

# 震裂山体滑坡—溃决型泥石流特征及防治措施研究

裴 钻, 裴向军, 付尚瑜

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 成都 610059)

**摘 要:**“5·12”大地震后形成较多震裂山体,震裂山体在暴雨、余震作用下一旦失稳,将会形成高势能滑坡,堵塞下部沟道,形成堰塞湖,在动静水压及掏蚀作用下导致堰塞湖的溃决,形成破坏力极强的溃决型泥石流。四川安县甘沟泥石流就是典型的溃决型泥石流,2009年8月24日,由于强降雨作用,甘沟支沟牛颈沟滑坡高速下滑,形成堰塞湖最终溃坝,暴发了溃决型泥石流,为震区典型的滑坡—泥石流地质灾害链。由于牛颈沟还残余大量物源,在暴雨情况下再次暴发溃决型泥石流的可能性很大,因此提出以下应对措施:护排为主,结合低坝消能;及时清淤,恢复植被;加强监测,及时警报。

**关键词:**“5·12”地震;滑坡;泥石流;溃决型;措施

中图分类号:P624.22;P624.23

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)05-0217-04

## Research on Shattered Landslide-Debris Flow Characteristics of Break and Prevention Measures

PEI Zuan, PEI Xiang-jun, FU Shang-yu

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention & Geoenvironment Protection,  
Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** A large of shattered mountain had been formed after the ‘5·12’ earthquake. The shattered mountain in the fallrain, once the instability under the aftershocks will be the formation of high potential landslides, blocking the lower part of the channel, the formation of barrier lake, with the static pressure and big erosion caused the barrier lake to break, the formation of highly destructive break debris flow. The Gan gully debris is a typical break debris flow. In Niujing gully, landslide occurred and barrier lake formed in the earthquake. In the impact from rainfall, the part residual body of Niujing gully has been glided, and caused the dam-break. Finally, triggered the outbreak of break debris flow on August 24, 2009. It was a typical geological hazard chains of landslide-debris flow. It has much possibility to break out debris flow again in case of heavy rain because of a large number of sources in the Niujing gully. So the following measures were proposed: protecting and draining are chief measures, and combining dam, timely dredging, restoration of vegetation, strengthening monitoring and warning in time.

**Key words:** ‘5·12’ earthquake; landslide; debris flow; break; measure

据不完全统计,在地震后的强震区新增五千余个(处)地质灾害点,其中常见的崩塌、滑坡、泥石流及不稳定斜坡占地质灾害的97%以上。同时,这次地震还在强震区形成了一系列的次生地质灾害链,如震裂山体滑坡—堰塞湖—溃决泥石流<sup>[1]</sup>。2009年8月24日,位于“5·12”汶川地震极重灾区四川省安县高川乡甘沟暴发了溃决型泥石流,在下游段形成宽约50~100 m,堆积厚度约3~8 m的冲积扇,泥石流历时

10 min左右,造成3间房屋被冲毁,2人死亡,严重威胁甘沟村约420人的生命,并且对居民安置点、石灰厂、乡村道路及在建的成兰高速铁路造成威胁。甘沟是一条新泥石流沟,在地震前未发生过泥石流,地震直接造成甘沟上游的牛颈沟发生滑坡,形成高速滑坡—堰塞湖—溃决型泥石流的地质灾害链。本文以该泥石流为例,分析震后滑坡—溃决型泥石流的形成条件和动力特征,并且提出防治措施建议,该研究为

进一步认识地震灾区滑坡—溃决型泥石流的活动提供参考。

## 1 甘沟泥石流发育特征

### 1.1 泥石流微地貌特征

甘沟为涪江支流睢水河左岸的次级支沟,流域总体自北东向南西伸展,沟口位于甘沟村鸭子嘴。沟域地形呈叶脉状,发育八条支沟,分布不对称,大部分支沟分布于主沟西侧且长度较短,东部支沟较少但长度较长。沟域面积 8.9 km<sup>2</sup>,最高点位于北西侧夜火槽,高程 2 010 m,最低点位于甘沟汇入睢水河口,高程 890 m,相对高差 1 120 m。甘沟及支沟均发育于沟谷地区,属深切构造侵蚀中山地形,岸坡植被发育,地震前地质灾害较少,生态环境良好。主沟平均纵坡降 173‰,上游沟段狭窄,纵坡较陡,平均纵坡 480‰,具陡涨陡落的山溪沟谷特征;下游段宽度略大,谷宽一般 50~100 m,平均纵坡 54‰~100‰。甘沟泥石流没有典型的流通区,沟域主要为形成区(清水汇流、物源区)和流通堆积区组成。堆积区主要分布于甘沟下游。

### 1.2 水源条件特征

甘沟泥石流的水源主要来源于大气降水,降雨形成的地表径流是引发泥石流的主要水源和激发因素。甘沟属季节性冲沟,整个沟段较为顺直,具有陡涨陡

落的特点,通常历时短,流量大,破坏性强。甘沟属中亚热带湿润季风气候区,年均降雨量 1 400 mm,主要集中在 5—10 月。据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》所附暴雨量等值线图<sup>[1]</sup>,甘沟地区在  $P=5\%$  的条件下,1/6,1,24 h 雨强可分别达到 26.7,89,178 mm,完全具备引发泥石流灾害的降雨条件;加上甘沟沟域支沟发育,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。以上这些因素都为泥石流的形成提供了有利的水源条件。

### 1.3 物源条件特征

震区泥石流的形成发育最显著而典型的特点就是强震作用下为泥石流流域提供大量松散固体物质来源<sup>[2]</sup>。震后,甘沟流域内崩塌和滑坡非常发育。从物源区特征上看,主沟物源主要由崩滑物及沟道堆积物组成。其中崩滑物源为 3 个滑坡及 5 个崩塌堆积物,是泥石流的重要固体物质;沟道堆积物主要分布于甘沟中下游,由于该段河谷宽缓,通常情况下不会启动,难以参与泥石流活动。支沟物源主要由崩滑物、公路弃渣(主要为苟院子沟)和矿山弃渣组成,在暴雨时容易受激流的掏蚀作用<sup>[3]</sup>,且支沟坡降均较大,因而处于欠稳定和不稳定状态。通过现场调查和统计可知,整个甘沟流域的泥石流固体物源量见表 1,其中牛颈沟滑坡的总储量约 30 万 m<sup>3</sup>,动储量约 20 万 m<sup>3</sup>。

表 1 甘沟泥石流物源估算汇总统计

分布	崩滑堆积物源		坡面侵蚀物源		沟床堆积物源		合计	
	总量	动储量	总量	动储量	总量	动储量	总量	动储量
主沟	247	26.25	25	10	40	10	312	46.25
支沟	381.35	85.0	20	10	62.35	20.88	463.7	115.88
合计	628.35	111.25	45	20	102.35	30.88	775.7	162.13

## 2 “8·24”泥石流特征

### 2.1 泥石流状况

甘沟位于龙门山中央断裂带,其上游的牛颈沟滑坡是“8·24”泥石流暴发的主要物源。在“5·12”汶川特大地震过程中,牛颈沟山体被震裂松动,岩土体摩阻力迅速降低,在后缘基覆界面形成深长的拉裂面,坡体下部也因垂向和水平向的震动而产生张剪性破坏,从而形成一连贯滑面,然后在 2009 年 8 月 24 日的强降雨作用下,坡顶残留的松散体在水的浸润作用下,强度已经大大降低,滑坡体高速向下滑动;由于牛颈沟沟道弯曲,导致高速下滑的滑体多次高速撞击沟道且大面积解体,转化为碎屑物质掉转方向顺沟谷下游方向流动<sup>[4]</sup>,沿途不断刮铲和裹挟沟床及沟谷两侧松散堆积体,沟底土层被剥光,成为基岩裸露的大

光面。滑体方量不断增大,最后以碎块石形式堆积在牛颈沟与甘沟交汇的较缓平台处,形成一个堰塞坝,堵住沟道。随后松散体沿沟道下滑,高速冲击堰塞坝,使其溃决,泥石流的洪峰流量瞬时增大<sup>[5]</sup>,导致泥石流部分翻越牛颈沟沟口左边高约 40 m 的山梁,并且携大量物质高速进入甘沟主沟。由于石灰厂往上约 300 m 的地方河道转弯,沟道较窄,泥石流形成短暂的自然堵塞,随后随着能量的累积,泥石流取直避弯,直接冲断山梁飞速而下,并形成了一个新沟口图 1),最后停积于下游段平坦处。

### 2.2 降雨量特征

根据安县降雨资料,区内 50 a 一遇年最大年降雨量为 1 521.1 mm(1990 年),最大日降雨量为 470 mm/d(1992 年),地震后对安县高川水文点收集高川几次大的降雨资料发现,2009 年 8 月 24 日,高川乡

24 h 降雨量仅为 42.5 mm,未达到暴雨级别(暴雨为 24 h 内雨量大于等于 50 mm 的雨量),并且当日降雨量并非震后单日最大降雨量。但据沟口鸭子嘴村民反映,泥石流爆发当日,沟口仅为毛毛雨,而牛颈沟附近则降雨量较大,达到 100 mm 以上,但时间不长,为山区常常出现的“沱沱雨”,即局地性强降雨,且已经达到触发泥石流的临界雨强,再加上雨季的连续降雨,造成大量松散土含水饱和程度提高,于是爆发了“8·24”溃决型泥石流。由此可见,这种短历时强降雨所提供的激发水量是触发此次甘沟泥石流的主要原因。



图 1 泥石流冲断山梁

### 3 泥石流动力特征分析

甘沟属于典型的地震引起的次生滑坡—泥石流

表 2 甘沟泥石流流速与流量计算值

断面	糙率	泥深/m	沟床纵坡率/‰	流速/(m·s <sup>-1</sup> )	断面面积/m <sup>2</sup>	流量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
断面 1	0.077	1.4	17.3	6.76	59.64	403.17
断面 2	0.077	1.6	10.2	5.67	40.16	227.86

### 4 残留体稳定性评价

在 5·12 地震中,牛颈沟坡顶出现覆盖层滑坡,后缘高程约 1 810 m,滑坡体长约 250 m,宽约 130 m,厚约 8~10 m,共约 30 万 m<sup>3</sup>。滑坡沿基覆界面滑动,后缘高度约 30 m,堆积于坡体表部。“8·24”暴雨引发的泥石流,牛颈沟参与的物源仅有 1/3,现今仍有 2/3 的松散物质残留在坡体见(图 2),坡体松散体的稳定性严重威胁下部居民的生产和生活安全。

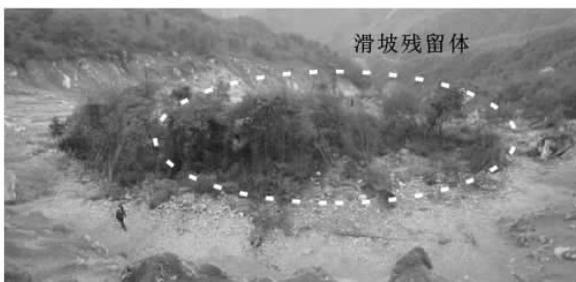


图 2 牛颈沟滑坡残留体  
滑坡松散堆积体长约 250 m,宽约 80 m,滑坡坡

灾害,为沟谷型泥石流。从泥石流堆积体和现场调查试验得出甘沟泥石流属于粘性泥石流,且表现为从上游到下游容重逐渐降低的规律。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<sup>[6]</sup>。通过前面的分析可知,甘沟泥石流为山区溃决型泥石流,其发生的频率较难预测,且规模较大,为了了解其动力特征,采用泥痕形态调查法并且选取两个断面来进行计算。

断面 1 和断面 2 均位于甘沟下游段堆积区,选用云南省东川蒋家沟泥石流计算公式<sup>[7-8]</sup>分别计算甘沟泥石流的流速和流量,计算公式为

$$Q_c = W_c V_c$$

$$V_c = \frac{1}{n_c} H_c^{\frac{1}{2}} I_c^{\frac{1}{2}}$$

式中: $Q_c$ ——泥石流断面峰值流量(m<sup>3</sup>/s); $W_c$ ——泥石流过流断面面积(m<sup>2</sup>); $V_c$ ——泥石流断面平均流速(m/s); $H_c$ ——泥石流平均泥深(m); $I_c$ ——泥位纵坡率(‰),以沟床纵坡率代替; $n_c$ ——粘性泥石流沟床糙率。计算结果详见表 2。

“8·24”泥石流规模相当于全流域 20 a 一遇泥石流(设计概率为 5%),历时 10 min,在流通堆积区峰值流量为 403.17 m<sup>3</sup>/s,泥石流一次过流总量为 24.19 万 m<sup>3</sup>,固体物质冲出总量为 15.39 万 m<sup>3</sup>,泥石流规模为大型<sup>[9]</sup>。

面坡度约 30°(图 3—4),松散物质主要由砂土和块石组成,块石含量约 30%,目前“悬挂”坡体表部,笔者现场调查期间仍有大量松散物质在风力作用下向下滚动。在天然条件下,目前滑坡堆积体处于临界状态下,一旦雨季来临,坡顶残留的松散体在水的浸润作用下,强度已经大大降低,在动静水压力作用下,滑坡前缘向前滑动,由于前缘启动将牵引中部堆积体向下滑坡,从而导致整个坡体滑动,形成高速的碎屑流顺沟谷下游方向运动<sup>[10]</sup>,在坡体下部转弯处堆积从而堵塞沟道,形成堰塞湖,随着松散物质的增加,产生较大冲击力及雨水的掏蚀作用,导致堰塞湖的溃决,对下游产生巨大灾害<sup>[11]</sup>。

通过以上分析,发现牛颈沟再一次发生高速滑坡引起溃决型泥石流的可能性仍很大。

### 5 防治措施建议

根据以上分析,甘沟流域的松散物质极为丰富,且上游段牛颈沟仍有大量不稳定物源,这可能使激发泥

泥石流的临界雨强降低。因此,使该沟泥石流的暴发频率增大,成为中频甚至高频泥石流,该流域的泥石流活动在未来的 5~10 a 内会比较活跃。甘沟的直接威胁对象主要为下游段的石灰厂及居民安置区。甘沟沟道特征总体上上游纵坡大,下游逐渐变缓,局部地段陡缓相间,沟道宽度总体上上游狭窄,而下游逐渐变宽,局部宽窄相间,根据以上特点提出以下防护措施。

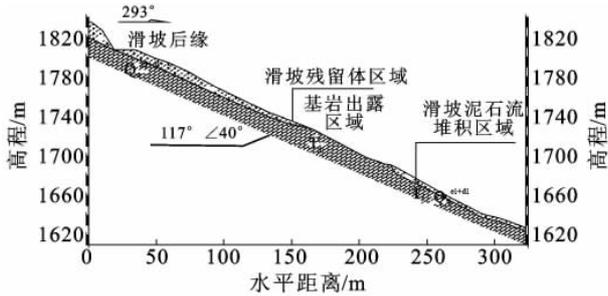


图 3 牛颈沟纵向剖面图

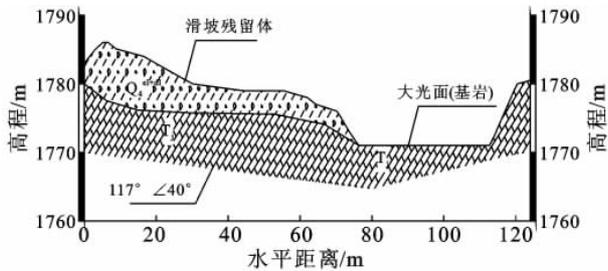


图 4 牛颈沟滑坡横剖面图

(1) 护、排为主,结合坝消能。根据沟谷地形条件和物源分布特征,针对保护对象进行防护。在距牛颈沟约 100 m 处和苟院子沟上游处各布置 1 座拦挡坝,这两处均为狭窄的沟谷,纵坡较缓,上游为开阔的宽谷地带,天然库容较大。这两个坝起到稳拦物源和削峰减流的作用,减少到达甘沟下段的泥石流流量,降低泥石流容重,并调节下游泥石流洪峰流量,减轻防护堤的压力;在石灰厂、居民安置区设置单边防护堤,防止泥石流直接对其造成威胁,保护威胁对象的安全。

(2) 及时清淤,恢复植被。“8·24”泥石流后,沟道里堆积了大量的泥石流物质,为了不造成沟道的堵塞且防止成为泥石流的物源,应及时对其进行清理。根据甘沟泥石流的活动与危害特征,在上游段进行封山育林,使滑坡、崩塌堆积物等尽快恢复植被,并加强整个流域的生态环境保护,减少泥石流的固体物源。

(3) 加强监测,及时警报。泥石流多为雨季时发生,当发生强降雨,特别是局部性暴雨时,应做好应急准备,必要时撤离沟内。为了防止甘沟泥石流的突发,可建立泥石流监测网,如气象水文监测、固体物源监测及运动特征监测等,以确保监测数据的可靠性。

## 6 结论

(1) 甘沟泥石流是震区滑坡—溃决型大型泥石

流,目前处于发展期,属于易发程度。沟域形态近似扇形,面积约 8.9 km<sup>2</sup>,发育八条支沟,主沟平均纵坡为 107‰。甘沟泥石流没有典型的流通区,沟域主要为形成区(清水汇流、物源区)和流通堆积区组成。

(2) “5·12”地震使甘沟位于上游的牛颈沟发生高速下滑,并在沟口平坦处堆积,形成堰塞湖,在 2009 年 8 月 24 日的降雨影响下,牛颈沟上游残余的部分松散物质再次下滑,高速撞击堰塞湖,最终导致溃决型泥石流的发生。泥石流暴发当日,高川整个乡的降雨量并不大,但牛颈沟出现了山区常见的“沱沱雨”,是其发生的主要原因。

(3) 在下游流通堆积区,流速约 6 m/s,峰值流量为 403.17 m<sup>3</sup>/s,泥石流一次过流总量为 24.19 万 m<sup>3</sup>,固体物质冲出总量为 15.39 万 m<sup>3</sup>。8·24 泥石流的发生说明甘沟流域的泥石流已经进入活跃期,未来的 5~10 a,该区域的泥石流活动可能会比较频繁,且牛颈沟滑坡还残余三分之二的物源,发生溃决型泥石流的可能性仍然很大。因此,建议对其进行“护、排为主,结合坝消能”、“及时清淤,恢复植被”和“加强监测,及时警报”的防治措施,以控制和减少泥石流的发生和危害。

参考文献:

- [1] 曹屹东. 汶川震区典型暴雨泥石流形成特征与条件的实验研究:以北川县西山坡沟为例[D]. 成都:成都理工大学,2009.
- [2] 四川省水利电力厅. 四川省中小流域暴雨洪水计算手册[S]. 成都,1984.
- [3] 钟敦伦. 论地震在泥石流活动中的作用[M]. 重庆:科技文献出版社重庆分社,1981:30-35.
- [4] 彭秀红,徐佩华. 柳杨沟泥石流特征及其工程影响分析[J]. 工程地质学报,2007,15(3):374-379.
- [5] 许强,黄润秋. 5·12 汶川大地震诱发大型崩滑灾害动力特征初探[J]. 工程地质学报,2008,16(6):721-729.
- [6] 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.
- [7] 胡卸文,吕小平,黄润秋,等. 唐家山堰塞湖大水沟泥石流发育特征及堵江危害性评价[J]. 岩石力学与工程学报,2009,28(4):850-858.
- [8] 周必凡. 泥石流防治指南[M]. 北京:科学出版社,1991.
- [9] 第宝锋,陈宁生,谢万银,等. 罗坝街沟泥石流特征分析[J]. 山地学报,2003,21(2):216-222.
- [10] 沈兴菊,张金山. “5·12”地震重灾区茂县竹包头沟泥石流特征及其防治对策[J]. 四川大学学报:工程科学版,2009,41(增刊):97-101.
- [11] 张自光,张志明,张顺斌. 都江堰市八一沟泥石流形成条件与动力学特征分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2010,21(1):34-38.