

# 山区道路沿线崩塌灾害风险评估

郭民强 邹 杰 陈 浩

四川省第二地质大队 四川 成都 610000

**摘要:** 山区道路沿线崩塌灾害频发, 严重威胁道路安全。本文剖析地质、地形、气象等因素对崩塌的影响, 构建涵盖四大维度的风险评估指标体系, 采用层次分析法与模糊综合评价法构建评估模型。通过全面排查、数据采集等实施评估, 分析结果, 明确风险分布规律。基于此, 提出风险规避、降低、转移及应急管理防控对策, 为山区道路崩塌灾害防控提供科学依据。

**关键词:** 山区道路; 崩塌灾害; 风险评估; 地质调查

引言: 山区道路作为交通网络重要组成部分, 其沿线崩塌灾害频发, 给人民生命财产和交通运行带来巨大损失。准确评估崩塌灾害风险并采取有效防控措施至关重要。本文深入分析山区道路沿线崩塌灾害的影响因素, 构建科学合理的风险评估模型, 开展风险评估实施与结果分析, 进而提出针对性的风险防控对策与建议, 以提升山区道路抗灾能力, 保障道路安全畅通。

## 1 山区道路沿线崩塌灾害影响因素分析

### 1.1 地质因素

地质因素是山区道路沿线崩塌灾害发生的内在核心因素, 直接决定了区域岩土体的稳定性, 是崩塌形成的物质基础。岩土体性质对崩塌影响最为显著, 坚硬岩层如花岗岩、石英岩等易形成陡崖, 受风化作用后裂隙发育, 岩体完整性遭到破坏, 易发生块状崩塌; 软弱岩层如页岩、泥岩等遇水软化, 抗剪强度大幅降低, 易引发顺层滑移式崩塌。地质构造同样关键, 断层、节理密集区域, 岩土体被切割破碎, 连贯性差, 加之构造运动残留的应力释放, 进一步加剧岩体失稳。岩体风化程度也不可忽视, 山区昼夜温差大、降水频繁, 长期风化使岩体逐渐破碎、剥落, 形成松散堆积物, 在外界诱发下易发生崩塌<sup>[1]</sup>。总体而言, 地质因素决定了崩塌灾害的潜在可能性, 是后续各类诱发因素发挥作用的前提, 也是山区道路崩塌风险防控需重点考量的基础条件。

### 1.2 地形因素

地形因素是山区道路沿线崩塌灾害的重要诱发条件, 通过改变岩土体受力状态和地表水径流路径, 直接影响崩塌的发生概率和规模。坡度是最关键的地形指标, 山区道路多修建在陡坡区域, 坡度越大, 岩土体所受重力沿坡向的分力越大, 抗滑阻力越小, 当坡度超过岩土体临界稳定坡度(通常为 $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$ )时, 崩塌风险显著提升。坡高同样影响崩塌发育, 高陡边坡的岩土体自

重更大, 下部岩体承受压力过载, 易发生剪切破坏, 且坡高越高, 崩塌发生时的势能越大, 灾害破坏力越强。坡型也对崩塌有明显影响, 凸形坡易使岩土体应力集中, 凹形坡则利于地表水汇集和松散物质堆积, 均会增加崩塌隐患。此外, 道路沿线的坡向、沟谷发育情况也会间接影响崩塌, 阳坡岩体风化速度更快, 阴坡易积水软化岩土体, 沟谷切割会削弱边坡完整性, 进一步降低岩土体稳定性。

### 1.3 气象因素

气象因素是山区道路沿线崩塌灾害最主要的外在诱发因素, 通过直接作用于岩土体, 打破其受力平衡, 触发崩塌发生。降水是影响最显著的气象因子, 短时暴雨或长期降雨会使岩土体含水量增加, 一方面降低岩土体抗剪强度和黏聚力, 另一方面渗入岩体裂隙形成孔隙水压力, 抵消部分有效应力, 导致岩体失稳。此外, 雨水冲刷会带走边坡表层松散物质, 加剧边坡侵蚀, 诱发小型崩塌。气温变化也会间接诱发崩塌, 山区昼夜温差和季节温差较大, 岩体受热胀冷缩作用反复影响, 裂隙不断扩展、贯通, 岩体完整性遭到破坏, 逐渐破碎剥落。另外, 暴雨伴随的强风、雷电等天气, 会对不稳定边坡产生冲击作用, 进一步加剧岩土体松动, 尤其是在地质条件薄弱、地形陡峭的区域, 气象因素的诱发作用更为明显, 易引发大规模崩塌灾害。

## 2 山区道路沿线崩塌灾害风险评估模型构建

### 2.1 评估指标体系建立

评估指标体系是山区道路沿线崩塌灾害风险评估的基础, 需遵循科学性、系统性、可操作性和针对性原则, 结合崩塌灾害影响因素, 构建涵盖地质、地形、气象、人类活动四大维度的完整指标体系, 确保评估结果全面、准确。地质维度选取岩土体性质、地质构造、岩体风化程度3项核心指标, 其中岩土体性质采用抗剪强

度、黏聚力量化,地质构造以断层节理密度表征,岩体风化程度按风化等级划分评分。地形维度选取坡度、坡高、坡型、坡向4项指标,坡度和坡高采用实测数据量化,坡型和坡向按类型分类赋值。气象维度选取年降水量、暴雨频次、气温年较差3项指标,采用区域长期气象观测数据进行量化分析<sup>[2]</sup>。人类活动维度选取边坡开挖强度、道路运营荷载、松散堆积物堆放量、养护频率4项指标,结合道路建设和运营资料进行量化评分。所有指标均划分不同等级,赋予对应权重,明确指标评分标准,确保指标数据可获取、可量化,构建层次清晰、针对性强的评估指标体系,为后续风险评估提供可靠支撑。

## 2.2 评估方法选择

结合山区道路沿线崩塌灾害的复杂性、不确定性以及评估指标的多样性,综合考虑各类评估方法的适用性,选取层次分析法(AHP)与模糊综合评价法相结合的方式,构建科学合理的风险评估方法体系。层次分析法主要用于确定各评估指标的权重,通过构建递阶层次结构模型,将复杂的风险评估问题分解为不同层次的指标,邀请地质灾害、道路工程领域专家对各指标重要性进行两两比较,构建判断矩阵,通过一致性检验确定各指标权重,有效解决指标重要性难以量化的问题。模糊综合评价法用于对崩塌灾害风险进行综合评分,考虑到部分评估指标存在模糊性和不确定性,采用模糊数学理论,将各指标实际数据与评分标准对比,确定模糊评价矩阵,结合指标权重,通过模糊合成运算得出风险评估结果,划分风险等级。两种方法优势互补,层次分析法解决权重分配问题,模糊综合评价法解决指标模糊性问题,既保证了评估的科学性和合理性,又兼顾了操作的便捷性,适用于山区道路沿线崩塌灾害多因素、多等级的风险评估。

## 2.3 评估模型构建

基于建立的评估指标体系和选取的评估方法,构建山区道路沿线崩塌灾害风险评估模型,明确模型构建流程、核心参数和计算步骤,确保模型可落地、可应用。首先,确定模型构建的核心目标,即量化山区道路沿线不同路段的崩塌灾害风险等级,为风险防控提供精准依据。其次,构建模型的层次结构,分为目标层(山区道路沿线崩塌灾害风险评估)、准则层(地质、地形、气象、人类活动四大因素)、指标层(各维度具体评估指标),明确各层次之间的隶属关系。然后,代入指标权重和模糊评价矩阵,通过模糊合成运算,计算各路段的风险综合评分,结合预设的风险等级划分标准(高风险、中风险、低风险),确定各路段的风险等级。最

后,对模型进行验证和优化,选取典型山区道路路段,收集实际地质、气象、运营数据,代入模型计算,将评估结果与实际崩塌灾害发生情况对比,调整指标权重和评分标准,提升模型的准确性和可靠性,确保模型能够有效指导山区道路沿线崩塌灾害风险评估工作。

## 3 山区道路沿线崩塌灾害风险评估实施与结果分析

### 3.1 风险评估实施

山区道路沿线崩塌灾害风险评估实施遵循“全面排查、数据采集、模型计算、等级判定”的流程,确保实施过程规范、数据真实、结果可靠。首先,明确评估范围,结合山区道路路线走向,划定道路两侧一定范围内(通常为50-100米)的边坡、沟谷等区域作为评估范围,明确评估路段的起止点和长度<sup>[3]</sup>。其次,开展现场排查和数据采集,组织专业技术人员深入现场,采用无人机航拍、全站仪实测、地质钻探等方式,采集岩土体性质、坡度、坡高等地质地形指标数据;收集区域气象部门长期观测的降水量、暴雨频次等气象数据;结合道路建设档案和运营记录,采集边坡开挖强度、养护频率等人类活动指标数据,建立完整的评估数据库。然后,代入构建的风险评估模型,对各评估指标进行评分,通过模糊合成运算计算各路段风险综合评分。最后,根据风险综合评分和预设等级标准,判定各路段的风险等级,划分高、中、低风险路段,形成完整的风险评估实施报告,为后续结果分析和风险防控提供基础。

### 3.2 评估结果分析

结合风险评估实施结果,从风险等级分布、影响因素关联、风险特征三个方面,对山区道路沿线崩塌灾害风险进行全面分析,明确风险分布规律和核心管控重点。从风险等级分布来看,高风险路段主要集中在地质构造复杂、坡度陡峭(大于 $45^\circ$ )、暴雨频次高且人类活动频繁的区域,此类路段岩土体稳定性差,崩塌发生概率高、危害大;中风险路段多分布在地质条件中等、坡度适中( $30^\circ$ - $45^\circ$ )、有一定人类活动干扰的区域,受极端气象条件诱发易发生崩塌;低风险路段主要分布在地质条件良好、坡度平缓(小于 $30^\circ$ )、人类活动干扰小的区域,岩土体稳定性好,崩塌风险较低。从影响因素关联分析来看,地质因素和地形因素是高风险路段形成的核心原因,人类活动因素是中低风险路段风险提升的主要诱因,气象因素则是各类风险路段崩塌发生的重要触发条件。从风险特征来看,山区道路崩塌灾害风险呈现明显的空间不均衡性,且受季节影响显著,暴雨季节风险等级明显升高,同时高风险路段多集中在道路急弯、陡坡等关键位置,对道路通行安全威胁极大。

## 4 山区道路沿线崩塌灾害风险防控对策与建议

### 4.1 风险规避

风险规避是山区道路沿线崩塌灾害风险防控的首要措施，核心是通过主动避开高风险区域，从源头减少崩塌灾害发生的可能性，降低灾害损失。在山区道路规划和新建阶段，应结合前期风险评估结果，避开地质构造复杂、断层节理密集、坡度陡峭、暴雨频发的高风险区域，优先选择地质条件良好、地形平缓、岩土体稳定性高的路线方案。对于已建成道路中的高风险路段，若崩塌隐患严重、防控难度大且防控成本过高，可采取改线、绕行等措施，彻底避开崩塌隐患区域，从根本上消除风险。在道路建设前期，加强地质勘察工作，全面排查崩塌隐患，精准识别高风险区域，为路线规划和风险规避提供科学依据。严格禁止在高风险路段周边开展不合理的人类活动，如违规开挖、堆放重物等，避免进一步加剧边坡失稳，确保风险规避措施落地见效，从源头降低崩塌灾害对道路通行安全的威胁。

### 4.2 风险降低

风险降低是山区道路沿线崩塌灾害防控核心。针对无法规避的中高风险路段，从工程治理和日常管控入手降低风险。工程治理上，依崩塌隐患类型采取不同措施：松散堆积物边坡用削坡减载、护坡支护等增强稳定性；裂隙发育岩体边坡用灌浆封堵、挂网喷浆等防雨水渗入与岩体剥落；完善排水系统，降低岩土体含水量，提升抗剪强度。日常管控方面，加强边坡巡查维护，定期排查隐患，清理堆积物，维修更换受损设施；建立气象预警联动机制，极端天气前采取交通管控，减少对边坡扰动，实现对崩塌风险的动态管控。

### 4.3 风险转移

风险转移是山区道路沿线崩塌灾害防控的补充手段，通过合理方式将部分或全部风险转给第三方，减轻道路管理单位压力。主要方式有保险转移和合同转移。保险转移是道路管理单位购买地质灾害保险，明确责任范围与赔偿标准，灾害发生时由保险公司担责，转移经济损失风险。合同转移是在道路建设养护中，将边坡治理等工作委托专业单位，明确双方责任义务，因施工养护不当致灾害，由承包单位担责，转移管理与技术风险。另外，加强与周边区域协同防控，建立共担机制，

提升风险转移效果。

### 4.4 应急管理措施

应急管理措施是山区道路沿线崩塌灾害风险防控的最后一道防线，通过建立完善的应急体系，快速响应、科学处置崩塌灾害，最大限度减少人员伤亡和财产损失。首先，制定完善的崩塌灾害应急预案，明确应急组织机构、应急响应流程、应急处置措施和责任分工，针对高、中、低风险路段制定差异化的应急处置方案，确保应急处置有章可循。其次，加强应急物资储备，在高风险路段周边和道路养护站点，储备挖掘机、装载机、编织袋、警示标志、急救药品等应急物资，定期检查物资储备情况，及时补充和更新，确保应急物资能够随时调用<sup>[4]</sup>。然后，建立应急救援队伍，组建由专业技术人员、养护人员和应急救援人员组成的应急队伍，开展应急演练，提升队伍的应急处置能力和协同配合能力。最后，建立应急预警和信息发布机制，及时接收气象、地质灾害预警信息，通过道路广播、电子显示屏、短信等方式，及时向过往车辆和人员发布预警信息和避险指引，快速启动应急预案，开展抢险救援、交通疏导等工作，最大限度降低灾害损失。

### 结束语

山区道路沿线崩塌灾害风险评估与防控是一项复杂且长期的工作。本文通过构建评估模型、开展评估实施，明确了风险分布规律，并提出了风险规避、降低、转移及应急管理等防控对策。未来，需持续优化评估模型，加强防控措施落实，不断提升山区道路应对崩塌灾害的能力，为山区交通的稳定发展和人民生命财产安全提供坚实保障。

### 参考文献

- [1]李彬.基于无人机倾斜摄影的山区道路建模及沿线地质灾害识别[J].江西测绘,2024(2):26-28.
- [2]张彤.基于倾斜摄影的山区道路崩塌识别研究[J].中国新技术新产品, 2023(4): 94-96.
- [3]庞朋朋,张立勋,王文婷.高陡边坡稳定性对山区道路公共安全的影响研究[J].中国公共安全,2025(9):70-72.
- [4]张宏蓉,杜娟,郑红卫,等.基于时空概率的公路崩塌灾害危险性评价[J].安全与环境工程,2023,30(5):142-151.