

四川木里“7·5”黄泥巴沟泥石流灾害过程及防治措施建议

芦明, 柳金峰, 孙昊, 赵万玉

Process and characteristics of “7·5” Huangniba gully debris flow in Muli County of Sichuan Province and prevention suggestions

LU Ming, LIU Jinfeng, SUN Hao, and ZHAO Wanyu

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202204005>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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

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

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

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

The material supply ability analysis of debris flows based on area-hypsometric integral and area-gradient integral

张静, 田述军, 侯鹏鹏 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(4): 9-16

喜德县中坝村火后泥石流发育特征及预警避险

Study on the development characteristics of post-fire debris flow and its early warning risk aversion in Zhongba Village, Xide County

殷万清, 金涛, 胡卸文, 曹希超, 杨相斌, 黄健 中国地质灾害与防治学报. 2021, 32(3): 61-69



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202204005

芦明, 柳金峰, 孙昊, 等. 四川木里“7·5”黄泥巴沟泥石流灾害过程及防治措施建议 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2023, 34(1): 102-109.

LU Ming, LIU Jinfeng, SUN Hao, et al. Process and characteristics of “7·5” Huangniba gully debris flow in Muli County of Sichuan Province and and prevention suggestions[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2023, 34(1): 102-109.

四川木里“7·5”黄泥巴沟泥石流灾害过程及防治措施建议

芦明^{1,2}, 柳金峰^{1,2}, 孙昊^{1,2}, 赵万玉^{1,2}

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所(中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室), 四川成都 610041; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 2021年7月5日项脚沟七条支沟在连日降雨的情况下相继暴发泥石流灾害, 因群测群防体系的高效运转, 避免了20户118人因灾伤亡和1421万元的经济损失, 实现了成功避险。黄泥巴沟是暴发泥石流的支沟之一, 流域面积14.47 km², 此次灾害中冲出物规模12×10⁴m³, 损毁房屋数间。黄泥巴沟在2020年“3·28”森林火灾中地表植被焚毁严重, 导致其泥石流孕灾环境发生剧烈变化, 在鲜有泥石流活动的背景下, 于2020年和2021年数次暴发泥石流灾害。通过实地调查, 得出发生剧烈变化的泥石流孕灾环境和沟口外村寨旧有布局格式之间的矛盾是导致下坪子村受灾严重的关键原因, 然后推断整个灾害过程: 先前暴发的泥石流冲出物堵塞村寨中部沟渠, 随后流出的山洪因无法顺畅排泄而发生大面积漫流, 导致村寨所受损失倍增。首要的治理措施是修建一条连接沟口与主河的排导槽并重新规划村寨布局, 使泥石流可以顺畅的排泄到主河之中并且使村寨建筑远离泥石流的直进范围。最后分析了此次群防群测体系的成功实践, 总结经验以供参考。
关键词: 泥石流; 山洪漫流; 排导槽; 村寨布局; 群防群测

中图分类号: 642.23 文献标志码: A 文章编号: 1003-8035(2023)01-0102-08

Process and characteristics of “7·5” Huangniba gully debris flow in Muli County of Sichuan Province and and prevention suggestions

LU Ming^{1,2}, LIU Jinfeng^{1,2}, SUN Hao^{1,2}, ZHAO Wanyu^{1,2}

(1. *Institute of Mountain Hazards and Environment (Key Laboratory of Mountain Hazards and Earth Surface Process), Chinese Academy of Sciences, Chengdu, Sichuan 610041, China*; 2. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: On July 5, 2021, debris flow disasters broke out in the seven branch ditches of Xiangjiao gully under the condition of consecutive days of rain. Due to the efficient operation of the mass prediction and disaster prevention system, 20 households with 118 casualties and 14.21 million yuan of economic losses were avoided. Huangniba gully was one of the tributaries of debris flow outbreaks, with a drainage are of 14.47 km². The scale of the debris flow flushed out objects was 12×10⁴ m³, and several houses were damaged. During the “3·28” forest fire in 2020, the surface vegetation in Huangniba gully was severely burned, which led to dramatic changes in its debris flow disaster-pregnant environment. In the background of few debris flow

收稿日期: 2002-04-07; 修订日期: 2022-07-18

投稿网址: <https://www.zgdzzhyfzxb.com/>

基金项目: 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0902); 中国科学院战略性先导科技专项(A类)(XDA23090403)

第一作者: 芦明(1994-), 男, 河南修武人, 博士研究生, 主要从事山地灾害实验与防治工程研究。E-mail: 327055068@qq.com

通讯作者: 柳金峰(1979-), 男, 安徽宣城人, 博士, 研究员, 主要从事山地灾害实验与防治工程研究。E-mail: liujf@imde.ac.cn

activities in Huangniba gully, debris flow disasters broke out several times in 2020 and 2021. Through field investigation, it was concluded that the contradiction between the drastically changed disaster-pregnancy environment of the debris flow and the old layout of the villages was the key reason for the serious disaster in Xiapingzi Village. The entire disaster process is as follows: after the debris flow blocked the internal ditches of the village, the outflowing mountain torrents were not able to be discharged smoothly, causing a large area of flooding, which caused doubled the losses to the village. The primary treatment measures were to build a drainage channel connecting the ditch mouth and the main river and re-plan the layout of the village, so that the debris flow can be smoothly discharged into the main river and the village buildings were kept away from the direct range of the debris flow. Finally, the successful practice of the mass people monitoring and prevention system was analyzed, and the experience was summarized for reference.

Keywords: debris flow; mountain torrent; drainage channel discharge; village layout; mass people monitoring and prevention system

0 引言

2021年7月5日18时10分左右,受突发降雨影响,四川省木里县项脚乡项脚沟流域的7条支沟相继发生泥石流灾害,共计造成190户842人受灾,房屋受损35户186间、农作物受灾75.2 ha、乡村道路受损37 km、桥梁受损8座,直接经济损失达1 586.24万元。因平时演练充分、党员干部尽职尽责、信息传递渠道顺畅,项脚乡灾情预警预报体系高效运转,提前转移群众1 246人,避免了20户118人因灾伤亡,避免经济损失1 421万元^[1]。

黄泥巴沟属于项脚沟流域内的支沟,位于项脚沟流域的南侧。黄泥巴沟流域规模较小,往年鲜有泥石流活动记录,但随着山火对泥石流源区内自然地理环境的严重扰动,泥石流孕灾环境已发生剧烈变化,暴发的泥石流灾害对旧有的村落布局造成了严重危害,所以有必要针对黄泥巴沟的火后泥石流特征进行仔细研究。虽然因预警及时避免了人员伤亡但也造成严重的财产损失,说明旧有不合理的村落布局已经完全不适应现有的泥石流活动环境,新的防治措施应及时跟进。文中在调查研究的基础之上分析了黄泥巴沟火后泥石流的成灾特征和危害形式,提出了相应的灾害治理措施,并总结群测群防系统的成功经验,为泥石流灾害防治提供参考。

1 自然环境背景

黄泥巴沟位于四川省木里藏族自治县项脚乡(图1),距离成都市655.8 km,距离木里县城35.9 km。流域地处川西高原南段,大地构造位于松潘-甘孜地槽区的木里弧形构造。该沟流域面积14.47 km²,主沟长3 940 m,平均纵比降147.2‰。因地质构造的影响在地形上呈现出南部多陡峭,北部较平缓的格局,沟道也主要分布于流域北部范围。流域内海拔变化显著,最高海拔

3 920 m,沟口处海拔2 140 m,高差1 780 m,其山坡坡度统计如表1所示。黄泥巴沟流域属高原亚温带湿润气候,由于境内相对高差大,温度、土壤、植被呈明显的垂直变化。根据1971—2000年气象资料统计显示,此处常年平均气温在12.4℃,平均年降雨量830 mm,降雨充沛且集中,其中6—9月的降水总量占全年的82.5%。

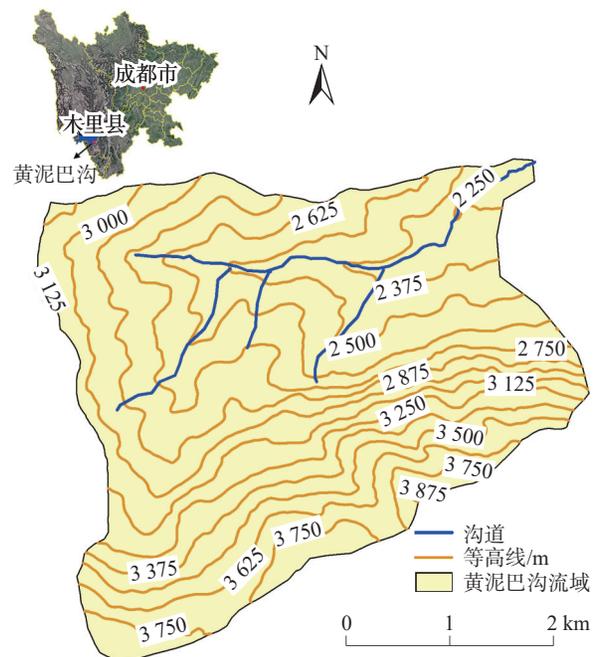


图1 黄泥巴沟流域概况

Fig. 1 Huangniba gully basin

表1 黄泥巴沟流域山坡坡度分级统计

Table 1 The slope classification statistics of Huangniba gully

项目	山坡坡度/(°)				合计
	<15	15~25	25~35	>35	
地表面积/km ²	1.42	4.22	4.98	3.85	14.47
所占比例/%	9.8	29.1	34.4	26.7	100

2 黄泥巴沟灾害历史

2020年3月28日,木里县乔瓦镇锄头湾村与项脚蒙古族乡项脚村交界处发生森林火灾。黄泥巴沟流域地表植被以松树为主富含油脂为易燃性树种。因此在此次森林火灾中,黄泥巴沟部分区域受到山火的焚烧,

具体林火烈度分布见图2。流域上游大部分区域受林火焚烧较为严重,山火过后松树等乔木的树冠和地表草灌被焚烧殆尽,使地表土体暴露在雨水的直接冲击之下;高温的烧焙使坡面表层土体物理力学性质发生极大改变,加剧了受侵蚀程度^[2]。总之,山火过后流域内土体在雨水的侵蚀下更容易向下游发生运移。

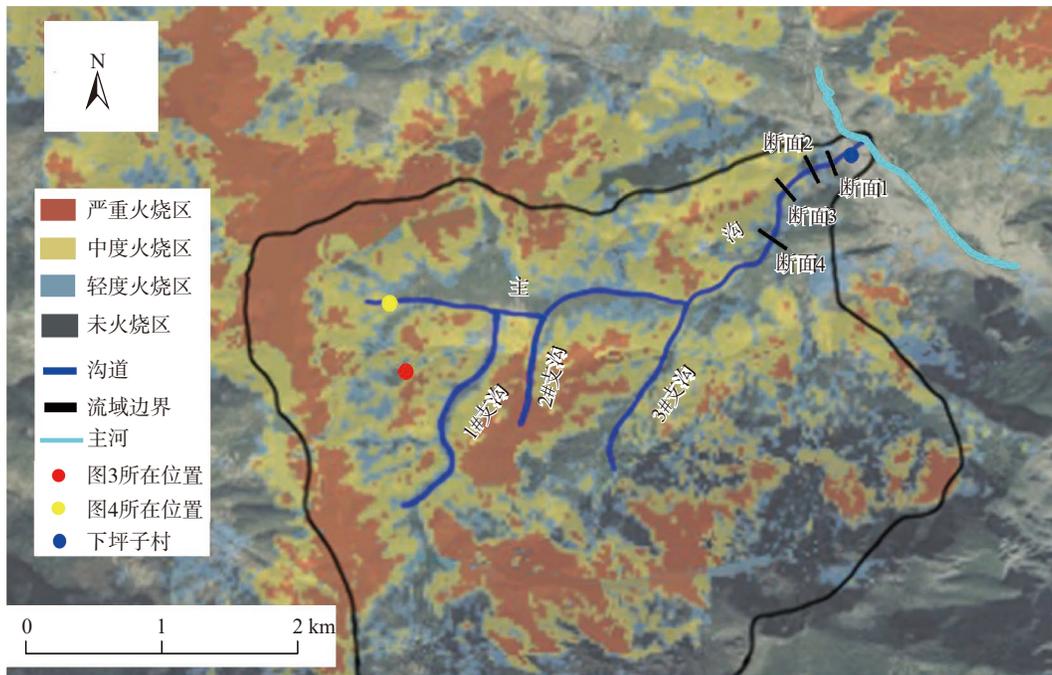


图 2 黄泥巴沟流域林火烈度图^[1]

Fig. 2 Forest fire intensity in Huangniba gully

受火灾对流域内泥石流孕灾条件的改造,泥石流活动由休眠期转入活跃期,在火灾发生当年的2020年6月28日和7月7日,黄泥巴沟数次暴发泥石流,2021年7月5日又发生了泥石流山洪灾害,冲毁下坪子村数间房屋和学校围墙、严重淤埋村内道路。据村民介绍:“3·28”火灾发生前近40多年来该流域没有泥石流活动记录,只暴发过山洪灾害,威胁下游沟口外的村寨。

不断对沟道和侧岸冲刷侵蚀,使沟道逐渐扩宽且两岸不断发生溯源侵蚀,又进一步加大泥石流的运动规模。黄泥巴沟物源主要集中在流域上游受山火扰动程度大的区

3 泥石流灾害特征及过程

3.1 黄泥巴沟物源特征

发生森林火灾前,黄泥巴沟流域植被茂密,浅表层土体在植物根系束缚下状态稳定,在地表径流作用下极少向下游运移,故此流域内很少发生泥石流活动。发生森林火灾之后,浅表层土体物理化学性质发生明显转化,缺乏根系和植冠的保护下,浅表层土体极易在地表径流的冲刷下向附近小支沟内输移(图3),最终汇集到主沟内(图4)形成泥石流。泥石流在主沟运动过程中



图 3 位于流域上游的小支沟

Fig. 3 Small tributaries located in the upper reaches of the watershed



图 4 主沟上游段

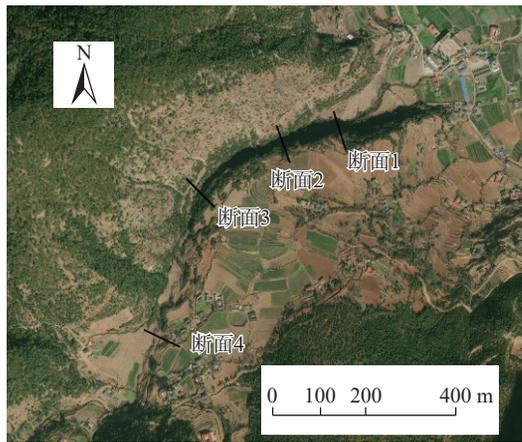
Fig. 4 The upstream section of the main ditch

域, 据统计黄泥巴沟内的严重火烧区面积 $286.6 \times 10^4 \text{ m}^2$, 重度火烧区面积 $194.7 \times 10^4 \text{ m}^2$, 根据实地调查山火对坡

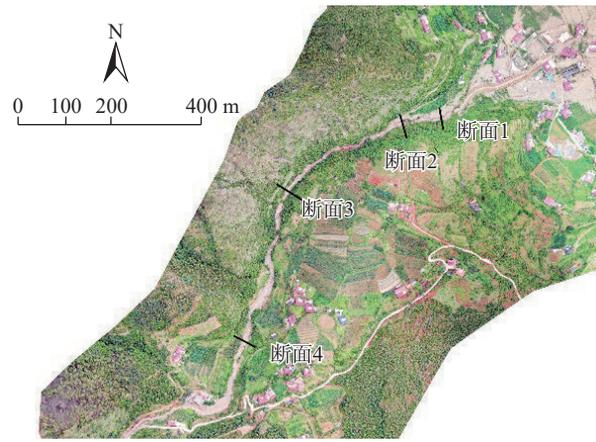
面土体的扰动深度在严重火烧区为 $20 \sim 30 \text{ cm}$, 在重度火烧区为 $15 \sim 25 \text{ cm}$, 故黄泥巴沟物源动储量约为 $110.57 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

3.2 泥石流冲淤特征

2020 年 3 月发生森林火灾之前黄泥巴沟流域泥石流活动罕见, 结合沟口外原有排泄通道大小分析, 流域内主要沟道规模并不明显, 见图 5(a), 山火过后泥石流活动愈发频繁, 使得流域下游主沟变化明显。图 5(b) 是 2021 年 7 月 5 日暴发过泥石流之后的无人机正射影像。文中选取了 4 个不同位置断面绘制了横断面概况图(图 6), 具体数据如表 2 所示。经过近 2 年的泥石流冲淤改造, 主沟下游段下切明显, 下切深度介于 $3.5 \sim 5 \text{ m}$, 下切速率为 $1.7 \sim 2.5 \text{ m/a}$ 。因此需要在下游合适位



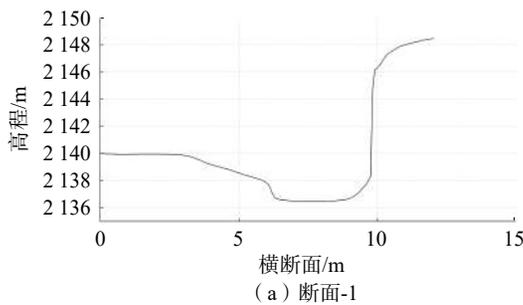
(a) 山火前卫星影像



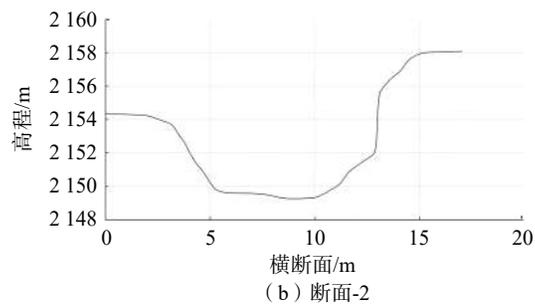
(b) 2022 年 7 月无人机拍摄

图 5 黄泥巴沟山火前后概况对比

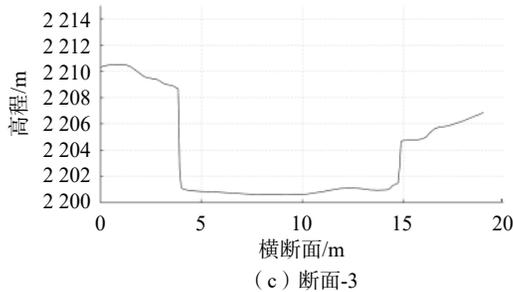
Fig. 5 Comparison of the main ditch before and after the forest fire



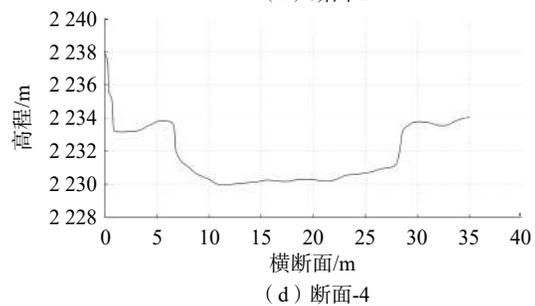
(a) 断面-1



(b) 断面-2



(c) 断面-3



(d) 断面-4

图 6 主沟下游段部分断面尺寸

Fig. 6 Sectional dimension of the downstream section of the main ditch

表 2 沟道断面尺寸表

Table 2 Channel section size table

断面名称	宽度/m	深度/m
断面1	4	3.5
断面2	9	4.2
断面3	9.5	4.8
断面4	10.2	3.8

置修建拦砂坝用于提高泥石流侵蚀基准面,缓解沟道下切趋势。

3.3 泥石流灾害过程

在连日断续降雨的背景下,7月5日18:10后黄泥巴沟开始暴发泥石流灾害,此次泥石流活动持续30 min左右。图7是下坪子村的受灾示意图,图中红框内主要为受泥石流影响严重区域,黄色内主要为受山洪漫流影响的区域。“3·28”森林火灾对黄泥巴沟流域最显著的改造是破坏其浅表层土体的物理力学性质,使泥石流活动所需的物源动储量剧增,降低泥石流起动的降雨阈值。在泥石流暴发前5 d的持续降雨,使流域内土体饱和程度进一步增加,其抗剪切变能力被严重削弱,最终在当日18:00左右的降雨中被激发,暴发了泥石流灾害。在此次灾害中,泥石流的破坏程度、造成损失和影响范围远不及山洪灾害。这是因为,流域下游地形较缓,驱动泥石流运动的动能不足;该流域以前并无泥石流活动史,连接沟口和主河的排泄通道窄小,见图8(a),排泄能力有限不利于泥石流持续向下游运动,故而绝大部分泥石流停淤堆积在村寨内部的排泄通道附近,仅冲毁淤埋数间靠近排水渠的房屋,最终的泥石流冲出物规模为 $12 \times 10^4 \text{ m}^3$ [4]。泥石流活动停息之后的20:00,黄泥巴沟流域出现罕见特大暴雨,当山洪涌向下游时先前发生的泥石流堆积物已经严重堵塞排水沟道,洪水无法顺畅排泄,一出沟口便发生大面积漫流,使得下坪子村大量的房屋和农田被洪水冲没,见图8(b)。综上分析,此次灾害事件是以泥石流开始至山洪结束,因泥石流堵塞沟道而放大山洪致灾范围的一场地质灾害。同时也表



图 7 下坪子村受灾示意图

Fig. 7 Schematic diagram of the disaster in Xiapingzi Village

明,连接黄泥巴沟沟口和主河之间排泄通道建设步伐严重滞后,不能满足现阶段泥石流的排泄要求。



(a) 受泥石流破坏



(b) 受洪水破坏

图 8 受泥石流和洪水破坏之后的村寨
Fig. 8 Village damaged by debris flow and floods

根据国内外学者对火后泥石流的研究,发生过森林火灾的区域更容易暴发泥石流甚至以前没有暴发过的地区也会出现[5],并且诱发泥石流的降雨阈值降低[6]。未来几年都应该是泥石流发育的活跃期,但随着植被的恢复和松散物源的减少,泥石流活动会逐渐过渡到衰减期。

4 泥石流暴发前后降雨情况分析

水是制约泥石流暴发的决定性因素,对于降雨诱发的泥石流灾害来说,泥石流暴发前后降雨的发生规律显著影响着泥石流的发育规模和起动降雨阈值。泥石流的暴发主要由流域内暴雨强度和前期降雨量共同决定,而前期降雨量与物源土体含水量密切相关,激发雨强的大小则取决于物源土体的饱和程度[7]。

前期降雨对泥石流的起动和形成具有重要影响,前期降雨量 P_a 的计算方法为[8]:

$$P_a = h + \sum_{i=1}^n P_i K \quad (1)$$

式中: h ——泥石流暴发前当日的降水量/mm;

P_i ——泥石流暴发前第 i 天的当日降水量/mm;

K ——考虑日照、蒸发和土壤渗透的因素的修正系数,通常取0.8。

在泥石流暴发的前5日内,黄泥巴沟流域每天都有降水发生(图9),在6月30日—7月4日,每天累计降水量分别为:18.62 mm、21.93 mm、1.03 mm、3.82 mm、3.76 mm,其中小时雨强最大值为16.57 mm,发生在7月1日的20:00,5d累计降雨量达49.16 mm。充沛的前期降雨,使得黄泥巴沟内物源补给物的含水量显著增加,土体的饱和程度增加又使得其本身的抗剪切变形能力降低,降低了泥石流的启动阈值。

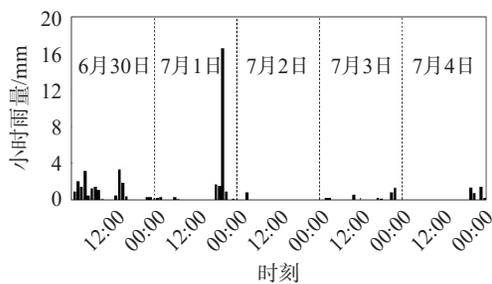


图9 泥石流暴发前5天黄泥巴沟流域降雨情况

Fig. 9 Rainfall in Huangniba gully basin within 5 days before the outbreak of debris flow

图10是黄泥巴沟泥石流暴发前后降水随时间变化情况。在充分的前期降水情况下,7月5日凌晨至早上6点左右,该流域有累计降水20.87 mm,最终在18:07左右开始暴发泥石流。值得指出的是最终诱发泥石流的短历时雨强较小,这说明前期降水已使得流域内的山坡土体充分饱和,泥石流启动阈值已明显降低。在泥石流暴发之后,降雨程度进一步加剧,甚至达到了41.31 mm的小时雨强,7月5日当天12:00~24:00,12 h雨量70.16 mm为特大暴雨级别。这就使得沟口处的村寨在遭受过泥石流的冲击破坏之后,大流量山洪接踵而至,使得更大范围内的村寨房屋受到洪水的漫流破坏。

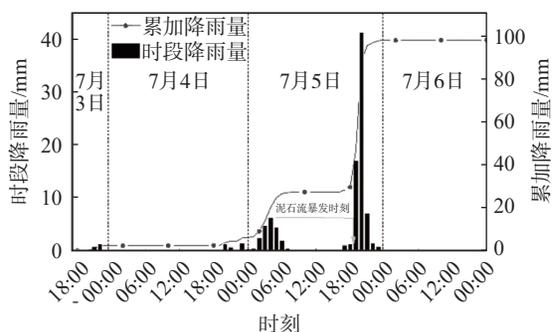


图10 泥石流暴发前后黄泥巴沟流域降雨情况

Fig. 10 Rainfall in Huangniba gully basin before and after the outbreak of debris flow

5 群测群防经验和防治建议

5.1 经验总结

分析黄泥巴沟泥石流灾害群测群防^[9]的成功实践,其宝贵经验在于:(1)相关职能部门密切配合,在气象部门发布降雨预警信息后,地质灾害专班办公室马上通知下级相关负责人,把关键预警信号迅速传递到基层单位。(2)信息传递通畅,分散居住在项脚沟流域内的村民,对周边发生剧烈变化的气象实时拍摄互传,为一线村干部应对灾害提供参考,亦使村寨民众有所防备。(3)基层政府决策果断,执行迅速。作为群测群防体系中关键一环,项脚乡政府根据实际情况迅速部署应急避险工作,在平时的宣传和演练基础之上,村寨民众在基层干部和民兵的组织下迅速按照既定路线逃生避险。

5.2 防治建议

导致黄泥巴沟每次泥石流暴发都能造成严重损失的根本原因是日益活跃的泥石流活动与旧有的村寨布局之间的矛盾不断加剧的结果。因此,泥石流的治理应当兼顾坡面稳固、拦挡和排导措施,并借机重新规划村寨布局,避免与村寨建筑和农田暴露于泥石流运动范围之内,使得在沟口到主河之间泥石流可以顺畅的排泄,建议治理措施见图11。坡面稳固措施主要集中在上游受林火扰动大、冲沟分布密度大的区域,该区域也是物源的主要分布区域,可以采用“生态+岩土”的治理方式。在冲沟上布置混凝土谷坊用于提高侵蚀基准面,缓解沟道两岸的溯源侵蚀,在山火迹地等直接暴露在雨水侵蚀的区域播撒草籽和木桩拦挡措施用于加速地表植被的恢复。拦挡措施主要集中在流域的下游,计划布置3个拦砂坝,因此流域的松散固体物质绝大部分来源于流域上游山火扰动大的区域,故此方案安排1#和2#拦砂坝为重力式非透过性拦砂坝,用于拦截部分泥石流并提高

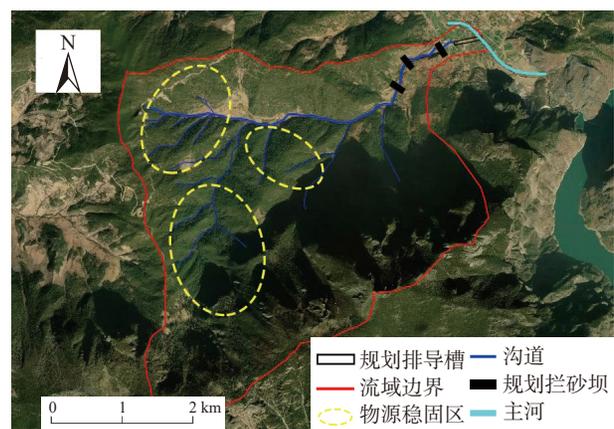


图11 黄泥巴沟泥石流防治方案

Fig. 11 Huangniba gully debris flow prevention plan

沟道下切面,缓解泥石流对下游沟道及其两岸坡体的侵蚀。3#拦砂坝计划使用梳齿坝等透过性拦砂坝,主要用于调峰滞流降低泥石流的流速,使泥石流安全通过排导槽。

5.3 排导槽设计方案

排导槽的布置示意如图 12 所示,排导槽改变原有排泄沟道紧邻项脚乡小学的走向,使得学校的安全得到充分保障,但此方案需要拆迁部分民宅并重新规划村寨布局。在远离泥石流的威胁范围之内分别选取 2 处安全区域,用于在泥石流暴发等紧急情况下村民应急避险,根据避险区与村寨的位置,提前规划相应的逃生路线,并定时组织应急演练。

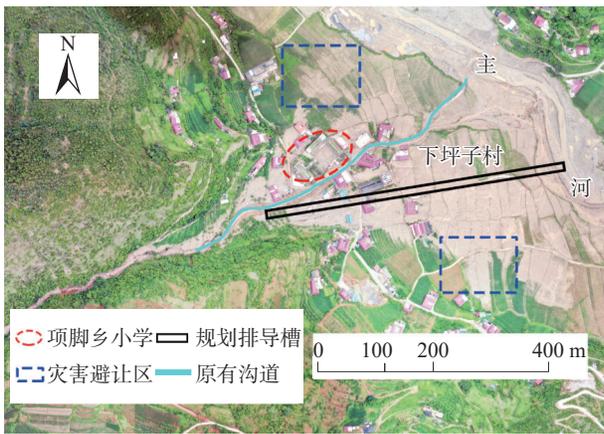


图 12 排导槽布置示意图

Fig. 12 Schematic diagram of drainage channel layout

文中通过采用形态调查法来估算泥石流峰值流量。在流域下游选取 1 典型断面,通过沟道宽度、泥痕高度和沟床比降计算泥石流在此断面过流时的流速和流量:

$$Q = VA \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{n_c} R_c^{2/3} I^{1/2} \quad (3)$$

式中: Q ——泥石流的峰值流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$);

A ——断面面积/ m^2 ;

V ——泥石流断面平均流速/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$);

n_c ——沟床糙率,根据现场调查取值为 0.1;

R_c ——断面水力半径/ m ;

I ——沟床纵比降/ $\%$ 。

计算结果见表 3。

文中拟采用梯形作为排导槽的断面形状,梯形排导槽的主要设计参数有槽底宽度 b 、槽深 h 和侧墙边坡系数 m ,定义为侧墙坡脚的正切值^[10]。为了获取最佳过

表 3 形态调查法计算结果

Table 3 Calculation results of the morphological survey method

参数	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	A/m^2	$V/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	n_c	R/m	I
取值	70.988	15.6	4.458	0.1	1.381	0.129

流断面,即排导槽的最佳断面是指在纵坡和糙率系数及设计流量一定时,过流断面最小的断面或水力半径最大的断面。当水利条件最佳时,排导槽的断面特征参量为^[10-11]:

$$M = \frac{4(2\sqrt{1+m^2}-1)}{m} \quad (4)$$

而梯形排导槽的槽底宽度和槽深可以通过下式计算^[12-15]:

$$b = \frac{2.44m(2\sqrt{1+m^2}-1)}{4(1-\sqrt{1+m^2})+5m^2} \left(\frac{Q}{MI}\right)^{2/5} \left(\frac{D_{10}}{D_{50}}\right)^{1/10} \quad (5)$$

$$h = \frac{4.88[3(1-\sqrt{1+m^2})+2m^2]}{4(1-\sqrt{1+m^2})+5m^2} \left(\frac{Q}{MI}\right)^{2/5} \left(\frac{D_{10}}{D_{50}}\right)^{1/10} \quad (6)$$

式中: M ——排导槽断面特征参量;

m ——侧墙边坡系数;

b ——槽底宽度/ m ;

I ——排导槽的纵比降/ $\%$;

D_{10} ——某个具体粒径/ mm ,小于该粒径的颗粒占总颗粒含量的 10%;

D_{50} ——某个具体粒径/ mm ,小于该粒径的颗粒占总颗粒含量的 50%;

h ——槽深/ m 。

根据文献 [12],梯形断面排导槽的侧墙边坡系数 $m=1.5$ 时,断面的水利条件更为优越。将相关参数代入式(4)、式(5)和式(6),计算结果见表 4。

表 4 黄泥巴沟梯形排导槽设计表

Table 4 The parameters of the trapezoidal drainage canal for Huangniba gully

参数	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	M	I	b/m	D_{10}/mm	D_{50}/mm	h/m
取值	70.99	6.95	0.074	3.52	1.175	20.58	3.28

6 结论

根据实地考察和走访调查确定,黄泥巴沟泥石流是由于森林火灾使得孕灾环境发生剧烈变化的火后泥石流灾害。此次灾害发生前 5 天流域内都有降雨分布,导致流域内泥石流补给物含水量显著增加,最终在 7 月

5日的短历时降雨激发下暴发泥石流,故应当重视前期降雨对泥石流发育所造成的影响。对下坪子村造成的破坏是以泥石流开始,以山洪灾害结束,并且因泥石流堵塞主要排泄沟道进而扩大山洪致灾范围。2020年和2021年该沟多次暴发泥石流灾害,愈加频繁的泥石流活动和旧有的村寨布局之间的矛盾不断加剧,使得泥石流规模虽然不大但均造成严重损失。在泥石流活动的2a内下游沟道下切深度介于3.5~5.0m,下切速率较快应当在此区域选取合适位置修建拦砂坝,提高沟道侵蚀基准面,缓解泥石流对沟道的下切侵蚀。文中提出在流域内应该修建稳固和拦挡工程措施,在沟口外修建一条排导槽连接沟口和主河,并借机重新规划村寨布局,使村寨建筑远离泥石流直进运动范围。

参考文献(References):

- [1] 暴雨致凉山木里项脚沟流域7条支沟齐发泥石流1246人安全转移 [N]. 四川省应急管理厅官网之新闻动态 [2021-07-08]. [Heavy rain caused debris flows in 7 branch ditches of the Xiangjiao Valley in Liangshan [N]. The official website of the Sichuan Provincial Department of Emergency Management [2021-07-08].]
- [2] WONDZELL S M, KING J G. Postfire erosional processes in the Pacific Northwest and Rocky Mountain regions [J]. *Forest Ecology and Management*, 2003, 178(1/2): 75-87.
- [3] 殷万清, 曹希超, 胡卸文, 等. 木里县项脚沟火后泥石流发育特征及应急处置对策 [J]. *地质灾害与环境保护*, 2021, 32(1): 12-17. [YIN Wanqing, CAO Xichao, HU Xiewen, et al. Development characteristics of post-fire debris flow and emergency response measures in Xiangjiao township, Muli [J]. *Journal of Geological Hazards and Environment Preservation*, 2021, 32(1): 12-17. (in Chinese with English abstract)]
- [4] 李潇. 木里成功避险群发性泥石流灾害 [N]. 凉山新闻网, 2021-07-06. [LI Xiao. Muli successfully avoided mass debris flow disasters [N]. Liangshan News Network News, 2021-07-06. (in Chinese)]
- [5] PROCHASKA A B, SANTI P M, HIGGINS J D. Debris basin and deflection berm design for fire-related debris-flow mitigation [J]. *Environmental and Engineering Geoscience*, 2008, 14(4): 297-313.
- [6] CANNON S H, GARTNER J E, WILSON R C, et al. Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California [J]. *Geomorphology*, 2008, 96(3/4): 250-269.
- [7] 崔鹏, 杨坤, 陈杰. 前期降雨对泥石流形成的贡献: 以蒋家沟泥石流形成为例 [J]. *中国水土保持科学*, 2003, 1(1): 11-15. [CUI Peng, YANG Kun, CHEN Jie. Relationship between occurrence of debris flow and antecedent precipitation: Taking the Jiangjia gully as an example [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2003, 1(1): 11-15. (in Chinese with English abstract)]
- [8] 陈景武. 云南东川蒋家沟泥石流暴发与暴雨关系的初步分析 [M]. 北京: 科学出版社, 1985. [CHEN Jingwu. Preliminary analysis on the relationship between Jiangjiagou debris flow and heavy rain in Dongchuan, Yunnan [M]. Beijing: Science Press, 1985. (in Chinese)]
- [9] 薛宁波, 马清文, 王成华. 地质灾害易发山区群测群防体系与突发性灾害预警 [J]. *中国水土保持科学*, 2008, 6(增刊1): 12-15. [XUE Ningbo, MA Qingwen, WANG Chenghua. System of operated by mass people and warning of sudden outburst hazards in geological hazards mountainous area [J]. *Science of Soil and Water Conservation*, 2008, 6(Sup 1): 12-15. (in Chinese with English abstract)]
- [10] 游勇. 泥石流排导槽水力最佳断面 [J]. *山地学报*, 1999, 17(3): 255-258. [YOU Yong. Optimal hydraulic condition of debris flow drainage canal [J]. *Journal of Mountain Research*, 1999, 17(3): 255-258. (in Chinese with English abstract)]
- [11] 游勇, 柳金峰, 欧国强. 泥石流常用排导槽水力条件的比较 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, 25(增刊1): 2820-2825. [YOU Yong, LIU Jinfeng, OU Guoqi. Comparison of hydraulic conditions among usual debris flow drainage canal [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2006, 25(Sup 1): 2820-2825. (in Chinese with English abstract)]
- [12] YOU Yong, LIU Jinfeng, CHEN Xingzhang, et al. Debris flow formation conditions and optimal characteristics of drainage canal following Wenchuan earthquake [J]. *Environmental Earth Sciences*, 2012, 65(4): 1005-1012.
- [13] 邸雪颖, 陶玉柱. 火后泥石流研究进展 [J]. *应用生态学报*, 2013, 24(8): 2383-2392. [DI Xueying, TAO Yuzhu. Research progress in post-fire debris flow [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(8): 2383-2392. (in Chinese with English abstract)]
- [14] 庞伟军, 常刚, 苟海瑞, 等. 甘肃肃南县长达坂沟泥石流成灾机理和防治措施建议 [J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2018, 29(2): 29-34. [PANG Weijun, CHANG Gang, GOU Hairui, et al. Disaster mechanism of debris flow of Changdaban gully in Sunan County of Gansu Province and suggestions for its prevention [J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2018, 29(2): 29-34. (in Chinese with English abstract)]
- [15] 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. (in Chinese with English abstract)]