

# 智慧工地背景下建筑工程安全预警系统的设计与实践研究

陈守祥

连云港市住房保障中心 江苏连云港 222000

**摘要:**当前建筑工程施工环境复杂,传统安全管理模式滞后,亟需智能化系统提升风险防控能力。本文首先阐述智慧工地安全预警系统的定义、组成与技术框架,接着分析传感器技术与数据采集、大数据分析 with 人工智能、云计算与物联网三大关键技术,最后从完善数据采集、加强危险源监测、构建信息传递平台、优化工人管理、推动系统与施工融合五方面,结合案例探讨系统设计与实践策略。研究为建筑工程安全管理智能化转型提供理论支撑,助力降低安全事故发生率,提升施工安全管理效率。

**关键词:**智慧工地;建筑工程;安全预警系统;传感器技术;大数据分析;物联网

## 引言

当前建筑工程施工风险高,传统安全管理难应对。智慧工地安全预警系统是破局关键,本文围绕该系统的概述、关键技术及设计实践策略展开研究,为提升施工安全管理水平提供有力支持。

### 一、智慧工地安全预警系统的概述

#### (一)智慧工地安全预警系统的定义

借助于现代信息技术,智慧工地安全预警系统能够实现场地内所有人员、机械、材料、方法、环境五大要素的安全预警,并且实现预警数据的关联以及智能分析,以数据驱动的方式,从源头上发现并研判安全隐患,把安全隐患转变为预警信息及时预警,将传统安全管理被动滞后的防护模式转变为在发生危险之前就能主动防控的防护模式,从而构建一种全面协调、精细主动的智慧型工地安全管理新模式。

#### (二)系统的组成与技术框架

系统构建起由感知层、传输层、数据层、应用层组成的整套技术架构,其中感知层运用多种传感器、视频监控装置、定位终端等设备收集人员活动情况、设备运转状态、环境相关参数等基础数据,传输层依靠5G、物联网、无线通信等技术达成数据的平稳传输及各部分的互通互联,数据层借助云计算和大数据技术完成数据的存储、筛选、整合、分析建模工作,应用层依据数据分析成果提供风险预警、隐患排查、应急联动等功能板块,并构建起从数据收集到决策实施的封闭管理体系。

## 二、安全预警系统的关键技术

### (一)传感器技术与数据采集

作为安全预警系统实现数据源头精准捕获核心支撑的传感器技术,因需结合建筑施工场景复杂性与多样性特点,而必须选择适配性强的专用传感器类型,在人员监测维度可采用集成惯性测量单元及心率感应功能的可穿戴传感器以实时捕捉施工人员肢体动作轨迹和生理状态、精准识别疲劳作业及违规攀爬等风险行为,在设备监测维度需将振动、温度、压力等微型传感器嵌入塔吊及施工电梯等大型设备关键部件中,以动态采集设备运行过程中的力学与热力学参数、及时发现部件磨损、过载运行等潜在故障,在环境监测维度要部署具备抗粉尘、抗潮湿特性的气体传感器、噪声传感器与温湿度传感器,以持续获取施工现场有害气体浓度以及噪声分贝值等各项环境指标,这些获取的数据可为风险预警提供全面坚实的基础数据支撑,而为保障数据采集过程的连续性及所采集数据的可靠性,不仅需建立针对传感器的定期校准与维护机制,还需通过实施标准化安装流程确保传感器信号的稳定性,以避免因环境因素干扰导致数据偏差、为后续数据处理环节奠定高质量的数据基础。

### (二)大数据分析 with 人工智能

大数据分析和人工智能是安全风险深层挖掘及准确预警的主要手段,二者的共同发力,能够形成安全防护整体“智能决策中枢”。大数据分析主要通过对采集到的多源异构数据进行清洗、去重等预处理;通过数据融合的方式将包含有人员、设备、环境等多维度的信息加入到数据集中形成结构化数据集;再通过关联规则、时序

分析等数据分析方式对数据间的隐含关联进行探测,例如,探测出设备的运行参数与故障的发生存在怎样的关系?人在某个时间点前后是否会出现位置重合?以此为依据展开数据的风险识别。针对人工智能方面,基于机器学习算法建立风险预测模型,运用历史事故信息及隐患检查记录完成模型训练与优化,提高模型对风险的识别度;结合计算机视觉技术实现现场施工视频中未佩戴安全防护用品行为及违规交叉作业等的自动识别;利用深度学习技术将非线性、高维等复杂数据作为输入值,采用神经网络模型预测基坑沉降情况及脚手架荷载情况,从前期就发现并预警可能存在的重大风险,为管理者制定预防控制措施提供参考。

### (三) 云计算与物联网技术

云计算与物联网技术作为底层技术架构支撑使安全预警系统高效运行,二者协同构建起具备“互联互通、弹性扩展”特性的技术体系,其中物联网技术通过搭建多协议通信网络实现传感器、终端设备、数据处理中心的无缝连接,采用5G技术保障高清视频和大容量设备数据的低延迟传输,利用LoRa、NB-IoT等低功耗广域网技术覆盖大范围施工现场,以确保边缘设备数据稳定上传,同时借助设备身份认证与数据加密技术在数据传输过程中,保障安全性、防止信息泄露与篡改;云计算技术则为系统提供强大的存储与计算能力,借助分布式存储架构实现海量施工安全数据的高效存储,通过虚拟化技术根据不同场景下数据处理的算力需求动态分配计算资源,且云计算平台支持多用户协同访问,使施工企业管理人员、监理单位、监管部门,通过云端平台实时获取施工现场安全数据与预警信息、实现跨主体的协同管理。

## 三、智慧工地安全预警系统的设计与实践策略

### (一) 完善安全数据采集与传感器技术的应用

完善安全数据采集与传感器技术应用,要聚焦于“全要素覆盖、高精度感知、强环境适配”三个方向。一方面,需要考虑施工场景的风险分布情况来调整传感器布局,在高风险的地方例如深基坑周边、高空作业平台和起重机设备作业范围内增加更多的传感器,并扩大数据采集内容,把施工过程中的一些工艺参数、物料存储状态等内容都纳入进来,形成为“人员-设备-环境-工艺-物料”的全维度数据采集方式;另一方面要提升传感器的环境适应性改造,在防水、防尘、防震以及抗电磁干扰等方面对传感器进行加工改造,让传感器可以适合温度高、湿度大或者有大量灰尘这样的施工场地环境正常运转;最后需要完善传感器整个生命周期的管控

机制,通过定期对传感器进行校准、维护及更换等工作,保证设备在运用过程中不会因为长时间使用产生设备老化,从而导致出现数据误差等问题。

某大型房屋建筑工程项目在推进安全数据收集与传感器技术运用过程中,针对深基坑施工、高层钢结构吊装两个高风险环节制定专门方案,在深基坑周边每隔5米设置沉降位移传感器与地下水位传感器以实时收集基坑边坡沉降量、水平位移数值及地下水位变化数据,在钢结构吊装使用的塔吊上除常规配备重量传感器、力矩限制器外另加装倾角传感器与风速传感器以实时监测塔吊起重臂倾斜角度和作业环境风速,为现场全体施工人员配备集成定位功能和心率监测功能的智能安全帽以收集人员实时位置和生理状态数据,并设立传感器定期校准机制,每周由专业技术人员采用标准设备对全部传感器进行校准,对数据偏差超过 $\pm 0.5\%$ 的传感器马上进行更换。

### (二) 加强危险源智能识别与实时监测技术

加强危险源智能识别与实时监测技术聚焦“模型优化、算法迭代、监测闭环”三方面发力,需先构建结合行业规范、历史事故案例、项目施工特点的动态更新危险源数据库,并明确各类危险源特征参数与风险阈值,以为智能识别提供可靠判断依据,再针对施工场景动态性优化识别算法,引入迁移学习、联邦学习等先进技术,以提升算法对复杂工况及遮挡场景适应能力,同时借助实时数据反馈持续迭代算法模型以提高识别精度,最后建立“监测-识别-预警-复核”闭环机制,系统识别到危险源异常时自动触发预警并推送相关信息至现场管理人员,现场管理人员需在规定时间内到达现场复核并形成闭环管理记录以确保风险隐患无遗漏。

某跨江大桥项目于桥梁挂篮施工阶段针对挂篮变形这一重大危险源强化智能识别及实时监测,先全面梳理挂篮施工过程中典型危险源,明确将挂篮主梁挠度、吊带张力、轨道偏差等作为关键监测参数,设定主梁挠度超过15mm、吊带张力波动超过 $\pm 10\%$ 、轨道偏差超过5mm为风险预警阈值并录入危险源数据库,在识别算法层面采用基于深度学习的图像识别算法,结合挂篮上部署的高清摄像头采集的图像信息及位移传感器监测的数据,通过多源数据融合提升变形识别精度,同时借助项目前期积累的1000余组挂篮变形数据训练算法以使算法对挂篮微小变形识别准确率提升至98%以上,系统运行过程中一旦监测到某一参数超过预警阈值,即刻通过平台弹窗及短信方式向项目安全总监和现场技术员推送预

警信息，管理人员需在30分钟内抵达挂篮施工现场，使用全站仪复核变形数据并反馈至系统以形成闭环记录。

### （三）构建高效的安全信息传递与响应平台

构建需遵循“分级传递、流程标准化、协同联动”原则的高效安全信息传递与响应平台，首先得建立一种将预警信息按风险程度划分为一般、较大、重大三级且不同等级信息对应不同传递渠道与响应时限以确保高风险信息优先传递的基于风险等级的信息传递机制，其次需制定明确不同预警等级下责任部门、处置步骤与反馈要求从而避免响应过程混乱的标准化响应流程，最后要实现平台与多方系统的协同联动并打通与施工企业总部管理系统、监理单位监督系统、政府监管平台的数据接口以确保预警信息能同步传递至相关方进而形成协同处置合力。

某工业园区建设工程打造的一套安全信息传达与应对平台，将预警信息分为三个等级：一级预警通过平台信息推送给现场施工人员并规定1小时之内反馈处理结果，二级预警通过平台信息加手机短信的方式推送给项目安全管理人员和施工班组负责人并要求30分钟内到达现场处理并反馈，三级预警通过平台信息、手机短信及电话通知相结合的方式传达给项目总经理、安全总监、监理工程师和政府监管部门联络人员并要求15分钟内启动应急处理方案且实时反馈处理进展情况，且该平台与项目的进度管理系统、物资管理系统实现数据交互关联，在出现三级预警时会自动暂停相关区域的施工进度安排并冻结该区域的物资调配流程；在一次基坑降水系统故障导致地下水位1小时内快速上升0.8米的事件中，系统监测到该情况触发三级预警，相关责任人员10分钟内抵达现场启动备用降水泵，同时平台自动暂停基坑周边的土方开挖作业，通过高效的信息传递和协同应对，仅用1小时就将地下水位控制住并避免了基坑坍塌的风险。

### （四）提高工人安全意识与行为管理的智能化手段

提高工人安全意识与行为管理的智能化手段需兼顾“教育引导、行为干预、激励约束”三重作用，在教育引导层面借助VR/AR技术打造上，让工人于虚拟环境中体验违规操作后果，以增强培训效果的沉浸式安全培训场景，在行为管理方面通过智能设备对工人未佩戴安全防护用品、进入危险区域等违规行为进行实时监测，并在发现时立即采用语音提醒、灯光警示等方式干预，在激励约束方面建立基于安全行为的积分体系，对安全行

为良好的工人给予可兑换生活用品或现金补贴的积分奖励，对多次违规的工人实施强制安全培训以形成正向激励与反向约束结合的管理机制。

某市政道路改扩建项目在工人安全意识与行为管理领域广泛应用智能化手段，所搭建的VR安全培训体验馆开发出包含高处坠落、触电、机械伤害等8个典型事故场景的VR培训课程，并要求工人入职前完成所有课程培训，通过考核方可上岗，在施工现场为工人配备的内置语音提醒功能的智能安全帽，当系统借助定位发现工人进入如道路施工中，地下管线作业坑周边3米范围的非授权危险区域时或通过图像识别发现工人存在未系安全带、未佩戴防尘口罩等情况时，不仅会立刻发出“您已进入危险区域，请立即撤离”“请规范佩戴安全防护用品”的语音提醒，同时将相关违规行为记录上传至管理平台，此外建立起安全行为积分制度，规定工人每完成1次VR培训得5分、当月无违规行为得20分，积分可在项目生活区便利店兑换米面油等生活用品，累计出现3次违规的工人需参加为期2天的强制安全再培训，若培训不合格则不得返岗。

### 结语

本篇围绕智慧工地安全预警系统展开探讨，研究该系统的基本情况、核心技术及设计实施策略，明晰其技术构成和具体落地办法，该系统借助多种技术融合实现安全风险的主动防范与控制，有效填补传统管理方式的不足，为建筑工程安全管理智能化发展提供切实可行的解决办法，今后可进一步优化算法精准程度和系统兼容能力，推动该系统在更多工程实际场景中大规模应用，不断增强建筑施工过程的安全保障水平。

### 参考文献：

- [1] 阳光. 建筑工程安全智慧工地的应用实践与研究[J]. 中国厨卫, 2024, 23(7): 354-356.
- [2] 徐开伏. 智慧工地系统在建筑工程安全管理中的应用研究[J]. 房地产世界, 2025(3).
- [3] 焦成. 智慧工地背景下建筑施工现场安全管理系统研究[D]. 东南大学[2025-12-02].
- [4] 王蜀元, 程萌, 吴春艳, 等. 建筑行业智慧工地安全监管平台的设计研究[J]. 中小企业管理与科技, 2022(011): 000.