

唐家山堰塞湖大水沟泥石流发育特征 及堵江危害性评价

胡卸文^{1,2}, 吕小平¹, 黄润秋², 施裕兵³, 刘娟¹, 李仰波¹

(1. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031; 2. 成都理工大学 地质灾害防治与地质灾害保护国家重点实验室, 四川 成都 610059;
3. 中国水电顾问集团 成都勘测设计研究院, 四川 成都 610072)

摘要: 大水沟位于唐家山上游侧,“5.12”地震前为一条小山洪冲沟,震后由于沟域内崩塌、滑坡发育,形成极为丰富的松散物源,具备发生泥石流的所有条件,也成为唐家山堰塞湖成功泄水处理后,仍对堰塞湖正常利用起控制作用的严重地质灾害隐患点之一。通过现场实地调查,在查明沟域内松散物源分布及稳定性基础上,结合6.14泥石流发育状况,系统对大水沟泥石流发育特征及其动力学特性,尤其对在不同降雨频率下可能形成的泥石流规模进行分析研究,并对唐家山堰塞湖泄水口部位堵江规模、持续时间、溃决方式及其可能带来的危害性进行评价。分析计算结果已被2008年9月24日发生的百年一遇的泥石流所证实。

关键词: 工程地质; 唐家山堰塞湖; 大水沟; 泥石流; 堵江

中图分类号: P 642

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2009)04-0850-09

DEVELOPMENTAL FEATURES AND EVALUATION OF BLOCKING DANGERS OF DASHUI DITCH DEBRIS FLOW IN TANGJIASHAN DAMMED LAKE

HU Xiewen^{1,2}, LU Xiaoping¹, HUANG Runqiu², SHI Yubing³, LIU Juan¹, LI Yangbo¹

(1. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China; 2. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;
3. Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Institute, China Hydropower Consulting Group Corporation, Chengdu, Sichuan 610072, China)

Abstract: Dashui Ditch is located in the upstream side of Tangjiashan Mountain. It was a gully before the May 12 earthquake, however, extremely rich loose sources were formed with all conditions of the occurrence of a debris flow due to the collapses and landslides after the earthquake. It became one of the serious potential dangers of geological disasters after successful discharge of Tangjiashan dammed lake, which controlled the normal operation of Tangjiashan dammed lake as well. Through in-situ investigation, the developmental and dynamic features of Dashui Ditch debris flow was analyzed systematically combining with the developmental situation of debris flow on June 14 on the basis of identifying the distribution and stability of the groove loose sources. In particular, the possible sizes of the debris flow under different rain frequencies were studied, and the possible blocking size, duration and outburst forms were evaluated. The results were confirmed by the once in 100-year debris flow on

收稿日期: 2008-10-27; **修回日期:** 2008-12-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40772175, 40841025); 地质灾害防治与地质灾害保护国家重点实验室“科技减灾、重建家园”开放基金项目(DZKJ-08012); 西南交通大学科学研究基金项目(2008-A01)

作者简介: 胡卸文(1963-), 男, 博士, 1985年毕业于成都地质学院水文系, 现任教授、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

September 24, 2008.

Key words: engineering geology; Tangjiashan dammed lake; Dashui Ditch; debris flow; blocking river

1 引言

5.12 地震不仅在地震影响区内产生大量的崩塌、滑坡地质灾害,而且在整个核心区内形成了 104 处滑坡堵江形成的堰塞湖(截至 2008 年 8 月 22 日资料),其中堵塞规模最大、潜在危害最高、也最容易再次诱发次生灾害的当属北川县通口河的唐家山大型滑坡堵江堰塞湖,2008 年 6 月 10 日通过开挖泄流槽逐级坍塌后成功泄洪,堰塞坝未发生整体溃坝,整体稳定,确保了下游人民生命财产的安全。由于堰塞坝下部地质结构相对较好,泄流后泄洪槽入口下切缓慢,仍保持高程 710 m,库内还储集约 $8\,000 \times 10^4 \text{ m}^3$ 水量。

尽管唐家山堰塞湖已正常泄水,但因唐家山一带紧靠龙门山中央断裂(北川—映秀)断裂带附近,受到近 X 度地震烈度的影响,地表山体破坏极为强烈,崩塌、滑坡到处可见,次生灾害极为严重,而这些灾害又在很大程度上控制着唐家山堰塞湖的可

利用性及当地恢复重建的可行性,其中最为严重的灾害点之一就是位于唐家山堰塞坝上游侧的大水沟泥石流。

大水沟在“5.12”地震前原为一条范围很小山洪冲沟(见图 1)。震后由于沟域内崩塌、滑坡发育,形成了极为丰富的松散物源,具备了发生泥石流的所有条件^[1~9]。2008 年 6 月 14 日该地区仅发生 5 a 一遇暴雨,大水沟就暴发了地震后首次泥石流,冲出规模近 $9 \times 10^4 \text{ m}^3$,并导致唐家山堰塞坝入口部位又堵江断流近 4 h;随后的 9 月 24 日又遇近 100 a 一遇暴雨袭击并再次暴发更大规模泥石流,冲出物质近 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$,加之下游侧唐家山滑坡后缘边坡表层坡面泥石流同时暴发,导致堵江断流达 17 h,水位抬升近 10 m,不仅严重制约堰塞湖库尾羌族第一乡——禹里乡震后恢复重建最低高程线的确定,而且对下游各乡镇的恢复重建也存在严重的潜在危害。

通过现场实地调查测绘,在查明沟域内松散物源分布及稳定性基础上,重点结合“6.14”泥石流发育状况(现场实测泥石流形成、堵江及溃决全过程



图 1 地震后大水沟全流域照片(摄于 2008 年 8 月 6 日)

Fig.1 Photo of Dashui Ditch catchment after May 12 earthquake(on August 6, 2008)

资料), 论文系统对大水沟泥石流发育特征及其动力学特性, 尤其是在不同降雨频率下可能形成的泥石流规模进行了分析研究, 并重点就泥石流对唐家山堰塞湖泄水口部位堵江规模、持续时间、溃决方式及其可能给堰塞湖利用带来的危害性进行了评价。

2 大水沟泥石流发育特征

2.1 地质环境条件概述

大水沟位于通口河右岸、紧靠唐家山滑坡上游侧, 流域面积约为 0.45 km^2 , 沟长约为 0.99 km , 沟床纵坡坡降为 525.3% , 流域最高点为 1470 m , 地震后沟口最低点为 730 m (见图 2)。

大水沟所在的唐家山部位基岩为寒武系下统清平组薄层硅质岩、砂岩、泥灰岩及泥岩, 地层产状

$N60^\circ E/NW \angle 55^\circ$, 顺向坡。震前岸坡表层普遍分布有残坡积碎石土, 厚度为 $5 \sim 15 \text{ m}$ 。

大水沟地震前为典型的山洪冲沟, 近几十年来从未发生过泥石流, “5.12”大地震后, 受地震影响, 冲沟流域内山坡崩塌、滑坡非常发育, 具体表现为靠左侧分水岭附近山脊几乎处处形成崩塌, 而靠唐家山右侧岸分水岭部位滑坡又很普遍(见图 2)。据 2008 年 8 月 6 日现场地质测绘并初步估算(见表 1), 流域内松散物源总计约 $162 \times 10^4 \text{ m}^3$, 其中稳定物源(主要为坡残积)约 $70 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占总物源 43% , 潜在不稳定物源(主要为滑坡体)约 $83 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占总物源 51% , 不稳定物源(主要为崩塌、泥石流堆积)约 $9 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占总物源约 6% 。可见地震后不稳定和潜在不稳定物源达到 $91 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占总物源 57% , 显示此沟发生泥石流的可能性极大。

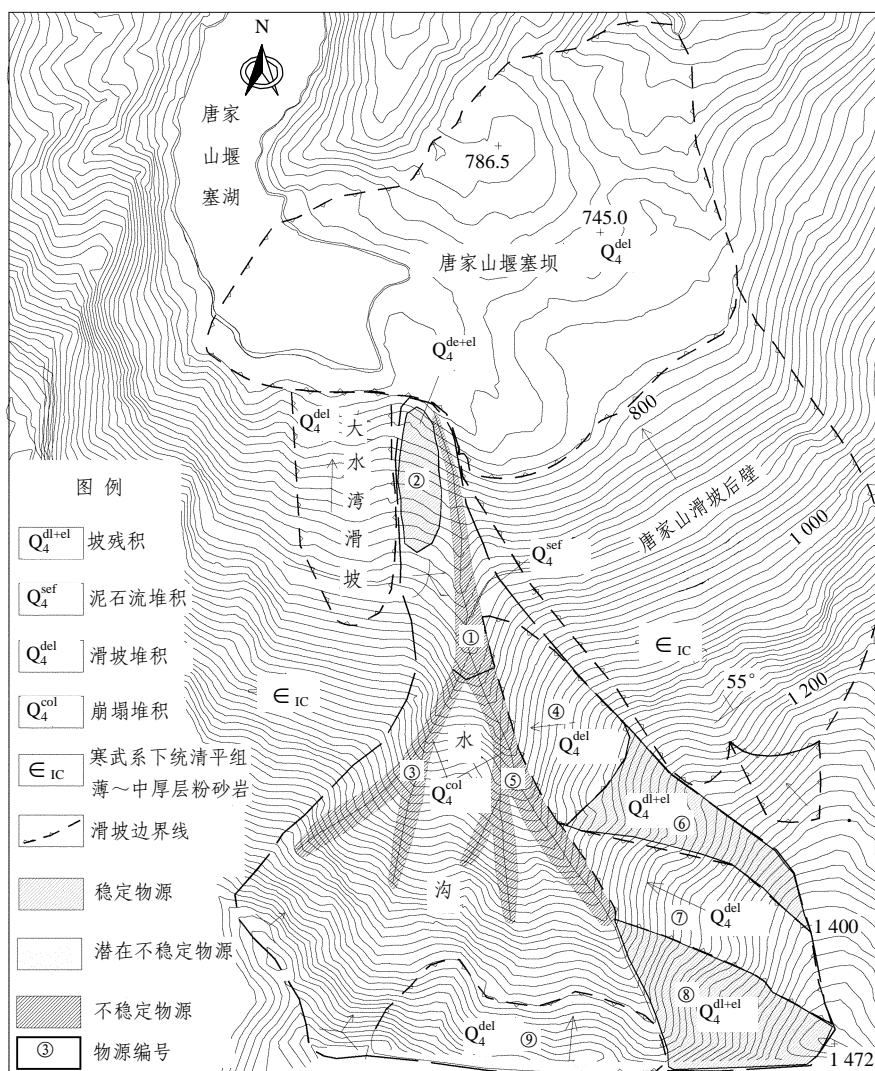


图 2 大水沟流域松散物源平面分布及与唐家山堰塞坝位置关系示意图(单位: m)

Fig.2 Loose sources distribution of Dashui Ditch catchment and their relationship with the site of Tangjiashan dammed dam(unit: m)

表 1 大水沟流域松散物源分布特征一览
Table 1 Distribution features of loose sources in Dashui Ditch catchment

物源编号	物源性状	分布位置	边界距沟口距离/km	预计方量/(10 ⁴ m ³)	分布高程/m	现状稳定性
①	泥石流堆积 Q _{4sef}	主沟沟床	0.12	2	750~900	不稳定
②	坡残积 Q _{4^{dl+el}}	主沟左岸	0.10	15	760~880	稳定
③	崩塌堆积 Q _{4^{col}}	左侧支沟沟床	0.30	4	950~1 200	不稳定
④	滑坡堆积体 Q _{4^{dol}}	主沟右岸	0.28	30	920~1 120	潜在不稳定
⑤	崩塌堆积 Q _{4^{col}}	主沟沟床	0.30	3	950~1 250	不稳定
⑥	坡残积 Q _{4^{dl+el}}	主沟右岸	0.65	25	1 120~1 380	稳定
⑦	滑坡堆积体 Q _{4^{dol}}	主沟右岸	0.70	20	1 120~1 460	潜在不稳定
⑧	坡残积 Q _{4^{dl+el}}	主沟右岸	0.82	30	1 130~1 472	稳定
⑨	滑坡堆积体 Q _{4^{dol}}	分水岭附近	0.88	33	1 280~1 400	潜在不稳定

注：全流域合计方量为 162×10⁴ m³。

2.2 6.14 泥石流状况

地震后的大水沟流域从地形、松散物源两方面均具备了发生泥石流的充分条件。2008 年 6 月 14 日 0: 00 在唐家山附近形成“5.12”地震以来的首次暴雨, 从 0: 00~上午 11: 00 共累计降雨 131.9 mm(见图 3), 其中最大暴雨时段在 3: 00~4: 00, 降雨 27.4 mm, 在此次暴雨作用下, 大水沟域内松散物源(尤其是靠沟源部位崩塌堆积)大致在 4: 00 因饱水而开始启动形成第一波泥石流, 根据作者在现场实地监测, 到 7: 30 大致每 10 min 启动一波泥石流, 截止到 9: 20 冲出沟口泥石流规模约近 9×10⁴ m³, 并在此时将堰塞湖泄水后的通口河道完全堵塞, 一直持续到 13: 15, 随后堰塞湖水从堵塞体靠左侧较低部位冲开并逐渐溢流, 整个堵江断流持续近 4 h, 直至在 20: 40 将泥石流堰塞体完全冲完(具体过程见图 4, 5)。从沟口堆积扇颗粒成分分析, 此次泥石流属过渡偏黏性。

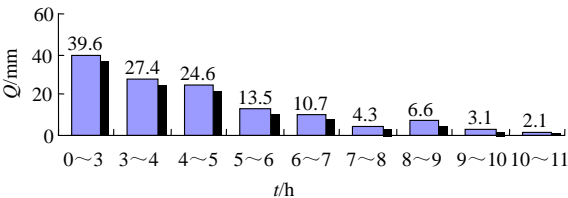


图 3 2008 年 6 月 14 日唐家山一带降雨量-时间分布直方图

Fig.3 Histogram of rainfall distribution and time in Tangjiashan Mountain on June 14, 2008

与此相对应的是, 发生泥石流前通口河在唐家

山堰塞体入口部位的库水位为 713.73 m(6 月 13 日 18: 00 水位), 泥石流进入河道后 8: 00 时实测库水位为 714.52 m, 泥石流堵江后 14: 00 实测库水位为 716.57 m, 17: 00 实测库水位 717.53 m(见表 2), 水位抬升达到 4 m, 可见因泥石流堵江造成的库水位短时间上升是非常显著的。



(a) 7: 44



(b) 8: 09



(c) 9: 07



(d) 9: 20 完全堵江

图 4 大水沟泥石流发生全过程(2008 年 6 月 14 日)
Fig.4 Whole process of Dashui Ditch debris flow formation
(on June 6, 2008)



(a) 15: 22 被冲走近 1/2



(b) 18: 00 冲走近 2/3

图 5 大水沟泥石流堰塞体溃决过程(2008 年 6 月 14 日)
Fig.5 Outbursting process of barrier dam of Dashui Ditch debris(on June 14, 2008)

表 2 大水沟“6.14”泥石流堵江前后通口河库水位变化
(2008 年 6 月 14 日)
Table 2 Change of Tongkou River water level before and
after Dashui Ditch debris flow blocking river(on
June 14, 2008)

序号	时间	泥石流堵江状况	库水位 /m	通口河水流 量/(m ³ ·s ⁻¹)
1	6 月 13 日 18: 00	未降雨, 无泥石流进入河道	713.73	71.3
2	6 月 14 日 8: 00	降雨, 泥石流进入河道(约占 2/3)	714.52	
3	6 月 14 日 12: 00	泥石流进入河道, 基本堵江	715.48	
4	6 月 14 日 14: 00	泥石流进入河道, 完全堵江后开始溢流	716.57	
5	6 月 14 日 17: 17	泥石流堰塞体逐渐被冲开	717.53	185.0
6	6 月 14 日 18: 00	泥石流堰塞体逐渐被冲开, 只剩一半左右	717.65	441.0
7	6 月 14 日 19: 10	绝大部分被冲走		536.0

3 大水沟泥石流动力特性分析

大水沟属于典型的高山区浅沟谷型泥石流, 从泥石流堆积体现场地质调查情况看, 属于过渡偏黏性泥石流。对于泥石流动力特征的定性及定量分析, 是认识泥石流属性和进行泥石流防治工程设计的基本依据。根据此沟“6.14”泥石流发生时的实际观测数据, 结合相关理论及公式可对其动力特征(流速、流量、一次暴发规模等)进行分析^[10~12], 而上述关键参数值的合理与否则取决于不同频率降雨量

资料及沟谷基本地形参数。

3.1 不同降雨频率下的洪水及泥石流流量

根据“6.14”泥石流发生时的降雨量,并结合该地区已有的水文、气象资料,大水沟在不同降雨频率下的动力学特征参数见表 3。

表 3 大水沟全流域不同降雨频率下的洪水及泥石流流量计算成果

Table 3 The discharge of Dashui Ditch floods and debris flows under different rainfall frequencies					
流域面积/km ²	暴雨历时/h	降雨频率 P/%	暴雨量 H _{IP} /(mm·h ⁻¹)	暴雨量 H _{24P} /(mm·d ⁻¹)	设计暴雨 H _{TP} /(mm·d ⁻¹)
0.45	10.48	20.00	47.70	187.90	140.60
		10.00	55.82	240.80	180.20
		5.00	63.45	293.30	219.50
		3.33	67.76	323.90	242.40
		2.00	73.07	362.40	271.20
		1.00	80.09	414.60	310.30
		0.50	86.97	466.70	349.30
		0.20	95.88	535.40	400.70
径流深/mm	设计洪水总量 W _P /(10 ⁴ m ³)	最大流量 Q _B /(m ³ ·s ⁻¹)	概化矩形历时 T _P /h	泥石流流量 Q _c /(m ³ ·s ⁻¹)	
126.70	5.70	4.80	3.30	8.7	
165.10	7.43	5.90	3.50	10.8	
203.40	9.18	6.93	3.67	12.7	
225.70	10.16	7.50	3.76	13.9	
253.80	11.42	8.21	3.87	15.3	
292.00	13.14	9.14	4.00	17.5	
330.10	14.86	10.04	4.11	20.3	
380.50	17.12	11.21	4.25	26.9	

3.2 一次暴发泥石流总量预测

根据泥石流历时 T 和泥石流流量 Q_c ,按泥石流暴涨暴落的特点,将其过程概化“三角形”状,通过断面一次泥石流的总量 W_c 由下式计算:

$$W_c = 19TQ_c / 72 \tag{1}$$

一次冲出固体物质的总量 W_s 由下式计算:

$$W_s = \frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_H - \gamma_w} W_c \tag{2}$$

式中: γ_H 为泥石流中固体颗粒容重(kN/m³), γ_c 为泥石流容重(kN/m³), γ_w 为水容重(kN/m³)。

显然从上述公式看,泥石流总量预测的关键是泥石流流量 Q_c 及其历时 T ,一般在无实测资料的情况下,泥石流流量均采用雨洪修正法进行计算,据

上述公式,可获得该沟一次泥石流总量和相应的固体物质总量(见表 4)。

表 4 大水沟全流域不同降雨频率一次泥石流暴发总量预测
Table 4 Predicted total quantity of Dashui Ditch one debris flows under different rainfall frequencies

设计频率 P/%	泥石流总量/(10 ⁴ m ³)	固体物质总量/(10 ⁴ m ³)
20.000	0.12	0.050
10.000	0.15	0.063
5.000	0.18	0.075
3.333	0.19	0.083
2.000	0.21	0.093
1.000	0.24	0.112
0.500	0.28	0.140
0.200	0.37	0.229

从表 4 中可见,作为沟谷型泥石流冲沟并按雨洪修正法计算,在 5 a 一遇降雨条件下,预测大水沟全流域暴发泥石流冲出总量约 1 200 m³。

对比“6.14”降雨量(见图 3),从本次降雨短时间(10 min)雨量分析,表明此次降雨频率大致相当于 5 a 一遇,但从泥石流暴发过程(持续近 5 h)及最后形成规模(堆积近 9×10⁴ m³)看,上述计算预测值明显偏小。分析其主要原因是:上述计算结果是针对暴雨条件下“沟谷首先形成洪水,然后形成泥石流、并又逐渐转为洪水”这一过程得出的,且主要是针对老泥石流冲沟。而对于新泥石流冲沟,如大水沟,在“5.12”大地震后,沟内堆满了因崩塌及滑坡形成的大量松散物质,绝大部分为不稳定或潜在不稳定,降雨入渗浸湿后,很快达到饱和而成泥石流,基本上没有洪水流出,也即降雨水流全部转化为泥石流。因此可按洪水总量全部转化为泥石流计算,结果见表 5。可见 5 a 一遇暴雨形成的泥石流规模预测为 8.8×10⁴ m³,此结果与“6.14”泥石流规模(堆积近 9×10⁴ m³)相当。

4 大水沟泥石流堵江范围预测及危害性评价

随着泥石流的形成和暴发,大水沟内不稳定松散物源有所减少。据 2008 年 8 月 6 日现场实地调查,该日从 3: 30 开始普降中雨,一直持续至 13: 00 左

表 5 震后大水沟全流域降雨洪水全部转化为泥石流一次暴发总量预测

Table 5 Predicted total amount of flood transformed into once debris flows in Dashui Ditch after earthquake		
设计频率 $P/\%$	泥石流总量/ (10^4 m^3)	固体物质总量/ (10^4 m^3)
20.000	8.80	3.097
10.000	11.50	4.065
5.000	14.22	5.063
3.333	15.84	5.686
2.000	17.95	6.532
1.000	21.00	7.860
0.500	24.51	9.653
0.200	30.82	13.692

右结束, 累计降雨量为 40.6 mm, 其中 3: 30~8: 00 累计降雨量为 33.5 mm(对比表 2 降雨量远小于 5 a

一遇规模), 大水沟内的沟源部位松散物质已有启动, 并已冲至支沟沟口, 但主沟流通区未见有泥石流冲出, 上述现象说明大水沟泥石流形成并能冲出沟口所需的降雨频率最少为 5 a 一遇。考虑目前沟内不稳定和潜在不稳定物质仍然丰富, 发生泥石流并堵江的可能性仍很大。根据“6.14”泥石流沟口淤积范围以及一次泥石流总量(见表 5), 重点结合唐家山堰塞坝入口部位通口河泄水通道宽度、坡降等特征, 可得出其不同频率下一次泥石流堵塞规模及范围预测结果^[13~17](见图 6)。

根据图 6 预测结果, 并结合“6.14”泥石流规模及堵江范围、持续时间, 显然大水沟流域只要发生 5 a 一遇及其以上降雨而形成的泥石流, 必将导致堵江, 且随着降雨量的增大、冲出泥石流规模也随之增大, 堵江范围更广、持续时间更长, 对堰塞湖水位抬升也就会越高, 潜在危害也随之增大, 上述结论再次被发生于 2008 年 9 月 24 日的泥石流所证实。

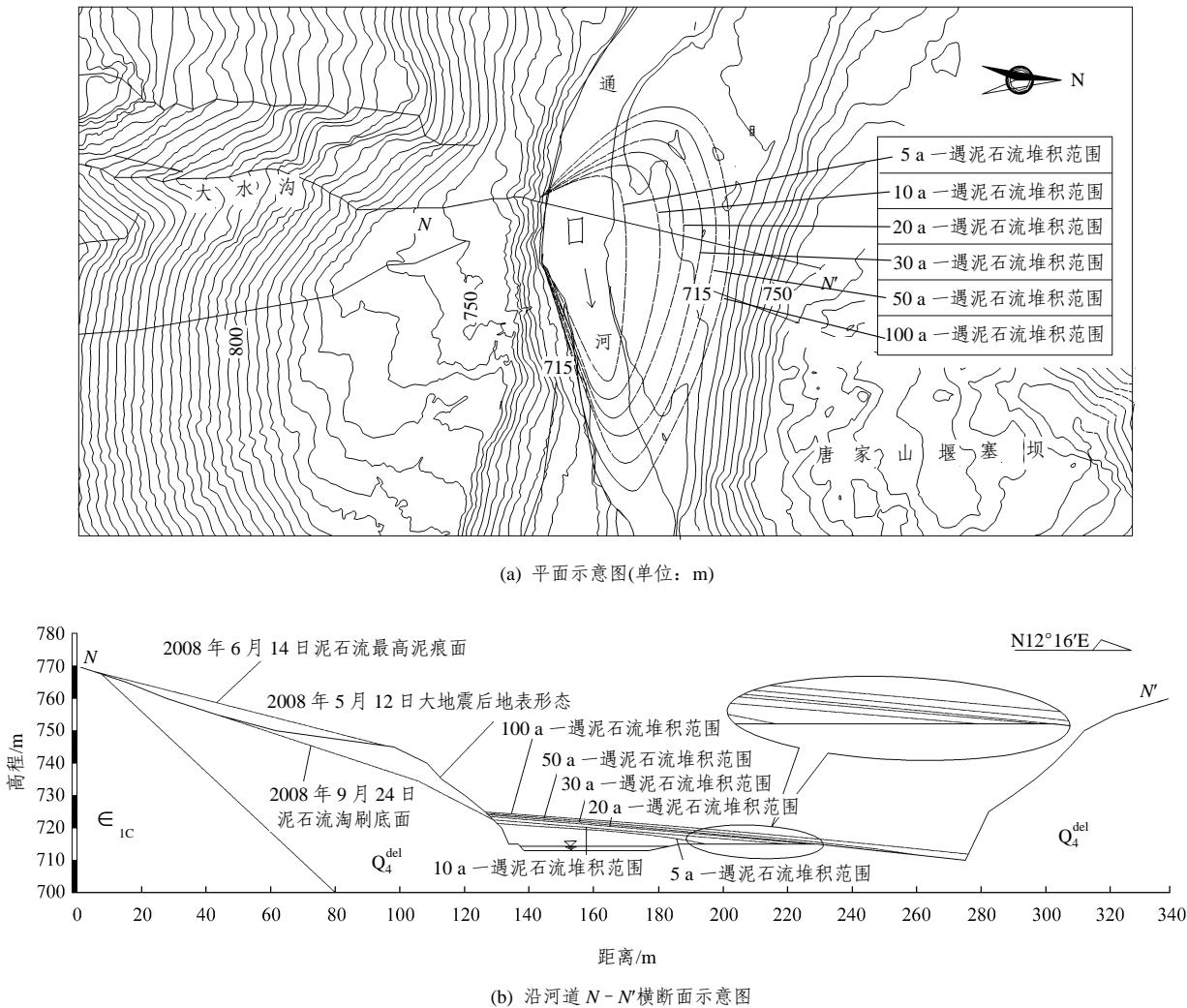


图 6 大水沟不同降雨频率条件下泥石流一次冲出固体物质沟口堆积范围预测^[13~17]

Fig.6 Forecasting region of accumulated solid materials by Dashui Ditch debris flow under different rainfall frequencies^[13~17]

2008年9月22日晚上在四川盆地,尤其是北川境内开始持续4 d大暴雨,累计降雨量达558.7 mm(其中9月23日2:00~24日2:00共累计降雨达221.9 mm,尤其是9月24日0:00~1:00的降雨量大致相当于近100 a一遇降雨),致使大水沟自地震以来形成第二次大规模泥石流,9月24日5:00完全堵江(见图7),当日22:00左右开始过流,堵江范围涉及顺河长约300 m、横河宽平均约100 m、预计平均厚度为10 m,堰塞体规模近 $30 \times 10^4 \text{ m}^3$ (包含部分唐家山后缘山坡坡面泥石流物质),致使堰塞湖水位由暴雨前的712.67 m抬升到最高721.19 m,完全堵塞断流持续时间持续17 h。这次100 a一遇的降雨形成的泥石流规模与大水沟气流域不同降雨频率一次泥石流暴发总量预测(见表4)比较,基本相当。“9.24”泥石流再次验证上述分析预测结果的合理性及可靠性。



图7 大水沟2008年9月24日泥石流再次暴发并堵江(摄于当日16:55)

Fig.7 Dashui Ditch debris flow forming and blocking Tongkou River again on Sept.24, 2008(at 16:55)

从泥石流堰塞堵江至最后溃决方式上看(见图5,7),尽管泥石流堰塞堆积体结构松散,但一次全溃的可能性很小,总体上均以靠左岸堆积扇边缘最低部位过水并逐渐淘刷的解体方式,因此不会对下游形成大规模洪水而产生破坏。不过因泥石流暴发而再次形成堰塞会对堰塞湖库内岸坡稳定,尤其是位于库尾的禹里乡政府所在地近7 000人的生命财产安全构成潜在威胁。

5 结论与建议

(1) 大水沟泥石流是伴随“5.12”汶川大地震形

成的,属于沟谷型、高频率、过渡性偏黏性泥石流,目前正处于发育旺盛期。

(2) 因地震导致大水沟流域崩塌、滑坡堆积物丰富,不稳定和潜在不稳定物源达到 $91 \times 10^4 \text{ m}^3$,占总物源57%,显示此沟发生泥石流的可能性极大,2008年6月14日和9月24日先后形成2次中、大规模泥石流,并导致通口河又2次堵江,对堰塞湖上、下游人民生命财产安全构成潜在威胁。

(3) 计算分析显示,大水沟在近期(预计至少在5 a内)将一直处于泥石流的活跃期,现状下泥石流暴发所需的最低降雨频率为5 a一遇,不同降雨频率下一次泥石流冲出规模在 $(8 \sim 31) \times 10^4 \text{ m}^3$ 不等,因其所处部位的特殊性以及堵江存在的潜在危害,建议:

① 密切加强此泥石流沟的监测和预测预报,为唐家山堰塞湖库内及下游居民安全提供保障。

② 基于此泥石流沟处于活跃期,潜在危害较大,因此在近期对其进行工程治理难度极大,建议按照泥石流自然演变规律,待其逐渐处于衰退直至停歇期后,同时结合唐家山堰塞坝体及其后缘边坡的稳定性状况,再行开展堰塞湖是否作为旅游或水电开发等项目的可利用性研究。不过从唐家山一带地质灾害发育现状及稳定性看,未来将唐家山堰塞湖作为地质遗迹为特点的旅游项目开发似乎更为合适。

参考文献(References):

- [1] 唐邦兴. 中国泥石流[M]. 北京: 商务印书馆, 2000: 246-295. (TANG Bangxing. The debris flow in China[M]. Beijing: The Commercial Press, 2000: 246-295.(in Chinese))
- [2] 陈洪凯, 唐春梅, 陈野鹰. 公路泥石流研究及治理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.(CHEN Hongkai, TANG Chunmei, CHEN Yeying. Research and control of highway debris flow[M]. Beijing: China Communications Press, 2004.(in Chinese))
- [3] 谢洪, 钟敦伦, 韦方强. 我国山区城镇泥石流灾害及其成因[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 79-87.(XIE Hong, ZHONG Dunlun, WEI Fangqiang. Debris flow hazards and their formation causes in mountain urban area of China[J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(1), 79-87.(in Chinese))
- [4] 谢洪, 刘世建, 钟敦伦. 西部开发中的泥石流问题[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 44-50.(XIE Hong, LIU Shijian, ZHONG Dunlun.

- The debris flows' problems in the western China development[J]. Journal of Natural Disasters, 2001, 10(3): 44 - 50.(in Chinese))
- [5] HUNGR O. Analysis of debris flow surges using the theory of uniformly progressive flow[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2000, 25(5): 483 - 495.
- [6] IVERSON M, RCOSTA E J, LAHUSEN G R. Large-scale debris-flow flume becomes operational in Oregon, USA[J]. Landslide News, 1993, (7): 29 - 30.
- [7] TAMOTSU T. Debris flow[M]. Rotterdam: Brookfield, 1991: 26 - 89.
- [8] 邓建辉, 陈 菲, 尹 虎, 等. 泸定县四湾村滑坡的地质成因与稳定评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(10): 1 945 - 1 950. (DENG Jianhui, CHEN Fei, YIN Hu, et al. Geological origin and stability evaluation of Siwancun landslide in Luding County[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(10): 1 945 - 1 950.(in Chinese))
- [9] 张金山, 沈兴菊, 谢 洪. 泥石流堵河影响因素研究——以岷江上游为例[J]. 灾害学, 2007, 22(2): 82 - 86.(ZHANG Jinshan, SHEN Xingju, XIE Hong. Study on factors affecting the river-blocking due to debris-flow in the upper reaches of Minjiang River[J]. Journal of Catastrophology, 2007, 22(2): 82 - 86.(in Chinese))
- [10] 沈军辉, 朱容辰, 刘维国, 等. 5·12 汶川地震诱发都江堰龙池镇干沟泥石流可能性地质分析[J]. 山地学报, 2008, 26(5): 513 - 517. (SHEN Junhui, ZHU Rongchen, LIU Weiguo, et al. Possibility geological analysis of Gangou debris flow in Longchi Town in Dujiangyan induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(5): 513 - 517.(in Chinese))
- [11] 程尊兰, 崔 鹏, 李 泳, 等. 滑坡、泥石流堰塞湖灾害主要的成灾特点与减灾对策[J]. 山地学报, 2008, 26(6): 733 - 738. (CHENG Zunlan, CUI Peng, LI Yong, et al. Major disasters and countermeasures of dammed lakes from landslides and debris flows[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(6): 733 - 738.(in Chinese))
- [12] 巴仁基, 王 丽, 宋 志. 泸定县牧场沟泥石流动力特性预测[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(6): 57 - 62.(BA Renji, WANG Li, SONG Zhi. The prediction of dynamic characteristics on debris flow in Muchang valley of Luding County[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2008, 35(6): 57 - 62.(in Chinese))
- [13] 刘希林, 唐 川. 泥石流危险性评价[M]. 北京: 科学出版社, 1995. (LIU Xilin, TANG Chuan. Debris flow hazardous assessment[M]. Beijing: Science Press, 1995.(in Chinese))
- [14] 铁永波, 唐 川, 周春花. 昆明市东川城区泥石流危险度评价[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2006, 17(1): 80 - 82.(TIE Yongbo, TANG Chuan, ZHOU Chunhua. Information entropy-based hazard assessment of debris flow gully in Dongchuan urban area of Kunming City[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2006, 17(1): 80 - 82. (in Chinese))
- [15] 崔 鹏, 何易平, 陈 杰. 泥石流输沙及其对山区河道的影响[J]. 山地学报, 2006, 24(5): 539 - 534.(CUI Peng, HE Yiping, CHEN Jie. Debris flow sediment transportation and its effects on rivers in mountain area[J]. Journal of Mountain Science, 2006, 24(5): 539 - 534.(in Chinese))
- [16] 丁继新, 杨志法, 尚彦军, 等. 区域泥石流灾害的定量风险分析[J]. 岩土力学, 2006, 27(7): 1 071 - 1 076.(DING Jixin, YANG Zhifa, SHANG Yanjun, et al. Quantitative risk analysis of regional debris flow hazards[J]. Rock and Soil Mechanics, 2006, 27(7): 1 071 - 1 076.(in Chinese))
- [17] 王裕宜, 胡凯衡, 韦方强, 等. 泥石流流体的流变和冲淤特征及其与危险度的关系[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(1): 17 - 22.(WANG Yuyi, HU Kaiheng, WEI Fangqiang, et al. Relationship between rheology/erosion-deposit properties of debris flow and its hazard degree[J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(1): 17 - 22.(in Chinese))