 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i1.8978

Discussion on Applied Technologies for Risk Investigation of Highway Geological Hazards

Yuping Wang

Longnan Highway Emergency Support and Road Network Monitoring Center, Longnan, Gansu, 746000, China

Abstract

Highway engineering is long-term exposed to the natural environment. Affected by factors such as topography and geomorphology, geological structure and climatic conditions, it is highly susceptible to geological hazards like landslides, collapses and debris flows, which seriously threaten the safety of road traffic and the lives and property of residents along the highways. As a pre-link of highway geological hazard prevention and control, the level of applied technologies for risk investigation directly determines the effectiveness of disaster early warning and treatment. This paper systematically sorts out the core demands of risk investigation for highway geological hazards, analyzes the working principles, application scenarios, advantages and disadvantages of various technologies from the perspectives of traditional survey technologies, geophysical exploration technologies, remote sensing monitoring technologies and intelligent monitoring technologies. It also discusses practical problems existing in current technology applications, including equipment costs, data fusion and personnel technical capabilities, and puts forward targeted optimization strategies. The purpose is to provide technical references for improving the accuracy and efficiency of highway geological hazard risk investigation and constructing a scientific and sound prevention and control system for highway geological hazards.

Keywords

Highway Geological Hazards; Risk Investigation; Exploration Technology; Remote Sensing Monitoring; Intelligent Early Warning

公路地质灾害风险排查应用技术探讨

王玉平

陇南公路应急保障与路网监测中心，中国·甘肃 陇南 746000

摘　要

公路工程长期暴露于自然环境中，受地形地貌、地质构造及气候条件等因素影响，极易遭遇滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害，严重威胁道路通行安全与沿线群众生命财产安全。风险排查作为公路管养部门排查安全隐患、防控地质灾害的前置环节，其技术应用水平直接决定灾害预警与治理成效。本文系统梳理公路地质灾害风险排查的核心需求，从传统调查技术、地球物理勘探技术、遥感监测技术及智能化监测技术等维度，分析各类技术的工作原理、应用场景与优劣特征，探讨当前技术应用中存在的设备成本、数据融合、人员技术能力等现实问题，并提出针对性优化策略，旨在为提升公路地质灾害风险排查的精准性与高效性，构建科学完善的公路地质灾害防控体系提供技术参考。

关键词

公路地质灾害；风险排查；勘探技术；遥感监测；智能化预警

1 引言

公路是交通运输体系的重要组成部分，其安全稳定运行对区域经济发展和民生保障具有不可替代的作用。我国地域辽阔、地质条件复杂，山地丘陵占比大，大量公路穿行于地质脆弱区域。近年来，极端天气频发、人类工程活动加剧，导致公路沿线滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害频发，不仅造成道路损毁、交通中断，更易引发车辆损毁、人员伤亡等恶性事故，带来巨大经济损失与社会影响。

地质灾害风险排查是运用专业技术，对公路沿线地质环境及灾害隐患点开展调查、识别、监测与评估的过程，可为灾害预警、应急处置和工程治理提供科学依据。特别是山区、高寒地区公路日常管养工作中，地质灾害风险排查显得尤为重要，传统人工排查手段已难以满足需求，而地球物理勘探、遥感技术、物联网监测等新技术的快速发展，为风险排查提供了多元技术选择[1]。目前，国内相关研究多聚焦单一技术应用，缺乏系统性整合与对比分析。基于此，本文梳理现有排查技术，剖析应用瓶颈并提出优化路径，以期推动公路地质灾害风险排查技术标准化、智能化发展，助力公路交通行业安全可持续发展。

【作者简介】王玉平（1971–），男，中国甘肃陇南人，本科，副高级工程师，从事公路桥梁建设管理养护研究。

2 公路地质灾害的主要类型与风险排查核心需求

2.1 公路地质灾害的主要类型及危害

公路沿线常见的地质灾害主要包括滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷等。滑坡是指斜坡岩土体在重力作用下，沿软弱面发生整体滑动的现象，其具有隐蔽性强、破坏力大的特点，一旦发生，易掩埋路面、冲毁桥梁，造成长时间交通中断。崩塌多发生于陡峭的岩质边坡，岩石因风化、裂隙发育等原因突然坠落，对过往车辆和行人的生命安全构成直接威胁。泥石流是由暴雨、冰雪融水等激发的，含有大量泥沙、石块的特殊洪流，具有爆发突然、流速快、冲击力强的特征，可在短时间内摧毁公路路基、涵洞等设施。地面塌陷则多见于岩溶发育地区，地下溶洞顶板失稳坍塌会导致路面沉降、开裂，严重影响公路的正常使用[1][2]。

2.2 公路地质灾害风险排查的核心需求

公路地质灾害风险排查的核心目标是精准识别隐患、科学评估风险、及时预警处置，具体可分为三个层面的需求。一是全面性需求，要求排查范围覆盖公路全线路基、边坡、桥梁、隧道等关键部位，不遗漏任何潜在灾害隐患点；二是精准性需求，需要明确灾害隐患的类型、规模、成因及发展趋势，为风险等级划分和治理方案制定提供准确数据；三是时效性需求，尤其是在汛期、雨季等灾害高发期，需快速完成排查工作，及时更新隐患信息，为应急决策提供支持。此外，考虑到公路工程的线性分布特征，风险排查技术还需具备便捷性和经济性，适应不同地形条件下的作业需求。

3 公路地质灾害风险排查的主要应用技术

3.1 传统调查勘探技术

传统调查勘探技术是公路地质灾害风险排查的基础手段，主要包括野外人工调查法和简易勘探法。

野外人工调查法是技术人员通过现场踏勘，结合地质罗盘、测坡仪等简易设备，对公路沿线地形地貌、地层岩性、地质构造、水文条件及既有灾害痕迹进行观察记录。该方法的优势在于操作简便、成本低廉，能够直观获取第一手地质资料，适用于初步的隐患点识别与排查。但该方法受地形条件和人员经验影响较大，对于隐蔽性较强的深部地质隐患，难以准确判断其分布特征和危险程度。

简易勘探法以坑探、槽探、钻探为主。坑探和槽探通过人工挖掘探坑、探槽，直接揭露浅表地层结构，适用于查明边坡浅表软弱夹层、裂隙发育情况等；钻探则利用钻机获取深部岩芯样本，能够准确判断地层岩性变化、地下水位等关键信息，是确定灾害隐患深度和规模的重要手段。传统勘探技术的局限性在于作业效率低、劳动强度大，且对公路交通会造成一定程度的干扰。

3.2 地球物理勘探技术

地球物理勘探技术是基于不同岩土体的物理性质差异，通过仪器探测获取地质体的物理参数，进而推断地质结构和灾害隐患的间接勘探方法，具有非破坏性、高效率、探测深度大等优点，在公路地质灾害风险排查中应用广泛。

常用的地球物理勘探技术包括高密度电法、地震折射法、地质雷达法等。高密度电法通过测量地下介质的电阻率差异，识别地层分界面、地下水富集区及软弱夹层的分布，适用于滑坡、地面塌陷等灾害的隐患排查；地震折射法利用地震波在不同地层中的传播速度差异，推断地层岩性和厚度，可用于查明公路路基下伏基岩面起伏情况；地质雷达法则通过发射高频电磁波，接收反射波信号，判断地下介质的分布特征，具有分辨率高、探测速度快的特点，常用于检测路基空洞、边坡裂隙等浅表隐患。

但地球物理勘探技术也存在一定局限性，其探测结果易受地形条件、电磁干扰等因素影响，需要结合野外调查数据进行综合分析，才能提高解译的准确性[3]。

3.3 遥感监测技术

遥感监测技术以卫星、无人机为平台，通过搭载传感器获取公路沿线的遥感影像数据，实现对地质灾害隐患的大范围、动态化监测，是解决公路线性分布、偏远地区排查难题的有效手段。

卫星遥感技术覆盖范围广，能够快速获取区域尺度的地形地貌、植被覆盖、水体变化等信息，通过多期影像对比分析，可识别出潜在滑坡、泥石流隐患点，适用于公路地质灾害的宏观排查与趋势分析。无人机遥感技术则具有灵活性高、分辨率高、操作便捷等优势，可针对重点路段、复杂边坡进行精细化航拍，通过三维建模技术构建边坡数字高程模型，准确计算边坡坡度、坡向等参数，判断其稳定性。此外，无人机还可搭载红外传感器、激光雷达等设备，实现对地下水位、岩土体温度变化等指标的监测，进一步提升隐患识别的精准度[4]。

3.4 智能化监测技术

随着物联网、大数据等技术发展，智能化监测技术逐渐成为公路地质灾害风险排查的重要发展方向，实现了从“人工排查”向“实时监测”转变。

智能化监测系统主要由传感器、数据传输设备、数据处理平台三部分组成。传感器负责采集岩土体位移、应力、地下水位、降雨量等关键指标数据，常用传感器包括位移计、渗压计、雨量计等；数据传输设备通过无线通信技术，将采集到的数据实时传输至云端数据处理平台；平台则利用大数据分析、人工智能算法，对监测数据进行实时处理和分析，当监测指标超过预警阈值时，自动发出预警信号，为应急处置提供及时支持。

智能化监测技术的优势在于能够实现对灾害隐患的全天候、自动化监测，及时捕捉灾害前兆信息，有效提升风险预警的时效性和准确性。但其设备成本较高，数据传输和处理需要专业技术支持，在普通公路的风险排查中推广应用受

到一定限制[5]。

4 公路地质灾害风险排查技术应用存在的问题

4.1 技术融合程度低，数据共享不足

当前公路地质灾害风险排查工作中，各类技术多独立应用，缺乏有效的整合与协同。例如，野外调查数据与地球物理勘探数据、遥感监测数据未能实现充分融合，不同技术获取的数据格式不统一、标准不一致，导致数据利用率低，难以形成对灾害隐患的全方位、立体化认知。同时，公路管理部门、地质勘查单位、科研机构之间的数据共享机制不完善，存在数据孤岛现象，制约了风险排查技术的综合应用效果。

4.2 设备成本与技术门槛较高

部分先进排查技术如智能化监测系统、无人机激光雷达勘探等，设备购置和维护成本较高，对于基层公路管理单位而言，资金投入压力较大。此外，新技术的应用需要专业技术人员进行操作和数据解译，而基层单位往往缺乏具备相关专业知识和技能的人才，导致先进技术难以充分发挥作用，技术优势无法转化为实际排查效能。

4.3 针对性与适应性有待提升

不同地区的公路地质条件差异较大，灾害类型和成因也各不相同。但目前部分排查技术的应用缺乏针对性，未能根据区域地质特征和灾害类型选择合适技术方法。例如，在岩溶发育地区，盲目使用地震折射法进行排查，其效果远不如高密度电法；在植被茂密的山区，卫星遥感影像易受植被遮挡影响，难以准确识别地质隐患。此外，部分技术在复杂地形条件下适应性较差，如无人机遥感在山区强风、浓雾天气下难以开展作业，限制了其应用范围。

5 公路地质灾害风险排查技术应用的优化策略

5.1 推动多技术融合，构建一体化排查体系

加强不同排查技术的整合应用，构建“野外调查＋地球物理勘探＋遥感监测＋智能化监测”的一体化风险排查体系。建立统一的数据标准和格式规范，利用大数据技术搭建公路地质灾害风险排查数据共享平台，实现不同来源、不同类型数据的高效整合与分析。例如，将无人机遥感获取的边坡三维模型与地质雷达探测的浅表裂隙数据相结合，能够更准确地判断边坡稳定性；将智能化监测系统的实时数据与历史排查数据进行对比，可有效预测灾害发展趋势。5.2 降低技术应用门槛，加强人才队伍建设

一方面，鼓励科研机构和企业研发低成本、便携式的排查设备，简化设备操作流程，降低基层单位的应用成本；另一方面，加强公路管理部门技术人员的专业培训，通过与高校、科研院所合作开展技术讲座、实操培训等活动，提升技术人员对先进排查技术的操作能力和数据解译水平。同时，建立人才引进机制，吸引地质工程、遥感技术、大数据分析等领域的专业人才，为公路地质灾害风险排查工作提供人才支撑。

5.3 因地制宜选择排查技术，提升技术应用针对性

根据不同地区的地质条件、灾害类型和公路等级，制定差异化的风险排查技术方案。在地形平坦、地质条件简单的平原地区，可采用以野外人工调查为主、简易勘探为辅的排查方法；在山地、丘陵等地质复杂地区，应重点应用地球物理勘探、无人机遥感等技术，实现对隐患点的精准识别；在灾害高发区和重点路段，布设智能化监测系统，实现全天候实时监测。同时，加强技术创新，研发适应复杂地形和恶劣天气条件的排查设备，提升技术的环境适应性[6]。

6 结语

公路地质灾害风险排查是保障公路安全运行的关键环节，其技术应用水平直接关系到灾害防控成效。传统调查勘探技术奠定了排查基础，地球物理勘探、遥感监测技术拓展了排查的广度与深度，智能化监测技术则实现了风险预警的实时化与精准化。当前，我国公路地质灾害风险排查技术仍面临技术融合不足、成本较高、针对性不强等问题，亟待通过构建一体化排查体系、加强人才队伍建设、因地制宜选技术等策略优化。随着科技进步，人工智能、物联网等新技术与排查工作的融合将日益紧密，未来风险排查将朝着智能化、精细化、全域化方向发展[7]。只有持续推动技术创新与应用优化，才能提升灾害风险防控能力，为公路安全运行与区域经济社会高质量发展保驾护航。

参考文献

[1] 寒区土质边坡冻融滑塌影响因素的研究[J]. 武鹤;刘春龙;葛琪.水利与建筑工程学报,2015(01)

[2] 西藏公路交通地质灾害气象预警[J]. 德庆卓嘎;张国平;胡骏楠;边巴多吉.中国地质灾害与防治学报,2018(04)

[3] 地球物理方法在地质灾害勘查中的应用[J]. 杨进,武炜.物探与化探,2003(05)

[4] 低空无人机遥感技术在公路巡检中的应用进展、挑战和前景. 王勇;岑宗羲;何正龙;杨宇森;曾继民;程欣怡;林静.资源科学,2025(08)

[5] 中国高速公路交通气象灾害风险预警业务系统设计与应用[J].丰德恩;唐卫;柳艳香;王慕华;李蔼恂;渠寒花.气象科技,2018(04)

[6] 公路岩质边坡地质灾害防治及SNS柔性防护系统的应用[J]. 何桥.资源信息与工程,2017(04)

[7] 山区在役公路边坡地质灾害隐患防控技术探讨[J]. 吴维义.公路,2020(08)