

# 城市轨道交通施工安全风险评估与预警系统开发

高守雨<sup>1</sup> 周 鹏<sup>2</sup> 王加社<sup>3</sup>

1. 福建艺景生态建设集团有限公司 福建 厦门 361000  
2. 山东怡然园艺科技股份有限公司 山东 淄博 255000  
3. 山东怡然园艺科技股份有限公司 山东 淄博 255000

**摘 要：**本文聚焦城市轨道交通施工安全，分析其风险因素，涵盖自然环境、工程技术及管理维度。阐述风险评估方法，包括风险识别、指标体系构建及评估方法选择。介绍安全预警系统构建，含架构设计、模型建立与功能实现。最后探讨系统应用流程、效果评价及优化策略，以提升施工安全管理信息化与智能化水平。

**关键词：**城市轨道；交通施工；安全风险评估；预警系统开发

引言：城市轨道交通建设是城市现代化进程的关键驱动力，但其施工环境复杂、风险因素交织，对安全管理提出严苛挑战。本文聚焦施工安全风险的全周期管控，从风险因素识别、评估方法体系构建、智能预警系统设计到系统应用优化展开研究，旨在通过多维度技术融合与动态管理机制创新，为城市轨道交通工程提供系统性安全保障解决方案。

## 1 城市轨道交通施工安全风险因素分析

城市轨道交通建设作为现代城市发展的重要支撑，其施工安全风险因素错综复杂，涉及自然环境、工程技术及管理等多个维度，深入剖析这些因素对保障施工安全意义重大。（1）自然环境因素是城市轨道交通施工安全面临的首要挑战。地质条件的复杂性与多样性是显著的安全隐患。不同区域的地质构造和岩土特性千差万别，软土地基承载力弱，在施工过程中易出现地基沉降，影响建筑物及轨道结构的稳定性；岩溶地区地下溶洞发育，施工时可能遭遇突水、突泥等地质灾害；富水地层中，地下水丰富，隧道开挖易引发涌水事故，不仅威胁施工人员生命安全，还可能导致设备损坏和工期延误。此外，极端气候条件也是不可忽视的因素。强降雨会使基坑积水，降低土体强度，增加边坡失稳风险；大风天气对高空作业的稳定性构成严重威胁，可能导致施工人员坠落或施工设备损坏；高温天气易使施工人员疲劳、中暑，影响其操作精度和反应速度，进而增加安全事故发生的可能性。（2）工程技术因素对施工安全起着决定性作用。施工工艺和技术方案的合理性是保障施工安全的基础。以隧道开挖为例，盾构法和矿山法等不同施工方法各有特点，若技术参数设置不合理、施工工艺执行不规范，极易引发隧道坍塌、地面塌陷等重大事故。同时，施工机械的选型、使用和维护至关重要。机

械故障可能导致设备失控，引发机械伤害事故；操作人员技能不足或违规操作，也会增加事故风险。（3）管理因素是城市轨道交通施工安全的关键保障。施工安全管理制度不完善、责任落实不到位，会形成安全管理漏洞。安全教育培训不足，使得施工人员安全意识淡薄、操作技能不达标，难以有效应对突发情况；现场安全监督检查不严格，无法及时发现和消除安全隐患，小问题可能演变成大事故<sup>[1]</sup>。

## 2 城市轨道交通施工安全风险评估方法

### 2.1 风险识别方法

风险识别作为城市轨道交通施工安全风险评估的基石，其精准性与全面性直接决定后续风险管控成效。在复杂的施工环境中，多种专业方法协同运用可有效识别潜在风险。专家调查法依托行业资深专家的专业知识与实践经验，通过德尔菲法等形式，经多轮匿名反馈与修正，系统梳理施工各环节风险。例如在深基坑开挖阶段，专家可基于地质勘察数据与过往项目经验，预判涌水、塌方等风险。头脑风暴法打破常规思维限制，组织施工团队、安全专家等开展开放式研讨，激发创新思维，捕捉如临时用电线路布置不合理等易被忽视的风险点。故障树分析法（FTA）以事故为导向，逆向追溯风险源，通过构建逻辑树状结构，清晰呈现风险因素间的因果关系，常用于分析盾构机推进系统故障等复杂风险场景。工作分解结构-风险分解结构（WBS-RBS）法则将施工项目按作业流程与风险类型分层拆解，从车站主体施工到轨道铺设，逐一排查各环节风险，实现风险识别的系统化与精细化。

### 2.2 风险评估指标体系构建

科学的风险评估指标体系是量化施工安全风险的核心工具，需紧密贴合城市轨道交通施工特性。从人员、

机械、材料、环境、管理五大维度构建指标体系,形成层次分明、逻辑严密的评估架构。人员维度聚焦作业人员专业素养与安全意识,人员资质关乎其是否具备相应岗位技能,安全培训情况影响其对风险的认知与应对能力,而安全意识则体现其日常作业中的风险防范自觉性。机械维度强调设备运行状态与管理规范,机械完好率反映设备整体性能,维护保养记录可追溯设备健康状况,操作规程执行情况直接影响设备使用安全。材料维度注重质量管控与储存规范,材料质量检验确保其符合工程标准,储存管理则防止材料因环境因素失效。环境维度涵盖地质、气象及周边环境,复杂地质条件增加施工难度与风险,极端气象可能引发灾害,周边建筑物与管线的保护亦不容忽视。管理维度着重制度与执行,完善的安全生产管理制度是风险防控的框架,责任落实情况保障制度有效执行,安全监督检查力度则强化过程管控,各维度指标协同作用,为风险评估提供全面依据<sup>[2]</sup>。

### 2.3 风险评估方法选择

风险评估方法的合理选用是保障评估结果科学性的关键。层次分析法(AHP)通过构建递阶层次结构,将风险评估问题分解为目标层、准则层与指标层,运用两两比较法确定各指标权重,最终得出风险综合评价,适用于指标权重需精确定量分析的场景,如评估不同施工工艺的安全风险等级。模糊综合评价法基于模糊数学理论,通过建立隶属函数处理风险评估中的模糊性与不确定性,将定性描述转化为定量评价,在评估受主观因素影响较大的风险,如人员安全意识风险时具有显著优势。灰色关联分析法通过计算各风险因素与参考序列的关联度,判断因素间的关联程度,从而确定风险因素重要性,常用于分析多因素共同作用下的风险问题,如探究地质条件、施工工艺与设备状况对隧道施工风险的综合影响。在实际应用中,根据施工项目特点与数据获取情况,灵活组合多种方法,如将层次分析法确定权重与模糊综合评价法结合,可有效提升风险评估的准确性与可靠性,为施工安全风险预警与决策提供有力支撑。

## 3 城市轨道交通施工安全预警系统构建

### 3.1 预警系统架构设计

城市轨道交通施工安全预警系统的架构设计是保障其高效运行的基础,需基于功能需求构建层次分明、协同有序的分层体系。在数据采集层,采用多类型传感器实现全方位数据捕捉,如通过位移传感器监测基坑边坡变形、压力传感器采集隧道围岩应力、气体传感器检测密闭空间有害气体浓度,同时借助高清摄像头与可穿戴设备记录人员作业行为数据。数据传输层依托5G、光纤

等通信技术,构建稳定可靠的数据传输通道,运用边缘计算技术对原始数据进行预处理,降低数据传输量,提升传输效率,并采用加密算法保障数据在传输过程中的安全性与完整性。数据处理层引入大数据处理框架,如Hadoop和Spark,对海量异构数据进行清洗、降噪与标准化处理,结合时序数据库实现数据的高效存储,利用数据挖掘算法提取与风险相关的特征信息。风险评估层基于构建的风险评估模型,实时分析处理后的数据,动态计算风险等级。预警发布层则整合多渠道发布方式,根据风险等级精准推送预警信息,如针对低风险通过企业内部APP推送提示,重大风险则触发现场声光报警与短信通知,确保信息及时触达相关责任人。

### 3.2 预警模型建立

科学的预警模型是城市轨道交通施工安全预警系统的核心,需兼顾理论严谨性与实践适应性。阈值预警模型作为基础框架,其阈值设定需综合考虑历史事故数据、行业规范以及专家经验。例如,在隧道施工中,依据地质勘察报告与同类工程数据,为隧道沉降速率设定三级阈值,当监测值超过不同阈值时,分别触发对应级别的预警。为提升预警的智能化水平,引入机器学习算法构建动态预警模型。以神经网络算法为例,通过对大量施工安全数据进行有监督学习,训练模型识别数据间的复杂非线性关系,实现对风险趋势的预测;支持向量机算法则可在高维数据空间中寻找最优分类超平面,精准区分不同风险等级数据。同时,结合强化学习算法,使模型能够根据实际预警效果动态调整参数,形成闭环优化机制。此外,采用集成学习策略,融合多个单一模型的预测结果,有效降低模型误差,增强预警模型的鲁棒性与泛化能力,确保在复杂多变的施工环境中提供准确、及时的风险预警。

### 3.3 预警系统功能实现

城市轨道交通施工安全预警系统的功能实现依赖于多种先进信息技术的深度融合与协同应用。物联网技术构建起施工现场的感知网络,通过设备内置传感器与智能标签,实现施工机械、材料、人员与环境信息的实时感知与自动采集,使系统能够全面掌握施工动态。大数据技术则为系统提供数据处理支撑,通过分布式存储与并行计算技术,快速处理海量的结构化与非结构化数据,运用关联分析、聚类分析等算法挖掘数据背后的风险规律。云计算技术为系统搭建弹性计算平台,根据数据处理与模型计算需求动态分配计算资源,保障系统在高并发数据处理场景下的稳定运行。在可视化展示方面,运用地理信息系统(GIS)技术,将施工区域地图与

风险数据相结合,直观呈现风险空间分布;采用三维建模技术,对施工现场进行数字化建模,动态展示施工进度与风险演变过程。同时,开发移动端应用程序,支持管理人员随时随地查看风险评估报告、接收预警信息,并可通过移动端反馈风险处置情况,实现施工安全管理的全流程闭环,有效提升施工安全管理的信息化与智能化水平。

#### 4 城市轨道交通施工安全风险评估与预警系统的应用与优化

##### 4.1 系统应用流程

城市轨道交通施工安全风险评估与预警系统的高效运行依赖于严谨的应用流程。在系统初始化阶段,需依据施工项目特性完成参数配置与数据初始化工作。一方面,针对传感器采样频率、风险评估模型参数、预警阈值等核心参数进行精细化设定;另一方面,录入地质勘察报告、施工图纸、设备台账及人员资质等基础数据,并合理分配用户权限,保障系统运行基础数据的完备性与准确性。数据采集与传输环节,通过物联网传感器网络实时采集施工机械参数、人员行为数据及环境监测指标,借助5G与光纤通信技术,结合边缘计算对原始数据进行压缩预处理,同时利用区块链技术实现数据存证,确保数据传输高效且不可篡改。风险评估阶段,系统基于构建的评估模型,运用大数据分析机器学习算法,深度挖掘实时数据特征,结合历史风险数据与行业标准,动态计算各施工环节风险等级。预警响应和处置阶段,一旦触发预警,系统立即通过多渠道推送信息,并启动应急预案,施工管理人员依据预警等级组织现场风险管控<sup>[3]</sup>。

##### 4.2 系统应用效果评价

构建科学的系统应用效果评价体系是衡量其效能的关键。从风险预警准确性、预警响应及时性、风险控制有效性三个维度,建立量化评价指标体系。在风险预警准确性评估上,通过计算预警正确次数与总预警次数的比例得出准确率,引入混淆矩阵分析误报与漏报情况,结合事故统计数据评估系统对不同风险类型的识别能力。预警响应及时性评价以预警信息发布为起点,记录

人员接收与应急响应时间间隔,分析延迟因素并建立时效评分机制。风险控制有效性则通过对比系统应用前后的事故发生率、经济损失等指标,运用统计学方法评估风险控制措施实际效果。此外,采用层次分析法确定指标权重,结合模糊综合评价模型,实现定性与定量结合的全面客观评价。定期开展效果评价,总结应用经验,为系统优化提供数据依据。

##### 4.3 系统优化策略

基于应用效果评价结果,制定针对性优化策略是提升系统性能的核心路径。在风险评估指标体系优化方面,密切关注施工技术革新与工艺变化,结合新材料、新设备应用特点,动态调整和补充评估指标。如针对新型盾构机增加智能诊断指标,考虑绿色施工要求纳入环境影响评估项。预警模型优化则利用新采集数据,通过迁移学习、强化学习等技术重新训练模型,优化参数以提升复杂场景预测精度。系统安全防护层面,构建涵盖网络防护、数据加密、身份认证与访问控制的多层次防护体系,抵御外部攻击与数据泄露风险。同时,基于用户反馈分析操作行为,优化界面布局与操作流程,增强功能模块协同性,提升系统易用性与稳定性。此外,建立实时性能监控机制,及时发现并解决潜在问题,保障系统持续高效服务于施工安全管理。

##### 结束语

综上所述,城市轨道交通施工安全风险评估与预警系统是保障施工安全的关键支撑。通过全面剖析风险因素、科学构建评估方法与预警体系,并不断优化系统性能,可实现对施工安全风险的精准识别、动态评估与及时预警,有效提升施工安全管理水平,为城市轨道交通建设安全有序推进提供坚实保障。

##### 参考文献

- [1]王谦,杨昌鸣,陆继广.地铁施工影响下邻近建筑遗产安全风险评估[J].科学技术与工程,2020(23):9615-9621.
- [2]崔小满.轨道交通车站工程施工对邻近建筑安全管理控制的研究[J].装饰装修天地,2021(11):170.
- [3]王谦,杨昌鸣,陆继广.地铁施工影响下邻近建筑遗产安全风险评估[J].科学技术与工程,2020(23):9615-9621.