

# 汶川震区哈尔木沟泥石流活动特征及防治

黄海, 石胜伟, 谢忠胜

(中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 611734)

**摘要:**哈尔木沟位于杂谷脑河中游, 属于“5·12”汶川震区重灾区, 历史上多次暴发泥石流灾害, 曾于 1989 年 8 月暴发泥石流堵塞杂谷脑河。受“5·12”地震影响, 泥石流灾害相对震前具有规模增大、频率增高、活跃期增长等特点。分析哈尔木沟自然环境背景, 发现哈尔木沟的地形地貌和降水条件均有利于泥石流的暴发, 受新构造运动与地震影响, 沟域内发育大量崩滑体为泥石流的形成提供丰富的松散固体物质。目前沟内由于松散固体物质充足, 诱发泥石流灾害的降雨临界值较低, 近 5 年每年均暴发泥石流。针对哈尔木沟的具体情况, 提出了拦排结合的治理思路, 修建拦挡坝调节泥石流峰值流量, 排导槽将泥石流顺利排泄至主河。历经近 5 个水文年, 表明防治工程治理效果良好。

**关键词:**泥石流; 活动特征; 防治对策; 汶川震区; 哈尔木沟

**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)07-0024-05

**Activity Characteristics of Debris Flow in Haermu Ravine of Wenchuan Earthquake Area and the Countermeasures/HUANG Hai, SHI Sheng-wei, XIE Zhong-sheng (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)**

**Abstract:** Haermu ravine is located in the middle reaches of Zagunao river and belongs to “5·12” Wenchuan earthquake area, where debris flow rushed down many times in the history and once blocked off Zagunao river in August 1989. By the influence of “5·12” earthquake, the debris flow is with the characteristics of larger scale, higher occurrence frequency and longer active period than before. Based on the analysis on natural environment background of Haermu ravine, it is found that the topography and precipitation conditions of Haermu ravine are conducive to the outbreak of debris flow; by the influence of neotectonics movement and earthquake, large amount of slumped mass developed in ravine domain, which provides a wealth of loose solid material for debris flow. Currently, due to the enough loose solid material and the low rainfall threshold of debris flow, debris flow takes place every year in recent 5 years. According to the specific conditions of Haermu ravine, the disaster control idea of interception combined with drainage was proposed, blocking dam was built to regulate the peak flow of debris flow and drainage canal was utilized to drain the debris flow to the main river. Through nearly 5 hydrologic years, good effects of control engineering are presented.

**Key words:** debris flow; activity characteristic; countermeasures; Wenchuan earthquake area; Haermu ravine

## 0 引言

哈尔木沟位于四川省阿坝州理县东南侧, 杂谷脑河中游, 自 1988 年 5 月以来, 每年均暴发泥石流, 造成不同程度危害, “5·12”汶川地震前最大的泥石流灾害为 1989 年 6 月 16 日<sup>[1]</sup>, 此次泥石流淤埋沟口农田 35 亩, 冲毁房屋 3 户, 摧毁钢索吊桥一座, 并堵塞杂谷脑河, 形成堰塞湖, 回淹区淹没农田 100 余亩, 泥石流强烈冲刷作用冲毁对岸国道 G317 路基 300 余米, 造成道路中断 30 多天, 造成巨大经济损失。“5·12”汶川地震后, 哈尔木沟泥石流暴发频率进一步增高, 每年雨季均暴发二三次规模不等的泥石流灾害, 给当地居民造成严重危害。本文通

过对哈尔木沟泥石流 3 大形成条件: 地形条件, 降雨条件以及物源条件进行详细分析, 对设防标准下的泥石流规模参数进行计算, 并针对保护对象及防灾目标提出相应的防治对策。

## 1 自然环境背景

### 1.1 流域概况及危害

哈尔木沟位于泥石流灾害高发区杂谷脑河中游, 四川省阿坝州理县东北侧, 沟口坐标地理位置为 103°13′21.91″E, 31°30′58.17″N。哈尔木沟距离理县县城 11 km, 距离甘堡乡 4.5 km。哈尔木沟流域面积 6.35 km<sup>2</sup>, 主沟长度 4.646 km, 平均沟床纵比

收稿日期: 2013-06-15

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目“西南山区重大泥石流灾害防治技术优化集成与示范研究”(12120113011000)。

作者简介: 黄海(1984-), 男(汉族), 湖南醴陵人, 中国地质科学院探矿工艺研究所工程师, 岩土工程专业, 从事地质灾害成灾机理和防治技术研究工作, 四川省成都市郫县现代工业港(北区)港华路 139 号, hhai84@163.com。

降 412.7‰。沟口堆积扇区目前为木堆村主要居民区并分布有“5·12”地震灾民安置区,共 43 户 310 人,沙场工人 100 余人,耕地 300 余亩,G317 国道从沟口对岸通过。此外,本区木堆羌寨为理县羌族文化重要旅游景区之一。泥石流正处于活动期,一旦其大规模暴发,势必对以上对象造成严重威胁,据初步估算,其潜在经济损失将超过 1000 万元。

### 1.2 地形地貌

研究区属典型的高山峡谷区,山峦起伏,山势陡峻,支沟发育,河谷深切,相对高差大,水流湍急。两岸岩层破碎,岸坡稳定性差,易发生滑坡、泥石流等灾害,是岷江流域滑坡泥石流灾害分布最为集中的地区之一<sup>[2]</sup>。沟口海拔 1665 m,最高海拔 3610 m。最大相对高差 1945 m,如图 1 所示。沟谷岸坡分 3 级:下段坡度较陡,坡度在 40°~45°之间;中段为缓坡段,坡度越 30°~35°之间,坡体上分布有居民房屋建筑及耕地;上段为陡坡段,坡度在 45°以上。根据沟域内泥石流运动特征,沟域可划分为清水区、形成区、流通补给区和堆积区 4 个区域(见表 1)<sup>[3]</sup>。

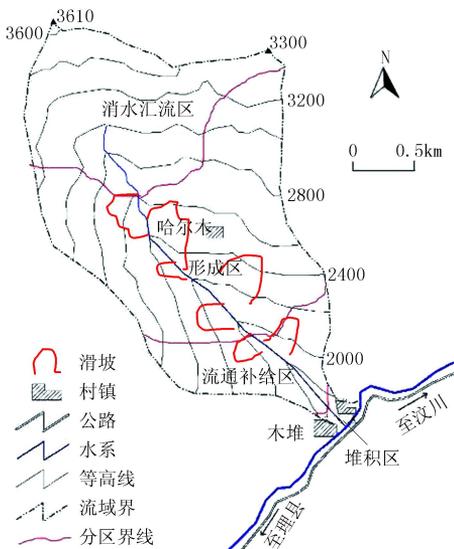


图 1 哈尔木沟流域图

表 1 哈尔木沟各分区特征

分区	面积 /km <sup>2</sup>	沟长 /m	沟床高程范围 /m	高差 /m	沟床纵比降 /‰
清水汇流区	1.38	2037	2600~3610	1010	495.8
形成区	3.86	1680	1950~2600	650	386.9
流通区	0.79	689	1700~1950	250	362.8
堆积区	0.32	240	1665~1700	35	145.8

### 1.3 气象

研究区属岷江上游干旱河谷地区,气候受地形影响显著。区内海拔高差悬殊,地形复杂,气候差异显著,具有山地立体型气候特征。总体降水量少而

集中,因季节分配不均,干雨季分明,全年平均降雨量雨季集中于 5~9 月,占全年的 71% 以上。根据理县县城气象资料进行插值计算,哈尔木沟多年平均气温 11.4℃,多年平均降雨量为 603.7 mm,日最大降雨量 51.2 mm,时最大降雨量 24.3 mm,10 min 最大降雨量 19.8 mm。研究区降雨特征见表 2。

表 2 研究区降雨情况

地名	海拔 /m	年总降雨量/mm	5~9 月降雨量/mm	占全年总量比例/%	10 min 雨强 P=5%
甘堡乡(距沟口 4.5 km)	1805	550.1	390.7	71.0	23.73

研究区降雨集中,20 年一遇的频率下 10 min 雨强均在 30 mm 以上,据吴积善等研究成果<sup>[4]</sup>,其暴雨雨强完全可以满足激发泥石流的条件。高强度集中暴雨是泥石流的主要诱发因素。

### 1.4 地质构造

研究区主要受薛城 S 形构造控制,压扭性弧形断层较发育,褶皱紧密。在地貌上表现为山高坡陡、水系发育。区内地层岩性复杂,以泥盆系危关群和志留系茂县群的千枚岩、砂岩为主。河谷两侧斜坡主要覆盖有残坡积层,高海拔区域还分布有冰水堆积分布。岩性软弱、构造复杂以及邻近区域新构造运动强烈为泥石流的发育提供了丰富的松散固体物质条件。泥石流沟的松散固体物质来源主要有:滑坡、崩塌、坡面重力侵蚀和沟床物质。其中尤其以滑坡崩塌最为丰富,是形成泥石流的主要物质来源。

## 2 泥石流活动特征

### 2.1 松散物源储量

哈尔木沟泥石流松散固体物源较丰富,且物源分布相对较为集中,主要分布于主沟 2050~2500 m 段。本次勘查共调查物源点 25 个,物源类型主要包括崩滑堆积物源(17 个)(图 2 和图 3)、沟道堆积物源(5 个)和坡面侵蚀物源(3 个)等 3 类。



图 2 沟内典型滑坡群

据统计,沟域内崩塌堆积固体物源总量为  $8.04 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,可能参与泥石流活动的动储量为  $7.54 \times 10^4 \text{ m}^3$ ;滑坡堆积固体物源总量为  $452.49 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,



图3 沟内典型高位滑坡



图4 2011年7月泥石流堆积



图5 2011年7月泥石流堆积

可能参与泥石流活动的动储量为  $97.21 \times 10^4 \text{ m}^3$ ; 沟道堆积固体物源总量为  $1.85 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 可能参与泥石流活动的动储量为  $1.85 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 坡面侵蚀固体物源总量为  $2.72 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 可能参与泥石流活动的动储量为  $0.85 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 共计有松散固体物源量  $468.41 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 可能参与泥石流活动的动储量为  $109.32 \times 10^4 \text{ m}^3$  (参见表3)。

表3 物源物质储量汇总表

物源类型	数量	储量( $10^4 \text{ m}^3$ )及比例			
		物质储量	所占比例/%	物质动储量	所占比例/%
滑坡	13处	452.49	97.3	97.21	88.92
崩塌	4处	8.04	1.72	7.54	6.89
坡面侵蚀	3处	2.72	0.58	0.85	2.49
沟道物质	5段	5.16	0.40	3.72	1.7
合计		468.41	100	109.32	100

## 2.2 泥石流活动历史

哈尔木沟于1989年6月暴发大规模泥石流,当时,中国科学院成都山地灾害与环境研究所的研究人员在泥石流过后进行实地考察,并有调查报告出版。据山地所的资料<sup>[1]</sup>,此次大型泥石流一次冲出量达  $25 \text{ 万 m}^3$ , 重度达  $2.21 \text{ t/m}^3$ , 流速为  $2.79 \text{ m/s}$ 。泥石流为典型的阵性流,一阵泥石流持续时间约30 min,一阵过后又是一阵,两阵之间相隔长达几个小时,短的只有几十分钟,流量时大时小,龙头高2~3 m,泥浆飞溅,追踪实测最高泥位2.45 m。“5·12”汶川大地震造成哈尔木沟中游地带多处滑坡复活,并新增了大量滑坡。地震之前沟内发育有5个滑坡,震后增加至17处,其中滑坡13处,崩塌4处。新增大量松散物质使得泥石流暴发频率进一步提高,2008~2012年间,共暴发7次泥石流灾害(见图4、图5),由于防范措施较好,未造成危害。

哈尔木沟泥石流形成的主要原因是:沟内发育大量滑坡,前缘进入沟道后在流水侧蚀作用下解体,松散土体进入沟道内,堵塞沟道形成堵塞体,在上游暴雨洪峰流量作用下,堵塞体溃决形成泥石流<sup>[5]</sup>,这种堵溃并非单一的,而是沿沟道发育,多次堵溃作用下,对泥石流峰值流量产生极大的放大作用,形成大规模泥石流灾害。这种泥石流由于物源相对集中,规模较大,危害严重<sup>[6]</sup>。

## 2.3 泥石流发展趋势

### 2.3.1 泥石流沟道发展趋势

震前岸坡发育大量不良地质现象,在地震诱发后,原来趋于稳定的滑坡又开始活动,而且在地震等因素下,沟道两侧新增了大量滑坡崩塌。清水汇流区沟道纵比降大,成围椅状,便于汇水,震后基本没有变化;物源区沟道比降较大,沟道呈V形,滑坡前缘解体大量堆积物堆积于沟道两侧,挤压主沟道,使主沟道不断下切;流通堆积区呈V形谷,宽窄相间,沟道在较窄的地段纵坡相对较大,有跌水现象,在较宽地段坡降较缓,有老泥石流堆积于此,沟段在不断下切;堆积区坡降较缓,泥石流主要以堆积为主,堆积扇上人为活动强烈,沟道被人为集中于堆积扇的中间位置,宽3~6 m。从整条泥石流沟的发展来看,哈尔木沟处于不断下切中。

### 2.3.2 泥石流小流域生态与地质环境变化趋势

哈尔木沟泥石流小流域内的植被自20世纪70~80年代初被严重破坏后,近20几年来有所恢复,但“5·12”地震造成流域的植被覆盖率下降,尤其在物源区和流通区两岸,已下降到30%左右,流域中下游地处半干旱河谷地带,植被恢复缓慢,流域生态环境还非常脆弱,随着泥石流的进一步发育,流域生态环境必将呈进一步恶化的发展趋势。而与生态环境相适应的地质环境也在地震后严重破坏,表层滑塌沿沟分布,随着泥石流的进一步发育,若无科学合理的泥石流综合治理措施的实施,流域的地质环境亦必将进一步恶化<sup>[7]</sup>。

### 2.3.3 泥石流活动的周期性与暴发频率

哈尔木沟震前是一条高频泥石流,中~小规模的泥石流3~4次/年。大规模泥石流20~30年活动一次,哈尔木沟泥石流上次大规模的活动周期为1989年暴发的溃决型泥石流。震后流域的生态环境和地质环境恶化,特别是松散固体物质激增,沟道堵塞严重,泥石流的暴发频率和规模均呈上升趋势。根据对哈尔木沟主沟的沟道特征和河床堆积物特征等各种条件综合分析,主沟泥石流将在未来几十年内处于活跃期,活动规模将显著扩大<sup>[8]</sup>。而且由于

沟道两侧多处滑坡处于不稳定状态,极有可能前缘大范围解体堵塞沟道形成溃决型泥石流,因此无论是暴雨型泥石流和溃决型泥石流,其活动频率都将有所提高。

## 3 泥石流参数计算

采用形态调查法、雨洪法2种方法来计算泥石流峰值流量。形态调查法根据野外现场实测的泥痕断面,首先计算泥石流流速,计算公式如下<sup>[9]</sup>:

$$V_c = (R_c^{2/3} I_c^{1/2}) / n_c \quad (1)$$

式中: $V_c$ ——泥石流断面平均流速, m/s;  $n_c$ ——泥石流沟床粗糙率;  $R_c$ ——计算断面水力半径, m;  $I_c$ ——泥石流水力坡降,可用沟床坡降代替。

计算泥石流流速后,再采用下面公式计算泥石流的流量:

$$Q_c = W_c V_c \quad (2)$$

式中: $W_c$ ——泥石流过流断面面积,  $m^2$ 。

在哈尔木沟沟口卡口处实测了3次泥石流等泥痕断面。将相关实测参数代入式(1)计算得泥石流断面平均流速、泥石流流量见表4。

用雨洪法公式计算泥石流的流量:

表4 哈尔木沟排导槽泥石流过流断面实测统计

发生时间	泥石流类型	断面	沟谷底宽 /m	沟谷顶宽 /m	泥位高度 /m	沟底比降 /‰	断面面积 /m <sup>2</sup>	流速 /(m·s <sup>-1</sup> )	流量 /(m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )
1989年6月	溃决型	1-1'	2.20	5.25	3.22	308.4	13.721	4.32	59.27
1989年7月	暴雨型	1-1'	2.20	2.88	2.45	308.4	8.391	5.05	42.37
2009年7月	暴雨型	1-1'	2.20	2.88	0.91	308.4	2.031	5.21	10.58

$$Q_c = (1 + \varphi) Q_p D_c \quad (3)$$

式中: $Q_c$ ——频率为 $P$ 的泥石流峰值流量,  $m^3/s$ ;  $Q_p$ ——频率为 $P$ 的暴雨洪水流量,  $m^3/s$ ;  $\varphi$ ——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,  $kN/m^3$ ;  $\gamma_w$ ——清水的重度,  $kN/m^3$ ;  $\gamma_H$ ——泥石流中固体物质比重,  $t/m^3$ ;  $D_c$ ——泥石流堵塞系数。

泥石流的流量计算结果见表5。

表5 泥石流峰值流量计算

计算频率/%	$1 + \varphi$	$Q_p / (m^3 \cdot s^{-1})$	$D_c$	$Q_c / (m^3 \cdot s^{-1})$
2	2.538	17.62	2.5	111.80
5		14.39		91.30

通过对比2种方法的计算结果,1989年7月哈尔木沟暴发泥石流规模基本相当于20a一遇。但地震后,沟内新增大量滑坡,沟道堵塞系数增大,容易

形成堵溃泥石流,从而对泥石流的规模产生放大效应。

## 4 防治对策

哈尔木沟的危害方式主要有2种:一是泥石流体漫出沟槽对沟道两侧民房产生淤埋,二是泥石流进入主河杂谷脑河后产生堵塞形成堰塞湖。哈尔木沟沟道总体狭窄陡峻,沟内拦挡条件较差,而沟域内松散物质动储量达到 $109.32 \times 10^4 m^3$ ,因此通过沟内固源拦挡措施抑制泥石流的可能性较小。针对泥石流特征及保护对象空间分布,确定哈尔木沟泥石流防治思路为以排为主,适当拦挡,避免堵塞主河。具体防治措施如下。

(1) 沟道上游重点物源区修建2道拦砂坝对滑坡体进行回淤压脚,防治滑坡进一步活动。通过拦砂坝调峰,减少往下游运动的泥石流峰值流量,减小

其对中游松散物质的侵蚀作用,有效控制泥石流的规模。

(2)沟口修建2道控制性拦砂坝,主要对上游泥沙进行拦挡,并调节峰值流量,避免大规模泥石流冲入主河后堵塞主河形成堰塞湖。

(3)沟口堆积扇居民区修建排导槽工程,采用全衬砌V形排导槽,加大对哈尔木沟高粘度泥石流的排导能力。

(4)对沟域内的高位滑坡建立监测点,一旦滑坡大规模解体进入主沟,形成堰塞湖,及时预警,避免形成大规模堰塞湖溃决泥石流灾害。

## 5 结论与讨论

(1)哈尔木沟为一老泥石流沟,历史上多次暴发泥石流灾害,“5·12”汶川地震后,沟域内新增大量松散物质,造成沟道堵塞,堵塞—溃决作用对泥石流峰值流量的放大效应明显。

(2)沟域内松散物源的增加,导致激发泥石流的临界降雨条件降低,泥石流暴发的规模、频率都增加,泥石流灾害活动周期延长,其危害性较震前增大。

(3)哈尔木沟沟域内物源非常丰富,普通的拦挡工程难以将沟内泥石流流体拦挡完全,因此需对其进行拦排结合的治理思路。

(4)对哈尔木沟采取“拦排结合”的治理思路,

沟域内布置4道拦砂坝,沟口布置排导槽工程,有效保护了沟口堆积扇的居民,同时通过拦砂坝调峰,减小了堵塞主河杂谷脑河的风险,经过3个水文年的检验,治理工程防灾效益明显。

(5)针对哈尔木沟这种类型的泥石流,在现状经费有限的条件下,防灾减灾目标应以避免泥石流灾害危害保护对象为目标,难以通过工程措施达到抑制泥石流发生的治理效果。

## 参考文献:

- [1] 谢洪,韦方强,钟敦伦.哈尔木沟泥石流形成剖析[C].第四届全国泥石流学术讨论会论文集[A].甘肃兰州:甘肃文化出版社,1994.214-220.
- [2] 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):203-207.
- [3] 康志成,李焯芬,马嵩乃.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004.32-38.
- [4] 谢洪,钟敦伦,李泳,等.长江上游泥石流灾害的特征[J].长江流域资源与环境,2004,13(1):94-99.
- [5] 吴积善,田连权,康志成,等.泥石流及其综合治理[M].北京:科学出版社,1993.192-214.
- [6] 游勇,柳金峰,陈长兴.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.
- [7] 谢洪,钟敦伦,韦方强,等.北京山区泥石流的分类与类型[J].山地学报,2004,22(2):212-219.
- [8] 游勇,柳金峰,陈长兴.“5·12”汶川地震后北川苏保河流域泥石流危害及特征[J].山地学报,2010,28(3):358-366.
- [9] 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,1991.125-129.

## (上接第23页)

实际检验表明,在实施上述3项措施后的2年时间里,野外监测仪被破坏的现象大大减少,保证了滑坡实施监测的顺利进行,有效的、完整的取得了监测数据,为研究滑坡监测多参数与滑坡发生的关系提供了详实、可靠的数据基础。

## 5 结语

目前,滑坡监测技术日趋成熟,但在各监测参数对滑坡具体影响的数据分析方面,不论国内还是国际上都比较薄弱,没有系统的、成熟的模型出现。所以,如何有效的、完整的取得有效监测数据就成为了实现这一目标的关键所在。而监测仪器安装的合理

性、科学性及其监测仪器后期可靠的保护是取得监测数据的关键所在。通过多年工作实践,我单位在监测仪器安装及保护方面取得了不错的成果,为取得连续、可靠的监测数据打下了坚实的基础。

## 参考文献:

- [1] 林水通.滑坡灾害监测方法综述[J].福建建筑,2006,(5).
- [2] 王佃明,等.存储式钻孔测量仪的研制与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(7):48-51,54.
- [3] 冯利.地下水对滑坡稳定性的影响[J].民营科技,2011,(3).
- [4] 张国超,范付松,赵鑫.间歇性降雨对滑坡稳定性的影响[J].安全与环境工程,2011,(4).
- [5] 陈文俊,周策,刘一民.滑坡体滑动姿态自动监测系统的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(11):76-79.