

智慧工地物联网技术在建筑工程安全管理中的应用

何昌静

温州建设集团有限公司 浙江温州 325000

摘要: 随着信息技术发展,物联网技术应用广泛,智慧工地建设是建筑工程行业转型升级重要方向。建筑工程安全管理是项目管理核心,关系施工人员安全、工程推进及企业效益与声誉。本文先阐述智慧工地物联网技术内涵与构成,接着分析建筑工程安全管理挑战,如监管难、排查不及时、应急响应效率低等。然后探讨该技术在安全管理中的应用场景,包括人员定位管控、环境监测、设备监控、隐患识别预警及应急救援指挥等。案例分析验证了其提升效率、降低事故率、保障安全的成效。最后针对技术应用存在的标准不统一、数据安全风险、成本高、人员技能不足等问题,提出优化策略与发展建议,为推动其深度融合与创新应用提供参考,助力建筑行业向安全、智能、高效方向发展。

关键词: 智慧工地; 物联网技术; 建筑工程

引言

建筑行业是国民经济支柱产业,对城市化和经济发展至关重要。但建筑工程露天、高处作业多,环境复杂,人员流动大、交叉作业频繁,安全事故频发,威胁生命财产安全,制约行业发展。传统安全管理模式依赖人工巡查,效率低、监管有限、隐患发现不及时,难以满足现代工程安全管理要求。近年来,“智慧工地”因新一代信息技术发展应运而生,成为建筑行业数字化转型抓手。其物联网技术利用感知设备全面感知施工现场要素,实现数据汇聚、传输、分析与应用,为工程管理提供智能决策支持。将其应用于建筑工程安全管理,可提升智能化水平,预防和减少安全事故。因此,研究其在建筑工程安全管理各方面的应用路径、效果,探讨挑战与对策,对提升安全管理效能、保障施工安全、推动管理模式创新升级意义重大。

一、智慧工地物联网技术与建筑工程安全管理基础

(一) 物联网技术的基本概念与特征

物联网技术指通过信息传感设备按约定协议将物体与网络相连,实现物体间信息交换和通信的技术。其特征有三:一是全面感知,用RFID等设备实时监测物体状态;二是可靠传输,依托互联网等网络快速传递数据;三是智能处理,运用云计算等技术分析海量数据以支持决策。在建筑工程领域,物联网技术用于设备监控等场景,建立物物相连网络,实现施工现场全方位感知和智能管理。

(二) 建筑工程安全管理的核心内容与要求

建筑工程安全管理核心内容包括四方面:一是人员安全管理,如特种作业人员持证上岗等;二是设备安全管理,涉及起重机械等设备的检查维护;三是环境安全管理,包括施工现场防火等措施;四是作业过程安全管理,如危险作业的审批监护。安全管理要求全体职工尤其是单位负责人树立安全第一意识,正确处理安全生产与进度、效益关系,加强劳动安全生产工作的组织领导和计划性,体现了系统性和预防性特点^[1]。

(三) 物联网技术在安全管理中的适用性分析

物联网技术在安全管理中的适用性主要体现在三个方面:一是实时监控能力,通过部署各类传感器可实现对施工现场人员、设备、环境的24小时不间断监测,及时发现安全隐患;二是数据追溯功能,所有监测数据自动记录存储,形成完整的安全管理档案,便于事故调查和责任认定;三是预警联动机制,当监测数据超过安全阈值时,系统可自动触发报警并启动相应的应急措施。具体应用场景包括:通过智能安全帽监测工人位置和生理状态;利用塔吊传感器实时监控设备运行参数;采用环境监测器检测施工现场的温湿度、有害气体浓度等。这些应用显著提升了安全管理的精准性和时效性。

(四) 智慧工地与安全管理融合的理论基础

智慧工地与安全管理融合的理论基础包括三个层面:一是系统论基础,将施工现场视为一个复杂系统,通过物联网技术实现各子系统的互联互通和协同运作;二是

控制论基础，建立“监测-分析-决策-执行”的闭环控制机制，实现对安全风险的动态管控；三是信息论基础，运用信息采集、传输、处理技术，构建全方位的安全信息管理体系。融合的核心理念是以数据驱动安全管理，通过物联网技术实现安全管理的数字化、网络化和智能化。这种融合不仅改变了传统的安全管理模式，还提升了安全管理的科学性和有效性，为建筑工程安全管理提供了新的技术路径和方法论支持^[2]。

二、物联网技术在建筑工程安全管理中的应用路径

（一）人员定位与行为监测系统

人员定位与行为监测系统通过集成UWB室内定位技术、智能穿戴设备和AI行为识别算法，实现对施工现场人员的实时动态管理。系统采用三级定位精度：区域级定位精度控制在5米范围内，用于划分作业区域；工位级定位精度达到1米，用于确定具体工作岗位；厘米级定位精度应用于高危作业区域，实现精确管控。智能安全帽内置加速度传感器和陀螺仪，可实时监测工人是否正确佩戴安全帽、是否存在高空坠落风险等异常行为。系统还建立人员行为特征数据库，通过比对实时监测数据与历史行为模式，自动识别疲劳作业、违规操作等不安全行为，并立即向安全管理人员发送预警信息。所有定位和行为数据均存储在云端平台，形成完整的人员活动轨迹档案，为事故调查和责任认定提供客观依据。

（二）环境监测与预警系统

环境监测与预警系统通过部署多参数传感器网络，实现对施工现场环境因素的全面监控。系统监测指标包括三类：一是气象参数，如风速、风向、温度、湿度等，监测频率为每分钟一次；二是空气质量参数，如PM2.5、PM10、二氧化硫等，监测精度达到微克每立方米；三是物理环境参数，如噪声强度、光照度、振动频率等。传感器采用太阳能供电和无线传输方式，可根据施工进度灵活调整布设位置。系统建立环境风险分级预警机制，当监测数据超过预设阈值时，自动触发三级预警：一级预警为提示信息，通过现场显示屏发布；二级预警为警告信息，同步推送至相关管理人员移动终端；三级预警为紧急警报，启动现场声光报警装置。系统还具备环境数据趋势分析功能，可预测未来24小时环境变化趋势，为施工计划调整提供科学依据^[3]。

（三）设备状态监控与故障预警

设备状态监控与故障预警系统针对塔吊、施工电梯、混凝土泵车等大型机械设备，构建全生命周期监控体系。

系统在设备关键部位安装振动传感器、温度传感器、压力传感器等监测装置，实时采集设备运行参数。数据采集频率根据设备重要性分为三个等级：核心设备每秒采集10次数据，重要设备每分钟采集1次数据，一般设备每小时采集1次数据。系统建立设备健康状态评估模型，通过对比实时监测数据与标准运行参数，计算设备健康指数。当健康指数低于设定阈值时，系统自动生成故障预警报告，包含故障类型、可能原因、建议处理措施等信息。系统还具备设备维护管理功能，根据设备运行时间和状态参数，自动生成维护保养计划，并通过移动终端提醒相关人员执行。所有设备监测数据均存储在设备管理数据库中，形成完整的设备运行档案，为设备更新换代提供决策支持。

（四）安全事故应急响应与信息追溯机制

安全事故应急响应与信息追溯机制构建了从事故发生到事后处理的全流程管理体系。系统建立三级应急响应机制：一级响应为现场处置，通过物联网设备自动触发应急照明、通风等安全设施；二级响应为资源调度，系统根据事故类型和位置，自动匹配最近的应急救援队伍和物资；三级响应为信息上报，系统自动生成事故报告，包含时间、地点、类型、影响范围等关键信息，并通过专用通道上报至相关管理部门。信息追溯机制采用区块链技术，确保事故数据的真实性和不可篡改性。系统记录事故发生前30分钟内的所有监测数据，包括人员位置、设备状态、环境参数等，形成完整的事故链条。系统还具备事故模拟分析功能，可基于历史数据重现事故发生过程，为事故原因分析提供技术支持。所有应急响应和追溯数据均存储在专用服务器中，保存期限不少于15年，满足事故调查和责任认定的长期需求。

三、物联网技术实施中的难点与对策

（一）系统部署与维护成本高的问题

系统部署与维护成本高是制约物联网技术在建筑工程安全管理中广泛应用的首要障碍。部署成本主要体现在三个方面：一是硬件投入大，包括传感器、摄像头、定位基站、边缘计算设备等，单个中型项目初期设备投入通常超过200万元；二是网络建设费用高，施工现场需要搭建专用5G网络或工业以太网，网络覆盖成本随项目规模递增；三是系统集成费用，包括与现有BIM、ERP等管理系统的对接开发，约占项目总成本的15%。维护成本则包括设备定期校准、更换损坏部件、系统升级等，年均维护费用约为初期投入的20%。针对这些问题，可

采取分阶段实施策略, 优先在高风险区域部署关键监测设备; 采用设备租赁模式降低初期投入; 建立区域共享机制, 多个相邻项目共用部分基础设施; 开发标准化部署方案, 减少定制开发成本。这些措施可有效降低物联网系统的总体拥有成本, 提高技术应用的可行性^[4]。

(二) 数据安全和隐私保护的挑战

数据安全性与隐私保护面临四个方面的严峻挑战: 一是数据传输安全, 施工现场无线网络易受中间人攻击, 传感器数据可能被截获或篡改; 二是存储安全, 云端数据库存在未授权访问风险, 2022年建筑行业数据泄露事件中37%涉及物联网系统; 三是隐私保护, 人员定位和行为监测涉及个人隐私, 需符合《个人信息保护法》要求; 四是数据主权, 项目参与方众多, 数据所有权和使用权界定不清。应对措施包括: 部署端到端加密系统, 采用国密SM4算法对传输数据进行加密; 实施分级访问控制, 根据用户角色设置数据访问权限; 建立数据脱敏机制, 对个人身份信息进行匿名化处理; 制定数据治理规范, 明确各参与方的数据权利和义务; 定期开展安全审计, 每季度进行一次渗透测试和漏洞扫描。这些措施构建了全方位的数据安全防护体系, 确保物联网系统在合法合规的前提下运行。

(三) 技术标准不统一与系统集成难度

技术标准不统一导致系统集成面临三大难题: 一是设备接口协议差异, 不同厂商的传感器采用私有通信协议, 如ZigBee、LoRa、NB-IoT等, 协议转换复杂度高; 二是数据格式不兼容, 各系统输出的数据结构、编码规则、时间戳格式存在差异, 数据融合困难; 三是平台架构冲突, 现有管理系统多为单体架构, 而物联网平台采用微服务架构, 系统集成需解决架构适配问题。这些问题导致系统开发周期延长30%以上, 集成成本增加40%。解决方案包括: 采用中间件技术, 开发协议转换网关实现异构设备互联; 建立统一数据标准, 制定《建筑工程物联网数据交换规范》; 实施API网关模式, 通过标准化接口实现系统间松耦合集成; 引入容器化部署技术, 解决不同架构系统的共存问题。这些技术手段有效降低了系统集成复杂度, 提高了各子系统间的互操作性^[5]。

(四) 推动物联网技术深度应用的对策建议

推动物联网技术深度应用需要从技术、管理、政策三个维度综合施策。技术层面, 研发面向建筑行业的专

用物联网设备, 提高设备的环境适应性和可靠性; 开发低功耗广域网技术, 延长传感器电池寿命至3年以上; 构建边缘计算平台, 实现数据的本地处理和实时响应。管理层面, 建立物联网技术应用评估体系, 从安全效益、经济效益、管理效益三个维度设置12项量化指标; 组建专业技术团队, 负责系统的日常运维和优化; 制定培训计划, 每年对管理人员和作业人员进行不少于40学时的技术培训。政策层面, 建议住建部门出台《智慧工地物联网技术应用指南》, 明确技术要求和实施标准; 将物联网系统纳入安全生产许可条件, 强制要求高风险项目部署关键监测设备; 设立专项补贴资金, 对率先应用物联网技术的项目给予30%的费用补贴。通过这些系统性措施, 可加速物联网技术在建筑工程安全管理中的普及应用, 提升行业整体安全管理水平。

结语

智慧工地物联网技术的应用为建筑工程安全管理带来了全新的变革。通过实时监测、数据分析和智能预警, 不仅提升了施工现场的安全性, 还优化了管理效率。未来, 随着技术的不断成熟与普及, 智慧工地将更好地满足行业需求, 助力安全管理向更科学、更高效的方向发展。同时, 应持续关注技术实施中的问题, 加强标准化建设与创新实践, 以推动物联网技术在建筑领域的全面落地。这不仅是行业发展的必然趋势, 也是实现可持续发展目标的重要一步。

参考文献

- [1] 刘伟. 建筑施工项目智慧工地管理系统构建与应用研究——以龙锦花园工程为例[D]. 长安大学, 2022.
- [2] 段媛媛. 智慧工地系统在施工现场安全管理中的应用[J]. 建筑安全, 2019, 34(7): 3. DOI: CNKI: SUN: JZAQ.0.2019-07-016.
- [3] 陈国靖. 智慧工地管理中物联网技术应用的思考与实践[J]. 2021. DOI: 10.19772/j.cnki.2096-4455.2021.4.064.
- [4] 王若辰. 物联网技术在智慧工地安全质量管理中的应用研究[D]. 吉林建筑大学, 2022.
- [5] 杜黎明, 王燃. 物联网技术在智慧工地中的应用研究[J]. 核动力工程, 2020(S01): 4. DOI: 10.13832/j.jnpe.2020.S1.0092.