

川西山区某泥石流基本特征及治理措施研究

严婉如, 吴启红*

成都大学建筑与土木工程学院 四川成都

【摘要】目的 川西山区位于青藏高原与四川盆地过渡地带, 地质构造活跃, 泥石流灾害频发, 已经造成了重大人员伤亡和财产损失。以川西山区某处泥石流为例, 研究该区域某泥石流的发育特征, 并提出泥石流治理措施, 从而达到保护泥石流危险区居民生命及财产安全的目的, 并以期为相似泥石流治理工程提供参考; **方法** 首先, 收集研究区的地质资料, 包括地质构造、地形地貌、气象水文等基础数据。其次, 进行现场地质勘察, 详细记录泥石流沟的地形特征、物源分布、植被覆盖等情况, 并采集相关样本进行实验室分析。最后, 运用力学计算方法, 对泥石流的流速、流量、冲击力等关键参数进行模拟和计算, 以评估泥石流的潜在风险和危害程度; **结果** 研究结果表明, 在强暴雨及长时间降雨作用下, 该泥石流的发生可能性显著增加。例如, 2021 年的一场特大暴雨导致该区域泥石流暴发, 流量达到 60 立方米/秒, 持续时间约 60 分钟, 造成了严重的人员伤亡和财产损失。此外, 长时间降雨会使得土壤饱和, 进一步增加泥石流的规模和破坏力; **结论** 本研究针对川西山区某泥石流的特点, 提出了综合的治理措施和监测体系建设方案。然而, 泥石流灾害的复杂性和不确定性要求我们持续关注和深入研究。未来的研究方向应包括: 进一步优化治理措施的设计和实施, 结合先进的监测技术如遥感监测、无人机巡查等, 提高监测的实时性和准确性; 开展长期的泥石流动态监测, 积累更多数据以完善灾害预测模型; 加强与当地居民的沟通与合作, 提高防灾减灾意识和应急响应能力。

【关键词】 泥石流; 发育特征; 治理措施

【收稿日期】 2024 年 12 月 12 日

【出刊日期】 2025 年 1 月 20 日

【DOI】 10.12208/j.ace.20250003

Study on the characteristics and control measures of debris flow in the western Sichuan mountainous area

Wanru Yan, Qihong Wu*

School of Architecture and Civil Engineering, Chengdu University, Chengdu, Sichuan

【Abstract】Objective The mountainous area in Western Sichuan is located in the transitional zone between the Qinghai-Tibet Plateau and the Sichuan Basin. With active geological structures, debris flow disasters occur frequently, which have already caused significant casualties and property losses. Taking a debris flow in a certain area of the mountainous region in Western Sichuan as an example, this study aims to investigate the development characteristics of a debris flow in this area and propose measures for debris flow control. Thus, it can achieve the goal of protecting the lives and property of residents in the debris flow hazard area, and it is expected to provide a reference for similar debris flow control projects. **Methods** Methods such as collecting geological data of the study area, conducting on-site geological surveys, and performing mechanical calculations were adopted. **Results** For the studied debris flow, the likelihood and scale of its occurrence will be greater under the influence of heavy rainstorms and long-term rainfall. Corresponding control measures were proposed according to the characteristics of this debris flow. **Conclusion** In the face of the menacing and extremely destructive debris flow disasters, we must take a two-pronged approach. On the one hand, we should adopt effective control measures to fundamentally reduce the

*通讯作者: 吴启红

possibility and harm degree of debris flow occurrence. On the other hand, we should establish a complete monitoring system to achieve real-time monitoring and accurate early warning of debris flow disasters.

【Keywords】Debris flow; Development characteristics; Control measures

1 引言

泥石流是指由于自然因素影响对山体带来严重破坏, 并引发山体滑坡, 且与泥沙石块同一时间倾泻而下产生的特殊洪流^[1]。泥石流灾害的特点主要为突然性、短暂、破坏性大。近年来随着我国对该地区建设工程的大力投入, 开挖填土、削坡挖脚等工程都加剧了泥石流地质灾害的发生频率。川西地区地质条件复杂, 强震活动频繁, 受深切河谷地形地貌、软弱地层岩性和集中强降雨等因素影响, 岷江沟谷两岸泥石流灾害极其发育^[2-5]。

本文所研究泥石流危害对象为沟口 45 户 220 人、公路等基础设施, 威胁财产约 1000 万元。据现场调查物源、地形及降雨情况, 目前该泥石流松散固体物源丰富, 在强降雨条件下具有再次爆发泥石

流的可能性。在这一背景下, 深入研究该泥石流基本特征、发展趋势、治理措施等成为当地政府和居民保障生命财产安全的紧迫需求。

2 泥石流区概况

2.1 地形地貌

该泥石流沟所在县城位于青藏高原东部, 大渡河上游, 属于川西北高山峡谷向川西丘状高原过渡地带, 是燕山运动隆起, 喜马拉雅运动大幅度抬升而成的高原、山地。主要地貌类型是中山、高山、高平原、丘状高原及冰川地貌。整个地势西北高、东南低, 由西北向东南倾斜, 最低点海拔 2650 米, 最高点海拔 5178 米, 相对高差 2528 米, 境内一般山峰海拔 4200 米~4500 米, 地形以丘状高原为主, 相间河谷平地和高山。泥石流全貌图见图 1。

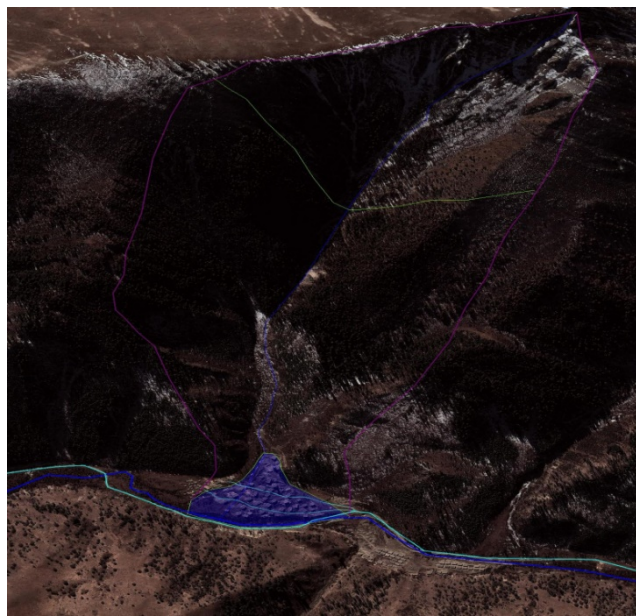


图 1 泥石流全貌图

2.2 气象水文

该泥石流沟所在区域气温、降水受海拔因素影响, 气温差异、降水差异较大, 年均气温 7.7°C , 年降水量 760.5 毫米。泥石流沟位于国吉河右岸, 国吉河整体流向自西向东, 工程区地势南高北低, 与河流近于直交, 发育于构造侵蚀中山区。流域面积约 1.7km^2 , 主沟长度约 2.25km, 沟口处与河流交汇处海拔 3622m, 相对高差 903m, 沟谷平均纵坡降为 354‰, 沟内枯季

水量较小, 雨季水量较大。

2.3 成灾历史

通过对当地居民的走访, 该泥石流沟近年来主要以山洪或小型泥石流为主, 暴发规模较大的泥石流为 2021 年暴发的泥石流, 为中频泥石流沟。2021 年暴发的泥石流总体形态呈稀性, 连续流动, 最大的流量过程约为 60min, 迅速减小后, 泥石流转变为山洪, 并继续流动数小时, 泥石流运移至沟口漫溢至沟道两

侧居民聚集区,造成村道涵洞堵塞、村道淤埋及养殖围栏等受损。其次,由于强降水的作用,泥石流沟道内松散堆积体在洪水作用下,大量的砾石、砂粒、粉粒在地面径流的作用下被带往下游,根据调查和访问该次泥石流固体冲出方量约 2700m³。

3 泥石流发育特征

3.1 清水区冲淤特征

清水区冲淤特征清水区主要位于主沟海拔 4000m 以上区域,流域面积 0.98km²,占流域总面积的 57%;该区主沟累计长约 1176.5m,占泥石流

主沟累计长度的 47%;主沟沟道窄而陡,宽度约 3m~8m,呈“V”型谷为主,谷坡坡度一般为 45°~70°,主沟平均纵坡为 446.2%。沟源区表面植被较发育,沟源区表面植被较发育,植被覆盖率为 70%,地质灾害不发育,表面覆盖层薄,坡面物源少,以坡面冲刷为主,主要出露的地层有三叠系杂谷脑组板岩夹变质砂岩,岩层产状 19°∠45°。受区域构造影响,岩层节理裂隙较发育,岩体较破碎;第四系残坡积厚度一般在 0.5m~1.5m,该区在泥石流形成过程中主要起到汇水作用。清水区影像图见图 2。



图 2 清水区影像图

3.2 形成流通区冲淤特征

形成流通区主要位于主沟海拔 3680m~4000m 区域,相对高差 320m,流域面积 0.65km²,占流域总面积的 38%;该区主沟累计长约 990.5m,占泥石流主沟累计长度的 41%;地形以陡坡为主,沟道局部呈平缓-陡坡交替出现的特征,谷坡坡度多在 35°~60°间,沟床较狭窄,宽度多在 5m~20m 间,主沟平均纵坡降约 323.1%。形成流通区的冲淤特征视不同沟段和主沟条件的差异而表现出不同的特点,另外,因降雨量及其分布的不同、沟道内洪水(或泥石流)流量的差异,其冲淤现象也会出现一定的差异,总体上看,形成流通区上段冲淤特征表现为以冲为主的特点,形成流通区下段冲淤特征表现为以淤为主的特点。首先,在形成流通区上段由于沟谷纵比较相对较大,沟床相对狭窄,且该沟段区域性抬升剧烈,因此沟道下切较为强烈。这些特

点决定,在具备较强的水动力条件时,泥石流下蚀作用通常大于堆积作用,其冲淤特征表现为以冲为主的特点。但在较小的洪水或泥石流条件下,局部地段也可能出现小规模淤积。在形成流通区下段,沟谷纵比降相对上段较缓,且沟床相对宽阔,这种特征决定其泥石流冲刷能力相对较弱,冲刷深度较小,在小规模暴雨洪水或泥石流条件下,其淤积的速度大于侵蚀的速度,其冲淤特征表现为以淤为主的特点,沟道内细小颗粒物质被洪水冲走,停淤较大的颗粒物质。

3.3 堆积区冲淤特征

堆积区位于主沟海拔 3622m~3680m 区域,相对高差 58m,流域面积 0.07km²,占流域总面积的 5%;该区主沟长约 295m,占泥石流主沟长度的 12%;该区主沟沟道宽而缓,沟床相对较宽缓,宽度多在 1.5m~4m 间;堆积区除沟道附近堆积泥石流堆积体

外, 其他区域广泛堆积早期冲洪积, 冲洪积层厚度一般在 3m~8m; 植被发育较好, 植被覆盖率近 55% 以上。泥石流沟堆积区的该段沟道平均纵坡较低, 而沟道较宽。由于沟床纵坡降低, 限制了运动体的动能增加, 从而降低了泥石流的运动速度; 同时, 泥石流流体水分降低和相互碰撞作用, 结构阻力剧增, 降低了运动速度。以上两个因素促使颗粒运动速度随着搬运距离的增大而减小, 推移力也相应减小, 最终颗粒在自身的重力作用下规律性沉积于沟道。因此, 该沟段冲淤特征仍为以淤为主的特点。

3.4 物源发育特征

据勘查统计计算的结果, 沟域内崩滑堆积固体物源总量为 $5.21\times10^4\text{m}^3$, 可能参与泥石流活动的动储量为 $3.08\times10^4\text{m}^3$, 其动储量占总动储量比例为 35.7%; 沟道堆积固体物源总量为 $6.08\times10^4\text{m}^3$, 可能参与泥石流活动的动储量为 $2.79\times10^4\text{m}^3$, 其动储量占总动储量比例为 32.3%; 坡面侵蚀固体物源总量为 $18.40\times10^4\text{m}^3$, 可能参与泥石流活动的动储量为 $2.76\times10^4\text{m}^3$, 其动储量占总动储量比例为 32.0%。共计有松散固体物源量 $29.69\times10^4\text{m}^3$, 可能参与泥石流活动的动储量为 $8.63\times10^4\text{m}^3$ 。

表 1 泥石流物源情况汇总统计表

	总储量	动储量
崩滑堆积物源 (万 m ³)	5.21	3.08
沟道堆积物源 (万 m ³)	6.08	2.79
坡面侵蚀物源 (万 m ³)	18.40	2.76
合计 (万 m ³)	29.69	8.63

4 泥石流成因及影响因素分析

4.1 丰富的物源补给

泥石流的形成离不开丰富的物源条件, 物源的形成主要源于岩层破碎、山崩、滑坡、崩塌、表层剥蚀、水土流失、植被破坏等为泥石流的形成提供的丰富物源^[6-7]。流域内分布的大量沟床堆积物、两

岸分布的坡面堆积物、崩塌堆积体等, 易受暴雨洪水的激发启动参与泥石流活动, 加之构造和风化作用, 两岸岩土结构遭到破坏, 崩塌危岩体发育, 可在不利工况下进入主沟参与泥石流活动。泥石流形成流通区沟道物源见图 3。



图 3 泥石流形成流通区沟道物源

4.2 适宜的地形条件

泥石流流域地貌类型属构造剥蚀中切割中山地貌,流域总面积约 1.7m^2 ,主沟沟道总长 2.25km ,主沟平均纵坡降为 354‰ ,高差大,纵坡陡,有利于地表水的快速汇集,为泥石流提供足够势能,为物源启动及流通提供充分条件。

4.3 充足的水源条件

水源是泥石流形成的核心原因,更促进了泥石流地质灾害的出现。此灾害多发于冰水融化或强降雨阶段^[8-9]。根据气象局资料,研究区域雨量较丰富。降水多以地表径流的形式排泄,水势汹涌,动能较大,为泥石流活动提供了充足的水源条件。集中的降水产生洪水强烈冲蚀地表及侵蚀沟谷,将两侧岸坡固体物源及沟道内既有固体物源冲携至沟口,爆发泥石流灾害。

4.4 地震活动破坏影响

根据现场调查,沟内岩层产状不稳定,断裂、褶皱及节理裂隙发育。据有关资料揭示,受“5.12”地震的影响,两岸岩土结构遭到破坏,加剧危岩体破坏,物理力学参数降低,易发生崩塌、滑坡等,松散固体物质进入沟道,补给泥石流物源。

5 泥石流发展趋势分析

5.1 基于泥石流形成条件的发展趋势预测

基于流域地形和沟道条件分析。总结该泥石流沟地域地形和沟道条件,具有以下特点:(1)流域形态呈长条形,以中切割中山地貌为主,山高坡陡,有利于泥石流物源和水源的汇聚,具有泥石流发生的地形地貌条件。(2)总体上沟道纵坡降大,局部陡缓相间,宽窄相间,有利于物源从上游地区启动和向下游运移。(3)虽然流域内松散固体物质总量相对较大,但单位面积的固体物源量较小,而且目前能参与泥石流的松散固体物源较小。因此,该泥石流在短期内暴发泥石流的规模相对较小。但不排除该泥石流沟在连续性强降雨的条件下发生大规模泥石流的可能性。

基于物源条件分析。(1)流域内松散固体物源较丰富,且分布广泛,全流域除清水区外都有泥石流物源分布,该泥石流沟物源总量达 29.69 万立方,动储量达 8.63 万立方。(2)物源组成中,崩滑堆积物源静储量共 5.21 万立方,动储量共 3.08 万立方;沟道堆积物源静储量共 6.08 万立方,动储量

2.79 万立方;坡面堆积物源静储量共 18.40 万立方,动储量 2.76 万立方。物源以粒径小于 0.5m 的较细颗粒为主,这些物源往往具有易于启动的特点。

基于水源条件分析。该泥石流沟河流域形态整体上呈长条形,沟道两侧岸坡坡度较大,岸坡中上部常见基岩裸露,这些条件均有利于降雨转化成地表径流和激发泥石流灾害。

综上所述,从泥石流形成条件分析,该泥石流沟还具有继续发生泥石流的物源条件、地形地貌条件和水源条件,且从现有沟道和物源特征分析,其局部沟段发生堵溃并引发形成大规模泥石流的危险性较大。

5.2 从泥石流的活动历史分析泥石流的发展趋势

通过对当地居民走访,巴来小组泥石流沟近年来主要以山洪或小型泥石流为主,暴发规模较大泥石流为 2021 年暴发的泥石流,为中频泥石流沟。泥石流沟内物源较为丰富,在强降雨条件下,再次爆发泥石流的可能性较大,泥石流发展阶段为发展期。有些年份的雨季会发生夹沙洪水,砾石和块石的含量较多。综上所述,目前该泥石流沟流域内,由于 2021 年暴发过大规模泥石流,沟道流域内松散固体物源相对较多,而且流域的降水和径流满足泥石流形成的水源条件,该泥石流沟暴发泥石流的频率与规模都将有所增加,以稀性泥石流为主。

6 治理措施

现阶段,泥石流防治的主要工程措施有:集蓄水工程(小型水库)、拦挡工程(拦砂坝、缝隙坝、格栅坝)、固源工程(谷坊坝)、排导工程(排导槽、单边防护堤)等。泥石流的防治除工程措施外,还应该实施植树造林、坡地植被恢复等生态措施,以便能够更好地发挥整体防治的工程效果^[10-12]。

根据对该泥石流地形特征、发育特征、物源特征、威胁对象等分析,结合泥石流冲淤特征及保护对象分布情况,治理方案包括以下具体措施:

(1)防护堤建设:在沟口出山口附近修建 2 段防护堤,左侧段长 66 米,右侧段长 7 米,高度 3.2 米,埋深 1.2 米。防护堤采用钢筋混凝土结构,基础处理采用桩基础,确保在泥石流冲击下具有足够的稳定性和抗冲刷能力。

(2)排导槽修建:在下游居民区附近修建长

137 米的排导槽, 边墙总高 2.5 米, 铺底厚 0.5 米, 过流断面高 2.0 米。排导槽内壁进行防渗处理, 两侧设置防护栏杆, 防止人员进入危险区域。

(3) 涵洞改造: 对既有的 3 处村道涵洞进行改造, 拟新建盖板涵 3 座。新涵洞设计应满足泥石流最大流量的排泄需求, 同时考虑涵洞的耐久性和维护便利性。

预期效果评估: 通过实施上述治理措施, 预计可将泥石流对居民区的威胁降低 80% 以上, 有效保护居民的生命财产安全。防护堤和排导槽能够有效拦截和引导泥石流, 减少其对居民区的直接冲击; 涵洞改造则能提高排水能力, 防止涵洞堵塞引发的洪水倒灌等问题。

7 结语

通过对该泥石流沟的调查, 其具备泥石流爆发所需的地形、物源及水动力条件, 泥石流形成~流通区物源丰富, 沟谷两岸均处于不稳定状态, 在强暴雨及长时间降雨作用下泥石流发生的可能性及规模会更大。针对该泥石流沟的特点, 提出了相应的治理措施。此外, 做好泥石流灾害监测预警, 是防灾减灾的重要手段^[13-15]。还应加强监测和预警体系建设, 及时掌握泥石流的动态变化情况, 有效地进行预测、预警和避灾工作。

(致谢: 首先, 我要衷心感谢我的导师吴启红教授, 在整个研究过程中, 从选题的确定、研究方法的指导, 到论文的撰写与修改, 导师都给予了我无微不至的关怀和耐心细致的指导。其次, 感谢野外调研期间当地政府部门、社区工作人员和居民的大力支持与协助, 为我提供了宝贵的资料和实际案例, 让我对川西泥石流灾害有了更直观、更深刻的认识。)

参考文献

- [1] 董玉翠, 刘小滨, 王殿良. 探究山地泥石流地质灾害特征治理技术及应用[J]. 内蒙古煤炭经济, 2022(14): 169-171.
- [2] 宋章, 韩世华, 杜宇本, 等. 汶九高速 A5 标泥石流灾害

特征及地质选线研究[J]. 铁道工程学报, 2015, 32(10): 12-16.

- [3] 李明清, 刘发明. 高烈度地震频发山区泥石流对成兰铁路的影响和防治对策[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(2): 61-65.
- [4] 张雨露, 王栋, 游勇, 等. 某铁路拟选车站泥石流危险性分析及防治对策[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(2): 44-48.
- [5] 易静. 泥石流对成兰铁路镇江关车站影响评价[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.
- [6] 赵屹峰, 陈磊磊. 泥石流灾害及工程防治对策研究[J]. 建设科技, 2024, (02): 28-30.
- [7] 赵思远. 西藏自治区察隅县泥石流灾害形成机理与成灾模式研究[D]. 华北水利水电大学, 2023.
- [8] 刘行行. 泥石流地质灾害特征及其防治对策[J]. 新疆有色金属, 2024, 47(02): 7-8.
- [9] 何磊. 泥石流及灾后治理措施[J]. 四川水泥, 2021, (01): 75-76.
- [10] 汪留洋. 浅析泥石流防治工程中常见问题及应对措施[J]. 甘肃水利水电技术, 2023, 59(01): 35-38.
- [11] 张文涛, 柳金峰, 游勇, 等. 泥石流生态防治措施治理效果评价体系初探[J]. 灾害学, 2023, 38(01): 186-192+205.
- [12] 郑伟, 杨金和, 刘瑞娇, 等. 云南怒江地区某泥石流综合治理方案探讨[J]. 云南地质, 2024, 43(S1): 265-268.
- [13] 王小东, 郝张红, 韩彬彬, 等. 基于云平台的泥石流监测预警系统设计[J]. 数字技术与应用, 2023, 41(10): 205-207.
- [14] 赵安文, 刘奕含. 泥石流专业监测预警关键技术的应用[J]. 科技与创新, 2020, (06): 125-127.
- [15] 高立兵, 高宁宁. 泥石流灾害监测预警及自动预警方法研究[J]. 海峡科技与产业, 2020, (01): 42-45.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS