AI 赋能下建筑企业全链条安全精细化管控体系构建研究

翁绍铭，唐燕斌，陈育萌，余红乐，俞善文*

（浙江高信技术股份有限公司，浙江 杭州 310016）

摘 要 为解决建筑安全管理中效率低、响应慢等问题，明确 AI 赋能实现风险管控的价值。方法上，采用“架构设计 + 技术赋能 + 机制保障”框架，构建包含风险识别、评估、处置的闭环体系，融合物联网感知、智能算法、数据安全等技术。建筑企业应分阶段实施，搭建 AI 驱动的风险管控架构，制定分级管控方案；采用无人机、机器人等设备多模态数据采集，结合概率评估模型量化风险等级；部署数据安全体系，保证全流程加密、管控权限。结果表明，该模式能提高实现风险识别效率、缩短隐患处置时间，为建筑行业安全管理智能化转型提供了实施参考。

关键词 AI 赋能；建筑企业全链条；安全精细化管控体系

中图分类号：TU714；TP18 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.025

0 引言

建筑企业安全管理是保障工程质量、人员安全的关键。AI 技术的融合应用，为优化安全管控体系提供了新路径。AI 具有实时感知、智能分析、自动决策功能，可提升风险预判效率。立足建筑企业全链条安全管理需求，构建 AI 赋能的精细化管控体系，在核心架构、数据安全、实践路径、保障措施、基础设施、应用场景等方面系统规划，形成全周期的智能化解决方案，助力行业安全管理数字化转型。

1 建筑企业安全管理的重要性及价值

建筑企业安全管理直接关系施工作业人员的生命安全，住建部明确要求超过 10 万 m^2 项目必须配备安全总监，3.5 万 m^2 以上项目专职安全员不少于 3 人，每增加 5 万 m^2 至少增配 1 人。因此，安全管理是建筑企业生存发展的底线工程，须开展主动预防，降低事故发生风险[1]。AI 将安全管理模式升级为“问题找人”，AI 能够全天候不间断实时分析，识别未佩戴安全帽、违规进入危险区域、设备不当操作等不安全行为。例如：浙江省“智安工兵”系统已在 2 390 个工地连通测试，隐患识别准确率达 91%。系统投用后平均项目隐患日均发现数从 35 个降至 3 个，人员的不安全行为从 20 起降至 2 起。计算机视觉技术采用卷积神经网络，智能识别分析现场图片，快速准确检测安全问题，能够大幅提升排查效率。无人机搭载 AI 大模型自动识别临边区域等隐患，能够扩大巡查范围、缩短隐患处置时间，实现智能监测。

2 AI 赋能下建筑企业全链条安全精细化管控体系构建策略

2.1 明确 AI 赋能建筑企业全链条安全精细化管控体系的核心架构

建筑企业应构建 AI 驱动风险管控架构，第一阶段成立 AI 风险管控虚拟小组，小组由项目经理担任组长，组员包括 AI 系统管理员、安全工程师、数据标注员各 1 名。系统分配风险管控职责，每项职责绑定智能合约，触发条件后自动推送任务指令。第二阶段制定风险管控方案，AI 方案生成引擎读取项目 BIM 模型、施工组织设计文本，自动提取管控目标，输出风险管控准则清单。第三阶段风险识别执行 AI 工序，现场勘查环节部署无人机、地面机器人自动采集场地影像，采集频率 2 次 / 日；资料整理环节调用 OC、与 NLP 模型解析施工图纸、专项方案等文档，提取风险特征词；施工作业分解环节运行图神经网络，自动划分作业活动至细分工序，标记重点工序；调查研讨、专家咨询环节，由知识图谱自动检索历史项目事故库，匹配相似案例，生成初始风险因素列表，识别出全部风险因素。第四阶段风险评估部署概率评估模型，蒙特卡洛模拟 10 万

作者简介：翁绍铭（1999-），男，本科，高级工程师，研究方向：安全应急领域信息化建设。

*** 通信作者**：俞善文（1988-），男，硕士研究生，高级工程师，研究方向：系统集成、安全管理。E-mail：272902011@qq.com

次迭代计算每类风险发生概率，按照风险接受准则确定风险等级（Ⅰ级重大、Ⅱ级较大、Ⅲ级一般、Ⅳ级低）。第五阶段风险评价输出风险管控清单，清单包含风险ID、风险等级、触发条件、监测指标数据。管控措施分解模块采用强化学习算法，将风险逐条拆解。所有措施自动推送至对应责任人移动端，系统记录接收时间、确认状态[2]。

2.2 保证AI赋能建筑企业全链条安全精细化管控体系的数据安全

采集阶段，建筑企业在所有感知层设备内置硬件安全芯片，采集数据加密后经SM4对称加密算法存储在设备本地缓存。传输阶段，建立多层加密传输通道，端到边采用DTLS协议加密，使用预共享密钥认证机制。存储阶段，根据数据分级标准划分安全等级。交换阶段，实施数据脱敏处理，涉密信息启用k-匿名模型屏蔽具体数值，脱敏后字段保留80%统计特征。销毁阶段，存储介质执行三次随机数据覆写，数据销毁后产生可审计的操作记录。建立数据安全态势感知平台，7×24小时监控数据集约节点安全状态，检测到异常访问流量阈值超过50 Mbps自动触发告警阻断，覆盖物理环境、通信网络、区域边界、计算环境安全领域。

2.3 规范AI赋能建筑企业全链条安全精细化管控体系的实践路径

建筑企业应构建“采集、识别、预警、处置、复核”五步标准化实践路径，每步配置量化执行指标。建筑企业采集部署AI智能感知设备，运行YOLOv8与真知大模型双引擎识别算法，识别物未戴安全帽、未系挂安全带、临边防护缺失、电焊作业不规范、挖掘机吊物、电线电缆拖地、动火作业不规范、堆载超限、消防设施缺失等安全隐患。建筑企业预警采用多级分发机制，智能分析系统检测到隐患后，15秒内生成预警信息，自动匹配推送对象，优先级排序依次为现场安全员、项目经理、项目总监、监督部门。建筑企业处置建立分级处置标准，一般隐患2小时内完成现场处置，重大隐患30分钟内启动应急处置。移动端处置APP推送责任人，责任人接收后60秒内确认、反馈处置方案，处置完成后上传复核图像。

2.4 完善AI赋能建筑企业全链条安全精细化管控体系的保障措施

建筑企业应建立应急保障体系，组织保障设置三级安全管理组织架构。企业级设立AI安全管理委员会，由公司分管安全的副总经理任主任，含信息化、安全、工程、技术等部门负责人，每季度召开一次专题会议；项目级在每个施工标段设立安全管理小组，配备专职安全总监1名，每标段安全员不少于3名，均需通过AI安全管理专项考试；班组级在每施工班组设置安全联络员1名，每日班前会通报AI识别隐患。资源保障建立专项资金预算体系，按项目总投资额的0.8%计提AI安全建设专项经费，经费覆盖AI设备采购、系统运维、算法训练、应急物资储备。建筑企业单个10万m^2建筑项目，其AI安全管控软件使用费、服务费不超过3 000元/年。建筑企业应建立两级技术支持体系，企业总部设立AI安全技术支持中心，配备算法工程师、系统架构师，负责训练算法、优化模型、升级系统、处置故障[3]。建筑企业还应在每个片区项目部配置1名现场技术运维人员，每日巡检边缘节点。建筑企业人力保障实施三级培训制度，管理层培训每半年组织一次48学时封闭培训；安全员培训每季度组织40学时实操培训；作业人员培训由班组安全联络员在班前会开展10分钟安全教育，每月组织一次AI安全知识考核。

此外，为保证在一线工程项目中AI安全管理系统能够保持稳定高效地运行，建筑企业还应配套设立相应的人员机制。除在每个项目部安排1位现场技术保障员外，明确其边缘节点巡视检查、设备故障排除、数据传输检测和系统维护等职责，确保“设备有人管、问题有人查、异常有报告”。通过分层分类的三级培训机制来提高不同岗位上人员对于AI安全工具使用水平，在管理层面注重对数字化安全管理理念及决策方面的训练；而在安全员方面，则更加强调智能设备操作和预警信息研判能力及现场处理；作业层结合班前会及每月一测，来加强对智能监测和违章识别以及防范的了解。

2.5 优化AI赋能建筑企业全链条安全精细化管控体系的基础设施

建筑企业应部署含交互层、计算层、存储层、传输层、感知层的基础设施架构。感知层分四类部署终端设备，视频感知类部署400万像素星光级球机，在重点风险区域每1 000 m^2部署4台；人员感知类部署UWB定位基站，覆盖半径80 m，支持同时定位标签数量200个；设备感知类部署工业级振动、温度传感器，振动频率测量范围10 Hz～1 000 Hz，温度测量范围-40 ℃～+125 ℃；环境感知类部署PM2.5/PM10/噪声三合一监测终端，PM2.5测量精度 ±10%；传输层采用有线、无线混合组网，主干网络采用光纤布线方案，传输距离覆盖工地全域；无线网络部署企业级接入点，每接入

点覆盖半径 100 m，支持连接设备数量 128 台，系统网络架构如图 1 所示 [4]。

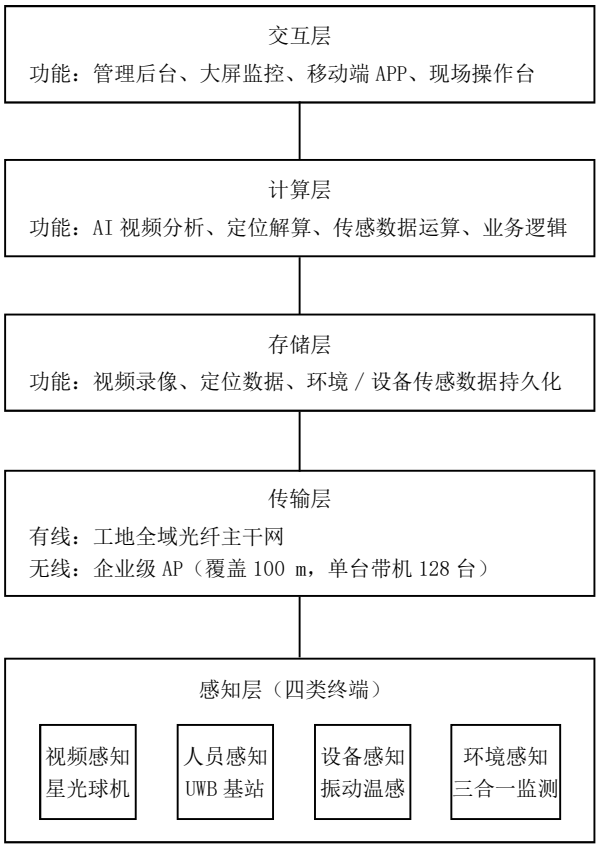


图 1 系统网络架构图

为满足中大型建筑企业集团级别的智慧工地监控、管理需求，支持范围内多片区、数千路摄像头的并发接入分析 [5]。建筑企业应每片区部署 1 台 AI 边缘计算服务器，配置 8 核 ARM CPU+NPU，支持 -30 ℃～ 70 ℃宽温工作。边缘节点接入摄像头路数不少于 32 路，部署目标检测、行为识别等本地算法模型，边侧处理后数据量降低 85% 后再上传云端。云端计算集群部署 32 节点 GPU 服务器，集群总算力达 1280 TFLOPS。

2.6 AI 赋能建筑企业全链条安全精细化管控体系的应用场景

建筑企业应部署 AI 安全应用场景，设计阶段部署 AI 智能审图场景、BIM 安全预演场景。AI 审图场景中，审查建筑图纸中疏散通道宽度、防火分区面积等安全合规指标，单个图纸文件平均处理时间 120 秒，自动标注不符合项，生成整改意见表。BIM 安全预演场景将 BIM 模型导入安全仿真引擎，模拟施工过程，预测识别设计阶段可预见的作业风险点。施工阶段，人员行为管控场景部署 AI 摄像头、UWB 定位融合识别，自动抓拍未戴安全帽、违规跨越围挡、吊臂下站人、临边作业未挂安全带等违规行为。设备运行监控场景，在塔吊、升降机、高支模等大型设备部署传感器实时监测运行参数，塔吊监控载重、风速、倾斜角、回转角度等参数，升降机监控载重、运行速度、门锁状态、垂直度等参数，高支模监控位移、沉降、倾斜、轴力等参数。环境安全监测场景，实时采集工地扬尘、噪声、风速、温湿度、有害气体浓度环境数据，PM2.5 浓度超过 75 μg/m^3 时，自动联动雾炮机喷雾降尘，风速超过 6 级自动停止塔吊作业 [6]。无人机高空巡检场景搭载光学变焦摄像头、红外热成像仪，每日自动巡航 2 次，单次覆盖面积 5 万 m^2，飞行高度 80 m，能够识别高处临边防护缺失、脚手架违规搭设、材料堆载超限等隐患。高风险作业智能防护场景在深基坑、爆破区等高危区域部署红外电子围栏、雷达检测，人员违规闯入时，现场触发语音驱离。运维阶段，建筑企业部署 AI 安全巡检机器狗场景，机器人搭载激光雷达、深度相机、AI 识别模块，执行全地形自主巡检任务。

3 结束语

本研究构建的 AI 赋能建筑企业全链条安全精细化管控体系，提升了风险管控的精准性，验证了 AI 在建筑安全管理中的价值，为建筑行业的安全生产与高质量发展提供了技术参考。未来的研究中，应进一步深化算法智能化水平，推动多源数据跨企业共享，完善行业安全标准体系；进一步挖掘 AI 在安全管理中的应用潜力，探索 AI 与区块链等技术融合应用，拓展全链条管控的覆盖范围，推动建筑企业安全管理向更智能、更高效的方向发展，构建更协同的建筑行业生态。

参考文献：

[1] 申雅琦 . 建筑施工企业安全风险分级动态管控探究 [J]. 科技与创新 ,2024(11):144-146,150.
[2] 仇模伟 , 刘洋 , 张戚乐 . 浅谈中小建筑公司安全管理问题及对策 [J]. 商业文化 ,2021(36):98-99.
[3] 周东平 . 成本视角下建筑企业安全管理研究 [J]. 安徽建筑 ,2021,28(11):188-189.
[4] 李停军 , 黄欣 , 王皎 . 建筑企业班组安全文化测评指标体系研究 [J]. 建筑安全 ,2021,36(02):60-62.
[5] 曹家勇 . 建筑施工企业安全风险分级管控探究 [J]. 四川建筑 ,2020,40(06):266-267.
[6] 屈建军 . 浅议建筑施工企业安全管理的创新思路 [J]. 中华建设 ,2024(07):29-31.