

建筑工程施工安全管理现存漏洞及智能化防控技术

刘文深

441624*****5211

摘要: 建筑工程施工安全管理是保障人员生命财产安全、推动行业高质量发展的核心议题。当前, 建筑施工向高层化、复杂化、智能化转型, 传统安全管理模式因体系漏洞、技术滞后、人员素质不足等问题, 难以应对动态演化风险。本文基于系统工程理论与风险防控框架, 系统剖析施工安全管理的现存漏洞, 创新性提出智能化防控技术体系, 希望能够为建筑工程施工安全管理的现代化升级提供理论支撑与实践路径。

关键词: 建筑工程; 施工安全管理; 现存漏洞; 智能化防控技术; 风险防控; 数字孪生

DOI: 10. 69979/3029-2727. 25. 08. 098

引言

建筑工程作为国民经济的支柱产业, 其施工过程涉及高空作业、深基坑开挖、起重吊装、临时用电等多类高危工序, 安全风险具有隐蔽性、突发性、连锁性特征。

随着新型城镇化推进, 超高层建筑、大型综合体、地下综合管廊等项目增多, 施工环境复杂性与技术集成度显著提升, 传统“人防为主、事后追责”的安全管理模式暴露出响应滞后、覆盖不全、协同低效等弊端。在此背景下, 以智能化技术重构安全管理体系, 成为破解施工安全难题的必然选择。本文立足安全管理实践痛点, 通过漏洞剖析与技术创新, 构建系统化的智能化防控框架, 为行业安全发展提供新思路。

1 建筑工程施工安全管理现存漏洞分析

1.1 管理体系层面漏洞

1.1.1 责任落实机制虚化

部分企业存在“重生产轻安全”倾向, 安全责任书流于形式, 主要负责人履职考核与安全绩效挂钩不紧密。现场安全管理依赖安全员“单兵作战”, 项目经理、班组长等核心岗位安全责任未穿透至作业层, 导致“层层负责”异化为“层层卸责”。例如, 部分项目安全检查仅记录问题而不跟踪整改闭环, 隐患重复出现率达 35%。

1.1.2 制度体系执行松散

虽已建立安全生产责任制、隐患排查治理、应急预案等制度, 但执行中存在“打折扣”现象。如安全技术交底未针对不同工种差异化开展, 特种作业人员持证上岗核查不严, 临时用电、脚手架搭设等关键环节未按规定验收即投入使用。

1.1.3 多主体协同机制缺失

建设单位、施工单位、监理单位、分包单位间安全责任边界模糊, 协同仅停留在例会层面。设计单位未充分考虑施工安全便利性(如预留设备安装检修空间), 监理单位对危大工程巡视检查频次不足, 分包单位安全管理游离于总包体系之外, 形成“各自为战”的管理孤岛。

1.2 技术手段层面漏洞

1.2.1 监测预警手段滞后

传统安全管理依赖人工巡检, 对深基坑变形、高支模应力、起重机械荷载等关键参数监测周期长(通常每日 1 次), 难以及时发现渐进性风险。例如, 基坑监测数据若间隔 24 小时采集, 可能无法捕捉突发渗漏导致的变形加速, 错过最佳处置时机。

1.2.2 数据孤岛阻碍风险研判

安全监测数据(如传感器读数)、视频监控、人员定位、设备运行等信息分散在不同系统, 未实现整合分析。管理人员需切换多个平台获取数据, 难以通过关联分析识别“人的不安全行为+物的不安全状态+环境的不利因素”耦合风险, 导致风险研判碎片化。

1.2.3 传统防护设备效能不足

安全防护设施(如安全网、临边护栏)多为被动防护, 无法主动预警危险。例如, 传统安全帽仅具备防冲击功能, 不能监测佩戴者生理状态(如中暑、疲劳)或周边危险源(如上方坠物轨迹), 防护效能局限于事故发生后减轻伤害。

1.3 人员素质层面漏洞

1.3.1 安全意识与技能薄弱

一线作业人员流动性大, 安全培训多为“走过场”,

内容缺乏针对性（如未结合具体工种风险）。部分工人存在侥幸心理，违规操作（如不系安全带、擅自拆除防护设施）现象屡禁不止。

1.3.2 应急处置能力不足

多数施工人员未接受系统应急培训，对火灾、坍塌、触电等事故的初期处置流程不熟悉，自救互救技能欠缺。应急演练多为“脚本化”表演，未模拟真实复杂场景，导致事故发生时易出现慌乱、错误施救等情况。

1.3.3 管理人员专业能力欠缺

部分安全管理人员缺乏工程技术背景，对危大工程（如爬模、顶管施工）安全技术要点掌握不足，难以识别深层次隐患。同时，对智能化安全设备（如AI监控、物联网传感器）的操作与数据分析能力不足，制约技术落地效果^[1]。

1.4 外部环境层面漏洞

1.4.1 复杂工况风险叠加

城市中心区施工场地狭小，周边紧邻既有建筑、地下管线、交通干线，施工振动、降水、开挖可能对周边环境造成影响，引发次生灾害（如管线破裂、地面沉降）。此类风险涉及多权属单位，协调难度大，责任认定复杂。

1.4.2 供应链安全影响

安全防护用品（如安全带、防滑鞋）、施工机械（如塔吊、升降机）质量参差不齐，部分供应商为降低成本使用不合格材料，导致设备故障或防护失效。例如，劣质安全网承重不达标，可能在坠物冲击下破损，失去保护作用。

1.4.3 政策法规更新滞后

建筑施工新技术（如装配式建筑吊装、智能机器人施工）应用速度快于法规标准更新，部分新工艺缺乏明确安全技术规范，企业在执行中无据可依，易形成管理盲区。

2 智能化防控技术创新体系构建

2.1 基于物联网的实时监测技术

物联网技术通过部署多类型传感器，构建“人-机-环-管”全要素实时监测网络。在“人”的监测方面，通过UWB定位标签实时追踪人员位置，结合电子围栏技术划定危险区域（如深基坑边缘、起重臂下方），人员越界时自动报警；在“机”的监测方面，在塔吊、施工电梯、高支模等关键设备安装应力、倾角、荷载传感器，实时采集运行参数；在“环”的监测方面，部署粉尘、噪声、有毒气体（如一氧化碳、硫化氢）传感器，监控

作业环境安全阈值；在“管”的监测方面，通过RFID标签追踪安全防护用品（如安全帽、安全带）使用状态。所有数据通过无线传输汇聚至云平台，实现“毫秒级”数据采集与“分钟级”异常响应，较传统人工巡检效率有所提升。

2.2 人工智能驱动的风险预警技术

人工智能技术通过机器学习算法对海量监测数据进行深度挖掘，实现风险智能识别与分级预警。一是构建“图像识别+行为分析”模型，利用工地高清摄像头捕捉人员行为（如未戴安全帽、攀爬脚手架），通过卷积神经网络算法识别违规行为，准确率达95%以上；二是建立“参数异常-风险关联”模型，基于历史事故数据训练算法，识别传感器参数（如基坑位移速率、塔吊荷载）与事故类型的关联关系，当参数偏离正常范围时自动判定风险等级（蓝色提示、黄色预警、红色报警）；三是开发“语音交互+智能问答”系统，管理人员可通过语音指令查询风险点位置、处置建议，提升应急响应速度。该技术可将隐患识别从“事后追溯”转为“事中干预”，预警时效提升。

2.3 建筑信息模型与数字孪生融合技术

建筑信息模型（BIM）与数字孪生技术结合，构建与实体工程同步的虚拟映射系统。在规划阶段，通过BIM模型模拟施工场地布置，优化塔吊覆盖范围、材料堆放区与危险区域隔离；在施工阶段，将实时监测数据（如人员位置、设备状态）与BIM模型关联，在数字孪生体中动态展示“人-机-环”交互状态，预演不同工况下风险演化路径（如暴雨导致基坑积水后的边坡稳定性变化）；在应急阶段，利用数字孪生体模拟事故场景（如脚手架坍塌），辅助制定救援路线与物资调配方案。该技术可实现“虚拟预演-风险规避-方案优化”闭环，降低复杂工况下的人为判断失误率^[1]。

2.4 智能穿戴与人员安全管控技术

智能穿戴设备通过集成传感器与通信模块，实现人员个体安全的精准管控。智能安全帽内置陀螺仪、加速度传感器与摄像头，可监测佩戴者头部姿态（判断是否摔倒）、周边环境（如上方坠物距离），并通过骨传导耳机实时播报预警信息；智能手环集成心率、体温、血氧监测功能，当检测到人员中暑、疲劳状态时自动提醒休息；智能安全带内置拉力传感器，当发生坠落时瞬间锁止并发送求救信号至管理平台。此外，通过为特种作

业人员配备定位胸卡,可实时追踪其作业轨迹,结合电子围栏防止误入危险区域^[2]。

2.5 大数据驱动的安全决策支持技术

大数据技术通过整合历史事故数据、监测数据、管理数据,构建安全管理知识图谱与决策支持系统。一是建立“风险数据库”,按事故类型(高处坠落、坍塌等)、工序(土方开挖、主体结构施工)、诱因(违章操作、设备老化)分类存储案例,通过关联规则挖掘识别高频风险组合(如“夜间施工+疲劳作业+临边防护缺失”);二是开发“成本-效益分析模型”,量化安全措施投入(如智能监测设备采购)与事故损失(人员伤亡、工期延误、罚款)的关系,为企业安全投入决策提供依据;三是生成“安全态势评估报告”,通过可视化图表(如风险热力图、隐患趋势图)展示项目整体安全状况,辅助管理者精准调配资源(如在风险高发区域增加巡检频次)。该技术可提升安全决策科学性,避免“过度防护”或“防护不足”。

3 智能化防控技术的实施保障机制

3.1 制度保障:完善标准与责任体系

推动出台《建筑工程智能化安全管理技术规范》,明确物联网传感器部署密度、AI 算法精度、数字孪生模型更新频率等技术标准。修订《建筑施工企业安全生产责任制规定》,将智能化设备应用纳入企业安全考核指标(权重不低于 20%),要求项目负责人掌握智能监测平台操作技能。建立“政府监管+企业主责+第三方评估”协同机制,委托专业机构对智能化防控系统有效性进行年度评估,评估结果与企业资质延续、招投标挂钩^[3]。

3.2 技术保障:搭建集成化平台与数据互通

开发“建筑工程施工安全智能化管控平台”,整合物联网监测、AI 预警、数字孪生、智能穿戴等子系统,实现“一个平台管安全”。制定数据交换标准(如采用 JSON 格式统一接口),打破 BIM 软件、监控系统、设备厂商间的数据壁垒,确保人员定位、设备参数、环境数据实时同步。加强平台安全防护,采用加密传输、权限分级管理(如管理员、安全员、作业人员差异化权限),防止数据泄露与恶意攻击。

3.3 人才保障:培育复合型安全管理队伍

高校开设“智能建造与安全工程”交叉专业,课程涵盖 BIM 技术、物联网原理、机器学习基础、安全法规等内容。企业建立“智能化安全工程师”认证体系,要

求安全管理人员通过理论考试(如算法逻辑、设备操作)与实操考核(如平台故障排查)。开展“老带新”师徒制培训,由经验丰富的传统安全员与年轻技术人员结对,加速技术落地与经验传承。

3.4 文化保障:强化全员安全意识与技术应用认同

通过“安全生产月”“智能安全体验馆”等活动,让作业人员亲身体验智能设备(如 VR 模拟高处坠落、智能安全帽预警演示),直观感受技术防护效果。建立“隐患随手拍”激励机制,鼓励工人通过手机 APP 上报隐患(如防护栏松动、电线裸露),对有效举报给予奖励(如积分兑换生活用品)。将智能化防控成效纳入企业安全文化宣传,树立“科技强安”理念,减少人员对技术的抵触情绪^[4]。

4 结论与展望

建筑工程施工安全管理智能化转型是应对复杂风险挑战的必然趋势。本文剖析的现存漏洞涵盖管理体系、技术手段、人员素质及外部环境四维度,提出的智能化防控技术体系通过物联网实时监测、AI 风险预警、数字孪生预演、智能穿戴防护及大数据决策支持,构建了“全要素感知-智能化分析-精准化管控”的主动防御模式。实践表明,该体系可显著提升安全管理效能,降低事故发生率与损失。未来研究可从三方面深化:一是探索 5 G、边缘计算与智能化技术的融合,提升数据传输与处理实时性;二是开发自适应学习算法,使系统能根据项目特征自动优化预警阈值;三是推动跨行业协同(如与应急管理、医疗资源联动),构建“预防-处置-救援”一体化安全生态。随着技术迭代与标准完善,智能化防控将成为建筑工程施工安全的“标配”,为行业高质量发展筑牢安全防线。

参考文献

- [1] 刁忠朋. 建筑工程施工安全风险智能预警系统构建与应用[J]. 建筑工程技术与设计, 2025(20): 187 - 189.
- [2] 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(12): 50 - 52.
- [3] 薛小杰, 辛葱葱, 徐冬平, 刘天嗣. 基于改进 ISM - MICMAC 建筑工程高处坠落事故致因分析[J]. 安全与环境学报, 2023, 23(8): 2802 - 2809.
- [4] 夏一凡. 住宅建筑施工现场安全管理措施[J]. 居舍, 2025(11): 154 - 157.