

四川汉源万工集镇“7.27”灾后泥石流预测分析与综合防治

单诗涵,王旭红,李廷友

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,四川 成都 610072)

摘要:2010年7月27日,四川省汉源县万工集镇后缘大沟顶部二蛮山突发滑坡-碎屑流地质灾害,对下部万工集镇以及山坡原住民造成了重大损失。本文介绍了“7.27”灾后的泥石流调查及综合防治,通过专门的野外泥石流地质调查,根据宏观判断和定量计算,得出了灾害发生后,大沟流域沿沟堆积的“7.27”松散物质可能再次引发大规模泥石流以及二蛮山古堆积体失稳可能形成碎屑流从而对万工集镇产生危害;并有针对性地简要介绍了灾后综合防治方案。万工“7.27”地质灾害结合滑坡-泥石流(碎屑流),具有综合性强,危害大的特点,值得深入研究。

关键词:万工集镇;“7.27”地质灾害;泥石流调查;综合防治

文章编号:1003-8035(2012)04-0006-05

中图分类号:P642.23

文献标识码:A

0 引言

2010年7月27日,四川省汉源县万工集镇后缘大沟顶部二蛮山突发滑坡(简称“7.27”地质灾害),滑坡顺山谷而下,在滑移途中受凸出地形阻挡发生转向,向下运动过程中转化为碎屑流^[1],部分碎屑流堵塞了原泥石流排导槽,冲向集镇,造成了万工集镇107户移民房屋损毁,357户房屋受到不同程度的影响,以及万工乡双合村一组原住民9户损毁,20名村民失踪的自然地质灾害。

灾害发生后,大沟沟内停积了大量“7.27”松散堆积物,其松散堆积物在汛期局地暴雨条件下可能暴发大规模泥石流;另外,“7.27”高位滑坡导致大沟沟源的二蛮山古堆积体前缘局部变形失稳,特定工况下可能牵引滑动形成碎屑流,对万工集镇及省道306威胁大。

本文介绍了“7.27”地质灾害进行的灾后泥石流调查,其综合利用了小型飞机航拍资料(图1),地表地质测绘,并根据大沟流域内泥石流(碎屑流)灾害的发育情况,通过宏观判断和定量计算,分析评价了大沟可能发生的泥石流(碎屑流)对万工集镇产生的危险性,并针对其危害程度提出了建议的工程处理措施。

1 大沟流域基本地质条件

汉源县万工集镇是瀑布沟水电站移民安置迁建集镇,位于大渡河左岸,白岩河左岸大坪头,所处区域

属高中山地形,构造剥蚀地貌,区内发育二条季节性冲沟(即大沟和润水沟)。其中大沟紧邻万工集镇左侧通过,该沟发源于二蛮山西南坡,后源高程1963.4m,在高程850.0m流入大渡河。该沟集雨面积1.71 km²,沟长约2.6km,沟床纵坡比降平均为373‰^[1]。“7.27”自然灾害发生后,滑坡碎屑流在沟内大量堆积,沟道被大量松散堆积物所覆盖,原有的沟床形态不复存在(图2)。大沟流域所处二蛮山山体基岩组成为二叠系上统峨眉山玄武岩组(P_{2b})与二叠系下统阳新灰岩组(P_{1y}),上部相对宽缓的不对称“V”字型槽谷的右侧斜坡(NW侧)即由峨眉山玄武岩组成,风化卸荷强烈,局部表层呈碎块状;而其左侧呈“平板”状斜坡则由阳新组灰岩构成,灰岩层产状为N20°~40°E/NW∠30°~40°^[1]。场地区覆盖层按成因类型分为:第四系冲洪积层(Q₄^{al+pl})、坡洪积层(Q₄^{dl+pl})、坡残积层(Q₄^{el+dl})、泥石流堆积层(Q₄^{sef})、古堆积体堆积层(Q₄^{del})。区域构造上万工集镇位于川滇南北向构造带东亚带北段,区域内没有大的断裂通过,场地区50a超越概率10%的地震动峰值加速度为0.15g,相应地震基本烈度为Ⅶ度^[1]。

收稿日期:2012-06-06;修订日期:2012-06-27

作者简介:单诗涵(1986—),男,四川成都人,硕士,现主要从事水电工程勘测和地质灾害调查工作。

E-mail:125438714@qq.com



图 1 万工集镇“7.27”自然灾害后无人机遥感监测图

Fig. 1 Remote sensing monitoring of “7.27” natural disaster in Wangong Town

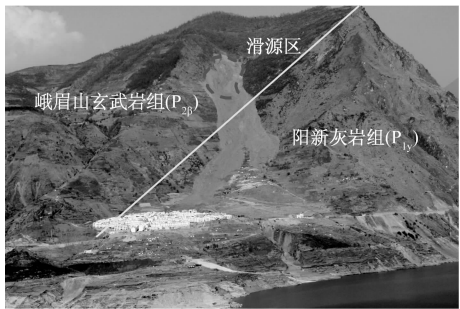


图 2 “7.27”自然灾害发生后地貌

Fig. 2 Landform after “7.27” natural disaster

2 大沟泥石流(碎屑流)基本特征分析与计算

2.1 泥石流形成条件分析

根据现行研究表明,泥石流的发育必需具备三个基本条件:一是丰富的补给物质条件;二是有利的地形地貌基础;三是有适当的水源激发条件^[2]。现分述如下:

(1) 物源条件

综合考虑了地形地貌、地层岩性和地质灾害种类等因素,将整个大沟流域分为四个区,分别为:沟道堆积物区(Ⅰ区)、大沟左侧坡体区(Ⅱ区)、二蛮山古堆积体区(Ⅲ区)、大沟上游测坡体区(Ⅳ区)(图 3)。

Ⅰ “7.27”沟道堆积物(Ⅰ区)

根据“7.27”自然灾害滑坡-碎屑流的演变过程及形成机理,大沟沟道内松散物质覆盖层平均厚度 6~30m,总面积约 $15.68 \times 10^4 \text{ m}^2$,松散物源总量为 $408.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。按照 50a 一遇的暴雨频率,预测可启动物源方量约 $79.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

Ⅱ 左侧坡坡残积堆积物(Ⅱ区)

左侧坡堆积物,沿大沟长度约为 249m,边坡走向为 $N75^\circ E$,高度约 565m,边坡的稳定性总体较好。该区域总方量约 $31.8 \times 10^4 \text{ m}^3$,按照 50a 一遇的暴雨频率,预测方量约为 $17.4 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

Ⅲ 沟源古堆积体(Ⅲ区)

二蛮山古堆积体位于大沟沟源,前缘高程 1640m,后缘高程 1705m,面积 $6.7 \times 10^4 \text{ m}^2$,纵向长 230m,规模约 $140 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

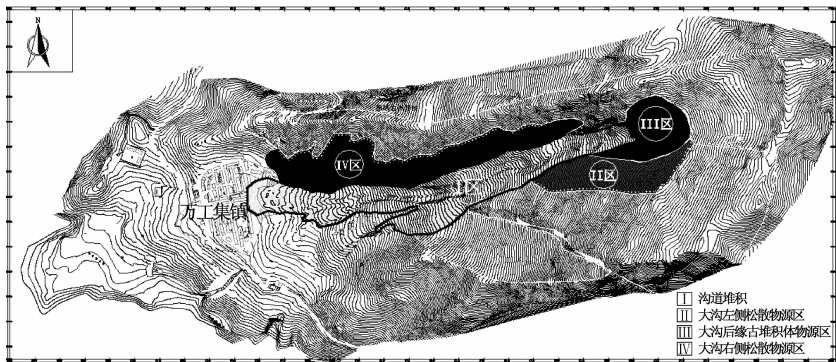


图 3 大沟流域综合分区图

Fig. 3 Comprehensive zoning maps of Dagou basin

按其地质条件和稳定性的差异,将其分为三个区(Ⅲ1~Ⅲ3区),Ⅲ1区为牵引破坏区,受“7.27”自然灾害影响产生塌滑变形破坏,已完全解体,方量约为 $7.7 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

Ⅲ2区为蠕动变形区,该区位于古堆积体左侧,方量约为 $11.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,受“7.27”自然灾害影响前缘局部产生了变形失稳,后缘出现了下错开裂。Ⅲ3区为基本稳定区,为二蛮山古堆积体主体部分,该区后缘及中部均未发现明显的地表开裂变形,房屋也未发现其他变形破坏迹象,方量约为 $120 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

古堆积体的变形失稳不仅为大沟泥石流带来更多的松散物源量,因其势能高,崩滑后动能大,破坏力强,有转化为碎屑流的地形地质条件。

IV 右侧坡残积堆积物(Ⅳ区)

位于大沟右侧与玄武岩基岩出露之间,为大沟右侧残坡积的块碎石土,结构松散。该区覆盖层平均厚度为10m,面积 $14.4 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积为 $144 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。松散物源体积为 $43.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

综上所述,Ⅰ~Ⅳ区的松散物源或转化为大沟泥石流物源量,其体积约为 $735.4 \times 10^4 \text{ m}^3$,按照50a一遇暴雨频率计算,可启动松散物源体积为 $199.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

(2) 水源条件

大沟泥石流启动的水源主要来源于大气降雨和入渗,暴雨形成的地表径流是引发泥石流的主要水源,根据汉源县气象站的多年降水观测资料统计可知,年均降水量730.4mm。降水主要集中于下半年的5~9月(678.5mm),以6、7、8三个月降水最多(484.90mm),占全年降水量的92.89%。因此,夏季降水集中、降水量大,是泥石流、滑坡等灾害的多发季节^[3],大部分的泥石流、滑坡灾害都发生在这段时间。且沟域呈近似“V”形,沟内地形陡峻,沟谷上游纵坡大,有利于地表降水的径流和汇集,这些因素为大沟泥石流的形成提供了有利的水源条件^[4]。

(3) 沟道地形条件

根据泥石流形成条件和运动机制,以及泥石流松散物源的分布,将大沟分为三个区:沟源形成区、中部流通区、尾部堆积区。

①形成区位于高程1300~1640m,此段长约620m,平均沟床纵比降548‰,沟宽94~150m,平均宽120m,平面面积约 $7.8 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。组成物质为块碎石土和碎石土,块碎石成分以玄武岩为主,沟内残留

固体物质厚约1~10m。②流通区位于高程1000~1300m,平面形态呈前缘宽沟源窄扁平型,主沟长度约642m,主沟呈“U”形,平均沟床纵比降467‰。该流通区兼具备提供物源特征。③堆积区位于大沟的下部,万工集镇的后部,前缘高程950m,后源高程1000m,长220m,平均沟床纵比降227‰。形态为舌头形,舌头的前端较平缓,约13°。

综上所述,大沟沟域内山高坡陡,平均坡度在35°以上,沟谷纵坡较大,特别是在上游段及沟源处多在40°~50°以上,有利于降雨的汇集,根据不同地段坡度、植被情况、斜坡结构特征等的差异,为泥石流水源的汇流集中提供了基础^[5]。同时,由于地形陡峻,为崩塌、坡面泥石流等不良地质现象的发育提供了有利条件,特别是“7.27”后,沟谷纵坡变大,也为松散固体物质的搬运和参与泥石流活动提供了有利的地形条件。

2.2 泥石流基本特征值的分析计算

泥石流运动特征和动力特征的定量分析,是认识泥石流和进行泥石流防治工程设计的基本数据。大沟流域由于“7.27”自然灾害影响,未来泥石流的暴发具有独特的沟域特性,我们对其预测分析主要结合沟域特征,依据调查资料,类比利用目前泥石流运动特征及动力特征研究的成果进行。对泥石流流体重度、流速、流量、一次冲出总量、一次冲出固体物质量等常规指标进行了计算^[6]。

根据计算结果,将大沟泥石流主要运动特征值汇总如下(表1)。

表1 大沟泥石流运动特征汇总表

Table 1 Summary sheet of motion features of Dagou

debris flow				
项 目	量 值			
断面控制流域面积 $F(\text{km}^2)$	1.58			
沟长 $L(\text{km})$	2.68			
河道平均坡度 $J(\%)$	375.24			
设计频率(a)	10.00	20.00	50.00	100.00
设计洪峰流量 $Q_B(\text{m}^3/\text{s})$	17.04	21.18	25.8	31.08
设计洪水总量 $W_p(\times 10^4 \text{ m}^3)$	10.85	13.09	16.25	18.59
泥石流容重 (t/m^3)	1.94	2.01	2.05	2.11
泥石流流速 $V_c(\text{m}/\text{s})$	4.61	5.35	6.37	7.32
泥石流峰值流量 (m^3/s)	45.73	78.26	138.51	223.90
一次泥石流过程总量 $(\times 10^4 \text{ m}^3)$	2.90	6.20	13.28	24.83
泥石流固体物质量 $(\times 10^4 \text{ m}^3)$	1.60	3.68	8.20	16.21
泥石流整体冲击力 $(10^4 \text{ N}/\text{m}^2)$	1.91	2.66	3.86	5.23
单块冲击力 (10^4 N)	12.20	14.16	16.87	19.37

3 灾后综合防治措施

3.1 防护方案简介

通过上述地表地质测绘、勘探试验与排查综合分析,从综合防治的角度,首先需做好集镇及大沟流域的截排水系统,在物源区斜坡上部修建截水沟,控制地表洪水径流,削弱水动力条件,使水土分离,达到减小泥石流规模的作用^[7]。对泥石流的防治主要选择以排导为主,另外大沟后缘古堆积体物源集中、分布高程高、存在较大的势能,失稳可能形成碎屑流,对万工集镇产生直接的冲击破坏,有必要对其采取固源措施。因此综合防治工程方案的重点主要在泥石流流通区下部设置泥石流排导槽及分流槽,对后缘古堆积体进行固源,结合截排水及生物防护措施。

3.2 古堆积体固源方案

根据前期进行的地质勘查及宏观判断,首先对古堆积体进行二维稳定性计算分析,计算采用陈祖煜编写的“土质边坡稳定计算程序 STAB2009”进行。根据《滑坡防治设计与施工规范》DZ/T0219-2006,对折线滑面推荐采用传递系数法进行分析,分别对以下三种工况对古堆积体典型剖面进行稳定性计算:Ⅰ、自重+地下水;Ⅱ、自重+暴雨+地下水;Ⅲ、自重+地震+地下水。

通过计算得知,古堆积体Ⅲ1和Ⅲ2区在部分工况下稳定性不能满足规范要求,而在削坡同时采用抗力2000kN/m的抗滑桩固源后,计算剖面各滑弧的安全系数满足《滑坡防治工程设计与施工技术规范》推荐传递系数法的安全系数,最终采用了部分清挖+锚拉抗滑桩主动加固的方案。在古堆积体前缘一共布置了1排共15根截面为3m×4.5m和3m×4m的抗滑桩,同时在每根抗滑桩上部布置1根或2根锚固力为200t的锚索。对滑源区玄武岩边坡采取系统锚杆、挂网喷护和系统排水的措施。通过古堆积体及玄武岩边坡的加固既避免了碎屑流的发生,同时也减少了大沟泥石流的物源量。(图4)。

3.3 排导槽及分流槽设计

排导槽及分流槽平面布置上充分利用左岸高程1025m负地形的有利条件,修建钢筋混凝土排导槽,用以排导设计标准内的泥石流;同时在排导槽转弯段外侧设置一道两排共36根的拦挡桩群作为第二道防线以增加被动防灾能力;利用高程1200m至润水沟的负地形,设置分流槽,用以将可能发生的超标泥石



图4 二蛮山古堆积体固源效果图

Fig. 4 Matter-source consolidation of Erman Mountain



图5 泥石流排导槽、分流槽及拦挡桩群效果图

Fig. 5 Drainage canal, split-flow canal and retaining piles for debris-flow prevention

流提前引排远离万工集镇的润水沟(图5)。

排导槽结构尺寸的确定主要依据泥石流分析计算中的泥石流流速、泥石流冲击力、泥石流爬高、冲起高度以及泥石流弯道超高等数据。结构方面,针对作用于导流墙体上的各项基本荷载(土压力、泥石流冲击力等),对排导槽进行抗滑稳定、抗倾覆及地基稳定演算。最终确定排导槽总长856m,其中转弯段长246m,直线段长340m,右侧采用重力式挡墙,墙高11.4~7m;转弯段沟底及左侧采用混凝土贴坡衬砌,底宽由20m渐变为7m;直线段底宽7m,两侧坡及底板均采用混凝土板护坡,护坡高度6.5m。分流槽利用高程1200m至润水沟的地形条件开挖形成(底宽32m),主要用于排泄超标准泥石流。

4 结论与认识

(1) 万工集镇地处高山峡谷区,山高坡陡,区内沿斜坡发育季节性冲沟大沟,大沟丰富的物源条件,有利的沟道地形条件,以及所处区域的暴雨型水源条件是导致“7.27”滑坡-碎屑流的关键因素。

(2) 根据本阶段泥石流地质调查,“7.27”灾害

发生后,大沟流域可能出现的对万工集镇安全存在较大威胁的地质灾害主要为:“7.27”沿沟堆积的松散物质可能形成大规模泥石流及二蛮山古堆积体失稳可能形成碎屑流。

(3)针对大沟泥石流的综合防治工程措施主要考虑在泥石流流通区下部设置泥石流排导槽及分流槽,对后缘古堆积体进行固源,对边坡各部位物源采取截排水措施及生物防护措施。

参考文献:

- [1] 许强,董秀军,邓茂林,等.2010年7.27四川汉源二蛮山滑坡-碎屑流特征与成因机理研究[J].工程地质学报,2010,18(5):609-622.
- XU Qiang, DONG Xiujun, DENG Maolin, et al. The Ermanshan rock slide debris flow of Junly 27, 2010 in Hanyuan, Sichuan: characteristics and failure mechanism[J]. Journal of Engineering Geology, 2010,18(5): 609-622.
- [2] 朱忠礼,刘希林,尚志海.四川省北川县赵家沟地震次生泥石流形成条件分析[J].中国地质灾害与防治学报,2010,21(4):58-62.
- ZHU Zhongli, LIU Xilin, SHANG Zhihai. Analysis on the developing conditions of debris flow induced by Wenchuan earthquake in Zhaojia gully of Beichuan county, Sichuan province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2010,21(4): 58-62.
- [3] 符方熹,聂德新,任光明,等.川西泥石流分布特征与防治原则研究[J].中国地质灾害与防治学报,1998,9(1):41-46.
- FU Fangxi, NIE Dexin, Ren Guangming, et al. The study on debris flow's distribution character in western Sichuan [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1998,9(1):41-46.
- [4] 张志伟,裴向军.青川县尹家沟泥石流形成条件及防治建议[J].中国水运,2011,11(2):166-167.
- ZHANG Zhiwei, PEI Xiangjun. Formation condition and prevention recommend of Yinjiagou debris flow at Qingchuan County[J]. China Water Transport, 2011,11(2):166-167.
- [5] 赵学宏,常鸣,黄翔超.汶川震区清平乡文家沟泥石流灾害特征分析[J].南水北调与水利科技,2011,9(5):107-110.
- ZHAO Xuehong, CHANG Ming, HUANG Xiangchao. Disaster feature analysis of Wenjia gully debris flow in Qingping, Wenchuan Earthquake Area[J]. South-North Water Division and Water Science & Technology, 2011,9(5):107-110.
- [6] 王彦东,黄润秋,邓辉.西南某水电站泥石流形成条件及运动特征研究[J].中国地质灾害与防治学报,2007,18(1):40-43.
- WANG Yandong, HUANG Runqiu, DENG Hui. Study on the formation and dynamic characteristics of debris flows located in a hydropower stations in Southwestern China [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2007,18(1):40-43.
- [7] 李德基.浅论泥石流防治的实用性原理[J].中国地质灾害与防治学报,1997,8(2):55-71.
- LI Deji. An elemental study on practical principle of debris flow prevention and control[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1997,8(2):55-71.

Debris flow prediction and comprehensive treatment of “7.27” post-disaster of Wangong town, Hanyuan county, Sichuan province

SHAN Shi-han, WANG Xu-hong, LI Ting-you

(Hydrochina Chengdu Engineering Corporation, Chengdu 610072, China)

Abstract: July 27th 2010, a sudden geological disaster in form of landslide-debris flow occurred at the ridge of Erman Mountain, Dagou gully, caused significant damage to the hillside residents and Wangong town. This paper introduced the debris flow investigation and the corresponding treatment of “7.27” post-disaster based on macroscopic evaluation and quantitative calculation which indicate that after “7.27” geologic disaster, the cumulated “7.27” soft deposits along the Dagou valley could again cause large-scale debris flow under specific circumstances, and the possible unstability of the ancient-deposit located on the ridge of the Erman Mountain could form clastic flow to endanger Wangong town.

Key words: Wangong town; “7.27” geological disaster; debris flow investigation; comprehensive treatment