

Application and Development of Contemporary Hydraulic and Environmental Geology Theory in Geological Hazard Assessment

Shicheng Zheng

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

Abstract

Geological disasters occur frequently, which poses a serious threat to human life and property safety. Accurate assessment of disaster risk has become the key to disaster prevention and reduction. As a key branch of geological science, the theory of Hydraulic environmental geology lays a scientific foundation for geological hazard assessment by means of systematic analysis of groundwater system, geomechanical properties and the interaction between human activities and geological environment. With the continuous emergence of new technologies, the application of Hydraulic environmental geology theory in geological hazard assessment has become more and more extensive, showing strong vitality and broad application prospects. In this paper, the latest progress of this theory in geological hazard assessment will be reviewed, and its future development direction will be discussed.

Keywords

Hydraulic environmental geology theory; Geological disasters; Evaluation and analysis; Applied research

当代水工环地质理论在地质灾害评估中的应用与发展

郑世成

云南地质工程第二勘察院有限公司, 中国·云南 昆明 650218

摘要

地质灾害频繁发生, 这对人类生命财产安全造成了严重的威胁, 精准地评估灾害风险成为防灾减灾工作的关键所在。水工环地质理论作为地质科学研究里的一个关键分支, 它借助对地下水系统、岩土力学特性以及人类活动与地质环境之间的相互作用进行系统的分析, 为地质灾害评估奠定了科学基础。随着新技术持续出现, 水工环地质理论在地质灾害评估中的应用变得越来越广泛, 呈现出强大的生命力以及广阔的应用前景。本文将对该理论在地质灾害评估中的最新进展综述, 探讨其未来的发展方向。

关键词

水工环地质理论; 地质灾害; 评估分析; 应用研究

1 引言

当代水工环地质理论融合了水文地质学、工程地质学以及环境地质学的精华内容, 形成了一个有多维度特点的理论体系。在针对地质灾害展开评估工作时, 此理论构建起了包含滑坡、泥石流、地面沉降以及岩溶塌陷等多种灾害类型的分析框架, 依靠将新技术与多尺度耦合评估方法相互结合, 实现了从微观层面至宏观层面的灾害风险精确预测。本文对水工环地质理论在地质灾害评估领域的应用现状以及发展趋势展开了探讨, 突出了其在服务社会以及可持续发展进程中所起的关键作用, 为灾害防治以及生态保护提供了科学依据和技术方面的支持。

【作者简介】郑世成(1990-), 男, 彝族, 中国云南昆明人, 本科, 工程师, 从事水工环相关研究。

2 水工环地质理论基础

2.1 水工环地质概念

水工环地质是水文地质学、工程地质学与环境地质学的综合称谓, 水文地质学重点剖析地下水系统的动态演化规律。具体研究地下水的赋存条件、运移机制及其与地表生态系统的双向影响, 覆盖地下水补给机制、径流路径及排泄方式等核心环节, 直接关系到饮用水安全与含水层保护策略^[1]。工程地质学主要研究领域包括岩土力学特性、地质构造特征及地质灾害风险评价, 凭借解析地基稳定性、边坡变形机理等关键参数, 为重大基础设施的规划设计和施工安全提供地质技术支撑。环境地质学重点关注人类工程活动与地质环境之间的相互作用机制, 其研究范畴延伸至地面沉降防控、土壤污染修复及生态地质脆弱性评估等前沿领域。这三个分支学科相互渗透, 共同构成解决资源利用、工程安全与环境保

护协同发展的技术体系,为实现资源开发与生态保护的平衡发展提供地质科学依据。

2.2 当代水工环地质理论主要内容

现代水工环地质学科已形成多维度的理论体系,在水文地质方向,重点关注地下水系统多尺度循环机制研究。借助三维数值建模技术,实现地下水流场动态和溶质迁移规律的精确解析,为水资源优化配置提供科学支撑;工程地质领域逐步构建起多源信息整合的地质灾害预警模型,融合InSAR遥感监测与三维地理空间分析技术,提高重大工程全生命周期地质风险防控能力。环境地质研究深化气候变化与地质环境互馈机制探索,系统研究海岸带侵蚀、多年冻土消融等区域性环境地质问题,同步推进受损地质单元生态修复技术创新,依靠地质工程与生态治理协同路径,促进人地系统协调可持续发展,推动学科理论与新时代生态文明建设需求深度契合^[2]。

3 水工环地质理论在地质灾害评估中的应用

3.1 滑坡灾害评估

水工环地质理论在滑坡灾害评估中构建起多维分析框架,水文地质研究重点揭示地下水运移规律及其赋存状态,地下水位抬升增大岩土体饱和容重,会引发孔隙水压力激增导致抗剪强度劣化。当监测到地下水位异常波动时,即可建立灾害预警阈值;工程地质聚焦于系统解析岩土体结构特征,例如存在密集节理裂隙的地层在重力作用下易形成优势渗流通道,而邻近活动断层的斜坡体则因构造应力扰动呈现渐进式变形特征,依靠三维激光扫描与岩芯取样等综合勘探手段,可精准刻画潜在滑移面的空间展布形态^[3]。环境地质评估需统筹考虑工程扰动与自然应力的耦合效应,如道路开挖形成的临空面、堆载工程引发的附加应力,配合极端降雨事件或地震动荷载,均可能打破边坡力学平衡,凭借融合极限平衡理论与数值仿真技术,构建基于多源数据的风险评估模型,形成分级预警与工程治理的决策支持系统。

3.2 泥石流灾害评估

水工环地质学科体系为泥石流灾害(如图1所示)机理研究提供了多维分析框架,从水文地质学视角切入,暴雨引发的径流效应构成泥石流运动的能量基础,需凭借流域降水时空分布特征、径流模数等参数的量化分析,推演潜在洪峰流量值以验证流体动力学条件。工程地质调查方面,重点考察沟谷地貌特征参数与岩土力学属性,其中沟床纵比降与岸坡几何形态较大影响碎屑物质启动阈值,而风化破碎的岩土堆积体则构成物源储备的空间载体,需借助高精度地形测绘与岩土采样技术建立物源运移三维模型。在环境地质维度,系统评估人类工程干预强度与植被固坡效应,坡地垦殖、露天采矿等扰动行为对表层土体稳定性的破坏机制,依靠多学科参数的耦合分析,可构建基于临界雨量-物源储备-地

形因子的灾害风险评估矩阵,实现泥石流致灾强度与影响范围的动态预测,为科学制定风险防控预案提供地质依据^[4]。



图1 泥石流灾害

3.3 地面沉降灾害评估

水工环地质学科体系在地面沉降风险评估中实现系统性整合应用,水文地质研究聚焦于地下水开采与地层形变的动态关联机制,长期超量抽取地下水引发含水层系统失稳,表现为孔隙水压力降低与有效应力作用提高的连锁反应,诱发渐进式地面沉降,科研团队依靠长期监测地下水动态、解析含水层空间结构特征,构建多要素耦合数值模型以预测沉降发展趋势^[5]。工程地质领域重点解析岩土体压缩特性与荷载分布的空间耦合效应,高含水量淤泥质土层在建筑荷载作用下易产生塑性变形,城市高层建筑群与地下空间开发形成的叠加荷载较大加剧沉降风险,基于原位静力触探与室内固结试验获取的岩土参数,可精准划分区域沉降敏感等级;环境地质视角则关注城市扩张过程中土地利用方式的演变影响,无序开发建设导致地下水文系统与岩土应力场产生不可逆改变。依靠融合多源监测数据与InSAR形变反演技术,建立三维沉降预警模型,为优化城市规划布局与风险防控提供科学依据。

3.4 岩溶塌陷灾害评估

岩溶塌陷灾害评估中,水文-工程-环境地质综合理论构建了多维度的研究框架。从水文地质视角,重点揭示地下水动力特征及其溶蚀机制,活跃的岩溶水循环系统借助持续侵蚀洞穴与管道结构,当潜蚀作用导致洞顶岩土体力学平衡破坏时,极易触发地面塌陷,依靠长期观测地下水位波动与径流量变化,结合解析渗流场动态特征,可有效识别高风险区域。工程地质研究方面,采用地质雷达探测和岩芯取样技术,系统分析覆盖层厚度、土洞空间展布格局及岩体完整性系数,覆盖层抗剪强度与溶洞顶板跨径比值是预测塌陷规模的关键参数,环境地质要素则聚焦人类工程扰动效应,如矿山排水或建筑工程荷载引发的渗透压力剧变,这些活动借助改变岩土体应力-渗流耦合关系加速灾害进程^[6]。在此基础上,借助构建多源信息融合的预测模型,将地质脆弱性指数与人类活动强度进行空间叠加分析,形成分级分区的风险管控方案。

4 水工环地质理论在地质灾害评估中的发展分析

4.1 新技术应用趋势

地质灾害评估领域正经历着技术革新推动下的范式转型,水工环地质理论在工程实践中的应用维度不断拓展。以遥感技术为例,其应用场景已从传统的地质解译升级为动态风险预警系统,借助高分卫星影像的空间覆盖优势,研究者可精准捕捉区域性斜坡形变场与泥石流沟谷的微地貌演化规律。以西南山区为例,凭借解译 NDVI 植被指数异常区,结合 InSAR 形变监测数据,可构建滑坡隐患点识别模型;地理信息系统已突破单纯的数据可视化功能,依托多源异构数据的空间耦合分析,实现了地质灾害易发性分区从静态评估到动态推演的跨越式发展。地面监测网络与天基观测系统正形成立体监测体系,北斗卫星导航系统毫米级的位移监测精度,配合无人机倾斜摄影建立的厘米级实景三维模型,使地质灾害评估从宏观趋势判断延伸至微观形变解析,实现评估精度与响应速度的双重突破^[7]。

4.2 多尺度与多过程耦合评估发展

地质灾害的形成机理呈现跨尺度特征,不同层级地质单元间的动态响应与多物理场耦合作用构成其核心科学问题,研究需构建从岩土介质微观力学响应到区域地形演化的系统性分析框架:微观层面依托室内三轴试验揭示不同围压条件下岩土体破裂演化规律,宏观视角则需整合构造应力场与地貌发育特征解析灾害空间分异机制。当前研究范式正从单一过程分析转向多要素协同演化研究,强调水-岩-气多系统交互作用机理。以降雨为例,其凭借孔隙水压效应弱化岩土抗剪强度,可诱发区域性地下水位波动改变斜坡稳定性,而构造活动带的地震扰动造成岩体损伤累积,可能重塑区域水系网络影响物质运移路径^[8]。采用多场耦合建模技术可真实再现各要素的时空关联性,提升灾害风险评估的准确度与可信度,为构建基于临界状态判识的预警体系提供理论支撑。

4.3 服务社会与可持续发展导向

当前水工环地质理论在地质灾害防治领域的实践正朝着社会服务效能提升与环境协调发展的方向深化拓展。从实际应用来看,灾害风险评估的科学性与实效性已成为保障民生安全与社会治理的关键技术支撑,精准的灾害风险预测为

新城规划、重大工程选址提供决策依据,更能从源头上规避盲目开发带来的安全隐患,如某开发区在选址阶段凭借三维地质建模技术识别出潜在滑坡体,及时调整建设方案避免了数亿元经济损失。生态文明理念的融入促使灾害评估体系突破传统模式,开始系统考量工程活动与生态系统的互馈机制,构建科学的防治体系时,需要评估人类工程对地质环境的扰动强度,也要重视自然生态系统的自我修复能力,例如某流域综合治理项目依靠建立地质灾害-生态系统模型,创新性地将生物固坡与工程护岸相结合,保障河道安全又恢复了滨水生态廊道。这种技术融合路径有效破解防灾减灾与生态保护的对立难题,为区域可持续发展提供了可复制的实践模式。在喀斯特地貌区实施的岩溶塌陷监测预警工程,借助动态监测与植被恢复的协同推进,提升了地质环境的承载能力。

5 结语

综上所述,当代水工环地质理论用于地质灾害评估时呈现出优势,它融合多学科知识以及先进技术,实现了灾害风险的精准预测以及有效防控。随着研究深入以及新技术应用,该理论于地质灾害评估中的作用会更突出。在不断的发展过程中要持续强化水工环地质理论研究,促使其与新技术、新方法更好地融合,为地质灾害防治以及区域可持续发展提供更坚实的科学支撑。

参考文献

- [1] 刘国生,王金龙. 矿山水工环地质勘查在地质灾害危险评估及治理措施中的应用[J]. 新疆有色金属, 2024, 47 (06): 38-39.
- [2] 尹翔龙. 当代水工环地质及岩土工程理论体系运用和发展研究[J]. 世界有色金属, 2021, (20): 187-188.
- [3] 王守彪. 当代水工环地质及岩土工程理论体系应用与发展[J]. 冶金与材料, 2021, 41 (03): 161-162.
- [4] 韦军. 矿山工程施工中水工环地质及岩土工程理论体系的应用与发展[J]. 世界有色金属, 2021, (11): 153-154.
- [5] 郑拓飞,高桂珍,毕研发. 当代水工环地质及岩土工程理论体系应用与未来趋势[J]. 民营科技, 2015, (10): 175.
- [6] 王伟. 水工环地质及岩土工程理论体系应用与发展[J]. 广东科技, 2014, 23 (10): 154+156.
- [7] 陈政治. 当代水工环地质及岩土工程理论体系应用与发展[J]. 工程勘察, 2010, (S1): 739-746.