

Progress of hydraulic environmental geology in the new era and its application in geological hazard prediction

Yi Huang

Yunnan Geological Engineering Second Survey Institute Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650218, China

Abstract

With the global climate change and the increasing intensification of human activities, geological disasters occur frequently, which has caused a serious threat to the safety of people's lives and property. To effectively deal with geological disasters, the research and application of hydraulic environmental geological technology has become particularly critical. Under the background of the new era, the continuous innovation of hydraulic environmental geological technology provides a more accurate and efficient means for geological disaster prediction. In this paper, the latest progress of hydraulic environmental geological technology in the new era will be reviewed, and its application in geological disaster prediction will be discussed to provide useful reference for geological disaster prevention.

Keywords

hydraulic environmental technology; Geological disasters; Predictive analysis; Applied research

新时代水工环地质技术进展及其在地质灾害预测中的应用

黄毅

云南地质工程第二勘察院有限公司, 中国·云南 昆明 650218

摘要

随着全球气候变化以及人类活动的日益加剧, 地质灾害频繁发生, 这对人民生命财产安全造成了严重的威胁, 有效应对地质灾害, 水工环地质技术的研究和应用变得特别关键。在新时代背景下, 水工环地质技术持续革新, 为地质灾害预测提供了更加精准且高效的手段。本文将对新时代水工环地质技术的最新进展进行综述, 同时探讨其在地质灾害预测中的应用, 为地质灾害防治工作提供有益的参考内容。

关键词

水工环境技术; 地质灾害; 预测分析; 应用研究

1 引言

新时代水工环地质技术有了进展, 涉及水文地质、工程地质和环境地质这三大领域, 在水文地质领域, 同位素示踪技术、三维非含水层系统以及智能传感网络等技术得以应用, 使得水资源开发与地质灾害预测能力得到提升。对工程地质领域而言, 地质雷达探测技术、卫星与 GIS 的协同运用以及岩土原位测试方法有了进展。在环境地质领域, 光谱分析装置、微生物介导型修复策略以及地质灾害监测网络等创新技术不断出现, 这些技术进展在泥石流、地面沉降等灾害预测里发挥了关键作用, 为减灾提供了科学依据。

2 新时代水工环地质技术进展

2.1 水文地质技术进展

当前水文地质领域正经历技术革新浪潮, 多项突破性技术重塑着行业研究范式, 以同位素示踪技术为例, 科研人员依靠测定水体中氢氧同位素比值特征, 可准确解析地下水的补给来源和径流路径, 为科学规划水资源开发方案提供了关键支撑。在数值建模领域, 三维非均质含水层模拟系统借助耦合多源数据, 可高精度还原地下水系统的动态演变过程, 特别在模拟不同开采情景下的水位响应规律时, 其预测结果已成为制定可持续开采策略的核心参考, 有效规避因过度开采引发的次生地质灾害。智能传感网络的规模化应用彻底改变了传统监测模式, 借助分布式物联网设备, 研究者已实现地下水动态参数的云端化采集与智能化分析, 使数据采集的时效性和精准度得到提升。

2.2 工程地质技术进展

近年来工程地质领域技术革新取得突破性进展, 以无

【作者简介】黄毅(1993-), 中国云南大关人, 本科, 工程师, 从事水工环相关研究。

损高效优势见长的地质雷达探测技术(如图1所示),依靠电磁波反射成像精准定位地下隐伏空洞与断裂带空间展布特征,遥感卫星数据与地理信息系统(GIS)的协同应用实现了大范围工程场区地形解译与地质构造三维建模的有机融合,依托GIS空间叠置分析模块构建多因子评价体系,为工程选址决策提供科学依据。值得关注的是岩土原位测试方法的创新性突破,如自钻式旁压仪依靠原位应力补偿技术最大限度还原岩土天然赋存状态下的本构关系,其获得的应力-应变曲线参数较大提升基础数据的工程适用性。

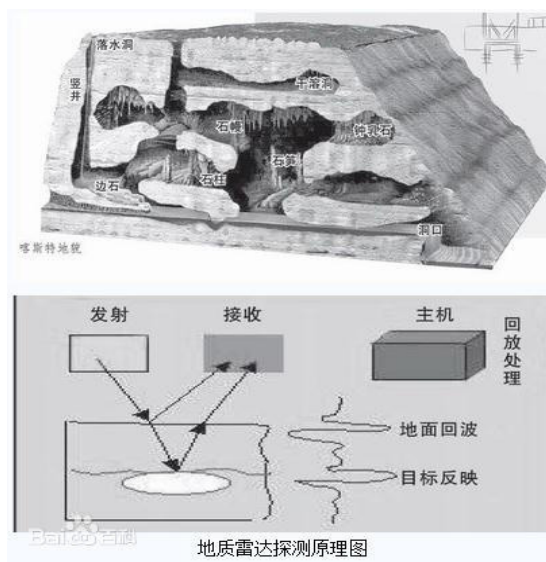


图1 地质雷达探测技术

2.3 环境地质技术进展

随着社会发展的现实需求不断演变,环境地质技术持续进行创新突破,在土壤污染物识别领域,基于光谱分析原理的便携式检测装置取得较大进展,例如改良型X射线荧光探测器已实现重金属元素的即时定量分析,将传统实验室流程简化为现场快速筛查,矿山生态修复方向,微生物介导型修复策略呈现出独特优势,依托微生物特有的生物吸附与代谢转化机制,开发出可同步处理多种重金属污染的原位生物反应器系统。地质灾害防控体系已形成智能化监测网络,借助部署多源传感器网络实时采集位移变形、降雨强度等参数,结合机器学习模型实现灾变趋势预判,这种动态监测-智能分析-分级预警的闭环系统提升应急响应效能,为区域生态安全和民生保障提供技术支撑。

3 水工环地质技术在地质灾害预测中的应用

3.1 在滑坡预测中的应用

3.1.1 基于水文地质参数的滑坡预测

滑坡灾害的形成机理与地下水动态特征密切相关,基于地下水位动态监测网络和孔隙水压力传感系统获取的实时数据,可建立灾害预警指标体系用于评估斜坡稳定性风险,研究说明,在极端降雨事件或人为干扰引发地下水快速

抬升时,岩土体含水率剧增较大增大坡体自重,同时孔隙水压力的异常升高会削弱岩土结构面间的摩擦阻力。采用三维渗流耦合模型,整合历史水位与水质数据库,可精确模拟极端气候条件下的水文响应过程及其对斜坡应力场的扰动机制,当实时监测数据逼近岩体稳定性阈值时,借助地质灾害预警平台可同步启动多级预警机制,联动地方政府和基层社区实施人员疏散预案,最大限度规避灾害链式反应带来的次生损失。

3.1.2 工程地质勘察数据用于滑坡预测

工程地质勘察获取的岩土体结构特征与力学参数构成滑坡预测研究的核心基础数据,研究过程中需综合运用地质测绘、钻孔取样等技术手段,系统查明滑坡区域的地层组合特征与构造发育规律。以某类典型滑坡为例,当坡体主要由堆积松散、抗风化能力较差的土层或碎裂岩体构成,存在倾向坡外的软弱夹层或节理裂隙时,在降雨或地震扰动下极易引发失稳滑动。依靠开展现场直剪试验、旁压测试等原位技术,可准确获取岩土体的内摩擦角、黏聚力等关键力学指标,将实测参数导入包含三维地质建模与极限平衡计算的数值分析系统,可构建有工程应用价值的滑坡稳定性评估模型,基于该模型计算结果,能定量评估不同荷载条件下坡体的稳定系数,据此对隐患区域进行红橙黄蓝四色预警分级,为优化挡墙支护、排水系统等防治工程方案奠定数据基础。

3.1.3 环境地质监测对滑坡预测的辅助

环境地质监测涉及多个关键领域,在滑坡灾害预警中有不可替代的技术支撑作用,针对地表植被覆盖率的动态监测非常关键,这类生态指标的变化影响地表径流速度,更会直接削弱土体结构的抗侵蚀性能,加剧斜坡失稳概率,对于人类工程活动的系统性监控需重点关注边坡开挖、堆土加载等工程行为,不当施工行为会破坏地质结构平衡,凭借改变坡体应力分布诱发滑动风险。现代遥感技术结合无人机航拍可构建三维监测网络,精准捕捉地表裂缝扩展、山体蠕变等宏观形变特征,配合地面GNSS监测站的高频数据采集,形成时空连续的滑坡演变数据库,依靠多源监测数据的交叉验证与趋势分析,可建立滑坡演化模型,实现灾害发生时段、影响范围的科学预判,为制定避险方案提供精准的决策依据。

3.2 在泥石流预测中的应用

3.2.1 水文地质条件对泥石流形成的影响及预测

水文地质特征对泥石流发育有决定性作用,充沛的水体补给作为灾害形成的核心要素,一般表现为暴雨或冰雪融水引发的瞬时性径流,在防灾实践中,需实时追踪降雨时空分布特征(包括雨量峰值、降水持续时长)及水源区水位波动情况,并结合水文模型动态模拟集水区域内的流量演变与运动参数^[1]。当流体动能与物质输移能力突破临界值时,叠加沟谷坡降、物源储备等地质背景,即可综合评估成灾可能性,另外地下水的渗透作用可能削弱岩土结构强度,促使松

散固体物质参与流体运移,基于此类数据构建的预警系统,能实现灾害概率的梯度化预判,为应急避险和防灾部署提供科学依据。

3.2.2 工程地质勘察对泥石流隐患识别与预测

工程地质勘察在泥石流隐患精准识别中具有关键作用,凭借实地地质测绘可系统分析沟谷的地层构造特征及岩土体空间展布规律,特别当沟谷中堆积大量松散碎屑物质且纵坡较陡时,在极端降雨等气象条件下极易触发泥石流灾害,采用地球物理勘探手段能准确揭示隐伏地质界面特征,定位深层软弱夹层与潜在失稳面空间形态^[2]。对典型堆积体开展物理力学参数测试与颗粒级配研究,可定量评估其抗剪强度与渗透特性,基于多源勘察数据构建危险性评估模型,科学划分不同风险管控分区,据此设计差异化的监测预警体系与工程治理方案,实现泥石流灾害风险的主动防控与隐患消减。

3.2.3 环境地质监测用于泥石流预警

环境地质监测技术依靠动态数据采集为泥石流预警提供科学依据,在具体实施中,雨量传感器与水位监测仪构成的基础网络持续捕捉降雨强度和径流变化,当监测数据突破预设临界值时,系统自动触发多级警报机制。针对泥石流形成区的重点监测,在易发区布设的位移传感器与视频监测设备可实时追踪岩土体动态,依托智能识别算法捕捉坡体蠕滑、岩块异动等前兆信号,实现毫米级形变监测精度。另外凭借卫星遥感与地面调查相结合的方式,系统分析流域内地表植被密度异常降低、侵蚀沟加速发育等现象,构建生态环境退化与地质灾害风险的关联模型,这种基于多源数据融合的预警体系,依托地理信息系统平台进行空间可视化分析,最终借助应急广播与移动终端实现预警信息的精准推送,形成从数据采集到风险处置的闭环管理模式^[3]。

3.3 在地面沉降预测中的应用

3.3.1 水文地质因素与地面沉降预测

区域性地面沉降的形成机理与地下水资源的过度开发存在较大关联性,长期超量开采地下水资源引发含水层系统失衡,表现为孔隙水压力持续流失与岩土基质有效应力递增的耦合作用,这种固液两相力学响应的动态变化最终诱发地表形变,基于三维地下水渗流数值模型对多种开采情景进行水位动态模拟,结合土层固结理论构建沉降预测体系。以某超采漏斗区为例,借助反演水位降速与储层压缩系数的关联特征,可定量评估特定时段内潜在沉降风险,基于预测数据动态优化开采方案,实施人工回灌工程等综合治理措施,形

成水位调控与土体变形协同控制机制,有效维护城市地质安全与生态平衡。

3.3.2 工程地质条件与地面沉降预测

工程地质环境与地面沉降现象存在密切关联性,各类岩土层的力学特性存在较大差异,典型如滨海相沉积的软土在外部荷载作用下常表现出较大塑性变形特征,基于系统地质勘探获取的岩土体物理力学参数及地层结构特征,结合地下水位动态变化和建筑物附加荷载等要素,采用分层总和法进行逐层变形量叠加计算,可实现对总沉降量的科学预测。在城市规划实践中,根据地质敏感度评估结果划分沉降风险等级区,针对高风险区域实施差异化管理策略,凭借优化建筑布局密度与基底压力分布,有效缓解因不均匀沉降引发的结构安全隐患,为城市可持续发展提供基础保障。

3.3.3 环境地质监测与地面沉降预测

环境地质监测系统是掌握地面沉降动态演变规律的关键技术手段,凭借精密水准测量与卫星定位技术相结合的多源监测体系,可连续追踪地表形变的三维时空特征。针对城市外围区域的地质环境异动现象,如河道迁移轨迹偏移与湿地生态系统退化等较大变化,需重点解析其对含水层结构及地下水运移路径的潜在影响机制。在城市建设维度,需建立地下空间开发工程的全周期监测方案,轨道交通施工中的盾构掘进参数控制与深基坑支护结构稳定性监测,施工工艺失当极易引发土层应力失衡并诱发次生沉降,借助构建多维度监测数据融合分析机制,可实现地面沉降动力学模型的迭代优化,提升灾害预警系统的时空分辨率,为制定差异化的工程防控策略提供决策支持,切实保障新型城镇化建设的地质安全。

4 结语

综上所述,新时代水工环地质技术取得进展,能为地质灾害预测提供有力技术支持。针对滑坡、泥石流以及地面沉降等地质灾害进行预测时,水工环地质技术的运用提高了预警的准确度和时效性能。随着技术持续发展与完善,水工环地质技术会在地质灾害预测中发挥更关键的功效。

参考文献

- [1] 邹思鑫. 水工环地质技术在矿山地质灾害治理中的应用探究[J]. 内蒙古煤炭经济, 2025, (04): 172-174.
- [2] 郭占林. 地质灾害防治中水工环地质技术的运用分析[J]. 中国减灾, 2025, (04): 52-53.
- [3] 姬志帅. 水工环地质技术在金属矿山地质灾害防治中的应用[J]. 中国金属通报, 2024, (12): 176-178.