

基于 AI 施工项目现场安全隐患排查系统

叶有志 吕渤林 俞洞晶

杭州华电能源工程有限公司，浙江杭州，310013；

摘要：现如今的安全应急管理系统和智慧工地理念无法解决点多面广、风险多、风险复杂、风险动态变化工程的难题，施工现场安全隐患的排查需求日益迫切，对此，本文将系统分析：固定式设备难以覆盖动态施工场景、多源异构数据融合处理效率低下、专业人才缺失、边缘计算资源不足等问题，并通过引入可移动式智能终端、搭建多模态数据融合平台、强化人才培养机制、优化边缘计算算法等策略，实现安全隐患的精准识别、实时预警，旨在为施工现场安全管理智能化升级提供新思路。

关键词：AI；施工安全；隐患排查系统；多模态数据融合

DOI：10.69979/3029-2727.25.07.038

引言

在新型城镇化建设加速推进的背景下，施工项目规模不断扩大，安全管理复杂度持续增加，传统依赖人工经验的安全管理方式已无法适应现代化工程需求。AI 安全排查系统的引入，通过智能终端实时采集现场数据，运用机器学习算法自动识别违规操作、设备异常等风险显著提升了管理效率，但现有系统在实际应用中仍面临诸多挑战制约了技术优势的充分发挥，在深度分析这些问题后本文提出了具有实践价值的改进策略，以期实现安全生产主体责任落实和监管责任落实的智能化、数字化。

1 搭建基于 AI 施工项目现场安全隐患排查系统的重要性

1.1 有助于提高隐患排查的准确性

传统隐患排查依赖人工经验与周期性检查，存在主观判断偏差与时效性不足的问题，而基于 AI 的系统通过整合施工现场多维度数据，结合算法模型对潜在风险进行全天候分析，可消除人为疏漏导致的误判或遗漏，且系统在复杂环境中仍能自动识别设备异常、人员行为违规、环境条件变化等隐患特征，减少因经验不足或疲劳作业引发的判断误差。相较于人工检查的片段化记录，AI 在持续学习历史数据及实时信息后，可以形成动态风险评估框架，使隐患识别的覆盖范围与细节深度显著扩展，有效提高隐患排查的准确性。

1.2 有助于降低人工成本与时间成本

众所周知，人工排查需遵循固定周期，存在检查间隔期的风险监控真空，AI 系统则可提供 7×24 小时不间断监测消除因人员轮班、休息导致的监测断档：隐患识别从定期抽检升级为全时段覆盖，避免问题积累引发的

二次处理成本；数据自动归档与智能检索功能替代人工整理文档的繁琐流程，历史记录调取效率提升，决策响应速度加快；远程监控功能突破地理限制，单个团队可同时管理多个项目，人均监管范围扩展，单位面积人力投入有效下降^[1]。

2 现阶段基于 AI 施工项目现场安全隐患排查系统搭建存在的问题

2.1 固定式设备难以覆盖动态施工场景

其一，设备安装位置在施工初期确定后无法灵活调整，当施工重心转移或作业面扩展时，原有监测范围无法覆盖新增区域，存在监测盲区，且设备视角与施工进度脱节，导致高空作业、地下工程等关键环节脱离有效监控，隐患发现率显著下降。其二，动态场景中设备与移动物体的相对位置持续变化，固定视角较难捕捉快速变化的危险行为，例如运输车辆频繁出入、起重机吊装轨迹偏移等场景，设备尚不能跟随目标实时追踪，关键风险节点易被遗漏^[2]。其三，施工环境存在临时搭建结构与设备，固定式监控的预设参数无法适配突发性场景变化，脚手架拆除重建、材料堆放区迁移等操作导致设备监测逻辑失效，算法识别对象与实际情况产生偏差，误判率上升。

2.2 多源异构数据融合处理效率低下

其一，不同数据源的格式标准差异导致预处理成本激增，监控视频的流媒体格式、传感器的时间序列数据、BIM 模型的三维坐标体系等异构数据类型，需要耗费大量计算资源进行格式转换、对齐，且数据清洗过程中常因标准不统一产生的信息丢失，使得后续分析模型难以建立有效的特征关联，降低整体分析效能。其二，跨模态数据的时空对齐精度不足：设备振动数据与视频画面

的时间戳同步偏差，导致机械故障与操作行为的因果关系误判；空间坐标系差异使温度传感器数据难以精准映射到建筑信息模型对应位置，热力异常区域很难准确定位；时空基准的错位削弱多源数据交叉验证的价值，部分关键风险线索在融合过程中被噪声掩盖。

2.3 缺乏专业人才维护系统运行

其一，系统运维需要同时掌握土木工程规范、AI 算法原理、设备调试技能等多元知识，传统教育体系培养的单一专业人才较难满足岗位需求，知识结构的断层导致故障诊断时不能准确区分技术缺陷和施工场景特殊性，简单问题常被误判为系统异常，增加不必要的维护成本。其二，现有人员培训机制未能匹配技术迭代速度，深度学习框架更新、新型传感器部署等技术创新持续涌现，企业内训课程体系更新滞后于技术发展，运维人员面对系统升级后的新功能模块时常因前瞻性知识储备不足，出现操作失误或响应延迟，影响系统功能完整释放^[3]。其三，行业经验与技术能力的融合培养周期过长，施工场景的特殊性要求运维人员既理解塔吊倾覆力矩计算等工程原理，又熟悉边缘计算节点配置等技术细节，但经验积累需要参与多个项目周期的完整运维，人才培养耗时远超常规岗位，企业面临技术空窗期的管理风险。

2.4 边缘计算终端算力资源不足

其一，在算法部署阶段，部分企业未针对边缘设备的运算特性调整模型结构，直接将训练好的大型神经网络完整加载至终端，这类模型包含冗余参数与复杂卷积层，消耗大量计算资源，占用内存空间超出设备承载范围。其二，在任务分配层面管理人员未建立分级处理机制，例如将需要高精度识别的地基沉降监测与普通劳保

用品佩戴检查混为一谈，全部交由边缘端完成实时运算，未将部分非紧急任务分流至云端^[4]。

3 基于 AI 施工项目现场安全隐患排查系统搭建的优化策略

3.1 部署可移动式智能安全监管终端

企业先应构建适配动态施工场景的硬件部署方案，选择兼顾环境适应性与功能扩展性的移动终端——采用防水防尘等级达标的设备外壳，内置减震支架应对机械振动干扰；搭载多向云台摄像头与激光雷达，确保水平 360 度与垂直 180 度监测覆盖；预留标准接口便于后期接入温湿度传感器、气体检测模块等拓展组件。部署阶段须结合施工进度动态调整终端位置——基坑开挖期重点布置于边坡监测点，主体施工期转移至高空作业区，装饰阶段优先覆盖临边洞口区域，运维团队则健全设备迁移标准化流程：制定施工阶段与设备布局映射表，配置带定位功能的移动充电基座，开发设备位置管理系统可视化终端分布热力图。同时，建立多源数据实时分析体系，可移动终端通过边缘计算节点即时处理视频流与传感器数据——视频分析模块识别安全帽佩戴、安全带系挂等行为规范，激光雷达扫描脚手架立杆间距与横杆缺失，环境传感器捕捉扬尘浓度与有毒气体泄漏。数据处理采用“边缘筛选+云端深挖”双链路模式：终端内置轻量化模型过滤无效信息（如重复场景画面、稳态环境数据），关键特征数据加密后回传中央分析平台，技术部门再搭建数据融合中枢——将移动终端数据与 BIM 模型、进度计划、人员定位等信息叠加，构建三维动态风险图谱；开发多层级预警推送机制（声光报警、手机弹窗、管理后台标红），依据风险等级触发不同响应流程。

系统整体架构

应用层 (风险管控)	数据融合层	数据处理层		数据传输层	硬件层 (终端集群)	
三维动态风险图谱	BIM 模型叠加	边缘计算节点	云端分析中心	5G/WiFi/专网混合通信	可移动式智能终端组件	
多层级预警推送机制	进度计划匹配	轻量化模型过滤	深度学习模型	加密数据通道	多向云台摄像头	激光雷达
声光报警/手机弹窗/管理后台标红	人员定位数据融合	行为规范识别	结构缺陷分析	设备位置管理系统	温湿度传感器	气体检测模块
	中央分析平台	环境异常检测	多源数据关联		减震支架	移动充电基座

3.2 构建多模态数据融合分析平台

一方面，建立企业统一的数据治理框架，由技术部门牵头制定《多源数据接入标准》——明确视频流编码格式（H. 264/H. 265）、传感器数据采集频率（ $\geq 10\text{Hz}$ ）、施工日志结构化字段（工序名称、责任人、设备编号）等技术规范；开发通用数据转换中间件，将摄像头、无人机、智能安全帽等设备的异构数据（MP4 视频、JSON

传感器包、PDF 巡检记录）转化为标准化数据立方体。基层班组按规程操作：视频监控员每日校验摄像头时间戳与 GPS 定位数据，传感器维护组每周上传设备校准证书，资料员实时归档电子版施工图纸与变更单，同步在数据中台部署自动校验模块——视频流完整性检测（关键帧丢失报警）、传感器数据阈值过滤（异常温湿度数据拦截）、文档格式合规性审查（非标图纸退回重传），

保证原始数据质量符合融合分析要求^[5]。另一方面,构建分层级数据处理体系,可在边缘计算层部署轻量化特征提取模型——视频流经终端设备提取行为特征(安全帽佩戴状态、作业面人员密度)、传感器数据预处理为风险指标(扬尘浓度等级、设备振动强度)、文本数据完成关键词抽取(“基坑渗水”“支护变形”)。云端分析层搭建多模态关联引擎:时空对齐模块将视频动作与传感器峰值时间轴匹配,语义映射模型关联文本关键词与视觉特征,知识图谱动态生成风险演化链(混凝土养护不足→支架沉降→坍塌风险)。业务部门协同优化分析流程:安全部标注历史事故数据的关键特征组合,工程部验证风险关联逻辑的现场符合性,IT团队调整模型权重分配策略——暴雨天气下环境传感器数据权重提升30%,夜间施工时人员行为识别模型检测频率加倍。

3.3 加强人才培养提升运维能力

企业要加强人才培养提升运维能力就得建立分层分类的技能培训体系,为此,人力资源部门须联合技术团队制定《智能运维能力矩阵》——划分设备操作层(摄像头角度调整、传感器校准)、数据分析层(预警信息解读、模型误报识别)、系统优化层(算法参数调优、数据管道维护)等岗位能力标准;开发模块化课程库(理论课件、三维仿真演练、故障处置AR教程),支持员工按需选择学习路径。培训实施采用“线上+线下”混合模式——理论部分通过移动端微课学习(每课时≤15分钟),实操部分在模拟工区开展(还原设备断电、数据丢包等典型故障场景),考核环节植入VR应急处置模拟(暴雨天气下系统瘫痪恢复流程)^[6]。此外,组建由资深安全员、IT工程师、设备厂商顾问组成的双师制导师团队构建“学用结合”的实战能力提升机制——现场带教时采用“观察-拆解-模仿”三步法(导师演示红外传感器校准全过程,学员分步骤复现操作),远程指导时通过智能眼镜实施增强现实标注(故障电路板重点检测区域高亮提示),并建立故障处置案例库——按周收集系统运行异常事件(模型识别率骤降、终端通信中断),按事件类型归类(硬件故障、数据异常、算法失效),形成标准处置流程(重启优先级判定、日志提取规范、厂商协同介入条件),也可推行“影子培训”制度——新员工跟随资深运维人员完整参与三个项目周期(设备部署期、稳定运行期、升级改造期),通过全流程参与掌握系统运行规律(雨季传感器漂移特征、施工高峰期的算力分配策略)。

3.4 开发轻量化边缘计算算法

一方面,设计模块化算法组件——将安全隐患识别

任务拆解为独立功能单元:视频流中的安全装备检测、振动信号里的机械故障预警、红外图像的温差分析等模块各自封装,技术团队再为每个模块设置资源占用上限,视频分析单元不得超过总内存的40%,传感器处理线程独占一个CPU核心。运维人员则根据施工进度动态加载所需模块,钢结构吊装期启用摆动幅度测算算法,土方开挖阶段激活边坡变形监测单元,并淘汰综合型检测模型,采用“分时复用”策略,同一计算单元在不同时段执行混凝土裂缝识别或脚手架位移分析,提升硬件资源利用率。另一方面,开发跨平台兼容性方案——算法工程师使用开放式神经网络交换格式,使同一模型能在不同品牌边缘设备上运行,同步针对老旧终端性能瓶颈提供“精简模式”选项:关闭视频流实时渲染、降低点云数据采样精度、采用整数运算替代浮点计算。同时,设备维护团队要完善终端性能档案库,自动为每台设备匹配最佳算法版本——四核处理器运行多任务并行模型,双核设备启用串行处理流水线,并预留外部协处理器接口,当特定算法(如三维空间碰撞预测)负载过高时,可外接便携式计算卡分担压力。

4 结束语

综上所述,施工现场安全隐患排查的智能化转型是行业发展的必然趋势,未来随着5G通信、物联网等新技术的融合应用,智能安全排查系统将在风险预警、应急响应等方面展现更大潜力,为建筑行业的安全管理数字化转型注入持续动力。

参考文献

- [1]季斌,宋晓兵,梅良杰,等.构建湖北电力公司内生动力的自觉隐患排查机制[J].电力安全技术,2025,27(02):5-8.
- [2]倪金源.现场施工安全风险分级管控及隐患排查治理体系的构建[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(23):61-63.
- [3]朱建民.关于加强安全要素管理的思考[J].中国石化,2024,(04):51-53.
- [4]徐驰,薛颖迪,王全,等.智慧化工地在安全隐患排查和人员动态管理中的应用[J].建筑安全,2023,38(04):64-66.
- [5]王东,杨鹏云,罗鹏,等.供电企业基于FMEA原理和方法的设备设施安全隐患排查标准研究及开发[J].价值工程,2022,41(29):23-26.
- [6]张宇炜.风险分级管控与安全管理工作相互融合的探讨[J].现代职业安全,2023(12):50-51.