

# 城市道路塌陷风险分级与差异化防治策略分析

林俊锋 李超 于靖武

长春市市政工程设计研究院有限责任公司 吉林 长春 130022

**摘要:** 在城市快速发展进程中,道路塌陷问题愈发凸显,给城市的有序运行与居民生活带来诸多不便。本研究借助AIGC技术,深度挖掘城市道路塌陷背后的多元风险因素,全方位识别地质、工程、环境等层面的关键因子,并运用科学手段予以量化呈现。创新性构建契合城市特性的风险分级体系,依此制定针对性极强的差异化防治策略,同时深入探究风险管理与信息系统构建的核心要点,剖析当下技术瓶颈,对未来研究走向展开前瞻性展望,力求为城市道路的稳固与持久安全提供切实可行的方案指引。

**关键词:** 城市道路; 塌陷风险; AIGC技术; 风险分级; 差异化防治; 信息系统

引言: 当今城市发展迅猛,道路作为交通枢纽至关重要,可现实中道路塌陷频发,交通瞬间瘫痪,民众生命财产受威胁,损失巨大。究其原因,地质松软、地下水异常,地下管线乱铺、深基坑扰动工程施工频繁,还有极端天气、长期重载交通等环境变化,共同引发塌陷风险。在此情形下,利用AIGC技术探索风险分级、制定防治方案、搭建智能管理系统,对提升城市韧性、保障可持续发展意义重大,是应对道路塌陷问题的关键举措。

## 1 城市道路塌陷风险因子的识别与量化

### 1.1 地质条件风险因子

地质条件堪称道路稳定的基石。相较于质地致密、强度较高的岩石地层,松散的砂土与粉质土在抗压、承载能力方面存在显著劣势,一旦受到诸如车辆重压、建筑物附加荷载等外力作用,极易发生形变。特别是在地质断层交错、褶皱发育密集的区域,地层破碎程度高,地下水径流活跃,极易引发土体颗粒随水流迁移流失的现象,进而导致路基支撑力大幅下降。借助高精度的实地勘察仪器,如地质雷达、声波探测仪等,结合精准的土工实验室测试手段,全面获取土体的抗剪强度、压缩模量、渗透系数等关键物理力学参数,将原本抽象、模糊的地质风险具象化、量化,为后续科学严谨的风险评估筑牢数据根基,使得风险预判更为精准、可靠。

### 1.2 工程活动风险因子

城市建设中的各类工程施工活动,对道路安全的潜在威胁不容小觑。地下管线铺设过程中,若施工工艺不规范、回填材料选择不当或夯实作业不到位,极易在道路下方遗留大小不一的空洞隐患;地铁盾构施工时,盾构机的推进对周边地层产生强烈扰动,致使土体应力状态失衡,使得道路结构受力不均,引发变形甚至开裂。此外,深基坑降水环节若管控失控,地下水位短时间内

急剧下降,会造成土体快速固结沉降,波及临近道路。通过对工程施工全过程进行详细记录与全方位统计,运用前沿的数值模拟软件,如有限元分析软件,深入剖析施工行为对道路变形的影响范围、程度及发展趋势,将工程风险以量化形式直观呈现,精准把控施工活动衍生的潜在塌陷风险。

### 1.3 环境因素风险因子

在全球气候变化的大趋势下,强降雨、暴雨洪涝等极端天气频繁肆虐,雨水长时间冲刷、浸泡路基边坡,致使土体抗剪强度锐减,稳定性变差;干旱季节交替时,地下水位大幅波动,土体反复经历干湿循环过程,加速道路结构材料的老化、破损。与此同时,随着城市交通流量的与日俱增,长期承受交通荷载,尤其是重载货车的高频次、高强度碾压,远超道路初始设计承载标准,使得路面过早出现疲劳开裂迹象,并逐步向路基深处蔓延。依托长期积累的气象监测数据、交通流量大数据,运用数据挖掘与统计分析方法,深度剖析环境因素作用的强度、频次及其与道路塌陷的内在关联,搭建科学合理的量化模型,提前洞察环境因素诱发的道路塌陷风险。

## 2 城市道路塌陷风险分级体系的构建

### 2.1 风险分级标准与方法论

综合考量风险发生的可能性、一旦发生所造成后果的严重程度以及风险的可监测性、可控性等多维度关键指标,审慎制定科学合理的分级标准。创新性地推行定性定量协同互补的策略,在定性层面,广泛召集地质、工程、环境等领域资深专家,充分汲取他们丰富的实践经验与专业判断,精准洞察各类风险的潜在走向;在定量维度,巧妙借助概率统计、模糊数学等前沿理论工具,对前期量化的风险因子数值进行综合运算。例

如,精心构建风险矩阵模型,以风险发生概率为横轴,以后果严重程度为纵轴,将风险空间精细划分为多个层级,为精准分级提供坚实支撑,切实保障风险分级体系的科学性、严谨性与可靠性。

### 2.2 风险分级模型的设计与实现

基于层次分析法的原理,通过严谨的专家问卷调查、数据对比分析,精准厘定各风险因子相对于道路塌陷的权重系数,直观清晰地展现出不同因子对道路稳定性影响的差异程度。联动先进的地理信息系统(GIS)技术,将来自实地勘察、监测设备采集的各类多源异构数据进行空间化、可视化处理,转化为统一格式后输入神经网络、支持向量机等智能机器学习模型。这些模型经海量历史样本数据的深度学习与反复训练,具备自动识别、判断路段塌陷风险等级的强大功能。同时,充分发挥模型的动态拓展优势,实时吸纳新采集的数据信息,持续优化分级结果的准确性与时效性,确保风险分级能够紧密贴合城市发展过程中的动态变化。

### 2.3 风险分级结果的动态更新机制

城市始终处于持续演进的动态发展进程之中,地质状况会因地下水过度开采、回灌等人为活动或地质构造自身演变而波动;工程建设布局随城市规划落地不断更迭;环境条件受气候变化、生态修复等因素左右无常。鉴于此,构建常态化、多元化的数据采集渠道至关重要,诸如定期组织专业地质队伍开展复查工作,利用物联网技术实时监控各类在建工程动态,依托卫星遥感、地面监测站协同的方式连续监测环境要素变化,及时将最新数据回传至风险分级模型。依据季度或年度的周期规律,对分级结果进行更新迭代,确保风险评估结果时刻保持时效性,为差异化防治策略的动态适配调整提供有力依据。

## 3 差异化防治策略的制定

### 3.1 针对不同风险级别的防治策略概述

对于低风险路段,将工作重点聚焦于日常预防维护环节。强化巡检频次与力度,安排专业人员定期巡查路面微小病害,如裂缝、坑洼等,做到及时发现、及时修补;同时,对排水系统进行全面排查与疏通,确保雨水能够顺畅排泄,严防积水渗入路基内部,从细微处筑牢道路安全防线。中等风险路段在常规维护基础上,需针对路基薄弱部位精准施策,采用注浆加固技术,将高强度注浆材料注入土体孔隙,提升土体强度;并铺设土工格栅,利用其高强度、高韧性特性,有效稳定土体结构,增强路基整体承载能力。高风险路段则必须开展综合性、系统性整治行动,大规模翻修受损路基,更换劣

质填料,重建排水管网,优化排水布局;必要时,协同城市规划、建设部门调整周边在建或拟建工程规划,从根源上消除隐患,确保道路长治久安。

### 3.2 防治策略的技术手段选择

面对地质条件引发的隐患,可选用深层搅拌桩技术,利用深层搅拌机械将水泥等固化剂与土体强制搅拌混合,促使土体硬结,大幅提升地基承载能力;高压旋喷桩技术同样奏效,通过高压喷射水泥浆液,切割、搅拌土体,形成高强度桩体加固地基。针对工程遗留空洞问题,运用先进的空洞探测雷达,精确定位空洞位置、大小与形状,随后采用非开挖注浆回填技术,借助高压注浆设备将填充材料注入空洞,实现高效修复。应对环境挑战,在路基边坡种植根系发达、耐旱耐涝的植被,利用植被根系固土护坡,抵御雨水冲刷;在重载交通路段铺设高强、耐磨、抗疲劳的新型路面材料,有效分散车辆荷载,抵御路面疲劳破坏。依据不同风险诱因,精准筛选适配的技术手段,做到有的放矢,切实提升防治效能。

### 3.3 防治策略的实施方案与时间表

依据城市道路养护总体规划布局与年度资金预算安排,精心拟定详细周全的实施方案。对于低风险路段日常维护工作,按周制定路面巡查计划,按月安排排水系统清理任务,细化到具体责任人与工作流程;中等风险路段加固工程,需趁交通流量低谷时段,如夜间、节假日等,分阶段按数月周期有序推进施工,提前规划好各阶段施工内容、技术要求与质量验收标准;高风险路段综合整治涉及多部门协同作战,涵盖市政、交通、规划等,需历经数年长期攻坚,明确各阶段关键节点任务、时间期限与牵头部门,保障防治策略落地有声、扎实推进。

## 4 城市道路塌陷风险管理与信息系统建设

### 4.1 风险信息数据库的设计与管理

全方位整合地质勘察报告、工程施工档案、环境监测数据、道路结构检测记录等多元异构数据,匠心打造标准化、规范化的风险信息数据库。精细设计数据架构,涵盖数据采集的时间、精确地点、数据类型、具体数值、数据来源等关键要素,确保数据完整、准确、可追溯。借助专业的MySQL等高效关系型数据库管理系统,实现数据的高效存储、快捷查询、实时更新功能,为后续风险评估、决策制定提供源源不断的数据支持,同时配备完备的数据备份与恢复机制,采用异地备份、冗余存储等策略,严守数据安全底线,防止数据丢失损坏。

### 4.2 风险监测预警系统的搭建

沿城市道路关键路段科学布局传感器网络,涵盖路

基沉降传感器、土体含水量传感器、空洞探测传感器等，实时采集道路关键部位的状态参数，通过无线传输技术，如5G网络、物联网LoRa技术等，将数据实时传送至监控中心。借助大数据智能算法，实时比对分析采集的实时数据与历史阈值、正常范围，一旦发现数据异常波动，立即触发预警机制，通过短信、APP推送、系统弹窗等多渠道迅速将预警信息精准推送至管理人员手中，实现风险实时掌控，为应急处置抢占先机，最大程度降低损失。

#### 4.3 风险管理与决策支持系统的开发

依托前期构建的风险分级成果数据库与防治策略知识库，充分运用AIGC技术强大的智能生成能力，开发智能化决策支持系统。输入实时路况信息、在建工程约束条件、资金预算情况等多源信息，系统经内置算法快速运算、深度分析，生成优化的防治建议方案，辅助管理人员科学决策。同时，系统全程跟踪评估防治工程实施效果，实时采集反馈数据，及时调整优化防治策略，持续提升风险管理整体效能。

### 5 技术难点与未来研究方向

#### 5.1 当前研究存在的技术难点与挑战

在多源数据融合方面，困境重重。不同部门收集地质、工程数据时各自为政，格式五花八门，有的采用老旧的文本格式，有的运用新兴但兼容性差的软件格式，分辨率也大相径庭，从粗略的概览数据到精细的微观探测数据参差不齐。而且数据标准缺乏统一规范，像地质参数的测量单位、工程进度的记录方式等都不一致，使得数据在整合时仿佛来自不同“星球”的语言，难以精准对接，无法有效为风险评估所用。现有的风险模型多基于常规环境构建，面对城市复杂多变的场景时显得力不从心。极端天气突袭，如暴雨引发的内涝、暴雪后的冻融循环，或是意外事故冲击，像施工中的爆炸、车辆的剧烈撞击，模型都难以迅速精准反应，预测精准度大幅下滑，难以为紧急决策提供可靠支撑。再者，防治技术的耐久性与经济性犹如天平两端，难以平衡。部分前沿加固方法，如特种纤维增强复合材料加固，虽能显著提升道路结构耐久性，但材料成本高昂，施工工艺复

杂，大规模推广时资金、技术门槛过高，极大制约了道路塌陷防治工作的全面铺开。

#### 5.2 未来研究方向与展望

未来需大力倡导跨学科深度联合攻关，广纳贤才。召集地质专家解读地层奥秘、土木工程师优化结构设计、计算机高手攻克数据难题、环境学者剖析气候影响，打破学科界限，合力攻克数据融合、模型优化等核心症结。积极探寻如光纤传感分布式监测技术，通过在道路内部铺设细密光纤网络，实时感知应力、温度等细微变化；借助卫星遥感实时监测，从高空全方位捕捉道路周边环境动态，实现对城市道路无死角、全天候、高灵敏度的洞察。同时，潜心研发适配城市发展的防治材料与工艺，注重绿色环保理念，利用可回收材料研发低成本加固剂，或借鉴生物仿生学设计长效抗疲劳路面结构，契合可持续发展战略，助推道路塌陷防治工作攀上新高峰，迈入全新阶段。

#### 结语

城市道路塌陷管控是一项复杂艰巨的系统工程，本研究借助AIGC技术深度挖掘风险、精心构建分级体系、量身定制防治策略、全力打造信息系统，为城市道路安全保障勾勒蓝图。尽管当前面临诸多技术难关，但展望未来，随着多学科协同发力、新技术新方法不断涌现，定能突破困境，确保城市道路长久稳固畅通，为城市繁荣发展筑牢坚实根基。

#### 参考文献

- [1]张鹏,李小军,贺旺.城市道路塌陷灾害风险评估研究[J].工程地质学报,2020,
- [2]杨帆.城市道路塌陷灾害成因及防治对策[J].住宅与房地产,2021(24):255-256.
- [3]高晋华.城市道路塌陷成因及防治对策分析[J].山西建筑,2022,48(14):128-130.
- [4]杨光.城市道路塌陷原因及防治措施分析[J].黑龙江交通科技,2022,45(7):44-46.
- [5]王江.城市路面塌陷类型与防治对策[J].住宅与房地产,2023(15):211-213.