

Genetic Mechanism of Rain-Induced Debris Flow Geological Disaster

Feng Gao Zhangjun Guo Shoucai Wei

The Second Geological Brigade of Xizang Autonomous Region Geological and Mineral Exploration and Development Bureau, Lhasa, Xizang, 850000, China

Abstract

In this study, the causes and mechanisms of rain-induced debris flow geological hazards were deeply studied. According to the characteristics of geological environment and climatic conditions, the occurrence mechanism of rain-induced debris flow is revealed by using geological survey and meteorological observation data and numerical simulation. It is found that the geological contour of slope, the physical properties of soil, and the intensity and duration of rainfall are the main controlling factors affecting the occurrence of debris flow, especially under the stimulation of long-term continuous rainfall, the slope in the marginal stable state is more likely to collapse, and then cause debris flow. This study is of great value for predicting and preventing rain-induced debris flow disasters, and can provide decision support for preventing debris flow and reducing human and property losses.

Keywords

rain-induced debris flow; geological disasters; cause mechanism; geological environment characteristics; climatic conditions

降雨诱发型泥石流地质灾害的成因机制

高峰 郭章军 魏守才

西藏自治区地质矿产勘查开发局第二地质大队, 中国·西藏 拉萨 850000

摘要

本研究围绕降雨诱导型泥石流地质灾害, 对其成因机制进行了深入研究。根据地质环境特征和气候条件, 使用地质调查和气象观测数据, 结合数值模拟等多方法, 揭示了降雨诱发型泥石流的发生机理。研究发现, 斜坡地质轮廓和土壤物理性质, 以及降雨强度和持续时间等因素是影响泥石流发生的主要控制因素, 特别是在长周期持续降雨刺激下, 处于边缘稳定状态的山坡更容易出现滑塌, 进而引发泥石流。本研究对于预测和预防降雨诱发型泥石流灾害具有重要价值, 可以为泥石流的防治和降低人员和财产损失提供决策支持。

关键词

降雨诱导型泥石流; 地质灾害; 成因机制; 地质环境特征; 气候条件

1 引言

泥石流地质灾害是一种具有极高破坏性的自然灾害, 对人类居住环境和经济发展构成严重威胁。这种灾害常常在山坡土体湿度骤增, 土壤强度骤减的情况下快速产生, 且泥石流一旦发生, 具有瞬时冲击大、速度快、传播广、毁坏力强等特点, 使得防止和治理泥石流地质灾害成为全球关注的问题。根据相关数据统计, 中国山区降雨频繁, 尤其在长周期降雨过程中, 山坡土体易处于边缘稳定状态, 往往会引发泥石流灾害, 导致重大的人员和财产损失。然而, 降雨诱发型泥石流的精确预测及防治始终是一个挑战性的问题。以往的研究多是从游离水的增加、土壤强度的降低、地表径流的

增强等方面入手, 而对降雨强度、持续时间等气候因素和地质、土壤物理性质等地理因素的综合分析则相对较少。因此, 本研究的目的是在全面了解降雨诱发型泥石流机制的基础上, 探讨影响其发生的主要控制因素, 包括土壤物理性质、地质轮廓、降雨模式等, 并进一步揭示在不同降雨条件下, 土壤容易滑动的临界状态, 为防治泥石流提供科学依据和决策支持。

2 降雨诱导型泥石流地质灾害的概述

2.1 泥石流的定义及特性

泥石流是一种常见的地质灾害, 主要由大量泥沙、石块和水组成, 沿山坡或河道迅速运动, 对生命和财产造成严重威胁^[1]。泥石流的形成需要满足特定的条件, 包括地形地质条件、水源、水动力条件等。

定义上, 泥石流是一种液态与固态混合物, 在降雨或

【作者简介】高峰(1990-), 男, 中国辽宁沈阳人, 本科, 工程师, 从事水工环地质研究。

融雪等因素作用下,因地质作用或岩土体失稳而发生。其特性表现为高流速、高密度和高破坏力,通常伴随着大量泥沙和岩石的快速流动。泥石流可在非常短的时间内从山坡或河谷上部迅速下泄,到达下游地区,路径上破坏建筑物、交通设施和农业耕地。

泥石流的特性决定了其破坏方式,包括直接撞击、掩埋和冲刷等。由于泥石流具有较大的体积和重量,其破坏力往往超出一般洪水,对山区河流的生态环境、植被以及人类活动区构成极大威胁。泥石流的流速可达几米至几十米每秒,流体密度高达 $1.8\sim 2.5\text{t/m}^3$,在短时间内造成大面积破坏。泥石流具有突发性和随机性,其发生难以预料,增加了防范的难度和复杂性。

泥石流通常发生在地质结构松散、坡度较陡、降水充沛的地区。特别是暴雨或长时间降雨的情况下,饱和的坡体土体容易滑塌,从而触发泥石流。通过了解泥石流的定义和特性,可以为后续的成因机制探讨和防范措施提供理论基础。

2.2 降雨诱导型泥石流和其他类型泥石流的区别

降雨诱导型泥石流与其他类型泥石流的主要区别在于其诱发机制和发生条件。降雨诱导型泥石流通常发生在强降雨事件之后,降雨是其主要触发因素。强降雨会导致地表径流增加,使得泥石流的材料在含水量增加的情况下变得不稳定,进而发生流动。相比之下,其他类型的泥石流可能由多种因素诱发,如地震、火山活动或人为活动。这些类型的泥石流更多地依赖于外力的瞬时作用,例如地震引发的地层松动,火山喷发产生的火山灰混入山体水流中等。

降雨诱导型泥石流常发生在降雨量集中、土壤饱和且地形陡峭的地区。这些地区的地质环境和气候条件是其发生的前提,而其他类型泥石流可能不局限于特定的气候条件。降雨诱导型泥石流的形成过程较为缓慢,通常需要一个逐渐积累水分的过程,而其他类型的泥石流可能具有突发性和瞬时性。降雨诱导型泥石流的成因机制更加复杂,涉及水文、地质和气象等多学科的综合作用,这使得其预测和防范工作更具挑战性。

2.3 泥石流灾害对环境和社会的影响

泥石流灾害对环境和社会造成显著影响,具体表现为生态系统破坏和经济损失。生态环境方面,泥石流会导致植物和动物栖息地的破坏,土壤侵蚀加剧,河流受泥沙淤积影响,水质恶化,生物多样性显著减少。社会经济层面,泥石流灾害会摧毁农田、道路、桥梁等基础设施,导致交通中断,影响居民生活和区域经济运行。泥石流还会造成人员伤亡和财产损失,增加救援和恢复的公共资源消耗,对灾区居民的心理健康和生活质量造成长期影响^[2]。

3 降雨诱导型泥石流成因机制的探讨

3.1 斜坡地质轮廓和土壤物理性质对泥石流的影响

斜坡地质轮廓和土壤物理性质在降雨诱导型泥石流的

发生和发展中起着关键作用。斜坡的地质轮廓直接决定了坡体的稳定性以及降水水的流动路径。陡峭的坡度容易导致坡体的应力集中,使得坡体更容易在降雨的作用下失稳。坡面的不连续性,例如裂隙、断层及层间弱面等结构也会削弱斜坡的整体稳定性,增加滑塌和泥石流发生的概率。

土壤的物理性质,包括土壤的组成、孔隙率、渗透性和黏聚力等,直接影响降水水在土壤中的渗透和积累。高孔隙率和高渗透性的土壤有助于快速排水,降低表面径流,但在长时间持续降雨下,这类土壤可能因饱和而失去稳定性。粘粒含量较高的土壤具有较强的粘聚性,能提高坡体的抗剪强度,当土壤含水量达到饱和状态时,这种强度大幅降低,易导致土体滑动。

土壤的贮水能力对泥石流的形成至关重要。降雨使土壤含水量增加,当土壤的吸水能力达到极限时,超出的水量会在坡面上形成径流,加速表层土体的侵蚀和搬运,最终诱发泥石流。土壤的层次分布及其与基岩的界面也影响雨水的渗透路径和速度,决定了雨水在坡体中的分布模式和流动路径,进一步影响泥石流的发生。

斜坡地质轮廓和土壤物理性质对泥石流的稳定性和诱发机制具有重要影响。了解和分析这些因素不仅有助于揭示泥石流的发生机制,还能为制定有效的防治措施提供科学基础。

3.2 降雨强度和持续时间对泥石流的影响

降雨强度和持续时间对泥石流的发生具有显著影响。高强度降雨能迅速增加地表径流量,使得土体内部孔隙水压力迅速升高,削弱土体内摩擦力和抗剪强度,从而导致斜坡稳定性下降。降雨持续时间的长短则影响了土壤的饱和度和水分积累程度。长时间降雨使得更多水分浸入土壤,土壤逐渐达到饱和状态后,进一步降雨将导致地表径流增多,形成泥石流。短时间内的强降雨虽也会引发泥石流,但其影响往往局限于降雨过程中。相对而言,持续性降雨带来的累积效应更易诱发泥石流。在持续降雨条件下,边缘稳定的斜坡受累计降雨刺激,其内在稳定性进一步削弱,易于滑塌并引发泥石流。对于泥石流的预警与防治,不仅要关注瞬时降雨强度,还需重视降雨持续时间及其累积效应,以便更准确地预测泥石流发生的可能性,制定有效的防范和应对措施。

3.3 长周期持续降雨对边缘稳定山坡滑塌的影响

对边缘稳定山坡而言,长周期持续降雨极易引发滑塌现象,进而诱发泥石流灾害^[3]。持续降雨会导致山坡土壤饱和,增加孔隙水压力,削弱土壤黏结强度,使得原本处于临界平衡状态的斜坡更易失稳。连续降雨会对地质构造造成额外负担,加剧岩土体的崩解和滑动趋势。地表植被因长期受浸泡而根系腐烂,进一步丧失对土壤的锚固作用,使得边缘稳定山坡更加脆弱。研究表明,在降雨量达到一定阈值时,斜坡体内水力梯度剧增,迅速降低土壤抗剪强度,导致滑塌现象频发。长周期持续降雨是诱发泥石流的重要因素,应引起高度重视。

4 降雨诱导型泥石流灾害的预测与防范

4.1 地质环境和气候条件对泥石流预测的应用

进行降雨诱导型泥石流灾害预测时,地质环境和气候条件的分析是关键步骤。地质环境主要包括斜坡的地质轮廓和土壤的物理性质,这些因素直接影响泥石流的发生概率。使用高分辨率的地质地图和遥感影像,可以明确区域内斜坡的倾斜角度、岩石类型和风化程度等重要信息。高陡坡地带、松散堆积的土层以及具有潜在滑坡隐患的地区都应被标记为高危区域。

气候条件方面,气象观测数据的积累和分析是不可或缺的。这些数据包括降雨量、降雨强度、持续时间和雨型等关键参数。及时监测和预报降雨信息,结合地质环境的脆弱程度,可以有效预测泥石流的发生。在预报过程中,使用数值模拟技术,建立降雨—径流—泥石流耦合模型,通过模拟不同降雨情境下泥石流的触发条件和运行路径,提高预测的准确性。

降雨与地表径流的关系也需要详细解析。这包括地表水流动模式、地下水位变动以及地表水渗透土层的速度等。通过自动监测系统和传感器网络,实时采集土壤湿度、地下水位和降雨数据,提供精准的实时信息,有助于提前发布预警。数值模拟和实地观测相结合,能够大幅提高泥石流灾害预测的时效性和准确性,为当地政府和相关部门提供科学依据,使预测工作更加高效和可靠。

4.2 防治技术与策略的提出

泥石流灾害的防治技术与策略主要包括工程防治和非工程防治两大类。工程防治涉及修建各种防护结构,如截洪和排水系统、泥石流拦挡坝和堤防等。截洪和排水系统可以有效地减少斜坡上的水流,降低土壤的饱和度,从而减少滑坡风险。泥石流拦挡坝能够有效阻止已发生的泥石流,减缓其流速和破坏力。堤防通常被用于保护居民区和重要基础设施,以降低泥石流所带来的损失。

非工程防治策略则包括监测预警系统、土地利用规划和公众教育等。监测预警系统可以通过实时气象数据、地质监测以及远程感知技术,对可能的泥石流发生进行实时监测和预警,及时采取应对措施。土地利用规划通过科学调整土地使用模式,例如禁止在高风险区域建设,提高区域的抗灾能力。公众教育旨在提升社区的防灾意识和应急反应能力,

普及泥石流防范知识,增强居民在灾害来临时的自救能力。

通过工程和非工程手段的综合应用,可以显著提高对降雨诱导型泥石流的防治能力,减少灾害带来的人员和财产损失。

4.3 泥石流引发的人员和财产损失的管理和规避方案

泥石流灾害的管理和损失规避需包括监测预警、工程措施和应急响应。实时监测系统应高效准确,及时发布预警信息,使居民和相关部门迅速采取行动。工程措施包括修建防护坝、疏导沟等硬件设施,减少泥石流对居民区和基础设施的威胁。非工程措施如制定应急疏散预案、开展公众教育和灾害演练,增强居民自救能力和避险意识。应急响应体系需明确职责分工,确保资源配置和施救过程的高效可行。有效的综合管理策略将有助于最大程度降低人员伤亡和财产损失,提高灾害抵御能力。

5 结语

本研究通过深入探讨了降雨诱发型泥石流地质灾害的成因机制,在地质环境和气候条件的多维度考虑下,运用地质调查和气象观测数据,并结合数值模拟等多种方法,得出了斜坡地质结构、土壤物理性质、降雨强度和持续时间等因素是诱发泥石流发生的主导因素。尤其体现在,长周期持续降雨的作用下,处于稳定边缘的山坡容易产生滑塌,从而触发泥石流。然而,中国地域广大,地貌环境复杂多变,对于特定地区的降雨诱发型泥石流灾害的预测和预防,尚需进一步结合当地具体情况,针对性地进行研究。此外,未来的研究还应该深入研究地质环境和气候条件变化对泥石流发生频率和强度的影响,进一步揭示和预测泥石流地质灾害发生的概率,以期提高泥石流灾害的防治效果。本研究的发现为防止降雨诱发性泥石流灾害提供了有利的理论依据,对提供决策支持,实现泥石流的有效防治,以及降低人员和财产损失具有积极的推动作用,预示着中国泥石流灾害研究在未来有了更为清晰和具体的发展方向。

参考文献

- [1] 舒振杰.泥石流地质灾害成因及治理措施[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(5):325.
- [2] 刘耀东.泥石流地质灾害成因及治理措施探讨[J].中国化工贸易,2019,11(5):234.
- [3] 斯阳.泥石流地质灾害勘察和防治[J].前卫,2022(28):187-189.