AI视频监控技术在智慧工地安全管控中的应用

王占泰，王晓兴

（中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司，陕西 西安 710106）

摘 要 随着建设工程规模持续扩大与施工环境日趋复杂，传统以人工巡查为主的安全管理模式已难以满足实时性与精准化的管控要求。AI视频监控技术通过融合深度学习视觉算法、边缘计算与云边协同架构，为智慧工地安全管控提供了全新的自动化解决路径。本文分析了传统安全管理模式的深层局限与变革需求，指出了前端智能感知、目标检测与行为识别、多源数据融合等关键技术在小样本识别、复杂光照适应性等方面的局限，并深入探讨AI视频监控在典型场景中的应用实践。结果表明，AI视频监控技术能够变被动追溯为主动预防，显著降低事故发生率，提升管理效率。

关键词 AI视频监控；智慧工地；安全管控；深度学习；行为识别

中图分类号：TU714；TP18 **文献标志码**：A **DOI**：10.3969/j.issn.2097-3365.2026.28.034

0 引言

随着信息化与智慧城市建设的不断推进，智慧工地在城市基础设施体系中扮演着越来越重要的角色[1]。传统安全管理依赖安全员现场巡查和事后视频回放，不仅人力成本高昂，更存在监控盲区大、响应滞后等问题，难以从源头上阻断违规行为。近年来，人工智能与物联网技术迅猛发展，AI视频监控技术开始深入工地现场，通过对视频流的实时智能分析，能够自动识别未戴安全帽、危险区域闯入、烟雾火焰等风险事件并秒级报警，将安全关口大幅前移。这一转变正在重塑工地安全管控范式，使“智慧工地”从概念走向实用。本文围绕AI视频监控技术在施工安全管控中的核心架构、典型应用及效能优化展开论述，以期为行业智能化升级提供系统参考。

1 智慧工地安全管控的内在需求与技术驱动

1.1 传统安全管理模式的深层局限

长期以来，施工现场安全监督主要依靠人力巡检和固定摄像头录像回放。安全员需要在多个作业面间往返，依靠肉眼判断工人是否合规穿戴防护用品、是否误入危险区以及机械设备是否存在异常。这种模式受制于人的精力与注意力阈值，难以实现全天候、全覆盖的连续监控，监督难度大[2]。更关键的是，传统视频监控系统虽能实现影像记录功能，但事后追溯录像的方式只能在伤害发生后寻找原因，无法实时干预[3]，阻止事故的瞬间发生。许多违章行为持续时间仅数秒，视频虽记录了过程，却未能及时阻断。同时，存储的海量录像数据长期没有被盘活，极少得到挖掘利用，安全管理仍以经验判断、事后惩戒为主，不具备依托实时数据开展预测、主动干预的能力，再加上建筑工地扬尘、振动、光照变化剧烈等恶劣条件的影响，人工监控和常规视频分析的可靠性会进一步降低，隐蔽风险也在不断累积。

1.2 AI视频监控技术带来的主动防控变革

AI视频监控技术作为智慧工地的核心安防子系统，由传统的“事后取证”逐渐向“实时预警—智能分析—主动防控”的方向发展，对提升建筑运行管理效率、保障人员与财产安全具有不可替代的作用。通过在工地关键点位部署智能摄像机，并嵌入边缘算力，系统能够对视频画面进行逐帧实时分析，不再依赖人眼盯屏。当检测到人员未佩戴安全帽、未穿反光背心、擅自进入吊臂回转范围或出现明火浓烟时，可在毫秒级时间内触发联动报警，驱动现场声光警示、自动抓拍留存证据并同步推送至管理平台。这种从被动回溯到主动预警的跃迁，让安全管理具备了实时阻断风险的能力。同时，全时段不间断运行特性弥补了人力监管的时间盲区，使得夜间施工、节假日等薄弱时段同样获得严密守护。

2 支撑工地智能视频分析的核心技术架构

2.1 前端感知与边缘实时计算

工地环境网络条件波动大、粉尘干扰重，若将全部视频流回传至云端处理，极易出现延时、卡顿甚至

作者简介：王占泰（1985-），男，本科，工程师，研究方向：智慧工地建设、数据安全。

断连，难以满足安全报警对实时性的严格要求。为此，当前主流方案采用“前端感知 + 边缘计算”架构。智能摄像机内置高性能 AI 芯片，在视频采集的同时即完成目标检测、特征提取和初步逻辑判定，仅将结构化报警信息、抓拍截图和关键片段上传后台。这种方式极大地降低了传输带宽压力，保证在 4G/5G 信号较弱时依然能够本地独立执行识别任务[4]。边缘端算法针对工地场景进行了量化压缩与算子优化，使得一帧高清图像的处理时间可控制在数十毫秒以内，真正实现“看到即分析，分析即报警”。此外，前端设备支持强光抑制、宽动态和透雾功能，在逆光、夜间和扬尘条件下仍能提供清晰的图像基础，为后续深度模型提供高质量输入。

2.2 深度学习驱动的目标检测与行为分析

深度卷积神经网络是智慧工地视频分析各项核心功能的实现基础，在目标检测方向内，YOLO 系列这类单阶段检测算法，可实现检测速度和精度的合理平衡，应用场景广泛。YOLO 把目标分类、位置回归两个模块整合到同一网络结构内，单次推理就能输出安全帽、反光衣、施工机械、人员等多类目标的检测结果，还能同步给出对应目标的精准边界框。搭配特征金字塔结构与多尺度训练方法开展训练后，模型检测远距离小目标、密集人群中的单独个体时，依然能保持比较高的检出率。一般采用三维卷积网络，或是融合光流信息的双流网络，提取连续帧之间的运动规律与人体骨架的变化特征。例如：识别出手部到嘴部的重复运动轨迹，再匹配香烟这类小目标的尺度特征，就能准确判定现场存在吸烟行为；捕捉到人体关键点位移加速度、体态倾角的突变数据，就能实时识别人员跌倒情况，同步启动应急救援流程。这类算法用工地海量真实场景的数据集完成迭代训练，逐步减少误报、漏报情况，优化复杂光照、存在遮挡场景下的精准性。

2.3 云边协同与多源数据融合平台

单点智能需要汇聚成系统智能才能发挥最大价值。采用云边协同架构时，边缘端负责输出毫秒级报警信号，同时完成本地数据缓存，云端会收拢多路视频的结构化处理结果，开展跨点位关联分析与深度挖掘。云端平台可对接人员实名制信息、塔吊监测传感器、环境监测仪等多维数据源，能够完成视频事件和业务数据的融合校验。在实际应用场景中，AI 视频识别到工人未佩戴安全帽后，平台可联动门禁系统调取该工人的身份信息，自动记录违章次数并纳入班组安全考评。整合塔吊回转角度、吊钩高度的实时监测数据，平台可在对应监控视频画面内，动态生成三维危险作业区域，预警精准度会有比较大的提升。多源数据融合还支撑了轨迹追踪、热力图分析两类功能的落地，统计人员、车辆频繁出现违规的区域和时间段，可辅助优化施工部署，调整安全交底的重点内容。这套端边云一体化的架构设计，既能保障前端的响应速度，又能充分释放云端数据聚合与智能决策的潜力，最终构建起立体化、可进化的工地安全大脑。

3 AI 视频监控技术在典型安全场景中的应用实践

3.1 人员防护装备与违规行为智能监测

正确佩戴安全帽和穿着反光背心是预防施工现场头部伤害和提升夜间可视性的基础措施。AI 视频监控技术通过在工地主入口、作业层和通道等位置设立虚拟电子岗哨，对进入画面的每一名人员进行实时扫描。一旦发现未佩戴安全帽或未穿反光衣的个体，系统立即在本地完成告警语音喊话，如“请戴好安全帽”，并将抓拍图像和违规时间标注后上传平台，形成不可篡改的电子证据。系统支持对多种安全帽颜色同时识别，可区分管理人员、不同工种和访客，并进一步监测是否规范佩戴下颌带。除防护装备外，作业人员抽烟、接打手机等分散注意力行为同样是重点监控对象。火焰未起的烟头与微小手机在视频中像素占比极低，通过针对性的小目标增强模块和多尺度特征融合，算法能够在几十米外的塔吊视角下依然保持较高辨识度，及时提醒制止，有效消除火灾和操作失误隐患[5]。

3.2 危险区域入侵与电子围栏预警

工地临边洞口、塔吊回转半径、高压线附近以及基坑支护区域是高处坠落、机械碰撞和触电事故的高发地带。传统物理围栏与警示标牌常因被忽略或人为挪动而形同虚设，AI 视频电子围栏则以无形之界，实现了难以跨越的精准防护。在摄像机监控画面内，管理人员可灵活绘制任意形状的虚拟警戒区域，并设定不同时段、不同对象的访问规则。当有人闯入塔吊吊臂下方禁止进入区域时，系统不仅触发报警，还能联动塔吊操作室内的显示屏和蜂鸣器，提醒司机减速或停止回转，同时引导闯入者迅速离开。对于深基坑边缘，系统结合人体越线检测和徘徊判别算法，对靠近边缘超时停留行为提前预警，避免因观察不慎导致的坠落。车辆进出基坑、材料堆场等关键区域同样适用，算法可区分人、车辆和工程机械，避免动物或无关物体触发误报，显著提升预警可信度。

3.3 施工机械与车辆运行安全监管

塔吊、施工电梯、挖掘机和渣土车等重型机械是工地安全管控的重中之重。AI 视频监控技术通过高空

球机和固定枪机组合，实现了对塔吊吊钩的可视化追踪和吊物下方人员检测。利用变焦镜头自动跟随吊钩移动，系统可清晰查看吊物捆绑状态，并结合下方区域人员存在检测，一旦发现吊物下方有人，便立即向塔吊司机发出紧急停止指令，防止物体打击。针对工程车辆，视频分析可识别盲区内的施工人员，在车身侧方和后部部署智能摄像机，当工人或骑行人进入危险盲区时，车载声光报警器随即启动，同时限制车辆起步或急转。此外，系统对场内车辆超速、违规载人、不按规定路线行驶等行为进行自动车牌识别和轨迹跟踪，生成驾驶安全评分，促使车队管理从粗放式向精细化转变，有效压降车辆伤害事故[6]。

3.4 烟火及环境异常状态智能识别

工地易燃材料堆积，动火作业频繁，火灾风险始终存在。AI视频监控技术的烟火检测算法可识别火苗、浓烟以及异常高温引发的烟雾形态，与传统烟温感探测器形成互补。视觉算法通过分析烟雾纹理的扩散特征和火焰颜色闪烁频率，能够在大空间室外场景下实现早期发现，甚至在烟感尚未触发前就发出预警，争取黄金处置时间。除火灾外，施工现场的扬尘、裸土未覆盖和夜间违规施工等问题同样是监管难点。利用视频分析可自动判别裸露土表区域是否使用防尘网严密覆盖，并实时估算扬尘可见度，当扬尘超出阈值时联动喷淋系统降尘。夜间，算法识别出灯火通明且存在人员、机械活动的情况，即可判定为非许可时段施工，随即记录上报，为绿色施工和文明管理提供客观依据。

4 应用成效评估与技术演进方向

4.1 安全管理效能与事故预防成果

AI视频监控系统在实际智慧工地项目中展现出显著的安全管理效益。首先，违章行为发现模式由抽查式转变为全量式，监控覆盖面扩充至全天候、全区域，安全帽佩戴率等关键指标由人工检查时的不足85%快速提升至95%以上，反光衣穿着率和临边防护遵守情况也同步大幅改善。其次，报警响应时间压缩至秒级，现场安全员可在第一时间通过手持终端接收信息并介入干预，使许多险情消灭在萌芽阶段，可记录事故率和伤害严重程度均呈现明显下降趋势。管理层面，长期积累的违章数据结构化为安全决策提供了支撑，管理层可依据区域违章热力图优化安全交底和人力配置，安全培训也从说教式转变为基于本工地真实案例的情景化教育。此外，工程保险和业主考察中对智慧工地安全系统的认可度越来越高，良好的安全记录间接降低了投保成本和经营风险。

4.2 现阶段技术局限与未来发展趋势

AI视频监控技术虽然应用效果显著，但在实际应用场景中仍面临一些局限。复杂光照和恶劣天气条件下，雨水、尘土在镜头附着以及逆光、夜间红外成像导致图像质量劣化，目标检测准确率会有所下降。施工场景变化极快，模板脚手架搭拆、材料堆放位移频繁，使固定背景模型和行为规则库需要频繁更新，自适应性有待增强。小样本异常行为，如工人突发痉挛、打架斗殴等，由于数据稀缺，难以训练出高可靠模型。此外，多摄像头下的行人重识别与跨镜轨迹连续追踪在服装高度相似的工人群体中仍具有挑战。随着技术的不断发展，通过多模态融合、自监督学习与数字孪生的深度协同，AI视频监控技术将完善为自感知、自决策、自优化的全息智慧安全体系，彻底实现从被动报警到主动预防的跨越。

5 结束语

AI视频监控技术逐渐深刻改变智慧工地的安全管控方式。通过深度学习视觉分析、边缘智能感知与云边协同平台，传统依赖人力的被动安防被彻底升级为实时、主动、全覆盖的智能防御。在人员护具检测、危险区域预警、机械盲区监控和烟火识别等场景中，该技术显著提升了违章查纠效率，缩短了应急响应时间，有效遏制了事故苗头。当前，系统对复杂环境和稀有行为的辨识能力仍需进一步打磨，但随着多模态感知融合与自进化算法的成熟，AI视频监控技术将具备更强的环境适应性和风险预测力。未来，深度融合数字孪生与机器人巡检的智慧安全生态，必将使工地管理更加透明、精准与人性化，推动建筑业安全生产迈入事前预控的新阶段。

参考文献：

[1] 范宏凯.智慧工地视频监控系统的设置与质量控制[J].建筑机械化,2026,47(05):48-52.
[2] 朱亭瑞.建筑施工现场安全管理中智慧工地的应用[J].世界家苑,2026(11):46-48.
[3] 王瑾.智慧工地系统在建筑工程施工安全管理中的应用[J].城市建设,2026(08):79-81.
[4] 宋星晨,孙禹.5G技术驱动下智慧工地应用模式研究[J].电信快报,2026(02):26-29.
[5] 李晶.5G+AI赋能智慧工地项目管理[J].中国建设信息化,2025(21):70-73.
[6] 徐凡莉.智慧工地数智化安全建设与应用探究[J].中国安防,2025(06):75-78.