

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2016.03.07

四川石棉县“7·4”朱扎沟泥石流形成机制 与堵河影响分析

陈泽硕¹, 邓荣贵¹, 宋志^{1,2}, 张颖¹

(1. 西南交通大学, 四川 成都 610031; 2. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

摘要: 2013 年 7 月 4 日, 四川石棉县回隆乡朱扎沟因受暴雨袭击而暴发泥石流, 泥石流冲出固体物质跨过沟口乡村公路并汇入到竹马河中。造成沟口的乡村公路阻断; 竹马河堵塞, 幸好及时疏通, 未造成溃坝洪水等次生灾害。朱扎沟此次为低频率、中型、暴雨沟谷型泥石流。通过在朱扎沟区域的地质环境背景和成灾条件基础上, 分析了朱扎沟泥石流的形成机理和起动形式: 朱扎沟泥石流是由于沟内丰富的松散物源、提供动力条件的有利地形、不同物源转化补给以及强降雨下激发的沟床起动型泥石流。同时, 运用张金山泥石流堵河经验判别式对朱扎沟泥石流进行判别, 朱扎沟泥石流堵塞竹马河可能性较大。区域内植被覆盖茂盛, 但泥石流形成条件充足, 必须进行有效监测和治理。

关键词: 泥石流; 朱扎沟; 形成机制; 堵河

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2016)03-0042-05

Analysis of the formation mechanism and blockage of Zhuzha gully debris flow disaster in Shimian of Sichuan on July 4th, 2013

CHEN Zeshuo¹, DENG Ronggui¹, SONG Zhi^{1,2}, ZHANG Ying¹

(1. Southwest JiaoTong University, Chengdu, Sichuan 610031, China; 2. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China)

Abstract: Due to heavy rains and debris flow happened in gully of Shimian, Sichuan on July 4th, 2013. Solid matter Washed out by debris flow across the country road and imported into the ZhuMa river, blocked the country road and ZhuMa river, Fortunately, dredged in time, did not cause secondary disasters such as dam-break flood. It's a low frequency, medium, type of rainfall induced debris flow. Analyzed the formation mechanism and starting form of ZhuZha gully debris flow in this paper, based on geological environment and disaster conditions, it's a gully bed starting type debris flow due to rich source of loose material, favorable terrain for providing dynamic conditions, conversion and supply of different loose materials and excited by heavy rainfall. Also, Using empirical discriminant of debris flow blocking river by ZhangJinshan to determine the ZhuZha gully debris flow, Zhuma river blocked by debris flow to be the likely outcome. Although, lush vegetation cover in ZhuZha gully basin, debris flow forming conditions Sufficiency, must carry out effective monitoring and control.

Keywords: debris flow; Zhuzha gully; formation mechanism; blocking river

收稿日期: 2015-08-28; 修订日期: 2015-10-11

基金项目: 成都地质矿产研究所青年资助项目(所控基[2014]-05); 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室开放基金(SKLGP2014K020)

第一作者: 陈泽硕(1990-), 男, 湖南武冈人, 硕士, 主要从事岩土工程与地质灾害防治研究。E-mail: 602932145@qq.com

0 引言

朱扎沟位于石棉县回隆乡竹马工业园区,为竹马河左岸的一级支流,历史上没有发生泥石流灾害。2013年7月4日晚,雅安市石棉县部分地区遭遇严重暴雨袭击,暴雨引发山洪,山洪引发大渡河、楠桠河以及竹马河等多处泥石流:回隆乡的朱扎沟、马颈子沟、熊家沟、正沟以及新民乡的出路沟一度发生堵河险情。此次强降雨灾害使全县交通、通信、供水、供电、供气全部受到影响,大量房屋倒塌、民用、基础设施等损失严重,强降雨灾害同时也引发了大量次生地质灾害。朱扎沟内不稳定物源在暴雨等因素作用下暴发泥石流,此次泥石流产生的泥石流堆积体总量约 $1.2 \times 10^4 \text{ m}^3$,其中竹马河堆积体总量约 $0.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,乡村公路(农户居住区)堆积体总量约 $0.3 \times 10^4 \text{ m}^3$,泥石流的规模属于中型泥石流。泥石流汇入竹马河,将竹马河堵塞,幸好当地政府进行了及时疏通,未造成人员伤亡和较大经济损失。

受“4·20”芦山地震及“7·10”洪灾影响,朱扎沟一旦发生大规模泥石流灾害,其威胁对象主要为朱扎沟沟口联合村1组以及沟口竹马工业园区厂矿企业,威胁农户数5户35人,威胁工业园区多家企业,威胁厂矿企业总资产约3000万元,企业员工500余人^[1-2]。因此,对该泥石流沟内流域特征、对泥石流的形成机制、运动、流体性质、活动频率与规模以及堵河可能性等进行研究,为泥石流防治提供基础数据,对类似山区泥石流的防灾减灾具有参考意义。

1 孕灾地质背景及条件

1.1 地形地貌

朱扎沟沟域地形总体上属深切构造侵蚀高山地貌。沟域最高海拔位于沟谷尾端,海拔高度3154m;最低海拔高度1350m,位于沟口竹马河谷。沟域最大相对高差1804m。朱扎沟沟域形态近似扇形,沟域平均纵向长度3.9km,平均宽度1.9km,沟域面积6.0km²(图1)。沟域岸坡以陡坡地貌为主,一般坡度35°~45°。上游沟段沟谷横断面呈“V”型谷地貌,宽度较小,一般小于3.0m;下游沟段沟谷断面形态呈“U”型,沟谷最大宽度25.0m,呈现上游沟道狭窄、下游沟道相对开阔的发育特点(图2、图3)。朱扎沟发育3条较大支沟,分别命名为1、2、3号支沟,主沟与支沟之间的夹角多小于45°,呈锐角相交,陡峻的地形为泥石流的形成提供了良好的活动场所及强大的

动力条件^[3-5]。

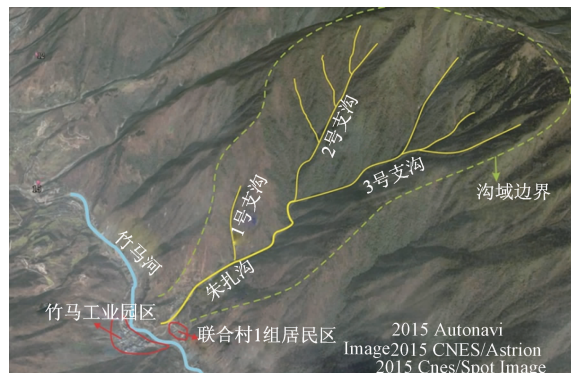


图1 朱扎沟沟域遥感图

Fig. 1 Remote sensing map of Zhuzha gully

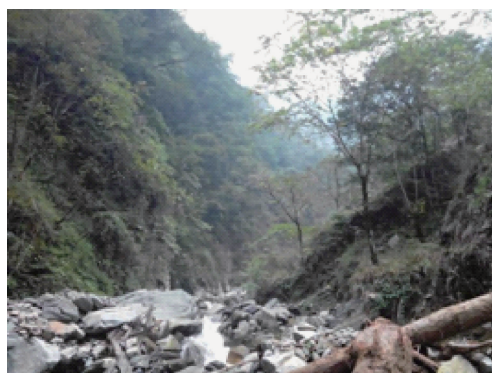


图2 朱扎沟沟谷上游“V”字型沟谷

Fig. 2 The “V” shaped valley at upper reaches of Zhuzha gully

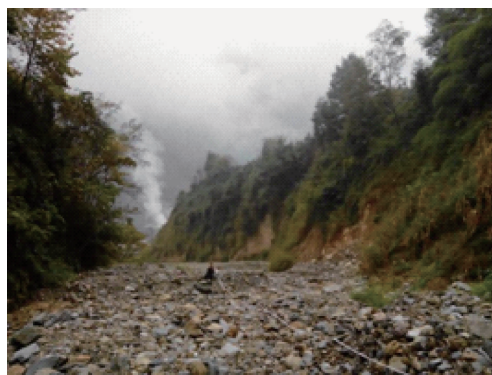


图3 朱扎沟沟谷下游“U”字型沟谷

Fig. 3 The “U” shaped valley at lower reaches of Zhuzha gully

1.2 地层岩性

朱扎沟出露的地层主要为晋宁期火成岩和第四系。沟域全景发育岩性为晋宁期黑云母花岗岩($\gamma/2$),共分为两期。第一期花岗岩灰白色、深灰色花岗岩,等粒结构,块状构造。第二期花岗岩为肉红色,等粒结构、花岗结构。沟域南侧分布有闪长岩($\delta 2/1$),灰色、深灰色、等粒结构。

松散固体物质主要为第四系残坡积层(Q_4^{cdl})主要分布于缓坡和山脊平台地带,厚 0.5~1.5 m;崩坡积层(Q_4^{cdl})主要分布于朱扎沟两岸坡脚地带,堆积体厚度变化较大,从几米到几十米不等;冲洪积层(Q_4^{ape})主要分布于朱扎沟及其支沟沟道内,在朱扎沟上游,支沟径流量小,冲洪积厚度小,一般小于 2.5 m,岩性为含黏土碎块石土;在朱扎沟中下游,冲洪积层岩性主要为砂卵石土,厚度较大,0~4.0 m 不等;泥石流堆积层(Q_4^{sef}),大小混杂,次圆状-次棱角状,岩块块度 5~250 cm 不等。

1.3 地质构造与地震活动

朱扎沟位于川滇经向构造带北端与青藏滇缅印尼巨型“歹”字型构造的交接、归并部位,处于鲜水河断裂带与安宁河断裂带交汇处,又邻近龙门山断裂带,处于川西地震构造带上,因断层带纵横交错,地震破碎,因而地震频繁,其境内地震活动特点:弱震密集,小震频繁。属于地震基本烈度为Ⅷ度,6.0 级~6.7 级地震危险区。同时受华夏系在龙门山构造带南端残余部分的影响,因而形成以江官山为顶点的帚状构造,构造形迹复杂,形成多处以南北向,北西向为主的褶皱、背斜及断层。

区域新构造运动强烈,以间歇性强烈上升运动为主,主要表现为河谷呈“V”字型,大渡河及支流河谷发育五级阶地,且多为基座阶地。新生代第三系地层发生断裂、褶皱。

1.4 人类工程活动与不良地质现象

朱扎沟沟域内植被覆盖率大于 95%,沟域植被类型主要为高大的乔木和高度大于 2.0 m 的灌丛。据调查,朱扎沟沟域内不良地质现象较少,无人工活动。

2 朱扎沟“7·4”泥石流形成机理

朱扎沟“7·4”泥石流的暴发,属于暴雨沟谷型泥石流,与其大量的松散物源、强降雨、有利的地形地貌、物源转化及泥石流启动后面运动机理有着直接的关系。

2.1 沟域内大量松散物源

泥石流形成区内有大量容易被水流冲刷侵蚀的松散固体物质,是泥石流形成的最重要的条件之一,特定的地质条件是松散固体物质形成的基础。

根据现场调查朱扎沟主沟及支沟其泥石流松散固体物源主要为沟道物源,其次为残坡积坡面物源(主要为主沟道下游段两岸冰水堆积层),岸坡崩滑物源发育数量少,规模小。在沟道中下游以及沟口堆积扇区段均可见到泥石流固体物质堆积,堆积体颗粒块度一般小于 0.4 m(含砂等细颗粒物质),占总量的

85%;块度为 0.4~0.6 m 的固体物质占总量的 10%~15%;未见块度大于 0.6 m 的固体物质堆积(图 4、图 5)。



图 4 朱扎沟主沟道内泥石流松散固体物源

Fig. 4 The loose material in main channel of Zhuzha gully



图 5 朱扎沟主沟道沟岸崩滑物源

Fig. 5 The collapse material in main channel of Zhuzha gully

据勘查统计计算的结果,朱扎沟沟域内沟道物源、残坡积坡面物源及岸坡崩滑物源总量为 $162.75 \times 10^4 \text{ m}^3$,可能参与泥石流活动的动储量为 $21.84 \times 10^4 \text{ m}^3$ (表 1)。

表 1 朱扎沟泥石流物源统计汇总表

Table 1 The statistical summary table of debris flow source in Zhuzha gully

物源类型	物源总量/ $(\times 10^4 \text{ m}^3)$	动储量/ $(\times 10^4 \text{ m}^3)$
沟道物源	12.4	6.72
岸坡崩滑物源	0.35	0.12
残坡积坡面物源	150.0	15.00
合计	162.75	21.84

2.2 有利地形提供充足的动力

泥石流的动力来源一般有:相对高度提供的势能和水流提供的动能。朱扎沟总体上为深切“V”型谷,总体上具有岸坡陡峻,切割深度较大的特点。朱扎沟主沟道平均纵向长度 3 900 m,最大相对高差

1 800 m,主沟道平均坡降 460‰;主沟道纵坡降在上中下游出现较大的差异性,上游段(2、3号支沟交汇点以上段)沟谷纵坡降 560‰;2、3号支沟交汇点至1号支沟段沟谷纵坡降 220‰;1号支沟至竹马河段纵坡降 200‰。沟谷纵坡降大是朱扎沟各个支沟的纵坡降特点,据统计,支沟纵坡降普遍大于 500‰,最大纵坡降 1 333‰(3-3号支沟),最小坡降 470‰(2-2号支沟)。地形陡峭使地表不稳定松散物质无法稳固,同时泥石流的流速更快、冲击力大,沿程使泥石流的破坏能力进一步增强。

2.3 泥石流由强降雨激发

根据对当地村民的调查走访,朱扎沟在历史上未有发生泥石流的记录,属于低频率泥石流。此次泥石流在 2013 年 7 月 4 日暴发。

2013 年 7 月 4 日,朱扎沟区域发生强降雨过程,据石棉县气象局的资料,该次降雨过程一小时最大降雨量为 31.1 mm,一次降雨量 95.0 mm,暴雨诱发朱扎沟泥石流。朱扎沟所在区域多年平均年降水量为 1200.9 mm,但在时空上分布不均;降水主要集中在 5~9 月份,占全年降水量的 86.4%。同时,山地降雨多于河谷地带,且多以暴雨或阵雨出现。其 1/6 h、1 h、6 h、24 h 多年最大暴雨量平均值分别为 13 mm、38 mm、55 mm、65 mm,在 $P=2\%$ 的条件下,1/6 h、1 h、6 h、24 h 雨强可分别达到 28.34 mm、88.16 mm、133.1 mm、150.8 mm,降雨较丰沛,且雨量集中,且沟域呈近似芭蕉叶形,沟域面积 6.0 km²,支沟发育,呈树枝状排列,沟内地形陡峻,沟谷上游及各支沟纵坡很大,有利于地表降水的径流和汇集,往往是激发泥石流的水源和水动力条件^[6]。

2.4 物源转换关系

目前朱扎沟沟域内可能与泥石流活动的松散固体物源动储量为 $6.7 \times 10^4 \text{ m}^3$,这些物源是分布在主沟及各条支沟中的,沟道径流启动沟谷底部固体物质形成泥石流,泥石流的物源转化关系以及流动特点如下:

清水区汇聚的大气降雨形成径流首先进入支沟道,由于支沟纵坡降大、沟道宽度较小,洪流的流动速度大,对沟道底部形成的冲蚀作用强烈,揭底沟道物源,形成泥石流并向主沟沟道流动。支沟泥石流物源并非均能参与主沟泥石流的活动,仅在形成支沟泥石流,被支沟泥石流冲出并汇入主沟的部分才可能在主沟洪水或泥石流携带参与主沟泥石流的活动。支沟泥石流以及主沟斜坡汇聚的降雨进入主沟沟道,洪流流量增大数倍,洪流裹挟沟道固体物质,形成固液两相流

体,形成泥石流。在泥石流运动过程中,得到了沟床松散堆积体的补给,随着沟道纵比降和宽度的变化,有的地段发生水沙分离,必然有相当部分固体物质沿沟道发生堆积,而不会冲出泥石流沟。泥石流在沟道流动对岸坡堆积体坡脚形成冲刷,并导致坡脚段土体滑塌,进入沟道参与泥石流活动。

2.5 泥石流的形成机制为沟床起动型

据现场调查,该次暴发的泥石流物源启动部位位于主沟道中游段。2013 年 7 月 4 日晚,朱扎沟流域强降雨作用,清水区汇聚大量降水形成地表径流,径流快速汇入支沟,揭底冲刷支沟沟道固体物质,形成泥石流向主沟道流动;同时支沟道泥石流以及降雨进入主沟道,洪流裹挟固体物质形成泥石流,向下游流动,泥石流冲刷岸坡第四系堆积体,堆积体坡脚滑塌,滑塌体参与泥石流活动,继而掀动揭底与水流搅拌混合形成泥石流。泥石流快速顺沟下涌,并强烈冲刷沟床、掏蚀沟道内的松散堆积物,将其卷入流体中带走,使泥石流规模不断增大。从形成机制分析,“7·4”朱扎沟泥石流的形成具有水流掀动揭底沟床堆积物的特征,为沟床起动型泥石流^[7-9]。

3 朱扎沟泥石流堵河分析

竹马河流域面积 287 km²,勘查期间沟道洪流流量 3.0~3.5 m³/s。朱扎沟为竹马河的一级支流,竹马河在该段河谷宽度 10~30 m,沟谷深度 8~9 m,断面面积 100~300 m²。沟段断面面积小。2013 年 7 月暴发的泥石流将竹马河堵塞,所幸疏通及时,未造成人员伤亡和较大经济损失。

国内学者张金山等^[10]、唐川等^[11]对泥石流造成河流堵塞进行了比较多的研究,并提出了泥石流堵河的经验判别式,通过公式计算泥石流堵河可能性大小,并依此来判断朱扎沟泥石流对竹马河的堵塞程度。

按张金山公式计算:

$$R = \frac{PQ_n J_n}{K_z Q_z J_z}$$

式中: R ——泥石流堵塞度,即泥石流堵断主河可能性;

P ——泥石流暴发频率;

K_z ——堆积区主河宽度;

Q_n ——泥石流流量;

Q_z ——主河流量;

J_n ——泥石流主沟比降;

J_z ——主河比降。

此公式计算所得 R 数值越大,堵塞程度就越高,一般堵河可能性 R 在 10 以上为易于堵河,介于 5~10 可对主河造成较严重的堵塞,小于 5 则堵河的可能性很小,多产生轻微堵塞。

竹马河在朱扎沟入汇段河谷宽度 30m 左右,纵坡 5% 左右,流量取 $70 \text{ m}^3/\text{s}$ 。朱扎沟纵坡取平均纵坡为 46%。在朱扎沟泥石流堵塞竹马河的判别计算中,根据现场勘察资料计算所得数据,分别计算 $P=50$ (50 年一遇) 和 $P=20$ (20 年一遇) 条件下的泥石流堵河程度。当 $P=50$ 时,取 $Q_n=94.28 \text{ m}^3/\text{s}$; 当 $P=20$ 时,取 $Q_n=72.41 \text{ m}^3/\text{s}$ 。计算所得泥石流堵塞度 $R_{50}=20.7$, $R_{20}=6.3$ 。根据计算可得,朱扎沟发生 50 年一遇泥石流时会发生极易堵河;20 年一遇也会发生较严重堵河,计算结果与现场调查分析所得结果相符。

4 结论

(1) 四川石棉县回隆乡朱扎沟所在区域属于暴雨泥石流活动区,该区域的泥石流动力条件、松散物源、水源条件等都有利于泥石流的暴发。朱扎沟主沟及支沟其泥石流松散固体物源主要为沟道物源,其次为残坡积坡面物源(主要为主沟道下游段两岸冰水堆积层),岸坡崩滑物源发育数量少,规模小。物源总量为 $162.75 \times 10^4 \text{ m}^3$,可能参与泥石流活动的动储量为 $21.84 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

(2) 朱扎沟“7·4”泥石流属于暴雨沟谷型泥石流。由区域内强降水激发,形成机制为沟床起动型。清水区汇聚大量降水形成地表径流,径流快速汇入支沟,揭底冲刷支沟沟道固体物质,形成泥石流向主沟道流动;同时支沟道泥石流以及降雨进入主沟道,洪流裹挟固体物质形成泥石流,向下游流动,泥石流冲刷岸坡第四系堆积体,堆积体坡脚滑塌,滑塌体参与泥石流活动,继而掀动揭底与水流搅拌混合形成泥石流。

(3) 朱扎沟“7·4”泥石流在竹马河中堆积体总量约 $0.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,造成竹马河堵塞,泥石流的规模属于中型泥石流。通过堵河判别经验公式进行计算,朱扎沟在 50 年一遇的泥石流将发生极易堵河,在 20 年一遇的泥石流也会发生较严重的堵河现象,其堵河程度在堵河较严重和极易堵塞之间。

(4) 朱扎沟泥石流为低频率、中型泥石流,对其朱扎沟沟口联合村 1 组以及沟口竹马工业园区厂矿企业的生命和财产安全构成巨大威胁。必须引起当地相关部门的重视,对朱扎沟泥石流进行监测和有效治理。

参考文献:

- [1] 四川省华地建设工程有限责任公司. 石棉县回隆乡朱扎沟泥石流勘查报告[R]. 2013.
Huadi Construction Engineering Limited liability company, Sichuan Province. Survey report of Zhuzhagou debris flow in Huilong Town, Shimian[R]. 2013.
- [2] 王征强, 邓辉, 姚进. 四川省石棉县“7·4”后沟泥石流形成机制分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2013, 49(11): 17-19.
WANG Zhengqiang, DENG Hui, YAO Jin. The 4 July 2013 Hougou debris flows in Shimian, Sichuan province: forming mechanism [J]. Gansu Water Resources and Hydropower Technology, 2013, 49(11): 17-19.
- [3] 余斌, 谢洪, 王士革, 等. 汶川泥石流沟在汶川“5·12”地震后的活动趋势[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(6): 68-73.
YU Bin, XIE Hong, WANG Shige, et al. Activity tendency of debris flow gully in Wenchuan County after “5·12” Wenchuan earthquake [J]. Journal of natural disasters, 2011, 20(6): 68-73.
- [4] 袁颖, 王帅伟, 满兵. 四川都江堰椿芽树沟泥石流特征参数计算及防治工程设计[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2015, 26(2): 51-56.
YUAN Yin, WANG Shuaiwei, MAN Bing. Calculation of characteristic parameters and design of control work against of debris flow in Chunyashu gully, Sichuan province [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2015, 26(2): 51-56.
- [5] 余天彬, 任光明, 王猛, 等. 汶川震区龙门山镇高架子沟“8·18”泥石流灾害机理与特征[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2014, 25(3): 9-13.
YU Tianbin, REN Guangming, WANG Meng, et al. Mechanism and characteristics of Gaojiazhi gully debris flow on august 18, 2012 in Longmenshan town, epicenter of Wenchuan earthquake [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2014, 25(3): 9-13.
- [6] 谢洪, 刘维明, 赵晋恒, 等. 四川省石棉 2012 年“7·14”唐家沟泥石流特征[J]. 地球科学与环境学报, 2013, 35(4): 90-97.
XIE Hong, LIU Weiming, ZHAO Jinheng, et al. Characteristics of Tangjiagou debris flow in Shimian of Sichuan in July 14, 2012 [J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2013, 35(4): 90-97.

(下转第 65 页)