

调查时(设备安装前),后缘裂缝清晰可见。该滑坡周界清晰,主滑方向为 81° ,滑坡体长约40m,宽约40m,厚约2-4m,平面投影面积约 $0.16 \times 104\text{m}^2$,滑动体积约 $0.4 \times 104\text{m}^3$;滑体主要物质由填土及第四系残坡积土体组成,下伏侏罗系下统漾江组(J1?)强风化紫红色泥岩夹砂岩;填土及第四系残坡积层结构松散,孔隙较大,密实度差,推测滑面为岩土接触面。该滑坡属小型推移式土质滑坡。

根据《地质灾害专群结合监测预警技术规范》中滑坡监测点位布设原则,结合滑坡变形模式和地貌特征,本滑坡的监测以变形监测为主,沿主滑方向布置1条监测线,监测线布置1套三参数GNSS地表位移监测站,在滑坡体外围稳定地段布设雨量计和GNSS基站,并在农户分布较集中区域布设无线预警广播站。



图1 图2 2022年7月31日现场实地复核滑坡变形情况

3.3 预警发布处置响应

3.3.1 监测系统平台预警过程

①预警信息发布

监测预警平台2022年4月15日至8月11日雨量、地表位移、变形速率及多参数综合分析的监测曲线。

通过监测数据分析得知,2022年5月份以来,该隐患点所在区域降雨量开始逐渐增多,呈现出多轮强降雨;每一轮的强降雨,都会带来地表位移、倾角、加速度都会出现新的变化;2022年8月11日14:42:03,其累计水平位移是982.2mm,累计垂直位移是855.5mm,累计合位移是1302.3mm;其变形速率在8月8日急剧加快。曲线变化与

监测员反馈滑坡变形发生时间及现场量测的裂缝宽度基本一致,经现场踏勘复核人员综合分析研判,该滑坡处于不稳定状态,发现再次滑动的可能性大,现场紧急撤离人员2户8人,属成功预报。^[4]

巍山县彝宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡变形监测		云南省大理州漾濞县地震台	
监测点信息	日期	开始日期	结束日期
监测点信息	序号	报警时间	报警等级
监测曲线	1	2022-08-11 14:42:03	红色预警
综合分析	2	2022-08-10 12:30:56	红色预警
初步报警	3	2022-08-09 10:20:43	红色预警
预警判断	4	2022-08-08 09:13:05	红色预警
雨量、沉降报警判断	5	2022-08-05 08:38:56	红色预警
预警模型	6	2022-08-05 01:49:42	黄色预警
预警发布通道	7	2022-08-04 06:37:05	红色预警
多媒体资料	8	2022-08-03 04:45:36	红色预警
企鹅圈	9	2022-08-02 02:26:34	红色预警
三维模型	10	2022-08-01 00:36:04	红色预警
	11	2022-07-31 22:41:29	黄色预警

图3 监测系统平台预警发布

3.3.2 现场处置响应

收到预警信息后,总承建单位专业监测技术人员及时与现场群测群防员联系并通知其对现场进行了复核,同时安排专人对监测数据进行实时跟踪。群测群防员结合总承建单位开展的地质灾害专群结合监测预警培训知识,对拉哈咱滑坡现场进行初步核实,发现裂缝加宽出现险情时,立即上报村委会、乡政府、巍山县自然资源局及大理州自然资源和规划局。各级防灾责任单位收到险情通报后,按照云南省预警信息发布与处置流程,自然资源主管部门及时组织专家队伍对现场进行综合分析研判,最终成功预报,切实避免了人员伤亡和财产损失。

4 结语

专群结合监测预警体系建设应坚持“以人为本,科技防灾”的原则,在完善现有群测群防的基础上统筹兼顾技防与人防,加强群测群防员专群结合监测预警体系知识培训,动态优化和调整预警阈值,挑选监测精度适当、运行可靠、功能简约、性价比高、安装便捷、易于维护、可实现智能预警且易于推广普及的监测设备进行实时监测,收到预警信息后及时分析研判,按照预警发布流程进行有效处置,切实降低地质灾害风险。

参考文献

- [1] 中华人民共和国自然资源部.地质灾害专群结合监测预警技术规范[S].
- [2] 云南省地质环境监测院.云南省地质灾害防治“十四五”规划(2021—2025年)[R].云南省自然资源厅,2022.
- [3] 云南省地质灾害监测预警体系建设2021-2023年度总结报告[R].云南省地质环境监测院,2022.
- [4] 姜跃斌.巍山县彝宝山乡大龙潭村委会拉哈咱组滑坡监测专报[R].云南地质工程第二勘察院有限公司,2022年8月.

Geological disaster prevention and control and safety assessment of water conservancy, hydropower and environmental engineering

Qiang Fu

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

Abstract

Geological disaster prevention and the safety assessment of hydro-environmental engineering are closely related, serving as vital components in ensuring construction safety and ecological stability. Geological disasters are characterized by concealment, sudden occurrence, and regional concentration, often posing risks such as structural damage, seepage, and landslides to hydro-environmental projects. This paper explores the impact of geological conditions on engineering safety based on the types and formation mechanisms of geological disasters and establishes a scientific prevention technology framework and safety assessment model. By comprehensively considering geological structures, hydrological conditions, engineering characteristics, and human activities, a multidimensional risk identification and early warning mechanism is constructed to enhance the overall disaster prevention and mitigation capacity of projects. The study aims to provide scientific support for the planning, design, construction, and operation stages of hydro-environmental engineering, achieving the dual goals of project safety and ecological harmony.

Keywords

Geological disaster prevention; Hydro-environmental engineering; Risk assessment; Safety analysis; Ecological stability

地质灾害防治与水工环工程安全性评估

付强

云南地质工程第二勘察院有限公司，中国·云南 昆明 650218

摘要

地质灾害防治与水工环工程安全性评估密切相关，是保障工程建设安全与生态环境稳定的重要环节。地质灾害具有隐蔽性、突发性和区域性特征，易对水工环工程造成结构破坏、渗漏和滑坡等风险。本文从地质灾害的类型与形成机制出发，探讨地质环境对水工环工程安全的影响，构建科学的防治技术体系与安全性评估模型。通过综合考虑地质构造、水文条件、工程特征及人类活动等因素，建立多维度的风险识别与预警机制，提升工程整体防灾抗灾能力。研究旨在为水工环工程规划、设计、施工及运行阶段提供科学依据，实现工程安全与环境协调发展的双重目标。

关键词

地质灾害防治；水工环工程；风险评估；安全性分析；生态稳定

1 引言

地质灾害的频发对工程建设安全构成了持续威胁，尤其在水利、水资源和环境工程领域，其影响范围广、破坏力强。随着我国基础设施建设向山区、河谷及生态脆弱区推进，地质灾害与水工环工程之间的风险耦合问题愈加突出。地质条件复杂的地区往往伴随滑坡、崩塌、泥石流、地面沉降等灾害，对工程结构稳定和运行安全造成潜在威胁。水工环工程由于涉及地表水、地下水及地质结构的多重交互，对地质安全的依赖程度更高。为此，构建科学的地质灾害防治体系

与工程安全性评估模型，不仅能够提高防灾减灾水平，还能为工程选址、设计与管理提供决策支持，对推动生态安全与工程可持续发展具有现实意义。

2 地质灾害防治的基础理论与技术体系分析

2.1 地质灾害的成因类型与分布特征

地质灾害是地壳运动、气候变化和人类工程活动共同作用的结果，具有复杂的地质成因和显著的区域性特征。地震带活动频繁区、岩溶发育区和软土沉积区是主要分布区域，灾害类型包括滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷和地裂缝等。地质构造的断裂带活动会改变地应力场，引发地表不稳定现象，气候条件变化导致的强降雨或冻融循环进一步加速地质灾害发生。地貌类型与岩性结构的差异决定了灾害的空间分

【作者简介】付强（1996-），男，中国云南景洪人，本科，助理工程师，从事水工环地质研究。

布格局,如山地地带滑坡密度大于平原区两倍以上。地质灾害的形成过程呈现突发性与渐进性并存的特征,空间分布具有聚集效应,受地形坡度、岩层倾向、地下水渗流及工程扰动等多因素控制。

2.2 地质灾害防治的基本原则与技术路线

地质灾害防治遵循预防为主、综合治理和科学规划的基本原则,以减少灾害发生概率和降低工程风险为核心目标。防治技术路线包括灾害识别、风险评估、防护设计、施工治理及监测反馈五个阶段。风险识别阶段通过地质调查和遥感分析获取地质信息,形成风险分布图;评估阶段应用数值模拟与层次分析法计算风险等级;设计阶段根据稳定性分析确定防护结构参数;施工阶段选取抗滑桩、锚固、排水、加固等工程措施;监测阶段利用 GNSS 与 InSAR 技术进行位移监控,实现动态预警与修正。该路线实现从灾害成因知到全过程管理的闭环控制,提升防治工作的科学性与时效性。

3 水工环工程的地质灾害风险特征分析

3.1 水工环工程建设中的地质灾害敏感区识别

水工环工程地质灾害敏感区识别是工程选址与安全设计的重要环节,通过地质勘查、遥感监测和地质建模综合确定高风险区域。不同地貌类型的工程具有不同的敏感性特征,山区水利工程多受滑坡、崩塌等重力灾害影响,平原与滨河地带则以地面沉降、管涌及渗漏为主。利用高分辨率遥感影像与数字高程模型可识别潜在灾害地貌单元,通过空间叠加分析计算敏感度指数,敏感区通常占工程区总面积的 25% 至 40%。地质构造破碎、地下水位波动频繁、土体结构松散等区域被划定为重点监测区。敏感区识别结果为工程防灾设计与安全评估提供空间基础数据支撑。

3.2 水文地质与工程地质条件对风险的影响

水文地质与工程地质条件直接决定水工环工程的稳定性与耐久性。地层岩性、地下水动态及孔隙结构对地质灾害风险具有控制作用。地下水位上升引发的渗透破坏使边坡稳定系数下降约 15%,高含水砂层易产生液化风险。岩体节理密度增加、岩性软弱化及地应力集中会导致边坡滑动或坝体裂缝扩展。工程施工扰动改变原有地应力平衡,诱发地表塌陷与渗流变形。通过钻孔取样与原位测试可获取地层参数,采用 FLAC3D 或 PLAXIS 等数值模型分析地应力与渗流耦合效应,识别潜在不稳定区域。合理控制地下水渗流路径与基岩结构调整是降低风险的重要手段。

4 地质灾害防治技术在水工环工程中的应用

4.1 地质灾害防治工程措施与施工技术

地质灾害防治工程措施在水工环工程中应用广泛,涵盖排水、支挡、加固及地基改良等多项技术。排水措施通过暗沟、渗井等结构降低孔隙水压力,边坡稳定系数提升 0.2 至 0.3;支挡结构如重力式挡墙、抗滑桩可有效抵抗滑动力;

锚索加固提高岩体整体抗剪强度 10% 以上。软弱地基区域采用高压注浆与 CFG 柱复合处理,改善承载力与抗变形性能。施工过程中注重信息化监测,采用三维激光扫描与变形监控仪同步获取数据,实时调整支护参数,确保防治工程与主体结构的协调性。通过科学选型与分区治理,实现结构安全与地质稳定的双重保障。

4.2 监测技术与信息化管理在防治中的作用

现代监测技术为地质灾害防治提供数据支撑与决策依据。GNSS 实时监测、InSAR 形变反演、光纤传感与无人机影像解译构成多层监测体系,可实现毫米级精度的位移识别。信息化管理平台集成数据采集、处理与预警功能,通过云端传输实现多部门协同。监测数据与气象、水文、地质信息融合,形成灾害动态数据库,用于趋势分析与风险预测。信息系统建立分级预警机制,根据阈值自动触发响应,缩短应急处置时间 30% 以上。该模式改变了传统静态监测方式,形成“感知—分析—决策—反馈”闭环管理,提升防治工作的智能化与精准化水平。

4.3 综合防治与生态修复技术的协同应用

综合防治与生态修复技术的协同应用是实现水工环工程可持续发展的重要方向。工程治理措施与生态修复相结合,可在稳定地质环境的同时恢复生态功能。植被护坡、生态格构与生物固土技术降低地表径流冲刷强度 20% 以上,改善土体结构。生态排水沟与透水护岸在防渗的同时促进地下水循环。综合治理体系中,硬质防护与软性修复形成互补关系,兼顾防灾与景观。通过生态评估模型计算修复后生境质量指数提高 0.15,体现出防治与生态共赢效益。该协同模式有助于构建“工程安全—生态稳定—环境友好”的复合型防治格局,为水工环工程长期运行提供系统保障。

5 水工环工程安全性评估体系构建

5.1 安全性评估指标体系与分级标准

水工环工程安全性评估指标体系以地质稳定性、结构完整性、水文响应性及运行可靠性为核心,通过多维度指标建立量化体系。地质环境指标包括岩体完整性、地层抗剪强度及地下水动态;工程结构指标涵盖坝体应力分布、地基沉降速率、渗流强度及边坡变形量;运行安全指标涉及监测精度、应急响应能力及设备完好率。各项指标采用定量化评分法,权重分配依据层次分析法结果确定,权重区间在 0.05 至 0.25 之间。安全等级划分为 I 至 IV 级, I 级代表结构稳定、风险极低, IV 级为高风险状态。评估结果用于指导风险分区管理、工程加固设计与运行维护策略,形成科学、系统的安全性评估标准体系。

5.2 地质灾害风险与工程安全的耦合分析方法

地质灾害风险与工程安全存在显著的时空耦合关系,其分析方法以地质环境数据、结构应力参数及动态监测信息为基础,建立多源融合模型。通过 GIS 空间分析与地质灾