

## 四川省九龙县石头沟泥石流动力学特征及其危险性评价研究<sup>\*</sup>

铁永波,唐 川,苏小琴

(成都理工大学 地质灾害与地质环境保护国家重点实验室,成都 610059)

**摘 要:**泥石流是山区常见的地质灾害之一,但由于其爆发频率低、爆发前兆不易识,往往难以引起人们的重视,一旦爆发泥石流,就容易造成灾害。研究泥石流的动力学特征是理解泥石流成因、特征及工程设计参数的重要途径,可为泥石流治理提供科学依据。在对石头沟进行实地调查所获取一手资料的基础上,对该沟泥石流的动力学特征及成因进行分析、计算,并对其危险性做了定量评价,研究结果可为石头沟泥石流的治理及防灾减灾提供可靠依据。

**关键词:**泥石流;动力学特征;形成机理;危险性评价

**中图分类号:** P642.23

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2008)05-0168-03

## Shitougou Debris Flow Dynamic Characters and Its Hazard Risk Assessment in Jiulong of Sichuan Province

TIE Yong-bo, TANG Chuan, SU Xiao-qin

(State key Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

**Abstract:** Debris flow is one of the geologic hazard which often is seen in mountain area, but it is difficult to be recognized because of its low frequency and indiscernible character of occurrence. Once the debris flow occurred, the heaven lose will be happened. Studying the dynamic characteristics and hazard risk assessment can help us to know debris flow and provide parameter for prevention engineer design. Based on the field investigation data of Shitougou, the cause of formation is analyzed, the dynamic parameters are calculated and the risk of debris flow is evaluated, which can provide basis data for Shitougou debris flow mitigation.

**Key words:** debris flow; dynamic character; cause formation; hazard assessment

泥石流是发生在山区一种常见的自然灾害,具有极强的破坏性,往往给当地人民群众的生命财产造成极大威胁,同时也给当地的生态环境造成严重的破坏,严重阻碍着山区经济发展和生态建设。我国 70% 以上的国土面积都以山区为主,而山区又是泥石流活动的主要区域,因此,泥石流灾害也就成为制约山区经济发展和建设中的突出问题。近年来,在人类为满足自身的生存与需求而不断向自然界索取资源的过程中,使得山区原本就较为脆弱的生态环境遭到严重破坏,导致泥石流发生的频率越来越高、成灾越来越严重,每年因泥石流灾害造成的损失也呈直线上升的趋势。在我国西部地区,由于特殊的地形地貌,为泥石流的孕育和发生提供了有利条件,因此,我国是世界上受泥石流危害最严重的国家之一,每年因泥石流灾害而造成数十亿元的经济损失。

### 1 流域基本概况及成灾特点

石头沟所在的乌拉溪乡位于四川省九龙县的南部,属大陆季风高原气候,流域内主要出露砂岩、板岩和浅变质岩。石头沟主沟长 11.25 km,流域总面积约 35 km<sup>2</sup>,海拔范围 1 920 ~ 4 860 m,高差 2 940 m,主沟纵比降为 222 ‰。主沟

以“V”型谷为主,沟宽 5 ~ 30 m 不等。石头沟水系较为发育,呈树枝状分布,各支流与主沟呈锐角交汇。根据其地貌及泥石流物源补给特征,将石头沟划分为清水区、形成区、流通区和堆积区 4 个区。石头沟沟口处的沟道两岸修建有大量的居民房屋,挤压原有沟道,使得沟道变得狭窄,这里也是泥石流最容易造成灾害的区域。2007 年 5 月 24 日,九龙县乌拉溪乡遭受特大暴雨袭击,致使该乡大面积爆发山洪泥石流灾害,全乡共造成 133 户 508 人不同程度受灾,死亡 11 人,失踪 1 人,伤 5 人(其中重伤 2 人);农作物受灾面积 32.6 hm<sup>2</sup>,冲走牲畜 984 头;冲毁省道 215 线 300 余米,九江路交通中断。乌拉溪乡政府所在地的石头沟也在同一天爆发泥石流,造成了严重的灾害。其中有 32 户、156 人受灾,1 人受伤,泥石流冲毁房屋 11 间,电线杆 16 根,破坏电线 2 800 m,桥梁 2 座,冲走牲畜 95 头(只),冲毁耕地 3.89 hm<sup>2</sup>,冲走经济作物 2 208 株,直接经济损失约 300 多万元。目前在石头沟堆积区生活生产有 600 余人(其中包括 432 名小学生和 17 名教师、乌拉溪乡政府工作人员 18 人、派出所工作人员 3 人、卫生院工作人员 6 人及当地数百名群众)受到泥石流灾害不同程度的威胁。

<sup>\*</sup> 收稿日期:2008-02-21

作者简介:铁永波(1979-),男,云南大关人,博士研究生,研究方向:环境地质、地质灾害防治与评价。E-mail:tyb038@sina.com

2 石头沟泥石流成因分析

2.1 降水

降水是泥石流发生的主要诱发和动力因素,一方面降水使得坡面的表层土体失稳,易产生滑坡、崩塌;另一方面,降水形成汇流后强烈冲刷沟道两岸的松散堆积体,使得沟道两岸的松散固体物质不断进入沟道,为泥石流提供物源。石头沟地处大陆性季风高原型气候区,受山区地形的影响,降水量的垂直分布特别明显。根据当地气象部门提供的降水资料显示,2007 年 5 月 24 日凌晨短时间降雨量达 30 mm。短时强降水在短时内无法形成渗流,迅速形成地表径流,汇集到沟道,冲刷沟道及两岸的松散固体物质,启动的松散固体物质参与运动而形成泥石流,因此,短时、强降水是引发该次泥石流的主要因素。

2.2 丰富的松散固体物质

丰富的松散固体物质补给是泥石流发生的一个重要因素,其性状及储量大小决定着泥石流爆发的规模、流体性质及破坏强度等,而它的储量大小与当地的构造、岩性、土壤、人类活动及植被覆盖率等有着很密切的关系。石头沟流域内的松散堆积物的类型有残坡积物( $Q^{cl+dl}$ )、崩坡积物( $Q^{col}$ )和洪水泥石流堆积( $Q^{sed}$ )。泥石流固体物质的补给方式以沟道补给为主,松散固体物质分布不集中,上、中、下游皆有丰富的松散固体物质,主要为沟道内的堆积物和两侧的坡积物。沟道内堆积的松散固体物质较为丰富,堆积层平均厚度约 3 m,石块含量较高,粒径范围 20~50 cm,多呈次棱角状。沟道两岸的滑坡多为浅表层土质滑坡,块石和沙土含量较高,碎石含量相对较低。流域内大量的松散固体物质为泥石流的发生提供了足够的物源条件,一旦降水条件满足,就会发生泥石流。

2.3 陡峻的地形条件

地形条件是泥石流形成的一个重要因素。陡峭的地形不利于地表物质的稳定,易发育崩塌、滑坡等不良地质体及坡面松散固体物质,这些不稳定松散物质在降水的作用下很容易随着雨水进入沟道并堆积,为泥石流的发生提供物源。同时,陡峭的地形产生的势能还可以为坡面地表径流提供强大的势能,对坡面和沟道的松散固体物质强烈冲刷,形成泥石流。石头沟海拔 1 920~4 860 m,沟口到源头海拔高差近 3 000 m,较大的高差及较大的流域面积使得地表水快速而大量汇集,并侵蚀地表和带动松散固体物质的运动,从而产生泥石流。泥石流运动过程中还沿途产生侧蚀和揭底,将沟道内及两侧的松散固体物质一同带走,形成规模更大的泥石流。

3 石头沟泥石流的力学特征

3.1 容重

泥石流静力学特征主要指泥石流流体或浆体的容重、含水量、物质组成、流变特征、化学性质及其静力特征等。由于泥石流的突发性、冲击力大等条件所限,难以直接测得天然泥石流容重,因此,一般采用现场调查试验法进行泥石流容重的测定,即在现场请当地亲眼看见泥石流暴发的居民多人,在需要测试的沟段,选取有代表性的堆积物搅拌成暴发时泥石流流体状态,进行样品鉴定,然后分别测出样品的总质量和总体积,求出泥石流流体容重。在无法取得代表性样品时,可根据泥石流沟易发程度数量化标准得到泥石流的容重,通过现场

试验和综合判断,确定石头沟泥石流的容重为 1.68 t/m<sup>3</sup>。

3.2 流速

泥石流的流速是泥石流重要的动力学参数之一。它不仅反映了泥石流的强度、规模和流体性质,而且决定着防治泥石流工程建筑物的类型、结构和尺寸。因此,泥石流的洪峰流量是泥石流研究和防治工程中不可缺少的参数。流速  $V_c$  可按照稀性泥石流的计算公式进行计算<sup>[1]</sup>:

$$V_c = \frac{1}{a} \cdot \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I_c^{0.5}$$

式中: $\frac{1}{a}$ ——泥石流中含沙量变化引起的流速修正系数, $\frac{1}{a} = \frac{1}{(H+1)^{0.5}}$ ;  $R$ ——水力半径(m);  $I_c$ ——泥石流水力坡度(‰,用沟床纵坡代替; $\frac{1}{n}$ ——清水河床糙率系数;——

泥石流泥沙修正系数, $= (\frac{c-w}{H-c})$ ;  $c$ ——泥石流容重(t/m<sup>3</sup>);  $w$ ——清水容重(t/m<sup>3</sup>),取 1.0 t/m<sup>3</sup>;  $H$ ——泥石流中固体物质重度(t/m<sup>3</sup>)。根据以上计算公式,石头沟泥石流的平均流速为 8.28 m/s。

3.3 泥石流流量

泥石流流量计算,目前主要有两种方法,一是雨洪法;二是形态调查法。根据石头沟气象特征,采用雨洪法计算其流量。假设泥石流与暴雨同频率、且同步发生,先按水文方法计算出断面不同频率下的小流域暴雨洪峰流量(计算方法查阅四川省水文手册),然后选用堵塞系数,按下式计算泥石流流量<sup>[1,2]</sup>:

$$Q_c = (1 + ) Q_p \cdot D_c$$

式中: $Q_c$ ——频率为  $P$  的泥石流洪峰值流量(m<sup>3</sup>/s);  $Q_p$ ——频率为  $P$  的暴雨洪水设计流量(m<sup>3</sup>/s);——泥石流泥沙修正系数;  $c$ ——泥石流容重(t/m<sup>3</sup>);  $w$ ——清水的重度(t/m<sup>3</sup>),为 1.0;  $H$ ——泥石流中固体物质重度;  $D_c$ ——泥石流堵塞系数。

按照雨洪法,利用泥石流流量公式计算所得的泥石流最大流量如表 1 所示:

表 1 泥石流最大流量计算结果

项 目	计算结果	
流域面积 $F$ /km <sup>2</sup>	35	
沟长 $L$ /km	11.25	
平均坡降 $J$ /‰	222	
泥沙修正系数	0.71	
设计频率 $p$ /%	2	5
暴雨洪峰流量 $Q_p$ /(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	87.49	72.54
泥石流峰值流量 $Q_c$ /(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	224.43	186.00

3.4 一次泥石流过程总量计算

一次泥石流总量  $Q$  可通过计算法和实测法确定。实测法精度高,但因往往不具备测量条件,只是一个粗略的概算。计算法根据泥石流历时  $T$ (s)和最大流量  $Q_c$ (m<sup>3</sup>/s),按泥石流暴涨暴落的特点,将其过程线概化成五角形计算。按下式计算<sup>[3]</sup>:

$$Q = 0.264 T Q_c = K T Q_c$$

一次泥石流冲出的固体物质总量  $Q_H$ (m<sup>3</sup>):

$$Q_H = \frac{Q(c-w)}{(H-w)}$$

根据该公式,在计算频率为 20 a 一遇的情况下,石头沟

一次泥石流冲出的最大固体物质总量为 41 800 m<sup>3</sup>;在计算频率为 50 a 一遇的情况下,一次泥石流冲出的最大固体物质总量为 50 500 m<sup>3</sup>。

3.5 泥石流流体中大石块的最大流速

按照规范,用以下经验公式计算<sup>[1]</sup>:

$$V_s = a \cdot d_{\max}^{0.5}$$

式中:  $V_s$  ——泥石流中大石块的移动速度(m/s); ——全面考虑摩擦系数、泥石流容重、石块比重、石块形状系数、沟床比降等因素的参数,3.5 ~ 4.5,平均 = 4.0;  $d_{\max}$  ——泥石流堆积物中最大石块粒径(m)。通过计算,石头沟泥石流大石块的最大速度为 6.32 m/s。

石头沟泥石流的动力学参数计算结果见表(2)。

表 2 石头沟泥石流动力学参数计算结果

参 数	结果	参 数	结果
泥石流平均流速/(m·s <sup>-1</sup> )	8.28	泥石流断面设计流量(形态调查法)(m <sup>3</sup> /s)	165.00
大石块运动速度/(m·s <sup>-1</sup> )	6.32	20 a 一遇清水洪峰流量(雨洪法)(m <sup>3</sup> /s)	72.54
容重/(t·m <sup>-3</sup> )	1.68	20 a 一遇泥石流洪峰流量(雨洪法)(m <sup>3</sup> /s)	186.06
石块冲击力/Pa	14353	20 a 一遇一次泥石流可能最大冲出量(m <sup>3</sup> )	41800
泥石流整体冲压力/Pa	15.64 ×10 <sup>4</sup>	50 a 一遇清水洪峰流量(雨洪法)(m <sup>3</sup> /s)	87.00
爬高/m	2.8	50 a 一遇泥石流洪峰流量(雨洪法)(m <sup>3</sup> /s)	224.00
最大冲起高度/m	3.5	50 a 一遇一次泥石流可能最大冲出量(m <sup>3</sup> )	50500

4 石头沟泥石流形成机理分析及危险性评价

4.1 石头沟泥石流形成机理分析

按泥石流形成动力条件分类,石头沟泥石流属水力类泥石流,其基本特点是暴发频率较低、间歇周期较长。从诱发因素来看,石头沟泥石流主要为降雨型泥石流,在强降雨作用下,雨水迅速形成地表径流并形成山洪,强烈冲刷侵蚀沟道内的松散土体物质,在短时间内将沟谷中堆积物一扫而光、席卷而去,形成规模较大的泥石流过程。依据非饱和土强度理论,石头沟泥石流形成可分为两个阶段:第一个阶段是在降水作用下,处于非饱和状态的固体松散物质的含水量增加、基质吸力下降、抗剪强度降低,并产生孔隙水压力,使得松散固体物质的稳定性遭到破坏。第二个阶段是由于在第一阶段已经达到饱和的松散固体物质含水量持续增加、孔隙水压力增大,导致松散固体物质启动而发生泥石流,在该阶段短历时的具有一定强度的降雨起主导诱发作用。例如,四川省喜德东沟和雅安陆王沟、云南东川因民黑水沟,以及近期造成重大灾害的四川青川铁炉坪沟和金沙江支流美姑河泥石流都属于此类<sup>[4-6]</sup>。

4.2 石头沟泥石流危险性评价

危险度评价是对泥石流的发展趋势所进行的预测评价,危险度则是它的定量表达。根据刘希林等的研究,单沟泥石流危险度评价因子包括泥石流规模  $M$ 、频率  $F$ 、流域面积  $S_1$ 、主沟长度  $S_2$ 、流域相对高差  $S_3$ 、流域切割密度  $S_6$  及不稳定沟床比例  $S_9$ 。单沟泥石流危险度的计算采用刘希林等推荐的公式,其计算公式为<sup>[7]</sup>:

$$H_{\text{单}} = 0.29M + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_6 + 0.03S_9$$

式中  $M, F, S_1, S_2, S_3, S_6, S_9$  分别按照单沟泥石流危险度评价因子的转换函数表计算可得相应的转换值并带入公式进行计算并进行分级判定。若计算值( $H_{\text{单}}$ ) < 0.2,为极低危险;计算值在 0.2 ~ 0.4 之间为低度危险;计算值在 0.4 ~ 0.6 之间为中度危险;计算值在 0.6 ~ 0.8 之间为高度危险;计算值在 0.8 ~ 1.0 之间为极高危险。

通过将石头沟的流域参数带入该公式,计算得到石流危险度为 0.625,根据危险度的判断标准,该沟泥石流危险度属于高度危险,即还有发生大规模泥石流的可能性。

5 石头沟泥石流防治建议

通过对石头沟泥石流的成因分析、动力学参数计算及危险度评价研究,该沟还有爆发大规模泥石流的可能性,且一次泥石流冲出量较大,还会给下游的乌拉溪乡造成潜在的危害。为了确保下游人民群众生命财产的安全,必须在短期内对该沟进行工程治理,以防再次发生泥石流造成灾害。同时,从可持续发展的角度考虑,还要开展一系列生态措施,以保持流域内良好的生态环境,从根本上起到抑制泥石流发生的作用。根据石头沟的物源分布特征和工程地质条件,对该沟泥石流的工程防治主要采取上游稳(拦)、下游排。由于该沟一次泥石流冲出量较大,要想将所有冲出物拦挡是不符合实际的,因此考虑采用以排为辅、以拦为主的原则。即通过修建拦挡坝削弱泥石流的洪峰流量、降低运动速度、减小其破坏力;同时在下stream修建排导槽,将冲出的泥石流引到不会危害到人们生命财产的安全区。

参考文献:

[1] 王继康. 泥石流防治工程技术[M]. 北京:中国铁道出版社,1996:61-63.  
[2] 四川省水利厅. 四川省中小流域暴雨洪水计算手册[M]. 成都:四川省水利厅,1984.  
[3] 中华人民共和国国土资源部. 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. 2005.  
[4] 唐川,黄润秋,黄达,等. 金沙江美姑河牛牛坝水电站库区泥石流对工程影响分析[J]. 工程地质学报,2006,14(2):145-151.  
[5] 唐川,张伟峰,黄达. 美姑河牛牛坝水电站库区泥石流基本特征[J]. 防灾减灾工程学报,2006,26(2):129-135.  
[6] 黄达,唐川,黄润秋,等. 美姑河马洛西沟泥石流特征及危险性研究[J]. 成都理工大学学报:自然科学版,2006,33(2):162-167.  
[7] 刘希林,唐川. 泥石流危险性分析[M]. 北京:科学出版社,1995.