

# 大渡河流域野牛沟泥石流堵河危险性预测

王东辉, 李明辉, 高延超

(中国地质调查局 成都地质调查中心, 四川 成都 610081)

**摘要:** 野牛沟为大渡河流域中段具代表性的一条泥石流沟, 其充足的物源储备和地形条件为泥石流的再次暴发提供了有利条件。通过对 3 种频率下野牛沟泥石流一次冲出固体物质方量、流量和扇形地的沟床条件 3 个方面的研究, 对传统的堵河经验公式进行了修正, 并通过对野牛沟泥石流的研究对修正后的经验公式进行了验证。结果表明, 在  $P=1\%$  (100 年一遇泥石流) 条件下, 野牛沟发生泥石流会完全堵塞金汤河;  $P=2\%$  时 (50 年一遇泥石流), 可能会堵河或部分堵塞;  $P=5\%$  时 (20 年一遇泥石流), 野牛沟泥石流不会造成堵河。研究结果验证了修正后堵河公式在研究区域内的通用性, 为泥石流灾害提前识别和预防提供了可靠的方法。

**关键词:** 泥石流; 大渡河; 堵河; 预测

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2014)02-0230-04

中图分类号: P642.23

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.048

## Prediction of Possibility of River Blokcing by Debris Flow in Section of Yeniu Gully in Dadu River Watershed

WANG Dong-hui, LI Ming-hui, GAO Yan-chao

(Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610081, China)

**Abstract:** Yeniu gully is a representative debris flow gully in the middle reaches of Dadu River. The ample source of materials and terrain change create appropriate conditions for the formation of next debris flow. Based on the study of solid material discharge, and the gully-bed condition of fan by debris flow from Yeniu gully under three different frequencies, the conventional empirical blocking formula was revised. The revised formula was verified by the study on debris flow in the Jintang River in Yeniu gully. The results showed that Jintang River will be completely blocked when  $P=1\%$ , and partially blocked when  $P=2\%$  and never blocked when  $P=5\%$ . The test indicated the generality of the revised formula, which can be applied in the middle reaches of Dadu River.

**Keywords:** debris Flow; Dadu River; river blocking; prediction

堵河性泥石流灾害除具有泥石流本身的突发性、强破坏性以外, 由于堵塞主河而产生的上游淹没灾害、下游洪水灾害等常常造成更大的破坏。有关泥石流堵河的理论研究主要针对堵河影响因素、堵河判别公式及泥石流入汇对主河河道的影响等方面。郭志学等<sup>[1]</sup>通过室内试验分析了泥石流各因素与堵江之间的关系; 吴积善等<sup>[2]</sup>通过对西藏东南部 4 条泥石流进行研究提出了泥石流堰塞坝形成的主要控制因素; 张金山等<sup>[3]</sup>通过对岷江上游泥石流的研究, 提出与泥石流堵河关系较为密切的因素; 党超等<sup>[4]</sup>通过室内试验分析了泥石流堵河的主要影响因素; 朱平等<sup>[5]</sup>通过对川藏公路培龙沟泥石流的研究提出了影响泥石流堵江的主要因素。在分析泥石流堵河主要影响因素的基础上, 部分学者<sup>[6-12]</sup>通过室内试验及野外调查

提出了泥石流堵河的判别公式。近年来, 大渡河流域中段泥石流堵河(或部分堵河)事件频发, 如 2001 年, 柳杨沟泥石流堵塞瓦斯沟, 2003 年丹巴邛山沟泥石流堵塞大金川, 2005 年磨西河泥石流堵塞大渡河, 2005 年野牛沟泥石流堵塞金汤河, 2009 年响水沟泥石流部分堵塞大渡河。通过大渡河流域中段具代表性的野牛沟泥石流的深入研究, 对野牛沟泥石流在不同频率降雨条件下堵塞主河的可能性进行了探讨, 以期为该地区泥石流研究及防治提供依据。

## 1 泥石流形成条件

### 1.1 自然地理条件

野牛沟位于康定县捧塔乡解放一村, 金汤河右岸, 属大渡河流域中段。地理位置在东经  $102^{\circ}16'08''$ , 北纬

收稿日期: 2013-05-14

修回日期: 2013-05-29

资助项目: 国土资源大调查项目“甘孜地区地质灾害详细调查”(1212010814020)

作者简介: 王东辉(1982—), 男(汉族), 山东省莒南县人, 硕士, 工程师, 从事地质灾害调查与研究工作。E-mail: 16216813@qq.com。

30°29′20″。流域面积 38.8 km<sup>2</sup>,主沟长 9 449.3 m,沟口标高 2 340.0 m,最高海拔 5 102.0 m,主沟平均纵坡达 233.8‰。属典型的高山峡谷地貌,沟床上游陡、下游较缓。

沟源区均被中、高山地形所环抱,呈“漏斗状”,山坡坡度多在 30°~50°,构成良好的地表汇水条件。上游发育两条大的支沟,其中左侧支沟鸡索子流域内多为岩质沟岸,山坡坡度多大于 35°,部分地段可达 60°,为主要清水动力区。右侧支沟偏岩窝沟以土质

沟岸为主,山坡坡度多大于 25°。流通区为中游望牛坪至高家河坝处,全长 1.5 km,主沟纵坡 186.3‰,河谷呈 V 形,沟道狭窄,宽度多 5~15 m,最窄处仅 3.0 m,沟床相对平缓且总体较顺直。堆积区主要指金汤河左岸至高家河坝区段,总体呈不规则扇状,长 440.0 m,前缘宽近 240.0 m,纵坡 83.0‰。最大块石长 9.0 m,宽 2.5 m,高 2.0 m。沟内植被较差,以灌木为主,主要分布于中游,3 500.0 m 以上主要为裸露的基岩或松散的碎块石。

表 1 野牛沟主沟流域特征值

流域面积	主沟长度	主沟平均坡度	堆积扇沟床坡度	相对高差	平均坡度
38.8 km <sup>2</sup>	9.5 km	233.8‰	83.0‰	2762.0 m	36°

### 1.2 气象水文条件

野牛沟主要受东南季风影响,气候温暖、湿润、多雨、雨量集中,年均温度 8.9℃,7 月均温 19~23℃,多年平均降水量 753.1 mm,年最大降水量 1 005.7 mm,日最大降水量 60.1 mm,日平均降水量 2.29 mm,10 min 最大降水量 8.3 mm。降水集中在 5—9 月,以 6—7 月为最,无霜期 192 d。区内气候垂直带明显,降水主要集中于海拔 3 000~4 000 m 范围内。

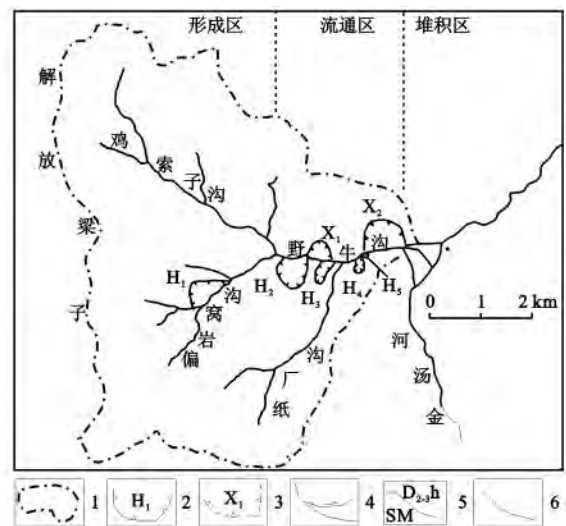
### 1.3 地质环境条件

位于金汤弧形滑脱—推覆带核心部位,色古—三道水—锅巴岩断层从流域左侧穿过,区内岩石节理裂隙发育,岩石破碎、强劈理化、透镜化,发育折射劈理,晚期方解石脉切割劈理。出露地层有奥陶系中上统宝塔组(O<sub>2-3</sub>b)、志留系茂县群(SM)、泥盆系中下统捧塔组(D<sub>1-2</sub>pd)及中上统河心组(D<sub>2-3</sub>h),宝塔组主要分布于流域西南部,面积较小,岩性主要为灰色中薄层状灰岩;志留系地层主要分布于流域右侧,偏岩窝沟上游,岩性以绢云母千枚岩为主,偶夹变质石英砂岩及泥灰岩,分布海拔较高,多裸露破碎;泥盆系为流域内最发育的地层,岩性主要为变质灰岩,偶有千枚岩夹层。第四纪堆积物十分发育,分布于沟道两岸及岸坡上,主要为崩坡积及残坡积物,崩坡积堆积物主要为松散的碎块石土,多分布于流域上游。残坡积物主要分布于中游河谷两岸,以碎石土为主,其上植被发育,结构松散(图 1)。

### 1.4 主要物源特征

野牛沟内物源主要分布于偏岩窝沟内及主沟中下游地段。以松散的残坡积及崩坡积成因的碎块石土为主,碎块石含量以 30%~40% 为主,一般粒径 10~30 cm,偶见大于 2.0 m,主要为变质灰岩及砂质板岩,多呈次棱角状,结构比较松散,厚度一般 6~20 m。据调查,流域内发育 5 处滑坡,2 处不稳定斜坡,

其中 H<sub>1</sub> 滑坡位于偏岩窝沟口附近,为一大型滑坡,处于整体蠕滑阶段,前缘临空 10~16 m,局部挤压沟道,滑体主要为崩坡积碎块石土,碎块石含量约 30%,直径多介于 30~50 cm 间,最大者近 10.0 m,块石间充填粘土及小碎石,结构松散,其上植被较发育,覆盖率约 50%,以灌木为主。其余 4 处滑坡及 2 处不稳定斜坡集中于流通区(望牛坪至沟口段),整体均较稳定,但是前缘受沟水掏蚀均发生局部的破坏。流域内松散固体物质总量约 1.33×10<sup>7</sup> m<sup>3</sup>,不稳定物源量约 2.44×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>(表 2)。



1. 流域边界; 2. 滑坡边界及编号; 3. 不稳定斜坡边界及编号; 4. 水系; 5. 地层界线及代号; 6. 断层

图 1 野牛沟流域地质环境特征

## 2 泥石流堵河危险性预测

2005 年 7 月 7 日,野牛沟发生大型泥石流,泥石流完全摧毁了扇上面积达 54 511.0 m<sup>2</sup> 范围内的农田、房屋。同时,泥石流摧毁了桥梁,导致金汤河(大渡河—

级支流)堵塞,极大地影响了下游陇须电站及金汤电站的正常运营,造成直接经济损失 532.0 万元。

据调查,2005 年以前野牛沟与金汤河呈近 90° 直交,泥石流发生后,野牛沟与金汤河夹角约 55°。

表 2 野牛沟主要物源特征

编号	位置	面积/ 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>	厚度/ m	规模/ 10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	不稳定 物/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>
H <sub>1</sub>	形成区,偏岩窝沟中游	37.1	20.0	700.0	140.0
H <sub>2</sub>	流通区上游,望牛坪	22.5	15.0	337.5	33.8
H <sub>3</sub>	流通区中游,下望牛坪	10.8	12.0	129.6	13.0
H <sub>4</sub>	流通区中游,三家沟	1.9	8.0	15.6	3.1
H <sub>5</sub>	流通区下游,高家河坝	2.5	8.0	19.8	2.0
X <sub>1</sub>	流通区上游,庄子上	7.7	6.0	45.9	18.4
X <sub>2</sub>	近沟口处,乱石窖	8.5	10.0	85.0	34.0
合计				1 333.4	244.3

2.1 泥石流流量计算

不同频率泥石流流量  $Q_c$  计算采用雨洪法<sup>[13]</sup>,计算公式为:

$$Q_c = Q_p(1 + \varphi)D_c \quad (1)$$

$$Q_p = 0.278\phi FS/\tau^n \quad (2)$$

$$\varphi = (\gamma_c - \gamma_w)/(\gamma_H - \gamma_c) \quad (3)$$

式中: $Q_p$ ——频率为  $P$  的洪水流量( $m^3/s$ );  $D_c$ ——泥石流堵塞系数,取 2.1;  $\varphi$ ——泥石流泥沙修正系数,取 2.23;  $\phi$ ——洪峰径流系数;  $F$ ——汇水面积( $km^2$ );  $S$ ——暴雨雨力( $mm/h$ );  $\tau$ ——流域汇流时间( $h$ );  $n$ ——暴雨公式指数;  $\gamma_c$ ——泥石流重度( $t/m^3$ );  $\gamma_w$ ——清水重度( $t/m^3$ );  $\gamma_H$ ——泥石流中固体

物质比重( $t/m^3$ ),现场实测为 2.52。

2.2 一次泥石流固体物质总量计算

一次泥石流固体物质总量  $V_s$  计算公式<sup>[14]</sup>为:

$$V_s = (\gamma_c - \gamma_w)V_c/(\gamma_H - \gamma_w) \quad (4)$$

$$V_c = 19tQ_c/72 \quad (5)$$

式中: $V_c$ ——一次泥石流总量;  $t$ ——泥石流历时。

根据现场调查,2005 年泥石流容重为 2.05  $t/m^3$ 。依据公式(1)~(5)对野牛沟泥石流不同频率下的流量  $Q_c$  及一次性冲出固体物质方量  $V_s$  进行计算,结果详见表 3。

2.3 泥石流可能参与堵河的方量

通过对 2005 年泥石流进行调查,其一次冲出固体物质方量约  $2.2 \times 10^5 m^3$ ,其中扇面停淤方量约  $1.6 \times 10^5 m^3$ ,实际堵河方量约  $3.0 \times 10^4 m^3$ ,约占总冲出方量的 14%。由于目前野牛沟与金汤河呈锐角相交,导致被主河带走的泥石流固体物质质量增大,参与堵河固体物质所占总方量的比例进一步减少,实际参与堵河的物质应小于一次性冲出固体物质总量的 14%,按此比例计算,则在 3 种不同频率下,真正能参与堵河的最大泥石流固体物质方量分别为  $4.7 \times 10^4 m^3$ ,  $2.7 \times 10^4 m^3$ ,  $2.0 \times 10^4 m^3$ 。

2.4 堵河所需参数计算

目前,有关泥石流堵河判别公式<sup>[5-10]</sup>的研究很多,但是多限定条件或限定区域,均不适用于野牛沟泥石流的判别。本研究参考周必凡等<sup>[14]</sup>提出的有关经验公式,结合野牛沟具体情况进行部分修正。从一次泥石流规模、流量和扇形地的沟床条件 3 个方面对野牛沟泥石流堵河的可能性进行分析(图 2)。

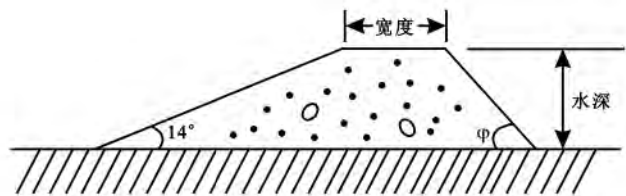
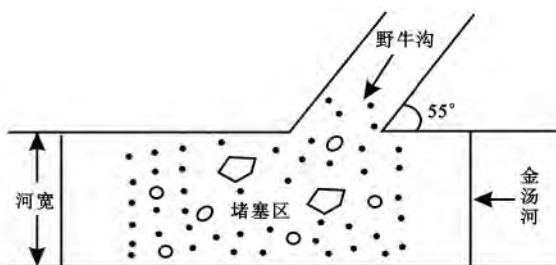


图 2 泥石流堵塞主河示意

2.4.1 最小土体方量 泥石流堵河时,可以假设堵塞体为三棱柱体,视主河底坡为水平,堵塞体上游坡度较陡,应满足泥石流冲出固体物质在饱和状态下的内摩擦角。堵塞体下游坡度可采用河床物质发生水石流的起始坡度,取 14°。则堵塞主河所需土体方量为:

$$V = [b + H_w(\frac{1}{2tg14^\circ} + \frac{1}{2tg\phi})]H_w B_w \quad (6)$$

式中: $V$ ——堵河所需固体物质方量;  $b$ ——野牛沟宽

度;  $H_w$ ——金汤河水深;  $B_w$ ——金汤河宽度;  $\phi$ ——堵塞体上游坡度,取 25°。

2.4.2 最小泥石流流量 泥石流发生堵河时,输入主河的泥石流土体的剪切阻力应大于主河水体的剪切分力,泥石流流量应满足公式(7):

$$Q_c \geq \frac{Q_w \gamma_w tg\theta_{b1}}{C_v(\gamma_H - \gamma_y)tg\phi_m - tg\theta_{b1}\gamma_c} \quad (7)$$

式中: $Q_w$ ——主河汇流断面的清水流量( $m^3/s$ ),据现

场考察,金汤河洪水期径流量介于 80~146.3 m<sup>3</sup>/s;  
 $\text{tg}\theta_{b1}$ ——主河纵坡,为 0.046;  $C_v$ ——变差系数,取  
 0.6;  $\gamma_y$ ——泥石流中土体的容重参数,取 2.1 t/m<sup>3</sup>;  
 $\varphi_m$ ——泥石流中土体的动摩擦角,取 25°。

2.4.3 最小扇形地沟床坡度 扇形地的泥石流沟床  
 坡度应大于泥石流的运动坡度,使泥石流能够有较大

的速度进入主河,则泥石流沟床坡度应满足公式(8):

$$\text{tg}\theta_b \geq \frac{(\gamma_H - \gamma_y) \text{tg}\varphi_m}{\gamma_H} \quad (8)$$

通过现场实测及室内分析,依据公式(6)~(8)进  
 行计算,确定野牛沟泥石流在 3 种频率下堵河所需的  
 参数值详见表 3。

表 3 野牛沟泥石流堵河所需参数值

频率/%	泥石流基本参数			堵河所需条件		
	泥石流流量/ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	一次泥石流固体 物质总量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	参与堵河方 量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	最小土体方 量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	最小泥石流流 量/(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	最小扇形地沟 床坡度/‰
1	760.6	33.4	4.7			
2	679.1	19.3	2.7	2.8	267.8~489.8	63
5	520.5	14.1	2.0			

2.5 堵河可能性分析

(1) 目前野牛沟扇形地沟床纵坡为 83‰,满足堵  
 河所需最小扇形地沟床坡度。

(2) 3 种频率下泥石流流量均满足堵河所需最小  
 泥石流流量范围。

(3) 频率为 5% 时,其发生的泥石流规模远无法  
 满足堵河所需最小土体方量,即发生 20 年一遇泥石  
 流时不可能堵河。

(4) 由于野牛沟沟床条件的改变,其与金汤河呈  
 锐角相交后,其再次发生 50 年一遇泥石流时可以参  
 与堵河的方量大幅度降低,最大为 2.7×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,其规  
 模虽不能满足堵河所需方量,但相差无几,在此我们  
 应该考虑到 2005 年泥石流已经造成金汤河河道变  
 窄,河床抬高,流速降低,这些因素都有利于堵河的发  
 生,且野牛沟泥石流具有流速快,流量大,冲击力强等  
 特点,泥石流流出沟口后极易改变扇形地沟道走向,因  
 此认为野牛沟发生频率为 2% 的泥石流时发生堵河  
 的可能性仍较大,至少会造成部分堵河。

(5) 频率为 1% 时,其一次泥石流固体物质总量  
 远大于堵河所需最小土体方量,会造成完全堵河。

3 结论

(1) 野牛沟具备发生泥石流的地形地貌、物源及  
 降雨条件。

(2) P=1% 时,野牛沟泥石流会造成完全堵河。

(3) 野牛沟与金汤河交汇夹角的变化,较大的弱  
 化了泥石流堵塞主河的可能性,P=2% 时,泥石流可  
 能会堵河或部分堵河,P=5% 时则不可能堵河。

(4) 由于野牛沟位于金汤河中游,一旦发生泥石  
 流堵河溃决将严重的威胁金汤河下游的乡镇及数个  
 水电站的安全,建议对野牛沟进行工程治理,汛期应

派专人进行职守。

(5) 对传统的堵河公式进行了修正,使其适用于  
 大渡河中游泥石流沟堵河可能性判别,为区域内泥石  
 流早期识别和预防提供了可靠的方法。

[参 考 文 献]

[1] 郭志学,曹叔尤,刘兴安,等. 泥石流堵江影响因素试验  
 研究[J]. 水利学报,2004(11):39-45.  
 [2] 吴积善,程尊兰,耿学勇. 西藏东南部泥石流堵塞坝的形  
 成机理[J]. 山地学报,2005,23(4):399-405.  
 [3] 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.  
 [4] 党超,程尊兰,刘晶晶. 泥石流堵塞主河条件[J]. 山地学  
 报,2009,27(5):557-563.  
 [5] 朱平一,程尊兰,游勇. 川藏公路培龙沟泥石流输砂堵江  
 成因探讨[J]. 自然灾害学报,2000,9(1):80-83.  
 [6] 徐永年,匡尚富,黄永键,等. 泥石流入汇的危险性判别  
 指标[J]. 自然灾害学报,2002,11(3):33-38.  
 [7] 陈德明,王兆印,何耘. 泥石流入汇对河流影响的实验研  
 究[J]. 泥沙研究,2002(3):22-28.  
 [8] 游勇,程尊兰. 西藏波密米堆沟泥石流堵河模型试验  
 [J]. 山地学报,2005,23(3):289-293.  
 [9] 程尊兰,党超,刘晶晶,等. 藏东南部泥石流堵河试验研  
 究[J]. 地学前缘,2007,14(6):181-187.  
 [10] 张金山,谢洪. 岷江上游泥石流堵河可能性的经验公式  
 判别[J]. 长江流域资源与环境,2008,17(4):651-655.  
 [11] 梁志勇,刘峡,徐永年,等. 泥石流入汇对河流河床演变  
 的影响[J]. 自然灾害学报,2001,10(1):45-50.  
 [12] 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):539-549.  
 [13] 四川省水利电力厅. 四川省中小流域暴雨洪水计算手  
 册[S]. 四川 成都:四川省水利电力厅,1984.  
 [14] 周必凡. 泥石流防治指南[M]. 北京:科学出版社,1991.