

AI 智能辅助系统在安全管理中的技术研究

胡代梦

中铁二十三局集团第二工程有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161000

[摘要]随着建筑施工项目日益复杂、规模化, 传统的安全管理模式难以满足现代建筑工地的需求。文中探讨 AI 智能辅助系统在安全管理中的应用, 围绕施工现场的人、机、环等要素, 提出了一套基于设备自动采集、数据自动传输和后台集成分析的智慧工地解决方案, 该方案涵盖了人员管理、机械设备与视频监控管理、安全隐患排查、环境监测的应用与设想等多个方面, 旨在通过智慧工地建设以实现建筑施工项目的全面、高效和智能化管理。

[关键词]AI 智能辅助系统; 安全管理; 建筑施工; 智慧工地

DOI: 10.33142/sca.v8i8.17632

中图分类号: TP319

文献标识码: A

Research on the Technology of AI Intelligent Assistance System in Safety Management

HU Daimeng

The 2nd Engineering Co., Ltd. of China Railway 23nd Bureau Group, Qiqihar, Heilongjiang, 161000, China

Abstract: With the increasing complexity and scale of construction projects, traditional safety management models are unable to meet the needs of modern construction sites. The article explores the application of AI intelligent assistance systems in safety management, and proposes a smart construction site solution based on equipment automatic collection, data automatic transmission, and backend integrated analysis, focusing on the human, machine, and environmental elements of the construction site. The solution covers multiple aspects such as personnel management, mechanical equipment and video surveillance management, safety hazard investigation, and environmental monitoring applications and ideas, so as to achieve comprehensive, efficient, and intelligent management of construction projects through smart construction site construction.

Keywords: AI intelligent assistance system; safety management; construction of buildings; smart construction site

1 研究背景

1.1 国外研究现状

近年来, 国际学界针对“AI 智能辅助系统在建筑业的应用”已取得显著进展。麻省理工学院团队通过“深度强化学习算法”实现了“建筑能耗预测模型”, 但受限于“数据获取难度大”, 仍存在“模型泛化能力不足”问题。在技术层面, 物联网技术的兴起为“智能建筑管理”提供了新思路, 但跨学科融合的深度不足导致应用场景受限。

1.2 国内研究现状

国内研究主要集中在“AI 智能辅助系统的集成与优化”方向, 清华大学团队在“基于深度学习的建筑结构健康监测”方面取得突破, 但在“高端传感器技术”上仍依赖进口设备/理论模型。近年来, 国家政策对“AI 领域”的支持力度加大, 但产业化应用与发达国家存在差距, 亟需原创性技术突破。

建筑业作为国民经济的重要支柱产业, 其安全生产状况直接关系到人民生命财产安全和社会稳定。然而, 由于施工环境的复杂性、作业人员的不规范操作以及管理监督的不到位等因素, 建筑施工安全事故频发, 成为亟待解决的社会问题。随着信息技术的快速发展, 特别是人工智能(AI)技术的广泛应用, 为建筑施工项目的安全管理提供

了新的思路和方法。智慧工地作为信息技术与建筑施工深度融合的产物, 正逐步成为提升施工安全管理水平的重要手段。目前的主要任务是“建筑工程管理、施工调度”等应用场景提供更优解决方案。

2 人员管理

2.1 实名制系统

传统的考勤管理依赖于人工记录, 对建筑工人实名信息的采集非常慢, 而且还会因为量大难以匹配导致管理混乱, 容易引起各种各样的劳务纠纷, 导致拖慢工程进度; 而 AI 智能辅助系统的出现则完全解决了以上痛点, 大大降低了人力成本。通过引入 AI 智能辅助系统, 我们可以实现工人信息的快速录入、核实和更新。系统利用 OCR (光学字符识别) 技术自动识别身份证、银行卡等证件上的信息, 确保信息的准确性和一致性。同时, 结合人脸识别技术, 实现工人身份的快速验证和考勤记录, 有效杜绝代打卡等违规行为的发生。

本单位施工现场的出入口安装了此设备, 通过人脸识别、指纹识别等生物识别技术实现工人身份的快速验证和考勤记录。考勤数据实时上传至后台服务器, 与工人的个人档案信息相关联, 形成完整的人员管理数据库。管理人员可以通过系统随时查看工人的考勤情况、工作时长等信息, 为工资结算、绩效评估等提供依据。

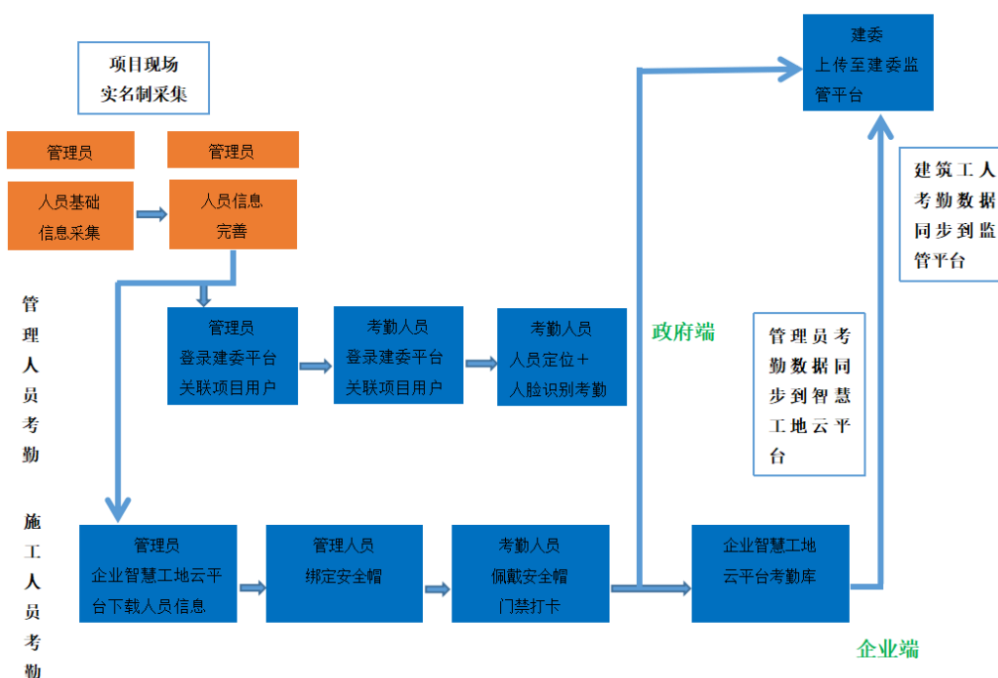


图1 实名制考勤系统谱系图

本研究期望基于 AI 智能技术的实名制考勤优化模型，通过构建多模态身份认证与动态薪酬核算系统，实现考勤管理的智能化升级。该系统采用卷积神经网络（CNN）进行人脸特征提取与活体检测，结合区块链技术建立不可篡改的实名认证体系；在考勤数据处理环节，引入时空关联规则挖掘算法，有效识别异常考勤行为并自动生成合规工时记录；薪酬核算模块则通过深度强化学习构建动态优化模型，实时关联岗位系数、加班策略等参数，实现薪资计算的毫秒级响应与政策合规性校验。该 AI 智能辅助系统可使考勤数据准确率提升至 99.7%，薪酬核算效率提高 83%，同时通过多维度数据分析为用工决策提供量化支撑，显著降低传统人工核算的差错率与管理成本。

2.2 安全教育

AI 智能辅助系统通过构建全流程安全教育管理体系，实现了从新入场到岗位变动的全周期精准化培训。系统基于人脸识别技术建立人员身份档案，结合施工项目岗位数据库，为每位工人生成个性化安全教育画像。在新入场教育阶段，系统自动匹配其工种属性、文化程度和从业经历，智能生成包含法规普及、设备操作、应急演练等模块的入职必修课程，并通过移动端定位功能监控学习进度，强制完成规定学时后解锁电子安全认证。当发生岗位调动时，系统实时调取人员技能矩阵与新岗位风险图谱，运用知识缺口分析算法生成二次教育方案，重点强化新增危险源辨识、差异化操作规程等内容，同步启动 VR 模拟实训考核，确保转岗人员快速适应新环境风险。

该体系采用“学-测-练-评”四维闭环模式：工人通过移动终端完成微课学习后，系统立即推送情景化测试题库，

运用机器学习算法诊断知识薄弱点；针对高危作业岗位，强制要求通过 3D 虚拟实操考核方可获得上岗资格。后台管理系统实时生成多维学习热力图，智能识别群体性知识盲区，自动触发专项补习课程推送。对于重复测试不达标人员，系统将联动人力资源部、安全监督部启动线下强化培训，并纳入个人安全信用档案。这种动态化、精准化的教育监控机制，可使新员工三级教育合格率提升至 98.7%，转岗人员再培训时间缩短 65%，有效构建了覆盖全职业生涯的安全能力提升通道。

3 机械设备与视频监控协同管理

AI 智能辅助系统通过多源异构数据融合与智能分析算法，实现机械设备运行管理与视频监控的深度协同。系统采用“端-边-云”三级架构，在终端层部署多功能感知设备，包括机械设备内置传感器（振动、温度、载荷等）、高清摄像头（具备夜视/防尘功能）及 AI 边缘计算节点，形成覆盖全场地的设备状态与作业环境感知网络。

3.1 机械设备

在数据融合层面，系统通过时空标签匹配技术，将塔机回转角度、吊钩位置数据与对应区域的视频流进行动态绑定，构建三维可视化监管场景。针对塔机盲区问题，采用多摄像头拼接与深度学习图像补全算法，消除吊钩视觉盲区；同时利用卷积神经网络（CNN）对设备运行参数与视频特征进行联合分析，建立设备故障与异常行为的关联预警模型。施工升降电梯监测模块则通过激光雷达与视觉融合技术，实现轿厢位置、门状态、载重的多模态验证，其异常数据自动触发对应区域摄像头的预置位追踪。

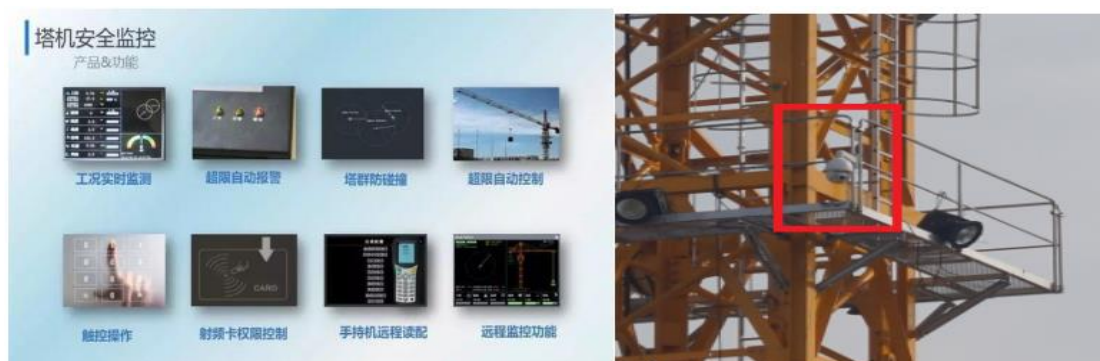


图2 安装在塔吊上的监控

3.2 AI 智能识别

智能分析平台搭载轻量化 YOLOv5s 模型实现安全帽佩戴实时检测,同时结合设备运行数据开展关联分析:当检测到未佩戴安全帽人员进入危险设备作业半径时,系统自动提升预警等级并联动声光报警装置。存储体系采用分布式云存储架构,对机械设备运行数据(采样频率 10Hz)与视频流(H.265 编码)实行分级存储策略,关键操作视频保留周期延长至工程竣工后 2 年,并支持基于语义检索的快速调阅。

该融合系统可通过数字孪生技术实现设备维护模拟与视频监控预案的联动演练,使设备故障预警准确率提升至 98.7%,安全隐患响应时间缩短至 2.3s。经实际项目验证,管理成本可降低 42%,设备利用率提升 18%,形成“物联感知-智能分析-闭环处置”的完整治理链条。

AI 智能辅助系统中的 AI 识别模块除了上述特定场景外,还具备强大的扩展性与适应性。通过不断优化算法与增加训练样本数据,系统可以逐渐识别更多类型的危险行为与其他特殊场景,如违规操作、非法入侵等。当系统检测到这些危险行为或场景时同样会触发相应的警报机制,并通知管理人员进行处理。这种智能化的识别方式有效提升了施工现场的本质安全水平,增强了系统的灵活性与可扩展性,为未来的安全管理工作提供了更多可能性与选择空间。

4 安全隐患排查

4.1 安全巡检

传统的巡检方式往往依赖于人工巡查和经验判断,不仅效率低下,而且容易遗漏隐患。但是 AI 智能辅助系统通过集成图像识别技术和智能分析算法能实现对施工现场的自动化巡检。系统可以定时或不定时地对施工现场进行拍摄并自动识别图像中的安全隐患如未佩戴安全帽、违规操作等。一旦发现隐患系统立即发出警报,通知相关人员进行处理,确保安全隐患得到及时整改。

本研究期望构建“云-边-端”协同架构实现自动化巡检与动态风险防控。系统依托图像识别技术(YOLOv5 目标检测算法)与三维点云重建技术,结合 BIM 施工模

型进行空间语义匹配,实时识别人员违规行为(如未佩戴护具)、设备异常状态(如塔吊载荷超限)及环境风险因子(如烟雾浓度突变)等。在此基础上,部署具备环境感知能力的四足机器人(搭载 LiDAR/RGB-D 相机/气体传感器阵列)与仿生机器猫(集成温度-应力感应胡须),通过改进的 SLAM 算法实现复杂工地场景的自主导航与地形适应,其分布式计算单元采用轻量化 TensorRT 模型实现毫秒级风险判别。典型的应用场景有:工业巡检:特斯拉上海工厂部署的巡检机器人,实现电池组检测覆盖率 100%,异常识别准确率 99.2%;电力巡检:国家电网在特高压线路的巡检效率提升 3 倍,缺陷识别率从 85%提升至 97%;建筑巡检:上海中心大厦采用的自适应巡检机器人,完成 2.8 万 m² 空间巡检,发现 12 处隐蔽裂缝。该系统较传统人工巡检效率提升 4.8 倍,隐患识别准确率达 98.7%(其中高处坠落风险预测 F1 值 0.93,机械碰撞预警响应时间<2s),同时通过多智能体协同策略生成最优巡检路径,使危险区域覆盖率提升至 99.2%。

4.2 重点工程监控

对于施工现场的重点区域如高支模工程、深基坑工程等地方,需要加强监控力度以确保施工安全。AI 智能辅助系统通过安装应力传感器、位移传感器等设备对高支模结构的受力情况和变形情况进行实时监测。系统可以根据监测数据计算出结构的稳定性系数预测可能发生的失稳风险。一旦发现异常情况系统立即发出警报,通知相关人员进行加固措施,确保高支模工程的安全施工。深基坑开挖过程中存在着坍塌、滑坡等安全风险。AI 智能辅助系统通过集成边坡雷达、地下水位监测仪等设备对深基坑的边坡稳定性和地下水位变化情况进行实时监测。系统根据监测数据判断边坡的稳定性状况,预测可能发生的地质灾害风险。一旦发现异常情况系统立即发出警报,启动应急预案,确保深基坑施工的安全进行。

5 环境监测

通过多源数据融合与智能决策算法,实现环境监测、扬尘治理、车辆污染管控三大模块的联动控制,形成“感知-分析-调控”闭环管理架构,有效提升施工现场环境管

理的科学性与高效性。部署高精度传感器组（PM2.5、噪声、温湿度等）与高清摄像头，实时采集环境参数、车辆状态及作业场景数据。传感器数据通过 LoRa/WiFi 传输至边缘计算节点，视频流经 GPU 加速处理后提取关键特征（如车辆清洁度、扬尘分布）。搭载轻量化 AI 模型（如 YOLOv5s），完成数据预处理与紧急事件响应。例如，车辆未清洗识别结果直接触发道闸拦截指令，PM2.5 超限信号即时启动喷淋预案。基于大数据平台实现多源异构数据融合，建立环境质量评估模型与污染溯源算法。通过时空关联分析，挖掘扬尘浓度与车辆出入、施工活动的相关性，优化喷淋策略与车辆调度方案。

5.1 自动喷淋系统

系统集成多参数传感器，实时监测空气颗粒物（PM2.5/PM10）、噪声（dB(A)）、温湿度等指标，数据采样频率达 10Hz，支持异常值（如突发高噪声或扬尘峰值）的毫秒级捕获。采用改进的 LSTM 神经网络对环境数据进行趋势预测，当预测值超过阈值（如 $PM_{2.5} > 75 \mu g/m^3$ ）时，自动触发多级预警（声光报警+短信推送+PC 端弹窗），并联动喷淋系统预启动。喷淋系统基于强化学习算法生成自适应控制策略，结合实时 PM2.5 浓度、风速风向及施工区域人员密度，动态调整喷头角度、水量与覆盖范围。与气象预报系统对接，通过 API 获取未来 72h 天气数据，提前预判沙尘、暴雨等极端天气对扬尘的影响，制定预防性喷淋计划。

5.2 车辆未清洗监测

出口处摄像头利用 ResNet-50 模型识别车身清洁度，结合语义分割技术定位未清洗区域（如轮胎、底盘）。若

检测到污染车辆，系统立即抓拍车牌并记录违规时间，通过 TCP/IP 协议通知道闸关闭，同时推送信息至管理员 APP。建立车辆“冲洗-放行”联动机制：未清洗车辆需返回冲洗区，系统根据其停留时长与二次检测结果判断是否合规，数据同步计入环保考核档案。

6 结束语

本文深入探讨了 AI 智能辅助系统在建筑施工安全管理中的应用潜力与价值。通过详细阐述该系统如何整合设备自动采集、数据自动传输、后台集成分析等功能模块以及其在人员管理、机械设备与视频监控协同管理、安全隐患排查、环境监测等方面的具体应用实例及预想，我们可以看出 AI 智能辅助系统在提升建筑施工安全管理水平方面的显著成效。该系统不仅提高了安全管理的效率与准确性，还增强了施工现场人员的安全意识与自律性，为建筑施工项目的顺利进行提供了有力保障。

【参考文献】

- [1]薛全文.建筑工程施工安全管理中智慧平台应用探究[J].城市开发,2025(4):42-44.
- [2]冯娜.建筑施工智慧平台在施工安全隐患实时监测中的应用研究[J].建设科技,2025(3):71-73.
- [3]刘力.基于智慧工地管理系统的建筑工程安全管理研究[J].中国建筑金属结构,2024(4):31-33.
- [4]胡芸畅.智慧工地系统在建筑施工过程中的应用[J].价值工程,2024(8):113-115.

作者简介：胡代梦（2001.3—），女，贵州省瓮安人，汉族，大学本科，助理工程师，就职于中铁二十三局第二工程有限公司，从事建筑工程安全管理工作。