

滑坡灾害的地质机理与工程防控技术研究

韦秋安¹ 方凡辉²

1. 广西壮族自治区地质环境监测站, 广西 南宁 530000
2. 防城港市地质灾害防治预警预报中心, 广西 防城港 538000

[摘要] 滑坡灾害的发生是自然因素与人为活动共同作用的结果。降水、地震等自然现象常常加剧滑坡的发生, 而采矿、建筑等人类活动则进一步破坏了地质结构。随着城市化进程的加速, 滑坡防治工作面临着更加复杂的挑战。现如今, 滑坡防控技术已经逐渐从传统的支护加固方法转向智能化监测与综合治理方向, 但这一领域仍然需要持续的创新与完善。

[关键词] 滑坡; 地质机理; 工程防控技术

DOI: 10.33142/ucp.v1i6.15207 中图分类号: P642.22 文献标识码: A

Research on Geological Mechanism and Engineering Prevention and Control Technology of Landslide Disaster

WEI Qiu'an¹, FANG Fanhui²

1. Guangxi Geological Environment Monitoring Station, Nanning, Guangxi, 530000, China
2. Fangchenggang Geological Disaster Prevention and Control Early Warning and Forecasting Center, Fangchenggang, Guangxi, 538000, China

Abstract: The occurrence of landslide disasters is the result of the combined effects of natural factors and human activities. Natural phenomena such as precipitation and earthquakes often exacerbate the occurrence of landslides, while human activities such as mining and construction further damage geological structures. With the acceleration of urbanization, landslide prevention and control work is facing more complex challenges. Nowadays, landslide prevention and control technology has gradually shifted from traditional support and reinforcement methods to intelligent monitoring and comprehensive management, but this field still needs continuous innovation and improvement.

Keywords: landslide; geological mechanism; engineering prevention and control technology

引言

滑坡灾害是一种常见且危害严重的地质灾害, 通常发生在山区、丘陵等地带。随着气候变化及人类活动的日益加剧, 滑坡的发生频率和风险正逐步上升, 给人民生命财产安全以及生态环境带来了巨大的威胁。对于减少灾害损失、保障社会安全, 探讨滑坡的成因并研究有效的防控技术具有重要的意义。

1 滑坡灾害的地质机理

滑坡是一种由多种地质因素共同作用引起的地质灾害, 通常表现为土体或岩体沿坡面向下滑动。形成过程受到复杂地质机理的影响, 坡体的稳定性是其发生的关键因素之一, 往往是坡体结构的弱化导致滑坡的发生, 而岩土的物理力学性质、坡面的倾斜度及水文条件等, 则构成了决定滑坡发生的基本地质条件。尤其是岩土材料的抗剪强度, 直接决定了坡体的稳定性; 一旦坡体的剪切强度无法抵抗外部作用力, 滑坡便不可避免。坡体稳定性的动态变化是由多种力的相互作用所引起的, 包括坡体重力、外部荷载及水压力等, 在特定条件下诸多力的共同作用可能引发滑坡灾害。此过程中水分扮演了至关重要的角色, 水分

不仅增加坡体的重量, 还通过渗透作用降低岩土的内聚力, 从而削弱坡体的稳定性, 在降雨或融雪等极端气候事件中, 水分的积聚与渗透加速, 常常成为滑坡发生的直接诱因。地质构造的影响也不容忽视, 断层、褶皱等地质构造活动引起的岩层破裂, 为滑坡提供了潜在的滑动面, 裂隙与断层带的存在使坡体在外力作用下更易发生位移。为全面了解滑坡灾害的地质机理, 必须综合考虑岩土性质、地形地貌特征、气候因素及地质构造等多个方面。

2 滑坡灾害的成因分析

2.1 自然因素

滑坡灾害的发生通常与多种自然因素紧密相关, 其中地形地貌是最为关键的自然条件之一。坡面陡峭, 特别是坡度超过 25 度时, 土体或岩体在重力作用下容易发生失稳, 山脊与沟谷的分布以及地形起伏的变化, 直接影响坡体的稳定性。因此, 滑坡灾害在山区、丘陵等地带尤为常见。降水量与水文条件在诱发滑坡方面具有重要作用, 强降水或持续的降雨使土壤饱和, 增大坡体的重量, 同时降低土壤的抗剪强度进而引发滑坡, 当雨水渗透到坡体内部时不仅加剧土体的饱和度, 还可能在坡体内部形成水流路

径,增加水压力从而推动土体滑动。气候变化,尤其是极端天气事件,如频繁的降雨或融雪对滑坡的发生也有显著影响,在季节气候区,季节性气候变化导致降水量剧烈波动,这种水分的变化加大了坡体水分的波动进而影响其稳定性。以冬季积雪融化为例,它会在春季形成急剧的水流,成为滑坡发生的直接诱因。地震活动对滑坡灾害的发生也有显著影响,强烈的地震震动会导致坡体内部突然位移,破坏原本稳定的结构而直接引发滑坡。松散的土体在地震波作用下尤为脆弱,特别是在土层较厚、岩层脆弱的地区,滑坡灾害的风险显著增加。

2.2 人为因素

滑坡灾害的发生不仅与自然条件密切相关,人类活动同样在其中扮演着至关重要的角色。过度开挖与土地开发是主要的人为因素之一,在公路、铁路建设过程中或是矿山开采、大型建筑施工时,原有的地质结构常被破坏,坡体的稳定性因此受到严重影响。特别是在山区或丘陵地区过度削减山体或去除植被,坡面裸露,土壤失去保护导致水土流失,从而大大增加了滑坡发生的风险。不当的水土管理也是滑坡灾害加剧的重要因素,在山地开发过程中,如果排水系统设计不当或排水过度,坡体内水分的分布可能变得不均匀,进一步增加滑坡的可能性。降雨水流未能有效疏导或控制,水分在坡体内部积聚,坡体负荷随之加重,滑坡的风险随之上升。在城市建设过程中,地下水流的无序变化及地下水位波动,往往使得土层不稳定从而埋下滑坡隐患。植被的清理与土地利用方式也是人为因素中不可忽视的一环,植物根系起着固土作用,过度砍伐森林或草地导致坡面失去自然屏障,水土流失加剧进而提高滑坡的风险。农业活动中过度耕作或放牧导致地表植被覆盖率下降致土壤流失,滑坡发生的概率显著增加。人类活动对气候变化的影响也间接加剧了滑坡灾害的频发,全球变暖使极端天气事件频繁发生,如暴雨、融雪等,这些天气现象进一步加剧了坡体的水文变化降低了坡体的稳定性,从而显著提高了滑坡发生的频率。

2.3 地形地貌与水文地质的关系

地形地貌与水文地质的相互作用是滑坡灾害发生的关键因素。坡体的稳定性、水流分布以及土壤的侵蚀直接受到地形特征的影响,从而决定了滑坡发生的风险。在坡度较大的山坡、狭窄山谷及地形复杂的区域,滑坡发生的概率较高。特别是这些地方,坡体易因重力作用的增强而处于不稳定状态,土体滑动的风险随之增大。此外,山地或丘陵地带的起伏变化使坡体形态不均,进一步加大了滑坡发生的可能性。水文地质条件对坡体的稳定性起着至关重要的作用,降水量及其分布决定了坡体的饱和度及水分的渗透过程。在强降水或连续降雨期间,雨水渗透土壤不仅增加坡体的重量,还降低了土壤的抗剪强度进而推动坡体滑动。水流的速度与流向也受地形的影响,尤其是在河

流、溪流等水系经过山间时,水流常积聚于地势较低处,长时间的侵蚀逐渐削弱坡体的稳定性。河谷、沟壑等地形特征往往会形成不稳定的斜坡,进一步提高滑坡的风险。在水文地质条件中,地下水流动与地形的关系尤为密切,在岩层或土层的裂隙中,地下水流动可能导致水位上升增加坡体内部的水压力,从而引发岩土层的滑动。尤其在裂隙或断层发育地区,地下水的积聚与渗透作用加速了岩土的风化与松动,使这些区域的滑坡发生频率显著增高。

2.4 土壤与岩体的物理力学特性

土壤与岩体的物理力学特性在滑坡灾害的发生中起着至关重要的作用。坡体的稳定性与土壤结构及岩体的力学特性紧密相连,这些特性直接决定了滑坡的发生与发展。土壤的密实度、颗粒组成、孔隙度及含水量等物理性质对其稳定性至关重要,当土壤的水分含量增加,尤其在持续降雨之后,土壤的抗剪强度显著降低导致坡体容易失稳。与砂土相比,黏性土壤能够承受较大的重力,但在水饱和状态下稳定性会显著下降,容易发生滑动。确保坡体稳定的核心因素是土壤颗粒之间的黏聚力,一旦这种黏聚力受到破坏,滑坡的风险将大幅增加。岩体的物理力学特性同样不可忽视,尤其是岩体的抗压强度、抗剪强度及弹性模量等参数,它们决定了岩体对外力作用的反应。脆性岩体在水压或地震等扰动下容易产生裂缝或破裂,从而削弱坡体的整体稳定性。相比之下,韧性较强的岩体在外力作用下能够保持较好的稳定性,但长期的水蚀与风化作用会逐渐退化其力学性能,使其变得脆弱,从而增加滑坡的风险。在复杂的地质环境中,土壤与岩体之间的相互作用同样是滑坡发生的重要因素,岩土界面的摩擦力、黏聚力以及水分的渗透情况,直接影响坡体的稳定性。特别是在水渗透至岩体裂隙时,水压力的增加会削弱土壤与岩体之间的结合力,进而引发滑坡灾害的发生。

3 滑坡灾害的工程防控技术

3.1 滑坡防治的工程措施

滑坡防治工程通常采用多种技术手段,通过改变或增强坡体的物理性质从而有效降低滑坡发生的可能性。坡体结构加固是其中一种常见的防治方法,主要通过增强土体或岩体的稳定性来预防滑坡的发生,常见的加固技术包括喷射混凝土、锚固以及地基加固等,这些措施显著提升了坡体的抗滑性能,从而有效防止因土壤松动或岩体裂解而导致的滑坡。排水控制在滑坡防治中发挥着至关重要的作用,通过建设合理的排水系统,减少雨水渗透至坡体内部可以有效防止水分积聚,从而避免土壤抗剪强度的下降^[1]。排水设施,如排水管、暗渠以及集水井等,能够有效引导水流远离坡体降低水压力,保持坡体的干燥从而避免因过多水分而引发滑坡。支护结构的设计与施工是确保坡体稳定的重要措施之一,挡土墙、重力式支护墙、桩基支撑等结构能够有效承受坡体的侧向压力,保持坡面的平衡。在

陡峭山坡或严重侵蚀区域,支护结构为坡体提供了必要的支撑,避免了坡体的滑动。在软弱土壤或不稳定岩体的地区,支护结构与锚固技术的结合能进一步增强整体的稳定性。减荷措施同样是滑坡防治中不可忽视的手段之一,通过减轻坡体的自重或剥离坡面上的松散土层,可以有效减少坡体的负荷,从而减缓滑坡诱发因素。例如,利用机械设备去除坡面上的多余土石,或通过开挖削减坡体压力,能显著降低坡体滑动的风险。

3.2 土石方工程技术

土石方工程技术在滑坡防治中占据着至关重要的地位,主要作用是通过对土壤和岩石的开挖、搬运及回填,改变地形结构,进而增强坡体的稳定性或实施加固措施,该工程的基础工作包括精确的地质勘查与设计,只有通过详尽的地质调查,掌握坡体的土壤、岩石类型、力学特性及水文条件,才能为后续工程设计提供科学依据,对地形、地质与水文条件的深入了解正是制定合理土石方作业方案的前提。在施工过程中,土石方工程通常包括开挖、搬运与回填三个关键步骤。开挖作业的主要目的是清除坡面上的松散土层或不稳定岩层,去除一定量的土石,从而减轻坡体的负担降低滑坡风险,在开挖过程中,施工单位必须根据土壤的结构特性及岩石的抗压强度,选择合适的施工设备与方法,确保操作的安全性及效率。搬运阶段,开挖出的土石需要被转移到预定位置,此时必须合理规划运输路线及堆土场的位置,以避免对其他区域稳定性的影响。回填是土石方工程的最后一环,目的是填补开挖后留下的空洞或坑洼,并通过加固措施提升坡体的稳定性。回填材料的选择至关重要,必须根据坡体稳定性的需求与土壤特性来选择合适的石料、混合土或其他加固材料,通过分层回填并进行夯实处理,坡体的整体承载力与抗滑能力能够显著提升^[2]。在回填过程中,确保材料层次分布合理、夯实密度达到标准,并控制适当的水分含量,是确保加固效果的关键所在。排水设施的建设也是土石方工程中不可忽视的部分,为确保坡体的稳定性必须在改造过程中设置合理的排水系统,使雨水与地下水能够顺利排出,减少水分对坡体稳定性的负面影响。常见的排水措施包括排水管道、渗水层与排水沟等设施,能够有效防止水流积聚,从而降低滑坡发生的风险。

3.3 支护与加固技术

支护与加固技术是滑坡防治中至关重要的措施之一,主要通过对外不稳定坡体施加外部支撑或增强其内部结构,从而提高坡体的抗滑能力,这些技术措施广泛应用于解决由土壤松软、岩层破碎或不利水文条件引发的滑坡隐患,通过支护与加固技术不仅能够有效防止滑坡的发生,还能

在滑坡发生后减少对环境及工程设施的破坏程度^[3]。支护技术的核心目标是为坡体提供外部支撑,防止其发生滑动或倾斜。常见的支护手段包括挡土墙、锚固技术、土工格栅以及重力式支护结构等。挡土墙常用于坡度较缓或中等的区域,通过加固坡体边缘形成物理屏障,阻止土石的滑动。锚固技术通过在坡体内部或外部打入锚杆,将坡体牢固地固定在岩层或土壤中,从而增强坡体的整体稳定性。土工格栅则利用高强度聚合物材料的网状结构埋设于坡面以提供均匀的承载力,有效约束土体的运动,增强坡体的稳定性。加固技术则通过改善坡体的物理力学性质,提升其承载能力与抗滑性。常见的加固手段包括喷射混凝土、加固桩基与地基加固等。喷射混凝土通过在坡面喷涂厚实的混凝土层,为土体和岩体表面提供坚固的保护,既提高了坡体的抗剪强度又减少了水分渗透,防止了水土流失。加固桩基通过在坡体下部打入桩基,将深层土体与岩层紧密连接,有效分散坡体的重力,增强坡体的稳定性。地基加固技术则通过注浆加固、微型桩加固等方法,增强软弱土层的承载力,防止土体沉降或滑移。随着新材料与新技术的发展,越来越多的高效、环保的支护与加固方案应运而生。例如,采用预应力钢绞线或高强度纤维复合材料进行加固,这不仅显著减轻了施工负荷,还能在复杂地质条件下提供长期的支撑效果。

4 结语

滑坡灾害防治是一项涉及复杂地质与工程技术的系统性工作,对其成因的深入分析,有助于制定更为科学和有效的防控策略。综合应用土石方工程、支护加固、排水控制等多种技术手段,坡体的稳定性可显著增强,从而有效降低滑坡发生的风险。随着新技术、新材料的不断涌现,滑坡防控工作正在朝着更加高效、环保的方向发展。未来,监测预警系统应进一步强化,技术创新应得到推动,以提升防灾减灾能力,从而最大限度地保障人民生命财产的安全。

[参考文献]

- [1]陈荣彦,张丹,张自明,等.云南维西县滑坡地质灾害形成机理及成灾模式[J].土工基础,2024,38(4):697-701.
 - [2]林长青.福建省三明市沙县区滑坡地质灾害形成机理及危险性评价研究[D].福建:中国矿业大学,2023.
 - [3]梁潇文.地质灾害中多级滑坡形成机理及滑坡治理方法探讨[J].中国锰业,2022,40(2):61-64.
- 作者简介:韦秋安(1987.12—),毕业院校:桂林理工大学,所学专业:勘查技术与工程,当前就职单位:广西壮族自治区地质环境监测站,职务:分站技术负责,职称级别:工程师。