

Dynamic Characteristics and Mitigation of Reshui Gully Debris Flow in Luding County

Ruge Xu, Zhi Song, Renji Ba

Chengdu Center of China Geological Survey, China Geological Survey, Chengdu Sichuan
Email: xuruge@163.com

Received: Nov. 3rd, 2017; accepted: Nov. 17th, 2017; published: Nov. 27th, 2017

Abstract

Reshui gully is located in Hailuo valley scenic spot, the debris flow poses a great threat to the scenic road and section 2, which are located in the lower reaches of the basin. Based on the field survey, dynamic characteristics of debris flow in 2010 were researched. According to the dynamic parameters of the debris flow, the scale of debris flow is generally small, the flow rate is larger, and the destructive force is larger. The blocking gully and dam break of the landslide will increase the scale and destructive force of the debris flow. The debris flow should increase landslide monitoring and engineering measures. It is necessary to publicize the knowledge of disaster prevention and reduction to tourists.

Keywords

Debris Flow, Dynamics Characteristics, Monitoring and Early Warning, Reshui Gully in Luding County, Hailuo Valley in Sicuan Province

泸定县热水沟泥石流流动力学特征与防治对策

徐如阁, 宋志, 巴仁基

中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都
Email: xuruge@163.com

收稿日期: 2017年11月3日; 录用日期: 2017年11月17日; 发布日期: 2017年11月27日

摘要

热水沟位于海螺沟风景区, 该沟泥石流对流域下游的景区公路和二号营形成极大的威胁。在对热水沟实地调查的基础上, 研究了2010年热水沟泥石流流动力学特征。根据热水沟泥石流一般规模较小, 流速较大,

破坏力较大, 沟内滑坡堵溃会加大泥石流规模和破坏力的特征, 提出了在现有专业监测的基础上增加滑坡监测、以排导为主, 稳、拦为辅的工程措施和加强对游客防灾减灾知识宣传的防治对策。

关键词

泥石流, 动力学特征, 监测预警, 泸定县热水沟, 四川省海螺沟

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

泥石流是山区常见的地质灾害之一, 具有暴发突然、高流速及破坏力巨大等特点[1], 给当地人民群众的生命安全造成极大的威胁, 同时也给当地的生态环境造成破坏, 严重阻碍当地的经济发展和生态建设[2]。而风景区内的泥石流威胁更大, 造成的后果也更严重。2005年8月11日, 我国四川省境内磨西河流域内群发泥石流, 泥石流不仅冲毁房屋、公路和水电站, 更造成1200余名游客被困在海螺沟景区内, 造成数千万元的经济损失[3]; 泥石流发生之后, 整个景区基础设施陷于瘫痪, 景观和生态环境遭受严重破坏, 游客大幅减少, 旅游收入蒙受重大损失[4]。对海螺沟内泥石流开展研究并提出防治建议, 对其防灾减灾具有重要意义。海螺沟是我国著名的风景区, 风景区内泥石流的防治不同于威胁城镇、交通泥石流的防治, 不仅要有效控制泥石流, 还要达到保护景观、保护游客的目的, 治理工程要与景观相协调[5]。谭万沛在20世纪90年代提出海螺沟地质灾害的防治对策主要为加强宣传、树立警示标记、加强工作人员防灾培训、合理选择游览时间、建立监测网络等措施[6]; 何德伟等提出制定景区防灾规划、建立泥石流预测预报和预警系统、设置警示标识、系统开展治理和生态保护[4]; 倪化勇提出了加强游客和工作人员防灾避灾宣传、树立警示牌、沟口跨越工程、热水沟和黄崩溜小沟修建排导槽或堡坎[7]; 晏鄂川等对海螺沟3个营地附近的地质灾害问题分别提出了防治对策, 其中热水沟的治理方案是疏导[8]; 倪化勇研究了磨西河流域泥石流爆发的临界雨量值, 为该区域泥石流的降雨监测提供了降雨阈值[9]。根据实地调研发现, 海螺沟内群测群防网络健全、工作人员防灾意识强, 有部分治理工程和专业监测, 但对游客的防灾减灾宣传有待加强; 热水沟有专业监测设备但未进行治理, 二号营地处于半营业状态。本文通过对2010年热水沟泥石流动力学参数计算, 结合2013年泥石流调查成果, 发现热水沟泥石流以小规模为主, 但沟内滑坡堵溃会加大泥石流规模和破坏力, 综合前人的防治经验, 提出专业监测、工程治理、加强宣传相结合的防治模式。

2. 流域背景概况

热水沟流域内海拔最高点为5888 m, 最低点为2425 m, 相对高差为3463 m, 主沟床平均纵比降为343‰; 山坡坡度一般在30°~36°, 最大达53°; 主沟以“V”型谷为主, 沟宽3~8 m; 是一条典型的极高山陡坡大比降小流域沟谷。根据其地貌及泥石流物源补给特征, 将热水沟划分为冻融区、形成区、流通区和堆积区。冻融区主要为海拔3500 m以上的区域, 沟道比降为589‰, 植被稀疏, 岩体破碎, 崩落现象突出。形成区高程范围2625~3500 m, 沟道比降为350‰, 沟道两岸冰碛物大面积分布, 受沟谷下切影响, 冰碛体发生较多的崩塌、滑坡。流通区高程范围2440~2625 m, 沟道比降为170‰, 沟道较宽阔, 相对平缓, 略曲折, 海螺沟二号营地及景区公路位于该区域。堆积区高程范围2425~2440 m, 堆积扇中等

大小, 堆积体坡度平缓, 约为 10° (如图 1)。

流域内岩浆岩集中在中上游, 为斜长花岗岩混合岩($\gamma\sigma_5^2$), 岩体风化严重, 节理发育, 表层破碎, 冰雪崩积锥分布较多。变质岩集中在中下游, 为下二叠统中段(P_1^2)灰岩、白云岩、石英片岩, 下二叠统上段(P_1^3)大理岩夹云母石英片岩, 上二叠统(P_2)绿片岩、石英岩夹板岩、大理岩, 基岩大面积出露, 残坡积物厚度不大。泥石流堆积物(Q_h^{apl+df})集中在沟口堆积扇和下游沟道中。冰碛物(Q_h^{gl})集中分布在距沟口约 2 km 的沟道两岸和沟口处; 冰碛物较松散, 发育 5 个大滑坡, 均处于活动状态, 是热水沟泥石流固体物质的主要来源[8]。目前热水沟松散堆积物的总储量估算约为 $195 \times 10^4 \text{ m}^3$, 强活动物源储量约为 $9 \times 10^4 \text{ m}^3$, 具备再发泥石流的物源条件。

3. 泥石流动力学特征

2010 年 8 月热水沟爆发小规模泥石流, 泥石流冲入海螺沟, 冲毁部分温泉泳池。根据现场调查结果, 对该次泥石流的流速、流量、撞击力、一次泥石流总量和固体物质总量进行计算。

3.1. 流速

热水沟泥石流爆发时, 水石混杂, 似山洪爆发, 浆体较稀, 为稀性泥石流, 采用西南地区的稀性泥石流流速计算公式[10]计算其流速:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{r_H \phi + 1}} \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (1)$$

热水沟取 $1/n$ 清水河床糙率系数为 10, 水力半径 R 用平均水深 1.5 m 代替, 水力坡度 I 用流通区沟床纵坡 169.7‰代替, 泥石流固体物质比重 r_H 取 2.65 t/m^3 , 泥石流泥沙修正系数 ϕ 为 0.65。则热水沟泥石流流速为 6.52 m/s。

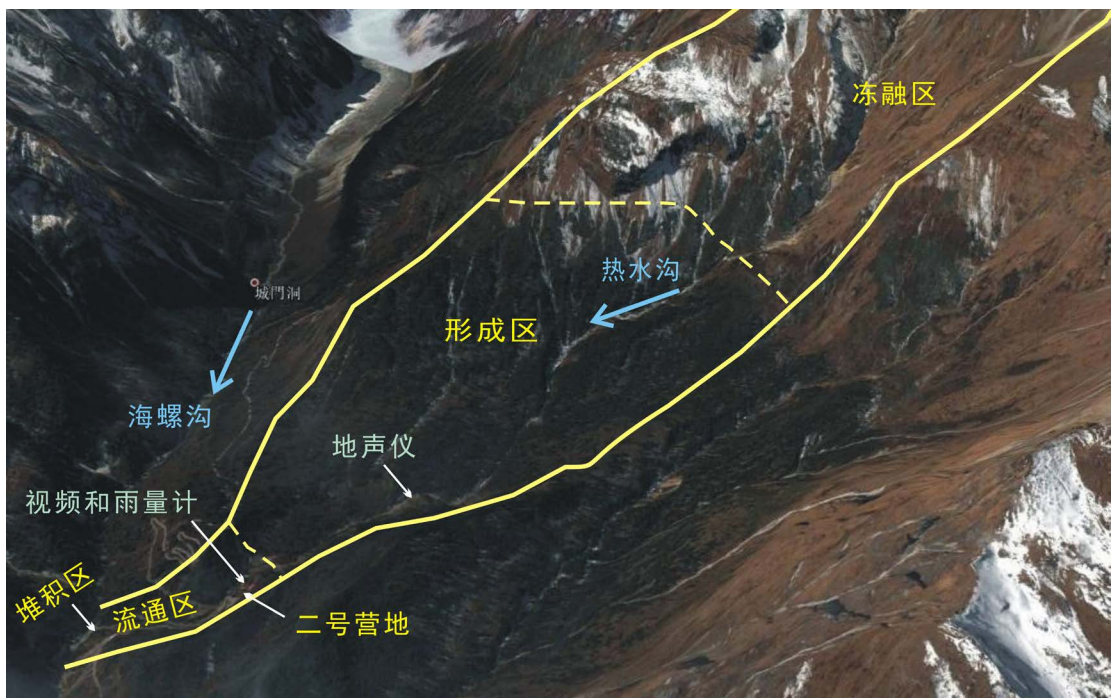


Figure 1. Layout of debris flow monitoring equipment in Reshuigou

图 1. 热水沟概貌和泥石流监测设备布置图

3.2. 流量

泥石流流量计算方法有两种，一是雨洪法；二是形态调查法。将形态调查法的结果与雨洪法结果进行比较，可以确定一次泥石流的发生频率。

1) 雨洪法

假设泥石流与暴雨同频率、且同步发生，按下式[10][11]计算泥石流流量 Q_c ：

$$Q_c = (1 + \Phi) Q_p \cdot D_c \quad (2)$$

其中： Q_p 为暴雨洪峰流量， D_c 堵塞系数， Φ 为泥砂修正系数。

计算结果如表 1 所示。

2) 形态调查法

调查泥石流泥位和过流断面，根据公式[10]求泥石流断面峰值流量 Q_c ：

$$Q_c = W_c \cdot V_c \quad (3)$$

其中： V_c 为泥石流流速， W_c 为过流断面面积。

用上式计算的流通区上段和下段泥石流峰值流量 Q_c 分别为 $124 \text{ m}^3/\text{s}$ 和 $193 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

3.3. 撞击力

泥石流撞击力是泥石流防治工程设计的重要参数。

泥石流流体整体冲压力计算公式[10]：

$$\delta = \lambda \gamma_c V_c^2 \frac{\sin \alpha}{g} \quad (4)$$

泥石流中石块的冲击力的计算参照以下公式[10]：

$$P_d = r V_c \sin \alpha \sqrt{\frac{Q}{C_1 + C_2}} \quad (5)$$

其中： λ 为建筑物形状系数， γ_c 为泥石流重度， α 为受力面与冲击方向夹角， V_c 为泥石流流速， g 为重力加速度， r 为动能折减系数， Q 为石块质量， $C_1 + C_2$ 为弹性变形系数。

通过计算，热水沟泥石流的整体冲压力 δ 约为 92.5 kPa ，泥石流中石块的冲击力 P_d 为 9.8 kPa 。

3.4. 一次泥石流总量及输砂量

算法根据泥石流历时 $T(\text{s})$ 和最大流量 $Q_c (\text{m}^3/\text{s})$ ，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[10]计算一次泥石流总量 $Q(\text{m}^3)$ 。

$$Q = 0.264 T Q_c = K T Q_c \quad (6)$$

$F = 10 \sim 100 \text{ km}^2$ ， $K = 0.0378$ 。

一次泥石流冲出的固体物质总量 $Q_H (\text{m}^3)$ ：

$$Q_H = \frac{Q(\gamma_c - \gamma_w)}{(\gamma_H - \gamma_w)} \quad (7)$$

根据计算，得到形态调查与不同频率下的一次泥石流过程总量与冲出固体物质总量，见表 2。

Table 1. Debris flow discharge based on storm flood peak
表 1. 雨洪法计算泥石流流量

项目	结果			
流域面积 F/km^2	10.98			
沟长 L/km	7.66			
平均坡降 $J/\%$	391.64			
泥沙修正系数 Φ	0.65			
设计频率 $p/\%$	10	5	2	1
暴雨洪峰流量 $Q_p/\text{m}^3/\text{s}$	59	73	92	107
泥石流峰值流量 $Q_c/\text{m}^3/\text{s}$	142	176	222	258

Table 2. Volume and total solid matter of debris flow
表 2. 一次泥石流过程与固体物质总量表

计算频率	调查法	10%	5%	2%	1%
最大流量 $Q_c (\text{m}^3/\text{s})$	193/124	142.60	176.44	222.38	258.70
泥石流总量 $Q (10^4 \text{ m}^3)$	-	0.97	1.20	1.51	1.76
固体物质总量 $Q_H (10^4 \text{ m}^3)$	0.5	0.38	0.47	0.59	0.69

4. 泥石流防治对策

4.1. 监测预警

通过实地调查,海螺沟二号营地和景区公路位于泥石流危险区,热水沟泥石流已对二号营地的正常运营产生影响。2010年在中国地质调查局项目的依托下对该沟进行监测预警,热水沟泥石流的监测方案为雨量监测、地声监测和视频监测相结合的综合监测方案(图1),雨量计、视频设备和地声警报设备置于二号营地,无线地声遥测仪安装于二号营地上游约1.5 km处沟道内,并于2010年底完成设备安装。

雨量监测主要是预报特定降雨强度下可能会发生泥石流灾害[12];视频监测了解泥石流在发生过程中的运动特征[13]。地声监测主要是对泥石流进行提前预警[14]。

经监测,2013年7月12日23点30分热水沟内滑坡堵溃形成中等规模泥石流,方量约12万 m^3 ,无人员伤亡,二号营地内的部分建筑被破坏和淤埋。无线地声监测仪提前约2分钟发出警报,成功预报了该次泥石流,获取的监测资料为该地区泥石流的科学研究提供了丰富的资料[15]。

4.2. 防治建议

1) 加强监测:群专结合的监测是预防泥石流的有效措施,我国地质灾害的群测群防具有许多成功的案例和经验。热水沟内群测群防网络健全,应该继续予以加强;而专业的监测更是必不可少,目前的监测方案取得了较理想的效果;由于沟内滑坡堵溃易形成较大规模的泥石流,可在原有监测方案的基础上,增加滑坡监测。

2) 加强对游客防灾避灾知识的宣传:海螺沟是著名的旅游景区,每年接待游客30万人次,旅游旺季同时是泥石流频发的季节,而游客大多数防灾避灾意识薄弱,而二号营地正处于热水沟内,受泥石流威胁大,因此需加强对游客防灾避灾的宣传。除树立标识标牌外,还应印发宣传册,给每位入住二号营地的游客发放一份;导游为游客讲解自然风光的同时还应告知泥石流的防灾减灾知识。

3) 采取一定的工程措施: 热水沟内河道起伏大, 局部堵塞, 应该进行疏通与清理。由于河道较窄、二号营地又紧邻河道, 滑坡堵溃后泥石流规模较大, 仅靠排导槽难以达到理想的治理效果, 因此建议同时修建排导槽、谷坊坝等工程措施进行治理, 并修建防护堤保护二号营地。

5. 结论

1) 热水沟位于海螺沟风景区内, 泥石流对二号营地和景区公路造成较大的威胁, 沟内物源丰富, 近年来泥石流频发。该沟泥石流一般规模较小, 流速较大, 冲击力较大, 沟内滑坡堵溃会加大泥石流规模和破坏力, 研究其动力学参数对该沟的防灾减灾具有重要的科学意义。

2) 由于热水沟处于海螺沟风景区内, 威胁二号营地和公路, 建议在现有的专业监测基础上增加沟内滑坡监测, 工程治理应以排导为主辅以稳、拦, 同时还应采用多种方式加强对游客防灾避灾知识的宣传。

3) 目前, 在热水沟开展了雨量、视频和地声监测预警手段, 积累了大量的监测数据, 为开展热水沟泥石流形成机理的研究提供科学依据。

基金项目

国家自然科学基金项目“地震扰动的泥石流源区砾石土强度恢复动态过程实验研究”(项目编号: 41502337), 中国地质调查局地质调查项目“四川西昌等城镇和金沙江下游水电开发区工程地质调查”(项目编号: DD20160722), 四川省国土资源厅联合科技攻关项目“四川地质灾害综合防治关键技术与方法研究”(项目编号: 0773-1641GNSC01693)。

参考文献 (References)

- [1] 康志成, 李焯芬, 马蔼乃, 等. 中国泥石流研究[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 铁永波, 唐川, 苏小琴. 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[J]. 水土保持研究, 2008, 15(5): 168-170.
- [3] 陈晓清, 崔鹏, 陈斌如, 等. 海螺沟 050811 特大泥石流灾害及减灾对策[J]. 水土保持通报, 2006, 26(3): 123-126.
- [4] 何德伟, 马东涛, 黄海, 等. 贡嘎山旅游景区泥石流灾害及减灾对策[J]. 水土保持通报, 2008, 28(1): 140-144.
- [5] 崔鹏, 柳素清, 唐邦兴, 等. 风景名胜区分泥石流治理模式: 以世界自然遗产九寨沟为例[J]. 中国科学 E 辑: 技术科学, 2003, 33(S): 1-9.
- [6] 谭万沛. 海螺沟风景区地质灾害对旅游的影响及防治对策[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1995, 7(2): 81-85.
- [7] 倪化勇. 海螺沟景区典型泥石流流域地貌特征及灾害防治[J]. 水土保持研究, 2010, 17(1): 154-158.
- [8] 晏鄂川, 唐辉明, 傅荣华. 海螺沟生态旅游风景区地质环境评价[J]. 地球科学, 2002, 27(1): 110-114.
- [9] 倪化勇, 李宗亮, 巴仁基, 等. 贡嘎山东坡磨西河流域泥石流暴发的临界雨量值初探[J]. 山地学报, 2007, 25(6): 721-728.
- [10] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0220-2006 泥石流灾害防治工程勘查规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [11] 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.
- [12] 高速, 周平根, 董颖, 等. 泥石流预测、预报技术方法的研究现状浅析[J]. 工程地质学报, 2002, 10(3): 279-283.
- [13] 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[J]. 灾害学, 2013, 28(3): 204-209.
- [14] 徐如阁, 铁永波, 巴仁基. 西南山区典型低频泥石流沟谷特征与监测预警——以四川省泸定县兴隆沟为例[J]. 地质灾害与环境保护, 2017, 28(3): 10-13.
- [15] 王春山. 降雨在时间分布的多重分形特征及对泥石流预测的指示[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2014, 37(2): 1-6.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org