

文章编号: 1008-2786-(2014)3-320-07

汶川县古溪沟“7·10”泥石流形成特征 及防治工程的影响

孔应德^{1,2} 郭晓军^{1,2} 邹强^{1,2} 曾超^{1,2} 严炎^{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: 通过对 2013-07-10 汶川古溪沟泥石流灾害的现场调查,从物源、地形和水源条件入手,分析了灾害成因与形成演化过程。堰塞体失稳补给、坡面泥石流入汇和沟道侵蚀是这场泥石流的三种物源形式,充沛的前期降雨和短历时强降雨是本次泥石流的诱发因素。陡峻的支沟地形促进了泥石流的加速,沿途松散物质补给,导致泥石流流量不断放大,峰值流量最大可达 $1\,063\text{ m}^3/\text{s}$ 。主支沟泥石流呈明显的阵流特征,原因在于各支沟泥石流起动条件不同,沟道中地形条件的差异和防治工程的分布,以及各支沟汇流长度存在区别。泥石流总规模约为 $100 \times 10^4\text{ m}^3$,防治工程拦挡了 60% 的泥石流流体,并拦截了泥石流中的大石块,降低了出口峰值流量和流速,同时避免了各条支沟泥石流同时到达而流量激增。沟口泥石流峰值流量约为 $722\text{ m}^3/\text{s}$,约 $40 \times 10^4\text{ m}^3$ 泥石流冲出沟口,下游泥石流破坏形式以淤埋破坏为主。本研究可为此类面积较大、修建有防治工程的流域泥石流形成和减灾提供参考。

关键词: 泥石流成因 形成特征 拦挡坝 古溪沟

中图分类号: P642.23

文献标志码: A

“5·12”汶川地震产生大量的崩塌、滑坡体等松散物质,为泥石流的发生提供了有利条件^[1-4],导致震后灾区泥石流频发。尤其是处于地震震中映秀镇附近的各流域,近年来泥石流造成巨大损失,严重影响灾后重建工作的开展。如 2010-08-14 的红椿沟泥石流堵断岷江河道迫使岷江洪水改道,淹没新建的映秀镇,造成 13 人死亡、59 人失踪,受灾群众 8 000 余人被迫避险转移^[5-6]。又如位于地震震中的牛圈沟,每年暴发泥石流,输送大量泥沙进入紫坪铺库区^[7]。为了减轻灾害损失,该地区各典型流域内,如牛圈沟、红椿沟、古溪沟等流域内都修建了泥石流拦挡工程。

2013-07-09—11,该地区再次暴发特大暴雨,造成群发性泥石流(简称“7·10”泥石流),一些面积较大、泥石流频率较低的流域也暴发泥石流,大规模

泥石流给各流域的防治工程带来巨大的考验。其中,位于汶川县漩口镇附近的古溪沟面积为 14.08 km^2 ,流域内支沟密布,主沟内修建有 4 座泥石流拦挡坝,即便如此,泥石流依然冲出沟口,毁坏桥梁和道路,淤埋漩口工业园区,造成 4 人死亡。

本文通过野外考察,分析了此次特大泥石流的形成原因、演化过程和泥石流性质,为此类面积较大、修建有防治工程的流域泥石流形成和减灾提供参考。

1 研究区概况

古溪沟是岷江右岸的一级支流,汇入紫坪铺库区(图 1),沟口距离汶川县漩口镇约 1 km。流域呈西北向东南伸张,主沟全长约 7.7 km,流域最高海

收稿日期(Received date): 2013-10-30; 修回日期(Accepted): 2013-12-14。

基金项目(Foundation item): 中科院重点部署项目(KZZD-EW-05-01-02)和国家自然科学基金(Y4K1080080)。[Supported by Key Deployment Project of Chinese Academy of Sciences (Grant No. KZZD-EW-05-01) and National Natural Science Foundation (Grant No. Y4K1080080).]

作者简介(Biography): 孔应德(1989-),男,浙江金华人,硕士研究生,主要从事山地灾害研究。[Kong Yingde (1989-), male, born in Jinhua of Zhejiang, mainly engaged in debris flow.] E-mail: kongyd1989@gmail.com

拔为 2 849.8 m ,最低为 940 m ,主沟沟床比降约为 165‰。流域内有三岔沟、冒水沟、清沙槽沟、彭家沟等 4 条支沟 ,支沟沟床比降普遍较大 ,均超过 300‰。流域参数见表 1。

表 1 各支沟流域参数
Table1 Watershed parameters of each tributary gully

支沟名称	集水区面积 /km ²	沟道长度 /km	沟道坡降 /‰	集水区形态 系数
三岔沟	1.94	1.14	307.98	1.51
冒水沟	1.38	1.38	466.00	0.73
清沙槽沟	1.90	1.90	342.75	0.53
彭家沟	1.78	1.36	314.13	0.97

古溪沟所在区域为川西多雨中心区 ,多年平均降水量超过 1 200 mm ,降雨多集中在 6—9 月 ,约占全年的 60% ~ 70% [6]。流域内出露的地层主要有上三叠—下侏罗统的长石砂岩、粉砂岩及泥岩;中元古界千枚岩、火山碎屑岩、板岩;以及第四系的崩滑堆积物、洪积物等。古溪沟沟口距离汶川地震震中

映秀镇约 6 km ,流域分水岭距“5·12”汶川地震发震震中仅 1 km ,北川—映秀断裂[8]横穿集水区 ,受地震影响极为严重。地震之后 ,古溪沟泥石流频发 ,曾于 2008—09—24、2010—08—14 和 2011—07—03 暴发大规模泥石流。为了减轻泥石流灾害 ,于 2011 年底 ,沿主沟修建了 4 座拦挡坝(图 1)。

2 “7·10”泥石流成因

2.1 物源条件

“5·12”汶川地震造成流域内地表破裂严重 ,崩塌、滑坡等松散固体物质广泛发育。根据野外调查 ,滑坡、崩塌体厚度 1 ~ 20 m ,往往阻塞沟道形成堰塞体 ,估计总量超过 1 000 × 10⁴ m³。一方面 ,堰塞体本身较为松散 ,在洪水的冲刷下 ,坡脚极易被侵蚀 ,进而造成失稳;另一方面 ,这些堰塞体坡面容易被径流侵蚀形成切沟 ,切沟两侧土体不断被侵蚀输移 ,进而形成坡面泥石流;另外 ,沟床内松散物质也极为丰富 ,在强降雨形成的山洪作用下 ,沿途起动并补给泥石流。

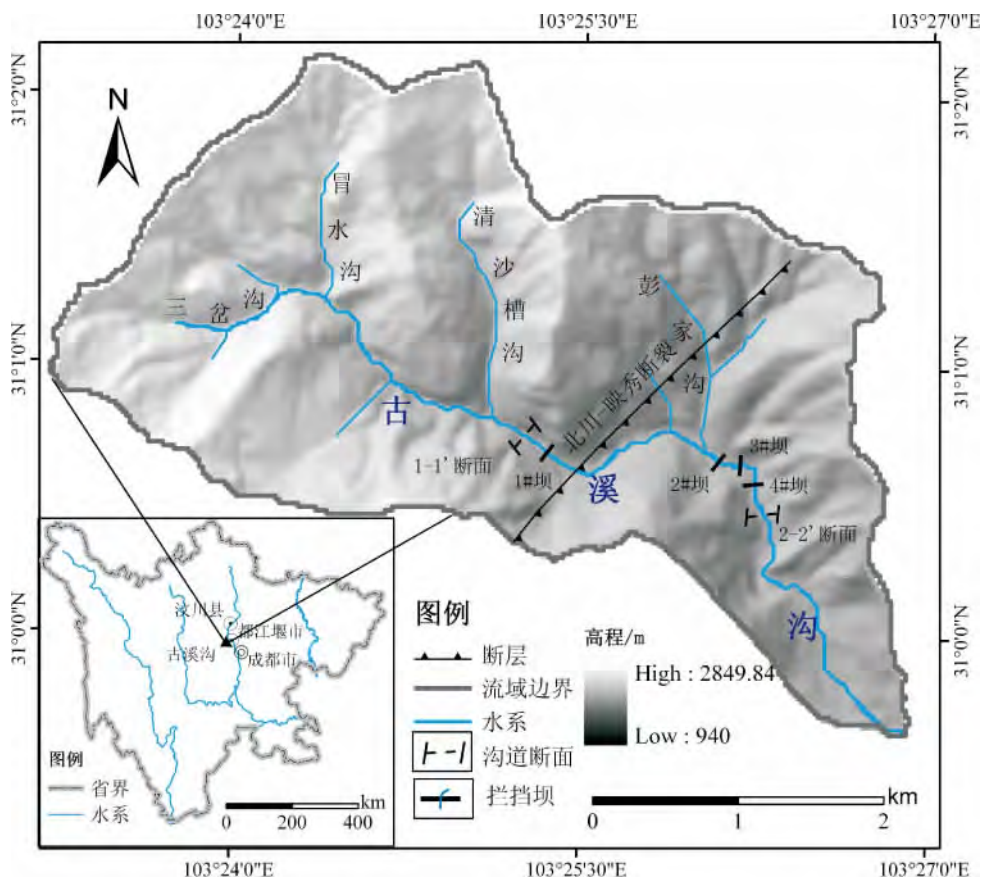


图 1 古溪沟流域示意图

Fig. 1 Watershed of Guxi Gully



图 2a 堵塞体坡脚被掏蚀

Fig. 2a Undercutting of debris flow dam's toe



图 2b 堰塞体再次失稳

Fig. 2b Further instability of debris flow dam

图 2 堰塞体失稳补给泥石流

Fig. 2 Failure of debris flow dam

2.1.1 堰塞体失稳补给

堰塞体主要分布在海拔 1 600 m 以上的沟道中,沟床比降约为 350‰,沟道宽约 14 ~ 20 m。陡峭的地形条件容易形成高流速山洪,造成堰塞体失稳。据调查,堰塞体共有 4 处,失稳规模从 3 000 m³ 到 4 × 10⁴ m³ 不等,平均方量为 2 × 10⁴ m³。其中,图 2 所示为一处典型的失稳堰塞体,宽 80 m,长 30 m,高 150 m,均厚 4.5 m,方量约 4 × 10⁴ m³。

2.1.2 坡面泥石流沿程补给

地震形成的松散堆积坡体,在降雨条件下,坡面易形成切沟,进而在坡面径流的作用下发生强烈冲刷。往往一个面积很小的坡面却能形成较大规模的泥石流,如古溪沟主沟右侧坡面面积仅为 2 × 10⁴ m²,却形成 1.5 × 10⁴ m³ 的泥石流(图 3)。本次调查共发现 4 处坡面泥石流,堆积于主沟内,规模从 0.4 × 10⁴ ~ 3 × 10⁴ m³。这些坡面泥石流汇入主沟,增大了主沟泥石流规模。

2.1.3 沟道侵蚀增大规模

根据野外考察,古溪沟沟床可动松散物质厚度可达 4 ~ 5 m。这种沟道物质再次起动的现象广泛存在于泥石流形成区。如支沟彭家沟沟口主沟上游,原沟道宽 12 m,本次泥石流造成该处侧蚀拉宽至 30 m,拉槽深度近 7 m;古溪沟主沟内 1#坝至 2#坝之间,沟床物质以碎石为主,本次泥石流造成该段沟道平均刷深 3 m,沟道平均增宽 15 m,沟道侵蚀约 10 × 10⁴ m³。沟道侵蚀在泥石流形成和发展演化过程中,对泥石流规模的增大贡献较大。

2.2 降雨条件

根据漩口镇的降雨数据(图 4),本次强降雨从 7 月 8 日 2:00 开始,一直持续至 7 月 12 日 18:00,



图 3 古溪沟主沟右侧坡面泥石流

Fig. 3 The debris flow in the slope on the Right of Guxi Gully

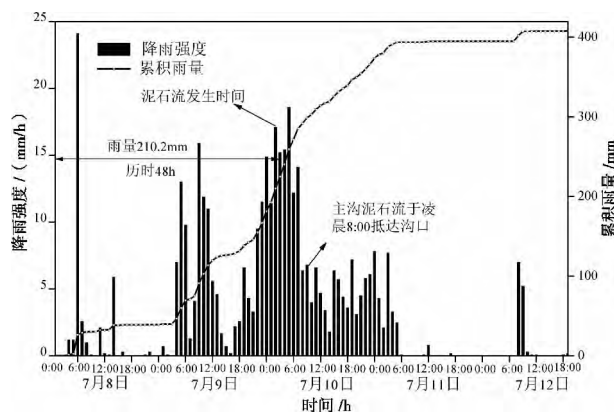


图 4 7 月 10 日古溪沟泥石流降雨过程

Fig. 4 Rainfall process of Guxi debris flow on 10 July 2013

历时 112 h,总降雨量达到 408.1 mm。根据野外调查访问,古溪沟泥石流暴发于 7 月 10 日 2 时左右,泥石流的诱发历时为 48 h,总雨量达到 210.2 mm,其激发雨强为 17.1 mm/h。

本次降雨过程中,数次出现降雨强度超过或接近激发雨强(17.1 mm/h)的情况,如在7月8号5:00—6:00,雨强达24.1 mm/h,以及7月9号凌晨8:00—9:00,雨强15.9 mm/h,但并未激发泥石流,说明丰富的前期降雨对此次泥石流的暴发起了非常重要的作用^[9]。因此,本次泥石流是充沛的前期降雨和较强的诱发雨强共同作用的结果。

3 泥石流形成过程

访问流域内居民得知,流域内左侧支沟彭家沟于7月10日2:00暴发泥石流,泥石流呈典型的阵性特征,持续至6:00,淤满并越过2#坝,其余部分淤积在3#坝内。而古溪沟主沟由于沟道较长,上游沟道内地形较为复杂,且受1#坝的阻挡作用,主沟泥石流并未即时输送至下游,于7:47分左右才到达2#坝,持续至8:05分左右,共发生16阵。主沟泥石流流速极快,在1-1'断面处(图1)峰值流速约为8.9 m/s,由于彭家沟泥石流对2#坝的填库作用,瞬间淤满3#和4#坝,冲出沟口造成下游建筑物受损。

从表1可知,流域内各支沟面积均在2 km²以内,沟道长度均不超过2 km,沟道坡降均在300‰以上,通过集水区形态系数^[10]计算,除了清沙槽沟形态系数小于0.7之外,其他沟形态系数均在0.7~2之间,流域形态均为漏斗型,易于水流汇集。另外,由于地震对各支沟均强烈扰动,松散固体物源均极为丰富,各支沟的降雨汇流和泥石流形成过程相似。因此选择流域参数均处于平均水平的左侧彭家沟进行详细调查,并以其泥石流的形成演化过程来说明古溪沟上游各支沟的泥石流形成过程。

彭家沟流域海拔最高点为2 266.7 m,沟口海拔

1 222 m。沟道形态呈典型的V型,沟道两岸坡度陡峻,平均坡度为40°。地震之后,沟道两侧滑坡、崩塌等松散固体物质大量分布,堆积厚度达3~10 m,这些松散物质再次起动,大量补给泥石流。图5为彭家沟沟道侵蚀沿途补给情况。

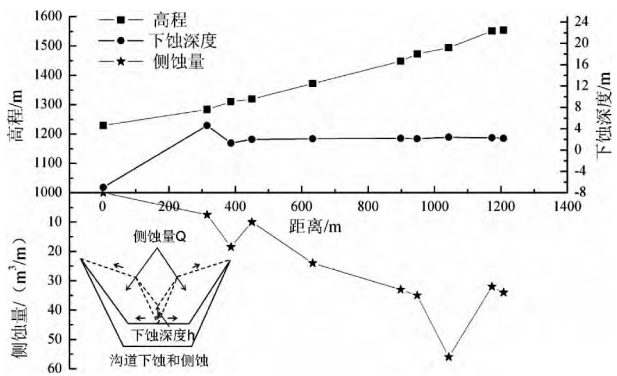


图5 彭家沟侵蚀沿程变化
Fig.5 The erosion change along Pengjia Gully

由图5可以看出,彭家沟主沟坡降较为均匀,泥石流持续加速,不断侵蚀沟床,平均下切深度为2.4 m,最大为4.6 m,总下蚀方量约3×10⁴ m³。沟道下切引起两岸侧蚀,据估算,沿途沟道拓宽最大处可达15 m,总侧蚀方量约4×10⁴ m³。

在沟道中选取了5个典型的断面(表2),根据公式(1)、(2)^[11],计算泥石流流速和流量

$$V_c = (H_c^{2/3} \times I_c^{1/2}) / M_c \tag{1}$$

$$Q_c = W_c V_c \tag{2}$$

式中 V_c 为泥石流断面平均流速(m/s); M_c 是泥石流沟床粗糙率; H_c 为计算断面平均泥深(m); I_c 为泥石流泥位坡降,采用沟床坡降代替(‰); Q_c 表示断面流量(m³/s); W_c 为断面面积(m²)。

表2 彭家沟内断面参数与泥石流计算结果
Table 2 Section parameters and debris flow results

沟道	断面编号	断面平均宽度 <i>B</i> /m	平均泥深 <i>H_c</i> /m	沟道比降 <i>I_c</i>	河床糙率 <i>M_c</i>	流速 <i>V_c</i> /(m/s)	流量 <i>Q</i> /(m ³ /s)
彭家沟断面	1#	12	5	0.325	0.37	4.5	225
	2#	8	5	0.466	0.27	7.4	296
	3#	6	6.5	0.384	0.27	8.0	312
	4#	13	6	0.287	0.27	6.6	511
	5#	15	6	0.231	0.27	5.9	529
主沟断面	1—1', 1#坝上游	20	6	0.141	0.14	8.9	1 063
	2—2', 2#坝下游	20	5.5	0.087	0.14	5.7	722
	4#坝下游						

从表1可以看出,彭家沟沟床比降较大,泥石流流速在上游狭窄段增大,到下游开阔段略有减小。泥石流规模逐渐放大,最终汇入主沟填满2#坝,部分淤积3#坝。

本次调查同时选择了主沟内2处断面(表2)来说明泥石流从各支沟汇入主沟之后的发展过程。其中断面1-1,位于古溪沟的峡谷流通段,沟道较为顺直,经计算得泥石流峰值流量约为 $1\,063\text{ m}^3/\text{s}$ 。断面2-2,位于4#坝体下游,可代表泥石流进入堆积区的流量,计算得泥石流流量约为 $722\text{ m}^3/\text{s}$,最终在沟口形成长约 $1\,000\text{ m}$,均宽约 100 m ,厚约 3 m 的泥石流堆积扇。

分别在支沟物源区、支沟堆积扇以及主沟堆积扇选择典型断面采集泥石流样品,分析其颗粒组成(图6),从物源区到堆积区,随着泥石流的不断发展,沿途固体松散物质的不断加入,泥石流中细颗粒含量逐渐增加,如物源区的粘粒含量 0.2% ,支沟粘粒含量 0.46% ,而主沟堆积扇上,细颗粒含量为 0.54% ,因此,泥石流粘性逐渐增加。泥石流粘性总体偏低,这是由于大量粘粒含量低的沟床堆积物是本次泥石流的重要物源。根据野外调查现场分析,本次泥石流容重高达 $2.0 \sim 2.05\text{ g}/\text{cm}^3$,属于低粘度高容重泥石流^[12]。

4 防治工程对泥石流物理特性的影响

4.1 泥石流特征

“7·10”泥石流具有明显的阵流特征,主沟共发生16阵,支沟若干阵。阵流形成的原因在于:1. 各支沟流域泥石流不一定同步发生,古溪沟流域面积较大,流域内地形复杂,沟谷交错,松散土体分布不均匀,不同区段形成泥石流的条件有差异,使得泥

石流形成过程出现阵性特征。2. 受地形影响,主沟内基岩卡口和坝体分布降低了泥石流的运动速度,延缓了泥石流到达时间;松散堵塞体的堵塞和溃决,导致泥石流出现阵流现象。3. 各支沟汇入主沟位置离古溪沟沟口距离差异很大,如三岔沟距离古溪沟沟口 6.5 km ,而彭家沟距离沟口 2 km ,汇流长度的差异导致泥石流到达沟口时间有所差异。

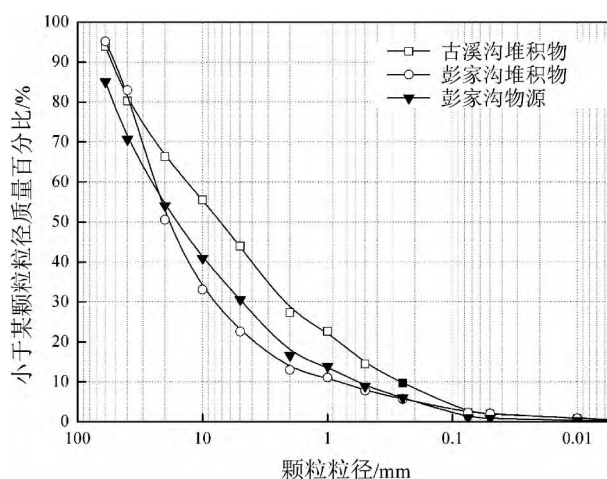


图6 颗粒分析曲线

Fig. 6 Particle analysis curves

4.2 泥石流规模

由于主沟内4座拦挡坝全部被泥石流淤满,因此,本次泥石流的总方量可通过坝体库容和堆积扇测算获得。

坝体简化图见图7,各座坝体的参数见表3。

其中坝体均宽为 $(W_1 + W_2)/2$;坝体回淤长度(L)为坝体到上游淤积最高点,1#、2#坝回淤长度通过访问当地居民获得,3#、4#坝体分别回淤至上级坝体坝基处,回淤长度为两坝体之间的距离;淤积厚度考虑坝体高度和回淤坡度(主河道中间顺流堆积坡

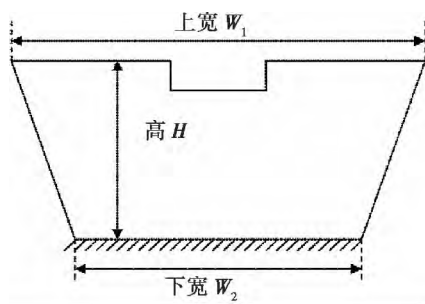


图7a 拦挡坝横断面图

Fig. 7a Cross section of check dam

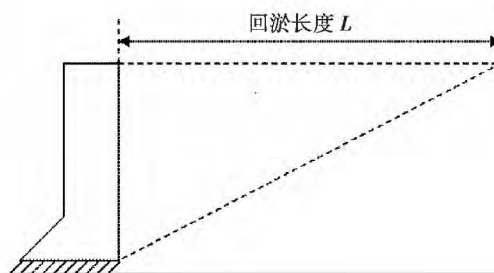


图7b 拦挡坝纵断面图

Fig. 7b Vertical section of check dam

图7 拦挡坝示意图

Fig. 7 Check dam schematic

表3 各级拦挡坝拦沙量

Table 3 The capacity of each check dam

坝体名称	坝体均宽 /m	回淤长度 /m	坝高 /m	淤积坡降 /°	淤积量 /(10 ⁴ m ³)
1#坝	80	200	10	6.5	8.0
2#坝	100	213	13	10.0	13.8
3#坝	100	440	13	4.0	28.5
4#坝	45	350	12	6.0	9.5

度)。4座坝总淤积量约为 $60 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。沟口堆积扇(图8)长1022 m,均宽超过100 m,均厚约3~4 m,个别区域厚度达到7 m,堆积方量约 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。总计方量约为 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,属特大型泥石流。



图8 泥石流堆积扇分布及其危害

Fig. 8 The debris flow fan and hazards

4.3 防治工程对泥石流的影响

防治工程对泥石流运动过程和成灾影响的调控能力显著。主要体现在以下几个方面:

1. 如上所述,拦挡坝拦截了约60%的泥石流流量,只有不到40%(约 $40 \times 10^4 \text{ m}^3$)的泥石流冲出沟口,大大减小了泥石流对沟口厂矿企业、民房、桥梁等建筑物的危害,也减少了进入紫坪铺水库的泥沙总量。

2. 泥石流在流域内的流速可达8~9 m/s,由于坝体的调控作用,泥石流的沟口流速约为5.7 m/s,进而降低了泥石流的峰值流量。如坝体上游,泥石流峰值流量超过 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$,由于坝体的调控作用,泥石流出口峰值流量为 $722 \text{ m}^3/\text{s}$;同时,随着流速和流量的降低,泥石流携带大石块的能力也有所降低,进而降低了泥石流的冲击作用,沟口建筑物的结构性破坏较少,主要以淤埋破坏为主。

3. 拦挡坝改变了主沟沟道内原有地形,拦挡作

用延缓了泥石流到达沟口的时间,避免了主沟与支沟泥石流峰值流量同时到达而导致峰值流量激增的现象。如支沟泥石流发生于2:00并即时冲出沟口,而主沟由于1#坝的拦挡作用,于7:47到达。此外,拦挡坝分布也是泥石流阵性特征的一部分原因。

5 结论与讨论

1. 堰塞体失稳补给、坡面泥石流沿程补给和沟道侵蚀是“7·10”泥石流的三种物源形式。充沛的前期降雨和短历时的强降雨共同诱发了本次泥石流,其诱发雨量达210.2 mm,激发雨强为17.1 mm/h。

2. 泥石流形成过程中,陡峻的沟床导致泥石流不断加速,固体物质的沿途补给放大了泥石流的流量,最大峰值流量可达 $1063 \text{ m}^3/\text{s}$ 。本流域面积较大,支沟较多,受物源分布、地理位置和沟道地形、以及拦挡工程的影响,泥石流整体表现出阵性特征,总方量大约 $100 \times 10^4 \text{ m}^3$,容重约为 $2.0 \sim 2.05 \text{ g}/\text{cm}^3$,属于特大型低粘性高容重泥石流。

3. 防治工程的调控作用显著,拦挡了大部分泥石流,只有不到40% ($40 \times 10^4 \text{ m}^3$)的泥石流冲出沟口形成威胁;拦挡坝降低了泥石流的流速(沟口峰值流速为5.7 m/s),进而降低了泥石流的峰值流量和携带大石块的能力,因此减缓了泥石流对沟口建筑物的冲击作用,因此下游泥石流破坏类型以淤埋为主;同时延缓了泥石流的到达时间,避免了各支沟泥石流同时到达沟口而造成峰值流量激增。

但在防治工程勘察设计中,对泥石流物源量估计不足,坝体库容有限,致使坝体被全部淤满。另外下游后续排导能力不足,为下一次泥石流的危害埋下隐患。因此,建议做好清淤工作,继续发挥防治工程的调控能力。在以后的泥石流防治工程设计中,建议做好前期勘察工作,充分考虑地震作用下泥石流沟物源总量和可能的泥石流规模的影响。

参考文献(References)

- [1] Xie Hong, Zhong Dun lun, Jiao Zhen, et al. Debris Flow in Wenchuan Earthquake hit area in 2008 [J]. Mountain Research, 2009, 27(4): 501-509 [谢洪, 钟敦伦, 矫震, 等. 2008年汶川地震重灾区的泥石流[J]. 山地学报, 2009, 27(04): 501-509]
- [2] Guo Xiaojun, Xiang Lingzhi, Zhou Xiaojun, et al. Causes and disaster forming characteristics of debris flows along the Dujiangyan - Wenchuan Highway in 2011 [J]. Journal of Catastrophology, 2012, 27(3): 81-85 [郭晓军, 向灵芝, 周小军, 等. 高家沟泥石流和深溪沟泥石流灾害特征[J]. 灾害学, 2012, 27(03): 81-85]

- [3] Zhuang Jianqi ,Cui Peng ,Ge Yonggang ,et al. Hazard assessment of debris flow valleys along Dujiangyan – Wenchuan Highway after "5. 12" Wenchuan devastating earthquake [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition 2009 41(03): 131 – 139 [庄建琦, 崔鹏, 葛永刚, 等. “5. 12”地震后都汶公路沿线泥石流沟危险性评价[J]. 四川大学学报: 工程科学版 2009 41(03): 131 – 139]
- [4] Cui Peng ,Chen Xiaoqing ,Zhu Yingyan et al. The Wenchuan Earthquake (May 12 ,2008) ,Sichuan Province ,China ,and resulting geo-hazards [J]. Natural Hazards 2011 56(1): 19 – 36
- [5] Xiang Lingzhi ,Cui Peng ,Fang Hua. Mechanism of disaster chain after earthquake and the impact to urban reconstruction in Wenchuan Earthquake area [J]. Journal of Catastrophology 2010 ,(Suppl. 1): 278 – 281 [向灵芝, 崔鹏, 方华. 震后灾害链生机制及其对汶川地震城镇重建的影响[J]. 灾害学 2010 (增1): 278 – 281]
- [6] Tang Chuan ,Li Weile ,Ding Jun ,et al. Field investigation and research on giant debris flow on August 14 2010 in Yingxiu Town epicenter of Wenchuan Earthquake [J]. Earth Science – Journal of Chinese University of Geosciences 2011 36(1): 172 – 180 [唐川, 李为乐, 丁军, 等. 汶川震区映秀镇“8. 14”特大泥石流灾害调查[J]. 地球科学: 中国地质大学学报 2011 36(1): 172 – 180]
- [7] Han Yongshun ,Liang Chuan ,Han Jun ,et al. Gravitational erosion in afflicted areas and its effects of sediment yield and transportation—a case study in Niujuangou gully [J]. Journal of Sichuan University: Engineering Science Edition 2012 ,(Suppl. 2): 110 – 116 [韩用顺, 梁川, 韩军, 等. 震区重力侵蚀及其产沙输沙效应研究——以震中牛圈沟为例[J]. 四川大学学报: 工程科学版 2012 (增2): 110 – 116]
- [8] Wu Zhenhan ,Zhang Zuochen. Types of seismic and geological hazards caused by the MS 8. 0 Wenchuan earthquake [J]. Geologica Sinica 2008 82(12): 1747 – 1757 [吴珍汉, 张作辰. 汶川8级地震地质灾害的类型及实例[J]. 地质学报 2008 82(12): 1747 – 1757]
- [9] 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 01(01): 11 – 15 [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 , 01(01): 11 – 15]
- [10] Rui Xiaofang. The principle of hydrology [M]. Beijing: China WaterPower Press 2004. [芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社 2004.]
- [11] Kang Z. C. A velocity research of debris flow and its calculating method in China [J]. Mountain Research 1987 5(4): 247 – 259 [康志成. 我国泥石流流速研究与计算方法[J]. 山地研究(现山地学报) 1987 5(4): 247 – 259]
- [12] Xie Hong ,Zhong Dunlun. Features and risk zonation of debris flow in Futangba Ravine of Wenchuan County of the Minjiang River [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control 2003 14(04): 33 – 35 56 [谢洪, 钟敦伦. 岷江上游汶川县佛堂坝沟泥石流特征及危险性分区[J]. 中国地质灾害与防治学报 2003 , 14(04): 33 – 35 56]

Giant Debris Flow Hazards in Guxi Gully , Wenchuan County of China on July 10 2013

KONG Yingde^{1 2} ,GUO Xiaojun^{1 2} ,ZOU Qiang^{1 2} ,ZENG Chao^{1 2} ,YAN Yan^{1 2}

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

Abstract: The formation and evolution process of debris flow on July 10 2013 was analyzed based on the field investigation on the material sources ,rainfall and topography conditions. The solid material sources supplying debris flows by failure of debris dams ,which were formed by landslides and collapses induced by “5 • 12” Wenchuan Earthquake ,slope debris flows and bed material initiation. Plentiful antecedent precipitation and strong rainfall intensity were the inducing factors. The debris flow velocity was accelerated and peak discharge was amplified along the channel because of the steep channel gradient and solid materials supplying along the branch gullies. The peak discharges was 1 063 m³/s. The debris flow is discontinuous—characterized for surges lasting for 6 h ,because of the variation of initiation time in branch gullies ,the different topography and distribution of dams ,and also due to the concentration processes. The total amount is about 100 × 10⁴ m³ but only 40% of them were deposit as a debris flow fan. The discharge ,velocity and the impact force were decreased because of the effect of prevention engineering ,therefore partly relieving the disasters. The study can contribute to formation and disaster reduction research in the comparative big basins ,especially with the prevention engineering.

Key words: formation; development process; prevention engineering; Guxi gully