

# 四川省冕宁县崩土凹泥石流成因及防治研究

郭宁

(西昌学院 工程技术学院, 四川 西昌 615013)

**摘要:** 西南地区由于所处的大地构造位置及其独有的地形地貌特征, 泥石流成为其最常见的地质灾害之一。崩土凹泥石流位于川滇菱形地块, 安宁河东支断裂附近, 具有较强活动性。从地形地貌、地层岩性、新构造活动等内因和暴雨触发外因等方面, 分析了其易发程度、活动类型、危害方式, 进而定量确定泥石流活动的各项特征指标。针对崩土凹泥石流地质灾害提出明确的防治目标和工程治理方案。该区域的泥石流灾害大多具有相同或相似的地质背景, 特别是昔格达组黏土岩沿安宁河流域广泛分布, 往往是泥石流灾害的主要物源成分, 并且成为泥石流致灾的控制性因素和主要治理对象。

**关键词:** 崩土凹泥石流; 活动特征; 昔格达组; 减灾防灾

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0199-04

中图分类号: P642.23

## Causes and Control of Bengtuao Debris Flow in Mianning County of Sichuan Province

GUO Ning

(School of Engineering and Technology, Xichang College, Xichang, Sichuan 615013, China)

**Abstract:** Debris flow is one of the most common geologic disasters in the southwest area of China, due to its tectonic structure position and unique topographic characteristics. Bengtuao debris flow, with strong mobility, is located in the diamond land block of Sichuan and Yunnan Provinces where is near the east fracture branch of the Anning River. Based on internal causes like topography, stratum lithological characters and neo-tectonic activity and external causes like rainstorm, characteristic indexes of the debris flow are obtained quantitatively in accordance with analyses of occurrence degree, activity patterns and hazarding ways, so that the definite controlling targets and project management program are put forward in detail. Most of debris flow disasters in this area occur on the same or similar geological background, especially the widely distributed Xigeda formation clay in the Anning River Basin, which are the main material source composition of debris flow and the governing factor and controlling object.

**Keywords:** Bengtuao debris flow; activity characteristics; Xigeda formation; disaster prevention and mitigation

泥石流是西南地区最为常见的一种突发性地质灾害, 分布广危害大, 常造成重大的经济损失和人员伤亡<sup>[1]</sup>。崩土凹泥石流沟位于四川省凉山州冕宁县石龙乡石龙村境内, 泥石流汇入崩沟后从下游的石龙村穿过, 汇口距村寨约 100 m, 终点到达 108 国道。石龙村大部分房屋修建于崩沟两侧, 沟道过流面积仅 10 m<sup>2</sup> 左右。崩土凹沟在 1952 年 8 月, 1973 年 8 月及 2005 年 8 月曾发生 3 次规模不等的泥石流。2005 年 8 月崩土凹爆发泥石流导致崩沟短暂堵沟溃决后, 最大洪水漫过下游百年石龙桥, 进入两边村寨房屋, 共有约 50 户房屋受到严重影响。

崩土凹泥石流为典型的暴雨触发沟谷型、低频泥流型泥石流, 泥石流堆积区主要位于沟口至崩沟河道

中。泥石流主要危害为堵河溃决危害, 危险区面积 0.237 km<sup>2</sup>。根据现场条件并结合 2005 年泥石流的规模特征分析, 崩土凹泥石流活动性高, 可造成中等灾害和严重危害。初步估算, 一旦崩土凹发生大规模泥石流汇入崩沟后, 将直接威胁石龙村沟道两侧约 300 余村民生命财产安全, 冲毁公路房屋等建筑设施<sup>[2]</sup>。

## 1 泥石流地质背景及成因

### 1.1 地形地貌

崩土凹沟流域为侵蚀中山地貌, 地势东高西低, 全流域面积 0.31 km<sup>2</sup>, 其中主沟流域面积 0.23 km<sup>2</sup>, 主沟长度 0.82 km, 最高海拔 1 886 m, 最低点海拔 1 688 m, 岭谷相对高差约 200 m, 平均沟床纵比降

收稿日期: 2013-05-04

修回日期: 2013-05-10

资助项目: 国家自然科学基金项目“若尔盖地区碳硅泥岩型铀矿床垂直分带规律研究”(41072064); 四川省教育厅重点项目“凉山州德昌县前山滑坡研究”(11Z A143)

作者简介: 郭宁(1966—), 男(汉族), 重庆市南川区人, 高级工程师, 副教授, 主要从事工程地质及水文地质的教学和研究。E-mail: 18981561978@189.cn.

13%,流域完整系数为 0.35,主要以“V”字形沟谷为主。沟床纵比降较大,其中形成区平均纵坡 29.2%,形成流通区平均纵坡 5.24%,堆积区沟床平均纵坡 4.625%。流域岸坡坡度一般为 30°,局部接近 50°。堆积扇区扇顶扩散角约 30°,坡度 2°~3°。流域内未被切割区域面积与全流域面积之比约为 40%,表明该流域地貌正处于发展期。

该沟流域的完整系数、相对高差、流域地貌发育阶段、沟床最小纵坡比降及最小岸坡坡度等条件均满足泥石流形成的地形条件。

### 1.2 地层岩性

区内出露地层主要为第四系残坡积层( $Q_4^{st+dl}$ )、泥石流堆积层( $Q_4^{sef}$ )、冲洪积层( $Q_4^{al+pl}$ )、第三系昔格达组黏土岩( $N_{2x}$ )与康定群花岗岩( $\gamma_1$ )等。其中第四系残坡积层主要分布于全流域斜坡地带,母岩大多为黏土岩,坡麓平缓段厚度较大,为易滑地层;第三系昔格达组黏土岩水平层理十分发育,广泛分布<sup>[3]</sup>,多为泥质结构,为典型的易滑地层;发育强烈的花岗岩风化壳。三者均成为泥石流的主要物源。

### 1.3 泥石流物源

泥石流固体物源主要分布在崩土凹主沟形成流通区内,主要有两种类型物源:形成区边坡松散物质滑塌体,为上游滑坡体;中上游沟床内松散堆积物,以昔格达组黏土形成的滑塌体和滑坡为主。已经查明形成区内共有大小不等的 11 个滑塌体和 1 个滑坡体。

根据形成及流通区的地形条件及松散物质的堆积特征,物源补给有沟床侵蚀补给、沟道两岸边坡塌滑补给及地表径流侵蚀补给等方式。通过现场实地测绘和勘探发现,崩土凹泥石流物源总量达  $4.98 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,动储量  $2.55 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

### 1.4 区域暴雨特征

区内年均降水量 1 095.0 mm,年降水量最大值 1 518.9 mm,日最大降雨量 164.0 mm,1 h 最大降雨量 150.0 mm,30 min 最大降雨量 59.0 mm,10 min 最大降雨量 22.9 mm,5 min 最大降雨量 14.2 mm。年降雨量中,夜间降雨量占 76%,为白天降雨量的 3.1 倍。据 1998—2007 年降雨资料统计,共发生 24 次暴雨,且 30 min 降雨量均大于 50.0 mm,连续 2 日暴雨 4 次,7 日内出现 2 次暴雨 2 次。暴雨主要集中在 6—9 月,占 91.7%。

流域的暴雨强度指标  $R$  为 12.5。据此判别分析,该沟流域降雨满足泥石流形成的临界降雨强度,发生泥石流的机率大于 0.8,发生泥石流几率高。

### 1.5 区域地质构造及新构造运动

攀西地区位于青藏高原东南缘,多条断裂围限而成的川滇菱形地块的东北缘,新构造活动十分强烈。

安宁河断裂带是区内的控制性断裂,由东、西两支组成。第四纪以来,东西两支断裂活动强度表现出明显的差异,西支断裂活动微弱,东支断裂具明显的活动性<sup>[4]</sup>。研究区正位于东支断裂附近,新构造运动强烈,据地形变观测资料,该区年平均上升速率约为 2 mm。

## 2 泥石流活动特征

### 2.1 分区特征

2012 年进行崩土凹泥石流勘察,共布置 25 条勘探线,通过井探、槽探等揭露和取样分析,基本确定了泥石流的分区及其特征。

泥石流形成区。平面形态呈树叶状,主沟平均纵坡比降 29.2%,沟道呈“V”型,上部沟道深窄,最深可达 10 m 多,沟道两岸小冲沟较发育,地形起伏大。横向上主要由沟谷堆积、残坡积群及高中山等地貌组成,纵向上沟谷形态呈曲线型分布,沟床纵坡比降变化较大,谷底宽 1~2 m,谷坡坡度 30°~50°。沟床两岸边坡松散物质在降雨作用下形成溜滑、滑塌及滑坡,成为泥石流的重要固体物源。

泥石流形成流通区。主沟平均纵坡比降 5.24%,沟道呈“U—V”型,沟床纵坡比降变化不大,谷底宽 1~3 m,谷坡坡度 20°~50°。两岸松散物在降雨作用下形成溜滑、滑塌,为泥石流形成的主要物源。

泥石流堆积区。从汇口海拔 1 688 m 到沟道海拔 1 702 m 区域为泥石流堆积区。主沟平均纵坡 4.625%。泥石流堆积扇长约 60 m,平均宽约 35 m,扇体坡度 2°~3°,扩散角约 30°,堆积面积约 2 000  $\text{m}^2$ 。经探槽揭露,泥石流堆积扇前缘平均厚度约 1 m,堆积体体积约 3 000  $\text{m}^3$ 。堆积体主要为第四系残坡积粉质黏土、含角砾粉质黏土组成,结构松散—稍密,且堆积区左侧沟道长期被泥石流和水流冲刷深度达 0.5~1 m,沟底可见花岗岩强风化颗粒物质。

### 2.2 易发程度和活动强度

根据崩土凹泥石流流域特征,按《泥石流灾害防治工程勘查规范》,对该沟泥石流的 15 项易发因素综合评分为 89 分,属于易发泥石流沟。对泥石流活动强度进行综合判别,判定该沟泥石流活动强度为强。

### 2.3 泥石流类型

从工程角度出发,按照泥石流暴发的频率,可将泥石流分为不同类型,将暴发频率为 10 a 及以上暴发 1 次的泥石流称为低频泥石流<sup>[5]</sup>。该沟 50 a 来发生过 3 次大的泥石流,且每年暴雨季节易发小型泥石流。泥石流主沟发育于山体深切沟谷地带,主要由大雨或暴雨激发,参与泥石流活动的固体物质以粉土及黏土为主。历次规模较大的泥石流暴发时,基本呈稠浆状—稀粥状。因此,崩土凹泥石流属于暴雨引发的

沟谷型、低频泥流型泥石流。

## 2.4 泥石流危害方式

崩土凹边坡较陡,且为昔格达组黏土,在强降雨下大量坡面土体和河床泥沙被带走,河床被侵蚀冲刷,导致岸坡垮塌,在堆积区下游分布的道路、房屋等将直接受到泥石流的冲刷侵蚀破坏。

崩土凹沟与主河崩沟呈  $60^\circ$  左右的交角,崩沟 50 a 一遇最大洪峰流量是崩土凹沟的 5 倍,崩土凹泥石流流体性质为低浓度黏性泥石流,泥石流固体物质主要为细颗粒物,有利于泥石流物质的排泄。但汇合口崩沟河道狭窄,宽约 10 m,深约 2 m,沟谷纵坡 3% 左右,客观上不利于泥砂排泄。崩土凹泥石流造成主河短暂堵塞和溃决的可能性较大。

根据崩土凹泥石流活动规模、性质、地形地貌条件和受害对象等因素,该沟泥石流危害方式主要为冲刷、淤埋、堵河及溃决。

## 3 泥石流工程防治系统参数确定<sup>[6]</sup>

### 3.1 泥石流容重

泥石流容重是研究泥石流运动及其灾害的最重要参数之一<sup>[7]</sup>。在崩土凹泥石流主要堆积区采取泥石流堆积物搅拌成泥石流浆体,实测泥石流浆体平均重度为  $1.610 \text{ t/m}^3$ 。另据泥石流量化评分,按照《泥石流灾害防治工程勘察规范》确定崩土凹泥石流重度  $\gamma_c = 1.614 \text{ t/m}^3$ 。

对上述两者各取权重值 0.5,可综合确定泥石流浆体重度为  $1.612 \text{ t/m}^3$ ,为低浓度黏性泥石流。

### 3.2 泥石流流量

通过崩土凹流域不同频率  $P$  下的雨流洪峰流量  $Q_B$ ,取相应的堵塞系数  $D_C$ ,可求得该沟不同频率的泥石流峰值流量  $Q_C$ ,计算结果如表 1 所示。

表 1 崩土凹泥石流峰值流量计算结果

$P/\%$	$\gamma_c/(\text{g} \cdot \text{cm}^{-3})$	$D_C$	$Q_B/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$Q_C/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$
2	1.612	1.80	2.83	8.09
5	1.612	1.50	2.28	5.44

### 3.3 泥石流总量

研究区全流域面积仅  $0.31 \text{ km}^2$ ,泥石流具有暴涨暴落特点。实地调查表明,一次泥石流过程历时一般 40 min,可把泥石流过程线概化成五边形,计算出泥石流一次流体总量  $Q$  和固体总量  $Q_H$ (如表 2 所示)。计算结果可作为泥石流工程设计和校核的标准。

表 2 崩土凹泥石流一次流体总量和固体总量

$P/\%$	$Q_C/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$Q/\text{m}^3$	$Q_H/\text{m}^3$
2	8.09	5 126	1 901
5	5.44	3 447	1 278

### 3.4 泥石流流速

崩土凹泥石流以低浓度黏性为主,泥石流流速  $V_c$  按式(1)计算:

$$V_c = H_c^{2/3} I_c^{1/2} / n \quad (1)$$

式中: $H_c$ ——平均泥深(m),实际取 0.4 m; $I_c$ ——纵比降,实际取 0.13; $n$ ——泥石流糙率,实际取 0.043。计算可得  $V_c$  为 4.55 m/s。下同。

### 3.5 泥石流冲击力

根据现场调查,该流域泥石流物质成分以粉质黏土为主,含少量花岗岩角砾,粒径大部分在 2 cm 以下,不考虑大石块冲击力,只考虑整体冲击力  $\delta$  为

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

式中: $\lambda$ ——建筑物形状系数; $g$ ——重力加速度( $\text{m/s}^2$ ),为  $9.8 \text{ m/s}^2$ ; $\alpha$ ——建筑物受力面与泥石流冲击压力方向的夹角( $^\circ$ )。下同。

崩土凹流域内各主要控制断面对不同建筑物的整体冲击力计算结果如表 3 所示。

表 3 崩土凹泥石流整体冲击力

建筑物类型	流速 $V_c/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	容重 $\gamma_c/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	整体冲击力 $\delta/\text{kPa}$
方形	4.55	1.612	49.06
矩形	4.55	1.612	44.39

### 3.6 泥石流最大冲起高度和弯道超高

最大冲起高度  $\Delta H$  和最大弯道超高  $\Delta h$  分别按式(3)和式(4)计算:

$$\Delta H = V_c^2 / 2g \quad (3)$$

$$\Delta h = 2.3 V_c^2 \lg(R_2/R_1) / g \quad (4)$$

式中: $R_2$ ——凹岸曲率半径(m); $R_1$ ——凸岸曲率半径(m)。计算可得  $\Delta H$  为 1.06 m, $\Delta h$  为 0.19 m。

## 4 泥石流防治

### 4.1 防治原则

对小流域的治理应采取“稳、拦、排、封、造”对策。崩土凹泥石流发生在中上游,而成灾在下游地区。因此在防治上应考虑上、中、下游结合,治沟和治坡兼顾。流域上游水源涵养林以封、管、护、育为主,营造为辅,防止人为砍伐破坏,同时加强管护,严格控制放牧。治理工程设计方案应贯彻经济合理,技术可行的原则并体现社会、经济和环境的综合效益。

### 4.2 防治目标

崩土凹是一条活动强度较高、物源多的低浓度黏性泥石流沟,防治上应控制泥石流发生频率,降低泥石流发生规模,达到泥石流活动不造成堵沟溃决危害的目标,建立泥石流活动响应机制,从而保护下游居

住区人民的生命财产安全和交通安全。针对崩土凹泥石流的物源、纵坡降以及历次泥石流特征,参照 2005 年泥石流致灾实际情况,如直接对主河崩沟下游居民区两岸进行防护(如修建防护堤等),防护长度约 200 m,且涉及部分村民搬迁,工程造价较高。对于易发性的崩土凹泥石流沟,修建拦挡坝或谷坊拦截大部分泥石流物质,利用上游淤积物反压沟岸,促使现有不稳定沟岸趋于稳定,从而控制泥石流的形成<sup>[8]</sup>,减轻对下游的威胁是最为可行的。

#### 4.3 工程治理方案

泥石流治理工程应根据自身特点,制定合适的治理措施,特别要针对泥石流成因三要素,采用土木工

程及生态工程合理配置,发挥整体效益,保证其不受或少受危害<sup>[9-10]</sup>。根据崩土凹泥石流的类型、规模、活动情况和危害程度,综合考虑其威胁对象及可能造成的经济损失,确定泥石流灾害防治等级为 V 级,治理工程设计标准为 20 年一遇暴雨强度,按照 50 年一遇暴雨( $P=2\%$ )标准进行校核。

结合沟床实际地形及地质情况,工程治理以设置拦砂坝和谷坊群拦挡固体物源为主<sup>[8,11]</sup>,合理选择坝坊位置,采用“1 座拦砂坝+4 座谷坊”(方案 1)与“8 座谷坊群”(方案 2)两个方案进行比较。初步设计取拦砂坝坝长 22 m,高 8 m,谷坊高 2 m,各拦砂坝(包括谷坊)的库容量计算如表 4 所示。

表 4 稳拦工程库容量统计

工程名称		平均沟谷比降/%		回淤平均纵坡/%		回淤长度/m		回淤库容/m <sup>3</sup>		固床稳坡量/m <sup>3</sup>		合计稳拦物源量/m <sup>3</sup>	
方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2	方案 1	方案 2
拦砂坝	1 <sup>#</sup> 谷坊	11.860	5.240	5.940	3.490	140	58	6 900	780	2 200	500	9 100	1 280
1 <sup>#</sup> 谷坊	2 <sup>#</sup> 谷坊	13.306	15.925	7.931	7.689	47	42	170	160	800	800	970	900
2 <sup>#</sup> 谷坊	3 <sup>#</sup> 谷坊	8.471	18.899	82.000	8.187	21	27	60	35	1 000	1 400	1 060	385
3 <sup>#</sup> 谷坊	4 <sup>#</sup> 谷坊	8.467	11.527	82.000	8.069	28	22	85	50	1 200	800	1 285	350
4 <sup>#</sup> 谷坊	5 <sup>#</sup> 谷坊	12.615	13.306	81.000	7.931	32	47	70	170	1 400	800	1 470	820
	6 <sup>#</sup> 谷坊	—	8.471	—	82.000	—	21	—	60	—	1 000	—	560
	7 <sup>#</sup> 谷坊	—	8.467	—	82.000	—	28	—	85	—	1 200	—	885
	8 <sup>#</sup> 谷坊	—	12.615	—	81.000	—	32	—	70	—	1 400	—	920
合计		—	—	—	—	—	—	7 285	1 410	6 600	7 900	13 885	9 310

方案 1 的工程总估算费用 113.50 万元,方案 2 的工程总估算费用 103.38 万元;但方案 1 拦蓄量为 13 885 m<sup>3</sup>,方案 2 为 9 310 m<sup>3</sup>,方案 1 拦蓄单价为 82.0 元/m<sup>3</sup>,方案 2 拦蓄单价为 111.2 元/m<sup>3</sup>。方案 1 明显优于方案 2,推荐方案 1 作为治理工程首选方案。

## 5 结论

(1) 崩土凹泥石流属于暴雨引发的沟谷型、低频黏性泥石流,易发生、活动强,常常具有隐蔽性、突发性,进行工程治理十分必要。

(2) 针对崩土凹泥石流类型、活动特征及危害对象,建议采取以稳拦工程,“一坝四坊”方案来进行工程治理。

(3) 在物源区应减少放牧等人类活动,以免过度放牧致暴雨作用下产生泥流,另外,在物源区和流通区加强植草种灌,使植被尽快恢复。

(4) 应在流域内建立泥石流及山洪的监测、预报及预警机制,通过群策群防、建立专业的监测员等方式达到有效的减灾防灾目的。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 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,1993:215-219.
- [2] 核工业西南勘察设计院有限公司. 四川省凉山州冕宁县石龙村崩土凹泥石流勘查报告[R]. 2012.
- [3] 张岳桥,杨农,孟晖,等. 四川攀西地区晚新生代构造变形历史与隆升过程初步研究[J]. 中国地质,2004,31(1):23-33.
- [4] 许学汉. 攀西裂谷新构造特征[M]. 北京:地质出版社,1987:120-135.
- [5] 倪化勇,吕学军,刘宇杰,等. 低频泥石流特征及其预测初步探讨[J]. 工程地质学报,2007,15(5):612-620.
- [6] 中华人民共和国地质矿产行业标准. DZ/T0220—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.
- [7] 余斌. 根据泥石流沉积物计算泥石流容重的方法研究[J]. 沉积学报,2008,26(5):789-796.
- [8] 王士革,钟敦伦,谢洪. 庐山风景区犁头尖北坡泥石流及其防治[J]. 水土保持通报,2001,21(6):33-36.
- [9] 高全,陈晓清,游勇,等. 四川省会理地区糯乍沟泥石流特点及其防治[J]. 水土保持通报,2011,31(2):203-206.
- [10] 谢洪,钟敦伦,靳怀成. 北京山区泥石流与滑坡防治研究[J]. 水土保持通报,2001,21(6):37-39.
- [11] 齐干,张长敏. 达摩沟泥石流形成的物质条件分析及防治对策[J]. 水文地质工程地质,2011,38(5):102-109.