

古滑坡复活的工程地质机制与预警

查 奎

新疆维吾尔自治区地质勘查管理中心, 新疆 乌鲁木齐 830001

[摘要]古滑坡复活是山区常见的地质灾害问题, 受多重内外动力因素共同影响, 具备隐蔽性强、演化周期长、突发性突出的特点, 极易对区域工程建设、基础设施运行以及周边群众生命财产安全造成严重威胁。开展古滑坡复活工程地质机制与预警方法研究, 具备重要的理论价值与工程实践意义。本文系统剖析古滑坡复活的内部地质基础与外部诱发动力因素, 其中降雨入渗、区域地震活动、各类人类工程扰动等均会不同程度改变岩土体力学性质与地层应力状态, 直接影响滑坡整体稳定性。同时探究依托地质条件与实时监测数据构建的预警模型及技术方法, 通过系统性的机理分析与预警体系研究, 可为古滑坡复活灾害的防治管控提供可靠理论支撑, 有效降低地质灾害风险, 切实保障山区工程建设与群众生命财产安全。

[关键词]古滑坡复活; 工程地质机制; 预警模型; 内外动力因素

DOI: 10.64635/ja.2026.1235

中图分类号: P642.22

文献标识码: A

Engineering Geologic Mechanism and Early Warning of Ancient Landslide Revival

Zha Kui

Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Exploration Management Center, Urumqi, Xinjiang 830001, China

Abstract: Ancient landslide resurgence is a common geological disaster problem in mountainous areas. It is influenced by multiple internal and external driving factors, featuring strong concealment, long evolution cycle, and prominent suddenness. It is highly likely to pose a serious threat to regional engineering construction, infrastructure operation, and the safety of the lives and property of surrounding people. Conducting research on the engineering geological mechanism and early warning methods of ancient landslide resurgence has significant theoretical value and engineering practical significance. This paper systematically analyzes the internal geological foundation and external inducing driving factors of ancient landslide resurgence. Factors such as rainfall infiltration, regional seismic activities, and various human engineering disturbances will Different degrees alter the mechanical properties of rock and soil and the stress state of the strata, directly affecting the overall stability of the landslide. At the same time, it explores the early warning models and technical methods based on geological conditions and real-time monitoring data. Through systematic mechanism analysis and early warning system research, it can provide reliable theoretical support for the prevention and control of ancient landslide resurgence disasters, effectively reduce geological disaster risks, and effectively ensure the safety of mountain engineering construction and the lives and property of the people.

Keywords: Ancient landslide reactivation; Engineering geological mechanism; Early warning model; Internal and external driving factors

引言

古滑坡长期处于休眠稳定状态, 但在内外地质条件耦合扰动的特定工况下极易发生复活活动, 进而诱发突发性强、破坏性大的地质灾害。随着山区各类基建工程持续推进, 人类活动对原始地质环境的扰动持续加剧, 古滑坡复活隐患愈发突出, 逐渐成为地质灾害防控领域的重点研究问题。深入探究古滑坡复活的工程地质机制, 构建科学完

善、精准高效的预警防控体系, 是有效规避滑坡风险、减少灾害损失的核心路径。

1 古滑坡复活概述

1.1 古滑坡定义与特征

古滑坡是地质历史时期由于地壳运动、气候变化等因素引起滑坡地质体形成, 并经过长时间地质作用逐渐趋于稳定的特殊地质地貌形态。古滑坡一般都具有完整的滑坡

体、滑动面、滑坡后壁和前缘鼓丘等典型的地貌结构,岩土体结构松散破碎,内部有许多原生裂隙和软弱结构面,地质稳定性比原生完整地层要低得多。不同于新生滑坡,古滑坡长期处于相对平衡的休眠状态,地表植被覆盖良好、地形趋于平缓,隐蔽性很强,常规地质勘察很难准确判断其隐患属性,在外界条件的干扰下很容易破坏平衡状态,再次滑动复活,成为山区工程建设中一种隐蔽性较强的地质灾害隐患。

1.2 古滑坡复活的危害

古滑坡复活具有突发性、隐蔽性、破坏性等特点,一旦出现复活滑动,会给区域工程建设、生态环境和群众安全带来诸多严重危害。复活后的滑坡体岩土位移动、影响范围大,会直接毁坏山区道路、桥梁、管线、建筑等各种工程建筑物,破坏区域的基础设施体系,造成严重的工程经济损失。同时滑坡滑动会破坏地表植被、土层结构,造成区域水土流失、地形地貌破坏等,加重生态环境退化。

1.3 研究古滑坡复活的意義

随着山区城镇化建设、交通工程和水利工程的不断推进,人类工程活动给山地地质环境带来的扰动越来越大,古滑坡复活灾害频发,已经成为制约山区工程建设和区域安全发展的重大隐患。系统开展古滑坡复活工程地质机制及预警研究,可以准确地确定出古滑坡复活的诱发规律、演化过程和失稳机理,弥补隐蔽性滑坡灾害研究理论空白^[1]。同时可以给山区古滑坡隐患识别、风险研判、灾害防控提供科学的理论依据和技术支持,提高古滑坡灾害的预判和治理能力,规避工程建设地质风险,保障山区工程安全、生态安全和人居安全,促进山区地质环境与工程建设协同可持续发展。

2 工程地质机制分析

2.1 内部地质因素

内部地质因素是古滑坡能够发生复活滑动的基本条件,决定着滑坡体先天的稳定性以及失稳的可能性。古滑坡体岩土组分复杂,长期地质运动造成土体松散、岩体破碎,整体抗剪强度和承载能力大幅度降低,内部发育的软弱夹层、滑动带结构质地松软,是滑坡失稳的主要薄弱环节。滑坡区地层构造复杂,断层、节理、裂隙发育,破坏了岩土体的完整性、连续性,给水体入渗、岩土软化提供天然通道。同时古滑坡区多有特殊岩土分布,岩土遇水易软化、崩解,力学性能不断下降,使本来处于休眠平衡状态的滑坡体一直存在失稳滑动的内在地质隐患^[2]。

2.2 外部动力因素

外部动力因素是促使古滑坡复活的直接原因,它会破坏滑坡体原有的应力平衡状态,从而引发地质体的失稳滑动。自然因素中,大气降水是最重要的诱发因素,雨水不断入渗到滑坡体内部,会使岩土体自重增大、软化软弱结构面、减小岩土抗滑力,使滑坡体失去平衡。河流冲刷、坡面侵蚀会不断淘刷滑坡前缘支撑土体,减小滑坡体抗滑约束。人为工程活动的扰动作用越来越大,山区开挖填筑、工程爆破、桩基施工、场地平整等作业,会直接改变滑坡体受力结构,扰动地层应力分布,破坏滑坡体原有稳定状态,快速诱发古滑坡复活失稳。

2.3 各因素相互作用机制

古滑坡复活不是单一因素起作用造成的,是内部地质基础和外部动力扰动相互叠加、共同起作用的过程。先天具有脆弱岩土结构、软弱滑动带等内部因素的滑坡,在外部作用下容易出现复活现象,因此它对外界的影响比较敏感,而且有着很强的潜在破坏性。降水入渗、工程扰动等外部因素不断地对滑坡体进行作用,不断破坏岩土体的结构、衰减岩土力学性能、扰动地层的应力平衡,不断加大内部地质缺陷造成的不稳定隐患^[3]。内外因素长期耦合叠加,使滑坡体变形位移不断增大,原有的裂隙不断扩展贯通,最后达到临界稳定状态,造成古滑坡整体或者局部复活滑动。

3 监测技术与数据

3.1 常用监测方法

目前古滑坡监测依靠岩土工程和地质灾害监测技术的发展,形成起了多维度、立体化的常态化监测体系,符合古滑坡隐蔽性、缓变性发育的特点。常用的监测方法有地表位移监测、深部位移监测、孔隙水压力监测、降雨量监测、岩土应力监测等,从各方面来反映滑坡体动态变化的特点。地表位移监测可以准确掌握滑坡体表面变形的趋势,深部位移监测可以探明地下滑动带的活动情况,水文监测可以及时了解水体对滑坡体的软化扰动作用。各种监测方法互相补充、共同作用,可以对古滑坡变形、水文、应力等主要指标实施全域动态监测。

3.2 监测数据采集与处理

古滑坡监测数据采集以全域覆盖、连续稳定、精准高效为原则,依靠布置的各种监测设备,全天候不间断地对滑坡位移、水文参数、环境气象、岩土应力等各方面的原始数据进行采集,保证数据的连续性和完整性。原始监测数据存在噪声干扰、数值波动、异常偏差等问题,需要利

用专业的数据处理技术对数据进行筛选、剔除、校准、拟合等一系列的精细处理,从而消除无效的异常数据,提高数据的精度。同时对处理过的规范化数据进行分类归档、时序梳理和趋势汇总,建立完整的滑坡监测数据库,给后续机制分析、趋势研判和预警建模提供精准有效的数据支持。

3.3 数据对机制研究的作用

监测数据是认识古滑坡复活演化机制、判断失稳规律的主要依据,可以清楚地反映出滑坡体从缓慢变形到加速失稳的过程。通过时序监测数据的对比分析,能很好地确定降水、工程扰动等外界因素和滑坡变形位移之间存在怎样的关系,找出各种原因造成滑坡复活的影响程度。依靠深部位移和应力监测数据,可以准确地判定滑动带的位置,找到岩土体变形破坏的途径,揭示内外因素耦合导致的滑坡失稳发展过程。常态化的监测数据可以给古滑坡复活机制的研究赋予量化的支撑,较好地克服了传统理论剖析存在的主观性短处,加强了机制探究的科学性以及精确度。

4 预警模型与方法

4.1 基于地质条件的预警

根据地质条件来制定预警的方法,把古滑坡的先天地质禀赋作为主要依据,依靠区域地质勘察结果来进行风险预估和预警工作。根据滑坡体岩土结构、地层分布、软弱夹层发育状况、地质构造特点等基础条件,联系区域地形地貌、水系分布等固有的要素,综合判定古滑坡的先天地稳定程度和复活风险潜力。根据地质条件的好坏来划分不同的风险等级,对岩土破碎严重、软弱结构面发育、临空条件好的高风险滑坡区划出预警管控范围。该种预警方式主要针对源头风险进行识别,可以提前对古滑坡隐患做出预判,为常态化的管控和预防性治理提供基础^[4]。

4.2 基于监测数据的预警

根据监测数据的预警是依靠动态监测数据变化特点来完成古滑坡复活动态预警的主要方法,具有实时性、准确性、动态性等明显的优势。该预警方法把滑坡位移速率、变形增量、孔隙水压力改变、应力起伏这些主要的监测指标当作研判根基,依靠时序数据的改变趋向来区分滑坡缓慢变形、匀速变形、加快变形这些不同的演变时期。根据设定好的分级预警阈值,可以及时发现数据的异常波动和突变情况,当监测指标超过安全阈值的时候,就会立即发出相应的等级预警信号,可以准确地找到古滑坡失稳的前兆,从而提前做好动态预警和及时预

判的处置工作。

4.3 预警模型的验证与优化

预警模型建立之后要经过多场景、多时段的数据验证,考察模型的预警精确度、适用性和稳定状况,保证模型可以契合古滑坡复活的实际演化规律。依靠历史滑坡变形数据、灾害案例数据以及现场实测监测数据,对模型的预警结果展开对比校核,找出模型存在的预判偏差、阈值不合理、适配性不足等问题。根据不同的地质环境、不同的诱发因素,对模型算法进行针对性的改进,提高预警阈值,完善研判逻辑,修正模型系统的误差。不断改进提高预警模型的准确性、通用性,创建出适合于山区古滑坡灾害的高效精准预警系统。

5 对策与建议

5.1 工程防治措施

根据古滑坡复活的发育特点和失稳机理,需要按照不同的地质条件采取相应的工程防治措施,从源头上提高滑坡体的整体稳定性。对滑坡体松散破碎的滑坡,用锚固、抗滑桩、挡土墙等支护加固工程来约束岩土体位移变形,提高滑坡体抗滑稳定性。完善滑坡区截排水工程,设置截水沟、排水廊道、疏水钻孔等设施,迅速排走坡面雨水和地下水,减小水体入渗对岩土体的软化影响。对滑坡前缘、后缘以及裂隙发育地段实施回填封堵、坡面夯实整治,修补破损岩土构造,阻止变形扩散之路,依靠多种措施的工程办法来完全抑制古滑坡复活失稳的趋势。

5.2 预警系统建设

常态化预警系统创建是达成古滑坡灾害主动防控、提早处置的重要手段,要搭建起全域覆盖、智能高效的综合预警体系。根据古滑坡的分布特点和风险等级来科学布置智能化监测设备,使高风险区的监测得到全面覆盖,保证变形、水文、气象等各类数据可以实时地采集并传输出去。整合监测数据、地质数据、历史灾害数据创建一体化数据平台,改善分级预警模型,完备数据分析、风险预估、预警传达全过程的机制^[5]。打通部门、乡镇、点位信息传递渠道,保证预警信号快速传达、及时应对,创建起监测、研判、预警、处置一体化的智能化防控体系,提高灾害防控精细化程度。

5.3 公众宣传与应急响应

健全公众宣传和应急响应机制,是筑牢古滑坡灾害群防群控防线、减小灾害损失的保证。常态化开展地质灾害科普宣传活动,向山区群众普及古滑坡复活前兆特征、灾害危害、避险常识、防控知识,提高基层群众对地质灾害

的识别能力、自我保护意识。健全古滑坡灾害应急处置预案,明确灾害发生后人员转移、隐患管控、抢险救援等各方面的工作流程和责任分工。定期开展基层应急演练,提高属地工作人员和群众的应急处置能力,完善灾害上报、快速响应、联动处置机制,形成专业防控和群防群控相结合的灾害治理格局,最大程度上减少灾害造成的人员和经济损失。

6 结束语

古滑坡复活工程地质机制复杂,预警工作具有困难性。对古滑坡复活机理进行研究并不断改进预警方法,可以有效地降低滑坡灾害风险。未来要加强监测技术研究,完善预警模型,提高预警的准确性、及时性。工程防治加公众宣传,建立综合防治体系,保证工程建设和人民生命财产安全。

【参考文献】

- [1]林灿阳.古滑坡辨识与复活机理研究[J].工程建设,2025,57(11):88-94.
- [2]仇海亮.黄角树古滑坡工程地质特征与“平推式”发生机制研究[J].山西建筑,2025,51(13):64-67.
- [3]许迪,邵明利.上松线古滑坡机理分析与自动化监测预警方案应用研究[J].江苏建材,2025(2):130-132.
- [4]黄友鹏.高原河谷区特大型古滑坡变形演化机制与预警预报研究[D].昆明理工大学,2024.
- [5]刘筱怡.基于多元遥感技术的古滑坡识别与危险性评价研究[D].中国地质科学院,2020.

作者简介:查奎(1993.06—),男,汉族,甘肃天祝人,本科学历,工程师,研究方向为水文地质、工程地质、环境地质。