

山区乡镇学校周边泥石流物源特征及工程防控方案研究

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] 本文主要研究山区乡镇学校周边泥石流灾害给师生安全、财产安全带来的严重危害, 对泥石流灾害物源特征进行解析并提出相应的工程治理措施。以区域地质为基础, 从泥石流成因机理、物源空间分布规律、矿物成分性质、储量特征出发, 结合地形地貌和气象因素的相互作用, 提出一种以拦挡防护、排泄疏导、坡面治理为一体的防洪减灾技术方案。该成果可以给有关地区校舍防灾减灾工作给予理论支撑和技术协助。

[关键词] 山区乡镇学校; 泥石流物源特征; 工程防控方案

DOI: 10.64635/ja.2026.1266

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

Research on Source Material Characteristics and Engineering Prevention and Control Schemes for Debris Flows Around Schools in Mountainous Townships

Ouyang Hui

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

Abstract: This paper mainly studies the serious threats posed by debris flow disasters around schools in mountainous townships to the safety of teachers and students as well as property safety. It analyzes the source material characteristics of debris flow disasters and proposes corresponding engineering control measures. Based on regional geological conditions, this paper examines the formation mechanism of debris flows, the spatial distribution patterns of source materials, mineral composition properties, and reserve characteristics. In combination with the interaction between topography, geomorphology, and meteorological factors, a flood prevention and disaster reduction technical scheme integrating blocking protection, drainage and diversion, and slope treatment is proposed. The research findings can provide theoretical support and technical assistance for disaster prevention and reduction work in school buildings in relevant regions.

Keywords: schools in mountainous townships; source material characteristics of debris flows; engineering prevention and control scheme

引言

山区乡镇学校往往建在地质情况复杂、地貌特征明显的地区, 该类地区的常有泥石流灾害发生, 对学生的身安全和校园基础设施造成严重的威胁。泥石流物源是引起该类地质灾害的重要诱因之一, 它所具有的属性特点直接决定防灾减灾工作是否有效、是否可行。目前学界对于重点区域学校周边泥石流物源特性和综合防控技术的研究还处在初级阶段。本研究目的在于填补目前学术研究的空白, 经由对物源空间分布规律及其形成机制的全面剖析, 提出一种既有科学根据又有实际操作价值的综合治理措施, 给学校经营安全提供技术支持和理论参照。

1 泥石流物源基础分析

1.1 物源分布规律

山区乡镇学校选址大多集中在山麓阶地, 后面的山体是一个完整的集水区。在该地形结构当中, 各种松散沉积物依附不同的级次沟谷形成带性的分布情况, 其空间布局受海拔高度有很大影响。高海拔地区主要为山顶基岩风化残积物, 呈片状覆盖形; 中坡地段支沟沿线发育由岩体崩塌造成的滑移堆积层; 主干河道长期积累坡面侵蚀产生的细小颗粒物质, 形成连续的线性沉积体。靠近学校一侧的沟口由于受到径流的冲淤作用, 导致局部的沉积物越来越厚。从总体上看, 物源供给是自山顶向山前平原递减

的。虽然部分次级斜坡的碎屑物质会暂时储存在支沟里,但是最终还是会顺着主干河道集中运送出去的。随着距离校址距离变小,各个时期的沉积体大小逐级增大。典型地貌的形成使得校园区成了季节性洪水带泥石流灾害的核心易发区域,成为常态化的地质安全隐患。

1.2 物源类型分类

根据物源成因分析和内外动力耦合作用研究,可以得出校园周围松散沉积物有四类。其中,由于构造运动和温差风化共同造成的残坡积物为区域内最广泛且最为丰富的背景物质,而由于断裂带及陡峭崖壁岩体滑移形成的崩塌堆积物为零星散布于沟谷两侧临空区的物质。由于季节性的降水而造成的坡面径流冲刷在山谷里呈线状分布,农村的生产、生活废弃物堆积也多集中于山脚或者河边^[1]。这四种物源的粒径组成、颗粒结构紧密度有明显的差别,残坡积物含细粒组分多,在湿润环境下容易软化而失去稳定,崩塌堆积物主要由大块石块构成,在河流中容易造成局部堵塞。极端气候下以上各种物源的相互作用使得该地区泥石流等地质灾害的风险大幅度提高。

1.3 物源储量估算

利用实地考察、沟道剖面测量、区域岩土风化特性分析等方式对研究区全部地区进行物源储备的全面评价。根据坡面分区和沟段分级,对堆积物空间分布规律以及赋存状态进行系统的整理,将松散表层土壤和固结较好的基岩分离开来统计。重点对主干沟道校园附近受暴雨冲刷的可迁移沉积物质进行量化的计算,根据历史灾害记录来估计潜在搬运物质的总量,并且结合坡地岩土侵蚀速率来预估每年新增物源的数量,准确地找出高富集区,从而给制定综合治理措施给予科学支撑。研究成果还可以给流域防洪工程规划及设施建设规模的决策提供重要的参考依据。

2 影响物源特征的因素

2.1 地形地貌因素

坡面坡度会影响风化产物的堆积方式。高陡斜坡由于缺少水平向的支撑,使得风化残积物质很难形成深厚的土体结构,容易被表层径流迅速输移到临近沟系里;缓坡给松散沉积物创造良好的积累条件,有利于大范围的松散堆积体发育。沟谷侵蚀深度能反映岩石力学特性及崩塌危险程度,深切作用使它形成临空面,不断促使岩土体碎裂过程的发展,而且为下游提供稳定的物源补给通道。山麓的校园平地是流域内碎屑物质的主要聚集区,它所处的空间位置进一步加大了区域内物源厚度和丰度的空间异质化特点,在总体上加强了各个区域物源供应体系及其引发机

制的空间区别^[2]。

2.2 气候气象因素

干湿交替的气候下,区域浅表岩体受到比较大的物理风化影响。干旱期土壤因为水分蒸发而收缩,伴随裂隙的扩大形成了许多孔隙;雨季降水沿着这些微小的通道很快渗透到深部岩石中,加快了岩石的机械分解和矿物分离的过程。夏季强降雨使坡面径流增大,对表层松散土体产生侵蚀剥蚀作用,而且昼夜温差造成的冻融循环又不断促使基岩破碎以及表面暴露出来。由上述的各种机制共同起作用,逐渐形成风化产物,重新塑造地貌。由于降水量的空间分布是非均匀的,各个年份的坡面新增物源量差别很大;极端暴雨事件会大量释放出一些不稳定物质,引起大面积的山体滑坡,并且快速增大下游河道沉积物的供给速度。气候变化改变着物质生成的方式和外力搬运的过程,对区域内的物源系统时空演变的规律有深刻的影响。

2.3 人类活动因素

乡村环山道路施工及校园配套基础设施建设过程中产生的工程弃土,就近倾倒在山脚沟谷处,渐渐形成起新的区域人工沉积物源。在此过程中,局部坡地的开垦作业破坏了原有的地表土层结构,增大了土壤风化和侵蚀的速度。而且零星小规模取土、采石活动对山体岩体稳定性造成了不良的影响,也提高了边坡崩塌物质的输出速度。上述人为扰动主要发生在校园周边近区山体上,由于人工沉积物距离校舍比较近,在极端天气下容易迅速汇入沟渠,参与到后续的泥石流灾害中来。该类人类活动依靠外源补给来不断改变区域内传统生物沉积物空间分布和分布特点。

3 工程防控方案设计

3.1 拦挡工程措施

根据全域物源的空间分布特征,选取主要的河流及其重要的支流出水口为主要的防护区,在分区的基础上建立了多层次拦挡工程体系。上游小型支流采用简易防洪设施截留坡面不稳定性物质,减少固体废弃物输送总量,中游到下游主干河段选择束窄峡谷地带建设主体拦渣坝,集中处理沉积层中的细颗粒物,在靠近校园汇合点设置二级防护结构,防止主体坝体垮塌引发次生灾害。各个构筑物的设计参数都根据分区潜在源区储量精确计算出来,保证有足够的蓄水量来应付未来可能出现的淤积情况^[3]。依靠分级管控机制来开展移动污染源的精准治理,从而有效地削减目标区域内有害物质的残余量。项目竣工之后要创建起完备的监测评定体系,定时开展坝体沉降变动和防汛期

危险情形的大普查活动。为了克服承压荷载的不利影响,防止渗漏隐患的发生,在规划排水管网的时候需要做好相关的准备工作。依靠先进的信息技术对日常运维进行决策,全面提升综合防灾减灾能力,切实提高高校校区地质灾害抵御能力。

3.2 排导工程措施

根据主沟地形特点对原有的排水系统进行科学的改造和组合,主要清除沟床的淤泥,改进断面构造,适当提高侧壁的高度来确定汛期洪水的行进路线。在校园区的关键节点处设置分流设施,当遇到超标准的泥石流的时候把它们引走,防止出现隐患。对支沟与主沟交汇处设引水槽,准确控制支流携带的水、泥沙入主沟路径。该排导系统的设计严格按照区域内极端气象条件下防洪减灾的技术指标,利用定向疏导手段改变泥石流的原道,大大提高校园建筑抗自然灾害的能力。

3.3 护坡工程措施

为了达到物源富集区综合防护的目的,本文根据不同的坡面类型设计出相应的复合型治理技术方案。对于厚层松散残积物覆盖的集中型坡面,用格构锚固和乡土灌草植被相结合的方法,依靠工程支撑和生态修复两种机制提高表层土壤的稳定性;对裂隙发育的破碎岩质坡面,采用裂隙注浆封堵技术切断径流渗透途径,减缓岩体风化、块体崩塌的速度。人工弃渣堆积区原位压实、整平,建立稳定的地貌单元。根据坡面土体性质的不同来制定分级治理方案,高含水量或者低强度的土壤采取局部浅表加固措施,裸露基岩主要采取密实化防护措施,从源头上减少新生风化颗粒进入河流的危险。建立动态监测体系,对植被生长状况、构筑物运行情况、季节性降水等进行跟踪观察,结合地形地质情况来改进地表排水设施的布置,从而全面改善防洪排涝能力,大幅度削减由于坡面岩土灾害引发的泥沙流失危险。

4 防控方案效果评估

4.1 安全性评估

本文以源头控制、过程拦截、终端疏导三个主要环节为核心,从安全防护角度出发对防灾减灾工程的综合效果进行评价,采用分级设计思想优化拦挡设施设计方案。经由剖析分段区域的储源特性及库容需求来决定各个节点拦挡参数,在常规降雨状况下达成沟道内松散碎屑的有效阻截,就超强暴雨引发的超载径流问题,采取改良型导排系统把多余的水量引导到校外开阔地带实施泄洪^[4]。提出的一种综合性的治理方式大大降低由于坡面不稳定因素

造成的危险强度,削减了汇流区新出现隐患的可能性。在结合极端气象条件数值模拟分析结果的基础上,对各种构筑物技术性能及防泥沙冲刷效果进行检验,构建起多层防护体系,提高校园及周边地区抵御泥石流灾害的能力,改善场地地质环境质量,阻止固体颗粒物进入建筑区。

4.2 经济性评估

根据山区乡镇财政约束的实际状况,要创建水利工程全生命周期的成本效益评价体系,按照区域等级及地形特点合理规划拦挡设施的布置,防止因全域统一高标准修建造造成资金浪费。施工期间应先采用近旁场地的天然砂石材料来取代一部分建筑材料,进而减少因远距离运送到场所引发的成本增加状况;并且选取本土性以及具有较好抗逆性的植被种类当作主要防护绿化的手段之一,并大大削减了种苗购买以及后续养护的花费。项目竣工验收阶段要防止由于自然灾害造成校舍损毁而产生的巨额灾后重建费用。将初始的建设投入同长远防灾减灾所带来隐性收益结合起来,实行差异化的分区治理措施,优化资源配置的效率,使乡村学校灾害防控设施建设得到最大的经济效益,满足乡村学校的防灾工程需求。

4.3 可持续性评估

本文根据区域岩体长期风化的过程和新的生物质供应机制,对它的演变规律进行详细的分析,并且从系统的角度评价了治理措施的可持续性。各层拦挡设施要留出足够的缓冲空间来应对淤积体慢慢增厚的情况,还要考虑沟道内碎屑年年沉积的特点来进行科学的安排。利用当地的植被进行植被改良,植被改良期能改善土壤的稳定性来降低滑动面土层流失的风险。对排导沟槽的断面尺寸设计,应预设可调参数范围,方便将来根据物源变化随时对河道行洪能力进行调整。创建常态化巡查和定期清淤制度,及时清除堆积物,保证工程的安全稳定运行。该综合防灾减灾体系能符合当前防灾减灾的要求,并且也顺应了未来气候变化背景下物源变化的发展趋势,给校园周边泥石流风险防治给予可靠的技术支撑^[5]。

4 结束语

得出本文对山区乡镇学校周边区域泥石流物源特点进行分析,并提出相应的工程治理措施。研究结果不但可以准确地反映泥石流物源空间分布规律,而且给有关地区灾害防御体系的创建提供重要的理论依据和实践经验借鉴。今后的研究要更加重视综合防灾机制的设计思想,继续改善监测预警系统的效果,从而明显提高对山地灾害风险的控制程度,切实保证学校的师生生命财产安全以及地

区可持续发展的目标实现。

[参考文献]

- [1]祝慧芳.山区泥石流动态模拟及其防治工程措施[J].水上安全,2026,(2):85-87.
- [2]陈华,何元勋.山区泥石流沟作为高速公路弃渣场的危险性评价[J].四川水泥,2025,(5):266-267+274.
- [3]刘波.流域环境退化对山区铁路泥石流的影响机理研究[J].水土保持通报,2025,45(2):124-135.
- [4]李鹏浩,和振兴,李斌强,等.泥石流冲击下山区铁路车-轨-桥系统动力学行为特性研究[J].振动与冲击,2024,43(22):37-44+95.
- [5]胡雨豪,张植,方迎潮,等.山区涉河临时施工设施山洪泥石流灾害风险评估方法及防治措施[J].甘肃水利水电技术,2024,60(8):55-59.

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。