

DOI:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.2020.01.01

四川汉源康家坡滑坡形成机理与滑坡—堰塞坝—泥石流灾害链分析

王涛,王嘉昆,潘冬

(四川省地质矿产勘查开发局207地质队,四川乐山 614000)

摘要: 2018年8月6日中午12时,汉源县富泉镇西沟发生大规模滑坡,约 $1.50 \times 10^6 \text{ m}^3$ 松散碎块石土在前期持续降雨作用下沿西沟右岸高速滑出、解体,并在主沟道内形成堰塞坝,体积约 $4.00 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。滑坡造成1人失踪,近 $6.70 \times 10^3 \text{ m}^2$ 耕地被毁,紧急转移50余人。通过现场实地调查,结合无人机航拍、三维建模、地质、地震、水文、气象等资料,对康家坡滑坡基本特征进行了调查研究,调查表明,有利的地形条件、松散的覆盖层、充沛的前期降雨入渗及溪水对坡脚的冲刷是形成滑坡的主要原因。西沟原本为一条高频泥石流沟,本文在此基础上分析了堰塞坝溃坝的可能性及灾害链成灾模式。

关键词: 汉源县;滑坡;堰塞坝;泥石流

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1003-8035(2020)01-0001-07

Analysis on mechanism of Kangjiapo Landslide and consequent debris flow in Hanyuan County of Sichuan Province

WANG Tao, WANG Jiakun, PAN Dong

(NO. 207 Geological Team, BGEEMRSP, Leshan, Sichuan 614000, China)

Abstract: At about 12:00 pm on August 6th, 2018, a large-scale landslide happened in west gully of Hanyuan County. Under the early continuous rainfall approximately $1.50 \times 10^6 \text{ m}^3$ loose gravel soil at right bank slid down at high speed and disrupted, and then transferred into the barrier dam approximately $4.00 \times 10^5 \text{ m}^3$. the landslide damaged about $6.70 \times 10^3 \text{ m}^2$ cultivated land, causing 1 person to be died and 50 people to be evacuate urgently. Through in-situ investigation, the basic characteristics of Kangjiapo Landslide were investigated combined with Unmanned Aerial Vehicle, three-dimensional modeling, geology, earthquake, hydrology, meteorology, the results indicate that the prominent terrain condition, loose overburden, abundant early rainfall. The erosion of the slope by gullies are the main cause of the landslide. The west gully was originally a valley where debris flow frequently happened, on this basic this paper analysis the possibility of the dam-break and disaster chain disaster mode.

Keywords: Hanyuan County; landslide; barrier dam; debris flow

0 引言

崩塌、滑坡、泥石流等灾害往往造成人员伤亡和财产损失,还可阻断河流,形成堰塞湖,威胁堰塞体上下

游人民和财产安全^[1],我国西南山区发生的天台乡滑坡^[2]、易贡滑坡^[3]、金沙江白格滑坡^[4]均形成了典型滑坡—堰塞湖,危害巨大。2018年8月6日中午,汉源县富泉镇西沟右岸一斜坡突然失稳,约 $1.50 \times$

收稿日期: 2019-06-06; 修订日期: 2019-07-09

第一作者: 王涛(1987-),男,四川乐山人,地质工程专业,硕士研究生,工程师,主要从事地质灾害监测预警及防治工作。E-mail: 780955043@qq.com

10^6 m^3 松散覆盖层沿岸坡剪出,滑坡第一阶段沿 175° 主滑方向快速滑动、破坏解体,并伴随有抛洒现象;滑至左岸受阻后转向沿 240° 方向向沟对岸滑动,阻滑段发生严重挤压变形,耕地隆起呈波浪状。滑坡堆积体在主沟道内形成堰塞坝,坝高 50 m,体积约 $4.00 \times 10^5 \text{ m}^3$ 。滑坡造成 1 人失踪,近 $6.70 \times 10^3 \text{ m}^2$ 耕地被毁,紧急转移 50 余人。

本文在现场调查基础上,结合无人机航飞、三维建模、地质、地震、水文、气象等资料,分析了康家坡滑坡—堰塞坝特征及形成机理,并预测了可能形成的灾害链成灾模式。

1 滑坡区地质环境条件

康家坡滑坡位于四川省雅安市汉源县富泉镇向明村 3 组,地理坐标东经 $102^\circ 41' 28.02''$ 、北纬 $29^\circ 22' 29.52''$,距离 S306 省道约 5 km。

1.1 地形地貌

滑坡区地貌类型属于侵蚀构造中低山地貌,斜坡位于西沟主沟右岸,主沟全长约 5.3 km,落差 1 094 m,平均纵坡降 206‰,沟道弯曲,汇水面积 4.2 km^2 ,沟谷狭窄,截面呈“V”字型,切割深度 20 ~ 70 m。

滑坡区斜坡属凸型坡,坡向 $168^\circ \sim 175^\circ$,地形坡度 $10^\circ \sim 35^\circ$,上部为缓坡平台,主要为居民聚集区,宽度大于 200 m,坡度 $10^\circ \sim 15^\circ$,中部坡度较陡,达到 $25^\circ \sim 35^\circ$,下部为缓坡,坡度 $10^\circ \sim 25^\circ$,坡脚位于西沟

沟底,海拔 1 290 m,坡顶位于上部缓坡平台,海拔 1 560 m,相对高差 270 m。

1.2 地层岩性

康家坡滑坡区地层主要由第四系崩坡积层 ($Q_4^{\text{col+dl}}$) 组成,岩性为黄褐色稍密状碎块石土;沟岸处出露二叠系峨眉山玄武岩 ($P_2\beta$),深灰色致密块状,柱状节理较发育。

1.3 地质构造及地震

汉源县位于川滇南北构造带的北段,滑坡区东距汉源—昭觉活动断裂约 3 km,该断裂长约 120 km,倾向东或西,倾角 $60^\circ \sim 80^\circ$ 。

滑坡区先后遭受“5·12”特大地震及“4·20”强烈地震,震感强烈,地震基本烈度为 VII 度^[5],地震动加速度值 $0.15g$,地震动反应谱特征周期值 $0.40s$ 。

2 滑坡发生过程

2018 年 8 月 6 日 12 时左右,汉源县富泉镇向明村 3 组附近村民听到轰轰巨响,对面一自然山体斜坡中下部突然发生滑坡,持续时间约 3 min,滑坡后漫天扬尘。滑坡致 1 人失踪,近 $6.70 \times 10^3 \text{ m}^2$ 耕地被毁,威胁西沟对岸 10 户 36 人及下游水厂(图 1、图 2)。

自 2001 年来汉源县先后进行 14 次地质灾害调查及每年的汛期巡排查工作中均未发现该区有地质灾害隐患,2018 年汛前、主汛期当地政府组织乡镇干部开展了 4 次拉网式排查工作,均未排查出该处滑坡。



图 1 康家坡滑坡全貌图

Fig. 1 The full view of the Kangjiapo Landslide

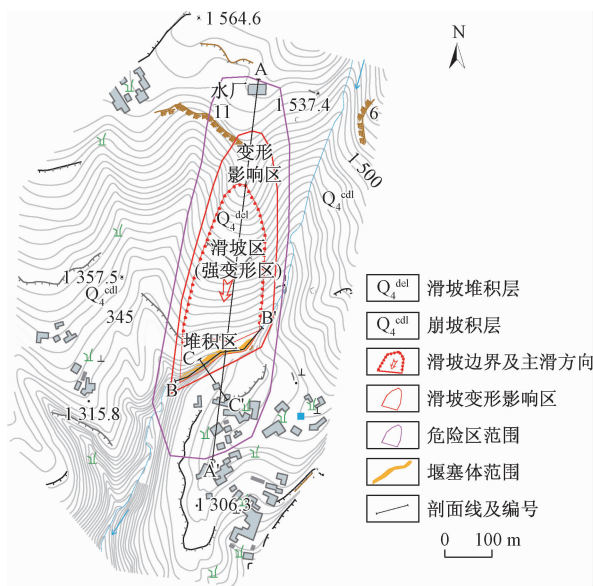


图 2 康家坡滑坡工程地质平面图

Fig.2 The engineering geologic distribution of the Kangjiapo Landslide

3 滑坡基本特征及分析

3.1 变形及规模特征

滑坡后缘位于斜坡中上部,已形成高 30 ~ 40 m、沿垂直主滑方向弧形展布的下错陡壁,并有少量水体渗出,经无人机航飞调查,后缘陡壁上方还发育多条垂直于坡向的拉张裂缝,长十米至数十米不等,个别裂缝已贯通,局部树木已歪斜,有继续滑动的趋势。

滑坡前缘剪出口位于坡脚沟岸岸坡,滑坡启动后,运动过程大体可概括为二个阶段,第一阶段沿 175°主滑方向快速滑动,在左岸受阻后转向沿 240°方向滑向沟对岸,前缘缓坡耕地形成鼓丘,并将斜坡右侧坡体挤压变形,滑坡堆积体在主沟道内形成堰塞坝(图 3)。

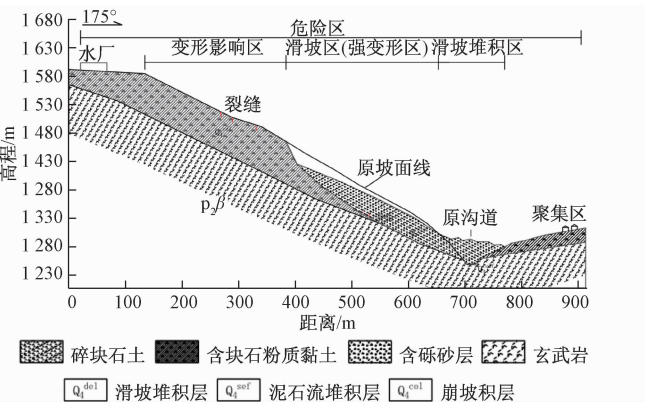


图 3 康家坡滑坡纵剖面图 A-A'

Fig.3 The section map of the Kangjiapo Landslide A-A'

滑坡左侧以西沟为界,滑坡高速下滑形成 20 ~ 25 m 高陡侧壁,并伴随滑体土形成的碎屑流翻过山脊向外抛洒的现象。位于山脊中部的水塔被推移近 20 m 并完全损坏,10 余座坟墓被推倒。

滑坡右侧边界为一天然冲沟,滑动后发生剪切破坏,形成 25 ~ 30 m 侧壁,坡度大于 70°,侧壁较光滑,未见明显擦痕,局部见水体渗出,有零星碎屑流翻过山脊向外抛洒。

由于滑坡滑动后后缘仍处于持续变形阶段,加之地形高陡,为准确计算康家坡滑坡体积,采用无人机航飞生成 1:10 000 正射影像图,建立三维模型(图 4),测得滑坡平均宽 140 m、纵向长 390 m、平均厚度约 30 m,体积约为 $1.50 \times 10^6 \text{ m}^3$,属大型土质滑坡。滑坡前缘为西沟主沟,原沟床宽约 5 m,汛期沟内有少量流水,最大洪水流量约 $2 \text{ m}^3/\text{s}$,主要受大气降水及地表水补给,枯期断流。滑体由西沟右岸岸坡陡坎处剪出,堆积体已滑至沟道内,形成堰塞坝,沿沟长 220 m、顶宽 170 m、高 20 ~ 50 m,沟道被完全堵塞,滑坡堆积体上游沟道已基本被滑坡散落体填满,仅余约 $2 000 \text{ m}^3$ 库容。

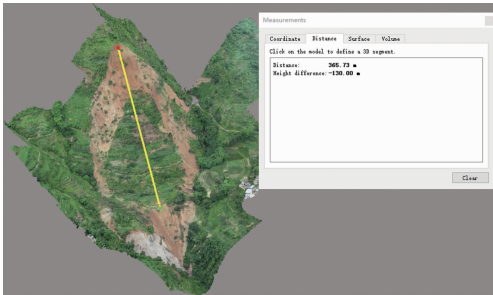


图 4 三维建模

Fig.4 Three-dimensional modeling

3.2 滑坡成因机制

康家坡滑坡其成因与地形地貌、降雨、地下水、地层结构、人类活动等密不可分。斜坡变形破坏的原因主要有:

(1)地形地貌:滑坡区属典型中低山斜坡地貌,斜坡平均坡度 $25^\circ \sim 30^\circ$,斜坡前缘较陡,有较高的临空面,坡脚为西沟,雨季受持续冲刷;滑坡区为凹形地,其两侧为微冲沟,后缘为下错形成的陡壁,为滑坡失稳提供了较好的地形地貌条件。

(2)降雨:由于汉源县所处的独特地理位置,形成了年降雨丰沛、降雨时间和降雨量集中、短时强降雨量和连续强多日降雨量大等降雨特征,多年平均降水量 730.8 mm,主要集中在 5 ~ 10 月份,境内 50 年一

遇的最大年降雨量为 1 033.1 mm(1990 年),20 年一遇的最大年降雨量为 855.5 mm(1987 年),10 年一遇的最大年降雨量为 830.2 mm(2005 年)。最大一日降雨量为 110.0 mm(2004 年),最大 1 h 降雨量为 39.2 mm(2004 年 8 月 3 日),最大 10 min 降雨量为 21.9 mm。

根据汉源气象局提供的附近雨量站监测数据,自 2018 年 7 月 20 日至滑坡发生前的 15 天累计降雨达 201.5 mm,8 月 2 日降雨量 48.4 mm,8 月 3 日降雨量 39.8 mm,4~6 日晴朗无雨。此次连续强降雨后滑坡的发生具有较强的滞后性、突发性和隐蔽性,雨水渗入结构面的软化效应发挥了重要作用^[6]。

(3)地下水及地表水:滑坡区地下水类型主要有分布于斜坡体上的松散层孔隙潜水和基岩裂隙水。两者主要接受大气降水补给,降雨入渗转化为地下水沿斜坡方向向下径流。滑坡区斜坡坡度较大,坡体结构较松散,利于地下水的排泄。因此,地下水对滑坡前缘斜坡的稳定性影响相对降雨来说较小,但暴雨或持续降雨期,雨水通过入渗转化为地下水入渗至滑床,并在坡体上形成统一地下水位时,对整个滑体的稳定性将产生较大影响;斜坡最底部为溪沟,坡脚受溪沟的冲刷,破坏了斜坡的稳定性,并成为了滑坡体的剪出口。

(4)地层结构:康家坡滑坡滑体为松散堆积物,厚度 10~30 m,为碎块石土,结构较松散,透水性较强,有利地下水的入渗,土体易软化、易变形;滑床为二叠系中统峨眉山玄武岩,暴雨期或持续降雨期,降雨下渗至松散土类与基岩接触面时,由于透水性的差异,可能会在基岩面产生浮托力,因此推测土层与基岩接触面是滑坡的控滑结构面(图 5、图 6)。



图 5 前缘耕地损毁情况

Fig.5 The damaged land at the toe of landslide

根据康家坡滑坡目前稳定性状态,受滑坡前缘及两侧牵引作用影响,滑坡后缘陡壁上方斜坡已出现多



图 6 滑坡堆积体堵塞沟道

Fig.6 Soil Deposits blocks the channel

处下错陡坎及拉张裂缝,具有继续失稳变形发生滑动的风险。

3.3 灾害链转化分析

滑坡堆积体将沟道完全堵塞,仅左侧低洼处有一“V”型自然泄水通道,底宽 1 m、深 2 m、顶宽 3 m,最大出流量约 $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$,堰塞坝以上至沟源分水岭汇水面积约 0.31 km^2 ,沟长 1.96 km,沟床平均纵比降 211‰,最大 1h 降雨量为 39.2 mm(2004 年 8 月 3 日)(图 7、图 8)。查阅《四川省水文手册》,采用中国水利水电科学研究院推荐的推理公式计算坝前最大洪峰流量:

$$Q = 0.278\psi i F = 0.278\psi \frac{S}{\tau^n} F \quad (1)$$

当全面汇流条件下 $\tau \leq t_0$

$$\psi = 1 - \frac{\mu}{S} \tau^n \quad (2)$$

当部分汇流条件下 $\tau > t_c$

$$\psi = n \left(\frac{\tau_c}{\tau} \right)^{1-n} \quad (3)$$

$$\tau_c = \left[(1-n) \frac{S}{\mu} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (4)$$

$$\tau = \tau_0 \psi^{\frac{-1}{4-n}} \quad (5)$$

$$\tau_0 = \frac{0.278^{\frac{3}{4-n}}}{\left(\frac{mJ^{\frac{1}{3}}}{L} \right)^{\frac{4}{4-n}} (SF)^{\frac{1}{4-n}}} \quad (6)$$

式中: Q ——最大流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$;

ψ ——洪峰流量系数,取 0.53;

i ——最大平均暴雨强度/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$,取 39.2 mm;

F ——集水面积/ km^2 ;

S ——暴雨雨力,即最大一小时暴雨量/ $(\text{mm} \cdot \text{h}^{-1})$;

n ——暴雨公式指数；
 J ——沿 L 的河道平均坡度/ $\%$ ；
 L ——自出口断面沿主河道至分水岭的河流长度/ km ；
 τ ——流域汇流时间/ h ；
 τ_0 ——当 $\psi = 1$ 的流域汇流时间/ h ；
 τ_c ——产流时间/ h 。

经计算,坝前最大洪峰流量约 1.8 m^3 ,小于沟口泄水通道出水量,加之坝体规模巨大,在沟道内形成的土坝以滑坡下滑解体的强风化土状物为主,基本不含

块石,天然堆积坝坝体透水性较差。因此,堰塞坝整体溃决的可能性较小,以浅表层“溢流溃决”破坏方式为主^[7],溢流过程中伴有侧蚀、底蚀作用,可能形成夹砂洪流或小型泥石流。堰塞坝下游坡比接近 1:1,上游坡比 1:2.8,一般心墙堆石坝上下游坡为 1:1.8~1:2.5(极端为 1:1.3)^[8],上游坝体较稳定,坝体下游属于不稳定坡比,稳定性较差。但由于堰塞坝体积较大,结构均一,堰塞体整体沿沟床滑动的可能性小,主要表现为下游坝体产生小规模滑塌。

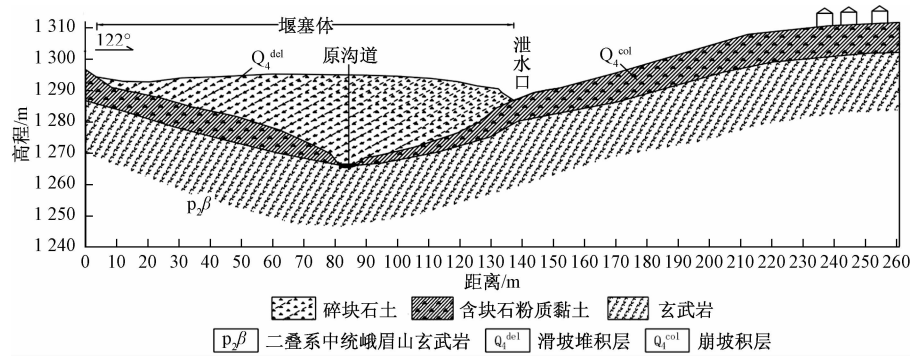


图 7 堰塞坝横截面图 B-B'
Fig. 7 The transverse section map of the dam B-B'

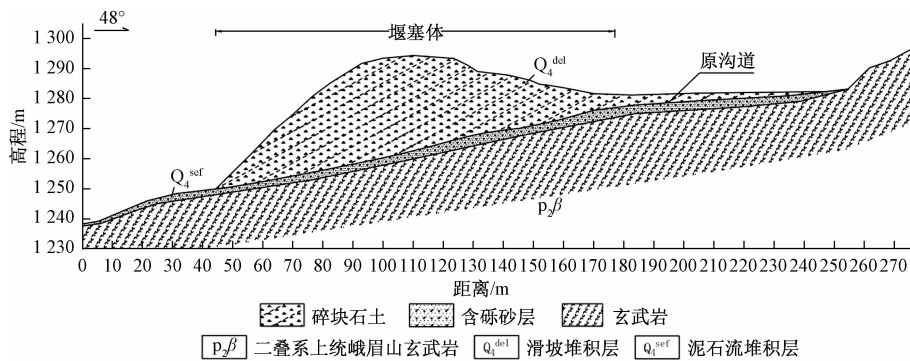


图 8 堰塞坝纵截面图 C-C'
Fig. 8 The section map of the dam C-C'

康家坡滑坡所处的西沟原本就为一条高频泥石流沟,基本上每年都爆发泥石流,相关单位一直严加防范。滑坡位于西沟中上游形成区,如前所述,滑坡形成的堰塞坝溃坝的可能性较小,但由于体积巨大,可持续为泥石流的爆发提供丰富物源。西沟主沟全长约 5.3 km,平均纵坡降为 206‰,汇水面积约 4.2 km²。主沟上段(高程 1 700~1 900 m)为清水区(图 9),平均坡降 170‰,沟道两侧表层为崩坡积层,底部为基岩,沟道内大部分基岩出露;中段纵坡降增大(高程 1 100~1 700 m),该段为形成区及流通区(图 10),平

均坡降约 300‰,该段沟道两侧及沟道内玄武岩出露,岸坡高陡,滑塌现象较为突出,沟床内有少量泥石流堆积物;下段沟道纵坡变缓(高程 820~1 100 m),平均坡降约 168‰,该段为泥石流堆积区(图 11),沟道内主要为泥石流堆积物,堆积厚度 5 m 以上,堆积物主要为块石、碎石土和角砾土。

1#支沟位于主沟左侧,流域面积为 1.3 km²。支沟沟道长 2.9 km,其沟口高程为 924 m,沟顶高程为 1 674 m,总体坡降 259‰。沟道较顺直,总体呈 EW 向展布,沟道在下游位置转向 SW 与主沟交汇。沟道宽

6~22 m,切深2~5 m。植被相对较好,崩坡积层岸坡稳定较差,易发生表层滑塌。沟道内主要堆积大的块石,细颗粒相对较少。



图9 清水区
Fig.9 Water area



图10 形成流通区
Fig.10 Forming and passing by area



图11 堆积区
Fig.11 Deposition area

经现场调查,西沟沟物源主要分为三种类型:①沟道内泥石流堆积物②岸坡垮塌堆积物③崩坡积物。沟谷内松散物源较丰富,主要沿形成区及流通区段两岸分布,其中以崩坡积物源为主,在暴雨、洪水作用下,以坡面侵蚀及坡脚侧蚀的形式参与泥石流活动。西沟总

物源量约 $2.00 \times 10^6 \text{ m}^3$,动储量约 $5.00 \times 10^5 \text{ m}^3$,近期可能参与物源量 $7.00 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。主沟近期可能参与泥石流活动总物源量约 $5.00 \times 10^4 \text{ m}^3$,1#支沟近期可能参与泥石流活动总物源量为 $2.00 \times 10^4 \text{ m}^3$ (图12)。



图12 泥石流堆积层
Fig.12 Accumulation horizon of debris flow

西沟主沟内先后修建了13座拦挡坝,1#支沟内共修建2座拦挡坝,坝后沟道内基本被泥石流堆积物淤满,局部拦挡坝受损。

沟内无人员居住和设施,沟口入汉源湖沿岸有居民67户200余人。沟口段已修建有宽14 m、高3 m的排导槽,根据汉源县水务局提供数据,其防洪标准50年一遇,安全行洪能力 $200 \text{ m}^3/\text{s}$,按雨洪法初步估算,小时最大雨强取 39.2 mm/h (2004年8月3日),暴雨洪峰流量约 $34 \text{ m}^3/\text{s}$ 、泥石流峰值 $42 \text{ m}^3/\text{s}$ 。潜在泥石流发生后,沟口能满足过流要求;中下游现有水厂1处,位于沟底,受泥石流的危险性较大。

表1 各拦挡坝运行情况汇总表

Table 1 Summary table of operation of each dam							
部位	拦挡坝 编号	坝高/ m	坝宽/ m	坝长/ m	坝受损 情况	坝后淤积 情况	
主沟	1#拦挡坝	5	1	20	右坝肩冲毁	基本淤满	
	2#拦挡坝	6	1	18	左坝肩受损	基本淤满	
	3#拦挡坝	5	1.2	18	坝主体完好	基本淤满	
	4#拦挡坝	3	1	22	坝主体完好	基本淤满	
	5#拦挡坝	5	1.5	26	坝下跌水受损	基本淤满	
	6#拦挡坝	1.5	1	12.7	坝冲毁	淤积厚度约 1.5 m	
	9#拦挡坝	5	1	38	坝主体完好	基本淤满	
	10#拦挡坝	5	1	26.6	坝主体完好	基本淤满	
	11#拦挡坝	3.5	1	10	坝主体完好	基本淤满	
	12#拦挡坝	3.5	1	11	坝主体完好	基本淤满	
	13#拦挡坝	1	1	32	坝主体完好	基本淤满	
	14#拦挡坝	1	1	24.5	坝主体完好	基本淤满	
	15#拦挡坝	3	1	36.6	坝主体完好	基本淤满	
	1#	7#拦挡坝	3	1	5.5	坝主体完好	基本淤满
	支沟	8#拦挡坝	3	1	18.8	右坝肩冲毁	基本淤满

4 结论

(1)康家坡滑坡是在两侧临沟、总体地形坡度较陡、前缘受流水冲刷、前期受连续强降雨入渗的组合基础上触发形成的。滑坡平均宽140 m、纵向长390 m、平均厚度约30 m,体积约为 $1.50 \times 10^6 \text{ m}^3$,属大型土质滑坡,在下滑过程中快速解体、抛洒并在沟道内形成约 $4.00 \times 10^5 \text{ m}^3$ 堰塞坝。

(2)堰塞坝上游仅有约2 000 m^3 库容,汇水面积较小,左侧存在一自然泄水通道,经计算,最大出水量大于汇水量,整体溃坝的可能性较小,局部稳定性较差,后期以浅表层“溢流溃决”破坏方式为主,可能形成夹砂洪水或小型泥石流。

(3)西沟原本为一高频泥石流沟,康家坡滑坡发生后,当前总物源量约 $2.00 \times 10^6 \text{ m}^3$,动储量约 $5.00 \times 10^5 \text{ m}^3$,近期可能参与物源量 $7.00 \times 10^4 \text{ m}^3$,由于沟道内已修建多级拦挡坝,沟口已设置排导槽,满足过流要求,但对中下游水厂威胁较大。

参考文献:

- [1] 葛永刚,陈兴长,方华,等.汉源县大渡河“8.6”崩塌堵河灾害研究[J].山地学报,2010,28(1):123-128. [GE Y G, CHEN X Z, FANG H, et al. Study on the disaster of Dadu River block induced by the rock fall occurred at Hanyuan County on August 6th, 2009 [J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(1): 123-128. (in Chinese)]
- [2] 乔建平,吴彩燕,李秀珍,等.四川省宣汉县天台乡特大型滑坡分析[J].山地学报,2005,23(4):458-461. [QIAO J P, WU C Y, LI X Z, et al. Analysis on super large-scale landslide in Tiantai, Xuanhan, Sichuan [J]. Journal of Mountain Science, 2005, 23(4): 458-461. (in Chinese)]
- [3] 吕杰堂,王治华,周成虎,等.西藏易贡大滑坡成因探讨[J].地球科学,2003,28(1):107-110. [LYU J T, WANG Z H, ZHOU C H, et al. Discussion on the occurrence of Yigong landslide in Tibet [J]. Earth Science, 2003, 28(1): 107-110. (in Chinese)]
- [4] 许强,郑光,李为乐,等.2018年10月和11月金沙江白格两次滑坡-堰塞堵江事件分析研究[J].工程地质学报,2019,26(6):1534-1551. [XU Q, ZHENG G, LI W L, et al. Study on successive landslide damming events of Jinsha River in Baige Village on October 11th and November 3rd [J]. Journal of Engineering Geology, 2018, 26(6): 1534-1551. (in Chinese)]
- [5] 高孟潭,陈学良,俞言祥,等.“5·12”汶川8.0级地震汉源烈度异常机理的初步探讨[J].震灾防御技术,2008,3(3):216-233. [GAO M T, CHEN X L, YU Y X, et al. Preliminary discussion on intensity anomalous mechanism of Hanyuan Town in 5.12 Wenchuan Earthquake [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2008, 3(3): 216-223. (in Chinese)]
- [6] 许强,董秀军,邓茂林,等.2010年7·27四川汉源二蛮山滑坡一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 Q, DONG X J, DENG M L, et al. The Ermanshan Rock Slide-debris flow of July 27th, 2010 in Hanyuan, Sichuan: Characteristics and failure mechanism [J]. Journal of Engineering Geology, 2010, 18(5): 609-622. (in Chinese)]
- [7] 胡卸文,黄润秋,施裕兵,等.唐家山滑坡堵江机制及堰塞坝溃决模式分析[J].岩石力学与工程学报,2009,28(1):181-189. [HU X W, HUANG R Q, SHI Y B, et al. Analysis of blocking river mechanism of Tangjiashan landslide and dam—breaking mode of its barrier dam [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(1): 181-189. (in Chinese)]
- [8] 中华人民共和国行业标准编写组.碾压式土石坝设计规范:DL/T5395—2007[S].北京:中国电力出版社,2008. [The Professional Standards Compilation Group of People's Republic of China. Design specification for rolled earth-rock dams: DL/T5395—2007 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2008. (in Chinese)]