

# 冕宁县白泥巴沟泥石流特征及治理对策

郭宁

(西昌学院, 四川 西昌 615013)

**摘要:** 白泥巴沟位于安宁河断裂中段, 受断块差异升降运动影响, 泥石流活动发育。根据“面积-高程分析法”定量计算, 白泥巴沟地貌发育处于壮年期, 利于泥石流的形成, 泥石流潜在危险性等级达中型。泥石流的物源由崩塌堆积物、滑坡堆积物、沟道堆积物和坡面侵蚀物四部分组成, 松散固体物源总量为 21.39 万 m<sup>3</sup>, 可能参与泥石流活动的物源动储量为 4.88 万 m<sup>3</sup>。通过实地调查分析, 该流域环境动态的不稳定性, 是造成泥石流易发的主要因素, 暴发中小型黏性泥石流的机率达 85% 以上。建议采用“以拦为主、多级拦挡”的措施进行泥石流工程防治。

**关键词:** 白泥巴沟; 泥石流; 侵蚀特征; 物源特征; 发生机率

**中图分类号:** P642.23 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2015)05-0968-05

## Features and measures of Bainiba gully debris flow in Mianning County

GUO Ning

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

**Abstract:** Bainiba gully is located in the middle section of the fault zone in the Anning River, where debris flow is well developed due to the influence of vertical lifting and depressing with difference in fault blocks. Based on the quantitative calculation of the area-altitude analysis method, the geomorphic development is in the adult stage and beneficial to the formation of debris flow, and the hazard potential grade of debris flow is medium. The debris flow source consists of four parts, including eboulement accumulation, landslide accumulation, gully deposit, and slope erosion material. The total quantity of loose solid material is 21.39 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, and the possible dynamic reserve contributing to the debris flow is 4.88 × 10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>. Through site investigation and analysis, the instability of dynamic environment in the basin is the main factor to cause debris flow, and the occurrence probability of small and medium sized viscous debris flow is more than 85%. The proposed measures for debris flow prevention are mainly multilevel obstruction.

**Key words:** Bainiba gully; debris flow; erosion features; source features; occurrence probability

冕宁县泸沽镇大春村白泥巴沟流域曾在 2006 年暴发过泥石流, 2009 年暴发过洪水。但近年来, 沟内崩塌、滑坡等地质现象大量出现, 地表松散破碎, 坡面侵蚀加剧, 松散固体物源量大增, 泥石流爆发频率可能达到中频甚至高频状态。白泥巴沟一旦暴发泥石流, 将潜在威胁到沟口大春村二社和一个矿区, 涉及 80 户约 500 人的生命财产安全, 另有县道桥梁一座, 成昆铁路桥梁一座, 潜在经济损失达 1 000 万元以上, 泥石流潜在危险性等级达中型<sup>[1]</sup>。

## 1 泥石流形成条件

### 1.1 地层岩性及构造

区内基岩为震旦系开建桥组(Zak) 流纹岩、凝灰岩等, 厚

度 200~485 m。在沟道两侧陡坡地带及沟床内广泛分布, 其强风化层厚 1~5 m 不等。

地表第四系(Q<sub>4</sub>) 地层为崩塌滑坡堆积、坡洪积层及泥石流堆积的松散层, 由块(漂)石土、块碎石土、块碎石土夹角砾土、含角砾粉土等组成, 厚度数十米, 广泛分布于中上游两侧缓坡、沟道及沟口洪积扇部位等部位。

区内以具强烈挤压走滑特征的南北向安宁河断裂为控制构造, 北东向、北西向和近东西向三级组级断层, 晚近期断块差异升降活动为主要特征的复杂地质构造<sup>[2,3]</sup>, 导致安宁河两岸泥石流沟发育并成为著名的泥石流活动带<sup>[4]</sup>。

### 1.2 地形地貌特征

地形地貌对泥石流的形成和发展具有控制作用, 一方面

收稿日期: 2014-09-24 修回日期: 2015-08-17 网络出版时间: 2015-09-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150924.2105.028.html>

基金项目: 四川省教育厅科研项目“基于 GIS 的西昌市北部安宁河东岸泥石流调查及风险度评价”(14CZ0022)

作者简介: 郭宁(1966-), 男, 重庆人, 高级工程师, 副教授, 主要从事工程地质及水文地质的教学及科研工作。E-mail: 18981561978@189.cn

通过沟床比降影响泥石流的动力特性;另一方面沟道两侧坡度的陡缓对泥石流的规模及固体物源的补给方式和数量产生直接影响<sup>[5-9]</sup>。

白泥巴沟沟域纵向长度约 3.35 km,平均宽度 550 m,沟域面积 1.78 km<sup>2</sup>,地表水系呈树枝状分布。流域内最高处高程 2 070 m,最低处高程 1 668 m,高差达 402 m。

根据松散固体物源的分布、泥石流形成条件及运动机制,白泥巴沟泥石流沟域可划分为特征不同的四个区,见表 1。

表 1 白泥巴沟沟道分区特征参数

Tab. 1 The characteristic parameters of the Bainiba gully division

沟道分区	沟道长度 / km	高程区间 / m	汇水面积 / km <sup>2</sup>	沟床平均纵坡 (%)
清水区	1.17	2 070~1 820	1.16	374.27
形成区	1.80	1 820~1 740	1.51	69.30
流通区	0.70	1 740~1 650	1.75	49.37
堆积区	2.73	1 650~1 640	1.78	52.38

泥石流的发生与山地地貌的演化息息相关,据美国地貌学家 A. N. Strahler 提出的“面积-高程分析法”定量分

析<sup>[7-8]</sup>,白泥巴沟地貌发育处于壮年期,利于泥石流的形成。

沟域内平均坡度 35°以上,降雨径流系数 0.3~0.5。据近期洪痕确认,白泥巴沟堆积区洪期过流断面面积 14~16 m<sup>2</sup>,其径流量达平水期的上百倍,完全具备引发泥石流的水源动力条件<sup>[9]</sup>。

### 1.3 人类工程活动

区内人类活动主要为人工开采“粉笔砂”(岩性为强风化后的流纹质凝灰岩,当地俗称“白泥巴”)用于制作粉笔,以及无序开采岩砂用于免烧结的混凝土砖,导致植被破坏,区内崩塌、滑坡、不稳定斜坡、支沟泥石流等较为发育,造成山坡水土流失严重<sup>[10]</sup>。

## 2 泥石流物源特征

研究区地形切割强烈,基岩地层岩性主要为凝灰质流纹岩、流纹质凝灰岩,岩层陡倾、节理裂隙发育,地质构造活动性强,重力地质灾害现象发育。此外,坡面松散侵蚀、洪水冲刷沟床等,也为泥石流提供了大量的物源,见图 1。

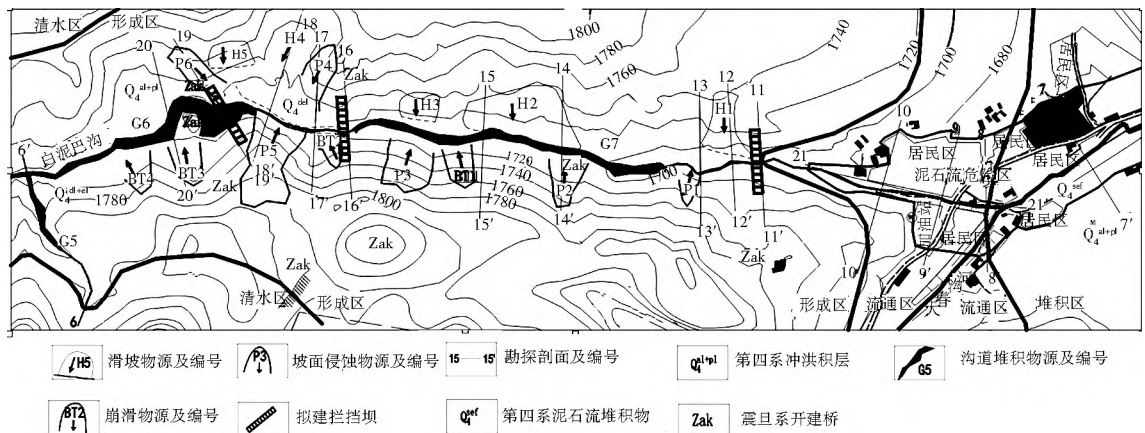


图 1 泥石流主要物源分布(局部)及拟设拦挡坝位置

Fig. 1 Distribution of main debris flow source features (part) and location of establishment landslide dam

### 2.1 泥石流的物源组成

物源是产生泥石流的根本,而物源结构与组成则决定其转化为泥石流的能力<sup>[11]</sup>。白泥巴沟泥石流的物源由崩塌堆积物、滑坡堆积物、沟道堆积物和坡面侵蚀物四部分组成。

(1) 崩塌堆积物。由 4 处小型崩塌岩堆构成,均分布在右岸形成区。崩塌堆积物源的动储量为 0.54 万 m<sup>3</sup>。表层为崩塌末期堆积的碎石土或角砾土,下部为块石土,块石土粒度变化不大。

(2) 滑坡堆积物。有 5 处小型~中型滑塌堆积物源,分布于形成区,动储量为 2.88 万 m<sup>3</sup>。由残坡积碎石土组成,滑塌物质粒度变化不大。

(3) 沟道堆积物。沟道堆积物源主要为洪水揭床产生的物源,动储量为 0.72 万 m<sup>3</sup>。表层为碎(卵)石土,下部为块(漂)石,为泥石流堆积块(碎)石土、冲洪积卵(漂)石土。

(4) 坡面侵蚀物。水土流失是坡面侵蚀物源参与泥石流活动的主要方式。形成区-流通区内坡面植被破坏严重,地表岩土体松散破碎,坡面流侵蚀深度达 0.5~1.2 m,地表侵蚀状况极其发育,见图 2。



图 2 白泥巴沟流域地表侵蚀状况

Fig. 2 Surface erosion status of the Bainiba gully basin

谷坡地带松散物质分布区总面积约 3.48 万 m<sup>2</sup>,按平均侵蚀深度 0.85 m,动储量按总量的 25% 计算,可得动储量 0.74 万 m<sup>3</sup>。

经调查统计,流域内松散固体物源总量为 21.39 万 m<sup>3</sup>,可能参与泥石流活动的固体物源动储量为 4.88 万 m<sup>3</sup>。

### 2.2 泥石流物源的转化关系

白泥巴沟流域内固体物源转化为泥石流具有如下基本特征。

(1) 沟道物源最多,但粒度较大,动储量较小;滑塌类物源数量虽少,但稳定性差、粒度较小利于洪水携带,动储量较大;崩塌类物源数量较多,静储量不大,但堆积松散,易遭受洪水冲刷,大部分物源可参与泥石流活动;支沟物源已枯竭,

动储量较小。

(2) 物源分布集中区水动力条件满足时, 各类物源可同时参与泥石流活动。

(3) 泥石流流路较长, 沟道纵比降和宽度变化较大, 各沟段的冲淤情况亦有所不同, 几条支沟泥石流物质可能被冲至支沟口, 成为下次泥石流的物源。

(4) 形成区、流通区内的物源参与泥石流后, 不一定冲至入河口, 而堆积于白泥巴沟出口, 进而威胁沟口居民区的安全。

### 3 泥石流特征

#### 3.1 泥石流冲淤特征

清水区松散层较薄, 沟床抗冲刷能力较强, 近期内无明显的冲淤变化; 物源区支沟侵蚀下切作用强烈, 进入主沟以淤为主, 局部地段出现冲蚀下切; 流通区表现为冲、淤平衡, 仅在发生大规模暴雨洪水或泥石流的条件下, 则可能转化为冲刷侵蚀; 堆积区以淤积为主, 白泥巴沟下游沟道曾多次在洪期产生短时淤塞。

#### 3.2 泥石流堆积物特征

泥石流堆积物为块石土, 松散堆积。石质成分多为凝灰质流纹岩、流纹质凝灰岩, 多呈棱角状~次棱角状; 天然密度  $2.163 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , 饱和密度  $2.184 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ; 块石含量 38.49%, 碎石含量 26.15%, 粗砾含量 22.53%, 其余为细砾~粉、黏粒。

泥石流堆积扇内的局部断面显示, 白泥巴沟泥石流曾经暴发过多次中、小规模泥石流活动, 由于物源量逐渐增多, 泥石流规模增大、活动性增强, 表现出后期泥石流堆覆于前期堆积扇前部的前进式活动特征<sup>[12]</sup>。

#### 3.3 泥石流活动特征

##### 3.3.1 泥石流流量

泥石流流量采用东川公式<sup>[13]</sup>计算:

$$Q_c = (1 + \varphi) Q_B \cdot D_c \quad (1)$$

式中:  $Q_c$  为泥石流峰值流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $\varphi$  为泥砂修正系数, 取 0.582;  $Q_B$  为频率  $P$  的暴雨设计洪峰流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ );  $D_c$  为泥石流沟堵塞系数, 取 1.50。

白泥巴沟各沟段位置的设计洪峰流量和泥石流峰值流量见表 2。

表 2 各断面不同暴雨设计频率下的峰值流量

Tab. 2 Parameter values of peak flow in the cross sections

		$\text{m}^3/\text{s}$			
沟段位置	拟设排导位置	拟设 1 号坝位	拟设 2 号坝位	拟设 3 号坝位	
$Q_R$	$P=10\%$	15.08	14.99	15.00	15.01
	$P=5\%$	19.33	19.17	19.64	19.31
	$P=2\%$	25.20	24.98	25.00	25.11
	$P=1\%$	29.62	29.32	29.43	29.56
$Q_C$	$P=10\%$	35.78	35.57	35.60	35.62
	$P=5\%$	45.87	45.49	46.61	45.82
	$P=2\%$	59.80	59.28	59.33	59.59
	$P=1\%$	70.29	69.58	69.84	70.15

##### 3.3.2 泥石流流速

白泥巴沟主沟泥石流属黏性泥石流, 流速计算采用公

式<sup>[3]</sup>如下:

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

式中:  $V_c$  为泥石流断面平均流速 ( $\text{m/s}$ );  $H_c$  为计算断面平均泥深 ( $\text{m}$ );  $I_c$  为泥石流水力坡度 ( $\%$ ), 取形成区至流通区加权平均坡度;  $n_c$  为黏性泥石流的河床糙率, 取 0.04。

选择沟床相对顺直、上下沟槽冲淤轻微的 19-19' 断面进行泥石流流速计算。该段沟道  $I_c = 27\%$ ,  $H_c = 0.98 \text{ m}$ , 经计算,  $V_c = 3.98 \text{ m/s}$ 。

##### 3.3.3 泥石流过流总量及固体冲出物

泥石流一次过流总量  $Q$  及冲出固体物质总量  $Q_H$  对泥石流的危险性判别、泥石流的防治具有十分重要的意义。

不同设计暴雨频率下白泥巴沟泥石流峰值流量  $Q_c$ 、一次泥石流过流总量  $Q$ 、一次泥石流冲出固体物质总量  $Q_H$  的计算结果见表 3。

表 3 泥石流流量、过流总量及固体物质总量计算

Tab. 3 Calculated debris flow discharge, passing flow quantity, and solid matter quantity

$P(\%)$	$Q_c/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	$Q/\text{万m}^3$	$Q_H/\text{万m}^3$
10	35.78	0.65	0.24
5	45.87	0.83	0.31
2	59.80	1.09	0.40
1	70.29	1.28	0.47

##### 3.3.4 泥石流冲击力

泥石流冲击力分为流体整体冲击力和个别石块冲击力, 可按以下两式计算<sup>[13]</sup>:

$$\delta = \lambda \frac{V_c}{g} V_c^2 \sin \alpha \quad (3)$$

$$F = r \cdot V_s \cdot \sin \alpha [W / (C_1 + C_2)]^{1/2} \quad (4)$$

式中:  $\delta$  为泥石流冲击力 ( $\text{kPa}$ );  $F$  为对墩的冲击力 ( $\text{kN}$ );  $\lambda$  为建筑物形状系数;  $\alpha$  为建筑物受力面与泥石流冲击力方向的夹角 ( $^\circ$ );  $r$  为动能折减系数, 取 0.3;  $C_1$ 、 $C_2$  分别为巨石与建筑物的弹性变形系数, 取  $C_1 + C_2 = 0.005$ ;  $W$  为巨石重量, 取最大 3.09 t;  $V_s$  为块石运移速度, 取 3.72  $\text{m/s}$ 。

计算结果表明, 泥石流对矩形建筑物的整体冲击力  $\delta = 34.50 \text{ kPa}$ , 块石对重力式拦挡坝的冲击力  $F = 27.72 \text{ kN}$ 。

##### 3.3.5 最大冲起高度、爬高及弯道超高

选择对泥石流治理工程方案选择有影响的 2 条典型弯道断面进行计算, 结果表明, 泥石流最大冲起高度  $\Delta H_1 = 0.81 \text{ m}$ 、爬高  $\Delta H_2 = 1.29 \text{ m}$ 、弯道超高  $\Delta H_3 = 0.10 \text{ m}$ 。

## 4 泥石流发展趋势

### 4.1 易发程度分析与评价

通过实地调查, 对于能反映泥石流活动条件的 15 项因素进行综合评判并量化打分<sup>[13]</sup>, 白泥巴沟泥石流易发程度量化得分 88 分, 属易发泥石流。

### 4.2 发生机率评判

根据谭炳炎等<sup>[14]</sup>研究, 把暴雨型泥石流形成过程概化为天上降雨的水动力主动作用系统和地面接受降雨作用的被动应变系统。根据两系统诸活动性因素的作用机制、量级

差别及在流域的空间位置的组合关系来确定其是否形成泥石流。判别函数可表示为

$$Y = R \cdot M \quad (5)$$

式中:  $Y$  为泥石流发生与否的综合指标;  $R$  为暴雨强度指标;  $M$  为流域环境动态函数。

白泥巴沟泥石流为暴雨型泥石流, 对应于设计降雨频率  $P=10\%$ 、 $5\%$ 、 $2\%$ 、 $1\%$  的暴雨强度指标  $R=7.17$ 、 $8.43$ 、 $10.09$ 、 $11.30$ 。由计算结果可知, 在设计雨频  $P=10\% \sim 5\%$  时, 白泥巴沟泥石流发生机率  $0.2 \sim 0.8$ ; 在设计雨频  $P=2\% \sim 1\%$  时, 发生机率均大于  $0.8$ , 具备产生泥石流的降雨条件。

流域环境动态函数  $M$  是流域承受暴雨或其它水动力因素作用后, 流域内决定泥石流活动的 15 项因素将产生不同程度的动力效应。对白泥巴沟泥石流活动的 15 项因素进行分级、量化处理, 得到该流域环境动态函数值  $M=8.03$ , 判定流域环境基本稳定。

由此, 可对白泥巴沟泥石流发生机率进行综合评判, 计算结果见表 4。

表 4 白泥巴沟泥石流发生机率判别

Tab. 4 Identification of occurrence probability of debris flow in the Bainiba gully

降雨频率 (%)	R		M		Y	
	雨强值	发生机率	统计值	环境动态	综合指标值	发生机率 (%)
10	7.17	0.2~0.8	8.03	基本稳定	57.58	85
5	8.43	0.2~0.8	8.03	基本稳定	67.70	85
2	10.09	>0.8	8.03	基本稳定	81.02	85
1	11.30	>0.8	8.03	基本稳定	90.74	85

在本区  $P=10\% \sim 1\%$  降雨条件下,  $Y$  值均大于 35, 说明各项影响因素均很活跃, 处境严峻有一触即发之势, 泥石流发生的机率为 85%。流域环境动态的不稳定性, 是造成泥石流易发的主要因素。

#### 4.3 发生频率和发展阶段

根据对白泥巴沟泥石流致灾历史的调查发现, 主沟在 10 年内仅暴发过一次泥石流, 暴发频率属低频<sup>[5]</sup>。近年来, 沟内坡面侵蚀加剧, 崩塌、滑坡等大量出现, 沟域内固体物源动储量达  $4.88$  万  $m^3$ , 相当于  $P=5\%$  时泥石流一次固体物质冲出量  $0.31$  万  $m^3$  的 15.7 倍。因此, 激发白泥巴沟泥石流的临界降雨强度降低, 泥石流爆发频率提高, 甚至成为高频泥石流<sup>[9]</sup>。根据白泥巴沟的地貌发育阶段、泥石流发育的影响因素、物源条件和水动力条件可以判断, 白泥巴沟暴发中频-高频中-小型黏性泥石流的可能性大。

### 5 防治工程讨论

#### 5.1 工程方案建议

白泥巴沟沟道总体特征表现为: 主沟道纵坡较小, 支沟道纵坡较大, 局部地段呈陡缓相间; 上游狭窄, 下游变宽, 但局部地段呈宽窄相间特征, 为拦挡坝选址提供了极为有利的地形条件, 修建拦挡工程库容较大。选择上游沟道相对开阔, 沟道纵坡较缓部位建坝, 对泥石流峰值流量的调节作用十分显著<sup>[10]</sup>。白泥巴沟下游流通堆积区沟道从泸沽镇场镇

边居民区穿过, 出口段(接近大春沟时) 沟道一般深  $0.5 \sim 1$  m, 宽度  $15 \sim 30$  m, 呈散流状穿越通往泸沽铁矿区的公路。沟道走向总体上较为顺直, 新建排导槽防护可行。

基于上述条件, 可有两种泥石流治理方案进行比选。方案一: 以拦为主, 建 3 级拦挡坝。方案二: 以排为主, 新建排导槽。

两种方案均有成熟的技术可行性, 而从防止水土流失、保护区内环境及可持续性的治理效果方面看: 拦沙坝拦蓄泥沙、减小泥石流规模的同时, 可防止沟谷下切, 稳定沟床及岸坡效果明显<sup>[17]</sup>。方案二应对白泥巴沟泥石流形成区-流通区的自然沟道进行适当的裁弯取直, 减小原始沟道的弯道曲率, 让泥石流束流归槽, 将泥石流物质顺畅地导入前缘大春河沟并顺利排入孙水河中, 因此经工程投资方案估算, 方案一为 102.7 万元, 方案二为 144.6 万元。

从技术可行性、治理效果及工程投资等方面进行综合评价, 方案一明显优于方案二。

#### 5.2 工程方案布置

对于以拦为主的方案一, 应根据沟谷地形条件和物源分布特征, 在泥石流形成区选择沟谷纵坡较缓且谷宽相对较窄, 沟域泥石流物源动储量分布情况与库容相匹配, 并尽可能选择在沟床弯道下游泥石流能量部分消散, 坝肩坝基地质条件适宜的位置新建拦挡坝, 稳拦泥石流体中的固体物质, 利用回淤压脚减少物源启动量, 减轻下游自然排导沟槽的压力。由此, 根据沟域的地形地貌及地基岩土体特征、固体物源分布位置及侵蚀冲淤状况、泥石流活动特征参数, 综合考虑坝址位置、坝型和坝高, 建议分别在图 1 所示的 11-11'、16-16'、19-19' 剖面处布置 3 号、2 号、1 号三级浆砌石拦挡坝。拦挡坝的回淤库容及稳拦物源能力见表 5。

表 5 拦挡坝稳拦物源量

Tab. 5 The quantities of stabilized and blocked sources by the landslide dam

工程名称	坝高 /m	有效坝高 /m	回淤面积 /m <sup>2</sup>	平均深度 /m	回淤库容 /m <sup>3</sup>	固床稳坡量 /m <sup>3</sup>	稳拦物源量 /m <sup>3</sup>
1 号拦挡坝	6.5	3.0	1 984.0	1.2	2 380.8	496.0	2 876.8
2 号拦挡坝	6.0	3.0	2 520.0	1.6	4 032.0	2 790.0	6 822.0
3 号拦挡坝	6.0	3.0	2 100.0	1.6	3 360.0	950.0	4 310.0

三级拦挡坝合计稳拦物源量  $1.40$  万  $m^3$ , 可拦挡 100 年一遇泥石流 3 次或 20 年一遇泥石流 4 次的全部固体物质, 能够达到保护流通堆积区安全的目的。

### 6 结论及建议

(1) 白泥巴沟地貌发育处于壮年期, 利于泥石流的形成。该泥石流沟可能复活, 泥石流发生机率在 85% 以上。预测白泥巴沟泥石流爆发类型为暴雨型中频-高频中小型黏性沟谷泥石流。

(2) 白泥巴沟域内存在崩塌堆积物、滑坡堆积物、沟道堆积物和坡面侵蚀物四部分松散物源, 松散固体物源总量为  $21.39$  万  $m^3$ , 可能参与泥石流活动的固体物源动储量为

4.88 万 m<sup>3</sup>。

(3) 白泥巴沟泥石流流属活动性强, 易发性高, 危害性大, 建议采用“以拦为主、多级拦挡”的措施, 进行“三级拦挡”工程治理。

(4) 加强沟域植被管护, 涵养水土, 禁止无序开采沙石, 严格矿区坑槽回填及植被种植恢复, 减少泥石流活动物源。

#### 参考文献(References):

- [1] 四川煤田地质一三七总公司. 泸沽镇大春村 2 社白泥巴沟泥石流勘查报告[R]. 2012. (Coalfield Geology 137 Corporation of Sichuan. The white mud gully exploration report of Lugu town Dachun village 2 club[R]. 2012. (in Chinese))
- [2] 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. (ZHANG Yueqiao, YANG Nong, MENG Hui, et al. Late Cenozoic tectonic deformation history and uplift process of the Panxi Region, West Sichuan[J]. Chinese Geology, 2004, 31(1): 23-33. (in Chinese))
- [3] 许学汉. 攀西裂谷新构造特征[M]. 北京: 地质出版社, 1987. (XU Xuehan. Neotectonic Characteristics of Panxi Rift[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987. (in Chinese))
- [4] 谢洪, 钟敦伦, 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. (XIE Hong, ZHONG Durlun, LI Yong, et al. Features of debris flows in the upper reaches of the Changjiang River[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(1): 94-99. (in Chinese))
- [5] 张瑞端, 郭长宝, 张永双, 等. 安宁河断裂带勒帕沟泥石流发育特征及防治建议[J]. 地质力学学报, 2014, 20(2): 132-139. (ZHANG Rui-duan, GUO Chang-bao, ZHANG Yong-shuang, et al. Development Characteristics and Prevention Suggestions of the Lepa Debris Flow in the Anning River Fault Zone[J]. Journal of Geomechanics, 2014, 20(2): 132-139. (in Chinese))
- [6] 王治兵, 余斌, 马敏, 等. 贵州望谟里拉沟泥石流灾害特征[J]. 南水北调与水利科技, 2014, 12(4): 165-168, 176. (WANG Zhibin, YU Bin, MA Min, et al. Characteristics of debris flow in lila Gully of Wangmo County in Guizhou Province[J]. Source for North Water Transfers and Water Science & Technology, 2014, 12(4): 165-168, 176. (in Chinese))
- [7] 孙希华, 姚孝友, 周虹, 等. 基于 DEM 的山东沂沭泗河流域地貌演化与水土流失研究[J]. 水土保持通报, 2005, 25(4): 24-28, 37. (SUN Xihua, YAO Xiaoyou, ZHOU Hong, et al. Research on erosion landforms evolution and water and soil loss in Yishusi Valley Based on DEM[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(4): 24-28, 37. (in Chinese))
- [8] 张敬春, 川川, 张梅, 等. 格尔木河流域面积-高程积分值的地貌学分析[J]. 山地学报, 2011, 29(3): 257-268. (ZHANG Jingchun, LI Chuanchuan, ZHANG Mei, et al. Geomorphologic analysis of the Golmud River drainage basin based on hypsometric integral value[J]. Journal of Mountain Science, 2011, 29(3): 257-268. (in Chinese))
- [9] 唐红梅, 陈洪凯. 冲淤变动型河谷泥石流形成条件研究[J]. 重庆交通大学学报, 2004, 23(5): 82-88. (TANG Hongmei, CHEN Hongkai. Research on formation conditions of V-shaped debris flow with impact and deposit[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2004, 23(5): 82-88. (in Chinese))
- [10] 谢洪, 刘世建, 钟敦伦. 西部开发中的泥石流问题[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(3): 44-50. (XIE Hong, LIU Shijian, ZHONG Durlun. Problems of debris flows in development of the West China[J]. Journal of Nature Disasters, 2001, 10(3): 44-50. (in Chinese))
- [11] 覃怡, 郑洪春. 都江堰八一沟 8.13 泥石流的形成条件分析[J]. 南水北调与水利科技, 2013, 11(4): 101-104. (QIN Yi, ZHENG Hongchun. Initiation conditions for the 8.13 debris flows in Bayi Gully of Dujiangyan[J]. Source for North Water Transfers and Water Science & Technology, 2013, 11(4): 101-104. (in Chinese))
- [12] 程礼来, 吴俊峰. 大渡河左岸小河沟泥石流特征及其危险性评估研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 87-91, 96. (CHENG Lailai, WU Junfeng. The characteristics and its risk evaluation study of Xiaohegou Debris Flows, Right Bank of Daduhe River[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, 18(1): 87-91, 96. (in Chinese))
- [13] DZ/T 0220-2006. 泥石流灾害防治工程勘查规范[S] (DZ/T 0220-2006. Specification of Geological Investigation for Debris Flow Stabilization[S]. (in Chinese))
- [14] 谭炳炎, 杨大文, 石胜国. 暴雨泥石流预报的研究[J]. 铁道学报, 1992, 14(3): 92-101. (TAN Bingyan, YANG Dawen, SHI Shengguo. The study of prediction for debris flow caused by rainstorm[J]. Journal of the China Railway Society, 1992, 14(3): 92-101. (in Chinese))
- [15] 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. (NI Huayong, LV Xuejun, LIU Yujie et al. Discussions on characteristics and prediction of debris flows with low occurrence frequency[J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(5): 612-620. (in Chinese))
- [16] 周必凡, 德基, 罗德富, 等. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991. (ZHOU Bifan, LI Deji, LUO Defu, et al. Guide of Debris Flow Prevention[M]. Beijing: Science Press, 1991. (in Chinese))
- [17] 崔鹏. 我国泥石流防治进展[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 7-13, 31. (CUI Peng. Advances in debris flow prevention in China[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2009, 7(5): 7-13, 31. (in Chinese))