

云南省熊家拐拐泥石流特征与防治措施

王 帅,许晨曦,李 冬

(山东省水利勘测设计院有限公司,山东 济南 250014)

【摘要】熊家拐拐泥石流是一条典型的弃渣面蚀型泥石流。在现场实地调查的基础上,系统分析了熊家拐拐泥石流分区特征、动力学参数特征,探讨了弃渣面蚀型泥石流的成因机制。研究认为,熊家拐拐泥石流规模小、流速快、过程时间短、冲击力大、隐蔽性强,是一种致灾性极强的自然灾害,常伴有强渗透性的松散物源,持续降雨和短时强降雨的组合降雨模式以及利于汇水的陡峻地形等条件。针对此类泥石流的特点,提出了稳坡、拦挡、排水相结合的防灾减灾措施,为该类型泥石流防灾减灾提供借鉴。

【关键词】熊家拐拐;弃渣面蚀型泥石流;动力学参数特征;防灾减灾

【中图分类号】D642.23

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-02-0017-04

Characteristics of Xiongjia Guaiguai Debris Flow on Prevention in Yunnan

WANG Shuai, XU Chenxi, LI Dong

(Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., Ltd, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: Xiongjia Guaiguai debris flow is a typical spoil sheet erosion-induced debris flow. Based on field investigations, this paper systematically analyzes the zonal characteristics and dynamic parameter characteristics of Xiongjia Guaguai debris flow, and discusses the genesis mechanism of spoil sheet erosion-induced debris flow. The study holds that Xiongjia Guaguai debris flow, featuring small scale, high flow velocity, short process duration, large impact force and strong concealment, is an extremely destructive natural disaster. Its formation is attributed to several conditions, including loose material sources with strong permeability, a combined rainfall pattern of lasting rainfall and short-duration heavy rainfall, and steep terrain conducive to water convergence. In view of the characteristics of such debris flow, disaster prevention and mitigation measures combining slope stabilization, retaining and drainage are proposed, which can provide a reference for the disaster prevention and mitigation of this type of debris flow.

Key words: Xiongjia Guaiguai; Spoil sheet erosion-induced debris flow; Characteristics of dynamic parameters; Disaster prevention and mitigation

弃渣泥石流是山区开发矿产资源过程中废石渣(土、石、尾矿等)松散堆放,遭遇暴雨或持续降雨后失稳,引发人工泥石流,具有人为性、频发性、污染性、可控性等特点,可分为弃渣面蚀型、弃渣揭底型、弃渣侧蚀型、弃渣溃决型和其他复合型5类。诸多专家、学者致力于弃渣泥石流的研究,对其形成机理、运动模式特征及其防治措施等方面均有了较系统的认识,取得了较多的研究成果^[1-4]。但由于弃渣面蚀型泥石流规模小、过程时间短,一般降雨条件下不易启动,日常生活中人

们对其防范有所懈怠,专家、学者关注较少,不利于此类泥石流的防灾减灾工作。

文章以熊家拐拐泥石流为例,对弃渣面蚀型泥石流特征和成因机制进行了初步研究,提出了这类泥石流的防灾减灾建议,对控制和减少弃渣面蚀型泥石流的发生和发展,丰富泥石流形成理论及实施弃渣面蚀型泥石流防灾减灾具有重要意义。

收稿日期:2025-09-13

作者简介:王帅(1991—),男,工程师

1 研究区概况

熊家拐拐泥石流位于云南省彝良县洛泽河镇境内,地形陡峭,西南高东北低,属亚热带季风气候,干湿季分明,垂直变化明显,丰水期为每年5—10月,占全年降雨量的93.6%以上,枯水期为11月至次年4月,日最大降雨量高达235.4 mm,10 min雨强高达13.36 mm,多年平均降雨量796.3 mm,由于气候具有雨季集中的特点,对斜坡稳定的影响较大。

场区位于云贵高原北东部的边缘斜坡地带,洛泽河左岸,属构造侵蚀中-高山峡谷地貌区,山高谷深,沟壑纵横,峰峦叠嶂,受水流作用及风化作用影响较强。区内地层岩性主要为二叠系下统梁山组砂岩,产状 $76^{\circ}\angle 26^{\circ}$,该组岩体结构破碎,抗侵蚀、风化能力弱,是良好的隔水层。第四系地层以残坡积物为主,土质松散,密实度低,可为泥石流形成提供物质基础。场区新构造运动强烈,地质环境较脆弱,地震频发,根据《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2015)场区基本地震动峰值加速度为0.10 g,相应地震基本烈度为Ⅶ度,地震反应谱特征周期为0.45 s。

2 泥石流特征

熊家拐拐泥石流位于小法路村许发公路旁斜坡,洛泽河左岸,沟道长约310 m,方向 90° ,相对高差110 m,泥石流灾害发生前斜坡上仅有一条常年季节性雨淋沟,并无明显的沟道,泥石流发生后,斜坡被侵蚀深切形成沟道,沟道形态总体呈长条状,上宽下窄,无支沟汇入,可分出明显的形成区、流通区和堆积区。

2.1 泥石流分区特征

1)形成区。形成区位于许发线公路下游,高程1180~1110 m,地势陡峻开阔,山坡坡度 33.4° ,多跌水、陡坎,呈多级圈椅状,有利于水流汇集,植被以草本植物为主。下蚀沟道长约218 m,平面形态上有弯折,呈折线形,主沟纵坡降为51‰,断面呈“V”字型,沟底平均宽度约0.5 m,平均断面面积约 3.0 m^2 ,下蚀泥沙约 436 m^3 。此次启动物源主要是沟道松散堆积体和沟道右侧煤渣,方量约 5800 m^3 ,泥石流发生后,在沟道内可见明显泥痕,共测3条泥痕剖面。当

前形成区沟道上段有体积约 6400 m^3 的三角形堆积体,形成区下段左岸斜坡体后缘发现一条长15 m,宽20 cm,下错50 cm的已扩展裂缝,沟道上的堆积体和左岸不稳定斜坡体在雨水作用下极易通过面蚀作用进入沟道,引发新的泥石流灾害。

2)流通区。流通区起于许发线公路下70 m处,止于洛泽河左岸,长约87 m。泥石流发生前斜坡表面并无明显沟道,泥石流发生后将斜坡表面冲刷出一条宽近1 m,深0.30 m的表面冲沟。沟床较顺直,纵坡降为78‰,沟底基岩出露,侧蚀和掏蚀作用较弱,为泥石流提供的物源有限。

3)堆积区。堆积区位于洛泽河左岸的公路,泥石流冲下跌坎后受到公路外侧挡墙的阻挡,主要流体均沿着公路往北侧和南侧堆积、部分土体翻越公路挡墙后冲入洛泽河。

2.2 泥石流动力学参数特征

泥石流动力学参数特征主要包括容重、流速、流量、冲压力和爬高等,这些参数的大小反应了泥石流的强度、规模、和性质,制约着泥石流的防治措施的选择。因此,根据弃渣面蚀型泥石流特征,基于行业规范选择合适的方法对熊家拐拐泥石流动力学参数特征进行计算。

1)容重。泥石流容重采用流体形态调查法测得,现场邀请目睹泥石流的知情人填写泥石流调查表,经调查可知该泥石流含黏、细颗粒物质多,稠度浓,黏度大,浮托力强,堆积区最大块石呈椭球状,粒径1.0 m,块体浑浊黏稠呈稀粥状,棕黄色,黏粒含量大,泥石流发生后堆积体中碎块石含量较高,根据《泥石流灾害防治工程勘察规范(试行)》(T/CAGHP 006—2018)附录H,确定泥石流重度为 1.70 t/m^3 ,属黏性泥石流。可见该泥石流虽然是弃渣启动,但大量斜坡堆积物的加入以及沟道侵蚀作用改变了泥石流的粘稠度。

2)流速。泥石流流速按照王继康黏性泥石流流速计算公式,该公式经过数以百计的泥石流防治工程的实践检验,效果较好,主要涉及泥石流泥深、沟道纵坡降等参数。此次泥石流发生后,沟道内泥痕明显,选择泥石流形成区内侧的3条沟道泥痕剖面为例。各剖面泥深、沟道纵坡降及计算的泥石流流速见表1。

3)流量。泥石流流量计算有雨洪修正法和形态调查法两种。雨洪修正法认为泥石流流量为雨

表 1 泥石流断面流速计算表

剖面编号	泥深/m	沟道纵坡降/‰	流速系数	断面平均流速/(m·s ⁻¹)
剖面 1	2.65	521	9.7	16.3
剖面 2	1.90	436	10.0	13.0
剖面 3	2.75	390	9.5	15.5

洪流量和固体流量之和,同时考虑黏性泥石流流动堵塞因素。形态调查法主要与现场调查的泥石流泥痕和沟槽形态断面相关,认为泥石流流量是泥石流过流断面面积和泥石流过流断面流速的乘积。利用这两种方法分别对熊家拐拐泥石流流量进行了计算,结果见表 2。

表 2 泥石流流量计算表

方法类型	断面位置	面积/m ²	坡降/‰	流速/(m·s ⁻¹)	清水流量/(m ³ ·s ⁻¹)	流量/(m ³ ·s ⁻¹)
雨洪修正法	剖面 1	3.6	521		61.6	93.6
	剖面 2	2.4	436		33.3	50.6
	剖面 3	4.5	390		80.7	122.7
形态调查法	剖面 1	3.6		16.3		58.7
	剖面 2	2.4		13.0		31.2
	剖面 3	4.5		15.5		69.8

4)泥石流冲击力。泥石流的冲击力可分为泥石流流体冲击力和泥石流块石冲击力两种。其中,泥石流整体冲击力主要与泥石流流体重量和泥石流流体流速有关,而泥石流块石冲击力主要与泥石流中包含的块石质量和块石流速有关。

根据规范计算的熊家拐拐泥石流各测量泥痕断面处整体冲击压力分别为 61.30 kPa、38.99 kPa、55.43 kPa,泥石流最大块石冲击力为 171.1 kPa。可见该泥石流发生时包含的块石冲击力相较于泥石流流体明显要大得多。

5)泥石流爬高。泥石流在运动过程中,若突然受阻会产生冲起爬高,爬高高度主要根据泥石流动能转化为位能的原理。根据规范求得的熊家拐拐泥石流最大爬高为 13.6 m。

3 泥石流成因分析

熊家拐拐泥石流即具备常规泥石流启动所需要的丰富物源,陡峻地形,强降雨等条件,又有其独特性,主要表现在强渗透性松散物源、利于汇水的陡峻地形以及持续降雨和短时强降雨相结合的水动力条件等。

3.1 强渗透性的松散物源

强渗透性的松散物源为泥石流的发生提供了物质基础。形成此次泥石流的启动物源来自于熊家拐拐公路下方斜坡上堆积的烧窑弃渣,弃渣土质松散无联接,密实度低,空隙度高,渗透系数大,具有强透水性,利于雨水下渗,一般降雨条件下,雨水可透过弃渣堆中的粗大孔隙渗漏排出,难以导致废石渣堆起动。但如遇特大暴雨,雨水的补给量大于弃渣的下渗量时,弃渣内部细小颗粒便会首先发生迁移,产生内部掏蚀现象,破坏弃渣整体骨架结构,形成水流通道,导致渣体局部积水,随着降雨的持续,弃渣高度饱和,呈流态化,形成“水盆”,为泥石流的形成提供强大的物源和水动力条件。

3.2 利于汇水的陡峻地形

利于汇水的陡峻地形为泥石流的发生提供了环境条件。熊家拐拐泥石流流域地形陡峭,且呈多级圈椅状,利于雨水在中间汇集,周边坡体上的含碎石壤土,渗透系数小,雨水下渗缓慢,强降雨易于在坡面形成径流,在汇集的径流和雨水的共同作用下,分布于圈椅中部的弃渣饱和加剧。同时,高陡的地形条件为泥石流的转化提供巨大的势能,使上部饱和的土体对下部坡脚土体产生强大的推力,启动物源失稳后坡体上的堆积物极不稳定,易在雨水下渗和坡面径流的作用下启动,为泥石流提供物源,造成整体流滑破坏。

3.3 持续降雨和短时强降雨相结合

熊家拐拐泥石流发生前,经历了 3 d 持续降雨,雨水沿弃渣孔隙下渗,在长时间的雨水浸润下,使得矿渣下部的含碎石壤土含水量逐步增大,抗剪强度降低,并增大土体重量,当含水量达到临界值时土体达到极限平衡状态。

在短时强降雨作用下,降雨强度大于弃渣的渗透系数,弃渣饱水,孔隙水压力升高,雨水对含碎石壤土的浸润由自由入渗转为有压入渗阶段,土体极限平衡状态被打破,泥石流发生。同时斜坡土体溯源侵蚀、揭底,在“滚雪球”等效应的作用下形成沟道,上覆弃渣及沟道两岸产生牵引式坍塌,均进入沟道,为此次泥石流提供物源。

4 泥石流防灾减灾措施

泥石流的防治措施大致分为防止泥石流发

生、控制泥石流流动(流量、流速、流向)以及对泥石流进行监测预报3个方面。通过对熊家拐拐泥石流特征及其成因分析,可知,该类泥石流一旦启动,冲击力与破坏性较大,控制泥石流流动难度较大,因此对该类泥石流的防治除了必要的监测预警外,控制泥石流发生是关键,可采取稳坡、拦挡、排水相结合的处理措施。稳坡宜采用生物工程,首先在弃渣表面覆土,然后植树、种草,减少雨水的下渗维持物源的稳定;拦挡可采用堡坎护坡等工程处理措施,防止弃渣在遭受洪水、坡面流等的侵蚀下失稳,成为泥石流的物源;排水可修建截水沟,将沟道流水和坡面汇集的雨水截流后引入南侧公路排水沟流走,使水土分离,阻断泥石流再次启动的水动力。

5 结论

1) 熊家拐拐泥石流是典型的弃渣面蚀型泥石流,该类泥石流的启动是强渗透性的松散物源,持续降雨和短时强降雨的组合降雨模式以及利于汇水的陡峻地形等因素综合影响的结果,其

中弃渣高度饱和,呈流态化,体现了该泥石流启动的异同。

2) 经泥石流动力学参数特征计算,弃渣面蚀型泥石流流速、流量、冲击力均远大于一般泥石流,致灾能力强,破坏性大,更需要关注。

3) 弃渣面蚀型泥石流的防治,关键是控制泥石流发生,可采取稳坡、拦挡、排水相结合的处理措施。

参考文献

- [1] 孔静雯.矿渣型泥石流的起动过程与机理研究[D].西安:长安大学,2023.
- [2] 王锴,朱涛,苏生瑞,等.颗粒级配对矿渣型泥石流启动影响的机理研究[J].河北工程大学学报(自然科学版),2019,36(4):90-97.
- [3] 韩俊,陈龙飞,何宇航,等.九寨沟景区卓追沟泥石流特征及治理措施建议[J].防灾减灾学报,2023,39(4):83-87.
- [4] 唐勤,陈兴长,柳金峰,等.云南省德钦县直任龙曲泥石流治理工程防治效果研究[J].防灾减灾学报,2022,38(4):36-44.

基金项目:中央引导地方科技发展资金项目(YDZX2022019)

(责任编辑 张玉燕)

(上接第3页)人机巡检、AI 监测系统等现代化的监理手段,提高监理履职能力。

2) 根据《水利工程设计变更管理暂行办法》,加强设计变更监管。

3) 有关单位要主动靠前服务,积极协调解决临时占地、设备材料进场等方面存在的问题,为小型病险水库除险加固创造良好的施工条件。

4.4 加强小型水库除险加固监管

加大水库大坝安全鉴定成果核查力度,强化病险水库除险加固初步设计报告技术审查力度。建立常态化核查、审查机制,健全安全鉴定承担单位和初步设计报告编制单位的守信激励和失信惩戒机制,同时也要完善信用修复机制,明确修复条件。当核查结论与安全鉴定结论不一致或初步设计报告存在问题时,适时采取提醒、通报、约谈等方式,将承担单位或编制单位列入黑名单,暂停其从事安全鉴定或初设报告编制的资格,并纳入不良信用记录管理,以督促其提高工

作质量。

4.5 完善小型水库运行管护投入机制

加大小型水库维修养护投入,加强安全监测设施运维和监测资料的整编、分析、应用,高标准、高质量做好日常维修养护工作,将问题解决在萌芽状态,有效解决除险加固一次性投入较大的问题。同时,加大小型水库除险加固投入,完善中央、省、市、县四级资金投入机制,适度提高安全评价承担单位、除险加固初步设计报告编制单位费用,酌情提高监理、施工、检测单位除险加固合同额。加强资金管理,严格落实专款专用、专账核算,确保资金规范使用,发挥实效。

参考文献

- [1] 李玉起,冯蕊,程蔡滢.大中型水库大坝安全鉴定成果核查存在的主要问题及对策[J].人民珠江,2023,44(S1):157-160.

(责任编辑 张玉燕)