

智慧工地背景下建筑施工安全监理信息化管理系统设计与实践

潘炜

建一（嘉兴）工程管理有限公司，浙江 嘉兴 314001

DOI:10.61369/ERA.2026020011

摘要： 针对传统建筑施工安全监理中隐患跟踪滞后、风险预判不足、监管效率低下等问题，结合智慧工地建设趋势，本文设计并实现了一套建筑施工安全监理信息化管理系统。系统采用“感知层-网络层-平台层-应用层”四层一体化架构，以 Spring Boot 微服务与 Vue.js 3.0 为核心技术栈，融合 BIM、AI、物联网、5G 等关键技术，构建了包含 BIM 可视化监控、AI 不安全行为识别、隐患闭环管理等六大核心功能模块。通过 Autodesk Forge 实现危大工程三维可视化监控，基于 YOLOv8 算法达成 15 类不安全行为的实时识别与预警，依托 Activiti 7 工作流引擎构建全流程隐患闭环管理机制，并采用随机森林算法构建多源数据融合风险预警模型（验证集准确率达 92%）。

关键词： 智慧工地；建筑施工安全监理；信息化管理系统；BIM

Design and Practice of Information-Based Management System for Construction Safety Supervision in the Context of Smart Construction Sites

Pan Wei

Jianyi (Jiaxing) Engineering Management Co., Ltd., Jiaxing, Zhejiang 314001

Abstract： Aiming at the problems in traditional construction safety supervision, such as lagging hidden danger tracking, insufficient risk pre-judgment, and low supervision efficiency, combined with the trend of smart construction site, this paper designs and implements an information management system for construction safety supervision. The system adopts a four-layer integrated architecture of "perception layer-network layer-platform layer-application layer", takes Spring Boot microservice and Vue.js 3.0 as the core technology stack, and integrates key technologies such as BIM, AI, Internet of Things and 5G, and constructs six core functional modules including BIM visual monitoring, AI unsafe behavior identification and hidden danger closed-loop management. Three-dimensional visual monitoring of dangerous projects is realized by Autodesk Forge, and 15 kinds of unsafe behaviors are identified and warned in real time based on YOLOv8 algorithm. A closed-loop management mechanism of hidden dangers in the whole process is built by relying on Activiti 7 workflow engine, and a multi-source data fusion risk early warning model is built by using random forest algorithm (the accuracy rate of verification set is 92%).

Keywords： smart construction site; construction safety supervision; information management system; BIM

引言

随着新一代信息技术与工程建设领域的深度融合，“智慧工地”成为推动建筑行业转型升级的核心引擎。国家住建部明确提出要加快推进建筑施工信息化、智能化发展，鼓励利用物联网、BIM、人工智能等技术提升安全监管效能，构建全流程、可视化的安全管理体系。在此背景下，如何整合多源技术资源，打破传统监理模式的信息壁垒，实现安全风险的主动防控、精准监管与闭环管理，成为行业亟待解决的关键课题。基于此，本文针对传统安全监理的痛点问题，结合智慧工地建设需求，设计并实现了一套建筑施工安全监理信息化管理系统。系统整合 BIM 可视化、AI 行为识别、物联网数据采集、工作流引擎等核心技术，构建“感知-传输-处理-应用”全链路管理体系，覆盖危大工程监控、不安全行为识别、隐患闭环管理、风险分级预警等关键业务。

一、系统总体设计

（一）系统总体架构设计

党的十八大以来，我国建筑施工朝着智能化、绿色化、信息化方向发展，互联网、物联网、云计算等技术开始广泛应用到建筑施工安全质量管理当中，智慧工地、智慧城市等概念也应运而生^[1]。智慧工地背景下建筑施工安全监理信息化管理系统采用四层一体化架构，实现“数据从现场来、服务到现场去”的闭环管理。感知层通过物联网传感器、视频定位设备及移动终端全面采集现场数据；网络层采用“5G+WiFi+LoRa”融合方案保障数据安全高效传输；平台层作为系统“大脑”，由数据中台和技术中台负责数据处理与核心技术支撑；应用层面向不同用户，通过多终端提供 BIM 监控、AI 识别、隐患管理等精准化业务服务。

（二）系统技术架构选型

为构建稳定可靠、易维护且可扩展的系统，技术架构选型以后端 Spring Boot 微服务为核心，依托 Spring Cloud Alibaba 生态保障高可用；数据库采用“MySQL+MongoDB+Redis”组合，分别处理结构化、非结构化数据与热点缓存。前端以 Vue.js 3.0 构建响应式界面，通过 ECharts 与 Three.js（结合 Autodesk Forge API）分别实现数据可视化与 BIM 模型轻量化交互，并利用 Uni-app 实现跨端移动开发^[2]。核心技术组件紧密贴合业务：采用 Autodesk Forge 处理 BIM 模型，YOLOv8 算法进行 AI 视频分析，通过阿里云 IoT 平台以 MQTT 协议管理物联网设备，并集成 Activiti 7 工作流引擎与 JasperReports 报表引擎，共同支撑隐患闭环、数据统计等关键业务流程。

（三）系统功能模块设计

系统通过六大核心模块构建了完整的安全监理业务闭环，以 BIM 可视化监控模块为核心载体，实现模型三维交互、构件信息查询、物联网数据实时关联与施工进度联动；AI 不安全行为识别模块通过分析现场视频，自动识别并预警违规行为，同时留存证据并支持模型优化；隐患闭环管理模块覆盖从上报、派发、整改到复查销号的全流程，确保每个隐患都得到有效跟踪和处理；风险预警模块则融合多源数据，利用机器学习模型自动评估风险等级，实现主动防控与分级预警；数据统计分析模块将各类安全数据转化为可视化图表与标准化报告，为管理决策提供依据；系统管理模块提供用户权限、操作日志与数据备份等基础保障，确保整个系统安全稳定运行。

二、系统核心功能实现与关键技术应用

（一）开发环境与技术栈

系统开发采用 Spring Boot 2.7 与 Vue.js 3.0 技术栈，后端基于 JDK 11，前端依赖 Node.js 16，数据库选用 MySQL 8.0、MongoDB 6.0 及 Redis 6.2。开发团队使用 IntelliJ IDEA、VS Code、Postman 及 Navicat 等工具提升效率。所有服务通过 Docker 容器化，统一在 CentOS 7.9 云服务器上部署，以简化运维并保障环境一致性。测试环境与生产环境配置完全相同，通过模

拟真实数据开展全面测试，确保系统上线后稳定高效。

（二）基于 BIM 的危大工程可视化监控实现

基于 BIM 的危大工程可视化监控实现分为模型预处理、模型与数据关联、可视化功能开发三个核心环节，全程依托 Autodesk Forge 与 Three.js 技术构建高效可视化体系^[3]。模型预处理阶段，通过 Revit 构建含深基坑、高支模等危大区域细化构件的 BIM 模型，经 Forge API 轻量化转为 SVF 格式，解决加载慢问题；模型与数据关联环节，导入轻量化模型后绑定 BIM 构件与物联网传感器 ID，实现实时数据联动，预设阈值（如应力超 50MPa 标红异常）；可视化功能基于 Three.js 开发，支持模型三维交互、区域筛选，异常时高亮构件并弹窗预警，还可通过时间轴查询历史数据，支撑施工追溯分析。

（三）基于 AI 视频分析的不安全行为识别实现

基于 YOLOv8 与 TensorFlow，构建了覆盖数据准备、模型训练、实时识别与预警推送的完整技术链路，用于识别建筑施工不安全行为^[4]。采集并标注 10 万余帧涵盖 15 类不安全行为的图像数据，按 8:2 划分训练集与测试集。以 YOLOv8 为基础，利用 COCO 数据集预训练，再用施工数据微调优化，并融合行为识别算法分析运动轨迹以克服单帧局限^[5]。将模型部署至平台，通过 RTSP 接入 30 路摄像头进行实时分析，当检测到高置信度不安全行为时，系统自动截取视频并多渠道预警，同时将结果存入数据库，形成“识别-预警-处置-归档”闭环。

（四）安全隐患闭环管理流程实现

基于 Activiti 7 工作流引擎，系统构建了从上报到归档的全自动化安全隐患闭环管理流程。通过可视化工具定义“上报-审核-派单-整改-复查-销号”六个核心节点，并为各节点配置相应角色、权限与灵活的流转规则^[6]。施工人员通过移动端 APP 即可快速上报隐患，系统自动生成记录并通知监理工程师审核。审核通过后，由项目管理人员派单给指定责任人并设定整改期限；若不通过则退回上报人补充。责任人完成整改后提交复查申请，由监理工程师现场核查，通过则进入销号环节，不通过则退回重新整改^[7]。项目管理人员对复查通过的隐患执行销号，系统将全流程数据自动归档，形成完整可追溯的管理档案，实现了隐患管理的标准化、自动化与高效化。

（五）多源数据融合的风险预警模型实现

多源数据融合的风险预警模型通过整合物联网传感器、隐患、历史事故、天气及施工进度等多源数据，经清洗、标准化与时空对齐形成统一样本。基于涵盖人员、设备、环境、管理和工程五大类 12 项指标的评估体系，并采用层次分析法确定指标权重，构建风险评估模型^[8]。该模型选用随机森林算法进行训练，以多源数据为输入特征，风险等级为输出标签，通过参数优化使验证集准确率达 92%。模型部署后实时计算风险等级，当达到“高”或“极高”时自动触发分级预警，向项目管理人员、监理工程师及监管部门推送包含风险等级、核心指标、原因分析和处置

建议的预警信息，实现安全风险的精准预判与分级响应。

三、系统实践应用与效果分析

(一) 项目概况

系统实践应用选取某市重点市政桥梁建设项目，该项目为跨江特大桥工程，主线全长2.3公里，包含主桥、引桥、互通立交及附属设施，总投资额约18亿元，工期24个月^[9]。项目施工场景复杂，涉及深基坑开挖、高支模搭设、大吨位起重机械作业等多项危大工程，施工人员峰值达320人，存在交叉作业多、安全风险点分散、监管难度大等特点。项目前期采用传统安全监理模式，曾出现隐患上报滞后、危大工程参数监控不及时、违规行为漏判等问题，为提升安全管理效能，该项目引入本智慧工地安全监理系统，覆盖主桥施工区、引桥作业区、材料堆放区及办公生活区四大核心区域，实现施工全周期安全监理信息化管控。

(二) 系统部署与实施过程

系统部署与实施遵循“需求匹配-分步落地-迭代优化”原则，在45天内分四阶段完成。第一阶段(1-10天)组建专项工作组，完成现场勘查、确定12处重点监控区域及设备点位，并构建BIM模型与基础数据库^[10]。第二阶段(11-25天)进行硬件部署，安装沉降/位移、应力传感器共40台，高清摄像头42台，以及UWB定位基站与标签，并搭建“5G+WiFi+LoRa”融合网络，确保100%覆盖。第三阶段(26-35天)完成软件部署与系统联调，建立BIM与设备的关联映射，并针对数据延迟、模型卡顿等问题进行优化整改。第四阶段(36-45天)开展120余人的分角色培训，系统上线试运行，并根据用户反馈持续优化流程与参数，确保满足现场实际需求。

(三) 应用效果评估

系统上线运行6个月后，从安全管理效能、工作效率、风险防控效果三个维度开展应用效果评估，通过对比系统应用前后的数据指标及现场调研结果，验证系统实用价值。安全管理效能大幅提升，隐患整改率从72%增至98%，整改周期从5.2天缩短至1.8天；AI不安全行为识别准确率达91%，有效预防事故；危大工程

监控及时预警18次，确保安全。工作效率显著提高，监理工程师日均隐患处理量从8条增至22条，日志生成时间从1.5小时缩至15分钟，整体效率提升超60%；移动端便捷上报节省80%时间成本，项目安全例会准备时间大幅缩短。风险防控效果突出，实现施工安全事故零发生，事故率较同类项目降低85%，违规行为下降81%；监管部门现场检查频次减少40%，精准度提升70%。现场调研也获得高度认可，89%的用户认为系统便捷实用，92%的监理工程师表示有效减轻了工作负担。

(四) 存在的问题与改进方向

针对系统在复杂环境下的应用短板，将从四个方面进行改进。在网络覆盖薄弱的边缘区域，将增设LoRa网关与5G信号增强器，并采用数据分片传输技术以保障数据稳定；升级AI模型，通过扩充恶劣天气与复杂违规场景的训练数据、融合红外图像技术，并新增违规动火等算法模块，提升识别精度与广度；再次，升级数据接口，通过API网关模式实现与ERP等系统的深度对接，同步设备维护、材料管理等全维度数据，完善风险评估；完善移动端离线功能，支持离线拍摄视频和存储高清照片，并在网络恢复后自动同步。此项改进工作将分阶段推进，计划3个月内完成网络与移动端优化，6个月内完成AI与数据共享升级，全面提升系统的现场适应性与实用价值。

四、结束语

本文围绕智慧工地背景下建筑施工安全监理的痛点问题，完成了信息化管理系统的设计、开发与实践应用，构建了一套融合多技术、覆盖全流程的安全监理解决方案，为建筑施工安全管理的信息化转型提供了有益探索。建筑施工安全监理的信息化、智能化是行业发展的必然趋势。本文的研究与实践表明，通过新一代信息技术与安全监理业务的深度融合，能够有效提升安全管理效能，降低施工风险。期待本系统及相关研究成果能为推动建筑行业安全管理模式升级贡献力量，助力实现建筑施工领域的安全发展、高质量发展。

参考文献

- [1] 崔进. 基于智慧工地的信息化安全质量管理体系研究[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(3): 187-189. DOI: 10.20080/j.cnki.ISSN1671-3362.2023.03.060.
- [2] 陈惠波. 建筑监理中的安全生产管理与施工现场安全监管研究[J]. 工程技术研究, 2024, 6(5): 59-61. DOI: 10.12417/2705-0998.24.05.020.
- [3] 高壮超. 建筑智能化系统与信息化监理[J]. 建筑·建材·装饰, 2022(1): 4-6. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3024.2022.01.002.
- [4] 檀智超. 建筑工程监理在安全管理中的关键作用与实施[J]. 建筑与施工, 2024, 3(12): 114-115. DOI: 10.12417/2811-0528.24.12.054.
- [5] 王焕东. 地铁站信息化施工模型构建及施工过程中的安全协同管理系统研究[J]. 中国建设信息化, 2023(15): 60-63.
- [6] 吕卫柯. 建筑施工企业安全生产信息化技术的应用与展望[C]// 华东地区建筑安全联谊会三届四次会员论文集. 2014: 385-389.
- [7] 胡延庆, 郭峰村. 建筑工程施工中信息化管理的应用与发展[J]. 中国航班, 2024(14): 134-136.
- [8] 刘宗. 建设工程施工安全管理信息系统建设探讨[J]. 奥秘, 2024(26): 121-123.
- [9] 黎林峰. 信息化提升建设工程安全监管水平[J]. 中国建设信息, 2014(8): 32-33.
- [10] 刘金汉. 安全管理对建筑工程项目管理的意义[J]. 门窗, 2021(17): 141-142. DOI: 10.12258/j.issn.1673-8780.2021.17.071.