

文章编号: 1674—8247(2024)02—0027—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2024.02.005

川西北某泥石流沟发育特征及易发性评价

周航¹ 杜宇本² 宋章¹ 徐向飞¹ 陶玉敬¹

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031; 2. 西南交通大学, 成都 611756)

摘要:川西北某泥石流沟位于汶川“5.12”8级地震中心影响区域岷江河谷,该区域地质构造复杂,新构造运动强烈,强震频发,加之受岷江河谷深切,地形陡峻,出露地层以软质岩为主,沟道及两侧物源十分丰富,强降雨条件下易引发泥石流灾害。通过收集区域地质资料、遥感解译、现场地质勘察和力学计算等方法相结合,从地形、物源和水动力条件等方面,研究了该区域某泥石流沟的发育特征并开展易发性评价,提出了相应的工程防治对策。研究表明:(1)川西北某泥石流沟为暴雨崩滑沟谷型泥石流,泥石流流域面积 20.8 km^2 ,固体物质总储量约 $258.9 \times 10^4\text{ m}^3$,可能的动储量约 $64.5 \times 10^4\text{ m}^3$;(2)100年一遇的泥石流重度为 1.74 t/m^3 ,平均流速为 5.12 m/s ,最大峰值流量为 $535.4\text{ m}^3/\text{s}$,泥石流最大冲起高度为 1.34 m ,预测100年一遇的泥石流淤积厚度为 4.8 m ,具有中度易发性风险;(3)针对工程区的泥石流发育特征及易发性程度,建议以桥梁工程形式并留足净空通过泥石流沟,提出了泥石流防治对策与建议。研究成果对川西北山区铁路勘察设计和施工建设具有一定借鉴价值。

关键词:川西北;泥石流沟;发育特征;易发性评价;桥梁工程;防治对策

中图分类号: TU45

文献标志码: A

27

Development Characteristics and Susceptibility Evaluation of a Certain Debris Flow Gully in the Northwestern Sichuan

ZHOU Hang¹ DU Yuben² SONG Zhang¹ XU Xiangfei¹ TAO Yujing¹

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

2. Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China)

Abstract: Located in the Minjiang River Valley, a major area affected by the 8.0 magnitude Wenchuan “5.12” earthquake, a particular debris flow gully in Northwestern Sichuan has complex geological structures and intense new tectonic movement. The prevalence of strong earthquakes, coupled with the deep incision of the Minjiang River, has created steep terrains. The main exposed stratum is soft rock, and the gully and its surroundings are abundant in material sources, making the area prone to debris flow disaster under heavy rainfall. By collecting the geological data of this region, conducting remote sensing interpretation, on-site geological investigation, and mechanical calculation, the paper studied the development characteristics of this debris flow gully and evaluated its susceptibility from aspects of terrain, material sources, and hydraulic conditions, and proposed corresponding preventive and control measures. The results show: (1) The debris flow gully in Northwestern Sichuan is caused by a rainstorm-induced collapse valley-type debris flow, with a catchment area of 20.8 km^2 , total solid material storage of approximately $258.9 \times 10^4\text{ m}^3$, and a probable moving storage volume of about $64.5 \times 10^4\text{ m}^3$. (2) The debris flow density is 1.74 t/m^3 for a 100-year

收稿日期: 2023-02-14

作者简介: 周航(1995-),男,工程师。

引文格式: 周航,杜宇本,宋章,等. 川西北某泥石流沟发育特征及易发性评价[J]. 高速铁路技术, 2024, 15(2): 27-31.

ZHOU Hang, DU Yuben, SONG Zhang, et al. Development Characteristics and Susceptibility Evaluation of a Certain Debris Flow Gully in the Northwestern Sichuan [J]. High Speed Railway Technology, 2024, 15(2): 27-31.

event, with an average flow rate of 5.12 m/s, a maximum peak flow rate of 535.4 m³/s, and a maximum flow uprush height of 1.34 m. The predicted deposition thickness for a 100-year event is 4.8 m, bringing a medium susceptibility risk.

(3) Based on the debris flow development characteristics and susceptibility level in the engineering area, it is suggested to use bridge leaving enough clearance to pass the debris flow gully, and corresponding debris flow prevention measures and recommendations were proposed. The conclusions of this study can provide a useful reference for railway and highway investigation, design, and construction in the mountainous area of Northwestern Sichuan.

Key words: Northwest Sichuan; debris flow gully; development characteristics; susceptibility evaluation; bridge engineering; preventive and control measures

随着我国交通网络建设中心逐步西移,川西北地区涌现成兰铁路、川汶高速公路等一大批复杂艰险山区铁(公)路^[1-3]。该区域深大活动断裂带发育,发育有龙门山华夏系构造带、较场“山”字型构造带等,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^[4-7]。2008年5月12日,四川省汶川县发生了Ms8.0级地震,导致汶川和茂县等震中附近地区内的岩体发生了松动,破坏了相对稳定地质环境。岷江两岸沟道的两侧发育有大量的崩塌、滑坡及岩堆等不良地质灾害,强降雨条件下多次发生泥石流次生灾害,岷江多处堵江堰塞。川西北某泥石流沟位于岷江河谷一侧,曾多次发生泥石流灾害,以2013年7月泥石流规模最大,泥石流堆积于沟道较缓区段与出口,淤埋高度2~4 m,部分物质冲出泥石流沟道,掩埋村道,对拟建某高速铁路桥梁工程具有较大影响。

本文以川西北某泥石流沟为研究对象,通过收集区域地质资料、遥感解译、现场地质勘察和力学计算等方法,研究工程区的地形地貌、物源、水动力条件和泥石流灾害运动特征等,分析泥石流灾害的危害程度,并提出泥石流灾害防治的针对性建议,以期为类似工程地质条件下的线性工程勘察设计、施工建设和安全运营提供科学依据。

1 区域地质环境条件

1.1 地形地貌

川西北某泥石流沟位于茂县西北部,总体地形北东侧高南西侧低,沟道深切、纵坡较大,多呈“V”形。泥石流沟流域形态呈“喇叭”状,沟谷内部总体较宽阔,纵向长度7.4 km,沟域面积约20.8 km²。泥石流沟域的最高点高程为4 008 m,最低点为1 715 m,相对高差约2 290 m。

1.2 地层岩性

川西北某泥石流沟地表覆盖层以第四系全新

统泥石流堆积层(Q_4^{sef})、残坡积层(Q_4^{el+dl})、崩坡积层(Q_4^{col+dl})为主,下伏基岩为泥盆系危关群(Dwg)薄~中层状千枚岩夹石英岩、结晶灰岩,志留系茂县群(Smx⁵)灰绿色千枚岩夹砂岩、灰岩,岩体节理裂隙强发育,抗风化能力弱。

1.3 地质构造

川西北地区位于青藏高原东部边缘川西北断块区,是我国新构造运动最为强烈地区,该区域共发生过6次7.0级以上地震,其中2008年“5.12”汶川映秀镇8级强震是该区域有史以来发生的最大地震。该泥石流沟近场区构造作用强烈,受茂汶断层和桃花寨向斜影响,工程区岩体较破碎,崩滑流等不良地质发育。

1.4 气象及水文地质条件

茂县位于四川省西北部山区,地形地貌条件对气候影响显著,降雨量在地区分布上极不平衡,中部地区降雨量较少,四周的降雨量逐渐增加。根据中国气象数据网以及茂县气象局观测站数据,茂县多年平均降水量834.5 mm,年最大和最小降雨量分别为1 034.7 mm、611.6 mm。在时间上,春、冬季节降水量较少,夏、秋季降水量较多,各月雨量分配不均,降水量集中在下半年。4—10月的降水量为768.3 mm,占全年降水量的92.1%,而10月—次年3月的降雨量仅39.7 mm,占全年降水量的7.9%,如图1所示。川西北某泥石流沟为常年流水沟道,主要接受大气降水补给,根据现场访问以及泥石流沟暴雨期间洪痕调查,推测洪水流量约15~22 m³/s。

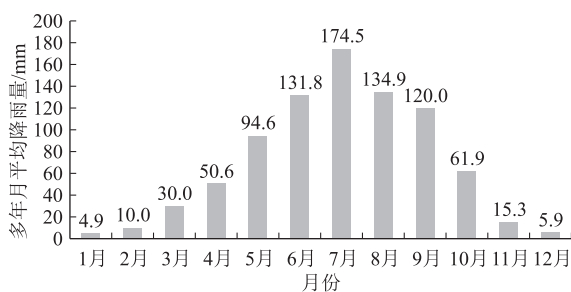


图1 茂县多年月均降雨量统计图

根据泥石流沟内的含水介质及地下水类型,将工程区的地下水主要分为第四系松散层孔隙水、碳酸盐岩类岩溶水和变质岩裂隙水。其中,第四系松散层孔隙水主要是由大气降水进行入渗补给,水量受季节变化十分明显。灰岩等地层是碳酸盐岩类岩溶水最主要的赋存场址,现场未见溶蚀洼地、落水洞、漏斗、溶洞等,岩溶不发育。变质岩裂隙水主要赋存于泥石流沟谷两侧岸坡千枚岩等地层中,主要接受冰雪融水、冻融水和大气降雨补给,富水性中等。

2 物源分布特征

根据现场地质勘察结果,结合泥石流物源补给方式,将川西北某泥石流物源划分为沟道堆积类物源、崩滑类物源和坡面侵蚀类物源3类。

2.1 沟道堆积类物源

“5.12”汶川8级地震发生后,受降雨、泥石流影响,沟道物源量有所增加。同时,由于泥石流沟沟道纵坡较大,受降雨、泥石流下蚀、侧蚀作用也较强烈,导致沟道两侧残坡积岩土体松动进入沟道。根据现场地质测绘结果,工程区内沟道堆积类物源主要分布于以下部位:

①沿泥石流沟床堆积泥石流堆积层,主要由灰、灰白色角砾、碎石、块石组成,结构松散,在降雨形成的洪流冲刷下产生揭底冲刷补给泥石流而成为泥石流物源。

②沿泥石流沟两侧岸坡呈带状分布的第四系上更新统松散堆积层与第四系全新统残坡积层,因长期受沟道洪流冲刷下切已形成高出沟床6~10 m的陡岸坡,在洪流或泥石流的侧向冲蚀作用下发生塌岸而成为泥石流的物源。

2.2 崩滑类物源

川西北某泥石流沟的切割较深,纵坡降大,横断面呈“V”形,后壁多呈陡崖,出露岩层以泥盆系危关群(Dwg)千枚岩为主。受节理裂隙、风化作用等影响,加之在多期次构造作用下,工程区的岩体破碎,地形陡峻,局部基岩陡壁处时有规模不等的崩塌发生。“5.12”汶川8级地震引发破碎岩体发生松动、垮塌,大量松散物质堆积于泥石流上游沟道及两侧斜坡区域,为泥石流形成提供了丰富的物源。

2.3 坡面侵蚀类物源

泥石流流域的总体植被较好,覆盖率65%~70%,坡面侵蚀物源主要分布于泥石流沟的左侧支沟相汇处斜坡及在建成兰铁路施工区斜坡脚缓坡地段,地表岩土体结构松散,在降雨作用下,坡面侵蚀较

强烈,松散物质进入沟道参与泥石流活动。

根据现场调查及计算,川西北某泥石流沟的泥石流物源统计如表1所示,其中松散固体物源总量约 $258.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,可能参与泥石流活动的动储量为 $64.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。该泥石流沟的物源储量十分丰富,加之泥石流的沟道纵坡较大,地形临空条件突出,且沟内汇水面积较大,在强降雨条件下易形成大规模洪水,将沟道堆积类物源、崩滑类物源、坡面侵蚀类物源快速冲击到下游,形成泥石流灾害。

表1 泥石流物源统计表

物源类型	物源总量/(10 ⁴ m ³)	可能的动储量/(10 ⁴ m ³)
沟道堆积类物源	151.3	16.6
崩滑类物源	102.5	46.7
坡面侵蚀类物源	5.1	1.2
合计	258.9	64.5

3 泥石流运动特征值计算及易发性评价

3.1 泥石流流速

根据现场地质调查,川西北某泥石流沟属于稀性泥石流,采用西南地区(铁二院)公式计算稀性泥石流的流速:

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\gamma_H \varphi + 1}} \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

29

式中: V_c ——泥石流断面平均流速(m/s);

γ_H ——泥石流中固体物质比重(kg/m³);

R ——水力半径(m);

φ ——泥石流泥砂修正系数;

I ——泥石流水力坡度(‰);

$1/n$ ——清水河床糙率系数。

3.2 洪水洪峰流量

根据《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》中的公式计算泥石流的洪水洪峰流量:

$$Q_p = 0.278 \varphi \frac{S}{\tau^n} F$$

29

式中: Q_p ——设计洪峰流量(m³/s);

φ ——洪峰径流系数;

S ——暴雨雨力,即最大暴雨量(mm/h);

τ ——流域汇流时间(h);

n ——暴雨公式指数;

F ——流域面积(km²)。

3.3 泥石流峰值流量

本文采用雨洪法计算泥石流流量:

$$Q_c = (1 + \varphi) Q_p \times D_c$$

29

式中: Q_c ——频率为 P 的泥石流洪峰值流量(m^3/s);
 Q_p ——频率为 P 的暴雨洪水设计流量(m^3/s);
 φ ——泥石流泥沙修正系数;
 D_c ——泥石流堵塞系数。

3.4 一次泥石流总量

一次泥石流总量根据式(4)计算:

$$Q = KTQ_c \tag{4}$$

式中: Q ——一次泥石流总量(m^3);
 T ——泥石流历时(s);
 Q_c ——泥石流最大流量(m^3/s);
 K ——系数, K 值的变化随流域面积 A 的大小而变化。当 $A < 5 \text{ km}^2$ 时, $K = 0.202$; 当 $5 \text{ km}^2 < A < 10 \text{ km}^2$ 时, $K = 0.113$; 当 $10 \text{ km}^2 < A < 100 \text{ km}^2$ 时, $K = 0.0378$; 当 $F > 100 \text{ km}^2$ 时, $K = 0.0252$ 。

3.5 一次泥石流冲出的固体物质总量

一次泥石流冲出的固体物质总量根据式(5)计算:

$$Q_H = Q \frac{\gamma_c - \gamma_w}{\gamma_H - \gamma_w} \tag{5}$$

式中: Q_H ——一次泥石流冲出的固体物质总量(m^3);
 Q ——一次泥石流总量(m^3);
 γ_c 、 γ_w 和 γ_H ——泥石流重度、清水重度、泥石流中固体物质比重(t/m^3)。

3.6 泥石流爬高及最大冲起高度

(1) 泥石流最大冲起高度

泥石流最大冲起高度 ΔH 根据式(6)进行计算:

$$\Delta H = \frac{V_c^2}{2g} \tag{6}$$

式中: ΔH ——泥石流最大冲起高度(m);

V_c ——泥石流平均流速(m/s);
 g ——重力加速度(取 $g = 9.8 \text{ m}/\text{s}^2$)。

(2) 泥石流爬高

沟床阻力会影响泥石流爬高,其爬高根据式(7)进行修正:

$$\Delta H_c = \frac{bV_c^2}{2g} \approx 0.8 \frac{V_c^2}{g} \tag{7}$$

式中: ΔH_c ——泥石流爬高(m);

b ——泥石流迎面坡度的函数。

3.7 一次泥石流最大淤积厚度

根据一次泥石流危险范围预测模型,一次泥石流最大淤积厚度与堆积区比降呈反比关系,与一次松散固体物质最大补给量呈正比。其计算公式为:

$$d_c = 0.017 \times [V\gamma_c / (G^2 \ln \gamma_c)]^{1/3} \tag{8}$$

式中: d_c ——一次泥石流最大堆积厚度(m);

V ——一次松散固体物质最大补给量,即一次泥石流冲出固体物质总量(m^3);
 γ_c ——泥石流最大容重(t/m^3);
 G ——堆积区比降。

3.8 泥石流关键运动特征值

根据式(1)~式(8),计算可得川西北某泥石流100年一遇(1%)的关键运动特征值,如表2所示。

表2 川西北某泥石流关键运动特征值计算结果表

频率 P	$\gamma_c / (\text{t}/\text{m}^3)$	$V_c / (\text{m}/\text{s})$	D_c	$Q_c / (\text{m}^3/\text{s})$	$Q_p / (\text{m}^3/\text{s})$	Q / m^3	Q_H / m^3	$\Delta H / \text{m}$	$\Delta H_c / \text{m}$	d_c / m
1%	1.74	5.12	2.5	535.4	105.2	97 138.7	49 440.3	1.34	2.14	4.8

由表2可知,川西北某泥石流沟的100年一遇泥石流重度为 $1.74 \text{ t}/\text{m}^3$,平均流速为 $5.12 \text{ m}/\text{s}$,最大峰值流量为 $535.4 \text{ m}^3/\text{s}$,一次泥石流冲出的固体物质总量为 $49\,440.3 \text{ m}^3$,泥石流最大冲起高度为 1.34 m ,泥石流爬高 2.14 m ,预测100年一遇的泥石流淤积厚度为 4.8 m 。结合泥石流分类标准和现场地质条件,川西北某泥石流属暴雨类沟谷型高频特大规模稀性泥石流。

3.9 泥石流易发性评价

根据川西北某泥石流沟的流域环境特征,结合野外实地调查和相应的评判标准(泥石流沟易发程度数量化评分表)及DZ/T 0220-2006《泥石流灾害防治工程勘查规范》中的泥石流易发性分级标准^[8],对该泥石流的易发程度进行综合评判,综合得分为107分,即川西北某泥石流沟具有中度易发性,在暴雨条件下

易发生泥石流次生灾害。

4 泥石流防治对策与建议

新建某高速铁路以桥梁工程形式通过川西北某泥石流沟口,该泥石流属暴雨类沟谷型高频特大规模稀性泥石流,对拟建桥梁工程影响较大。泥石流灾害的防治对策与建议可分为以下4点^[9]:

(1) 因川西北某泥石流处于发展期阶段,泥石流整治措施建议以排导工程为主,从沟口至岷江修建排导槽。在两岸设置束流堤与排导槽相连,防止泥石流漫流改道。为增强排导能力,建议排导槽为斜边墙“V”型槽。

(2) 建议在泥石流沟流通区的中上部选择合适部位各修建两道重力拦挡坝,以拦挡树木等长径较大的

物质,防止其在沟道狭窄部位堵塞沟道或排导槽,对工程建设造成影响。

(3)由于以桥梁工程形式通过泥石流沟口,建议采用一孔大跨方式跨越,设置防冲、防撞装置,做好对泥石流拦、排、导、顺等综合防治措施。

(4)施工建设过程中,加强渣场的设计措施及管控工作,防止其进入泥石流沟参与泥石流活动;同时,加强沟内泥石流监测预警工作。

5 结论

本文以川西北某泥石流为研究对象,研究分析工程区的发育特征并开展易发性评价,提出相应的工程防治对策,得到主要结论如下:

(1)川西北某泥石流沟的物源主要为沟道堆积类物源、崩滑类物源、坡面侵蚀类物源。经计算,泥石流沟的松散固体物源总量约 $258.9 \times 10^4 \text{ m}^3$,可能参与泥石流活动的动储量为 $64.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

(2)川西北某泥石流沟100年一遇的泥石流重度为 1.74 t/m^3 ,平均流速为 5.12 m/s ,最大峰值流量为 $535.4 \text{ m}^3/\text{s}$,一次泥石流冲出的固体物质总量为 $49\,440.3 \text{ m}^3$,泥石流最大冲起高度为 1.34 m ,泥石流爬高 2.14 m ,预测100年一遇的泥石流淤积厚度为 4.8 m ,具有中度易发性风险。

(3)拟建线路以桥梁工程形式通过川西北某泥石流沟口,对桥梁工程影响较大。建议采用一桥跨越方式,留足净空高度,加强桥墩的防冲、防撞措施,做好对泥石流拦、排、导、顺等综合防治措施,并减轻泥石流灾害对日后线路正常运营的威胁。

参考文献:

- [1] 李明清. 成兰铁路泥石流防治措施[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(2): 90–93.
LI Mingqing. Prevention and Control Measures for Debris Flow on Chengdu-Lanzhou Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(2): 90–93.
- [2] 周航,陈仕阔,刘彤,等. 复杂山区深埋隧道软岩大变形机理研究:以杨家坪隧道为例[J]. 工程地质学报, 2022, 30(3):

852–862.

ZHOU Hang, CHEN Shikuo, LIU Tong, et al. Large Deformation Mechanism of Soft Rock Surrounding Tunnel Deep Buried in Complex Mountainous: a Case Study of Yangjiaping Tunnel [J]. Journal of Engineering Geology, 2022, 30(3): 852–862.

- [3] 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.

- [4] 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.

SONG Zhang, HAN Shihua, DU Yuben, et al. Research on the Characteristic of Debris Flow Disaster and Geological Alignment for the 5th Section of Wunchuan-Jiuzhaigou Expressway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2015, 32(10): 12–16.

- [5] 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.

LI Mingqing, LIU Faming. Influence of Debris Flow in High-intensity Earthquake Active Mountainous Area on Chengdu-Lanzhou Railway and Prevention Measures [J]. High Speed Railway Technology, 2013, 4(2): 61–65.

- [6] 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.

ZHANG Yulu, WANG Dong, YOU Yong, et al. The Risk Analysis and Solutions for the Debris Flow at a Station on a Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(2): 44–48.

- [7] 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.

YI Jing. The Impact Assessment for the Zhenjiangguan Station of ChengLan Railway by Debris Flow [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010.

- [8] 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].

- [9] 周必凡. 泥石流防治指南[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

ZHOU Bifan. Guide to Debris Flow Prevention and Control [M]. Beijing: Science Press, 1991.