

乌恰县吾合沙鲁乡小学后山暴雨型泥石流形成机理与危险性评价研究

欧阳辉

新疆维吾尔自治区地质环境监测研究院, 新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要] 乌恰县吾合沙鲁乡小学后山地区发生的一种由暴雨引起的泥石流灾害, 已经对周边的安全构成严重危险。根据泥石流生成机理和潜在危害, 从地形地貌、气候特征、地质结构等几个方面入手进行系统的研究, 对泥石流形成的原因进行分析。用科学的评价体系来准确评定泥石流的风险级别, 从而给该区域泥石流防治工作决策给予理论支撑, 促使定制化的减灾策略制订和推行。

[关键词] 乌恰县吾合沙鲁乡; 暴雨型泥石流; 形成机理; 危险性评价

DOI: 10.64635/ja.2026.1240

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

Research on the Formation Mechanism and Hazard Assessment of Rainstorm-Type Mudslide in the Backhill of Wuhaihalu Primary School, Wuchai County

Ouyang Hui

Xinjiang Uygur Autonomous Region Geological Environment Monitoring Institute, Urumqi, Xinjiang 830000, China

Abstract: A mudslide disaster caused by heavy rain occurred in the back mountain area of Wuhaihalu Township Primary School in Wuchai County, posing a serious threat to the surrounding safety. Based on the generation mechanism and potential hazards of the mudslide, a systematic study was conducted from several aspects such as topography, climate characteristics, and geological structure. The causes of the mudslide formation were analyzed. A scientific evaluation system was used to accurately assess the risk level of the mudslide, thereby providing theoretical support for the decision-making of mudslide prevention and control work in this area, and promoting the formulation and implementation of customized disaster reduction strategies.

Keywords: Wu Cha County, Wuheshalu Township; Rainstorm-induced debris flow; Formation mechanism; Hazard assessment

引言

本文主要阐述了乌恰县吾合沙鲁乡小学后山地区由于地形特点复杂, 暴雨频繁造成的泥石流灾害频频发生的状况。分析该地区暴雨型泥石流的形成机制和风险评价有重大的学术价值和实用意义, 可以加深人们对泥石流形成机理、变化规律的认识, 也可以给灾害监测和治理提供科学依据。此举不但可以大大改善区域内师生、居民的生命安全保护状况, 而且可以最大限度地削减由于自然灾害造成经济损失, 进而推动社会的可持续发展。

1 研究区概况

1.1 地理位置

合沙鲁乡位于新疆克孜勒苏柯尔克孜自治州乌恰县西部, 本文以该乡中心小学后侧山体流域为研究对象。该地区位于帕米尔高原和天山南麓构造交汇处, 校园建筑分布在山前缓坡上, 汇水系统完整结构紧挨着学校北侧, 存在较强的关联性。由于地形地貌特点的不同, 坡脚和教学

楼、活动场地的安全距离较小, 整个流域可以分为上部物源区、中部沟道和山前堆积区这三个功能单元, 系统揭示了泥石流形成的机理以及沉积过程的主要因素。根据对本地区潜在危险因素的评价结果可知, 坡面滑动引发泥石流并且会对校园的核心生活区造成危害的情况属于主要的研究内容, 进而开展有关灾害机理解析以及风险管理的研究工作。

1.2 地形地貌

本研究选取的地区为构造剥蚀作用形成的大、中低山地貌单元, 总体上地势呈西北高、东南低的趋势。山体上部坡面虽然有一定平整度, 但是坡度很大, 天然凹陷地形形成广阔的集水区域, 降雨产生的地表径流可以迅速汇集。中部峡谷地区河流下切形成狭长、深邃的主沟道, 狭窄空间结构大大加强了径流集中性, 也提高了侵蚀能力^[1]。靠近校园的坡脚处地势比较平坦, 缺少高地或者隆起做为阻挡屏障。整个流域由上游高坡向中间输导沟道汇流, 再向

下发展到山前平原,从而形成连绵不绝的阶地地貌系统。

1.3 气象条件

该地区属于典型的温带大陆性干旱气候区,年降水量比较少并且分布很不均匀,降水主要集中在夏季对流旺盛期,出现短暂但强烈的局地性降水现象。在长期干旱的条件下,原生植被的生长受到严重的影响,坡面上植被覆盖率低,植物根系对土壤的固定、稳定作用比较小。虽然干燥疏松的土体具有一定稳定性,在高强度暴雨作用下也会产生物理性质的变化。尤其在极端暴雨发生的时候,短时间内汇集起来的径流所造成的冲刷效应,还会继续改变土体的结构特性。由于泥石流灾害大多和汛期强降水有联系,当降雨量增大或者降雨时段与雨季同时出现的时候,该区域后山区的滑坡等地质灾害风险会大大提高。

2 泥石流形成机理分析

2.1 地形因素作用

地形条件对于泥石流演化的机制影响主要从三个方面体现出来,流域汇水效应、固体物质搬运能力和空间几何结构的制约性这三个方面。暴雨形成的地表径流汇集时,上游高陡地形汇集了大量的降水所引起的径流量,然后从洼地逐级流向主干河道,形成多种水流分布的格局,沟谷狭窄弯曲的空间形态又加强了水流的方向性,提高了水流的侵蚀效率。沿岸侵蚀不断地把表层风化下来的岩石剥蚀掉,从而为孕育和发展创造了丰富的物料供应。山前平坦区由于缺少天然滞洪、沉积场地,使得携带有大量碎屑物质的流水直接冲刷校园,形成了一条完整的泥石流向导线。特殊的地貌特征说明一旦发生灾害,它就会迅速蔓延并造成严重的破坏,给校舍的安全带来很大的威胁。因此,采取人工干预手段是保证区域内基础设施稳定的主要方式^[2]。未来防灾体系建设要充分发挥现有沟道网络的功能,建立导引体系,在科学规划的基础上建设各种人工构筑物,达到对重点风险区的防护,提高防灾抗灾的整体水平。

2.2 气象因素影响

极端短历时暴雨是造成本地区泥石流灾害发生的原因。长期干旱造成地表一直干涸,使坡面松散物质处于临界稳定状态,减小了持续性的地表水流侵蚀作用。强降水过程多表现为地表径流冲刷、地下水垂直补给等形态,其中地表径流冲刷主要是由于斜坡上的水流冲刷导致的表层沉积物机械剥蚀;而地下水垂直补给则是由于入渗水在土壤中的流动而引起的。由于土体含水量增加导致抗剪强度急剧降低,从而引起坡体局部失稳。在这个时候,碎屑物质慢慢堆积起来,受水流的动力作用形成大规模的暴雨

型泥石流灾害。该类自然灾害具有突发性强、应急处置时间短等特性,传统的预测方法很难准确地得到其时空分布的特点。由于局地强对流系统的降水大多属于本地降水,所以降雨空间分布的不确定性较大,也加大了风险控制的难度。根据历史气候资料的研究结果可知,极端降水事件发生的频次越来越高。部署实时雨量监测装置,并依靠临界阈值来创建风险评价模型,在某种程度上能改善校园防洪排涝的效能,缩减可能造成的安全危害波及范围。

2.3 地质条件贡献

由于帕米尔高原新的构造运动造成地壳发生多期次、间歇性的抬升,岩体在各种构造应力的作用下,形成了很多密集的结构裂隙。长期的昼夜温差变化以及风化侵蚀共同作用,慢慢剥落基岩,在山坡上堆积起松散的碎屑物,为泥石流产生奠定最初的条件。断裂带附近由于岩体破碎程度加大、物理风化作用明显,坡面堆积物厚度也增大了很多。这类土体缺少细粒粘土的黏聚作用,对水分比较敏感,在遇到降水的时候很容易造成颗粒分散并且远距离传送。由于构造、化学风化过程的不断发生,大量的新松散物质源源不断地流入坡面、河谷等地方,成了暴雨型泥石流周期性爆发的主要物质来源之一。尽管区域构造活动强度已经明显减弱,但是典型戈壁气候特征依然用季节性气温波动加快了表层岩石的物理风化速率,每年新增大量松散堆积物补充到坡面和河谷体系里。传统的单次清淤不能达到持久的控制源头的目的,必须建立周期性的监测和治理技术体系来对新的风化产物进行动态管控,从根本上减少泥石流灾害发生的概率^[3]。

3 危险性评价方法

3.1 指标选取

本文以干旱山区暴雨泥石流的典型发育特征为依托,从物源供给、径流过程、触发机制三个方面入手,利用层次分析法建立综合评价指标体系。从地貌学的角度来选择坡度、沟壑密度作为关键变量,分别表征汇水集中度、碎屑搬运能力的空间分布特性;采用地质学的方法引入风化程度、松散堆积层厚度等参数,定量评估可能存在的悬浮物源的供应能力;对气象因子主要关注短时强降水极端事件的影响,并把校园周边人工边坡改造所造成的人为扰动考虑进去。所选指标符合小学后山流域的特殊地貌条件,去掉多余的或者相关性小的因素,根据物源属性、径流传输、触发条件等进行分类整合,形成了一个系统的评价指标体系,为数值模拟和风险预测模型的开发打下了坚实的理论基础。

3.2 评价模型构建

本文用加权综合评价法对研究区泥石流危险性进行定量分析。根据实地调研资料和区域同类灾害数据统计情况来确定各个评价指标权重分配方案。考虑到该地区短时强降水引发泥石流事件发生的频繁情况,在构建指标体系的时候,对与降水有关的指标适当提高了权重。单因子危险性等级评定完成后,用特定的数学模型把各个评价因子得分转化为栅格化的综合评分结果。利用遥感技术、地理信息系统(GIS)技术对目标流域做精细的空间分块,用多尺度综合风险分析法准确评价各个子区的危险程度。为了保证模型计算结果的科学性、可靠性,以乌恰县典型的中小型沟谷型泥石流为例,进行评价模型参数的比对检验,根据检验结果对其进行修正,使分区结果更符合当地地质、气候、地貌特点,提高分区结果的应用价值和针对性。

3.3 结果分析

根据模型模拟得到的结果可知,本区域被分为高危、中危、低危三级危险程度等级。高危区为主沟道全域和上游陡峭坡段的物源富集区。该区域内松散堆积物储存量大,汇水系统丰富,在极端降水条件下极易发生泥石流灾害,对学校基础设施造成直接威胁,中危区处于高危区边缘地带,覆盖了次级支沟及其周边地区,尽管有一定的不稳定碎屑物及比较完备的地表排水系统,但是强降雨时仍可能出现局部的滑坡或者崩塌,向主要沟道传导灾害效应并加强总体风险水平;低危区主要以山体基岩裸露、地形平缓区域为主,土壤稳定,缺少致灾物源的支持,很难出现大面积的泥石流现象。分区结果同现场踏勘得到的地形地貌特征和沟床演化规律非常吻合,全面表现了校园所面对的地质灾害风险种类及其可能带来的危害程度。

4 结论与建议

4.1 研究成果总结

依靠系统的全流程地质勘查和风险评价分析,本地区泥石流内在演化机理已基本被解释清楚。研究证明,吾合沙鲁乡小学后山泥石流灾害属于典型的暴雨诱发型事件,其形成机理主要是三个因素共同作用的结果,即长期地质风化形成的固体物质基础、特定地形结构所构成的集水输送网络系统、突发性极端降水作为直接的触发因子。该地区特殊的地貌特点使灾害有潜在的危险,在很短时间会给校舍区造成很大的影响。由危险性分区结果可知,主沟道处于校园附近,存在较大的安全隐患,受自然屏障的缺失,上游高危沟道不能很好地阻止或者减弱下游碎屑流的

冲击强度。本文研究出泥石流形成物理机理和全流域空间分布规律,准确找到学校周边主要地质灾害隐患点,为以后的有针对性的防护措施提供科学依据和技术支持^[4]。

4.2 防治措施建议

根据危险性分区分析结果来制定出不同的综合治理方案。对高危主沟上中游河段实行分层控制方式,在上游首先安装谷坊拦截装置,依靠松散碎屑阻隔效果明显减小泥石流携沙量,同步加强陡坡区边坡稳定性的改善工作,应用本土抗逆植物群落构建技术,用植被根系强化土壤固持能力并抑制冲刷侵蚀。针对校园周边沟口位置,设置定向导流系统,合理调节洪水流向,把径流引向校外空地,进行能量衰减和蓄水净化。在学校内部落实防汛减灾设施配置,确定应急避难路径和集中安置点设置,制订定期清运河道淤积物的制度,创建起源头减排、过程管控、末端治理相结合的多层次防护体系。

4.3 研究展望

后续可以利用已经建立的长期气象观测和坡面位移监测站点,用多源数据融合的方法对现有的评价模型权重参数进行优化,结合历史极端降水案例细化目标区域泥石流触发阈值。利用高分辨遥感影像技术对坡面疏松物质的空间分布及动态变化规律展开系统解析,促使危险性分区结果得到更细的改进。根据边疆地区乡村学校地质灾害防治的需求,研制出符合当地地质构造和气候特点的经济型治理方案,以保证工程的可持续发展并且提高防护效果^[5]。创建起干旱区乡村校园后山暴雨引发泥石流的综合研究框架和技术支持系统,给乌恰县以及其他类似的地区地质灾害综合整治给予科学的参照和操作上的启发。

5 结束语

本文以乌恰县吾合沙鲁乡小学后山地区为研究对象,对暴雨诱发泥石流的形成机理和潜在危险因素做了全面的分析,对暴雨引发泥石流的形成因素、危害程度作了详细的分析。研究成果可以为该地区泥石流灾害防治提供科学的依据,也能有利于制定更有针对性的综合治理措施。未来要巩固监测网络的长久运行机制,继续充实风险评判体系,加强预警系统准确快速度,从而保证区域生态环境安全和社会经济长期可持续发展。

[参考文献]

[1]林川,林彦喆,林威伟,等.暴雨型泥石流特征参数反演方法及透水格栅效能评价研究[J].水力发电学报,2025,44(2):1-14.

[2]满好,熊朝正,吉锋,等.台风暴雨型泥石流启动机理物理模型试验研究[J].人民长江,2024,55(8):125-132.

[3]黄家华,冯文凯.台风暴雨矿渣型泥石流形成机制与动力特征——以兴宁乌石坑沟泥石流为例[J].地质论评,2023,69(4):1387-1397.

[4]王一鸣.台风暴雨型泥石流单沟风险区划[J].科技通

报,2021,37(3):97-103.

[5]甘建军,储小东.中低山台风暴雨型泥石流形成机制和动力特征——以江西德安杜家沟泥石流为例[J].灾害学,2020,35(1):150-155.

作者简介:欧阳辉(1994.06—),男,汉族,湖南道县人,本科学历,工程师,研究方向为工程与环境地质。