

中国科技核心期刊 《中国科学引用文数据库》来源期刊 Caj-cd规范获奖期刊

THE CHINESE JOURNAL OF GEOLOGICAL HAZARD AND CONTROL

## 四川丹巴梅龙沟"6・17"泥石流成灾机理分析

文 强,胡卸文,刘 波,席传杰,何 坤

Analysis on the mechanism of debris flow in Meilong valley in Danba County on June 172020

WEN Qiang, HU Xiewen, LIU Bo, XI Chuanjie, and HE Kun

在线阅读 View online: https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2022.03-03

## 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

## 四川省冕宁县华岩子沟火后泥石流成灾机理

Disaster mechanism of post-fire debris flow in Huayanzi gully, Mianning County, Sichuan Province 张绍科, 胡卸文, 王严, 金涛, 杨瀛 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(5): 79-85

## 基于不同评价单元和灾害熵的泥石流危险性分析

Hazard analysis of debris flows based on different evaluation units and disaster entropy: A case study in Wudu section of the Bailong river basin

李小龙, 宋国虎, 向灵芝, 罗亮, 唐良琴, 沈娜, 梁梦辉 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(6): 107-115

## 泥石流致灾因子敏感性分析——以四川都江堰龙溪河流域为例

Sensitivity analysis of debris flow to environmental factors: a case of Longxi River basin in Dujiangyan, Sichuan Province 李彩侠, 马煜, 何元勋 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(5): 32–39

## 甘肃肃南县长达坂沟泥石流成灾机理和防治措施建议

\${suggestArticle.titleEn} 庞伟军,常刚,苟海瑞,张乾翼 中国地质灾害与防治学报.2018,29(2):29-34

## 基于水槽试验的冰碛土泥石流启动机理分析

Analysis of the start-up mechanism of moraine debris flow based on flume test: A case study of the Aierkuran Gully along the Sino-Pakistan highway

樊圆圆, 宋玲, 魏学利 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(1): 1-9

## 基于遗传规划的泥石流多因子融合预测方法

Multi-factors fusion method of debris flow prediction based on genetic programming 翟淑花, 冒建, 南, 刘欢欢, 王云涛, 王强强, 熊春华, 王艳梅 中国地质灾害与防治学报. 2020, 31(6): 111-115



关注微信公众号,获得更多资讯信息

#### DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2022.03-03

文强, 胡卸文, 刘波, 等. 四川丹巴梅龙沟"6·17"泥石流成灾机理分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2022, 33(3): 23-30. WEN Qiang, HU Xiewen, LIU Bo, *et al.* Analysis on the mechanism of debris flow in Meilong valley in Danba County on June 17, 2020[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2022, 33(3): 23-30.

# 四川丹巴梅龙沟"6·17"泥石流成灾机理分析

文强1, 胡卸文1,2, 刘波1, 席传杰1, 何坤1

(1. 西南交通大学地球科学与环境工程学院,四川成都 610031; 2. 高速铁路运营安全空间信息 技术国家地方联合工程试验室(西南交通大学).四川成都 610031)

摘要:2020年6月17日丹巴县梅龙沟爆发了一次大规模泥石流,一次性冲出固体物质42.7×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,形成泥石流-堰塞坝-溃 决洪水-滑坡灾害链,造成5100余户2.12万余人被迫转移,直接经济损失达8亿元。根据现场调查、无人机航拍以及遥感 解译,分析梅龙沟泥石流的成因及致灾机理,阐述了"物源成因"、"降雨激发"和"地形促进"对泥石流形成产生的影 响。结果表明:(1)梅龙沟泥石流是在前期累计降雨和短时强降雨共同作用下形成;(2)梅龙沟泥石流源头为大石堡沟, 起动模式为"沟岸垮塌-泥石流";(3)泥石流沟内持续的物源补给以及东风棚子、梅龙村、大邑村三处大型滑坡产生的级 联堵溃效应,致使泥石流流量不断放大,最终导致大量固体物质冲出沟口;(4)沟口形成的堰塞坝-溃决洪水-阿娘寨滑坡 灾害链进一步增强了泥石流的致灾能力;(5)现阶段梅龙沟内物源丰富,临界启动降雨阈值降低,极易在雨季发生大规模 泥石流,建议及时采取综合防治措施。

关键词:泥石流;成灾机理;堵溃效应;灾害链;发展趋势

中图分类号: P642.23 文献标志码: A 文章编号: 1003-8035(2022)03-0023-08

## Analysis on the mechanism of debris flow in Meilong valley in Danba County on June 17, 2020

WEN Qiang<sup>1</sup>, HU Xiewen<sup>1,2</sup>, LIU Bo<sup>1</sup>, XI Chuanjie<sup>1</sup>, HE Kun<sup>1</sup>

 Faculty of Geosciences and Environment Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China;
 State-Province Joint Engineering Laboratory of Spatial Information Technology for High-Speed Railway Safety (Southwest Jiaotong University), Chengdu, Sichuan 610031, China)

**Abstract:** A destructive debris flow broke out in Meilong gully, Danba County, on June 17, 2020, discharging almost 427 000 cubic meters of solid material, triggering a disaster chain consisting of debris flow, debris-flow dam, outburst flood, and landslide, forcing more than 5 100 households and 21 200 people to transfer and causing direct economic losses of 800 million yuan. The authors analyzed the causes and mechanism of the Meilong gully debris flow based on on-site investigation, aerial photography, and remote sensing interpretation, and elucidated the influence of material source, rainfall and terrain on the formation of debris flow. The results are shown as follows: (1) The Meilong gully debris flow was formed by the interaction of accumulated rainfall and short-term heavy rainfall. (2) The source of the debris flow in Meilonggou is in Dashibao ditch, which

收稿日期: 2022-03-25; 修订日期: 2022-05-10

投稿网址: https://www.zgdzzhyfzxb.com/

**通讯作者:** 胡卸文(1963-), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事工程地质、环境地质方面的教学与研究工作。 E-mail: huxiewen@163.com

基金项目:国家重点研发计划(2018YCF1505401);国家自然科学基金项目(41731285)

第一作者: 文 强(1997-), 男, 四川绵阳人, 硕士研究生, 主要从事地质灾害研究工作。E-mail: swjtuwenq@foxmail.com

中国地质灾害与防治学报

was caused by the collapse of the ditch bank. (3) The cascade blocking effect caused by the recharge of material and the three massive landslides named Dongfeng Shed, Meilong village, and Dayi village further amplifies the quantity of the debris flow. A large amount of solid material rushed out of the ditch mouth as a result. (4) The disaster chain consisted of debris-flow dam, outburst flood, and landslide at the mouth of the ditch, which further enhanced the risk of the debris flow. (5) The abundance of material in the Meilong ditch and lower rain threshold will tend to trigger destructive debris flow in the rain season. It is recommended to take comprehensive prevention and control measures in time.

Keywords: debris flow; mechanism of disaster; burst-blocking effect; disaster chain; development trend

## 0 引言

地震的强烈扰动加剧山地环境的脆弱性,极易诱发 滑坡、崩塌、泥石流、堰塞湖等次生地质灾害。有学者 研究指出汶川震后长期效应显著,地质灾害活动将持 续 20~25年,尤其是泥石流成灾规模和致灾程度显著 增强,呈现出新的特点<sup>[1-2]</sup>。震后泥石流的易发性表现 在两方面:一是地震引发的山体崩塌、滑坡,为震后降 雨诱发泥石流起动创造了丰富的物源条件;二是震裂作 用也致使原有松散物源的结构受扰,内部孔隙度增大, 极易在降雨作用下参与到泥石流活动之中;三是震后效 应诱发的地质灾害可能会与泥石流在时空内相互耦合, 形成多级灾害链,进一步增强致灾能力<sup>[3-4]</sup>。

关于震后泥石流成灾机理的研究,多集中于泥石流 成因机制和致灾特征上。倪化勇等<sup>[5]</sup>将文家沟泥石流 成灾机理归结为两方面:震因与物源、雨因与水源。黄 勋等<sup>[6]</sup>认为"8·18"银厂沟泥石流灾害是松散物源等致 灾体和游客、房屋等承灾体两者之间的"致承耦合"效 应引发的。胡卸文等<sup>[7]</sup>将汶川震区桃关沟 2013 年"7·10"泥石流成灾机理归结为崩滑物源、坡面物源、 沟道物源三者的起动及相互叠加。胡涛<sup>[8]</sup>通过系统分 析汶川地区大型震后泥石流的成灾特征,总结归纳三类 成灾类型:堵塞溃决型、下切揭底型以及崩滑补给型。 由此可见,震后泥石流的成灾不仅受控于降雨条件、地 震及构造强烈程度,还受控于地震引发的物源类型及转 化方式。

1952年,丹巴县半扇门镇关洲村梅龙沟在汛期爆 发了一次小规模泥石流,由于沟域内物源较少,灾害较 小,未造成人员伤亡。但在汶川地震和康定地震的强烈 扰动作用下,沟内新增了大量崩塌、滑坡,产生了丰富 的松散物源。2020年6月17日,在长达一个月的持续 降雨和短历时强降雨激发的双重作用下,梅龙沟暴发了 大规模泥石流,一次性冲出方量约42.7×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,造成沟 口小金川河堵塞,形成堰塞湖,随后堰塞坝失稳溃决,引 发对岸阿娘寨古滑坡复活,形成一条致灾能力极强的泥 石流灾害链。造成关州村、阿娘寨一村大量房屋倒塌 损坏,累计 5 100 余户 2.12 万余人被迫转移,直接经济 损失达 8 亿元。

根据对梅龙沟"6·17"泥石流灾害的野外调查,通过 分析遥感解译数据和无人机航拍数据,揭示"6·17"泥石 流的成因与致灾机理,阐述梅龙沟泥石流发展趋势,旨 在提高对该泥石流的成灾特点认识,为今后的泥石流防 治预警提供参考。

### 1 研究区地质环境概况

梅龙沟泥石流位于四川省丹巴县半扇门乡关洲村(图1)。研究区地形陡峻,支沟纵横,相对高差达2640m,属于典型的高山峡谷地貌。区内地质构造复杂,地处川滇南北向构造与小金—金汤弧形构造的复合部位<sup>[9]</sup>。境内西侧临近鲜水河断裂带,新构造运动强烈,地震活动频繁。区内地层主要为泥盆系危关群(Dwg)的花岗变质岩、板岩、千枚岩以及第四系松散堆积层(Q<sub>4</sub>)<sup>[10]</sup>。

受大陆性高原季风气候影响,县内全年降雨分配不均,雨季多集中在 5—9月,尤其是夏季多暴雨,占全年降雨量 80% 以上,多年平均降雨量为 639.4 mm。

受地震及长期的地质营力影响,区内地质灾害较 多,同时沟口小金川河正对岸发育阿娘寨古滑坡。

#### 2 泥石流形成条件分析

有利的地形条件、充沛的降雨条件以及丰富的物源条件是形成泥石流的关键<sup>[11]</sup>。梅龙沟泥石流灾害的 形成主要受到地形条件、物源类型、地震活动以及降雨 条件的控制。

#### 2.1 地形条件

梅龙沟流域形态近似银杏叶状, 流域面积 62.79 km<sup>2</sup>, 区内最高点海拔 4 760 m, 沟口高程 2 120 m(图 2), 沟谷 纵坡降大, 平均纵坡降 215‰。梅龙沟沟道深切, 横断 面多呈"V"型, 岸坡普遍陡峻, 坡度多在 32°~40°, 个别 地段高达 70°~75°, 流域内共发育有 10 条支沟, 各支沟

· 24 ·



图 1 研究区概况图 Fig. 1 Location map of the study area

呈树枝状展布在梅龙沟两侧,各支沟平均纵坡降达 405‰,根据赵宾杰等<sup>[12]</sup>对汶川等地169条泥石流沟研 究表明,沟床平均纵坡降达250‰,极易在物源和降雨 条件的耦合作用下暴发泥石流。梅龙沟区内陡峻的



"漏斗状"地形,便于地表径流快速汇聚,为"6·17"泥石 流的暴发提供了充足的水动力条件。

#### 2.2 物源条件

区内构造复杂,临近鲜水河断裂带,频繁受到周边 地区的地震影响,尤其是汶川、康定等地震事件诱发的 大量滑坡、崩塌等地质灾害,新增大量松散物源。由于 人类工程活动需求,沟内多处开挖简易土石道路,且人 工切坡后未采取任何支护措施,造成多处路坡表层岩土 出现滑塌。从物源分布条件分析,各物源主要沿沟道及 支沟沟道两侧分布,极易在降雨冲刷下被卷入沟中,参 与泥石流运动。

根据调查,区内现存松散物源总量约7.10×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>,动储量约2.78×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>,类型以沟道物源和崩滑物源为主,坡面物源为辅(图3)。

#### 2.3 降雨条件

根据丹巴县气象站近十年的降雨资料统计,丹巴县6月份的多年平均降雨量为135.5 mm,而2020年6月降雨量为206.2 mm,即"6·17"泥石流暴发当月降雨量超历年降雨均值52%。同时"6·17"泥石流发生前,区内已连续降雨长达一月之久,累计降雨量达168.8 mm(图4)。长时间的降雨不但使梅龙沟流域内的松散物源一直处于饱水状态,稳定性显著降低;同时也使沟域内的地表包气带饱和<sup>[13]</sup>,在强降雨作用下形成地表径流的时间大幅缩短,为泥石流的启动提供充足的水源。

2020年6月16日24时—17日3时,丹巴境内发生一次强降水,县域内9个监测点达到暴雨标准,半扇

2022年



(a) 沟道物源



(b) 滑坡物源

图 3 梅龙沟典型物源照片

Fig. 3 Topographic slope map of Meilong gully



Fig. 4 The daily rainfall process in Danba County before the "6·17" debris flow

门乡1h最大降雨量达34.1 mm<sup>[14]</sup>,已远超梅龙沟区域 在20年一遇频率下的1h最大暴雨量(20.93 mm)。暴 雨作用使流域内大量雨水无法快速入渗,促使地表径流 加速汇集,进而裹挟着沟内的松散物源形成泥石流。因 此,累计长期降雨和短历时强降雨共同导致了"6·17"泥 石流的暴发。

## 3 泥石流成灾机理

梅龙沟"6·17"泥石流是长期降雨以及强降雨激发 的双重降雨作用下、沟道内大型滑坡级联堵溃以及沟 口特殊的灾害链条件相互耦合下形成的一次致灾能力 超强的泥石流灾害。"6·17"泥石流成灾机理可归结为 起动机理、沟道侵蚀机理、级联堵溃机理和次生灾害链 机理(图 5)。





#### 3.1 泥石流起动机理

根据"6·17"泥石流发生前后的遥感影像分析(图 6), 在泥石流形成区,只有大石堡沟内存在泥石流显著活动 的沟槽痕迹,因此判定大石堡沟为梅龙沟"6·17"泥石流 的起动源头。根据高精度遥感影像和现场调查结果 (图 7),大石堡沟中游处沟岸发生大面积滑塌,故起动 类型为"沟岸滑塌-泥石流"型。在前期连续降雨和短历 时强降雨的激发作用下,大石堡沟内两侧沟岸出现大面 积失稳滑动,导致大量碎块石土快速堆积于沟道内。由 于前期连续降雨作用,雨水入渗地面后,很快在浅表层 土体中达到饱和,形成地表径流,同时大石堡沟内汇水 面积大,纵坡比大(达 294‰),地表径流在沟道内快速 汇聚形成沟道洪流。沟道洪流裹挟着失稳的松散物源 转化为最初的泥石流。

## 3.2 沟道侵蚀机理

泥石流侵蚀作用是泥石流沿程物源补给的重要 方式,将大幅增加泥石流运动的体积,致使流量、规 模不断增大<sup>[15-16]</sup>。大石堡沟形成的小规模泥石流在 势能的作用下不断向下游冲击,原本沟道内的堆积物 逐渐被下切掏蚀,沟道不断加深,形成深切的"V"型 沟谷,同时两侧岸坡坡脚也不断被冲刷侧蚀(图 8),逐 渐失稳垮塌,卷入泥石流,沟道不断加宽。因此泥石 流在向下游运动过程中,沿途循环出现"泥石流-下切 掏蚀-沟道堆积物启动-冲刷侧蚀-两岸崩滑垮塌",泥 石流裹挟的固体物质如同"滚雪球"般不断扩充,规模 也逐渐增大。

#### 3.3 大型滑坡级联堵溃机理

根据现场调查结果,"6·17"泥石流运动过程中具有



(a) 2021-08-13



(b) 2021-08-27

#### 图 6 梅龙沟泥石流前后遥感影像图

Fig. 6 Remote sensing images before and after Meilonggou debris flow





(b) 大石堡沟沟道侵蚀情况 (c) 沟岸滑塌

图 7 大石堡沟起动部位图

```
Fig. 7 Diagram of the starting part of the Dashibao ditch
```

典型的堵溃放大效应,而最主要的堵溃点为东风棚子滑坡、大邑村滑坡以及梅龙沟滑坡等3处大型滑坡。

(1)东风棚子滑坡堵沟分析

东风棚子滑坡位于梅龙沟主沟左岸斜坡地带,距离



(a) 沟底下切掏蚀



(b) 岸坡冲刷侧蚀图 8 泥石流沟道侵蚀图Fig. 8 Debris flow gully erosion

沟口 3.43 km 处。平面形态呈三角状,在"6·17"梅龙沟 泥石流冲刷坡脚后,东风棚子滑坡已发生明显滑动,形 成明显的滑坡后壁(图 9a),且滑坡前缘已局部失稳滑 动,显现清晰的滑床(图 9b)。

东风棚子滑坡坡脚处沟道较窄(图 9c),约3~ 10 m 左右,而东风棚子上游沟道宽度 40~80 m,平均宽 度约 60 m 左右(图 9d)。当上游的泥石流运动到东风 棚子滑坡坡脚处,由于沟道变窄,过流断面急剧减小,流 速迅速增加,高速通过的泥石流强烈侧蚀滑坡坡脚。加 之长时间的连续降雨入渗,东风棚子滑体在雨水长期的 浸润作用下,整体稳定性大幅下降。当坡脚遭受泥石流 强烈的侧蚀后,前缘局部发生次级滑塌,形成高陡临空 面,产生牵引式破坏,致使大量滑体失稳堵塞沟道,形成 堵溃点,堵溃期间泥石流裹挟的松散物源不断汇聚、叠 加,同时伴随上游水位的不断增加,能量不断累积,堰塞 体短时间内发生溃决。

(2)大邑村滑坡堵沟分析

大邑村滑坡位于梅龙沟主沟右岸斜坡地带,距离沟口 2.78 km 处。滑坡平面形态呈圈椅状,体积约 75×



图 9 东风棚子滑坡堵溃点全貌图 Fig. 9 A full view of the Dongfeng shed landslide blocking and brust site

10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。由于"6·17"梅龙沟泥石流冲刷侵蚀坡脚,形成 临空面,造成大邑村老滑坡局部复活,后缘明显错动 (图 10a),摧毁两间房屋(图 10b)。



图 10 大邑村滑坡堵溃点全貌图 Fig. 10 A full view of the Dayi village landslide blocking and brust site

大邑村滑坡处沟道段较为狭窄,沟道宽度约为 3~9m,该段沟道长约250m,整体较为曲折,局部极为 堵塞(图10c),尤其在滑坡右侧坡脚处发生较大偏转 (图10d)。当上游东风棚子滑坡溃决的泥石流流经此 处时,由于堵溃效应,泥石流流速和流量明显放大,对沟 道的刨底掏蚀和侧岸的冲刷侵蚀作用十分强烈,侧蚀高 度 7~9 m, 致使大邑村滑坡前缘卸荷发生滑动。同时 由于泥石流的直进性, 在沟道偏转处(图 10d), 泥石流 直接冲击偏转处的侧岸岸坡, 强烈的冲击作用下使得岸 坡前缘出现大面积滑塌, 形成高陡临空面, 引起牵引式 破坏, 进而左右两岸大量滑塌物源堆积于此, 造成二次 堵沟。

## (3)梅龙村滑坡堵沟分析

梅龙村滑坡位于梅龙沟主沟右岸斜坡地带,距离沟口 1.65 km 处。滑坡平面形态呈圈椅状,体积约 4.4× 10<sup>5</sup> m<sup>3</sup>。泥石流冲刷及降雨的作用造成梅龙村老滑坡局部复活,滑坡中部、后缘出现大量变形裂缝、错坎(图 11a),滑体中部上的房屋也出现剪切裂缝(图 11b),前缘已经发生滑塌变形(图 11c)。



图 11 梅龙村滑坡堵溃点全貌图 Fig. 11 A full view of the Meilong village blocking and brust site

梅龙沟滑坡坡脚处沟道较为曲折(图 11d、图 11e), 该段沟道长 160 m,沟宽 6~10 m,沟内巨石林立,巨石 粒径 10~14 m。而梅龙沟滑坡上游段(村都沟沟口至 梅龙沟滑坡段)沟道略宽,沟宽 15~20 m。当上游的泥 石流运动到梅龙沟滑坡坡脚处,沟道变窄导致过流断面 减小,流速增加,侵蚀作用增强。同时泥石流刚经历大 邑村的二次堵溃,其流量、流速被数倍放大,因而泥石 流在此处的冲刷侧蚀和刨底掏蚀作用也更为强烈,致使 梅龙村滑坡前缘出现大面积滑塌,大量滑塌物源和巨石 侵占沟道,形成堵溃点。

"6·17"泥石流在东风棚子滑坡、大邑村滑坡、梅龙 村滑坡处产生的大型级联堵溃显著增强了泥石流的能 量,导致大量固体物质冲出沟口,引发后续的次生灾害链。

### 3.4 泥石流次生灾害链形成机理

梅龙沟沟口和小金川河道近似正交,且小金川河的 泄洪能力小于"6·17"泥石流的输砂能力,因此泥石流裹 挟的大量固体物质冲入并堵塞小金川河,形成堰塞湖, 堰塞湖不断回水造成上游大量房屋被淹。

随着堰塞湖水位逐渐升高,堰塞湖出现漫顶溢流, 在阿娘寨滑坡脚下形成新的河道。由于溢流口不断被 冲刷、下切,继而引发堰塞坝整体溃决,溃决洪水冲刷 阿娘寨滑坡坡脚,引发前缘烂水湾区域出现大面积滑 坡,大量滑体随着溃决洪水一起冲向下游,淹没了下游 阿娘寨一村房屋。同时烂水湾区域的大量垮塌,导致阿 娘寨古滑坡前缘卸荷,进而引发阿娘寨滑坡复活,滑体 后缘明显错动,滑体内形成的大量拉裂缝也致使多处公 路被错断,形成阿娘寨滑坡灾害隐患(图 12)。



Fig. 12 Mechanisms of the Meilonggou debris flow disaster chain

### 4 发展趋势及防治建议

由于地形条件在一定时间内处于稳定状态,因此降雨和物源成为泥石流起动的主控因素<sup>[17]</sup>。梅龙沟属青藏高原型季风气候区,降雨多集中在夏季,尤其是汛期,极端性天气足以为梅龙沟泥石流的再次暴发提供充分的水源条件。相比2020年6月17日之前,区内松散物源的稳定性进一步降低,泥石流起动的临界降雨阈值更低<sup>[18]</sup>。同时自"6·17"泥石流发生后,区内不良地质现象激增,现存泥石流固体物源量丰富,梅龙村、大邑村、东风棚子等3处大型滑坡出现蠕滑变形迹象,前缘垮塌迹象明显,一旦失稳不但为泥石流的暴发提供充足的物源,而且极易堵塞沟道,形成堰塞湖,进一步扩大泥石流的致灾能力。综上所述,梅龙沟泥石流在自身沟道环境

和降雨地震等诱发因素的相互耦合之下, 泥石流再次暴 发可能性仍然较大, 且致灾能力不断增强。

考虑到梅龙沟现阶段物源丰富、纵沟比降大、沟谷 深切狭窄以及潜在堵溃点较多等特征,结合"6·17"泥石 流成灾机理,建议梅龙沟泥石流可采取"固源+拦挡+排 导"的综合防治措施:对沟内东风棚子、梅龙村、大邑 村3处大型滑坡采取固源处理;同时在下游地形开阔处 修建一座拦砂坝,将主要固体物质拦截在沟道内,达到 消峰减流的目的;此外下游应修建排导槽,将拦砂坝排 出的细颗粒物质和水流进行归流排导,保护沟口关洲村 居民的生命财产安全和国道G350。

## 5 结论

(1)地震后新增的大量松散物源和持续降雨作用以 及短时强降雨激发之间的耦合作用是促使"6·17"泥石 流形成的主要原因。

(2)"6·17"泥石流起动位置在大石堡沟内,起动类 型为"沟岸滑塌-泥石流"型。梅龙沟主沟两侧物源的持 续补给和东风棚子、梅龙村、大邑村3处大型滑坡处产 生的级联堵溃效应致使大量固体物质冲出沟口。

(3)沟口特殊的地质环境衍生的"泥石流-堰塞湖-溃决洪水-阿娘寨滑坡复活"次生灾害链进一步增强了 泥石流的致灾能力,并形成阿娘寨滑坡灾害隐患。

(4)梅龙沟现存松散物源丰富且稳定性显著降低, 极易在雨季再次暴发泥石流,建议尽快对其采取"以固 源为主,拦挡和排导为辅"的综合治理措施。

#### 参考文献(References):

- [1] 高会会,裴向军,崔圣华,等.汶川震区震后地质灾害发育分布及演化特征统计分析[J].长江科学院院报,2019, 36(8):73-80. [GAO Huihui, PEI Xiangjun, CUI Shenghua, et al. Geological hazards after earthquake in Wenchuan earthquake area: Distribution and evolvement features [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2019, 36(8):73-80. (in Chinese with English abstract)]
- [2] 李宁,唐川,卜祥航,等."5·12"地震后汶川县泥石流特 征与演化分析 [J].工程地质学报,2020,28(6):1233-1245. [LI Ning, TANG Chuan, BU Xianghang, et al. Characteristics and evolution of debris flows in Wenchuan County after "5·12" earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2020, 28(6): 1233-1245. (in Chinese with English abstract)]
- [3] FAN X, SCARINGI G, KORUP O, et al. Earthquake-induced chains of geologic hazards: patterns, mechanisms, and impacts [J]. Reviews of Geophysics, 2019, 57(2): 421 – 503.

- [4] 尹云鹤,韩项,邓浩宇,等.中国西南地区地震-滑坡-泥石 流灾害链风险防范措施框架研究[J].灾害学,2021,36
  (3):77-84. [YIN Yunhe, HAN Xiang, DENG Haoyu, et al. Framework of risk reduction measurements for earthquakelandslide-debris flow disaster chain in southwest China [J]. Journal of Catastrophology,2021,36(3):77-84. (in Chinese with English abstract)]
- [5] 倪化勇,郑万模,唐业旗,等.汶川震区文家沟泥石流 成灾机理与特征[J].工程地质学报,2011,19(2):262-270. [NI Huayong, ZHENG Wanmo, TANG Yeqi, et al. Mechanism and characteristics of Wenjia-gully debris flow in epicenter area of Wenchuan earthquake [J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(2):262-270. (in Chinese with English abstract)]
- [6] 黄勋,唐川,乐茂华,等.汶川震区银厂沟区域8.18暴雨泥 石流灾害成灾机理与特征[J].工程地质学报,2013,21(5): 761-769.[HUANG Xun, TANG Chuan, LE Maohua, et al. Mechanism and characteristics on debris flow hazards in Yinchanggou area triggered by rainstorm on August 18, 2012[J]. Journal of Engineering Geology, 2013, 21(5): 761-769. (in Chinese with English abstract)]
- [7] 胡卸文,韩玫,梁敬轩,等.汶川震区桃关沟2013-07-10泥 石流成灾机理[J].西南交通大学学报,2015,50(2):286-293. [HU Xiewen, HAN Mei, LIANG Jingxuan, et al. Hazard mechanism analysis of Taoguan giant debris flow in Wenchuan earthquake area on July 10th, 2013 [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2015, 50(2):286-293. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 胡涛.汶川震区震后大型泥石流致灾机理及防治对策研究[D].成都:成都理工大学, 2017. [HUTao. The research on formation mechanism and mitigation measures of large-scale debris flow in the Wenchuan earthquake area [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2017. (in Chinese with English abstract)]
- [9] 罗年山.浅析丹巴县泥石流灾害诱因及风险防范[J]. 西部资源, 2020(2): 94-96. [LUO Nianshan. Causes and risk prevention of debris flow disaster in Danba county [J]. Western Resources, 2020(2): 94-96. (in Chinese)]
- [10] 于峰. 丹巴县泥石流地质灾害发育特征、成因分析及防治研究[D].成都: 西南交通大学, 2018. [YUFeng. Development characteristics, cause analysis and control study of debris flow in Danba County [D]. Chengdu; Southwest Jiaotong University, 2018. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 张友谊,钟磊,樊晓一,等.岷江河谷锄头沟震后泥石流致 灾模式[J].山地学报,2021,39(5):756-766.[ZHANG Youyi, ZHONG Lei, FAN Xiaoyi, et al. New geo-disaster forming pattern of post-shock debris flow: A case study of the Chutou gully in the Minjiang River valley, China [J]. Mountain Research, 2021, 39(5):756-766. (in Chinese with English

abstract)]

- [12] 赵宾杰,余斌,常鸣,等.窄陡型泥石流沟特征研究[J]. 泥沙研究, 2021, 46(5): 61-67. [ZHAO Binjie, YU Bin, CHANG Ming, et al. Characteristics of debris flow in narrow-steep channel [J]. Journal of Sediment Research, 2021, 46(5): 61-67. (in Chinese with English abstract)]
- [13] 李宁,唐川,史青云,等.九寨沟震区"6·21"泥石流成因与致灾机制研究[J].工程地质学报.2021.[LI Ning, TANG Chuan, SHI Qingyun, et al. Investigation and analysis of "6·21" debris flow in Jiuzhaigou County, Sichuan Province [J]. Journal of Engineering Geology, 2021, https://doi.org/10.13544/j.cnki.jeg.2019-509. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 胡凯衡,张晓鹏,罗鸿,等.丹巴县梅龙沟"6·17"泥石流 灾害链调查[J].山地学报,2020,38(6):945-951.[HU Kaiheng, ZHANG Xiaopeng, LUO Hong, et al. Investigation of the "6·17" debris flow chain at the Meilong catchment of Danba County, China [J]. Mountain Research, 2020, 38(6):945-951. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 张静,田述军,侯鹏鹂.基于面积-高程和面积-坡度积分的 泥石流物质供给能力分析[J].中国地质灾害与防治 学报, 2021, 32(4):9-16.[ZHANG Jing, TIAN Shujun, HOU Pengli. The material supply ability analysis of debris flows based on area-hypsometric integral and area-gradient integral [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021, 32(4): 9-16. (in Chinese with English abstract)]
- [16] 樊圆圆,宋玲,魏学利.基于水槽试验的冰碛土泥石流启 动机理分析——以中巴公路艾尔库然沟为例[J].中国 地质灾害与防治学报,2021,32(1):1-9. [FAN Yuanyuan, SONG Ling, WEI Xueli. Analysis of the start-up mechanism of moraine debris flow based on flume test: A case study of the Aierkuran Gully along the Sino-Pakistan highway [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2021, 32(1): 1-9. (in Chinese with English abstract)]
- [17] 庆丰,孟兴民,郭富赟,等.汶川地震扰动区文县"8·7"泥石流灾害特征分析——以洋汤沟为例[J].兰州大学学报(自然科学版),2021,57(3):376-381. [QING Feng, MENG Xingmin, GUO Fuyun, et al. Characteristics analysis of "8·7" debris flow disaster in Wen County disturbed by Wenchuan earthquake: A case study of Yangtang Catchment [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences),2021,57(3):376-381. (in Chinese with English abstract)]
- [18] 吕小波,游勇,柳金峰,等.汶川2019年"8·20"群发性泥石 流降雨特征与临界雨量分析[J].兰州大学学报(自然 科学版),2021,57(6):775-782.[LYU Xiaobo, YOU Yong, LIU Jinfeng, et al. Rainfall characteristics and rain threshold of Wenchuan debris flows on August 20, 2019[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences),2021,57(6):775-782. (in Chinese with English abstract)]