

# 大渡河上游干桥沟泥石流发育特征与防治方法

黄海<sup>1,2</sup>, 石胜伟<sup>1,2</sup>, 刘建康<sup>1,2</sup>

(中国地质科学院 探矿工艺研究所, 成都 611734; 中国地质调查局 地质灾害防治技术中心, 成都 611734)

**摘要:**通过野外调查与实地勘测,在查明泥石流的形成背景条件及灾害特征的基础上,分析了干桥沟暴发大规模泥石流灾害的成因,计算了泥石流运动特征参数,探索了泥石流沿沟道的演化过程及机理,提出了相应防治方法。研究表明:干桥沟为高频大规模泥石流,具有暴发频率高、成灾速度快、运动过程短、危害严重的特点;受沟道微地貌影响,泥石流沿沟道演化过程具有“小淤大冲、聚小成大”的特征,是形成大规模泥石流灾害的主控因素;受物源点活动趋势的控制,干桥沟常态工况下的泥石流的暴发规模和频率呈降低趋势,对沟口危害较小,但受泥石流聚小成大的演化规律影响,在极端暴雨工况下将暴发大规模以上灾害,危害县城安全。针对泥石流特征,提出“以固源、稳沟、拦挡为主,辅以消能、排导”的治理方法;同时对白夹岩滑坡变形进行监测,加强泥石流灾害的预警。

**关键词:**泥石流; 活动特征; 微地貌; 演化过程; 防治方法

中图分类号: P642

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)05-0354-04

## Characteristics and Countermeasures of Debris Flow of Ganqiao Gully in the Upper Dadu River

HUANG Hai<sup>1,2</sup>, SHI Shengwei<sup>1,2</sup>, LIU Jiankang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu 611734, China;

2. Technical Center for Geological Hazard Prevention and Control, CGS, Chengdu 611734, China)

**Abstract:** Based on investigation of the formation conditions and activity characteristics of debris flow by surveys, researches were conducted to examine the hazard causes and the motion parameters, and countermeasures for debris flow mitigation were also proposed. Analysis suggested that debris flows were characterized by high frequency, high speed, short process, large-size and severe risks. And the scale of disaster was influenced by microtopography of the gully. In normal situation, the frequencies and scales of debris flows can decrease gradually in Ganqiao gully, but, because of the evolutionary process which can amplify the scale of debris flow, large-size disaster can occur. In order to mitigate this debris flow, the countermeasures such as building check dams, channel, and warning system of Baigayi landslide wear put forward in this paper.

**Keywords:** debris flow; activity characteristics; microtopography; evolutionary process; countermeasures

干桥沟为大渡河上游右岸的一级支流,地处川滇南北向构造与小金—金汤弧形构造的复合部位,小构造上属于丹巴旋涡状旋扭构造南侧。受构造作用影响,岩层局部倒转,挤压变形作用强烈,节理裂隙发育<sup>[1-2]</sup>,具备泥石流发育的三大条件,是我国泥石流危险度区划中最重度泥石流危险区之一,低频泥石流及峡陡型泥石流分布广泛<sup>[3]</sup>。区内泥石流灾害发育,仅丹巴县境内已经查明的泥石流沟即有 112 条,其中特大规模以上的 5 处<sup>[2]</sup>。因此,泥石流灾害严重影响大渡河上游两岸分布于泥石流堆积扇上的重要城镇及

居民聚集区,如丹巴县城、金川县城、小金县城等均受泥石流灾害威胁。

近 30 年来,干桥沟泥石流灾害频发,每 2~3 年暴发一次,其中 1989 年和 2010 年两次暴发大规模泥石流。受“5.12”汶川地震影响,干桥沟泥石流暴发频率和灾害规模均有所增加,严重威胁沟口丹巴县城安全。通过多次泥石流灾害现场调查,研究沟域内松散物源分布及稳定性,分析泥石流启动机理、运动特征参数和演进过程及其影响因素,并针对灾害特征与危害情况,提出相应的防治对策。

# 1 泥石流发育特征

## 1.1 地质环境背景

干桥沟地处青藏高原东部边缘的大雪山东麓,属于侵蚀深切河谷地貌区,以中高山山地和峡谷地貌为主,所在区域新构造运动主要以抬升作用为主<sup>[4]</sup>,沟域属于发育初期,沟道强烈下切,呈“V”字型。流域面积 3.25 km<sup>2</sup>,主沟长 3.82 km,沟口海拔 1 935 m,流域最高点海拔 3 849 m,相对高差达 1 914 m,沟谷平均纵比降 501.05‰。流域形态呈柳叶状,流域完整系数  $\delta=0.223$ ,相对切割程度  $h'=0.442$ ,表明该流域发育完整性差,沟谷地貌处于幼年期<sup>[5]</sup>,具有良好的汇流条件,对泥石流的形成有利。

沟域平面形态呈不对称分布,其右岸宽度较大,发育唯一的支沟,支沟沟谷较短且沟道不明显;沟域左岸宽度较小,仅源头有小冲沟汇入。干桥沟沟道从上游往下纵比降呈现“陡—缓—陡—缓”的交替演变状态,上游斜坡坡度大于 30°,沟谷为浅切冲沟;中游冰水堆积台地区的深切沟道,沟谷为深切 U 型;下游为典型 V 型沟谷,斜坡坡度 25°~30°。沟道内跌坎和卡口发育。

研究区属于北半球亚热带气候区,受高山峡谷地形的影响,垂直气候取代了纬度气候,具有明显的垂直分带性,海拔越高,降水量越大,气温越低,蒸发量越小。区内多年平均降雨量为 609.8 mm,多年平均蒸发量为 1 314.0 mm;多年平均气温 14.6℃,最冷月 1 月,平均温度 3.0~6.0℃。据县城气象站统计,干桥沟流域降水集中在 5—9 月的雨季,降水量占到全年的 79.4%,最大日降水量达 49.8 mm。

区内新构造运动受丹巴旋涡状旋扭构造控制,出露地层以志留系茂县群的千枚岩、板岩为主,地表覆盖层主要为残坡积和冰水堆积,冰水堆积主要分布于沟域中游段,受流水切蚀形成高 15~20 m 直立陡坡,在流水侧蚀作用下易发生垮塌堵塞沟道;上游残坡积覆盖层厚度约 5~15 m,坡体结构为顺向坡,沟道溯源侵蚀在源头区诱发的白呷衣滑坡是泥石流主要物质来源。构造和沟谷下切共同作用为泥石流提供丰富的松散物质储量,沟道泥沙补给长度占总沟长的 35.6%。据 2010 年地质测绘,干桥沟泥石流形成区共有滑坡崩塌 5 处,坡面重力侵蚀 2 处。崩滑堆积固体物源总量为 229.76 万 m<sup>3</sup>,可能参与泥石流活动的动储量为 19.50 万 m<sup>3</sup>;沟道堆积固体物源总量为 21.90 万 m<sup>3</sup>,可能参与泥石流活动的动储量为 5.86 万 m<sup>3</sup>;坡面侵蚀固体物源总量为 7.60 万 m<sup>3</sup>,可能参与泥石流活动的动储量为 1.28 万 m<sup>3</sup>。共计有松散

固体物源量 259.26 万 m<sup>3</sup>,可能参与泥石流活动的动储量为 26.24 万 m<sup>3</sup>。

## 1.2 泥石流活动情况

根据查阅资料<sup>[6]</sup>和实地调查访问,干桥沟为高频泥石流沟,小规模泥石流每年均爆发 1~2 次,多数活动固体物质在沟道中游淤积下来,未冲出沟口。大规模泥石流则 15~30 a 暴发一次,建国以来较大规模的泥石流发生在 1989 年。

1989 年 8 月中旬,干桥沟暴发泥石流,泥石流漫出下游沟道,淤埋沟道两侧房屋上百间,并造成县城内道路的中断,造成严重的经济损失,此次泥石流历时约 1 h,为典型的黏性阵性流,本次泥石流的一次冲出总量约 2.70 万 m<sup>3</sup>,固体物质约 1.80 万 m<sup>3</sup>。而后当地自发在下游县城段建排导槽,此后 1995 年、2005 年多次暴发小规模泥石流,要么在上游冰积台地段停淤,要么通过下游排导槽排出,均未溢出沟道;2010 年干桥沟于 8 月 19 日、9 月 6 日凌晨 2 点、9 点暴发泥石流,3 次合计冲出固体物质 2.10 万 m<sup>3</sup>,其中 9 月 6 日紧急撤离干桥沟两侧的机关单位、居民 5 000 多人。

## 1.3 泥石流流体特征

干桥沟出露地层岩性较为单一,主要为千枚岩、板岩,覆盖层以残坡积和冰水堆积碎块石土为主,含大块石相对较少。为了确定干桥沟泥石流的性质,对近期暴发的两次较大规模的泥石流分别采集堆积物样品并进行颗粒分析,结果见图 1。

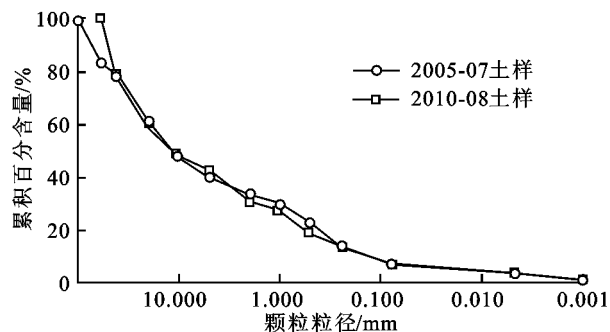


图1 干桥沟泥石流样品颗粒级配图

原始泥石流堆积物的颗粒分析表明,干桥沟两次泥石流堆积物中,黏粒( $<0.005$  mm)含量为 3.12%~4.85%,含量较高,综合该沟道的多次泥石流活动特征调查,确定干桥沟发育的泥石流重度为 18.2~20.4 kN/m<sup>3</sup>。干桥沟泥石流容重与规模密切相关,小规模泥石流主要受上游滑坡活动影响,受中游沟道淤积影响,运动至沟口的泥石流流体中大颗粒固体物质含量较少,相应的容重较低,大规模的泥石流裹挟沟床中丰富的较大颗粒块石,同时受堵溃的影响,

导致泥石流的黏度系数和侵蚀搬运能力剧增<sup>[7]</sup>,流体容重也就随之增大。

## 2 泥石流运动特征分析

### 2.1 不同降雨频率下泥石流流量

利用雨洪法计算泥石流的流量<sup>[8]</sup>:

$$Q_C=(1+\varphi)Q_P D_C \tag{1}$$

式中: $Q_C$ ——频率为  $C$  的泥石流峰值流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ); $Q_P$ ——频率为  $P$  的暴雨洪水流量( $\text{m}^3/\text{s}$ ); $\varphi$ ——泥石流泥沙修正系数, $\varphi=(\gamma_C-\gamma_w)/(\gamma_H-\gamma_C)$ ;  $\gamma_C$ ——泥石流重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ );  $\gamma_w$ ——清水的重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ );  $\gamma_H$ ——泥石流中固体物质重度( $\text{kN}/\text{m}^3$ ),千枚岩取  $26.5 \text{ kN}/\text{m}^3$ ;  $D_C$ ——泥石流堵塞系数。

泥石流重度是影响泥石流峰值流量的关键因素,从泥沙携带能力考虑,重现期越长,泥石流沟的水力条件越好,携带大块石能力越强,泥石流重度越高。

泥石流的流量计算结果见表 1。

表 1 雨洪法泥石流计算结果

频率/ %	洪水 流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	泥石流 重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	泥石流 堵塞 系数	泥石流峰 值流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
1	11.52	20.4	3.5	87.25
2	9.92	19.6	3.0	59.30
5	7.93	19.0	2.8	34.89
10	6.15	18.2	2.5	18.34

### 2.2 一次泥石流活动总量预测

泥石流历时  $T$  和泥石流流量  $Q_C$  是决定泥石流一次活动总量的关键,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  $W_C$  的计算公式如下<sup>[8]</sup>:

$$W_C=19TQ_C/72 \tag{2}$$

一次冲出固体物质的总量  $W_S$  由下式计算:

$$W_S=W_C(\gamma_C-\gamma_w)/(\gamma_H-\gamma_w) \tag{3}$$

据公式(2)–(3),可获得该沟一次泥石流总量和相应的固体物质总量(表 2)。

### 2.3 泥石流发展趋势

#### 2.3.1 主要物源现状及发展趋势 干桥沟最主要物

表 3 干桥沟沟道微地貌特征

沟道位置	纵比降	沟床宽度	岸坡坡度	沟床地层	床底形态
上游源区	606.4	3~5 m	30°~35°	基岩	V 型
冰积台地段	286.7	10~25 m	75°~85°	混杂堆积	下 V 上 U 复合型
冰积台前缘段	516.5	4~8 m	25°~35°	混杂堆积	V 型
堆积扇段	303.4	6~8 m	—	泥石流堆积	U 型

泥石流的运动与沟床边界条件密切相关,前人野外调查与室内试验成果揭示:流体能量与挟沙能力与

源为上游的白呷衣滑坡,该滑坡为大型表层土体滑坡,目前滑坡尚处于蠕动变形—加速变形阶段,变形迹象有后缘拉张裂缝、两侧剪切裂缝以及前缘土体剪出解体。前缘解体经历过多次活动,每次均造成规模不等的泥石流灾害。随着沟道侧蚀日益严重,前缘阻滑段土体解体流失,造成前缘临空面不断增高,滑坡变形日益加剧,在强降雨作用下,产生大规模滑动可能性极大。干桥沟泥石流活动与白呷衣滑坡活动同步,因此未来滑坡一旦大规模活动,可能同时诱发大规模泥石流灾害。

表 2 干桥沟全流域不同降雨频率一次泥石流暴发总量预测

频率/ %	泥石流峰值流量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	泥石流总量/ 万 $\text{m}^3$	泥石流固体物质 总量/万 $\text{m}^3$
1	87.25	6.91	4.35
2	59.30	4.69	2.73
5	34.89	2.76	1.51
10	18.34	1.45	0.72

2.3.2 暴雨作用下泥石流发展趋势 该沟为大渡河上游的山区气候区,降雨量少而集中,为泥石流活动提供了高强度的暴雨激发条件。白呷衣滑坡的活跃性为后期泥石流的形成提供丰富的固体物质,按照流域暴雨提供的洪水量和目前泥石流活动规模,该沟泥石流活动将在未来继续活跃,直至源头滑坡整体稳定。经调查,近年来干桥沟暴发的泥石流规模具有增大趋势,主要是滑坡的活动性在增加,滑体前缘变形解体量增大的影响,泥石流暴发频率与降雨特征同步。总体上,泥石流的规模主要受控于暴雨强度和滑坡活动,在强降雨作用下,很容易出现堵溃效应,形成类似于地震灾区的超常规规模的泥石流灾害<sup>[9]</sup>。

## 3 泥石流活动特征与沟道微地貌关系

干桥沟沟道纵向上呈现“陡—缓—陡—缓”的纵坡变化特征,横向形态则 V 型沟谷与 U 型沟谷交替出现,沟道过流宽度呈现“窄—宽—窄—宽”的宽窄相间形态,沟道横向和纵向形态具有“陡—窄—V 型,缓—宽—U 型”的耦合关系。沟道参数特征统计见表 3。

纵比降呈正相关关系<sup>[10]</sup>,泥石流淤积量与沟道宽度呈正相关,并受沟谷形态控制,表现为 V 型沟谷,具

有束水攻沙效果,有利于泥石流泥沙输移,U型谷则淤积现象明显<sup>[11]</sup>。

根据现场调查,泥石流在白呷衣滑坡前缘处形成后,运动至中游冰积台地段,根据灾害规模表现不同的冲淤特征,大规模泥石流在中游段表现为冲刷为主;而小规模泥石流由于较宽沟道段泥深较小,铺床较宽,输移力小于含沙量,表现为淤积为主。因此,中游段沟道为干桥沟泥石流灾害的规模放大段,规模放大主要通过小规模淤积,固体物质存储,大规模冲刷,固体物质补给的运动特征实现。

## 4 泥石流防治对策

### 4.1 工程治理

干桥沟松散固体物质充足,在一定的降水条件下,将会暴发泥石流,对沟口丹巴县城影响严重,采取工程防治措施是非常必要的。干桥沟沟道特征总体上呈上游纵坡较大,下游逐渐变缓,局部地段有陡缓相间的变化特点,为治理工程设置拦挡坝提供了有利条件<sup>[12]</sup>,且有村道直接进入沟道内,工程拟布设处交通条件较好。

(1) 在滑坡前缘修建消能墩,减小上游大块石冲击速度,减轻流体对下游冰积台地两岸的侧蚀作用,同时减小块石对中游拦挡工程冲击破坏。

(2) 中游修建3道拦挡坝对上游泥石流固体物质进行拦挡,2道谷坊坝对沟道沟床物质进行稳固,防止沟道下切和侧蚀引起冰积台地岸坡垮塌。

(3) 出山口的干桥沟滑坡段修建4道谷坊形成坝群,防止沟道侧蚀诱发干桥沟滑坡复活,同时消减能量,减小流体对下游排导工程的冲刷作用。

(4) 沟口县城段对现有排导槽修复加固,优化排导槽入口导流工程,槽底局部冲刷破坏段用防冲条石铺底,在大纵比降段设置防冲肋槛。

### 4.2 监测预警

干桥沟泥石流一旦在下游漫出排导槽,将对沟口丹巴县城造成严重危害,威胁县城居民的生命和财产安全。因此,在有限设防标准下的泥石流防护和治理措施的情况下,应补充对干桥沟泥石流的监测预警。重点监测沟道源头的白呷衣滑坡整体变形情况,同时做好沟道中下游的泥位监测等措施,为特大规模泥石流灾害的预报、预警提供依据。

## 5 结论

(1) 干桥沟自20世纪80年代进入泥石流活跃

期,多次暴发泥石流灾害,对沟口丹巴县城影响严重,沟道主要物源白呷衣滑坡目前处于蠕动变形—加速变形阶段,泥石流灾害规模和频率均受控于该滑坡的活动情况。

(2) 干桥沟泥石流属于典型黏性泥石流,泥石流过程速度极快,危害严重,频率为1%下的泥石流容重为20.4 kN/m<sup>3</sup>,流量为87.25 m<sup>3</sup>/s;频率为2%下泥石流容重为19.6 kN/m<sup>3</sup>,流量为59.30 m<sup>3</sup>/s。

(3) 根据现场调查,干桥沟泥石流灾害规模与中游沟道微地貌密切相关,中游沟道横断面形态表现为“V—U—V”变化趋势,纵向则为“陡—缓—陡”的演变特点,导致该段沟道为干桥沟泥石流演化过程中的规模放大点,具有“小规模淤积储存、大规模冲刷补给”的特点。

(4) 为了保护沟口丹巴县城,针对沟内泥石流演化规律及致灾特点,提出以“稳固、拦挡、调控、排导并重的综合防治体系”,同时对上游主要物源点白呷衣滑坡和沟道进行监测预警。

### 参考文献:

- [1] 邓国仕,郑万模,杨桂花,等.四川省丹巴县地质灾害及其防治对策[J].沉积与特提斯地质,2006,26(4):101-105.
- [2] 苏鹏程,刘希林,王全才,等.四川丹巴县邛山沟泥石流灾害特征及危险度评价[J].地质灾害与环境保护,2004,15(1):9-12.
- [3] 韦方强,谢洪,钟敦伦.四川省泥石流危险度区划[J].水土保持学报,2000,14(1):59-63.
- [4] 陈宁生,高延超,李东风,等.丹巴县邛山沟特大灾害性泥石流汇流过程分析[J].自然灾害学报,2004,13(3):104-108.
- [5] 黄海,石胜伟,谢忠胜,等.杂谷脑河流域暴雨型泥石流沟地貌特征分析[J].水土保持通报,2012,32(3):203-206.
- [6] 谷云勇.四川省丹巴县地质灾害防治规划报告[R].成都:四川省地质环境监测总站,2004.
- [7] 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(4):501-509.
- [8] 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.
- [9] 游勇,陈长兴,柳金峰.汶川地震后四川安县甘沟堵溃泥石流及其对策[J].山地学报,2011,29(3):320-327.
- [10] 康志成,李焯芬,马嵩乃.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004.
- [11] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.
- [12] 黄海,石胜伟,谢忠胜.杂谷脑河下游坡面泥石流发育特征及防治对策[J].水土保持研究,2013,20(6):111-116.