

大沙窝滑坡-泥石流灾害链成灾机理及防治措施分析

王春红,刘霞,胡爱国

四川省第九地质大队,德阳 618000

摘要: 2020年9月14日凌晨,在一次短时强降雨下大沙窝沟上游段左侧斜坡突然失稳滑入沟道,并引发了大沙窝沟暴发泥石流。通过研究大沙窝滑坡-泥石流灾害链的形成机理,能较准确地为该灾害链的防治工作提供依据。利用无人机航空摄影、地形测绘、遥感解译、钻探等勘查手段,对该灾害链发生的孕灾环境条件和成灾过程进行分析,结果表明连续多日强降雨是该灾害链发生的主要原因,该灾害链的防治可采取以拦为主、辅以防护的措施。

关键词: 滑坡-泥石流;灾害链;成灾机理;防治措施

中图分类号: P642.22;P642.23 **文献标识码:** A

Analysis of Disaster Mechanism and Prevention Measures for the Dashawogou Landslide-Debris Flow Disaster Chain

WANG Chunhong, LIU Xia, HU Aiguo

Sichuan No. 9 Geological Brigade, Deyang 618000, China

Abstract: In the early morning of September 14, 2020, a short-duration heavy rainfall triggered a sudden slope failure on the left bank of the upper Dashawogou Gully, which subsequently initiated a debris flow. Investigating the formation mechanism of the Dashawogou landslide-debris flow disaster chain provides critical insights for its prevention and control. This study employs UAV aerial photography, topographic mapping, remote sensing interpretation, and drilling to analyze the disaster-pregnant environmental conditions and the disaster evolution process. Results indicate that prolonged heavy rainfall over multiple days was the primary cause of this disaster chain. For mitigation, a strategy prioritizing blocking measures supplemented by protective measures is proposed.

Key words: Landslide-debris flow; Disaster chain; Disaster mechanism; Prevention and control measures

收稿日期:2024-05-20 改回日期:2024-07-04

基金项目:德阳市科技计划项目社会发展(编号:2022SZ064)

第一作者简介:王春红(1982-),女,高级工程师,主要从事地质灾害防治相关工作。E-mail:262496912@qq.com

引文格式:王春红,刘霞,胡爱国.大沙窝滑坡-泥石流灾害链成灾机理及防治措施分析[J].地质灾害与环境保护,2025,36(1):1-5.

WANG Chunhong, LIU Xia, HU Aiguo. Analysis of disaster mechanism and prevention measures for the dashawogou landslide-debris flow disaster chain[J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2025, 36(1): 1-5.

0 引言

受特殊地质环境条件影响,西南山区是我国地质灾害链发育数量最多、类型最全的地区。滑坡可以在特定条件下转化为泥石流^[1,2],且在特定条件下是相互依存的关系^[3]。康志成等研究表明地形因素对滑坡转化为泥石流具有重要的作用^[4-7];翟张辉等研究表明强降雨和陡峭的后壁是滑坡转化为泥石流的两个重要条件^[8];赵立峰等研究表明地质环境条件是滑坡转化为泥石流形成的重要因素之一^[9],而前期持续性降雨则是滑坡转化为泥石流的关键因素^[10]。高位滑坡发生后,滑坡体进入沟床,松散固体物质成为泥石流物源体^[11,12],进而引发或加剧泥石流灾害链,滑坡一旦转化为泥石流的链生灾害往往影响范围更大,破坏性更强^[13]。

2020年9月14日凌晨,在一次短时强降雨下四川省凉山彝族自治州(以下简称凉山州)德昌县巴洞镇宽裕村9社大沙窝沟上游段左侧斜坡突然失稳破坏,在高陡斜坡巨大落差的驱动下高速运动,沿途不断携卷和铲削坡体上层松散物质,最终滑入大沙窝沟,堵塞沟道约750 m,并引发了大沙窝沟暴发泥石流。此次滑坡-泥石流灾害造成沟口数亩耕地和公路被冲毁,紧急转移了150余人。

本文利用无人机航空摄影、地形测绘、遥感解译和钻探等勘查手段,对大沙窝滑坡-泥石流灾害链发生的孕灾环境条件、成灾过程和灾害链发展趋势进行了分析,为大沙窝滑坡-泥石流灾害链防治提供依据。

1 地质环境条件

1.1 地形地貌

大沙窝沟流域位于凉山州德昌县巴洞镇宽裕村9社,距德昌县城约20 km。滑坡区地处康藏高原东缘,属构造剥蚀侵蚀高中山地貌。

大沙窝沟流域整体地势西南高东北低(图1),为凉峰沟左岸一级支沟,流域最高点高程2 210 m,沟口高程为1 607 m,相对高差603 m,面积约0.78 km²,主沟道长度约2.25 km,平均纵坡降180‰。流域地形呈树叶状,沟道呈“V”型,上游比降达600‰以上,沟道堆积区较缓,平均纵坡降110‰,大沙窝沟道较狭窄,沟床宽度一般1~3 m,两岸地形陡峭,平均坡度在35°以上。大沙窝滑坡位于流域左上段斜坡上,滑坡后缘高程约2 090 m,坡脚大沙窝沟处高程1 850 m,滑坡堆积物前缘高程约1 700 m,凉峰d沟两岸为宽裕村9社居民区。

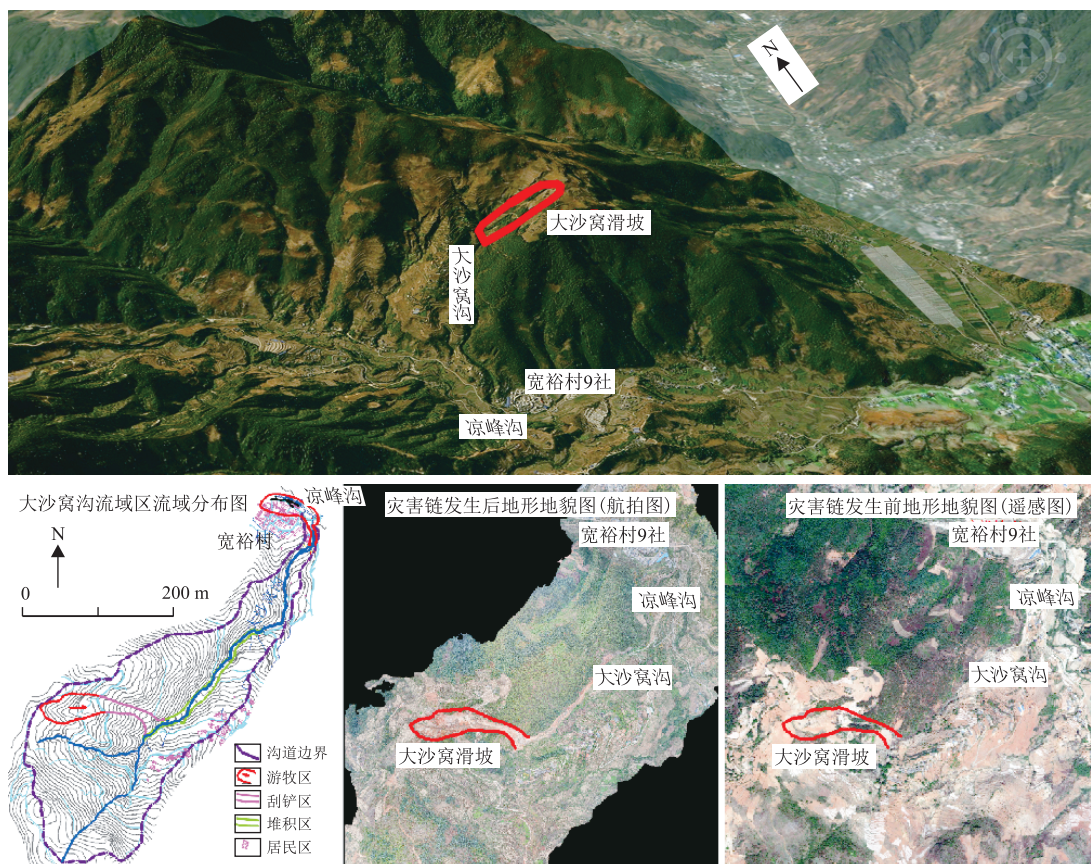


图1 大沙窝沟流域地形地貌

1.2 地层岩性

流域内出露的地层主要为前震旦纪花岗岩(γ_2^1)、震旦系上统灯影组下段白云岩($Z_6.d^1$)及第四系全新统泥石流堆积物(Q_4^{scf})、滑坡堆积物(Q_4^{del})、残坡积物(Q_4^{cl+dl})。

花岗岩出露沟道下游,岩性为花岗岩,主要矿物成分为石英、长石、云母等组成,岩芯呈坚硬状,岩体极破碎。白云岩出露于沟道上游大部分区域,岩性为白云岩,厚层状。

滑坡堆积物主要分布于滑坡区,碎石土,粒径一般2~15 cm不等,含量约占55%。残坡积物分布于斜坡上,碎石土,粒径一般2~10 cm不等,含量约占60%,局部含少量块石。泥石流堆积物分布于沟道及堆积区,碎石土,粒径一般为2~20 cm,碎石含量约占50%~55%。

大沙窝沟流域及其周边范围内无大规模断裂、褶皱等地质构造发育。

2 滑坡-泥石流成灾分析

2.1 灾情的基本情况

根据大沙窝滑坡监测员反映,在连续多日的强降雨下,坡体松散土层达到饱和,2020年9月14日凌晨一次短时的强降雨下,位于流域中上游左岸坡

体突然整体失稳滑入沟道内(图2),并淤满了下游大沙窝沟道约750 m,堵塞大沙窝沟、抬高水位,上游坡面汇集的水形成强大的势能启动了堆积于沟道内的滑坡堆积物,并引发了泥石流,为泥石流物源启动处。根据无人机航空摄影、地形测绘、钻探等显示,大沙窝滑坡滑动范围纵长约300 m,横宽约100 m,平均厚约10 m,体积约 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$,滑坡后缘及两侧形成高差约30 m,坡体上发育数条张拉裂缝。该滑坡滑动后对下方坡体进行了刮铲,刮铲影响范围纵长约260 m,横宽约50 m,平均厚约5 m,体积约 $7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。刮铲后在大沙窝沟道内堆积,堆积总长约750 m,堆积厚度5~10 m,平均厚约8 m,体积约 $13.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。部分滑坡滑动后停留在滑槽及刮铲区,松散堆积体平面面积约15 000 m^2 ,平均厚约8 m,体积约 $12 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

根据现场调查,沟口已有的涵洞过流断面不够,使得松散固体物质翻过涵洞及沟岸,冲毁沟口数米水泥路,并造成数亩耕地被冲毁(图3)。在沟口堆积区调查到泥石流冲出的固体物质最大块径0.7 m,泥石流在沟口堆积面积约6 000 m^2 ,泥石流过后在沟口堆积碎块石厚0.2~1.5 m,松散固体物质堆积方量约4 000 m^3 ,约300 m^3 固体物质进入凉峰沟被带走,为稀性小型泥石流。

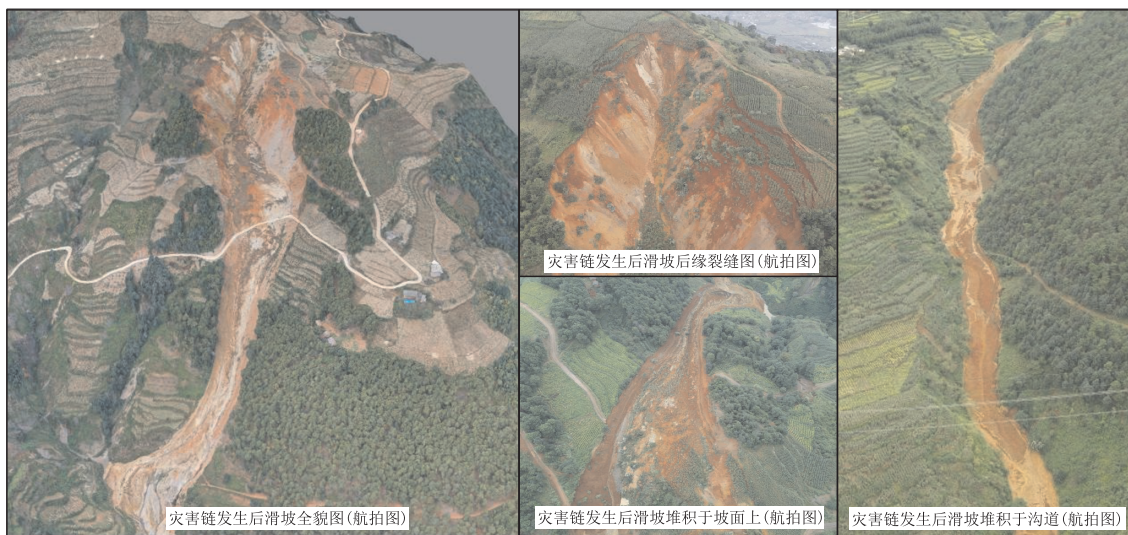


图2 滑坡发生后照

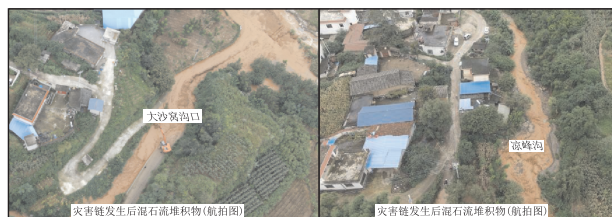


图3 泥石流发生后堆积于沟口照

2.2 灾害链成灾原因

(1) 水动力条件

据德昌县气象局资料显示,德昌县进入9月份全县大面积强降雨,德昌县普降大到暴雨,9月14日5时至15日3时巴洞降雨量44.4 mm,根据测算该降雨量相当于20 a一遇的降雨量,该降雨频率的降雨量已超过了泥石流界限雨值。在连续多日强降雨

雨下,雨水进入滑坡坡体内,软化滑坡岩土体,降低了岩土体的强度,产生动水压力和孔隙水压力,在水压力作用下该滑坡发生了滑动。大沙窝沟流域呈树叶状,利于雨水的汇集,沟道纵坡较大,滑坡滑入沟道堵塞沟道并增加了水动力条件,使得该沟在9月14日早上8时左右暴发了泥石流。

(2) 地形地貌条件

大沙窝沟流域面积约0.78 km²,主沟道长度约2.25 km,平均纵坡降180‰,上游比降达600‰以上,大沙窝沟道较狭窄,沟床宽度一般1~3 m,两岸地形陡峻,平均坡度在35°以上。由于大沙窝下游沟道坡降较陡较窄,泥石流过后该段沟道有明显冲淤痕迹,沟道下切深度约为0.3~0.5 m左右,沟道两岸垮塌宽度0.2~0.5 m(图4)。沟道松散固体参与了泥石流活动,大沙窝沟口段沟道较窄,沟道纵坡降变缓,松散固体物质易在沟口堆积。



图4 灾害链发生后沟道被冲刷照

(3) 物源条件

大沙窝沟流域面积较大,地形上陡下缓,有利于地表大气降水的汇聚,水源条件较为丰富。物源主要为大沙窝滑坡、堆积在坡面上的滑坡堆积物和沟道物源,在连续强降雨的条件下,大沙窝滑坡物源及坡面上的滑坡堆积物很可能被冲入沟道内,堵塞沟道,增强了水动力条件。当上游的水位到了一定高度将溃决,从而裹挟冲刷沟道内的松散固体物质,固体物质被冲到沟口。

3 滑坡-泥石流发展趋势

3.1 滑坡稳定性及发展趋势

大沙窝滑坡后缘已到山脊,从滑坡形成的临空面上可见基岩出露,为一推移式中型岩质滑坡。滑坡发生滑动后,目前滑坡体后缘及两侧坡体上发育有大量张拉裂缝,左右两侧形成5~25 m临空面,后缘形成约15 m的临空面,初步估计该滑坡两侧至少牵引约30 m,后缘至少往后牵引约20 m,估计该滑坡方量约11.5×10⁴ m³。滑坡两侧、后缘形成的临空面高且陡,宏观判断该滑坡体处于基本稳定—不稳定状态。

滑坡滑动后停留在滑槽及刮铲区松散堆积体约12×10⁴ m³,堆积体所在坡体坡面较陡,前缘形成高约5~30 m临空面,初步判断该堆积体处于基本稳定—不稳定状态。松散堆积体主要受降雨及坡脚河水控制,在强降雨下,堆积体会继续滑入沟道,参与泥石流活动,当坡脚被冲刷到滑坡堆积体达到一定休止角后,其上部物质将不再参与泥石流活动。

目前滑坡已进行了削方及坡体平整,且该滑坡已经发生过滑动,应力得到了释放,产生水动力条件已破坏,所以该滑坡再次发生整体滑动的可能性小。但是该滑坡两侧、后缘形成的临空面高且陡,在强降雨等不利的条件下,仍会再次发生局部垮塌,直到两侧、后缘形成的边坡达到稳定后,坡体将不再参与泥石流活动。

3.2 堵溃分析

(1) 沟道内可能堵溃物源分析

现场调查到大沙窝沟流域内发育多个滑坡,大沙窝滑坡体位于主沟上游左岸,且滑坡堆积于坡面上方量较大,故对该滑坡及坡面堆积体进行堵溃沟道可能性进行分析是有必要的。

大沙窝滑坡方量约11.5×10⁴ m³,该滑坡体处于基本稳定—不稳定状态。该滑坡体主要受降雨控制,初步估算该滑坡体近期可参与泥石流活动的动储量约为5.0×10⁴ m³。由于大沙窝沟道较窄,宽约10 m,一旦该滑坡整体滑入沟道,可能在沟道内堆积高约5 m,将会堵塞沟道。

大沙窝滑坡滑动后停留在滑槽及刮铲区松散堆积方量约12×10⁴ m³。滑体堆积体主要由碎石土组成,表层可见最大块石的粒径大于50 cm,多在6~50 cm之间,碎石土多占55%左右。滑坡堆积体直接堆积于坡面上,堆积体已进入沟道内,在暴雨洪水或泥石流冲刷下,堆积体被冲刷、裹挟而参与泥石流活动。可参与泥石流活动的物质主要为进入沟道内可能被洪水冲切的部分和该部分被带走后,计算其可能参与泥石流活动的物源量约5.0×10⁴ m³。松散堆积物主要分布于坡面上,其参与泥石流活动的方式主要是在暴雨冲刷下,部分物源进入沟道,再被泥石流裹挟带走,主要以细粒物质为主。据现场调查,该滑坡堆积体处于欠稳定状态,其12×10⁴ m³物源并非一次性参与一次泥石流活动,该段沟道宽10 m,沟道很陡,发生泥石流时,很可能会将沟道堵塞。

(2) 泥石流堵溃下游河道的可能性分析

大沙窝沟汇入凉峰沟段纵坡降为110‰,地势较开阔,泥石流在此段极易淤积。凉峰沟在宽裕村

9 社段地势较窄,约 5~8 m 左右。通过对堵塞凉峰沟一次泥石流规模、泥石流流量及清水流量等进行计算,结合现场调查表明,大沙窝沟泥石流堵塞凉峰沟所需的固体物质量较小,虽凉峰沟的清水流量较大,但若凉峰沟的降雨频率低于大沙窝沟泥石流暴发的频率,大沙窝沟泥石流将造成沟口凉峰沟堵塞的可能性大。

4 防治措施分析

4.1 沟口排导的可行性分析

大沙窝沟沟口汇入主沟凉峰沟段纵坡降为 110‰,沟道由上至下逐渐变缓,由宽变窄,出口段沟道特别窄,且弯道较多,而汇入沟口的凉峰沟纵坡较缓,沟道较窄,携带泥沙的能力较差,且凉峰沟流域面积不是很大,虽有一定携带泥沙的能力,但是携带泥沙的能力较差,从大沙窝沟汇入的细小颗粒部分还是可以携带走。通过调查大沙窝沟的松散固体物质粒径较小,修建拦粗排细工程将无法拦住泥石流固体物质,因此,该沟不具备修建排导工程的条件,也不具备修建拦粗排细工程的条件。

4.2 沟道中上游固源、拦挡的可行性分析

根据对大沙窝滑坡稳定性及发展趋势分析可知,该滑坡处于基本稳定—不稳定状态,该滑坡无直接威胁对象,其间接威胁对象为滑坡滑入大沙窝沟道堵塞沟道并引发泥石流。该滑坡为一中型滑坡,治理投资费用较大,经济效益比较差,因此,建议对该滑坡加强监测。滑坡滑动后停留在滑坡面松散堆积体处于基本稳定—不稳定状态,由于大沙窝滑坡下方沟道窄、陡,沟道两岸坡度大,坡脚修建支挡工程施工难度大、造价高。沟道堆积物段沟道窄、陡,两岸坡度大,固源工程施工难度大、造价高。

4.3 治理方案

通过前面的分析,对大沙窝滑坡采取固源或对中上游沟道采取固源、拦挡工程的措施可行性较差,出山口到凉峰沟段沟道窄且缓,排导条件较差,因此,该沟主要“以拦为主辅以防护”的治理方案。

5 结语

(1) 连续多日强降雨引发了大沙窝滑坡,滑坡

松散固体物质为大沙窝沟暴发泥石流提供了物源,滑坡堵塞沟道增强了水动力条件,并引发了泥石流。

(2) 大沙窝滑坡已进行了削方及坡体平整,该滑坡再次发生整体滑动的可能性小,但是在强降雨等不利的条件下,该滑坡仍会再次发生局部垮塌,同时大沙窝沟暴发泥石流堵塞凉峰沟的可能性大。

(3) 对大沙窝滑坡、中上游沟道采取固源的措施可行性较差,且该沟的排导条件也较差,因此,该滑坡-泥石流灾害链的防治措施主要以拦为主辅以防护。

参考文献

- [1] 李永益. 滑坡、泥石流转化机理及其运动特征的研究[M]. 成都:四川科学技术出版社,1989.
- [2] 钟鸣音. 滑坡转化为泥石流实验研究[D]. 重庆:重庆交通大学,2012.
- [3] 胡明鉴,汪稔,蒋家沟流域暴雨滑坡泥石流共生关系试验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2003,22(5):824-828.
- [4] 康志成,李焯芬,马藹乃,等. 中国泥石流研究[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [5] 樊圆圆,宋玲,孙雯. 基于 PFC 的冰碛土泥石流起动过程模拟研究[J]. 干旱区资源与环境,2021,35(3):140-146.
- [6] 何静,刘强,许丁友,等. 基于聚类-信息量耦合模型下的广元市滑坡灾害易发性评价[J]. 测绘与空间地理信息,2020,43(12):25-31.
- [7] 谭成,李莉. 自然因素与工程作用对山区道路泥石流、滑坡形成的影响[J]. 工程建设与设计,2020,(15):88-89.
- [8] 翟张辉,沈伟,李同录,等. 天水市大沟滑坡—泥石流运动过程模拟分析[J]. 工程地质学报,2017,25(S1):400-406.
- [9] 赵立峰,王孝勇. 滑坡、泥石流地质灾害成因及防治措施浅析[J]. 中国新技术新产品,2016,(19):105-106.
- [10] 马许平,曾庆利,廖立业,等. 舟曲虎家崖滑坡直接转化泥石流的特征、过程与机理研究[J]. 工程地质学报,2024,32(1):170-182.
- [11] 崔云,孔纪名,田述军,等. 强降雨在山地灾害链成灾演化中的关键控制作用[J]. 山地学报,2011,29(1):87-94.
- [12] 冯文凯,贾邦中,吴义鹰,等. 低山丘陵区典型滑坡-泥石流链生灾害特征与成灾机理[J]. 中国地质灾害与防治学报,2022,33(1):35-44.
- [13] 崔鹏,郭剑. 沟谷灾害链演化模式与风险防控对策[J]. 工程科学与技术,2021,53(3):5-18.