# 安全风险识别技术在高层建筑工程施工中的应用

张建鑫

（广东炫润建设工程有限公司，广东 汕头 515000）

**摘　要：**随着城市化进程加速，高层建筑施工的安全风险管控已成为工程管理的核心内容。文章结合物联网、计算机视觉、深度学习等技术，构建了基于多源数据融合的安全风险识别系统。经多个项目实际部署验证，该系统可对高空作业、临边防护、机械设备、人员行为等关键风险源实现实时监测与智能预警，风险识别准确率为89%~96%，预警响应时间不超过3 s。

**关键词：**高层建筑；施工安全；风险识别；深度学习；智能预警

**中图分类号：**TU974

# Application of Safety Risk Identification Technology in High-rise Building Construction

ZHANG Jianxin

（Guangdong Xuanrun Construction Engineering Co., Ltd., Shantou 515000, China）

**Abstract:** With the acceleration of urbanization, safety risk control in high-rise building construction has become the core content of engineering management. The article combines technologies such as the Internet of Things, computer vision, and deep learning to construct a security risk identification system based on multi-source data fusion. After practical deployment and verification in multiple projects, the system can achieve real-time monitoring and early warning of key risk sources such as high-altitude operations, edge protection, mechanical equipment, and personnel behavior. The accuracy of risk identification reaches 89% to 96%, and the warning response time does not exceed 3 seconds.

**Key words:** high-rise buildings; construction safety; risk identification; deep learning; smart early warning

高层建筑结构复杂、施工周期长，施工过程中面临高空坠落、物体打击、机械伤害、坍塌等多重安全风险。传统安全管理主要依赖人工巡检与经验判断，存在覆盖范围有限、实时性差、主观性强等问题，难以满足现代高层建筑施工的安全管控需求。近年来，随着人工智能、物联网、大数据等新一代信息技术的快速发展，将智能化技术应用于施工安全风险识别，已成为建筑行业数字化转型的重要方向。针对高层建筑施工场景的特殊性，系统梳理安全风险识别的技术架构、核心方法与应用效果，对推动建筑施工安全管理水平提升具有重要的理论价值与实践意义。

## 1 高层建筑施工安全风险识别系统架构

### 1.1 多源数据感知与采集层设计

多源数据感知与采集层作为整个风险识别系统的基础支撑，承担着获取施工现场全要素信息的核心任务。由于高层建筑施工环境具有垂直空间跨度大、作业面分散、人员设备流动性强等特点，单一类型传感设备难以实现全面覆盖，因此构建异构传感器协同感知网络，是数据采集层设计的关键突破点。

在视觉感知方面，采用高清网络摄像机与红外热成像设备结合的方案，分别部署在塔吊驾驶室、施工电梯出入口、临边洞口周边以及材料堆放区域，形成立体化视觉监控网络；针对高层建筑施工现场光照条件复杂、粉尘遮挡严重等问题，引入自适应曝光补偿与图像增强算法，有效提升恶劣环境下的图像采集质量。

在环境感知方面，部署风速风向仪、温湿度传感器、倾角传感器、振动加速度计等多类型设备，实时监测施工现场的气象条件与结构状态[1]。

### 1.2 边缘云端协同计算层设计

针对高层建筑施工现场海量感知数据的实时处理需求，传统集中式云计算架构存在网络带宽压力大、传输时延高等瓶颈问题[2]。为解决这一缺陷，文章提出边缘计算与云端计算协同的分层处理架构，将计算资源下沉至数据产生源头，实现风险识别任务的就近处理与快速响应。

边缘计算节点部署在施工现场各楼层的弱电井内，采用嵌入式图形处理器作为核心计算单元，承担视频流解码、目标检测、行为识别等计算密集型任务[3]。针对边缘设备算力受限的问题，文章对深度学习模型采用知识蒸馏与模

**作者简介：**张建鑫（1989—），本科，研究方向为建筑工程管理。

型量化技术，在保持识别精度的前提下，将模型体积压缩至原始规模的1/4，同时推理速度提升3倍以上。

云端计算平台部署在项目指挥中心，负责多源数据汇聚、风险态势分析、预警信息推送等全局性任务，边缘节点与云端平台之间通过消息队列遥测传输协议实现轻量级数据交互，仅上传风险事件摘要与关键帧图像，大幅降低网络传输负载。

## 2 高层建筑施工安全风险识别关键技术

### 2.1 基于目标检测的施工人员违规行为识别技术

施工人员的不安全行为是导致高层建筑施工事故的首要因素，主要包括未佩戴安全帽、未系安全带、违规进入危险区域等。针对施工现场背景复杂、人员遮挡严重、小目标检测困难等挑战，文章提出一种融合注意力机制的轻量化目标检测网络，实现了对施工人员违规行为的实时精准识别。

该网络以YOLOv5s为基础架构，在主干网络中嵌入坐标注意力模块，通过沿水平与垂直方向分别编码位置信息，增强网络对安全帽、安全带等小尺寸目标的特征提取能力，如图1所示；在颈部网络中引入双向特征金字塔结构，促进浅层细节特征与深层语义特征充分融合，有效提升了复杂背景下的检测性能。

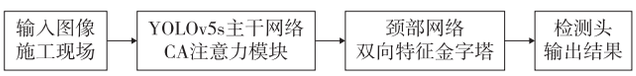


图1 基于目标检测的施工人员违规行为识别技术

针对施工现场标注样本获取困难的问题，设计了基于风格迁移的数据增强策略，将公开数据集中的安全装备图像迁移至施工现场背景，扩充训练样本规模。改进后的检测网络在自建测试集上的平均精度均值达到91.3%，单帧推理时间仅为12 ms，满足实时检测需求。

### 2.2 基于图像分割的临边洞口防护缺陷检测技术

临边洞口防护不到位是高层建筑施工中高空坠落事故的重要诱因，传统人工巡检方式无法全面覆盖分散在各楼层的临边洞口，也难以对其开展持续监控[4]。为此，文章提出基于语义分割的临边洞口防护缺陷自动检测方法，通过对监控图像中防护设施做像素级识别，判断防护栏杆是否缺失、防护网是否破损、警示标识是否齐全。

采用DeepLabv3+作为语义分割基础模型，将空洞空间金字塔池化模块中空洞卷积的扩张率调整为适配施工场景目标尺度的参数组合，在解码器部分融合低层特征与高层特征，恢复防护设施边缘的细节信息。

为量化评估防护设施的完整程度，定义防护完整度指标，相关公式为：

$$P=\frac{S_{\text{actual}}}{S_{\text{standard}}}\times 100\% \tag{1}$$

式(1)中，$P$表示防护完整度百分比；$S_{\text{actual}}$表示图像分割识别出的实际防护设施面积；$S_{\text{standard}}$表示该类型洞口按照规范要求应具备的标准防护面积。当防护完整度低于设定阈值时，系统自动触发缺陷预警。

### 2.3 基于多传感器融合的大型机械设备状态监测技术

塔式起重机、施工升降机等大型机械设备的运行安全，直接关系到高层建筑施工的整体安全水平。传统设备监测主要依赖单一传感器采集局部参数，难以全面反映设备的综合运行状态[5]。为克服这一局限，文章提出基于多传感器信息融合的设备状态监测方法，综合利用倾角、振动、荷载和电流等多维度监测数据，实现对设备健康状态的综合评估。

针对塔式起重机的监测需求，在塔身标准节、起重臂根部、配重臂端部等关键位置布设三轴加速度传感器与双轴倾角传感器，实时采集设备的振动频谱与倾斜角度；在起重钢丝绳上安装张力传感器，监测实际吊重与额定荷载的比值；在电气控制柜中接入电流互感器，采集各机构电机的工作电流。

### 2.4 基于时空建模的动态风险预测与预警技术

施工安全风险具有时变性与空间关联性特征，静态风险识别方法难以捕捉风险演化的动态规律。为实现风险超前预警，文章提出融合时间序列建模与空间关联分析的动态风险预测方法，可在风险事件实际发生前预判其发展趋势。

在时间维度上，采用长短期记忆网络对历史风险事件序列与环境参数时间序列进行联合建模，学习风险发生的时序演化规律；在空间维度上，构建施工现场风险因素关联图谱，利用图卷积网络挖掘不同区域、不同类型风险之间的空间传导关系。

综合时空特征建立风险预测模型，输出未来时段的风险发生概率，风险概率计算表达式为：

$$R_t=\sigma(W_h\cdot h_t+W_g\cdot g_t+b) \tag{2}$$

式(2)中，$R_t$表示$t$时刻的风险发生概率；$h_t$表示LSTM输出的时序特征向量；$g_t$表示GCN输出的空间关联特征向量；$W_h$，$W_g$分别为对应的权重矩阵；$b$为偏置项；$\sigma$为Sigmoid激活函数。该模型能够提前15~30 min预判高风险事件，为安全管理人员争取宝贵的干预时间窗口。

## 3 高层建筑施工安全风险识别技术应用效果

### 3.1 典型高层建筑项目部署实践

为验证上述技术方案的实际效果，文章选取三个不同类型的高层建筑施工项目开展应用示范，分别为某超高层商业综合体（地上58层，建筑高度286 m）、某高层住宅小区（共12栋，层数26—32层）以及某高层医院建筑（地上23层，裙楼4层）。三个项目当前均处于从主体结构施工到装饰装修的过渡阶段，涵盖了高层建筑施工的典型风险场景。

### 3.2 风险识别准确率与响应效率评估

通过对系统运行数据的统计分析，评估各类风险识别技术的实际性能表现：在人员违规行为识别方面，以人工复核结果为基准，计算系统的识别准确率、召回率与误报率；

在设备状态监测方面，将系统预警记录与设备实际故障记录进行比对分析，具体评估结果见表1。

表1 风险识别性能评估结果

| 识别类型 | 准确率/% | 召回率/% | 误报率/% | 平均响应时间/s |
|---|---|---|---|---|
| 未佩戴安全帽 | 94.6 | 92.3 | 3.2 | 1.8 |
| 未系安全带 | 89.2 | 86.7 | 4.5 | 2.1 |
| 临边洞口防护缺陷 | 91.8 | 88.5 | 5.1 | 3.2 |
| 塔吊超载预警 | 96.3 | 94.8 | 1.9 | 0.8 |
| 危险区域入侵 | 93.1 | 90.6 | 3.8 | 1.5 |

从表1可以看出，各类风险的识别准确率均超过89%，其中塔吊超载预警依托高可靠性的传感器数据，准确率达到96.3%；安全带佩戴检测的准确率相对较低，主要原因是安全带颜色与施工人员服装相近，且佩戴方式多样、遮挡情况复杂。在预警响应时间方面，从风险事件发生到预警信息推送至管理人员终端的平均时延控制在3 s以内，相比传统人工巡检发现隐患的时间大幅缩短。

### 3.3 安全管理综合效益分析

文章从安全管理效果和经济效益两个维度，对智能化风险识别技术的应用价值开展综合评估，见表2。

表2 安全管理综合效益对比分析

| 评估指标 | 系统部署前 | 系统部署后 | 变化幅度 |
|---|---|---|---|
| 月均发现隐患数量 | 127项 | 386项 | +203.9% |
| 隐患整改闭环率 | 76.2% | 94.5% | +18.3% |
| 一般安全事故发生率 | 0.82‰ | 0.31‰ | −62.2% |
| 系统年均运维成本 | | 28万元 | |
| 年均避免事故损失 | | 156万元 | |

在安全管理效果层面，统计系统部署前后各项目的安全隐患发现数量、整改闭环率以及安全事故发生率等指标；在经济效益层面，核算系统投入成本与减少安全事故所避免的损失金额。

表2数据表明，部署智能化风险识别系统可显著提升安全隐患的发现能力，月均隐患发现数量增长超过2倍，有效弥补了人工巡检的覆盖盲区；安全事故发生率下降62.2%，直接体现了风险超前预警对事故预防的积极作用。

## 4 结语

文章综合应用物联网感知、计算机视觉、深度学习、多传感器融合以及时空建模等技术，构建了高层建筑施工安全风险识别体系，有效解决了传统安全管理中隐患发现滞后、覆盖范围有限、预警响应迟缓等问题。随着第五代移动通信与数字孪生技术的深度融合，施工安全风险识别将向智能化与协同化方向持续演进。

### 参考文献

[1] 朱萍.智能化监测系统在高层住宅楼施工中的应用[J].中国建筑装饰装修，2025(24)：68-70.

[2] 陈敬耀.高层住宅建筑工程施工安全风险管理策略[J].居舍，2025(36)：146-149.

[3] 吴诗盛.高层住宅施工过程中的危险源分析及安全管理探讨[J].居舍，2025(34)：153-156.

[4] 帅苧.高层建筑混凝土泵送施工工艺中的安全管理要点分析[J].居业，2025(11)：229-231.

[5] 姚钦云.高层建筑工程导轨式智能爬架的安全施工研究[J].建筑与预算，2025(10)：49-51.

(上接第169页)

### 参考文献

[1] 张志军.空调孔防渗漏缩径预埋及开合榫卯式节点处理施工技术研究[J].工程质量，2024，42(7)：42-45，54.

[2] 王泉清，李元宁.山区坡地复杂地质条件下地下室防渗漏施工控制要点[J].中国建筑装饰装修，2024(12)：186-188.

[3] 刘通，刘学，朱利那.住宅建筑中地下室防水施工及渗漏防治探讨[J].工程建设与设计，2024(4)：199-201.

[4] 王国臣.浅谈建筑工程地下室防水施工质量控制[J].科技风，2023(1)：164-166.

[5] 张飞飞，樊文龙，郭堃，等.建筑装饰工程中的室内卫生间防水施工及其质量控制分析[J].中国建筑装饰装修，2023(10)：147-149.

[6] 邓朝晖.建筑工程外墙防渗漏技术措施分析——以电建泛悦公馆项目为例[J].工程技术研究，2022，7(23)：86-88.

[7] 李业，尹毓良，马忠巍，等.建筑屋面渗漏水原因及防水施工技术的应用[J].中国建筑装饰装修，2024(13)：176-178.

[8] 唐杰，蒋磊，黄天宋，等.防渗漏技术在房屋建筑工程施工中的应用[C]//《施工技术(中英文)》杂志社，亚太建设科技信息研究院有限公司.2024年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(中册).2024：334-336.