

# 凉山州小流域泥石流形成机制及防治方法探讨

崔华丽, 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:**凉山彝族自治州位于四川省西南部川滇交界处, 境内地貌复杂多样, 气候属于亚热带季风气候区, 干湿分明。以凉山州美姑县作各列拖泥石流为研究对象, 主要从地形地貌及泥石流产生的条件 2 方面综合分析了泥石流产生的危险性, 并结合现场实际情况, 提出了具有针对性的治理措施(拦挡和排导结合), 对泥石流的防治具有一定的指导意义。

**关键词:**泥石流; 形成机制; 防治方法; 凉山州; 作各列拖泥石流

**中图分类号:** P642.23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)07-0033-03

**Formation Mechanism of Small Watershed Debris Flow and the Discussion of Control Methods/CUI Hua-li, SHI Sheng-wei, XIE Zhong-sheng** (Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 611734, China)

**Abstract:** This paper takes Zuogelietuo debris flow in Meigu County of Liangshan Prefecture as a research object, and analyzed the risk of debris flow in aspects of topography and geomorphology and the generation conditions. Based on the actual situations, corresponding measures (blocking and drainage) are put forward.

**Key words:** debris flow; formation mechanism; control method; Liangshan Prefecture; Zuogelietuo debris flow

## 0 引言

凉山彝族自治州位于四川省西南部川滇交界处, 由于凉山州地貌复杂多样, 气候的垂直、水平差异很明显, 并且州内分布有 3 条主要断裂带(安宁河-则木河地震带、盐源-木里地震区、马边-雷波-昭通地震带), 因此凉山州多处发生泥石流地质灾害。

作各列拖泥石流, 位于凉山州美姑县侯古莫乡侯古莫村 2 组, 是连渣洛河右岸一级支流。沟口地理位置东经 102°56'25", 北纬 28°21'53"。作各列拖沟域形态为树叶状, 沟域纵向长 3.96 km, 沟域面积 3.52 km<sup>2</sup>, 相对高差 1069 m, 沟谷平均纵坡降 269.95‰。

作各列拖是一条老的泥石流沟, 一般 15~30 年暴发一次较大规模的泥石流, 建国以来较大规模的泥石流发生在 1993 年、2005 年。1993 年 7 月作各列拖暴发泥石流, 冲出的沟道的固体物源淤满沟道, 堵断了沟口公路, 对沟口居民的生活造成了极为严重的影响; 2005 年 7 月 16 日下午 5 时开始暴发泥石流, 大量碎块石随泥石流而下, 龙头高约 2~3 m, 泥石流漫出下游沟道, 淤埋沟道两侧房屋, 掩埋面积约 0.06 km<sup>2</sup>, 造成牛牛坝至侯古莫乡的道路中断, 经济损失达 200 万元以上, 此次泥石流历时约 35 min, 为典型的稀性阵性流。

## 1 作各列拖泥石流致灾环境分析

### 1.1 地形地貌

美姑县属大凉山中山山原地貌, 地势自东北向西南倾斜。处于青藏高原东南横断山脉与四川盆地西南边缘交汇处。作各列拖最高海拔 2757 m, 沟口与连渣洛河交汇处高程 1688 m, 高差为 1069 m, 属侵蚀深切高山峡谷地貌, 谷内地势低洼, 沟谷深切, 呈 V 形平均坡度在 30°以上, 纵坡较大, 有利于降雨的汇集, 根据不同地段坡度、植被情况、斜坡结构特征等的差异, 降雨的径流系数一般在 0.2~0.3, 同时, 由于地形陡峻, 为滑坡、坡面侵蚀等不良地质现象的发育提供了有利条件, 且沟谷纵坡较大, 为松散固体物质的搬运和参与泥石流活动提供了有利的地形条件。作各列拖泥石流沟各主要支沟基本情况见表 1。

表 1 作各列拖泥石流沟各主要支沟基本特征统计

支沟名称	沟长/km	沟域面积/km <sup>2</sup>	相对高差/m	平均纵坡/‰
作各列拖	3.96	3.52	1069	269.95
1 号支沟	0.98	0.23	326	330.29

### 1.2 固体物源

作各列拖泥石流沟泥石流松散固体物源较丰富(见表 2), 且物源分布相对较为集中, 主要分布于主沟 1780~2300 m 段两岸及各支沟中下游。据勘查

收稿日期: 2013-06-15

作者简介: 崔华丽(1983-), 女(汉族), 湖北襄阳人, 中国地质科学院探矿工艺研究所助理工程师, 岩土工程专业, 硕士, 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, huali8831@126.com。

统计有松散固体物源量  $30.9 \times 10^4 \text{ m}^3$ , 可能参与泥石流活动的动储量为  $9.60 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

表2 作各列拖泥石流物源情况汇总表 / ( $\times 10^4 \text{ m}^3$ )

沟名	崩滑堆积物源		沟道堆积物源		坡面侵蚀物源		合计	
	物源总量	动储量	物源总量	动储量	物源总量	动储量	物源总量	动储量
作各列拖	17.84	5.62	10.626	3.25	1.29	0.30	29.76	9.17
1号支沟	0	0	0.82	0.34	0.32	0.09	1.14	0.43

### 1.2.1 崩滑物源

作各列拖沟域内的崩塌定性为岩质崩塌, 此类崩塌类物源主要发育于砂岩、泥岩等变质岩系中, 崩塌堆积物源主要分布于主沟两侧, 其特点主要为表岩性破碎, 崩塌堆积物块度相对较小, 规模大小不一, 现场发现崩塌堆积体有部分已经进入沟道, 还有一些停留在山坡上, 在雨水的冲刷下极易进入沟道, 成为补给泥石流物源的重要组成部分。

### 1.2.2 坡面倾蚀物源

作各列拖沟域内总体上森林植被发育, 生态环境较好, 水土流失轻微。但近些年人类活动加剧, 植被遭到一定程度的破坏, 坡体结构变得松散, 局部地段成片的坍塌现象严重, 将为泥石流的形成提供一定的松散物源<sup>[4]</sup>。

### 1.2.3 沟道倾蚀物源

沟道堆积物源参与泥石流活动的方式主要为沟床的揭底冲刷, 其可参与泥石流活动的物源量主要为沟底拉槽下切可能掏蚀的部分及拉槽下切后, 两侧岸坡可能失稳进而参与泥石流活动的物源 2 部分组成。因而, 其可参与泥石流活动的动储量主要取决于沟道冲刷深度和可能冲刷的宽度, 而冲刷深度又由沟道形态特征、宽度、纵坡降、水力条件、堆积物颗粒级配及结构特征等决定<sup>[5]</sup>。各物源情况参见图 1、图 2。

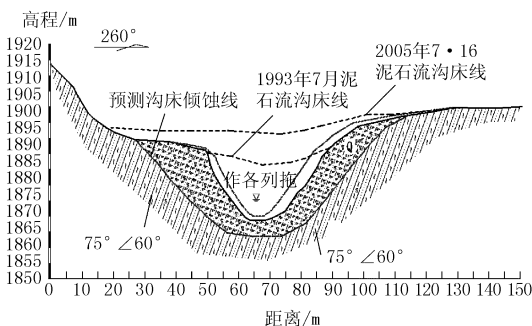


图1 作各列拖泥石流沟道堆积物源工程地质剖面图

### 1.3 水源

作各列拖所处地理位置属于温带与季风带之间的亚热带气候, 山高谷深使其气候垂直变化十分



典型崩塌物源



典型滑坡物源



典型坡面倾蚀物源



典型沟道堆积物源

图2 典型物源照片

明显, 作各列拖雨量较丰富且相对集中, 常出现局部地域性暴雨和冰雹, 降水集中在雨季(5~9月), 雨季降水量占到全年的73.9%。据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》所附暴雨量等值线图, 作各列拖地区的1/6、1、6、24 h 多年最大暴雨量平均值分别为11.2、32、50、72 mm, 在  $P=5\%$  的条件下, 1/6、1、6、24 h 雨强可分别达到19.15、58.5、80.5、120.24 mm; 在  $P=2\%$  的条件下, 1/6、1、6、24 h 雨强可分别达到22.29、68.9、91.5、138.24 mm。

作各列拖沟域呈近似树叶状, 沟谷上游纵坡很大, 有利于地表降水的径流和汇集, 作各列拖泥石流沟下游枯期流量为  $0.8 \text{ m}^3/\text{s}$  左右, 而雨季可达到  $1.8 \sim 4.8 \text{ m}^3/\text{s}$ , 这些因素为作各列拖泥石流沟泥石流的形成提供了有利的水源条件。

## 2 泥石流堵河危险性分析

### 2.1 沉积物颗粒分析

作各列拖堆积扇上的泥沙沉积明显分层, 大规模的泥石流沉积层中, 粗粒含量较多; 小规模泥石流沉积层中, 细粒粗粒含量较多。作各列拖汇入口段河道中的石块以粗粒为主。最大粒径在300 cm, 除少量细颗粒物外, 均难以被主沟洪水所携带, 具体各粒径石块含量见表3。

表3 泥石流沟与主河颗粒含量 / %

沟道名	堆积层	粒径 $D$ 范围/cm				
		>200	60~200	40~60	20~40	<20
连渣洛河	河漫滩堆积	2	15	20	38	25
作各列拖	泥石流沉积	0	10	15	35	40

从颗粒对比分析表中可知, 在泥石流沉积中, 大部分的颗粒都能被主河携带走中, 只有少部分粗颗粒易堆积于主河中, 并不会造成主河堵塞, 因此作各

列拖泥石流堵塞主河可能性较小。

### 2.2 流量分析

当输入主河的泥石流土体的剪切阻力大于主河水体的剪切分力时,便会产生淤积堵塞,需满足下式:

$$Q_w \leq [Q_c C_v (\gamma_s - \gamma_y) \tan \varphi_m - Q_c \tan \theta_{bl} \gamma_c] / \gamma_w \theta_{bl}$$

式中:  $Q_w$ ——主河汇流断面的清水流量,  $m^3/s$ ;  $Q_c$ ——汇入主河的泥石流流量,  $m^3/s$ ;  $\gamma_s$ ——土体的实体容重,  $t/m^3$ ;  $\gamma_y$ ——泥石流中土体的容重,  $t/m^3$ ;  $\varphi_m$ ——泥石流中土体的动摩擦角,  $(^\circ)$ ;  $\theta_{bl}$ ——主河纵坡,  $\%$ 。

据泥石流特征参数的计算,作各列拖沟出口段流速为  $1.35 m/s$ ,  $P = 10\%$ 、 $5\%$  峰值流量分别为  $58.69$ 、 $71.63 m^3/s$ 。而作各列拖的主河连渣洛河在本段的同频率下的洪峰流量为  $298.51$ 、 $308.72 m^3/s$ ,为作各列拖泥石流峰值流量的  $5.08$ 、 $4.34$  倍。这些特征参数反映,作各列拖泥石流堵断连渣洛河的可能性较小,那么在沟口具有排导能力情况下,可以采取排导的工程措施。

## 3 防治工程方法探究

### 3.1 作各列拖泥石流沟特征

根据作各列拖泥石流沟域内物源发育特征及沟口地形情况,结合泥石流防治的指导方法,得出作各列拖泥石流沟具有以下特征。

(1)作各列拖泥石流沟中下游两侧沟道及沟底可见基岩出露(见图3),较为宽缓,局部较窄,存在很好的拦挡条件,可对泥石流进行拦挡。根据历史调查,作各列拖泥石流沟每年雨季就会冲毁一些块石,目前沟道物质较大,沟两岸山体垮塌现象比较明显,一旦遭遇连续强降雨,那么沟道暴发大规模泥石流



图3 沟道两侧及沟底基岩出露

的可能性较大,有必要对大块石采取拦挡措施。

(2)沟口沟道的纵坡降达到  $106\%$ ,坡度较陡,可以排泄泥石流,另外主河的携带能力较强,细颗粒完全可以被主河的水流带走。此外河漫滩地较宽

阔,万一主河发生堵塞,上游回淤区距离居民居住地有一定的高差和距离,下游同样距离居民居住区较远,均不会对居民生活产生危害。根据调查,2005年7月16日泥石流出现漫出沟道,因此需要对泥石流进行归流,排入主河(参见图4)。



图4 沟口入主河

### 3.2 治理方案

基于以上特征及这种灾害致灾模式,提出泥石流的治理方案为:拦排结合,拦粗排细。采用“一道拦挡坝+防护堤+排导槽(防冲肋底)”。

#### 3.2.1 坝的库容

拦挡坝坝型选择透过性的缝隙坝,以拦挡2次20年一遇泥石流中的固体物质。通过坝的回淤库容和防止沟床揭底冲刷减少物源量,可减少至下游的大颗粒物质,并对泥石流的流速进行调解,可有效缓解对沟口的威胁。

回淤坡度按下式计算:

$$I_0 = 0.5I$$

式中:  $I_0$ ——回淤纵坡,  $\%$ ;  $I$ ——沟床纵坡,  $\%$ 。

通过缝隙坝回淤,还可减少沟床揭底冲刷产生的泥石流物源,对缝隙坝的回淤库容计算,1座缝隙坝总库容为  $5310.20 m^3$ 。根据颗粒含量表分析,粒径  $40 cm$  以上的颗粒占  $25\%$ ,一次20年一遇泥石流固体物质冲出量为  $0.967 万 m^3$ ,缝隙孔径  $1.0 \times 3.0 m$ ,按  $1:2.5$  的尺寸为拦挡粒径  $40 cm$  以上的固体物质,那么两次20年一遇粒径  $40 cm$  以上固体物质为  $0.484 万 m^3$ ,而缝隙坝合计拦挡物源为  $0.53 万 m^3$ 。

#### 3.2.2 排导槽过流能力的复核

由于上游拦挡后到下游为高含砂水流或洪水,排导槽设计标准按前述安全等级为三级设防的标准,以满足20年一遇洪水条件下泥石流流量为设计标准,以满足设计泥石流流量为标准进行复核。流速采用稀性泥流通用公式进行计算:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\gamma_H \varphi + 1}} \cdot \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I_c^{\frac{1}{2}}$$

(下转第40页)

倾倒,致使锚索失效,滑面扰动。在基岩完整的陡壁上,为防治后缘裂缝的进一步扩张,使用独立锚墩锚索,依靠锚索提供的拉力稳定滑体。

## 5 结语

(1)平推滑坡式危岩崩塌是一种特殊类型的崩塌,其成因机理为:基岩陡壁上方为巨、厚层砂岩,下方为泥岩,坡度近垂直;基岩陡壁后侧发育一组平行坡面走向、宽度为1 m的张拉裂缝,其两侧为封闭状态。强降雨时,地表水的汇集流入裂缝,水流除了具有静水压力和动水压力以外,还有瞬时的骤涨水位在裂缝中形成劈楔作用,促进了裂缝的发展以及岩层的向外蠕动。同时,坡体上部的砂岩层沿着软弱夹层也向外推挤,当挤移的砂岩层产生临空面时,就会导致崩塌隐患的产生,该模式是砂岩层先平推推移、崩塌、再推移、再崩塌的模式。

(2)防治工程思路:第一,对危岩、崩塌体进行裂缝、凹腔封填;或者清危、清除,消除已有的崩塌隐患。

第二,考虑降低裂缝中水头的高度,主要措施有:①对基岩陡壁上方的裂缝进行封填;②根据坡体地形,在裂缝后面布设一条排水沟,减轻斜坡上地表水、雨水的汇集;③在软弱夹层(滑面)附近布设排水孔,以排除后缘裂缝的裂隙水。

第三,基岩陡壁下方布设抗滑桩,其目的是锁住岩质滑体的剪出口,以防独立锚墩锚索施加应力时,岩质滑体向里面倾倒,致使锚索失效,滑面扰动。在基岩完整的陡壁上,使用独立锚墩锚索提供的拉力稳定岩质滑体。

(3)基于上述分析得出:此类平推滑坡式危岩、崩塌,治理思路不仅要采用传统模式的崩塌工程防治措施,还须结合该崩塌具有平推滑坡的变形破坏特征,对平推式滑坡进行治理。因此,治理平推滑坡式危岩崩塌的思路要滑坡、崩塌综合防治,这是其治理手段的关键。

## 参考文献:

- [1] 裴向军,黄润秋,裴钻,等.强震触发崩塌滚石运动特征研究[J].工程地质学报,2011,19(4):498-504.
- [2] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [3] 范宣梅,许强,张倬元,等.平推式滑坡诱因机制研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(S2):3753-3759.
- [4] 四川省建筑设计院.巴中市南江县兴马乡九年义务教育学校后山滑坡勘查报告[R].四川成都:四川省建筑设计院,2008.
- [5] 伍四明,李日国.万县滑坡群形成机制的数值模拟研究[J].水文地质工程地质,1994,(6):14-17.
- [6] 赵勇,许模,赵红梅,平推式滑坡后缘启动水头探讨[J].人民长江,2011,42(17):32-36.
- [7] 周应华,邵江,罗阳明.近水平红层边坡变形破坏的力学机制分析[J].路基工程,2006,(1):6-7.

(上接第35页)

式中: $V_c$ ——泥石流流速, m/s;  $\gamma_H$ ——泥石流固体物质重度,本工程中取  $1.48 \text{ t/m}^3$ ;  $\varphi$ ——泥石流泥沙修正系数;  $n$ ——泥石流沟床糙率系数,本工程中取 12;  $R$ ——水力半径,一般可用平均水深  $H$  代替, m;  $I_c$ ——泥位纵坡率,以沟道纵坡率代替。

排导槽设计断面宽 6 m,总高 4.6 m,埋深 1.6 m,有效高度 3.0 m,防冲肋槛间隔 20 m 布置,肋槛高 1.6 m,宽 1 m。

## 4 结论

(1)作各列拖泥石流属于由暴雨激发的沟谷型中小型规模的泥石流,根据作各列拖沟域内物源分类及发育情况,可以把沟域分为清水区、形成流通区和沟口堆积区。

(2)引发作各列拖泥石流的主要原因地形地貌和人的因素,暴雨是诱发条件,人的活动破坏了沟道两侧山体的完整性,引起了大量的沟物源,在暴雨情况下极易引起泥石流灾害。

(3)根据沟域内地貌及物源发育对作各列拖泥石流易发程度情况评分为 84 分,属于轻度易发。但是由于沟口是居民集中居住区,因此,一旦该沟暴发泥石流灾害将会极大的影响沟口居民的生活。

(4)作各列拖沟道两侧多处可见基础外露,具有设置拦挡坝的有利地形;沟口纵坡降达到 106%,因此采取在沟道中部设置一道拦挡坝,在沟口修建排导槽,排导槽采用间隔设置防冲肋槛的形式。在采用拦挡和排导相结合的治理方案后将保护沟口居民。

## 参考文献:

- [1] DZ/T 0220-2006,泥石流灾害防治工程勘查规范[S].
- [2] 费祥俊,舒安平.泥石流运动机理与灾害防治[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [3] 罗康军.四川丹巴县邛山沟泥石流成因及发展演化规律研究[D].四川成都:成都理工大学,2005.
- [4] 唐川,李阔.泥石流危险性评价研究进展[J].灾害学,2007,22(1):106-111.
- [5] 刘希林,莫多闻.泥石流风险及沟谷泥石流风险度评价[J].工程地质学报,2002,10(3):266-273.
- [6] DZ/T 0220-2006,泥石流灾害防治工程勘查规范[S].