

建筑施工高处作业安全风险智能识别与防控技术研究

胥帮润

中国建筑第八工程局有限公司西南分公司，四川省成都

610041

摘要： 建筑业高质量发展对本质安全水平提出了更高要求。探索基于智能技术的风险动态感知、实时预警与精准干预新路径，是推动建筑施工安全管理迈向数字化、智能化、精准化的必然选择，也是保障从业人员生命安全的核心课题。基于此，以下对建筑施工高处作业安全风险智能识别与防控技术进行了探讨，以供参考。

关键词： 建筑施工高处作业；安全风险智能识别；防控技术；研究

引言

随着信息技术与智能感知技术飞速发展，研究融合多种智能手段的风险识别与主动防控技术，对实现安全管理模式从被动响应到主动预防的根本性转变，具有迫切现实意义。

1 高处作业安全风险识别防控理论基础

高处作业安全风险识别与防控研究立足于系统安全工程理论、事故致因理论与风险管理理论的交叉融合。系统安全理论强调将高处作业视为一个复杂动态系统，其安全性由人员、设备、环境、管理等多要素交互作用共同决定，识别风险需进行系统性分析。事故致因理论（如轨迹交叉理论、能量意外释放理论）为剖析高处坠落事故的发生机理提供了经典模型，揭示了不安全行为与不安全状态在特定管理缺陷下如何耦合导致事故，是风险识别的重要逻辑基础。现代风险管理理论则提供了从风险辨识、评估、控制到监测反馈的完整闭环管理框架，指导研究从被动应对转向主动预防，强调通过技术与管理双重手段降低风险至可接受水平。

2 高处作业风险智能识别数据集构建

2.1 高处作业风险场景多源数据采集

构建高质量数据集的首要步骤是系统性地进行多源数据采集。这需要规划覆盖典型高处作业场景的全面数据采集方案。数据来源应多元化，包括部署于现场的固定式高清摄像头与移动巡检设备获取的视觉视频流，用于捕捉作业人员行为、安全装备穿戴及环境状态；利用穿戴式传感器（如智能安全帽、定位标签）采集人员的姿态、位置与运动轨迹数据；结合建筑信息模型（BIM）及施工进度计划提供的静态环境与动态作业面信息；并整合项目安全管理记录中的隐患排查、交底记录等文本数据。

2.2 风险特征标注规则与数据清洗方法

在获得原始多源数据后，必须建立科学、一致的风险特征标注规则与严格的数据清洗流程。标注规则需明确定义各类高处作业风险的具体视觉、行为或数据特征。数据清洗则旨在处理采集过程中产生的噪声数据、无效数据与异常值，包括对模糊、遮挡严重的图像视频进行筛选或修复，对传感器信号丢失或跳变进行插值或删除，并解决多源数据间的冲突与不一致问题，从而提升数据集的纯净度与可用性，为模型训练奠定可靠基础。

2.3 多维度风险特征分类体系搭建

基于安全理论与实际场景分析，需要构建一个结构化的多维度风险特征分类体系，以系统化地描述和组织识别出的风险。该体系通常可从风险致因维度进行构建，核心类别包括：人员行为风险（如违章操作、不当站位、疲劳作业）、个体状态风险（如未佩戴或未正确使用安全带、安全帽等防护装备）、环境状态风险（如脚手架缺陷、临边洞口防护缺失、作业平台不稳定）、以及管理交互风险（如作业区域未经许可进入、交叉作业冲突）。每个大类下可进一步细分具体风险子类，并定义其对应的特征向量表示方法。

3 高处作业风险智能识别模型优化设计

3.1 小目标风险特征提取算法改进

针对高处作业场景中安全带卡扣、细小防护构件等小尺度风险目标识别困难的问题，需对模型的特征提取算法进行专项改进。研究重点在于增强模型对小目标的敏感性和表征能力。这可通过采用特征金字塔网络（FPN）的增强变体，在深层语义特征与浅层高分辨率特征之间建立更有效的多尺度融合通路，以保留小目标的细节信息。同时，引入注意力机制，使模型能够自适应地聚焦于图像中包

含潜在小风险目标的区域，抑制复杂背景干扰。

3.2 复杂场景干扰下模型鲁棒性提升

施工现场环境复杂多变，存在光照变化、天气影响、遮挡、背景杂乱等众多干扰因素，严重挑战识别模型的鲁棒性。提升模型鲁棒性需采取多策略融合的方法。在数据层面，利用涵盖不同天气、光照、视角及部分遮挡情况的大量多样化数据进行训练是基础，并通过模拟这些干扰因素的数据增强技术（如随机调整亮度、对比度，添加雨雪雾模拟噪声，模拟局部遮挡）来主动提升模型的泛化能力。在模型架构层面，可引入对抗性训练思想，或在网络中嵌入对光照、天气等变化具有不变性的特征学习模块。

3.3 风险识别模型训练与精度验证方法

为确保模型的有效性与可靠性，必须设计严谨的训练与精度验证方法。模型训练采用端到端的方式进行，以经过清洗和标注的多源数据集作为输入。训练过程需选择合适的损失函数，以平衡正负样本及难易样本对梯度更新的贡献，优化模型参数。为防止过拟合，需采用交叉验证、早停法、以及适当的正则化技术。精度验证则需在独立于训练集的测试集上进行，评估指标应全面，不仅包括通用的精确率、召回率、平均精度均值（mAP），更需针对高处作业风险识别的特点，设置场景特定的评估指标，如对不同风险类别的识别准确率、在复杂干扰下的误报率与漏报率、以及识别结果的实时性指标。

4 高处作业智能安全防控技术体系搭建

4.1 风险实时预警响应机制框架设计

构建智能防控体系的核心在于建立高效、闭环的风险实时预警响应机制框架。该框架以智能识别模型为核心感知单元，一旦模型识别出预设的风险特征，系统应立即触发预警流程。预警信息需通过分级分类策略进行推送：对于高风险（如人员临边未系安全带），系统应同步触发现场声光报警装置进行即时警示，并通过无线网络将包含风险类型、位置、时间、图像证据的报警信息实时推送至现场管理人员的移动终端和项目安全监控中心大屏；对于中低风险，则推送至相关责任人进行核查处理。

4.2 多主体协同防控流程标准化构建

智能防控技术的有效落地依赖于现场多主体之间清晰、顺畅的协同流程。必

须基于预警响应框架，制定标准化的协同工作流程。流程应明确规定：现场作业人员在接收到声光或终端预警后应立即停止危险行为并进行自查整改；班组长负责接收管辖区域的预警信息，第一时间赶赴现场核实并组织整改，通过终端反馈处置情况；专职安全员负责监督预警处置全过程，对高风险或未及时处置的预警进行升级干预；项目管理层则通过监控中心统揽全局风险态势，依据预警数据进行分析决策，优化资源配置与安全措施。

4.3 现场落地适配技术方案优化制定

为确保智能防控体系能在多样化的施工现场环境中稳定、可靠地运行，必须制定并优化详细的现场落地适配技术方案。方案需综合考虑现场网络覆盖、电力供应、设备安装条件、作业面动态变化等实际约束。内容包括：设计适应性强、易于部署的硬件集成方案，如选用防尘防水、宽温范围的摄像与传感设备，采用有线与无线（如 4G/5G、LoRa）相结合的混合组网方式保障数据传输稳定性；规划设备在塔吊、楼层、围墙等关键位置的安装点位与角度，以最大化监控覆盖范围并减少盲区；制定系统的供电保障方案，如利用太阳能供电或接入现场临时用电系统并配备备用电源。

结束语

智能识别与防控技术研究为高处作业安全管理提供了创新解决方案。通过构建智能闭环，有望显著提升风险管控的时效性与精准度，推动安全管理从事后处置向事前预防转型，为构建更智能、更安全的建筑施工环境奠定坚实的技术基础。

参考文献

- [1] 蔡佳佳. 建筑工程施工现场高处作业安全管理技术研究[J]. 城市开发, 2026, (04):116-118.
- [2] 郑大伟. 建筑工程施工阶段高处作业安全管理优化研究[A]第十三届工程技术与数字化转型学术交流会论文集[C]. 广西网络安全和信息化联合会, 广西网络安全和信息化联合会, 2025:2.
- [3] 屈璐. 建筑施工高处作业安全隐患及防控对策研究[J]. 湖北应急管理, 2025, (20):19-21.
- [4] 岳媛. 建筑工程高空作业安全防护技术研究[J]. 陶瓷, 2025, (08):192-194.
- [5] 孔鑫. 建筑施工现场高处作业安全防护技术研究[J]. 城市开

发, 2025, (13):143-145.