

平武县鱼池沟泥石流特征及治理措施研究

王多军, 范 焱, 朱莎莉

(四川省蜀通勘察基础工程有限责任公司, 四川 成都 610041)

摘要:“5.12”汶川特大地震产生了大量泥石流灾害,造成了重大的人员伤亡和经济损失。震后几年,经历数个雨季,灾区的泥石流灾害仍然很多。本文以平武县鱼池沟泥石流为例,对山区暴雨沟谷型泥石流的形成条件、基本特征以及治理措施进行研究。鱼池沟泥石流属于黏性泥石流,容重为 1.62 t/m^3 ,采用雨洪法,计算求得泥石流沟口20年一遇的峰值流量为 $53.48 \text{ m}^3/\text{s}$,一次性泥石流过流总量为 2.54 万 m^3 ,一次性泥石流固体物质冲出量为 1.05 万 m^3 ,为泥石流的治理工程提供了设计参数。在此基础上提出“潜槛群+缝隙坝+排导槽+盖板涵+路面恢复”的治理措施,治理效果良好。对于类似的暴雨沟谷型泥石流,特别是沟谷纵坡降大、沟道狭窄、没有库容空间的泥石流沟的治理工程设计具有一定的参考价值。

关键词:暴雨沟谷型泥石流;形成条件;基本特征;治理措施

中图分类号:P642.23 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0396-05

Research on the characteristics and treatment measures of the Yuchi Gully debris flow in Pingwu County

WANG DuoJun, FAN Yi, ZHU Shali

(Sichuan Shutong Investigation and Foundation Engineering Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610041, China)

Abstract: The Wenchuan Earthquake on May 12th, 2008, triggered a large number of debris flow disasters, resulting in a significant number of casualties and huge economic losses. In the years following the earthquake, debris flow disasters in the disaster-stricken areas continued to occur frequently after several rainy seasons. This paper takes the debris flow in Yuchi Gully in Pingwu County as an example to study the formation conditions, basic characteristics, and control measures of mountain rainstorm-induced gully-type debris flows. The debris flow in Yuchi Gully is a viscous debris flow with a bulk density of 1.62 t/m^3 . Using the rainstorm-flood method, the peak flow rate at the gully mouth of the debris flow with a recurrence interval of 20 years is calculated to be $53.48 \text{ m}^3/\text{s}$. The total volume of a single debris flow passing through is 25400 m^3 , and the solid material discharge of a single debris flow is 10500 m^3 . These data provide design parameters for the debris flow control project. Based on these data, a comprehensive control measure of “submerged sill group+slit dam+diversion channel+covered culvert+road surface restoration” is proposed, and it has achieved good control results. This measure has certain reference value for the design of control projects for similar rainstorm-induced gully-type debris flows, especially those with large longitudinal gradients, narrow channels, and no reservoir storage space.

Key words: rainstorm-induced gully-type debris flows; formation conditions; basic characteristics; control measures

0 引言

“5·12”汶川特大地震产生了大量的地质灾害,直接触发了约15000处滑坡、崩塌、泥石流^[1],造成了重大的人员伤亡和经济损失。此外,震后还留下

了大量的地质灾害隐患点,多达上万处。震后几年,经历数个雨季,灾区的地质灾害问题仍较突出。根据大量研究,震后3年,汶川地震灾区发生了不同规模的滑坡、崩塌、泥石流约880起^[2]。其中以几个

收稿日期:2025-04-18; 修回日期:2025-07-10 DOI:10.12143/j.ztgc.2025.S1.065

第一作者:王多军,男,汉族,1987年生,高级工程师,地质工程专业,硕士,长期从事岩土、水工环、房建、交通、水利等勘察设计工作,四川省成都市高新区高朋大道22号,Email:471537944@qq.com

引用格式:王多军,范焱,朱莎莉.平武县鱼池沟泥石流特征及治理措施研究[J].钻探工程,2025,52(S1):396-400.

WANG DuoJun, FAN Yi, ZHU Shali. Research on the characteristics and treatment measures of the Yuchi Gully debris flow in Pingwu County[J]. Drilling Engineering, 2025,52(S1):396-400.

群发性的泥石流较为严重。如2017年8月8日九寨沟地震,后期降雨形成卓追沟泥石流,严重威胁景区基础设施及游客、工作人员的生命安全;2020年7月17日德宏州盈江县苏典乡勐嘎村勐嘎小河暴发了泥石流灾害,威胁居民307户、1446人的生命财产安全。因此加大对泥石流的形成条件、基本特征、治理工程的研究具有深远意义。

目前,许多工程技术人员已经针对特大型泥石流的成因机制特征和防治措施进行了深入的研究,并取得了一些经验和成果^[3-18]。对于不同形成条件的泥石流采用了多样防治方法,如拦砂坝、谷坊坝、排导槽、防护堤、潜槛等。本文以平武县鱼池沟泥石流为例,对山区暴雨沟谷型泥石流的形成条件、基本特征,以及治理措施进行研究,对类似的泥石流工程设计提出了建议,具有一定的参考价值。

1 工程概况

鱼池沟位于平武县黄羊关藏族乡星光村(图1),2013年7月28—29日,平武县境内普降暴雨,历时近3天,诱发形成了大量地质灾害,鱼池沟泥石流便是其中之一。7月28日23:30左右,鱼池沟暴发泥石流,导致2间房屋、1辆拖拉机被冲毁,所幸并未造成人员死亡。但该沟泥石流若再次暴发,将威胁到沟口26户95人的生命财产安全。

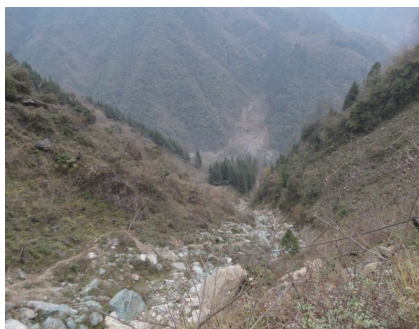


图1 鱼池沟全景

据现场调查,鱼池沟为一条老的泥石流沟,曾发生过3次不同规模的泥石流,其余两次为:1964年7月,沟口水位可淹没膝盖,以高含砂水为主,该次泥石流持续时间短,且以水流为主,并未造成任何人员伤亡和经济损失;1976年7月暴发泥石流,带出少量的颗粒,但粒径较小,粒径在5~50 mm,持续时间较短,并未造成任何人员伤亡和经济损失。

1.1 地层岩性

地层岩性与地质构造是泥石流形成的必要条件,控制着泥石流固体物质的提供方式及数量,也直接影响泥石流的形成和发展。勘查区出露地层主要为第四系残坡积层、泥石流堆积层、前震旦系碧口群上部岩组等地层,岩体表层风化较强烈,为泥石流活动提供了丰富的固体松散物质。

1.2 地质构造

勘查区位于虎牙关大断层以东、木皮复背斜以北的区域,并有叶塘正断层穿过,虎牙关大断层南起平武银广沟,北经虎牙关、松潘小河,全长45 km以上,断面走向北西22°,倾向北东东,倾角65°左右;叶塘正断层位于叶塘公社东侧,全长18 km,叶塘附近可见十余米宽的破碎带,结构面力学性质基本为张性;木皮复背斜横贯平武北部,东西长93 km,南北宽15~39 km,东与广元牙包咀复背斜连为一体,西过虎牙关后分为若干独立的次级褶皱,最后倾伏消失于松潘岷江东侧。

1.3 水文地质条件

勘查区地下水主要有第四系孔隙水及基岩裂隙水两类。第四系孔隙水赋存于第四系松散层孔隙中,残坡积物分选性较差,上部结构松散,下部稍密一中密,透水性强,储水条件差,当大气降雨补给时,渗入较快,径流路程短,以面状或带状方式下渗,最后汇于主沟及支沟中。基岩裂隙水为构造裂隙水,泉水露头多,常在沟道两侧基岩裂隙中渗出,多为点滴状或淋雨状出水,主要分布在沟谷地带岩体裂隙中,接受大气补给为主,排泄于沟谷内。

1.4 地震特征

据《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010,2016年版),鱼池沟泥石流所处位置的区域地震动峰值加速度为0.2g,地震动反应谱特征周期为0.40 s,地震烈度为Ⅷ度。

2 泥石流的形成条件

2.1 地形条件

鱼池沟流域呈树叶状,沟道长度约2.6 km,流域面积2.5 km²(图2)。流域内水系呈线状分布,最高点位于流域西北北侧山脊部位,高程2430 m,最低点位于沟口黄羊河,高程1258 m,相对高差1172 m,沟谷平均纵坡降约为467.5‰。鱼池沟支沟不发育,无支沟,主沟道较顺直,沟谷为“V”型谷,两岸谷

坡较陡,坡度为 $35^{\circ}\sim 50^{\circ}$,有利于降雨汇集,流域植被发育较好,主要分布在沟源处,覆盖率约为70%,沟床宽10~30 m,呈上窄下宽。



图2 鱼池沟泥石流全貌

2.2 物源条件

勘查区泥石流的物源类型主要为崩滑堆积物源和沟道堆积物源,主要分布在沟道及其两侧。据调查结果,崩滑体物源总量为 $3.61\times 10^4\text{ m}^3$,动储量约 $1.01\times 10^4\text{ m}^3$ 。沟道堆积固体物源总量为 $14.25\times 10^4\text{ m}^3$,动储量约 $3.71\times 10^4\text{ m}^3$ 。合计整个沟域内物源量为 $17.86\times 10^4\text{ m}^3$,动储量为 $4.72\times 10^4\text{ m}^3$ 。

2.3 水源条件

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,勘查区的1/6、1、24 h多年最大暴雨量平均值分别为11、20、75 mm。 $P=5\%$ (P 为暴雨频率)时,1/6、1、24 h雨强分别可达22.7、37.6、133.5 mm, $P=2\%$ 时,1/6、1、24 h雨强分别可达28.1、45.0、156.0 mm, $P=1\%$ 时,1/6、1、24 h雨强分别可达32.0、50.4、173.3 mm,具备引发泥石流灾害的降雨条件。由此可见,诱发“7.28”鱼池沟泥石流

的降雨量超过50年一遇,接近百年一遇。

3 泥石流的基本特征值计算

3.1 泥石流容重

在鱼池沟下游排导槽位置采取泥石流堆积物与沟水搅拌泥石流浆体,将浆体搅拌成当时泥石流浆体浓度(主要参考相关勘查报告中2013年“7.28”泥石流的性状)并进行称重,量测浆体体积,计算其容重作为泥石流流体的容重。根据《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DT/T 0220—2006)计算,鱼池沟泥石流容重为 $1.58\sim 1.66\text{ t/m}^3$,平均值为 1.62 t/m^3 ,见表1。

表1 泥石流流体容重计算

试验探槽位置	配制泥浆质量/kg	配制泥浆体积/L	泥石流容重/ ($\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$)
TC01	6.67	4.0	1.66
TC02	6.49	4.1	1.58

3.2 泥石流流速和流量

根据《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DT/T 0220—2006)采用雨洪法、形态调查法对鱼池沟3条典型剖面进行流速计算。采用形态调查法求得的泥石流峰值流量大于雨洪法,另采用形态调查法计算结果没有暴雨频率的概念,仅能代表当次泥石流的特征值,而雨洪法则根据现有沟域面积、沟域植被发育分布情况和径流系数进行计算,具有预测性质,最终采用雨洪法计算求得的结果。

3.2.1 泥石流流速计算

根据调查和计算,泥石流容重为 1.62 t/m^3 。本次采用黏性泥石流流速计算公式(通用公式)复核计算各断面“7.28”泥石流流速,计算结果见表2。

表2 泥石流流速计算

计算位置	剖面编号	平均泥深/m		沟道纵坡	糙率系数	断面平均流速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	
		$P=1\%$	$P=5\%$			$P=1\%$	$P=5\%$
Q04潜槛	Q4-Q4'断面	3.2	2.8	0.282	0.27	4.27	3.91
缝隙坝	1-1'断面	3.0	2.5	0.160	0.27	3.08	2.73
排导槽	7-7'断面	3.5	3.0	0.205	0.27	3.87	3.49

3.2.2 泥石流峰值流量计算

本方法是假设泥石流与暴雨同频率、且同步发生,计算断面的暴雨洪水设计流量全部转变成为泥

石流流量所建立的计算方法。本次计算公式采用经我国学者修正后的雨洪法计算公式,也称东川公式,计算结果见表3。

表 3 泥石流峰值流量计算

计算位置	剖面编号	泥沙修正系数	泥石流堵塞系数	泥石流峰值流量/(m³·s⁻¹)			
				P=1%	P=2%	P=5%	P=10%
Q04 潜槛	Q4-Q4' 断面	0.73	1.6	70.85	60.94	47.88	39.05
缝隙坝	1-1' 断面	0.73	1.6	69.03	59.38	46.66	38.44
排导槽	7-7' 断面	0.73	1.6	76.94	66.93	53.48	40.98

4 泥石流的危害及发展趋势

4.1 泥石流的危害

2013 年 7 月 25 日鱼池沟开始降雨,前期雨量较小,至 7 月 28 日下午雨强加大。23:30,沟里冲出少量清水,约 40 min 后地动山摇,暴发泥石流。泥石流所到之处,铲刮沟道,到达沟口居民区后,在村民 A 房屋处爬高摧毁数棵大树后(为凹岸,泥石流爬高达到 3.2 m),泥石流进一步下移,受村民 B 两个猪圈的阻挡,挤压拥挤后,破坏了村民 C 家房屋。泥石流最终破坏沟口树林,冲出乡道,进入黄羊河。根据现场调查,“7.28”泥石流在沟口的堆积区面积约为 1.01×10⁴ m²,按平均堆积厚度 1.5 m 计算,该次泥石流固体物质冲出方量约 1.5×10⁴ m³。在沟口公路段堆积方量约为 8000 m³,冲入黄羊河方量约为 7000 m³,由于黄羊河水流速快流量大,未造成堵河。但该次泥石流导致 2 间房屋、1 辆拖拉机被冲毁(图 3),直接损失 80 余万元,所幸没有人员伤亡,但原有的沟道被泥石流基本淤埋填平。之后由乡政府组织应急抢险清淤,清出原有沟道和水泥路面,并在沟口处开挖临时的排导槽。该沟泥石流若再次暴发,将直接威胁沟道两岸沟口 26 户 95 人的生命财产安全。



图 3 泥石流摧毁房屋

4.2 泥石流的发展趋势

鱼池沟属暴雨沟谷型泥石流,泥石流规模主要与沟域内松散固体物源的累计和动态变化,及引发

泥石流的暴雨情况相关,当沟域内松散固体物源累计较多(泥石流流动存量为 4.72×10⁴ m³),且遇到集中暴雨时,往往就会发生较大规模的泥石流灾害。根据《泥石流灾害防治工程勘查规范》(DT/T 0220—2006)判定该泥石流所处发展阶段为发展期。5.12 地震后,鱼池沟流域内不良地质现象增多,局部水土流失加剧,一旦遇到大暴雨,势必引发大规模的泥石流灾害。

5 泥石流的治理措施

治理工程措施是针对泥石流类型、活动规律等进行,各项工程包括稳拦、排导、生物工程等配合使用,综合治理,保证安全。拦挡坝、谷坊坝、潜槛群作为稳拦措施,排导槽和防护堤作为排导措施,在泥石流治理中得到广泛应用。如汶川县重要交通干道沿线磨子沟泥石流采用 2 道拦挡坝,坝高分别是 25、12.5 m,库容 26.67 万 m³,经历了多个雨季,拦挡坝淤满,起到了很好的拦挡作用。汶川县锄头沟泥石流设置 2 道拦挡坝,坝高分别是 22、13 m,总计库容 41.65 万 m³,经历第一个雨季,拦挡坝淤满,有效保护了沟口 40 户 173 人和都汶高速的安全。

5.1 设计依据

- (1)降雨量参数:按 20 年一遇暴雨强度进行设计,根据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》,按 P=5% 计算求得的 1 h 雨强为 37.60 mm。
- (2)泥石流固体物源参数:鱼池沟泥石流松散固体物源量 17.86×10⁴ m³,可能参与泥石流活动的动储量为 4.72×10⁴ m³,按 20 年一遇的设计标准,泥石流一次固体物质冲出量为 1.05×10⁴ m³。
- (3)泥石流运动特征参数:按 20 年一遇暴雨强度的设计标准,泥石流主要运动特征参数见表 3。

5.2 泥石流治理方案

泥石流防治总目标是保护鱼池沟居民聚居区。根据鱼池沟泥石流的形成条件、危害形式、危害程度、发展趋势。综合采用“潜槛群+缝隙坝+排导

槽+盖板涵+路面恢复”的治理方案。

(1)潜槛群布置:根据沟道特征,缝隙坝上游共布设13道潜槛,隔5~15 m布置1道潜槛,坡陡处适当加密,坡缓处适当稀疏;潜槛群的作用是固床护坡、减缓流速。潜槛长为3.5~15.0 m,断面尺寸为宽1.0 m,高2.0 m,基础埋深1.5 m,露出沟底0.5 m,采用C20砼浇筑。

(2)缝隙坝整体布置:在鱼池沟下游1-1'剖面设置缝隙坝。拦挡工程布置的主要目的在于消峰减流,减小泥石流峰值流量,并阻挡泥石流沟内的大石块,减少一次泥石流活动的物源量,保证下方排导槽正常使用和经拦挡后泥石流剩余物质的顺利下泄,同时通过泥石流物质回淤压脚起到稳固沟床和减轻沟岸崩滑的作用。缝隙坝主坝为重力坝,坝顶轴线全长34.1 m,坝顶宽度2 m,上游面坡为1:0.6,下游面坡1:0.2。在坝顶中部设置梯形溢流口,溢流口顶部宽度16.4 m,深1.5 m。坝体布设间距为3 m、截面为1.0 m×1.0 m的泄流排砂梳齿坝7个。

(3)排导槽整体布置:在鱼池沟沟口设置一段排导槽。排导槽沿原有沟道走向穿过居民区,可顺畅地将泥石流直接排至黄羊河中。排导槽总长98.7 m,截面为梯形,底宽4.6 m,顶宽5.6 m,深3.0 m。边墙顶宽0.6 m,底宽1.1 m,高3.5 m,背侧垂直,面侧斜比1:0.2,采用C20素混凝土浇筑。

(4)盖板涵:在排导槽通往居民住户处,新建盖板涵,方便居民通行。

(5)路面恢复:排导槽的修建会毁坏沟内现有的水泥便道,因此在排导槽建好后,需根据居民的位置恢复水泥路面。

6 结论

(1)鱼池沟为典型的暴雨型沟谷泥石流沟,沟谷纵坡降大,暴发频率高,易发程度高,中等规模,潜在危险性等级为中型。

(2)鱼池沟属于黏性泥石流,容重为 1.62 t/m^3 ,沟口20年一遇的峰值流量为 $53.48 \text{ m}^3/\text{s}$,一次性泥石流过流总量为 2.54 万 m^3 ,一次性泥石流固体物质冲出量为 1.05 万 m^3 。

(3)根据鱼池沟泥石流的形成特征、危害形式、危害程度、发展趋势及保护对象,综合采用“潜槛

群+缝隙坝+排导槽+盖板涵+路面恢复”的治理方案。

(4)对于该类型的暴雨沟谷型泥石流,特别是沟谷纵坡降大、沟道狭窄、没有库容空间的泥石流沟,采用潜槛群固床稳定物源,缝隙坝拦粗排细,结合排导槽,能起到很好的治理作用,对类似的泥石流工程设计提出了建议,具有一定的参考价值。

参考文献:

- [1] 殷跃平.汶川八级地震地质灾害研究[J].工程地质学报,2008,16(4):433-444.
- [2] 黄润秋.汶川地震地质灾害后效应分析[J].工程地质学报,2011,19(2):145-151.
- [3] 苏小琴.九龙县沃绰沟泥石流发育特征及防治措施[J].四川地质学报,2017,37(3):471-474.
- [4] 王研.云南省德钦县一中河泥石流形成机制和防治对策[D].北京:中国地质大学,2016.
- [5] 李金洋,尹国龙,黄海,等.藏东高原浅丘红层区泥石流发育特征及活动性研究[J].钻探工程,2024,51(3):45-53.
- [6] 崔华丽,杨东旭,杨栋,等.狭陡型泥石流成灾特征与防治对策研究——以阿坝州金川县刘家沟泥石流为例[J].钻探工程,2022,49(6):122-129.
- [7] 王雨.甘南卓合高速沿线泥石流发育特征及防治措施研究[D].西安:长安大学,2019.
- [8] 刘壮.四川卧龙熊猫沟泥石流发育特征及防治措施研究[D].成都:成都理工大学,2019.
- [9] 丁保艳,李征.鹿鸣乡松树林泥石流特征与防治[J].建材世界,2017,38(3):103-105.
- [10] 宫凤梧.张家口市崇礼县小梨沟泥石流地质灾害基本特征及防治措施[J].西部探矿工程,2016,28(6):151-152,156.
- [11] 何宇航.国道G213线彻底关沟泥石流发育特征及防治措施研究[D].成都:西南交通大学,2015.
- [12] 郭玉宝,谭超.连山大桥泥石流沟灾害特征分析[J].路基工程,2015(2):178-183.
- [13] 郭剑.凉山州盐源县巫木河泥石流发育特征及防治措施建议[J].四川建筑,2014,34(1):73-74.
- [14] 原野,孙文斌,孙景,等.西藏自治区浪江公路泥石流形成条件与防治[J].吉林地质,2013,32(4):143-144,153.
- [15] 张劲松,巨能攀,赵建军.四川省青川县碾子村清岭沟泥石流特征及防灾对策[J].中国地质灾害与防治学报,2011,22(1):37-42.
- [16] 余意,陈学军.泥石流形成机制及其防治措施的研究[J].成都工业学院学报,2015,18(2):11-14.
- [17] 郑锐杰.四川省康定市牛棚子沟泥石流发育特征及防治措施研究[D].成都:西南交通大学,2023.
- [18] 石坤.北京市房山区十字寺沟泥石流危险性评价及防治工程设计[D].北京:中国地质大学,2021.

(编辑 王跃伟)