

汶川地震后四川安县甘沟堵溃泥石流及其对策

游勇^{1,2}, 陈兴长³, 柳金峰^{1,2}

(1. 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. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 3. 西南科技大学环境与资源学院, 四川 绵阳 621010)

摘 要: 汶川地震诱发的大量崩塌和滑坡不仅直接为泥石流活动提供松散固体物质, 还可能造成沟道堵塞。沟道内的堵塞坝虽然不像主河道上的堰塞湖那样造成大范围灾害, 但溃决后会引发大规模泥石流, 给人民生命财产和基础设施等造成严重危害。以四川省安县高川乡甘沟为例, 说明其造成泥石流的危害特征及防治对策。通过对甘沟自然环境背景条件的分析, 发现甘沟具备泥石流暴发的地形地貌和降水条件; 流域内地震诱发的崩滑体不仅为泥石流的形成提供丰富的松散固体物质, 还造成沟道堵塞, 形成堵溃型泥石流。甘沟已建的排导槽存在过流能力不够、槽底和侧墙已基本被破坏、弯道处未考虑超高、沟内未布置拦挡工程等问题。目前沟内由于松散固体物质充足, 在一定的降水条件下, 仍会再次暴发泥石流。针对甘沟的具体情况, 提出了修建拦挡、重建排导槽并结合预警预报措施的防治对策, 并对重建排导槽的过流断面进行了优化设计。

关键词: 安县; 甘沟; 堵溃泥石流; 防治对策; 断面优化设计

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

汶川地震诱发的大量崩塌、滑坡直接为泥石流活动提供丰富的松散固体物质^[1], 并可能造成沟道堵塞。堵塞体在降雨条件下蓄水成堰塞湖, 虽不会像主河道上的堰塞湖那样造成大范围灾害, 但溃决后仍会引发大规模泥石流, 对道路、村庄和城镇等造成严重危害。本文以地震灾区典型流域——安县高川乡的甘沟为例, 对震后溃决性泥石流的危害和特征进行分析, 并对泥石流防治对策及排导槽断面优化设计进行了研究。

1 自然环境概况

1.1 流域概况

甘沟位于汶川地震重灾区安县高川乡境内, 沟口地理位置为 104°11'58.6"E, 31°35'55.8"N。该沟距安县县城直线距离 33.24 km, 距高川乡政府所在地直线距离为 2.20 km。甘沟为涪江一级支流雒水

河左岸的一级支沟, 流域面积 8.76 km², 主沟长度 4.32 km, 纵比降 254.63‰, 流向由东北向西南 (图 1)。

1.2 地形地貌

甘沟处于青藏高原东部边缘的龙门山区, 属我国三大阶梯中由第一阶梯青藏高原向第二阶梯四川盆地及边缘山地过渡地带, 地貌类型复杂, 以中、高山为主。沟口海拔 886 m, 流域最高点海拔 2 013 m (图 1), 相对高差大, 达 1 127 m。对甘沟流域山坡坡度进行分级统计 (表 1) 可知, 流域内小于 25°的缓坡地占 22.84%, 主要位于中下游; 25°~35°的陡坡地占 12.78%; ≥35°的急陡坡地占流域面积的 44.38%, 陡坡地和急陡坡地主要位于中上游。

甘沟所在区域新构造运动主要以抬升作用为主, 主、支沟强烈下切, 沟谷呈“V”字型, 沟床纵比降较大。甘沟流域完整系数 (0.47) 较大, 说明该流域较完整, 具有良好的汇流条件, 对山洪和泥石流形成

收稿日期 (Received date): 2010-08-30。

基金项目 (Foundation item): 国家科技支撑计划课题 (2009BAK56B05) 和国家自然科学基金项目 (40971014) 资助。[Jointly supported by the State Key Project of China (2009BAK56B05) and the Project of National Natural Science Foundation of China (40971014).]

作者简介 (Biography): 游勇 (1964-), 男, 四川乐山人, 研究员。主要从事山地灾害实验与防治工程研究。[You Yong (1964-), male, born in Sichuan, professor, majoring on the experiment and technology of mountain hazards mitigation.]

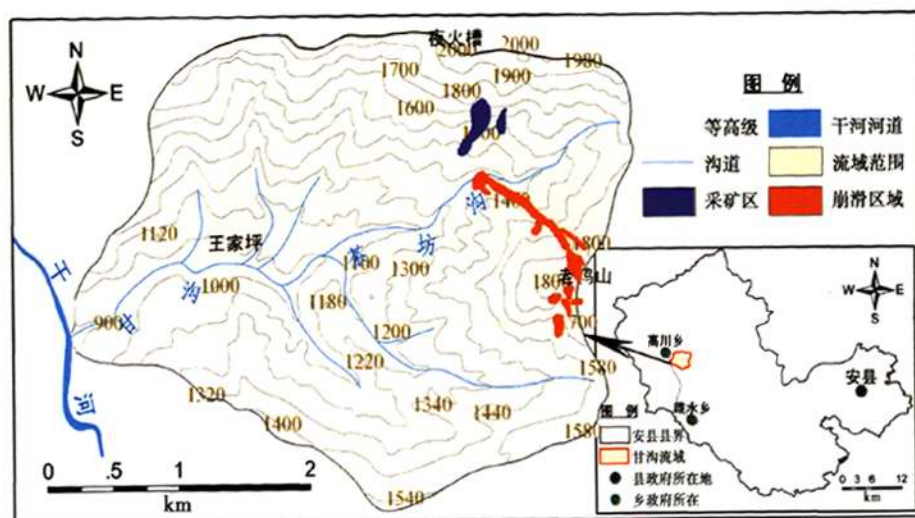


图1 甘沟流域图

Fig. 1 Drainage map of Gangou Gully

有利。流域中上游陡峭的山坡坡度、陡急的沟床和良好的汇流条件为泥石流的形成提供了较好的地形地貌条件。

表1 甘沟流域山坡坡度分级统计

Table 1 The classification statistics of slope of Gangou gully

项目	山坡坡度/ $^{\circ}$				合计
	<15	15~25	25~35	≥ 35	
地表面积/ km^2	0.82	1.18	2.87	3.89	8.76
所占比例/%	9.36	13.48	32.78	44.38	100

1.3 地质

甘沟处于龙门山褶皱带与四川盆地结合部,映秀-北川逆冲断裂从该区域通过。断裂上盘(西北部)发育泥盆系至震旦系地层,变质强烈;断裂下盘发育石炭系、二叠系和三叠系的沉积岩,褶皱、断层发育,构造十分复杂。

甘沟距离发震断裂直线距离约3.5 km,夹持于主中央断裂和前山断裂之间。根据震后调查^[2-4],北川-映秀断裂是引发地震的最主要断层,地表破裂明显;而前山断裂在地震中发生的同震地表破裂虽然没有前者规模大,但在该区域也产生了明显的地表破裂现象,表明该断裂在地震中也发生过活动。甘沟正好处于发震断裂下盘和前山断裂的上盘,地震中受两条断裂的影响,地表破坏严重。

甘沟流域主要以二叠系的厚层块状灰岩和泥页

岩与粉砂岩等为主。石灰岩主要分布于流域的北部与泥页岩和粉砂岩呈断层接触关系(图2)。石灰岩属坚硬岩组,在强烈地震作用下形成了大量的崩塌,为后期的泥石流活动提供丰富的松散物质。该流域的泥石流主要发源于灰岩区域。

1.4 气候

甘沟所在区域属亚热带山地湿润季风气候,气候温和,降水丰沛,日照充足,四季分明,具有云多、雾少、阴天多的特点,多年平均气温16.3℃。甘沟所处流域又处在四川著名的鹿头山暴雨区,根据距甘沟最近的北川县气象站(直线距离35 km)的观测资料,年均降雨量1399.1 mm,年最大降雨量2340 mm(1967年),日最大降雨量101 mm,小时最大降雨量42 mm^[5];根据北川县气象站1971~2000年30 a的月平均降水资料(图3)可知,此区域降水主要集中在6~9月,占全年降雨量的69%~83%,其中7月平均降水量最大。

2 堵溃泥石流基本特征

2.1 甘沟滑坡堵塞体

汶川大地震在甘沟的茶坊支沟左岸引发了一处大型同震滑坡,为松散堆积物滑坡,长990 m,宽88 m,滑坡后缘高程1800 m,体积约 $45 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该滑坡堵塞茶坊沟形成堵塞坝。据航片解译,堵塞坝长约112 m,宽约125 m,坝高约35 m。堵塞坝将沟

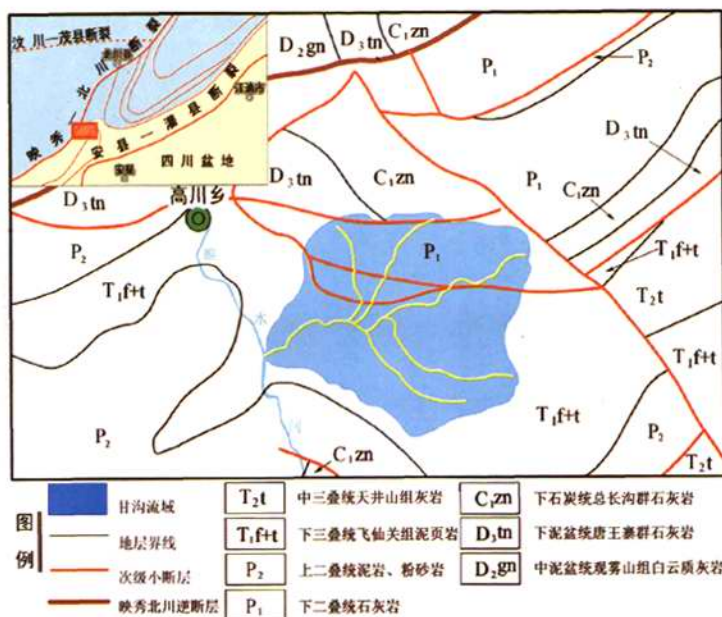


图2 甘沟流域及所在区域地质简图

Fig. 2 Geology map of Gangou Gully

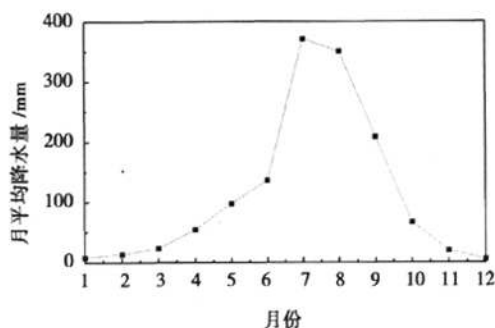


图3 北川县月平均降水量图

Fig. 3 Monthly mean rainfall of Beichuan County

道完全填满,上游的蓄水库容约 $9 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

2009-08-24 在暴雨作用下,堰塞坝溃决,沿沟而下,形成大规模泥石流。

2.2 泥石流活动情况及危害

据现场调查访问,甘沟在汶川地震前百年内没有发生过泥石流。由于地震在沟内形成大量的松散物质,并严重堵塞沟道,造成泥石流暴发。因此,应将该沟泥石流定性为地震诱发的泥石流。

甘沟地震后共暴发了2场泥石流,分别为2009-08-24、2009-09-13、2009-08-24暴发的泥石流规模最大,2009-09-13的泥石流主要在右岸支沟王家坪下沟。2009-08-24甘沟暴发泥石流,

一直冲出沟口,这主要是茶坊支沟内滑坡形成的堵塞体溃决,加大了泥石流的规模。该沟泥石流暴发时龙头高度约9.0 m,冲出最大石块粒径8.5 m。在茶坊、苟院子两支沟汇口处,大量淤积,造成2人死亡、1人失踪、1个即将建成投产的轻钙厂、地震后新建的灾民安置点被冲毁、淤埋的严重后果(图4~8)。2009-09-13在右岸支沟王家坪下沟暴发的泥石流,规模较小,泥石流停积在王家坪下沟沟口与主沟交汇处,冲毁、淤埋通村公路。

2009-08-24暴发的泥石流携带大量的泥沙堆积在主沟下游的沟道内。沟道平均宽45.0~80.0 m,堆积厚度一般为1.5~3.0 m,堆积总体方量约 $45.0 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

甘沟泥石流形成的主要原因是,汶川地震在沟内诱发的大规模滑坡堵塞沟道形成堵塞体,堵塞坝溃决后形成大规模的泥石流。泥石流属于典型的震后堵塞坝溃决型泥石流。这种泥石流由于物源相对集中,规模较大,危害严重。

2.3 泥石流性质与重度

泥石流的性质主要由流体粘度所决定,流体粘度的大小,又取决于松散碎屑物质中粘粒的含量。为了确定甘沟泥石流的性质,分别在沟内采集了2009-08-24、2009-09-13暴发的,未被洪水改造的2个泥石流样品,其颗粒分析曲线如图9。



图4 甘沟泥石流巨石

Fig.4 Huge stone carried by debris flow



图7 泥石流威胁地震灾民安置点

Fig.7 Debris flow threatening the temporary settlements of earthquake



图5 即将竣工的轻钙厂被泥石流淤埋

Fig.5 Facilities of the calcium factory buried by debris flow



图8 泥石流冲毁已建排导槽

Fig.8 The destroyed drainage canal by debris flows



图6 甘沟沟道内泥石流堆积物

Fig.6 Large number of loose deposit in the channel

由图9可见,2009-08-24泥石流堆积物中平均粘粒($<0.005\text{ mm}$)含量为4.164%,含量较高,结合野外实际调查综合分析,该泥石流重度为 $19.6\sim21.6\text{ kN/m}^3$;2009-09-13王家坪下沟泥石流堆积物中平均粘粒含量为2.896%,含量也较高,同样结合野外实际调查综合分析,确定泥石流重度为 $19.6\sim21.6\text{ kN/m}^3$ 。

2.4 形成泥石流的降雨及堵溃条件

降雨是激发泥石流发生的一个重要条件。通常地震之后,激发泥石流的临界降雨量有所降低,如1999年台湾集集地震区,震后泥石流起动的小时雨强和临界累积雨量比震前降低 $1/3$ ^[6]。

以距离甘沟直线距离较近的北川县气象站以及震后在北川县唐家人堰寨湖处设置的自动气象观测站(距甘沟流域直线距离32 km)的资料来分析泥石流形成的降雨条件。根据2003年的《安县地质灾

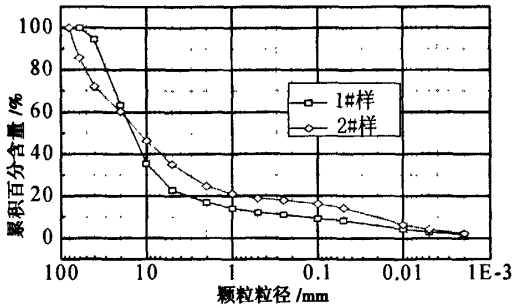


图9 甘沟泥石流样品颗粒级配图

Fig. 9 Grain grading graph of debris flows in Gangou gully

害调查与区划》报告,并参考了泥石流发生临界雨量研究成果,震前该区域泥石流发生的前期累积雨量 320 ~ 350 mm,泥石流发生的临界雨强为 55 ~ 60 mm/h;震后 2008-09-23-24,灾区大范围内暴发泥石流,其前期累积雨量为 272.7 mm,降雨量为 20 a 一遇,激发泥石流的临界雨强为 41 mm/h。可见,汶川地震后北川等地泥石流发生的前期降雨量和临界雨量都较震前低,前期累积雨量降低大约 14.8% ~ 22.1%,小时雨强降低约 25.4% ~ 31.6%^[5]。

甘沟上游茶坊沟堰塞体已溃决,目前流域内还有零星的小型堵塞情况,堰塞体为松散堆积物,此外在沿沟两岸还有 3 处较大的滑坡体,在暴雨及水流的作用下,存在滑动进入沟道堵塞的可能,因此,甘沟有再次形成堵溃泥石流的可能。根据甘沟流域内沟道的堵塞情况及激发泥石流临界降雨量的降低,甘沟泥石流暴发的频率会增大、但规模不会超过 2009-08-24 的泥石流。

3 泥石流特征参数计算

采用形态调查法、雨洪法两种方法来计算泥石流峰值流量。形态调查法根据野外现场实测的泥痕断面,首先计算泥石流流速,计算公式如下^[7]

$$V_c = (R_c^{2/3} \times I_c^{1/2}) / n_c \quad (1)$$

式中 V_c : 泥石流断面平均流速 (m/s); n_c : 泥石流沟床粗糙率; R_c : 计算断面水力半径 (m); I_c : 泥石流水力坡降,可用沟床坡降代替。

计算泥石流流速后,再采用下面公式计算泥石流的流量

$$Q_c = W_c \cdot V_c \quad (2)$$

式中 W_c : 泥石流过流断面面积 (m²)。

在甘沟实测了 3 处 2009-08-24 泥石流等泥

痕断面,断面形态及尺寸见图 10。将相关实测参数代入(1)式计算得泥石流断面平均流速、泥石流流量(表 2)。

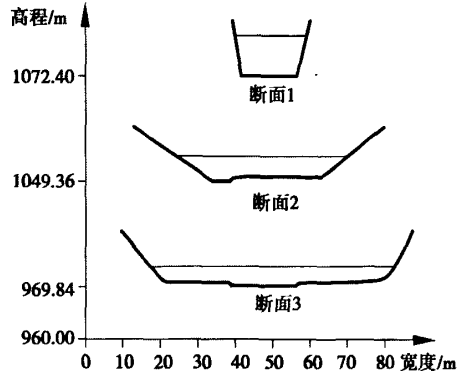


图10 泥石流泥痕断面

Fig. 10 Cross-section of debris flow marks

用雨洪法公式计算泥石流的流量

$$Q_c = (1 + \Phi) Q_p \times D_c \quad (3)$$

式中 Q_c : 频率为 P 的泥石流峰值流量 (m³/s); Q_p : 频率为 P 的暴雨洪水流量 (m³/s); Φ : 泥石流泥沙修正系数, $\Phi = (\gamma_c - \gamma_w) / (\gamma_H - \gamma_c)$; γ_c : 泥石流重度 (kN/m³); γ_w : 清水的重度 (kN/m³); γ_H : 泥石流中固体物质比重 (t/m³); D_c : 泥石流堵塞系数。泥石流的流量计算结果见表 3。

通过对比两种方法的计算结果,2009-08-24 主沟暴发泥石流规模基本相当于 100 a 一遇,但当时的降雨只相当于 20 a 一遇的水平,可见震后所诱发的崩滑堵塞沟道,容易形成堵溃泥石流,从而加大泥石流的规模。

4 防治对策及排导槽断面优化设计

4.1 目前防治工程存在问题

汶川地震后仅在甘沟下游灾民安置点修建了一条排导槽,没有其他工程措施。已建的排导槽总长约 350 m,纵坡 5°,为梯形过流断面,底宽 4.8 m,顶宽 6.6 m,深 4.5 m。根据现场调查,目前的防治工程存在如下问题。

1. 新建排导槽过流能力不够

排导槽内泥石流流速的计算公式采用上述(1)式。通过计算,泥石流通过排导槽的流速为 7.50 m/s,过流流量仅有 192.4 m³/s,结合表 2、表 3

表 2 断面特征及形态调查法流量计算结果

Table 2 Typical cross-section characteristics and calculating results using cross-section method

断面号	面积 /m ²	湿周 /m	水力半径 /m	坡降	流速 /m·s ⁻¹	流量 /m ³ ·s ⁻¹
断面 1	162.55	34.48	4.71	0.194	6.82	1 108.21
断面 2	193.44	48.92	3.95	0.123	4.82	932.23
断面 3	238.25	69.15	3.45	0.095	3.86	919.04

表 3 雨洪法泥石流流量计算结果

Table 3 Calculating results using rain-flood method at different recurrence intervals

频率 P /%	洪水流量 Q _P /m ³ ·s ⁻¹	泥石流重度 γ _C /kN·m ⁻³	泥石流堵塞系数 D _C	泥石流峰值流量 Q _C /m ³ ·s ⁻¹
1	150	21.6	2.5	1 193
2	134	20.60	2.2	794
5	113	19.60	1.8	475

中数据可知,已建的排导槽过流能力严重不足,不能满足排泄 20 a 一遇以上的泥石流。

2. 排导槽基底及侧墙已被破坏

现场调查发现,由于排导槽施工质量较差,加之遭遇特大泥石流,排导槽的基底、侧墙已被泥石流冲毁,其排泄泥石流的功能基本丧失。

3. 流域内未布置拦挡工程

目前沟内未布置任何谷坊或拦砂坝等拦挡工程,不能控制沟内的崩塌、滑坡发生及泥石流的流量,一旦暴发大规模泥石流,未经任何拦挡措施削弱的泥石流进入下游,直接威胁灾民安置点群众的生命和财产安全。

4.2 防治措施

沟内由于松散固体物质充足,在一定的降水条件下,仍会再次暴发泥石流,如果轻钙厂及灾民安置点仍需在原址重建,采取工程防治措施是非常必要的。

1. 在主沟内修建 2~3 座骨干性格栅坝,并在左右支沟适当位置布置 3~5 座谷坊坝。通过这些措施,以起到拦粗排细、稳定沟床、削减泥石流峰值流量的作用,同时能防止泥石流中的大石块进入下游排导槽,避免大石块对排导槽侧墙和槽底的撞击破坏。

2. 针对沟口已建排导槽大部分遭受破坏的现状,需对排导槽重新规划设计,以保证被拦砂坝消减过后的泥石流能够顺利通过,不造成危害。

3. 建立监测点,综合监测泥石流发生的各种征

兆,在大规模泥石流来临前,及时发布预警预报,尽量减少人员伤亡。

4.3 排导槽断面优化设计

4.3.1 直墙“V”型槽横断面优化设计方法

根据甘沟实际情况,考虑尽可能少占土地,选择直墙“V”型排导槽,其最佳水力时的横断面尺寸参数为^[8-10]

$$F = \frac{\sqrt{1 + I_c^2} - I_c}{2} \tag{4}$$

式中 F 为断面尺寸参数, $F = H/B$; I_c 为排导槽的槽坡横比降。

最佳水力时的断面特征参量(S)为

$$S = 8 \sqrt{1 + I_c^2} - 4I_c \tag{5}$$

最佳水力时的水力半径(R)为^[8-10]

$$R = 0.23 \frac{Q^{3/7}}{[S^6 C_v^2 (D_{50} J)]^{1/14}} \tag{6}$$

式中 Q 为泥石流设计流量; C_v 为泥石流体积比含砂浓度; D_{50} 为中值粒径; J 为排导槽的纵比降(采用绝对值)。

最佳水力条件时的横断面尺寸 H 和 B 的计算公式为^[8-10]

$$B = \frac{SR}{2F + \sqrt{1 + I_c^2}} \tag{7}$$

$$H = \frac{SFR}{2F + \sqrt{1 + I_c^2}} \tag{8}$$

4.3.2 排导槽横断面优化设计

现场调查发现,该沟泥石流以粘性为主,其中频

率为 20 a 一遇泥石流重度为 19.62 kN/m³, 频率为 50 a 一遇泥石流重度 20.6 kN/m³, 频率为 100 a 一遇泥石流重度为 21.6 kN/m³。

根据拟布置排导槽区域的实际地形条件, 排导槽的纵坡 $J = 0.078$, 排导槽的槽坡比降 I_c 取为 0.2。根据现场调查分析, 设计标准(频率 $P = 5\%$) 情况下泥石流重度为 19.6 kN/m³, 相应的体积比含沙浓度 C_v 为 0.59。通过水文计算, 设计标准 $P = 5\%$ 的泥石流流量为 475 m³/s。现场取样分析泥石流颗粒组成, 其级配曲线见图 9, 从而可得到 $D_{50} = 16$ mm。确定以上的计算参数后, 便可计算水力最佳过流断面的尺寸。

首先将槽坡横比降 $I_c = 0.2$, 代入(4)式和(5)式, 求得水力最佳条件的断面尺寸参数 $F = 0.41$, 断面特征参量 $S = 7.36$ 。将 F 、 S 及上述其他参数代入(6)式, 可得到水力最佳条件时排导槽内水力半径 $R = 2.37$ m。将 F 值、 S 值、 I_c 值、 R 值代入(7)式、(8)式, 计算求得 $B = 9.48$ m, $H = 3.89$ m, 计算结果见表 4。从而可以得到甘沟泥石流直墙“V”型排导槽最佳过流断面形态尺寸(图 11)。

表 4 甘沟直墙“V”型排导槽水力最佳断面设计表

Table 4 Design table of the optimal cross-section of the Trapezoid shaped drainage canal in Gangou Gully

P	Q	C	D_{50}	J	I_c	F	S	R	B	H
/m ³ · s ⁻¹			/m					/m	/m	/m
5%	465	0.59	0.016	0.078	0.2	0.41	7.36	2.37	9.48	3.89

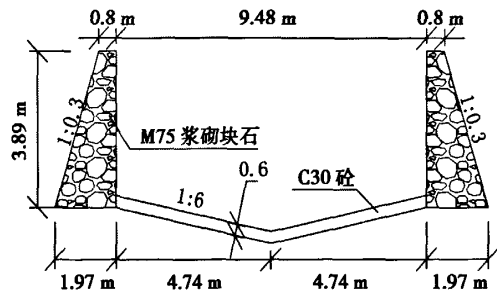


图 11 甘沟泥石流直墙“V”型排导槽横断面图

Fig. 11 Sketch of the Trapezoid-V shaped cross-section of debris flow drainage canal in Gangou Gully

5 结论

1. 甘沟是汶川地震诱发泥石流的一条沟。流域内地震诱发的滑坡不仅为泥石流的形成提供丰富万方数据

的松散固体物质, 还造成了沟道堵塞, 形成堵溃性泥石流。地震后激发泥石流临界降雨条件降低, 甘沟泥石流暴发的规模、频率都增加, 其危害性很大。针对地震后如甘沟这样的泥石流沟, 在灾后重建过程中应引起高度重视。

2. 根据现场调查, 甘沟目前泥石流防治存在已建的排导槽过流能力不够, 槽底、侧墙已被破坏, 沟内未布置拦挡工程等问题。由于甘沟内目前松散固体物质充足, 在一定的降水条件下, 仍会再次暴发泥石流, 威胁到灾后重建工作, 针对这些问题, 提出了新增加修建拦挡工程、重建排导槽并结合预警预报措施的防治对策。

3. 在已知设计标准排泄泥石流流量 Q 、排导槽槽底纵比降 J 以及泥石流体颗粒级配特征的条件, 根据最佳过流条件下直墙“V”型槽横断面形态尺寸的计算公式, 对甘沟泥石流排导槽的最佳过流横断面进行了优化设计。

参考文献 (References)

[1] Cui Peng, Wei Fangqiang, He Siming, et al. Mountain disasters induced by the earthquake of May 12 in Wenchuan and the disasters mitigation[J]. Journal of Mountain Science, 2008, 26(3): 280 - 282; 崔鹏, 韦方强, 何思明, 等. 5·12 汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[J]. 山地学报, 2008, 26(3): 280 - 282]

[2] Li Tong, Huang Runqiu, Zhou Rongjun, et al. Geological background of Longmen Shan Seismic Belt and surface ruptures in Wenchuan earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2009, 17(1): 3 - 18; 李勇, 黄润秋, 周荣军, 等. 龙门山地震带的地质背景与汶川地震的地表破裂[J]. 工程地质学报, 17(1): 3 - 18]

[3] Xu Kiwei, Wen Xueze, Ye Jianqing, et al. The Ms 8.0 Wenchuan earthquake surface ruptures and its seismogenic structure[J]. Seismology and Geology, 2008, 30(3): 597 - 629; 徐锡伟, 闻学泽, 叶建青, 等. 汶川 Ms8.0 地震地表破裂带及其发震构造[J]. 地震地质, 2008, 30(3): 597 - 629]

[4] Zhou Rongjun, Huang Runqiu, Lei Jiancheng, et al. Surface rupture and hazard characteristics of Wenchuan earthquake with Magnitude 8.0 in Sichuan Province[J]. Chinese Journal of Rockmechanics and Engineering, 2008, 27(11): 2173 - 2183; 周荣军, 黄润秋, 雷建成, 等. 四川汶川 8.0 级地震地表破裂与震害特点[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(11): 2173 - 2183]

[5] Tang Chuan, Liang Jingtao. Characteristics of debris flows in Beichuan epicenter of the Wenchuan earthquake triggered by rainstorm on September 24, 2008[J]. Journal of Engineering Geology, 2008, 16(6): 751 - 758; 唐川, 梁京涛. 汶川震区北川 9.24 暴雨泥石流特征研究[J]. 工程地质学报, 2008, 16(6): 751 - 758]

[6] Lin C W. Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows; example from the Chenyulan River watershed,

- Nantou, Taiwan[J]. *Engineering Geology*, 2003, (71): 49-61
- [7] Zhou Bifan, Li Deji, Luo Defu, et al. Guide to Prevention of Debris Flow [M]. Beijing: Science Press, 1991: 125-129 [周必凡, 李德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 125-129]
- [8] You Yong, Liu Jinfeng, Chen Xingzhang. A convenient designation for the optimal hydraulic cross-section of "Rectangle-V" shaped drainage canal of viscous debris flow[G]//Edited by Harold Annegarn, IGARSS 2009-International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Cape Town, South Africa, 07-2009, II392-395
- [9] You Yong. Optimal hydraulic condition of debris flow drainage canal [J]. *Journal of Mountain Science*, 1999, 17(3): 255-258 [游勇. 泥石流排导槽水力最佳断面[J]. *山地学报*, 1999, 17(3): 255-258]
- [10] You Yong, Liu Jinfeng. Comparison of hydraulics conditions among usual debris flow drainage canal[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2006, 25(Suppl. 1): 2820-2825 [游勇, 柳金峰, 欧国强. 泥石流常用排导槽水力条件的比较[J]. *岩石力学与工程学报*, 2006, 25(Suppl. 1): 2820-2825]

Dam-breaking Debris Flows and Its Countermeasures of Gangou Gully Following the Wenchuan Earthquake in Anxian County, Sichuan

YOU Yong^{1,2}, CHEN Xingzhang³, LIU Jinfeng^{1,2}

(1. Key Laboratory of Mountain Hazards and Land Surface Process, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

3. School of Environment and Resources, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

Abstract: A large number of landslides, induced by the Wenchuan Earthquake, directly provide loose materials for subsequent debris flows, but also may cause channel blockage. Channel blockage, as contrasted with river blockage, may not cause widespread damages, but it will transform into large-scale debris flows and cause serious harm to people's lives and property and infrastructure. In this paper, taking Gangou gully of Anxian County in Sichuan Province of China as example, we studied the debris flow characteristics and put forward the control debris flow measures. Based on analysis of the natural environment conditions in the gully, we found that its topography was prone to form debris flows. According to the remote sensing interpretation, there was a big landslide, approximately 0.45 million m³ in volume, induced by the earthquake, blocking the channel and forming a landslide dam. It was the failure of the dam that formed large-scale debris flows and caused serious damages to local people. It was also found that the drainage canal had no enough flow capacity and the canal basement and side walls had been destroyed and the excess-height in bend of the drainage canal had not been taken into account. Additionally, there was no debris dam and check dam in the gully. Unfortunately, under the condition of rainfall, debris flows will occur again due to enough loose solid materials in the gully. To solve these problems, the countermeasures of building check dams, heightening drainage canal, warning and forecasting were put forward in this paper. Especially, we considered the optimal cross-section characteristics of debris flow drainage canal in the gully.

Key words: Anxian County; Gangou Gully; dam-breaking debris flow; countermeasures; optimum cross-section design

作者: [游勇](#), [陈兴长](#), [柳金峰](#), [YOU Yong](#), [CHEN Xingzhang](#), [LIU Jinfeng](#)
作者单位: [游勇, 柳金峰, YOU Yong, LIU Jinfeng \(中国科学院山地灾害与地表过程重点实验室, 四川, 成都, 610041; 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川, 成都, 610041\)](#), [陈兴长, CHEN Xingzhang \(西南科技大学环境与资源学院, 四川, 绵阳, 621010\)](#)
刊名: [山地学报](#) **ISTIC PKU**
英文刊名: [JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE](#)
年, 卷(期): 2011, 29 (3)

参考文献(10条)

1. [崔鹏; 韦方强; 何思明](#) 5@12汶川地震诱发的山地灾害及减灾措施[期刊论文]-[山地学报](#) 2008 (03)
2. [李勇; 黄润秋; 周荣军](#) 龙门山地震带的地质背景与汶川地震的地表破裂[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2009 (01)
3. [徐锡伟; 闻学泽; 叶建青](#) 汶川Ms8.0地震地表破裂带及其发震构造[期刊论文]-[地震地质](#) 2008 (03)
4. [周荣军; 黄润秋; 雷建成](#) 四川汶川8.0级地震地表破裂与震害特点[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2008 (11)
5. [唐川; 梁京涛](#) 汶川震区北川9.24暴雨泥石流特征研究[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2008 (06)
6. [Lin C W](#) Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows: example from the Chenyulan River watershed, Nantou, Taiwan 2003 (71)
7. [周必凡; 李德基; 罗德富](#) 泥石流防治指南 1991
8. [You Yong; Liu Jinfeng; Chen Xingzhang](#) A convenient designation for the optimal hydraulic cross-section of "Rectangle-V" shaped drainage canal of viscous debris flow
9. [游勇](#) 泥石流排导槽水力最佳断面[期刊论文]-[山地学报](#) 1999 (03)
10. [游勇; 柳金峰; 欧国强](#) 泥石流常用排导槽水力条件的比较[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2006 (Suppl. 1)

本文读者也读过(10条)

1. [谢明皆](#) 武都县甘家沟泥石流灾害的综合治理[会议论文]-1998
2. [张俊德; 张志强](#). [ZHANG Jun-de](#). [ZHANG Zhi-qiang](#) 南疆铁路K230段冻土区滑坡泥石流勘察整治[期刊论文]-[中国地质灾害与防治学报](#) 2010, 21 (3)
3. [马涛; 李玉军; 赵家绪](#) 西宁市小西沟泥石流防治方案与治理效果分析[会议论文]-2007
4. [刘永奇; 李玉珍](#) 陕西宁陕县城王家湾泥石流地质灾害治理工程中拱坝设计研究[期刊论文]-[岩土工程界](#) 2006, 9 (8)
5. [崔艳荣; 庄飞舟](#) 夏河县颜克尔沟泥石流灾害特征及治理方案[期刊论文]-[甘肃科技纵横](#) 2009, 38 (1)
6. [张友谊](#) 普斯罗沟泥石流发育特征及其防治对策[期刊论文]-[中国地质灾害与防治学报](#) 2008, 19 (4)
7. [张友谊; 詹志雄](#) 卧龙自然保护区卧龙镇英雄沟泥石流发育特征及其防治对策[期刊论文]-[中国科技博览](#) 2010 (18)
8. [赵成; 施孝](#) 甘肃武都北山泥石流灾害治理对策[期刊论文]-[中国地质灾害与防治学报](#) 2003, 14 (1)
9. [乔振华](#). [QIAO Zhen-hua](#) 浅论泥石流地区拦挡坝[期刊论文]-[山西建筑](#) 2005, 31 (13)
10. [田子泽](#) X484线K24+455泥石流沟整治设计[期刊论文]-[甘肃科技纵横](#) 2009, 38 (2)

引证文献(2条)

1. [黄海; 石胜伟; 谢忠胜](#) 汶川震区哈尔木沟泥石流活动特征及防治[期刊论文]-[探矿工程-岩土钻掘工程](#) 2013 (7)
2. [徐如阁; 铁永波; 巴仁基](#) 下游集中补给型泥石流动力学特征与防治对策——以四川省泸定县干沟泥石流为例[期刊论文]-[灾害学](#) 2013 (3)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201103009.aspx