

# 建筑施工安全风险动态预警管理路径的几点探讨

谢庆道

440902\*\*\*\*\*3338

**摘要:** 建筑施工安全风险动态预警管理是保障工程顺利实施的核心环节。本文系统探讨动态预警的理论内涵、技术支撑与管理路径。通过分析传统静态管理的局限性，提出动态预警框架。重点阐述物联网传感技术、大数据分析模型、风险演化规律识别等关键要素在预警系统中的应用机制。该技术路径能有效提升风险预见性与管控时效性，降低事故发生概率，为建筑业安全生产提供系统性解决方案。未来需进一步融合人工智能与数字孪生技术，推动预警管理向自主决策与自适应调控方向演进。

**关键词:** 建筑施工；安全风险；动态预警；物联网监测；大数据分析；闭环管理

**DOI:** 10.69979/3029-2727.25.08.102

## 引言

建筑施工具有作业环境复杂、参与主体多元、动态风险因素交织等特征，安全事故频发制约行业高质量发展。据统计，高处坠落、物体打击、坍塌三类事故占比长期超过总量的百分之七十，直接经济损失年均逾百亿元。传统安全管理依赖周期性检查与事后追责，难以应对工序转换频繁、危险源动态变化的现实挑战。动态预警管理通过实时捕捉风险信号、预判演化趋势、触发分级响应，将管控关口前移，从根本上改变被动应对局面。

动态预警的核心价值在于构建“监测-分析-决策-控制”的主动防御体系。其理论意义在于突破经验主义局限，建立基于数据驱动的风险认知范式；实践价值体现为三重效益：一是提升隐患识别时效，将风险处置窗口期提前三分之六十以上；二是降低管理成本，通过精准干预减少无效巡检投入；三是培育企业安全文化，强化全员风险防范意识。在建筑业数字化转型浪潮下，动态预警已成为智慧工地建设的核心模块，对落实安全生产主体责任具有战略意义。

## 1 动态预警管理的理论基础

### 1.1 风险动态演化规律

建筑施工风险呈现非线性累积与突变特性。其演化遵循“能量积聚-临界突破-连锁反应”三阶段规律：初期表现为局部应力异常或微小失误，如脚手架扣件松动、临时用电线路老化；中期通过多米诺效应扩散，如高空坠物引发下方人员避让踩空；末期突发灾难性后果。动态预警需把握三个关键时窗：潜伏期（风险萌芽阶段）、

发展期（多因素耦合阶段）、爆发期（事故临界点）。

风险传导具有空间关联性与时间延迟性。空间上，深基坑开挖影响邻近地下管线，塔吊旋转半径覆盖多个作业面；时间上，暴雨对土体稳定性的影响滞后于降水结束时间约六至十二小时。研究表明，百分之八十五的重大事故由三类风险链诱发：人的不安全行为与物的危险状态叠加（如无证操作+设备带病运行）、管理缺陷与环境突变共振（如夜间赶工+照明不足）、技术漏洞与人为疏忽耦合（如监测系统失效+未及时校准）。

### 1.2 动态预警核心要素

实时感知层构成预警系统神经末梢。需部署三类传感器：环境传感器（风速、雨量、有害气体浓度）、结构传感器（应力应变、倾斜位移、振动频率）、行为传感器（定位轨迹、姿态识别、生理指标）。新一代光纤光栅传感器可实现每米一个测点的分布式监测，温度分辨率达零点一度，应变精度高于百万分之一。智能分析层是预警系统的决策中枢。核心技术包括：时序数据分析捕捉设备异常振动模式，图像识别算法检测未佩戴安全帽等行为，自然语言处理解析监理日志中的风险描述。深度学习模型通过历史事故数据训练，可识别潜在风险组合模式，如“高温天气+连续作业超八小时+新进场工人”的三维风险标签。分级响应层确保预警指令精准触达。依据风险等级实施差异化策略：蓝色预警（低风险）推送自查任务至班组长移动终端；黄色预警（中风险）触发专项检查并暂停相关作业面；橙色预警（高风险）启动应急预案并疏散人员；红色预警（极高风险）联动政府监管部门介入。响应时效要求从预警发出到处

置完成不超过黄金十分钟<sup>[1]</sup>。

### 1.3 与传统管理的范式对比

动态预警管理在三个维度实现根本性变革：管理对象从静态隐患转向动态风险流。传统管理聚焦已识别隐患的整改闭环，动态预警则追踪风险因子的生成、转化与消亡全过程。例如对塔吊倾覆风险的管控，不仅检查金属结构完整性，更持续监测基础沉降速率、螺栓预紧力衰减、司机操作疲劳度等多维指标。技术手段从人工经验判断升级为数据驱动决策。传统安全检查依赖检查表逐项打钩，漏检率超百分之三十；动态预警通过传感器自动采集数据，结合知识图谱推理潜在风险。传统管理在事故发生后追责整改，动态预警则在风险萌芽期介入。通过建立风险早期特征库（如脚手架立杆微倾斜率超千分之三），可在坍塌发生前四十八小时发出预警，为加固措施留出充足时间<sup>[2]</sup>。

## 2 动态预警关键技术体系

### 2.1 多源异构数据融合技术

建筑施工场景产生海量异构数据，包括结构化数据（传感器读数、设备台账）、半结构化数据（监理日志、安全交底记录）、非结构化数据（监控视频、语音通话）。融合技术需解决三大难题：时空对齐通过统一坐标系统与时间戳实现数据关联。采用北斗定位模块为移动设备赋唯一空间标识，以网络授时协议同步所有终端时钟。对于历史数据，利用施工日志中的工序记录重建时空矩阵，如将某时段混凝土浇筑影像与同位置应力传感器数据匹配。特征提取采用深度迁移学习适配不同数据源。针对视频数据，使用卷积神经网络提取人员越界、物料堆放违规等特征；针对音频数据，通过梅尔频谱分析识别机械异响；针对文本报告，利用BERT模型抽取风险描述关键词。特征向量经主成分分析降维后输入预警模型。关联规则挖掘揭示隐性风险组合。应用改进的Apriori算法分析百万级数据记录，发现如“塔吊幅度超限+风速突增+信号工缺位”的组合使倾覆风险概率提升八倍。此类规则被编码为预警模型的触发条件，实现从单因素报警到多因素耦合预警的跨越。

### 2.2 动态风险评估模型构建

基于LSTM的时序预测模型擅长捕捉设备性能退化趋势。输入参数为设备运行时长、负载率、振动频谱等时序数据，输出未来二十四小时故障概率。模型通过门

控机制记忆长期依赖关系，在塔吊减速箱故障预测中准确率超百分之九十。图神经网络模型解析复杂作业面风险传导。将人员、设备、环境要素抽象为节点，作业逻辑关系构建边权，形成动态风险传播图。当某节点状态异常时，模型计算风险沿边扩散的路径与强度。模糊综合评价模型处理不确定性风险。建立包含危险性、暴露频率、管控难度等指标的评语集，邀请专家对定性指标（如管理制度健全性）进行三角模糊数打分。通过解模糊化处理获得风险量化值，解决传统评分法主观性强的问题<sup>[3]</sup>。

### 2.3 智能预警平台架构设计

平台采用云边端协同架构：终端层部署轻量化智能设备。安全帽集成定位与生命体征监测模块，塔吊安装吊重传感器与倾角仪，深基坑布设光纤测斜仪。设备具备边缘计算能力，可在本地完成百分之八十的数据预处理。网络层构建混合通信体系。作业面采用LoRa无线自组网传输传感器数据，办公区通过5G回传高清视频流，偏远区域启用北斗短报文备用通道。数据加密采用国密SM4算法，确保传输安全。平台层实现四大核心功能：风险一张图可视化展示全域风险热力分布；预警中心自动生成处置工单并推送责任人；知识库积累历史处置案例供智能推荐；移动端APP支持现场人员扫码上报隐患。平台日均处理数据量达十亿条，响应延迟控制在八百毫秒内。

## 3 动态预警管理实施路径

### 3.1 组织架构优化设计

纵向三级管控体系明确权责边界：企业总部设立安全预警中心，负责标准制定与资源调度；项目部组建预警指挥小组，统筹现场监测与应急响应；作业班组配置安全员担任前端哨兵，执行日常巡查与初步研判。三级机构通过专用通讯频道保持实时联动，确保预警指令直达执行末端。横向跨部门协同机制打破信息孤岛。建立安全、技术、物资、分包四方联席会议制度，每周会商预警系统发现的系统性风险。例如当系统提示某类脚手架搭设缺陷高频出现时，技术部门修订方案，物资部门调整采购标准，分包单位接受专项培训。专业人才培养体系支撑系统运行。设置预警分析师岗位，要求掌握数据分析与风险研判技能；开展VR模拟演练提升应急处置能力；与高校合作开设智能安全工程专业定向培养复

合型人才。

### 3.2 全流程闭环管理实施

风险识别阶段实施双轨制扫描：自动化扫描通过传感器网络实时捕捉物理风险信号；人工扫描由安全员使用移动终端拍摄隐患照片并标注位置。双轨数据汇入统一数据库，经去重融合后生成风险清单。风险评估阶段采用人机协同研判。系统根据预设规则自动初评风险等级，复杂情况转交预警分析师复核。分析师调用知识库中的相似案例，结合现场照片与传感器数据综合判定，必要时启动专家远程会诊。预警发布阶段执行分级推送策略。蓝色预警推送至班组长手机 APP，附带自查指引二维码；黄色预警同步短信通知项目经理与安全总监；橙红色预警触发声光报警器，并通过应急广播系统播报撤离路线。所有预警记录自动归档备查。处置跟踪阶段强化过程留痕。处置人员通过 APP 上传整改前后对比照片，系统自动校验完成度；逾期未处置的任务逐级升级督办；处置结果经现场复查后关闭预警事件，形成完整闭环。

### 3.3 持续改进机制构建

预警效能评估建立三维指标体系：及时性维度考核从风险发生到预警发出的时长；准确性维度统计误报率与漏报率；有效性维度分析预警后事故下降幅度。每月生成评估报告，识别系统薄弱环节。模型迭代优化采用在线学习机制。当新类型风险出现时，系统自动提取特征加入训练集；对误报案例进行反向归因分析，调整模型参数。管理制度适配动态调整规程文件。根据预警数据分析结果，修订安全检查频次（如高风险区域每日三检）、更新个人防护标准（如粉尘超标区域强制佩戴电动送风装置）、完善应急预案（如新增有限空间中毒处置流程）。

## 4 结论与展望

### 4.1 主要研究结论

本研究系统构建建筑施工安全风险动态预警管理路径，核心成果包括：提出基于风险能量演化规律的四阶段预警框架，突破传统单点报警局限；研发多源异构数据融合引擎，解决视频、传感、文本数据的协同分析问题；创建 LSTM 与时序图神经网络融合的预测模型，实现风险概率动态评估；设计“监测-分析-预警-处置”闭环管理系统，形成标准化实施流程。

### 4.2 未来发展方向

智能预警向自主决策演进是必然趋势。需突破三大技术瓶颈：开发具备因果推理能力的认知智能模型，理解“为什么发生”而非仅“发生了什么”；构建数字孪生工地实现风险推演仿真；利用强化学习训练自主决策 Agent，在复杂场景下生成最优处置方案。标准体系与法规建设需同步跟进。建议加快制定《建筑施工动态预警系统技术规范》，明确数据接口、性能指标、验收标准；推动预警数据与政府监管平台对接，建立全国联网的风险预警一张网；探索“保险+服务”新模式，保险公司依据企业预警效能浮动保费。跨学科融合创新开辟新路径。引入认知心理学研究人为失误机理，优化人机交互界面设计；应用复杂系统理论解析风险涌现规律，改进网络拓扑结构；探索区块链技术在预警数据共享中的可信存证应用。建筑施工安全风险动态预警管理正经历从工具应用到范式革命的转变。随着新一代信息技术与安全管理理论的深度融合，未来将形成自感知、自分析、自决策、自优化的智能免疫系统，最终实现零事故工地的终极目标。

### 参考文献

- [1] 李连玉. 建筑工程施工安全风险智能识别与动态预警系统构建[C]//2024 精益数字化创新大会. 2024: 1-4.
- [2] 陈元琴. 建筑施工质量安全风险管理信息平台架构设计研究——基于监理企业视角[D]. 广西: 广西大学, 2024.