场实际工况，探究物联网技术的落地应用、现存问题与优化路径，助力提升施工现场安全管控智能化水平。

1 相关理论与核心技术概述

1.1 建筑工程现场安全管理概述

(1) 施工现场安全管理核心内容：聚焦人员安全、设备安全、环境安全与结构安全四大管控维度。人员安全涉及劳务实名制、安全防护用品佩戴及关键工种操作规范；设备安全涵盖塔吊、施工电梯等大型机械的全生命周期状态监控；环境安全侧重温度、湿度、风速、扬尘及有害气体等现场条件控制；结构安全则关注基坑位移、模板形变及支撑体系受力变化，四者共同构成施工现场安全管控的完整体系。(2) 传统施工现场安全管理模式及弊端：长期依赖人工巡检、纸质记录与事后追责的线性管理方式，存在数据采集滞后、巡检覆盖面有限、夜间及恶劣天气难以有效监管等突出问题。管理层级之间信息传递不畅，隐患发现时往往已处于高危状态，安全决策缺乏实时数据支撑，难以满足现代施工高速推进与复杂工况下的安全保障需求。

1.2 物联网监测核心技术原理

(1) 感知层技术：综合运用传感器技术、RFID 射频识别技术与视频智能采集技术，通过在塔吊、临边洞口、深基坑等关键部位部署相应设备，实现施工现场人员定位、设备运行参数、环境指标及结构响应数据的

全天候实时采集与自动上传。(2) 网络层技术：依托 5G、物联网专网、WiFi 等数据传输技术，构建覆盖施工现场的多模通信网络，保障海量监测数据在复杂施工环境下高效、稳定、低时延传输至云端平台，为后续分析处理提供可靠通信通道。(3) 应用层技术：基于大数据分析 with 云端数据处理技术，对前端采集数据进行清洗、存储与深度挖掘，结合智能预警模型实现异常状态自动识别、动态分级预警与可视化呈现，支撑现场安全管控从被动响应向主动干预转变^[1]。

1.3 物联网监测技术应用优势

(1) 实时性：通过连续不间断的动态监测，突破人工巡检固有的时间盲区与空间死角限制，实现施工现场全天候、全区域安全态势感知。(2) 精准性：依托各类智能监测设备直接采集客观数据，有效减少人工目视检查与经验判断带来的主观偏差，提升隐患识别的准确率与可信度。(3) 预警性：基于实时数据驱动的前兆识别与趋势分析机制，在隐患发展为事故前实现提前预判、及时预警，推动安全管理从事后追责转向事前预防。(4) 可视化：通过云端平台将多维安全数据进行图表化、模型化汇总展示，实现施工现场整体安全状态的可视、可查、可控，为管理决策提供直观、全面的信息支撑。

2 物联网监测技术在建筑工程现场安全管理中的具体应用

2.1 施工人员安全监测管理

(1) 人员定位监测：通过在施工现场部署 UWB 高精度定位基站、RFID 门禁读卡器及北斗/GPS 双模定位终端，构建室内外无缝融合的定位网络，实现对施工人员作业位置的实时追踪与轨迹回放。系统可结合 BIM 模

型划定电子围栏,当人员违规进入塔吊回转半径、基坑边缘、高支模区域等危险区域时自动触发声光报警,有效遏制违章行为引发的事故^[2]。(2)人员状态监测:智能安全帽及智能手环集成 MEMS 加速度传感器、陀螺仪、心率传感器及体温传感器,实时监测作业人员头部冲击、躯体倾斜角度、心率变异及体表温度等生理行为参数。当检测到人员静止超时(疑似昏迷)、加速度突变(疑似摔倒坠落)或在高空作业区域出现未系挂安全带的姿态特征时,系统即刻向本人及现场管理人员推送分级预警信息,实现危险行为秒级响应。(3)人员考勤与权限管理:基于人脸识别与 RFID 射频识别复合认证技术,实现施工现场全员实名制考勤自动化管理,自动生成工时统计与进出场记录。同时结合工种资质数据库,对起重机械操作、电焊作业、高处作业等特种岗位实施设备启动权限与作业区域权限的双重校验,无授权人员无法操作相应设备或进入特定作业面,从源头杜绝无证上岗与超范围作业。

2.2 施工机械设备安全监测管理

(1)大型机械运行监测:在塔吊塔身及起重臂关键节点部署高精度倾角传感器、回转编码器、起重重量传感器及风速仪,实时采集载重数据、起重力矩、回转角度、变幅幅度及塔身垂直度等核心参数;在施工电梯及物料提升机上加装行程限位传感器、防坠安全器监测模块与层间门磁感应装置,实现设备运行全参数不间断记录与超限实时报警。(2)设备故障智能预警:基于边缘计算网关对采集到的振动频谱、温度曲线、电流谐波等设备运行特征数据进行实时预处理,结合设备故障诊断模型进行异常模式识别。系统可自动比对历史正常运行基线,在轴承磨损、齿轮损伤、电机过载等早期故障特征出现时及时预警,并给出建议维护措施,杜绝机械设备带病强制运转引发突发性安全事故^[3]。(3)设备运维台账管理:物联网平台自动记录每台机械设备累计运行时长、工作载荷谱、故障报警记录及维修保养操作日志,形成完整、不可篡改的电子运维档案。系统依据预设的保养周期和零部件更换标准自动生成维保提醒工单,并关联备品备件库存信息,实现从设备进场、日常使用、定期维保到报废退场的全生命周期数字化安全闭环管理。

2.3 施工现场环境安全监测管理

(1)环境参数监测:在施工现场四周及重点作业区域部署集成式环境监测站,集成 PM2.5/PM10 颗粒物传感器、噪声传感器、温湿度传感器及超声波风速风向仪,实时采集扬尘浓度、施工噪声、环境温湿度和风力等级

数据。当扬尘超标时联动喷淋降尘系统自动启动,当风速超过安全阈值时自动暂停塔吊及高空吊装作业,保障绿色施工与恶劣天气条件下的作业安全。(2)危化品与消防监测:在油漆库房、氧气乙炔存放区及防水材料堆放区部署可燃气体传感器、有毒气体传感器(CO、H₂S、VOCs)及感烟感温复合探测器,24小时不间断监测易燃易爆及有毒有害物质浓度。同时将智能烟感报警器、消防栓水压监测装置与物联网平台联动,一旦探测到火情或环境参数异常,立即触发本地声光报警并同步推送警情至管理人员手机端和消防控制中心,实现火情早发现、早处置^[4]。(3)基坑与边坡环境监测:在深基坑及高边坡区域布设阵列式位移监测桩、孔隙水压计及自动化水位计,实时监测深层土体水平位移、支护结构内力变化、地下水位及周边地表沉降数据。系统自动绘制位移-时间曲线和沉降云图,当变形速率或累计位移量接近预警阈值时及时推送警报,有效预防基坑坍塌、边坡滑移及积水倒灌等重大安全事故的发生。

2.4 施工结构安全监测管理

(1)建筑主体结构监测:在在建建筑的关键受力构件(核心筒剪力墙、大跨度梁、转换层楼板等)表面或内部预埋振弦式应变计、光纤光栅应变传感器及裂缝计,实时采集混凝土凝固硬化过程中的收缩应变、温度应力及构件挠度变形数据。监测数据上传至云端分析平台后,与结构设计理论计算值进行动态比对,一旦实测应力或形变超出设计允许范围,系统即时预警并定位异常构件,为施工方案动态调整和结构加固决策提供量化依据。(2)临时设施监测:在扣件式或盘扣式脚手架立杆顶部及底部安装微型拉压传感器与电子水准仪,实时监测立杆轴力分布及基础沉降量;在模板支撑体系的关键节点布设位移传感器及倾角传感器,持续追踪支撑立杆的水平位移和垂直度偏差。系统根据监测数据自动生成临时设施安全状态评估报告,当监测指标触及预警阈值时提示现场立即采取加固或卸载措施,切实防范高支模坍塌等群死群伤事故的发生。

3 物联网监测技术在建筑工程现场安全管理应用现存问题与优化对策

3.1 物联网监测技术现场应用现存问题

(1)设备适配性不足:部分监测设备按标准环境设计,直接部署于高粉尘、雨水侵蚀、强电磁干扰及大温差等施工现场后,传感器易出现数据漂移、信号衰减甚至设备失灵,导致监测可靠性下降。(2)数据整合度低:人员定位、机械监控、环境监测、结构检测等子系统多由不同厂商独立建设,缺乏统一数据接口与交互协

议,信息孤岛现象突出,各维度数据难以关联融合,无法实现综合安全态势研判。(3)落地成本偏高:物联网监测体系涉及前端传感器、网络部署、云平台建设及后期维护等多个环节,初始投资与持续运营成本较高,中小施工企业经济压力较大,推广应用受限。(4)专业人才匮乏:现场安全管理人员多具备传统土木工程或安全管理背景,对物联网设备操作、数据判读及异常处置等信息化技能掌握不足,系统功能使用不充分,技术应用效果远未达到预期。

3.2 技术应用优化改进对策

(1)优化硬件设备选型与部署:建立施工现场工况分级分类清单,针对高粉尘区、露天作业区、强电磁干扰区等不同场景,选用具备相应防护等级(如IP65及以上防尘防水、宽温域工作能力、抗电磁干扰认证)的工业级监测设备。编制标准化部署规范,明确各类传感器的安装位置、固定方式、防护措施及巡检维护频次,确保设备在恶劣环境下长期稳定运行。(2)搭建一体化数据管理平台:制定施工现场物联网数据接入统一标准,将人员定位、机械运行、环境参数、结构响应等各类监测子系统数据汇聚至统一数据中台。平台内建立数据清洗、关联融合与可视化展示机制,消除信息孤岛,实现施工现场安全要素一张图综合呈现,为安全管理者提供统一、完整、实时的决策信息视图^[5]。(3)降低技术落地应用成本:针对中小项目及专项工程,研发轻量化、模块化监测方案,聚焦核心风险点位进行有限但精准的监测部署,避免大而全的不必要投入。积极推行监测设备租赁服务与批量集中采购模式,将资本性支出转为运营性支出,依据项目周期灵活配置设备数量,有效降低单项目应用门槛和经济负担。(4)强化专业人才培养:编制面向施工现场管理人员的物联网基础操作手册与教学视频,围绕设备安装维护、平台日常操作、监测数据解读及预警响应流程等内容,开展分层次、常态化的专项技术培训。鼓励安全管理骨干参与物联网工程师等跨领域技能认证,着力培养兼具建筑施工安全管理知识与物联网技术应用能力的复合型人才梯队。

3.3 技术应用发展展望

(1)智能化升级:随着人工智能与深度学习算法的

成熟应用,物联网监测系统将由“感知+报警”的被动反馈模式,向“识别+研判+决策支持”的主动智能模式演进。系统能够基于海量历史监测数据自动提取事故前兆特征,实现安全隐患的智能化自动识别、多因素耦合风险动态研判及精准分级预警推送,大幅提升安全管控的前瞻性与精准度。(2)全域化覆盖:未来物联网监测将贯穿施工现场从地基处理、主体施工到装饰装修的全过程,覆盖人员、机械、环境、结构等所有安全要素,同时向工人生活区、预制构件加工区等配套区域延伸,真正实现施工现场安全管理横到边、纵到底、无盲区、无死角的全面管控。(3)融合化发展:物联网监测技术将与BIM模型、智慧工地管理平台、数字孪生技术深度融合,构建起虚实映射、实时联动的数字化安全管理体系。通过三维可视化方式直观展示各风险点实时状态,并借助数字孪生进行施工方案安全预演和事故场景回溯分析,为建筑施工现场安全管理全面数字化转型提供坚实技术支撑。

结束语

综上,物联网监测技术凭借实时、精准、预警、可视化的核心优势,有效弥补了传统建筑施工现场安全管理的短板,实现了安全管控从事后追责向事前预防的转型。当前技术落地仍存在设备、数据、成本、人才等多重难题,需通过优化硬件配置、搭建一体化平台、降低应用成本、培育复合型人才等方式完善体系。未来随着智能技术深度融合,物联网将全面赋能工地安全管理,推动建筑行业安全管控高质量数字化发展。

参考文献

- [1] 张伟,刘敏.BIM与物联网融合的智慧工地管理体系研究[J].建筑经济,2023,44(10):78-83.
- [2] 李明,王浩.基于数字孪生的智慧工地进度管控系统构建与实践[J].施工技术,2024,53(12):201-205.
- [3] 张传君,莫言迟,李文元,刘占省,马自峰.基于BIM技术的绿色智慧工地建设[J].建筑技术,2024,55(5):547-551.
- [4] 田雅敏.智慧工地系统在房屋建筑施工现场管理中的应用[J].全面腐蚀控制,2025,39(06):132-135.
- [5] 高红娟.物联网技术在建筑工程施工安全管理中的应用研究[J].中国设备工程,2022,10(12):50-52.