

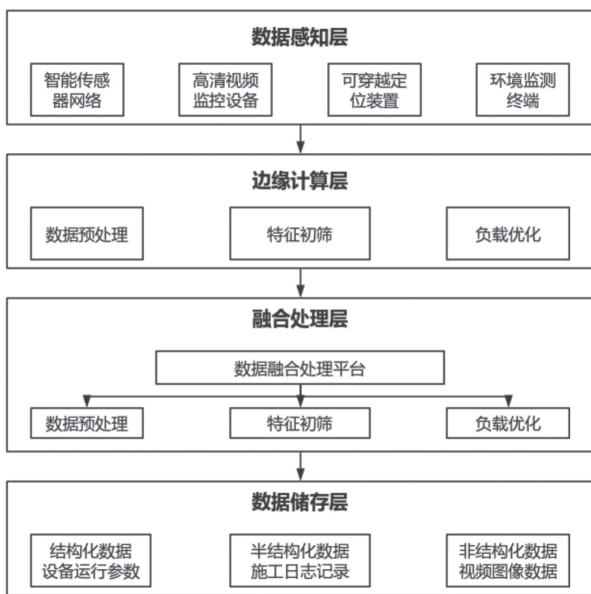
建筑施工现场安全风险大数据识别方法

文 | 武翔宇 孙风正 赵俊杰

建筑工地因为它高危的特性，安全状况存在高度不确定性。常规的人工巡查这种手段，没办法对动态存在的危险因素有效掌控。大数据技术的应用能打破时空约束，通过多维度信息深度挖掘与智能化分析，建立起覆盖全面的安全隐患辨识机制，进而推动管理模式从事后补救向事前防控升级。

施工现场安全数据采集与融合体系

施工现场安全数据采集与融合体系构建要汇聚多元异构数据资源，借助智能传感器网络、高清视频监控、可穿戴定位设备以及环境监测终端，对人员行为、机械设备和作业环境进行全面监测。数据采集层依托边缘计算架构，在现场完成数据初步处理与特征筛选，以减轻网络传输压力。融合处理平台利用时间戳同步技术解决多源数据时序差异，基于空间坐标转换构建统一的三维场景模型。针对结构化设备参数、半结构化施工日志和非结构化视频图像等不同类型数据，采用分级存储与索引机制保障数据的完整性及可追溯性。数据质量管控模块通过异常值检测、缺失值填充、噪声过滤等方法提升数据可靠性，为后续风险识别提供高质量数据支撑。整体架构如图 1 所示。



来源：山东能源集团建工集团有限公司

图 1 施工现场安全数据采集与融合体系架构图

基于深度学习的风险特征智能识别

多模态数据的特征提取与表征学习

深度神经网络架构被用来对多模态数据进行特征提取

与表征学习，以此处理视觉、声学以及传感器等不同来源的数据。针对视频监控数据，卷积神经网络依靠多尺度特征金字塔技术提取目标物体空间位置、运动轨迹及姿态信息，进而识别人员未戴安全帽、违规跨越警戒线等危险行为。对于音频信号，会先通过短时傅里叶变换把它转换为频谱图，再利用循环神经网络捕捉机械设备异常振动的声纹特征。传感器采集的加速度、倾角、应力等物理量，会通过一维卷积层来提取其时序波形特征，跨模态注意力机制能够对来自不同模态的特征进行加权融合，构建出统一的、高维的语义表征空间。

通过应用对比学习策略，能让相似风险场景的特征向量在嵌入空间内更加聚集，而不同类型的风险场景则保持相互分离，这提升了模型对风险类别的判别能力，为后续的精准识别奠定了坚实的特征基础。本系统的特征提取网络采用端到端训练模式，通过反向传播算法自主学习得最优特征表征，有效避免人工设计特征时的主观偏差与固有局限。模型训练过程运用迁移学习方法，先在规模庞大的建筑场景数据集上完成预训练，接着针对具体应用场景进行二次优化，从而大幅缩短模型的实际部署时间。

时空序列风险演化模型构建

时空序列风险演化模型把图神经网络和长短期记忆网络技术融合起来，目的在于揭示施工现场风险因素动态传递机制。此方法将施工场地划分成一个个网格单元，每个单元作为图节点来存储当前风险状态向量，节点之间的连接依据空间邻近性与作业逻辑性来构建。图卷积层通过整合邻近节点的信息模拟风险的空间扩散过程，比如捕捉高空作业区域坠落风险向下部作业面传递轨迹。在时间维度方面，长短期记忆单元对历史风险数据序列进行编码，识别风险等级随施工进度和环境条件变化的演进模式。

注意力门控机制可自动筛选出对未来风险状态最具影响的历史时间点，以此提高预测精度。该模型最后输出未来时段内各区域的风险概率分布图，为动态调度决策提供量化依据。模型训练所使用的素材来自过往施工档案、安全事故

资料库及现场监测数据，通过借助数据拓展法来丰富样本数量，从而增强模型适应性。算法优化过程中引入自适应学习速率机制，以此灵活协调模型的迭代效率与准确度，保障其在多样化施工环境下的可靠性。

异常行为模式的自适应识别机制

自适应异常行为识别机制把生成对抗网络和迁移学习技术相融合，能够有效应对施工场景中异常样本不足以及环境多变等挑战。在此机制当中，生成器网络借助对抗训练来学习正常作业的概率分布，模拟生成符合安全规范要求的虚拟行为数据，判别器网络的职责是判别输入行为序列的真实属性。当出现无法明确进行分类的序列时，系统将其判定为潜在异常模式。针对不同施工类型和工种的具体需求，预训练模型可以利用少量标注样本开展领域自适应调整，迁移已有的风险识别相关知识。

同时，系统通过在线学习机制持续接收人工标注的新增异常案例，采用增量更新方式来优化模型的相关参数，从而快速适应新型风险的具体形态。此外置信度评估模块会为每次识别结果生成可信度分值，当分值较低时触发人工复核流程，最终构建人机协同的闭环优化体系。检测阈值会根据施工进度和作业性质灵活地发生变化，基坑开挖期间沉降监控的精确度要求达到毫米级别，进入主体结构施工阶段后，精度适当放宽至厘米级。系统会自动存储误判与漏检的实例数据，借助深度学习模型迭代更新阈值方面的配置，最终把误报比例稳定控制在 5% 以下。

基于风险识别的智能预警决策系统

风险等级量化评估指标体系

本评估体系采用层次分析法和模糊综合评价结合架构，把复杂风险因素转化成可量化的指标。评估框架涵盖人员暴露度、设备危险性、环境恶劣程度三个核心维度，每个维度下面设置了具体的参数，人员暴露度包含作业人数密度、高危区域停留时长、防护装备完备率等内容；设备危险性含有机械负载率、磨损程度、维护周期偏离度等量化参数。通过模糊隶属度函数，将实测数据映射到标准化区间，有效处理指标边界存在的模糊性问题。权重系数由专家评分与历史事故统计数据做贝叶斯融合计算，动态体现不同施工阶段的风险侧重方面。综合评分结合加权求和与非线性的修正策略，多个中等风险因素叠加时触发风险等级跃迁机制，最终划分为五级预警阈值，以热力图和等级标签形式直观呈现评估结果。

多因素耦合的风险传播预测

用贝叶斯网络技术构建多因素耦合的风险传播预测模型，以此揭示风险要素间的因果依赖关系和概率传递机制。在此模型中，网络节点对应人员违章、设备异常、极端气候

等独立风险源，有向边表示风险的具体传导方向，边权重反映风险传播的可能性大小。条件概率表依据历史事故序列数据构建而成，用来描述前置风险状态对后续风险状态的制约程度。当监测到某节点的风险水平超出预警值时，推理引擎通过前向传播算法推算下游关联节点的触发概率，并且定位出可能引发系统性风险扩散的关键传播链。蒙特卡洛仿真模块对风险扩散过程进行多次随机模拟，生成上千种不同的风险传播场景，进而统计各时段内不同区域的风险发生概率分布。通过耦合效应增强因子，修正独立风险简单叠加的线性假定，比如塔吊作业与强风天气同时发生时，风险扩散速度会呈指数级提升，预测模型最终输出未来 24 小时内的高危区域以及风险峰值时段。

分级分类的智能预警响应机制

分级分类的智能预警响应机制按照风险等级和类别，设置有差别化的干预方案来确保措施精准到位。系统将预警细致划分为蓝色提示、黄色警示、橙色警报、红色预警这四个等级，蓝色预警触发时，现场电子屏会轮番显示并对移动设备进行信息推送；黄色预警自动向班组长下达整改指令且规定 30 分钟内完成反馈；橙色预警启动区域内作业暂停程序并指派安全员前往现场核实情况；红色预警则强制切断相关设备电源并执行应急撤离计划。针对高处坠落、物体打击、机械伤害等不同的风险种类，响应方案库配备专门的处理流程，比如高处作业风险会激活安全带检测装置以及监护人员定位确认，起重机械风险则会触发载荷监控和防碰撞系统联动防护。决策支持模块采用强化学习算法来优化响应方案，通过分析历史预警处置成效，持续调整各级预警的触发标准和应对措施组合，以此增强预警的精准度和及时性。

结束语

大数据技术给建筑施工领域安全风险管控带来创新解决办法。依托数据集成平台、智能分析模型和实时监测机制，可对工地隐患做精确判断与前瞻性防控。和传统手段相比，该技术在精准度与处理效率上优势明显，随着边缘计算和数字孪生技术逐渐普及，风险识别系统会朝更加智能化的方向不断演进，同时要强化数据安全保障并健全数据管理规范体系。通过持续改进算法性能和增强系统适用范围，能有力支撑建筑施工安全管理模式数字化升级，推动行业安全管理水平实现质的飞跃。

作者简介：武翔宇 孙风正 山东能源集团建工集团有限公司
赵俊杰 山西和顺天池能源有限责任公司

责任编辑：孙姗姗 投稿邮箱：zhouhl@staff.ccidnet.com