

# 基于机器视觉的建筑工地人员行为安全分析

郝雪梅

沈阳航空航天大学, 辽宁省沈阳市, 110000;

**摘要:** 施工现场行为安全是建筑安全管理的关键变量。当前传统监管模式覆盖不足、响应滞后, 难以精准识别高风险行为。机器视觉作为感知手段嵌入施工现场, 具备非接触、连续、数据化等优势, 为行为识别、风险预警和决策闭环提供支持。文章聚焦高处作业、防护用品佩戴、危险区域入侵、人机接近行为等典型场景, 构建系统分析框架, 提炼行为分级标准与识别逻辑, 并结合实际项目案例, 探讨视觉系统在行为安全治理中的作用与边界。

**关键词:** 建筑工地; 人员行为; 机器视觉; 高处作业; 安全分析

**DOI:** 10.69979/3041-0673.26.04.013

## 引言

建筑施工环境的复杂性以及其本身特点, 使得建筑工人从事很多存在一定危险的作业, 例如动火作业、高空作业、临电作业等。尽管建筑企业陆续出台各种规章制度, 编制了各种安全手册, 组织开展各种教育培训及应急演练, 但因人员不安全行为而引发的事故仍时有发生<sup>[1]</sup>。这背后暴露出的核心问题, 是传统安全监管手段对人员行为的识别力和响应速度严重滞后。将机器视觉引入工地管理, 借助技术手段精准捕捉高风险动作, 正成为破解行为失控难题的关键突破口。

## 1 建筑工地人员行为安全的内涵界定与风险特征

### 1.1 行为安全在施工安全体系中的位置

在施工安全体系中, 行为安全是把技术措施和制度安排落实到人员身上的关键环节, 是风险是否被触发的那一环。结构设计、脚手架、防护栏等措施降低环境危险度, 人员是否按规程操作却直接左右事故概率。近年多地事故通报将冒险作业、违规进入危险区域列入主要隐患, 相关判定标准把人员行为写入重大事故隐患条款, 行为因素在安全治理中的权重明显抬升。监管视角由只盯设施逐渐延伸到“人怎么干活”, 施工安全管理随之需要以行为为抓手重构整体思路。

### 1.2 典型不安全行为类型与情境归纳

建筑工地的不安全行为集中体现在高处作业未系安全带、跨越或拆改防护栏、在起重半径内逗留、通道口堆放材料阻断疏散、未按要求佩戴安全帽和反光服等情形。若结合场景细分, 高支模、深基坑、临边开口、

卸料平台和塔吊作业区是不规范动作密集区域, 工期压力干扰作业节奏时, 习惯性违章极易在这些节点累积。多地事故案例和不安全行为识别工作显示, 不规范进入危险区、擅自改变作业方式, 常和高处坠落、物体打击等严重后果呈高度耦合关系<sup>[2]</sup>。

### 1.3 传统行为安全管控模式的局限

现有行为管控多依赖班组长巡查、专项检查和纸质台账, 覆盖范围受人员精力制约, 大量瞬时动作没有留下记录。检查时段集中在白天, 夜间施工和多工种交叉阶段缺少持续关注, 隐患处置经常滞后于行为发生。检查标准高度依靠个人经验, 记录以定性描述为主, 难以形成可比的行为数据, 在事故复盘和绩效考核中支撑有限<sup>[3]</sup>。部分项目把检查结果停在通报层面, 缺少行为习惯纠偏和作业流程优化的闭环, 信息化和智能感知在这一环节的参与度仍偏低。

## 2 机器视觉介入行为安全分析的逻辑起点

### 2.1 建筑工地视频感知基础与数据特征

在不少中大型建筑工地, 视频监控已经变成标配, 塔吊吊臂、卸料平台、出入口和主要通道周边普遍安装摄像机, 一些项目叠加全景球机, 基本覆盖人员活动区域, 为机器视觉应用奠定基础。工地画面受光照、扬尘、雨雪和遮挡影响较重, 作业人员衣着颜色接近背景, 目标呈小尺寸、密集分布状态, 既有远景俯视, 也有局部仰视。实践表明, 如果在点位高度、分辨率和夜视性能上缺少统筹, 行为识别效果容易出现波动, 视频数据本身成为影响行为安全分析质量的关键因素。

### 2.2 机器视觉识别人员行为的基本机理

机器视觉识别工地人员行为一般依托深度学习模型,把连续视频拆分成帧,在每帧中定位作业人员位置,提取头部、躯干和四肢等区域信息,生成可计算的姿态特征。安全帽佩戴、高处作业异常动作等场景,多采用目标检测网络配合人体关键点算法,既标出人员轮廓,也给出关节坐标,据此判断是否存在未戴安全帽、未系安全带、探身跨越等危险动作,再结合一段时间内的轨迹变化,对徘徊、奔跑、久站不动等状态作出分类<sup>[4]</sup>。

### 2.3 监管需求与技术供给的匹配关系

从监管角度看,建筑工地对行为安全分析的诉求集中在三点,既希望系统及时发现高风险动作并出现场提醒,又期待在全天候和多工种交叉条件下保持稳定覆盖,同时形成可追溯、可量化的行为记录,为责任划分和管理评估提供依据<sup>[5]</sup>。机器视觉在识别精度和事件触发时延方面已经取得明显进展,安全帽佩戴、电子围栏、闯入吊装半径等功能在不少智慧工地运行。一些复杂环境中的细微动作和夜间画面识别可靠性仍然有限,行为标签和真实风险等级之间的关系需要依托现场经验持续修订<sup>[6]</sup>。

## 3 基于机器视觉的人员行为安全分析总体框架

### 3.1 行为对象与作业场景的系统划分

在机器视觉参与行为安全分析之前,需要先把“看谁”和“在哪儿看”说清,否则算法很难贴紧真实风险。以人、机、环境三要素为线索,可把行为对象划分为一线作业人员、现场管理人员和临时进入者,再结合高处作业区、起重作业区、临边与洞口周边、运输通道、材料堆场等典型空间单元,形成“角色-场景”二维网格。现有施工安全风险标准中,人因因素被单独列项,权重明显高于设备和环境,这一取向提示行为类事件需要在场景划分阶段单独凸显出来。在此基础上,可为每类场景预设重点行为清单,例如在起重半径内重点监测逗留和穿行,在高支模区域重点关注攀爬、探身和防护构件拆改,使机器视觉“看得见”的内容事先对准事故高发点。

### 3.2 行为安全分析的指标体系与分级标准

行为安全指标如果只停留在“有无违规”这一层,很难支撑精细管理,需要把单个动作放进时间和空间中衡量。结合工程类安全风险评估做法,可在行为层面构建由频次、持续时长、涉险距离、个体防护用品合规率、

告警响应情况等要素组成的指标组,既反映一次严重违章,也刻画反复轻微违规积累出的隐患。在等级划分上,可以把行为事件按潜在后果和暴露概率划成轻度、较重、重大三个档次,对应不同整改时限和责任追踪深度。这样一来,机器视觉输出的识别结果不再只是“某人没戴安全帽”这类孤立信息,而是进入一套有权重、有阈值的指标体系之中,为项目和班组的行为安全画像提供定量支撑。

### 3.3 视频数据到行为安全指标的映射与解释路径

行为安全分析的落脚点在指标,却离不开视频这一源头载体,需要构造一条从画面到指标的清晰路径,让技术和管理人员都看得懂。当前不少系统采用前端摄像机采集画面,经边缘计算或平台服务器提取人员位置、姿态和防护用品特征,再把符合规则的片段聚合成“未佩戴安全帽一次”“进入危险区三十秒”这类事件记录。在此基础上,系统按时间窗统计每个班组、每条作业线的事件数量和等级,生成趋势曲线和风险热力图,为周例会和专项会提供依据。为了避免“黑箱感”,有必要在指标页面保留一键回看功能,让管理者随时调出触发某条记录的原始视频片段,把抽象数字和现场情境重新对接起来,既校核算法,又方便和一线工人沟通。

## 4 典型行为场景的机器视觉识别与安全分析

### 4.1 高处与临边作业行为的视觉识别与风险研判

高处和临边作业多在几秒内从“看似正常”滑向危险,人眼巡查极易错过关键瞬间。安全绳穿戴识别方案在脚手架、楼层外沿、洞口等部位布设高清摄像头,接入边缘计算终端,持续解析画面,对未系安全带、跨越防护栏、在狭窄构件上攀爬等动作自动标记并触发预警。系统将人员姿态同结构边线叠加,给出距边缘距离、身体倾斜角度等参数,高风险动作在监控界面以醒目标识呈现,安全员依此及时干预或短暂停工。高处作业从“事后追责”转向“事前拦截”,事故复盘也能够依托连续图像,重新还原行为链条。

### 4.2 个体防护用品佩戴行为的视觉监测与习惯纠偏

个体防护用品佩戴规范程度,直接映射出班组对安全的真实态度。某建筑集团在多个项目布设劳保智能识别系统,将安全帽、反光背心、工服设为监测对象,算法对画面中的每一名作业人员实施多目标识别,捕捉未戴或佩戴不规范情形,现场语音即时提醒,后台生成按

班组和时段划分的事件记录。运行一段时间后，安全帽合规率明显提升，中暑等事件数量下降。管理团队在算法中引入高温场景样本，对短时摘帽喝水、擦汗设置宽限区间，同时调整提示用语，减少对立情绪。行为数据持续沉淀后，违规高发工序和时间段一目了然，培训侧重点、奖惩力度和作业节奏安排可以有针对性调整，习惯纠偏不再停留在口头倡导。

### 4.3 危险区域入侵与异常停留行为的动态监控

表 1 危险区域入侵事件分级示例

行为类型	触发条件示例	告警等级	处置建议
高处临边入侵	未授权人员进入距边线一米五内停留超三秒	三级	语音提醒，记录台账
危险吊物下方停留	吊物投影区域出现人员停留超两秒	二级	对讲通知撤离，暂停吊装
基坑边缘来回移动	边缘一米内持续移动时间超十秒	二级	派人现场确认，完善围挡
夜间禁入区域闯入	夜间封闭时段任何闯入行为	一级	联动值守巡查，必要时启动报警流程

### 4.4 人机协同作业区的接近行为与避让行为分析

人机协同区域中，人和设备围绕吊装通道、车辆行走路线不断交织，单靠警戒线很难维持安全距离。塔机智能化系统在吊臂、吊钩安装摄像头和传感器，利用计算机视觉算法同步识别工人、吊物、吊钩位置，对“吊物上站人”“人员过近”“歪拉斜吊”等情形自动判断，触及阈值即声光报警并限制起升动作，有项目在接近居民区、高压线区域时提前给出提醒，协助司机减速和调整幅度。地面机械场景中，人车检测算法将挖掘机、渣土车和周边行人纳入统一模型，当人员进入车辆转弯半径或装卸区，系统发出告警，有条件的项目同步联动道闸和语音设备，对违规靠近行为进行拦截和劝导。人机距离由人工经验估计转向可视化、参数化控制，人机分离原则在动态工况中获得更为可靠的执行基础。

## 5 结语

机器视觉赋予建筑行为安全管理以新的感知能力，使隐蔽、瞬时的高风险动作首次具备量化与追踪的可能。在高空作业、危险区域、劳保佩戴和人机交互等场景中，其识别精度和响应效率已实现初步落地。然而，技术输出仍需依托管理逻辑，构建与现场习惯相适配的规则与反馈机制。行为标签的解释、数据结果的应用，决定了系统能否从“看得见”走向“管得住”。未来，应从标

危险区域入侵和异常停留常处在事故前夜，稍有放任便可能酿成大祸。鲁班云平台在多地工地接入生产安全监测分析设备，将塔吊回转半径、基坑边线、材料堆场划定为重点区域，算法对闯入、停留超时、人员聚集自动识别，并把抓拍图像和停留时长推送给管理端；贵州从江公路项目则在现场布设多路摄像头，联动视频智能分析，形成全天候在线感知体系。管理团队在实践中提炼行为分级规则（见表1），把阈值和处置方式固化为参数表，既方便平台配置，也便于班组理解执行。

准体系、多源融合和责任划分等层面持续推进，使行为安全管理在智能感知基础上真正形成闭环。

### 参考文献

- [1] 常乐, 葛广州, 王涛, 等. 建筑施工中作业人员不安全行为分析及管控措施[J]. 建筑经济, 2020, 41(S1): 144-148.
- [2] 邓娇娇, 陈晨, 刘洋. 建筑工人安全/不安全行为研究的回溯与展望: 基于知识图谱分析[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(05): 27-35.
- [3] 尹朝阳, 庞奇志, 王柯钧, 等. 基于Moran过程的建筑行业施工人员安全行为随机演化博弈分析[J]. 安全与环境工程, 2023, 30(06): 73-80.
- [4] 孙龙龙, 王其宽, 施凯, 等. 基于知识图谱的建筑安全领域计算机视觉研究综述[J]. 安全与环境工程, 2021, 28(02): 44-49.
- [5] 龙丹冰, 魏君豪, 杨成. 知识图谱改进的施工行为安全风险与危险位置识别算法[J]. 中国安全科学学报, 2021, 31(12): 10-16.
- [6] 李国良, 章密, 李玉龙. 基于Meta-SEM的建筑工人安全行为影响机制研究[J]. 安全与环境学报, 2024, 24(02): 626-635.