

文章编号: 1674—8247(2023)06—0026—06

DOI: 10. 12098/j. issn. 1674 - 8247. 2023. 06. 005

## 花红树沟泥石流灾害特征及堰塞区工程地质问题分析

邓睿<sup>1,2</sup> 崔建宏<sup>2</sup> 来庆勇<sup>2</sup> 唐鸥玲<sup>2</sup> 刘瑞芳<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学, 成都 610059;

2. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031;

3. 国家铁路局安全技术中心, 北京 100160)

**摘要:**汶川地震后泥石流长期频发,局部形成堰塞湖灾害,极大危害了当地人民生命财产及工程建设安全。本文以地震强烈影响区花红树沟泥石流为研究对象,通过遥感解译、现场调查、钻探、原位测试及室内试验等勘察方法,综合分析了泥石流孕灾环境及发育特征。在动力学计算的基础上对新发泥石流堵河危害进行了评价,并对其形成的堰塞沉积场地工程地质问题进行了分析。研究表明:花红树沟为中等易发、中型规模黏性泥石流冲沟,沟内动储量物源约  $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,最大淤积高度约 2.82 m,最大堵河范围约 10 m;该泥石流堰塞场地范围较大,主要工程地质问题为砂土液化。研究结果可为确保该区域居民安全及工程建设提供科学参考依据。

**关键词:**泥石流; 灾害特征; 危害评价; 堰塞沉积; 砂土液化

中图分类号: TU45

文献标志码: A

26

## Analysis on the Characteristics of Debris Flow Disaster and the Geological Problems of the Dammed Area in Huahongshu Gully

DENG Rui<sup>1, 2</sup> CUI Jianhong<sup>2</sup> LAI Qingyong<sup>2</sup> TANG Ouling<sup>2</sup> LIU Ruifang<sup>3</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China;

3. Safety Technology Center, National Railway Administration of the People's Republic of China, Beijing 100160, China)

**Abstract:** After the Wenchuan earthquake, the frequency of debris flows increased for a long time, resulting in the formation of local dammed lake disasters, posing great threats to lives and properties of the locals, and to construction safety. Focusing on the debris flow of Huahongshu Gully, which was strongly affected by the earthquake, the paper comprehensively analyzed the hazardous environment and development characteristics of debris flow through remote sensing interpretation, field surveys, drilling, in-situ testing, and laboratory tests. Based on dynamic calculations, the new damming hazard of debris flow was evaluated, and the geological problems of the dammed sediment deposit site were analyzed. The findings indicate that Huahongshu Gully is a moderately prone, mid-sized viscous debris flow gully, with a dynamic stock volume of about  $16 \times 10^4 \text{ m}^3$ , a maximum deposition height of about 2.82 m, and a maximum damming range of about 10 m. The debris flow dammed site covers a large area, and the main geological problem is the liquefaction of sandy soil. The results of the study can provide a scientific reference basis for the safety of residents and construction activities in the area.

**Key words:** debris flow; disaster characteristics; hazard assessment; dammed sediment deposition; sand liquefaction

收稿日期: 2023-03-17

作者简介: 邓睿(1983-),男,高级工程师。

引文格式: 邓睿,崔建宏,来庆勇,等. 花红树沟泥石流灾害特征及堰塞区工程地质问题分析[J]. 高速铁路技术, 2023, 14(6): 26-31.

DENG Rui, CUI Jianhong, LAI Qingyong, et al. Analysis on the Characteristics of Debris Flow Disaster and the Geological Problems of the Dammed Area in Huahongshu Gully [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(6): 26-31.

汶川地震发生后众多学者对震区泥石流进行了大量的研究,结果表明泥石流在今后较长时间内活动趋势是强烈的,其暴发规模和频率将显著增加,是地震灾区长期潜在的地质灾害隐患,可能遭遇泥石流的各种工程建设要采取有效措施加以防范<sup>[1-2]</sup>。对于震区暴发的红椿沟、走马岭沟、龙池等众多典型泥石流,学者们从形成模式、机理、运动特征及危害性等方面进行了研究,并分析评价了泥石流对既有线路的危险性及其对工程选线的影响<sup>[3-4]</sup>。

花红树沟泥石流位于汶川县卧龙镇,历史上大规模暴发后堵塞皮条河形成堰塞,堰塞坝上游河道宽阔,形成面积较大且地形平整的沉积区,是当地少有可利用的建筑场地。通过现场调查及综合勘察手段,在查明花红树泥石流沟内松散物源分布的基础上,对泥石流的发育特点、动力学等特征及堵河危害进行分析评价,并对泥石流形成的堰塞场地分布及砂土液化问题进行分析。

1 花红树沟泥石流概况

花红树沟泥石流位于皮条河(岷江支流)左岸,沟域面积 9.41 km<sup>2</sup>,沟长 6.23 km,沟床纵坡坡降为 317.23 ‰,平均坡度 33.51°,沟谷密度 0.77 km/km<sup>2</sup>。主沟总体较顺直,沟域最高峰海拔 4 530 m,位于北西侧太阳山,最低海拔 1 980 m,相对高差 2 550 m,如图 1 所示。

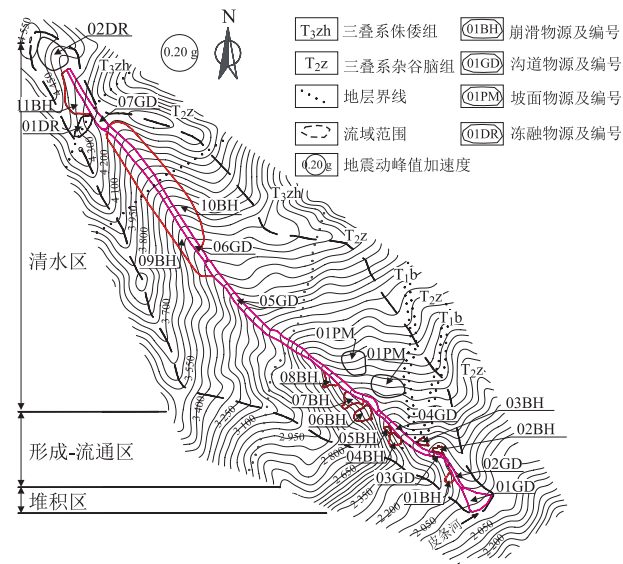


图 1 花红树沟泥石流流域图

通过查阅资料和调查访问,该沟历史上多次发生泥石流,但相关资料记载较少:最早在 20 世纪 30 年代发生过泥石流,但规模不大,未造成大的灾害;1964 年

6 月曾发生过大规模的泥石流,现在卧龙特区政府所在地曾经被泥石流掩埋过,是花红树沟暴发的最大一次泥石流。

2008 年汶川地震发生后,该沟未暴发泥石流。2019 年和 2020 年 8 月汛期山洪、泥石流灾害期间,花红树沟沟口仅有少量碎块石堆积,但其上下游相邻泥石流沟均暴发。

2 花红树沟泥石流孕灾特征

2.1 区域地质环境

2.1.1 地层岩性

泥石流的发育和分布与地层岩性相关,松散固体物质的成分、含量等决定了泥石流的类型、性质和规模。花红树沟域下伏基岩主要为三叠系侏倭组(T<sub>3zh</sub>)变质砂岩、千枚岩互层和杂谷脑组(T<sub>2z</sub>)变质砂岩夹千枚岩、结晶灰岩,岩性以软质岩为主夹硬质岩,岩体较破碎,易发生崩塌、滑坡等地质灾害,形成泥石流物源。

2.1.2 构造环境

花红树沟地处薛城-卧龙“S”型构造带,次级褶皱发育,地层产状紊乱,代表性产状为 N45° E/80° SE,为顺向坡。受龙门山后山活动断裂带影响,新构造运动活跃,该沟位于地震高发区域,地震动基本峰值加速度为 0.20 g,地震动反应谱特征周期为 0.40 s,地震烈度Ⅷ度。在历史地震作用下,沟内崩塌、滑坡、岩堆等松散物源分布众多,规模大小不一。

2.1.3 物源条件

沟域内松散物源主要分为崩滑类、沟道类、坡面类和沟源冻融类 4 种。其中崩滑物源多为汶川地震形成的残留堆积体,是泥石流的主要物源;坡面物源存在于植被覆盖较少缓坡带,暴雨条件下易发生坡面侵蚀;沟源冻融物源主要位于沟域分水岭部位。

根据现场调查和遥感解译,沟内物源共分布 22 处,预测固体物源净储量约 717×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,可参与泥石流活动的动储量约 16×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,占总物源的 2.2%,如表 1 所示。沟内松散物源相对较丰富,易在强降雨作用下成为泥石流暴发的物源基础。

表 1 花红树沟泥石流物源类型及数量统计表

物源类型	分布数量/处	预测静储量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>	预测动储量/10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup>
崩滑类	11	172.2	4.3
沟道类	7	80.2	11.4
坡面类	2	22.09	0.03
沟源冻融类	2	442.79	0.44

2.1.4 降雨条件

降雨特征直接影响泥石流的活动。卧龙地区属中温带湿润气候区,多年平均降雨量 925.1 mm,降雨量丰富且集中,5—9 月的降雨量占全年降雨量的 76%。根据《四川省水文手册》,卧龙地区 24 h 最大降雨量为 90 mm,1 h 最大降雨量为 20 mm,1/6 h 最大降雨量为 12.5 mm。根据《四川省暴雨参数统计图集》中暴雨量等值线图,该区域 24 h、6 h、1 h、1/6 h 多年最大暴雨量平均值分别为 50 mm、30 mm、20 mm、8 mm。强降雨在地表迅速形成径流,冲刷沟道及两岸松散固体物质,使其在陡峭地形条件下加速失稳下滑,为泥石流形成提供了物质来源。

2.2 泥石流分区特征

根据花红树沟沟域特征,可将沟谷分为清水区、形成—流通区和堆积区 3 部分。

清水区:该段沟道长 4.1 km,高程 2 700~4 530 m,相对高差 1 830 m,平均纵坡降 361‰,流域面积 6.37 km<sup>2</sup>。右岸以基岩斜坡为主,坡体上灌木等植被覆盖率高,斜坡稳定性较好,降水主要通过沟谷排泄,为清水汇集区,总体上提供物源量较少。

形成—流通区:该段沟道长 2.0 km,高程 2 700~2 040 m,相对高差 660 m,平均纵坡 330‰,流域面积 2.27 km<sup>2</sup>。高程 2 500~2 200 m 段沟道多为峡谷,形成多处跌水。两岸岸坡陡峻,崩塌、滑坡等现象发育,崩落松散碎块石堆积于沟谷中,局部堵塞沟道,物源较丰富。

堆积区:沟口一带走向北北西,形成宽阔的扇形地,主沟下切深度 1.5~2 m。堆积扇长 500 m,宽 700 m,厚度 15~20 m,扩散角约 85°,平均纵坡 120‰,方量 150×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>,主要由碎块石组成。堆积区地形起伏较小,堆积体挤压皮条河河道明显,其上修建有众多房屋建筑。

3 泥石流动力特征分析

3.1 泥石流容重

泥石流性质主要取决于松散固体物质中的黏粒。花红树沟属于典型的山区沟谷型泥石流,结合泥石流堆积体颗粒粒径的分布特点,初步判定属于黏性泥石流。通过现场调查试验法计算得知,该泥石流容重为 1.70 g/cm<sup>3</sup>。

3.2 泥石流流速

流速是泥石流动力学分析中的重要参数,本文采用黏性泥石流通用公式(1)计算花红树沟泥石流流速。

$$V_c = \frac{1}{n_c} H_c^{\frac{2}{3}} I_c^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

式中:  $V_c$ ——泥石流断面平均流速(m/s);  
 $H_c$ ——泥石流平均泥深(m);  
 $I_c$ ——泥位纵坡率,以沟道纵坡率代替;  
 $n_c$ ——黏性泥石流沟床糙率。

3.3 泥石流流量

泥石流流量可以直接反映泥石流的规模,目前相关计算是根据大量的试验和经验结合的半经验模型,雨洪法是常用的一种方法。泥石流流量预测计算公式如式(2)、式(3)所示,花红树沟沟口位置不同频率洪水和泥石流流量计算结果如表 2 所示。

$$Q_p = 0.278 \psi F s / \tau^n \tag{2}$$

式中:  $Q_p$ ——频率为  $P$  的暴雨洪水设计流量(m<sup>3</sup>/s);  
 $\psi$ ——洪峰径流系数;  
 $F$ ——汇水面积(km<sup>2</sup>);  
 $s$ ——暴雨雨力(mm/h);  
 $n$ ——暴雨递减指数;  
 $\tau$ ——流域汇流时间(h)。

$$Q_c = (1 + \varphi) Q_p \times D_c \tag{3}$$

式中:  $Q_c$ ——频率为  $P$  的泥石流峰值流量(m<sup>3</sup>/s);  
 $\varphi$ ——泥石流泥沙修正系数;  
 $D_c$ ——泥石流沟堵塞系数,参照 DZ/T 0220—2006《泥石流灾害防治工程勘查规范》中表 1.1 取值。

表 2 不同降雨频率下泥石流流速、洪水及泥石流流量计算表

$P$ /%	$H_c$ /m	$1/n_c$	$I_c$ /‰	$V_c$ /(m/s)	$F$ /km <sup>2</sup>	$\varphi$	$D_c$	$Q_p$ /(m <sup>3</sup> /s)	$Q_c$ /(m <sup>3</sup> /s)
20	0.6	15	317.23	7.93	9.41	0.75	2	73.25	94
10	0.75			9.33				22.34	139.36
5	0.9			10.42				33.12	186.32
2	1.1			11.84				44.29	214.5
1	1.12			12.78				50.98	256.81

3.4 一次泥石流总量预测

泥石流具暴涨暴落的特点,过程一般较短,泥石流过程线可以概化成五边形。通过断面一次泥石流的总量由式(4)计算。

$$W_c = 19 T Q_c / 72 \tag{4}$$

式中:  $W_c$ ——一次泥石流的总量(m<sup>3</sup>);  
 $T$ ——泥石流历时(s);  
 $Q_c$ ——泥石流的洪峰流量(m<sup>3</sup>/s)。

一次冲出固体物质的总量由式(5)计算。

$$W_s = \frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_H - \gamma_w} W_c \tag{5}$$

式中:  $W_s$ ——一次泥石流冲出固体物质的总量(m<sup>3</sup>);



$\gamma_H$ ——泥石流中固体颗粒容重( $\text{kN/m}^3$ );  
 $\gamma_c$ ——泥石流容重( $\text{kN/m}^3$ );  
 $\gamma_w$ ——水容重( $\text{kN/m}^3$ )。

根据上述公式可获得一次泥石流总量和相应的固体物质总量,如表3所示。预测花红树沟在50年和100年一遇暴雨频率下,一次固体物质冲出量为 $4.02 \times 10^4 \text{ m}^3$ 和 $5.16 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,属于中型规模泥石流。

表3 花红树沟沟口一次泥石流过程总量表				
$P/\%$	$T/\text{s}$	$\gamma_H/(\text{kN/m}^3)$	$W_c/(10^4 \text{ m}^3)$	$W_w/(10^4 \text{ m}^3)$
20	900	2.65	2.23	0.94
10	1200		4.42	1.86
5	1380		6.79	2.87
2	1680		9.51	4.02
1	1800		12.20	5.16

4 泥石流堵河危害评价

根据泥石流沟易发程度数量化评分表各项指标,花红树沟泥石流易发性综合评判得102分,为中等易发。该泥石流危险度为0.35,属低度危险,拦挡坝+排导槽的防治措施是不够的,基础设施属于中度易损性<sup>[5]</sup>。冲毁、淤埋及堵河(江)阻水是泥石流常见的危害方式,根据目前沟内的物源量情况可对其新发泥石流堵河危害进行预测分析。

4.1 既有治理工程

花红树沟于2010年修建了共3道拦砂坝及沟口排导槽。拦砂坝设计库容 $2.33 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,修建后经过多年的淤积,目前剩余总库容 $1.57 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,约占总库容的67.4%,表明拦砂坝工程仍有较强的回淤能力。排导槽布置于原卧龙水厂下方至皮条河边,总长211.1 m,两侧边墙高2.0 m,宽13 m,主要用于保护沟口两侧居民及建筑物安全。

4.2 堵河范围预测

根据花红树沟预测动储量物源及一次泥石流固体冲出物量进行计算,结果如表4所示,可知沟口排导槽能够满足百年一遇泥石流过流能力,最大堆积厚度约2.82 m。结合沟口堆积范围,以及排导槽长度、宽度、坡降等因素,可对不同频率下一次泥石流堵塞规模及范围进行预测<sup>[6-7]</sup>,结果如图2所示。花红树沟只要暴发 $P=5$ 及以上降雨形成的泥石流,将造成完全堵河危害,最大堵河范围约10 m,且随着降雨量的增大,堵河范围更广、持续时间更长,潜在危害也更大。

5 堰塞区工程地质问题分析

虽然花红树沟新发泥石流对沟口居民及工程安

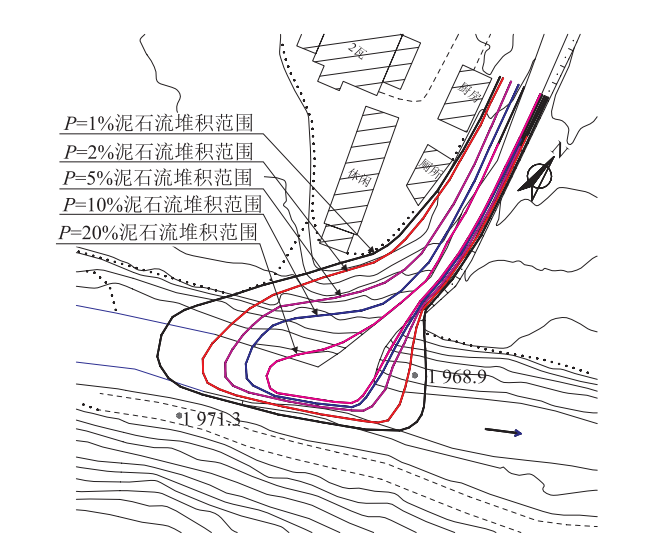


图2 一次冲出固体物质沟口堆积范围预测图

表4 既有排导槽过流能力及沟口堆积厚度计算表					
$P/\%$	泥深/m	流速/(m/s)	过流所需断面面积/ $\text{m}^2$	排导槽断面面积/ $\text{m}^2$	沟口预测最大堆积厚度/m
2	1.12	11.84	21.58	26	2.41
1	1.36	12.78	24.18		2.82

全影响较小,但历史上暴发泥石流形成的较大堰塞坝仍存在。堰塞沉积物一般为细粒物质,多呈纹层状粉砂土与粉砂质黏土间隔,丰水期和枯水期分别形成浅色粗粒、暗色细粒的韵律纹层。堰塞区场地常存在软弱地基、沉降及不均匀沉降、地震液化等工程问题<sup>[8-9]</sup>,经过地质勘察研究,花红树沟泥石流堰塞区主要工程地质问题为砂土液化。

5.1 堰塞范围及分布特征

泥石流堆积坝体上游皮条河左岸场地长约1300 m,宽100~150 m。通过地质剖面A-A'、B-B'、C-C'揭示,堰塞场地长950 m,沉积物质以稍密粉细砂为主,稍密中砂次之,呈透镜状分布少量稍密粉土、中密粉细砂及中密中砂,如图3所示。

A-A'剖面紧邻皮条河左岸布置,揭示堰塞沉积层物主要连续分布两段:(1)剖面10~700 m段底板标高1960 m,厚3~7 m,近坝体处厚度可达近10 m,向上游沉积厚度逐渐减小,埋深3~13 m。泥石流堆积体上游边缘内分布有粉细砂及中砂,也表明泥石流堆积体形成了较大的堰塞坝体,且历史上多次暴发;(2)剖面520~830 m段分布一层稍密粉细砂,底板标高约1957~1968 m,厚1.6~5 m,埋深7~14 m。

B-B'剖面紧邻泥石流堆积体上游,堰塞沉积物主要分为两层,底层以中密中砂为主,表层以稍密粉细砂为主。底板标高1949 m,表层埋深0~3 m,厚3~7 m,

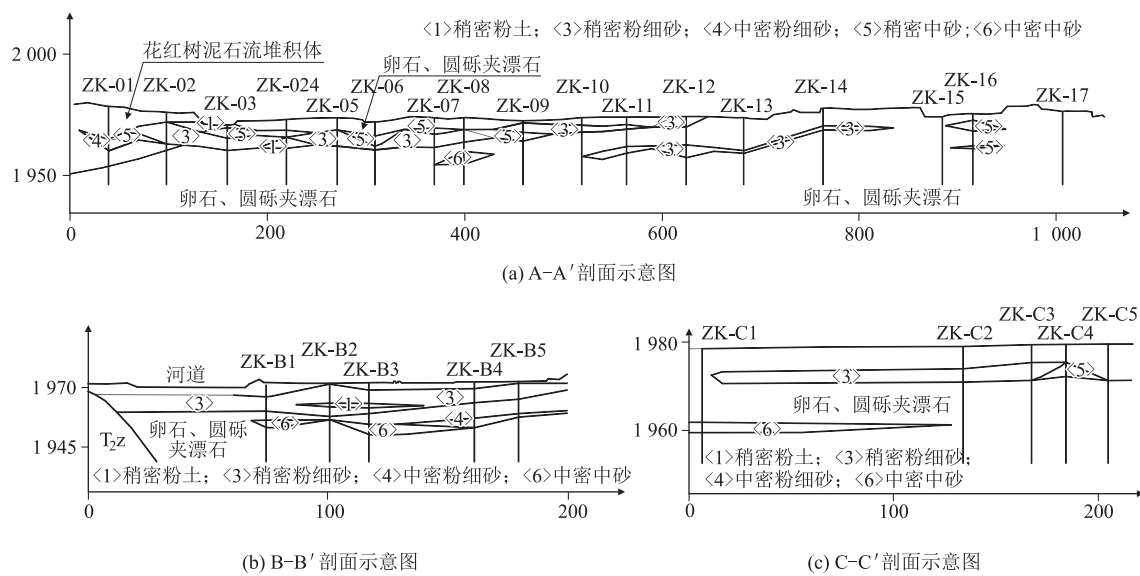


图3 堰塞沉积液化砂土分布示意图

两层间隔 1~3 m。在横向上反应出堰塞平台内沉积物深度大于河道边( A-A' 剖面),坡脚边沉积物厚度及深度逐渐减小。

C-C' 剖面位于堰塞区上游终点附近,沉积物分布与 B-B' 剖面近似,底板标高 1 960 m,表层埋深 5 m,厚 2.5~3 m,两层间隔 9 m。

综上所述,堰塞沉积物分布范围较广、埋深较大,现有河道边以稍密粉细砂为主,向上游和河流左侧多具有底层为中密中砂的两层结构分布特征;场地横向中部沉积物局部埋深大于现有河道,至坡脚边分布逐

渐减少。

### 5.2 砂土液化分析

堰塞场地位于河道边,地下水位较高,对埋深不大于 20 m 的粉土、粉细砂及中砂应考虑砂土液化问题。通过室内试验和现场原位测试,对液化砂土的物理、力学指标进行分析。粉土、粉细砂及中砂的颗粒组成不均匀系数在 13.6~66.27 之间,曲率系数在 1.01~2.60 之间,如表 5 所示,同时满足  $C_u \geq 5$  和  $C_c = 1 \sim 3$  两个条件,表明液化砂土颗粒分布范围较大,颗粒组成不均匀,级配较好。

表5 堰塞沉积物颗粒分析统计表(平均值)

分层编号	颗粒分析/(mm/%)							不均匀系数 $C_u$	曲率系数 $C_c$
	20~2	2~0.5	0.5~0.25	0.25~0.075	0.075~0.005	0.005~0.002	<0.002		
<1>	-	-	0.30	33.70	55.60	4.80	5.60	13.60	2.14
<3>	2.75	0.77	6.54	44.25	46.72	4.44	5.94	25.04	2.05
<4>	4.18	14.54	12.64	37.79	29.51	5.19	5.21	34.23	1.01
<6>	15.18	31.80	14.05	17.22	22.57	2.65	2.50	66.27	2.60

堰塞沉积物的部分物理指标及液化判定情况如表 6 所示。其中粉细砂  $e_{\min} = 0.53$ 、 $e_{\max} = 1.33$ ,中砂  $e_{\min} = 0.49$ 、 $e_{\max} = 1.2$ ,颗粒较小粉细砂的最小及最大孔隙比均大于颗粒较粗的中砂。稍密粉土液化等级为中等;稍密粉细砂表层液化等级为严重,埋深 5~14 m 为中等液化;稍密中砂表层液化等级为中等,10~14 m 为轻微液化;中密粉细砂、中砂埋深较大,均为中等液化。

砂土液化可能导致堤岸滑塌、地面开裂下沉,从而破坏公路、铁路和地面建筑。设计时应充分考虑其危害,结合工程类型采取相应的夯实、排水、换填及桩

表6 堰塞沉积物物理指标及液化判定表

分层 编号	物理指标			液化判定(标准贯入测试)				
	颗粒密度 $\rho_s/(\text{g}/\text{cm}^3)$	孔隙比/ $e$		修正锤击数			埋深 /m	液化 等级
		最小	最大	最小 值	最大 值	平均 值		
<1>	-	-	-	2.9	9	5	0~10	中等
<3>	2.68	0.53	1.33	2.8	12.2	7.6	0~5	严重
							5~14	中等
<4>	2.7			15.5	20.5	18.1	14~17	轻微
<5>	-	0.49	1.2	4.5	15.8	9.1	4~10	中等
							10~14	轻微
<6>	2.68			13	18.3	16.1	14~20	轻微

基等方法,确保工程建设安全。

## 6 结论

花红树沟泥石流堆积体上分布有大量的房屋建筑,其上游堰塞场地内目前也有在建交通工程。通过综合勘察与计算分析,得到主要结论如下:

(1) 花红树沟流域面积较大,地形陡峻,降雨集中,沟内物源丰富,具备泥石流形成条件。

(2) 该泥石流容重为  $1.70 \text{ g/cm}^3$ , 当设计频率  $P=1$  时,流速为  $12.78 \text{ m/s}$ ,峰值流量为  $256.81 \text{ m}^3/\text{s}$ ,一次泥石流总量和冲出固体物质总量分别为  $12.20 \times 10^4 \text{ m}^3$  和  $5.16 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

(3) 汶川地震以来该沟未暴发泥石流,沟内设置的3道拦砂坝+排导槽防治工程起到了良好的效果,既有排导槽满足泥石流过流能力,新发泥石流对沟口居民安全影响较小。沟口应尽量避免修建工程,如有则应以高墩大跨桥梁通过,并加强墩台防护。

(4) 泥石流堰塞场地具有分布范围较广、埋深较大及液化砂土两层结构分布的特征,液化等级以中等~轻微为主。应根据场地内工程类型采取相应防治措施。

(5) 雨季应加强花红树沟泥石流的监测预警及预报,堰塞场地应针对工程类型加强地质勘察,以确保居民及工程安全。

## 参考文献:

- [1] 唐川. 汶川地震区暴雨滑坡泥石流活动趋势预测[J]. 山地学报, 2010, 28(3): 341-349.  
TANG Chuan. Activity Tendency Prediction of Rainfall Induced Landslides and Debris Flows in the Wenchuan Earthquake Areas[J]. Journal of Mountain Science, 2010, 28(3): 341-349.
- [2] 许强. 汶川大地震诱发地质灾害主要类型与特征研究[J]. 地质灾害与环境保护, 2009, 20(2): 86-93.  
XU Qiang. Main Types and Characteristics of the Geo-hazards Triggered by the Wenchuan Earthquake [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2009, 20(2): 86-93.
- [3] 韩用顺,黄鹏,朱颖彦,等. 都汶公路沿线泥石流危险性评价[J]. 山地学报, 2012, 30(3): 328-335.  
HAN Yongshun, HUANG Peng, ZHU Yingyan, et al. Hazard Assessment of Debris Flow along Dujiangyan-Wenchuan Highway[J]. Journal of Mountain Science, 2012, 30(3): 328-335.
- [4] 向灵芝,崔鹏,陈洪凯,等. 汶川震后公路泥石流危害类型与活动特征分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2016, 35(6): 60-67.  
XIANG Lingzhi, CUI Peng, CHEN Hongkai, et al. Damage Types and Activity Characteristics of Debris Flow along Highway after Wenchuan Earthquake [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2016, 35(6): 60-67.
- [5] 唐垒庆. S303线映秀至卧龙段震后公路泥石流风险评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2012.  
TANG Leiqing. The Risk Assessment of Debris Flow after the Wenchuan Earthquake along Yingxiu-Wolong Highway of S303 Line [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2012.
- [6] 胡卸文,吕小平,黄润秋,等. 唐家山堰塞湖大水沟泥石流发育特征及堵江危害性评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(4): 850-858.  
HU Xiewen, LV Xiaoping, HUANG Runqiu, et al. Developmental Features and Evaluation of Blocking Dangers of Dashui Ditch Debris Flow in Tangjiashan Dammed Lake [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(4): 850-858.
- [7] 袁东,冯涛,林之恒,等. 泥石流灾害对新建康定车站的影响研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(4): 88-94.  
YUAN Dong, FENG Tao, LIN Zhiheng, et al. Study on Influence of Debris Flow Disaster on New Kangding Station [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(4): 88-94.
- [8] 燕俊松,沈军辉,陈亮,等. 岷江上游古堰塞湖相沉积地层工程地质特性研究[J]. 公路, 2017, 62(5): 64-69.  
YAN Junsong, SHEN Junhui, CHEN Liang, et al. Research on the Geotechnical Characteristics of Paleo-dammed Lake Deposits in the Upstream of Minjiang River [J]. Highway, 2017, 62(5): 64-69.
- [9] 陈亮,沈军辉,沈中超,等. 川汶公路K95+300~K95+490段堰塞湖相沉积地层路基变形机制研究[J]. 中外公路, 2017, 37(5): 22-25.  
CHEN Liang, SHEN Junhui, SHEN Zhongchao, et al. Study on Deformation Mechanism of Subgrade in Sedimentary Strata of Dammed Lake in K95+300~K95+490 Section of Sichuan-Wenzhou Highway [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2017, 37(5): 22-25.