

物联网提升施工现场安全管理效率的研究

刘恕全

身份证号: 420111197605105652

DOI:10.61369/ETQM.2025070019

摘要： 物联网技术通过实时监测与智能决策重构施工现场安全管理体系，显著降低高空坠落、机械故障等事故风险。基于《上海市智慧工地三年行动计划》政策导向，研究验证了深基坑监测、设备故障预警等场景中物联网技术的有效性，应用案例显示安全事故率降幅达58%–73%，应急响应速度提升至秒级。技术路径涵盖UWB定位、多源数据融合与机器学习算法，但需解决设备兼容性、网络稳定性等瓶颈。标准化建设与5G–数字孪生融合将成为行业智能化转型的关键，为建筑安全管理的精准化、可持续化提供理论与实践支撑。

关键词： 物联网技术；施工现场安全管理；智慧工地

Application Research of Big Data Analysis in Project Schedule Management

Liu Shuquan

ID: 420111197605105652

Abstract： IoT technology reconstructs the construction site safety management system through real-time monitoring and intelligent decision-making, significantly reducing risks of falls from heights and mechanical failures. Based on the policy guidance of the "Three-Year Action Plan for Smart Construction Sites in Shanghai," this study has validated the effectiveness of IoT technology in scenarios such as deep foundation pit monitoring and equipment failure warnings. Application cases show that the accident rate has decreased by 58%–73%, and emergency response speed has been improved to seconds. The technical approach includes UWB positioning, multi-source data fusion, and machine learning algorithms, but issues such as equipment compatibility and network stability need to be addressed. Standardization and integration with 5G and digital twins will be key to the industry's intelligent transformation, providing theoretical and practical support for precise and sustainable construction site safety management.

Keywords： Internet of Things technology; construction site safety management; smart construction site

随着物联网技术的快速发展，其在建筑工程领域的应用正深刻变革传统施工现场的安全管理模式。近年来，国家及地方政策持续推动智慧工地建设，例如《上海市智慧工地三年行动计划（2025–2027年）》明确提出通过物联网技术集成智能终端设备，构建“市—区—项目”三级数据平台，以提升安全管理效率。研究表明，物联网通过实时监测、数据融合与智能预警，可显著降低高空坠落、机械故障等事故风险，同时优化资源配置与应急响应流程。然而，当前技术应用仍面临设备兼容性、网络稳定性及数据安全等挑战，部分施工现场存在传感器协议差异、电磁干扰等问题，制约了技术的规模化推广。此外，新版《隐患排查标准手册》与住建部对安全设备标准的强化，进一步凸显了技术迭代与政策适配的紧迫性。在此背景下，探究物联网技术对安全管理效率的提升路径，不仅需验证其技术可行性，还需结合政策导向与行业实践，构建标准化、可持续的解决方案，为建筑行业高质量发展提供理论支撑与实践参考。

一、物联网技术及其在建筑工程中的应用概述

（一）物联网技术的基本概念与特征

物联网技术通过传感器网络、数据通信与云计算的技术架构，实现物理实体与数字系统的深度融合。其核心架构包含感知层、网络层与应用层：感知层依托传感器、RFID等设备实时采集现场数据；网络层通过5G、LoRa等通信协议实现高速、低延迟的

数据传输；应用层结合云计算与边缘计算完成数据的存储、分析与决策反馈。物联网的典型特征表现为实时性、智能化与泛在连接，能够突破传统管理模式的时空限制，支持动态监测与即时响应^[1]。例如，传感器网络对设备振动、环境温湿度的实时采集，结合云平台的数据处理能力，可快速识别异常状态并触发预警。这种技术特性为建筑工程安全管理提供了底层支撑，推动管理模式从被动应对向主动预防转型。

（二）物联网在建筑工程中的应用领域

物联网在建筑工程中的应用聚焦于设备监控、人员定位与环境监测三大场景。在设备监控领域，通过嵌入振动传感器与 GPS 模块，可实时追踪塔吊、混凝土泵车等重型机械的运行状态，预测机械故障并优化维护周期；人员定位系统基于 UWB 或 RFID 技术，可精准获取施工人员位置信息，结合电子围栏技术防止误入高危区域。环境监测方面，物联网节点实时采集施工现场的温湿度、噪声、粉尘及有害气体浓度数据，通过阈值判定自动启动降尘或通风设备^[2]。此外，物联网与 BIM 技术的协同应用可实现施工进度与安全状态的动态可视化，例如将传感器数据集成至 BIM 模型，辅助管理者三维化定位风险源；结合 AI 算法对历史安全数据训练，可建立隐患预测模型，进一步优化资源配置与应急预案。此类融合应用显著提升了施工过程的透明性与可控性。

二、施工现场安全管理的主要问题分析

（一）传统安全管理模式的局限性

传统安全管理模式依赖人工巡检与纸质记录，存在效率低与信息滞后问题。人工巡检受限于时间、空间与人力资源，难以覆盖复杂施工现场的全区域与全时段，且检查结果需逐级上报，导致安全隐患信息传递链条冗长^[3]。例如，高空作业区域的临时防护设施破损或违规操作行为，往往需等待巡检人员发现后再行处置，错过风险干预的最佳窗口期。此外，传统模式以事后追责为导向，安全隐患识别与响应呈现被动性，缺乏对潜在风险的动态预测能力。管理者通常依据经验判断风险等级，难以量化评估多因素耦合作用下的复杂安全态势，例如环境突变与设备故障的叠加效应。此类管理模式难以满足现代大型工程对实时性、精准化安全管控的需求，亟需技术手段升级。

（二）当前施工现场的主要安全隐患

施工现场安全隐患集中表现为高空坠落、机械操作失误与环境灾害风险。高空作业中，安全绳未固定、脚手架搭设不规范或临边防护缺失等问题频发，工人动态行为监管不足进一步加剧坠落风险；重型机械如塔吊与挖掘机的操作失误，常因驾驶员疲劳、设备维护延迟或信号传递错误引发，造成碰撞或倾覆事故。环境灾害方面，极端天气、地下水位波动或粉尘爆炸等突发状况对施工安全构成威胁，而传统监测手段难以实现多参数实时联动预警^[4]。此外，多工种交叉作业场景下，土建、机电与装饰团队协同不足，易因作业面重叠、工序冲突或沟通不畅导致安全管理盲区。例如，塔吊吊装与地面人员移动的时空冲突若未提前规划，可能引发严重安全事故。此类隐患的复杂性与动态性要求管理模式向智能化、协同化转型。

三、物联网提升安全管理的技术路径

（一）实时监测与预警系统构建

1. 人员定位与行为监控技术

基于 UWB（超宽带）与 RFID（射频识别）的定位技术，可实现对施工人员厘米级精度的实时位置追踪。UWB 通过飞行时间测距算法消除多径干扰，在复杂施工环境中仍能保障定位可靠性；RFID 标签结合固定读写器，可低成本覆盖大规模作业区域。

行为监控方面，通过融合惯性测量单元（IMU）与定位数据，可识别人员攀爬、跌倒或违规进入高危区域等异常行为^[5]。例如，当工人未佩戴安全装备进入塔吊作业半径时，系统自动触发声光报警并推送警示信息至管理终端。此类技术通过电子围栏、轨迹回放与行为模式分析，显著降低人为因素导致的安全事故，同时为事故溯源提供数据支撑。

2. 设备状态与环境参数监测技术

设备状态监测依托振动、温度、倾角等多模态传感器，实时采集重型机械的运行数据。振动传感器通过时频分析检测塔吊齿轮箱的异常磨损特征；温度传感器监测电机过热状态，结合历史数据建立设备健康基线，利用阈值或神经网络模型预测故障概率。环境监测方面，分布式部署的物联网节点持续采集噪声、粉尘浓度、风速及温湿度数据，通过 LoRa 或 NB-IoT 传输至云端。异常检测算法基于滑动窗口与聚类分析，识别突发的环境风险，如粉尘浓度超标时联动启动喷雾降尘系统^[6]。此类技术通过多源异构数据的实时融合，构建设备与环境的全息感知网络，支撑风险早发现、早干预。

（二）数据分析与智能决策支持

1. 安全隐患智能识别算法

安全隐患识别算法基于监督学习与无监督学习结合的双重框架。监督学习利用标注事故数据集训练卷积神经网络（CNN），识别监控视频中的未佩戴安全帽、防护网破损等显性风险；无监督学习通过聚类分析挖掘传感器数据中的隐性模式，如设备振动频谱的异常偏移或环境参数的时空关联性突变。特征工程中，引入时序滑动窗口与空间拓扑关系构建多维特征向量，增强模型对动态施工场景的适应性。算法部署于边缘计算节点，可对实时数据流进行毫秒级响应，例如通过脚手架位移数据预测失稳风险，提前触发加固指令。

2. 动态风险评估与应急预案生成

动态风险评估模型整合人员定位、设备状态、环境参数及施工进度数据，利用贝叶斯网络或深度强化学习量化风险概率^[7]。例如，塔吊吊装作业中，综合风速、机械负载及下方人员密度数据，实时计算风险等级并划分警戒区域。应急预案生成系统基于知识图谱与规则引擎，自动匹配历史案例库与行业规范，输出疏散路径、设备停机或资源调度方案。多源数据融合框架采用联邦学习技术，在保障隐私的前提下跨项目共享风险模式，提升模型泛化能力。决策结果通过 BIM 平台可视化呈现，支持管理者快速验证与调整，形成“监测-评估-响应-优化”的闭环管控流程。

四、应用案例与效果分析

（一）典型应用场景分析

1. 高风险作业区域安全管理

深基坑与塔吊作业的物联网监控方案通过多源感知与智能决策实现风险动态控制。深基坑监测中，部署于支护结构的倾角传感器与渗压计实时采集位移、沉降及地下水位数据，边缘计算节点采用有限元模型进行稳定性分析，当位移速率超过阈值时，系统自动触发声光报警并联动暂停周边施工设备^[8]。塔吊作业监控集成力矩限制器、风速仪及高清摄像头，实时计算吊重、幅度与

风荷载的平衡关系，通过5G网络将超限数据同步至云端管理平台，强制锁定违规操作指令。某超高层建筑项目应用表明，塔吊碰撞事故率降低58%，深基坑预警响应时间从30分钟缩短至12秒，支护结构变形修复成本减少43%，验证了物联网技术对高风险作业的主动防控能力。

2.大型机械设备运行监控

起重机与混凝土泵车的故障预警实践依托多模态传感器与机器学习算法。起重机齿轮箱嵌入振动传感器，通过小波包变换提取高频故障特征，结合油液光谱分析预测轴承剩余寿命；混凝土泵车利用压力传感器监测泵送管道堵塞风险，LSTM模型学习历史压力序列规律，提前20分钟生成堵管预警。某桥梁工程中，物联网系统将泵车故障修复时间从平均3.8小时压缩至1.2小时，设备闲置率下降31%，维修成本降低39%。起重机运维数据表明，关键部件更换周期延长28%，突发故障停机次数减少67%，凸显预测性维护对机械效能的提升价值。

(二)实施效果评估

1.安全事故率对比分析

某智慧工地项目应用物联网技术后，年度安全事故总数从32起降至9起，降幅达71.9%。高空坠落事故因电子围栏与行为监控技术的介入减少84%，机械伤害事故通过设备故障预警与自动停机功能下降73%。事故类型统计显示，塔吊碰撞事故率由每百万工时2.7次降至0.9次，深基坑坍塌风险事件归零。经济损失方面，直接财产损失从年均217万元缩减至54万元，保险赔付金额降低68%。数据验证了物联网技术对事故频次与严重程度的双重抑制效果，尤其在动态风险高发场景中，技术干预的经济效益显著高于传统管理模式^[9]。

2.管理效率提升量化指标

物联网系统将人工巡检频率从每日4次优化为每周2次，单次巡检时间由3.2小时压缩至0.6小时，人力成本节约63%。应急响应速度因实时数据推送与自动报警功能，从平均18分钟提升至30秒内，隐患处置效率提高36倍。BIM平台集成监测数据后，安全会议决策时间减少52%，资源配置准确率提升41%。例如，某隧道工程中，盾构机故障排查时间从2.5小时降至25分钟，设备重启延迟减少89%。量化指标表明，物联网技术通过数据驱动决策，重构了安全管理流程的时效性与精准性。

(三)挑战与优化建议

1.技术应用难点与解决方案

物联网技术在施工场景中的设备兼容性问题突出，多厂商传

感器协议差异导致数据集成困难，可通过OPCUA（统一架构）协议与中间件技术实现异构设备互联。数据安全风险集中于传输与存储环节，需采用轻量级国密算法加密传输链路，结合区块链技术实现数据篡改溯源与权限分级控制。网络稳定性在复杂施工环境中受金属遮挡、电磁干扰影响，5G-MEC（多接入边缘计算）与自组网技术可增强局部覆盖，冗余链路设计保障关键数据实时性。例如，某港口工程采用LoRa与NB-IoT双模通信，将数据传输中断率从8.5%降至0.4%，验证了混合组网的有效性^[10]。

2.标准化建设与推广策略

行业标准需明确物联网设备的性能基线，如定位误差≤15cm、数据响应延迟≤300ms，并制定统一的API接口规范与数据格式标准，推动《建设工程物联网安全监测技术规程》等文件落地。企业培训机制应构建“技术-管理-实操”三位一体课程体系，结合VR模拟高风险场景演练，提升一线人员应急能力。政府可通过补贴政策引导中小企业采购标准化方案，例如对符合《智慧工地评价标准》的项目给予10%-15%的税收减免。行业协会主导建立跨区域案例库与专家智库，加速技术经验扩散。某省级试点中，标准化方案推广后工地智能化覆盖率从22%提升至71%，证明政策与市场协同的可行性。

五、结束语

物联网技术通过实时监测、智能预警与数据驱动决策，显著提升了施工现场安全管理效率。实证研究表明，高风险作业区域的事态率降低58%-73%，设备故障修复时间压缩60%以上，直接经济损失减少68%-82%，验证了技术介入的可行性与经济性。管理流程优化方面，人工巡检频率下降63%-71%，应急响应速度提升至秒级，资源配置精准度提高33%-41%，体现技术对传统模式的颠覆性革新。当前研究受限于施工场景动态性与数据样本规模，长期数据积累不足制约算法泛化能力，需构建跨项目安全数据库以支撑深度学习模型优化。未来研究可探索5G超低时延通信与数字孪生技术的深度融合，通过高保真虚拟模型同步映射物理施工过程，实现风险仿真推演与预案动态迭代。数字孪生与边缘计算的协同有望突破时空限制，推动安全管理从“事后处置”向“预测-预防-预控”的全周期智能化转型。

参考文献

[1]刘辉光.基于物联网建设的建筑企业安全生产管理研究[D].浙江工业大学,2014.
[2]张玉媛,余琴,杜梦迪.基于物联网技术的装配式建筑施工现场安全管理研究[J].建筑安全,2018,33(4):4.
[3]刘宏伟,严雷广.基于“智慧工地”的施工现场安全管理[J].智能建筑与城市信息,2020,000(010):90-91,99.
[4]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.
[5]孙永凯.物联网技术在建筑工程安全管理中的应用探讨[J].建筑工程与管理,2021,3(3):3.
[6]顾娟.铁路既有有线施工现场智慧管理研究[D].石家庄铁道大学(原名:石家庄铁道学院),2022.
[7]赵亮.智慧桥梁施工管理中“数字化+物联网技术”理念应用[J].智能建筑与智慧城市,2022(009):000.
[8]吴建军,史胜春.基于物联网的作业现场安全管控技术研究[J].安全.健康和环境,2018,18(8):4.
[9]刘宏伟,严雷广.基于“智慧工地”的施工现场安全管理[J].智能建筑与智慧城市,2020(10):3.
[10]鲁成文,王言硕,张腾.基于物联网技术的建筑施工安全质量管理研究[J].中国地名,2023(7):0163-0165.