

文章编号: 1674—8247(2019)02—0044—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.02.010

某铁路拟选车站泥石流危险性分析及防治对策

张雨露¹ 王 栋¹ 游 勇² 柳金峰² 王 波¹

(1. 中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031;

2. 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘 要:西南地区铁路受地形地貌的限制,部分车站站址无法避免地需布设于泥石流洪积扇上。因此,对泥石流的风险评估是方案能否成立的重点。文章以某铁路拟选的毛家沟车站为例,通过野外调查、资料收集、数据分析,从地形地貌、物源条件、气候特征三方面分析了该沟泥石流产生的条件。同时,通过室内颗分试验得到了细小颗粒含量、颗分曲线,与蒋家沟泥石流进行类比分析,明确了其稀性泥石流的性质。最后,通过数值模拟,模拟了200年一遇洪水频率条件下的泥石流泥深,评价了其危险等级,为中度危险级别。该研究成果为铁路的方案选择、站场布置、灾害防治设计提供了依据。

关键词:泥石流;形成机理;危险性分析

中图分类号:U212.22 文献标志码:A

The Risk Analysis and Solutions for the Debris Flow at A Station on A Railway

ZHANG Yulu¹ WANG Dong¹ YOU Yong² LIU Jinfeng² WANG Bo¹

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

2. Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS, Chengdu 610041, China)

Abstract: The railways in southwest China are restricted by the topography, some stations have no choice but to be set at the Proluvial fan of debris flow, which makes the risk analysis become the key point for the whole plan. This Paper choose Maojiagou station as an example, through field investigation, data collection and data analysis, the conditions of debris flow in the gully are analyzed from three aspects: topography and landform, material source conditions and climatic characteristics. At the same time, defined the character of diluted debris flow through the laboratory size distribution testing and analogy analysis with Jiangjiagou Debris. Finally, Through the numerical simulation technology, debris flow and mud depth under the condition of flood frequency in 200 years were simulated, and the risk level was evaluated as moderate risk level. This research result provided the basis for the railway program selection, station layout, disaster prevention and control.

Key words: debris flow; formation mechanism; risk analysis

西南山区某铁路受青藏高原强烈隆升的影响,地势起伏大,河流切割强烈,具有相对高差大、山坡陡峭和沟谷深切的典型特点。区内受印度洋板块与欧亚板

块碰撞控制,构造活动强烈,新构造运动和地震活跃,断裂构造和节理裂隙发育,岩体破碎,坡体稳定性差。受内外应力的强烈作用和影响,沿线泥石流、滑坡形成

收稿日期:2018-01-20

作者简介:张雨露(1965-),男,高级工程师。

引文格式: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.

所需的地质岩性构造、松散固体物质、水源、地形等条件非常容易满足,是我国泥石流滑坡类型最为多样、分布范围最为广泛、最为活跃,危害最严重的地区之一,铁路选线既要克服高程控制,又要规避大型不良地质体。受地形影响,部分在峡谷地区的车站往往需要利用相对平缓的洪积扇、泥石流扇。因此评估洪积扇的安全性及其对车站的影响程度是判断方案是否可行的重要因素。

本文以某铁路康定至新都桥段速度 160 km/h 拟选毛家沟车站站址区为例,对车站上游的毛家沟、磨子沟、野人沟三条冲沟的沟谷形态(如图 1 所示)的物质源分析、颗粒分析进行研究,综合判断泥石流的性质及特征,分析泥石流危险性,通过危险性分析来评估车站的安全性,为相同区域车站选址及防灾措施提供借鉴。

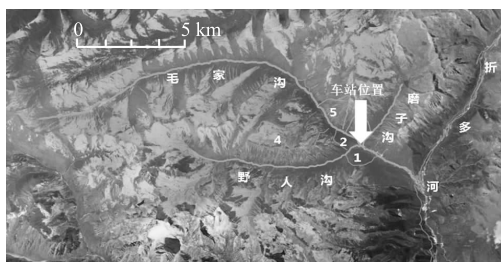


图 1 毛家沟流域卫星影像图

1 泥石流形成条件分析

1.1 地形地貌条件

地形地貌条件是泥石流形成的内因和必要条件,制约着泥石流的形成、搬运与堆积,影响着其规模和特性^[1]。毛家沟车站位于毛家沟、磨子沟、野人沟三沟交汇处(如图1所示),毛家沟流域上游地势起伏较为平缓,区域内最高点位于流域西北侧磨子沟,海拔5 540 m;最低点位于毛家沟沟口附近,海拔3 208 m,相对高差达2 332 m,整体呈东北高西南低,流域面积143.78 km²,地形呈“U”型,总体平均沟床纵坡比降68.52‰。毛家沟主沟长度25.53 km,流域宽度约在1 600~2 400 m之间,主沟、磨子沟以及野人沟两侧斜坡坡度较陡,一般在30°~68°,如图2所示,局部为陡崖地貌。对其进行不同区域统计可以发现,其形成区3 700~4 600 m,堆积区多集中在3 400 m左右,高差为300~1 000 m左右,如表1所示。通过流域山坡坡度分级统计,毛家沟流域25°~35°和≥35°的坡地面积达80.67 km²,占总流域的56.1%。通过以上分析可知其地形条件有利于泥石流的发生。

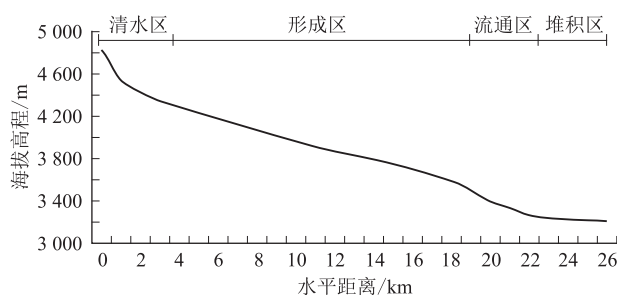


图2 毛家沟主沟纵剖面示意图

表 1 毛家沟车站流域沟貌形态高程统计表

沟名	清水区	形成区	流通区	堆积区
	高程/m			
毛家沟	4 340 ~ 4 818	3 700 ~ 4 340	3 400 ~ 3 700	3 208 ~ 3 400
磨子沟	4 280 ~ 5 540	3 940 ~ 4 280	3 460 ~ 3 840	3 400 ~ 3 460
野人沟	—	3 840 ~ 4 680	3 480 ~ 3 840	3 400 ~ 3 480

1.2 物源条件

该区域地质环境的各要素如新构造运动,岩体的风化速率、崩滑灾害等以不同的方式,提供松散碎屑物质,构成泥石流活动的物质基础。特别是高原特有的碎屑边坡,滑坡、崩塌、错落等区域内较为常见不良地质,也常常为泥石流提供大量物质,并同时在泥石流发生时而伴生形成。

(1) 新构造运动

毛家沟流域附近主要有东北部沿折多河走向的折多塘断裂和西南方近南北向的毛家沟断层,其中折多塘断裂为鲜水河断裂南端分支断裂,该区新构造运动活跃、地震频繁。1955年4月14日在康定折多塘发生7.5级地震,烈度为IX;1786年6月1日康定磨西发生7.5级地震;2008年2月27日,在康定县三道桥发生4.7级地震^[2]。地震活动导致了大量破碎岩体,如图3所示,伴随着地震次生崩塌、滑坡灾害堆积至沟内,为泥石流提供了丰富的物源。

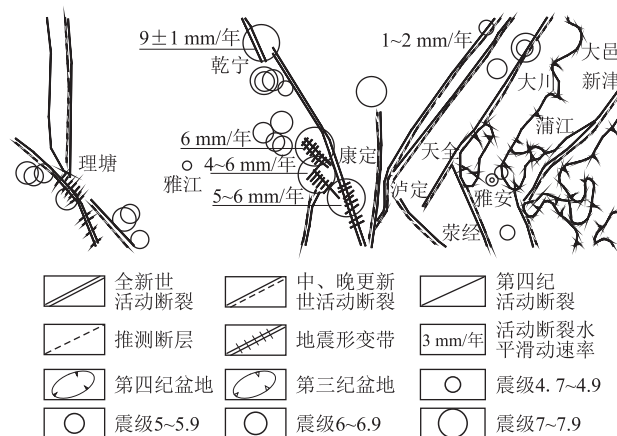


图3 康定地区构造及地震示意图

(2)岩体风化速率

通过野外调查分析可知,毛家沟流域泥石流形成区集中在 3 600 ~ 4 700 m 海拔区间,即现康定地区的雪线附近,因此寒冻风化作用较为明显。形成大量的寒冻风化岩屑流。毛家沟上游受季节性积雪及高海拔地区的寒冻风化影响形成的岩屑流的总面积为 3.66 km²,初步按假设平均厚度 0.5 m 估算,岩屑流的物源方量为 183 万 m³。这些物源主要分布在上游、以及毛家沟内多支沟内,大部分都堆积在高位,在暴雨、地震等作用下岩屑流失稳后,可能堆积在沟道内,作为动储量成为形成泥石流的直接物源。

(3)地质灾害分析

毛家沟流域主要出露地层为新生界第三纪二长花岗岩和中生界三叠系变砂岩、板岩,夹灰岩。利用 2013 年 11 月获取的快鸟影像,对研究区的地质灾害类型及松散物源体进行遥感解译。通过野外调查结合遥感解译,毛家沟流域的主要灾害类型包括崩塌、危岩、碎屑流、泥石流(洪积扇)等主要类型,松散固体物质来源的类型主要包括坡崩积物、坡脚堆积体、其中以堆积物为主要物源类型。

(4)储量分析

野外调查发现,两条大支沟(野人沟、磨子沟)沟道两侧坡度较陡,基岩较破碎,坡面岩屑坡发育,厚度 10 ~ 20 m,块石体积一般在 1 ~ 3 m³,为不规则形状,主要为坡崩积小块石,如图 5 所示。野人沟内解译堆积体面积为 1.44 km²,初步按平均厚度 10 m 估算,沟道内堆积体总物源方量为 1.44 × 10⁷ m³。解译磨子沟沟道内堆积体面积为 0.86 km²,初步判断平均厚度 10 m,沟道内堆积体总物源方量为 0.86 × 10⁷ m³。毛家沟主沟沟口到三条支沟交汇的区域内,解译沟道内堆积体与坡面岩屑坡的面积为 0.59 km²,初步按假设平均厚度 5 m 估算,沟道内与坡面上的堆积体总物源方量为 0.30 × 10⁷ m³。根据上述毛家沟流域内松散物源初步估算结果,毛家沟整个流域内共有松散物源 2.78 × 10⁷ m³。

1.3 气象水文条件

本区属亚热带季风气候,基本处于华西丰雨屏带中,植被茂密,夏季多雨,冬季多雪,地表水及河流对山体 and 路基的冲蚀和切割作用明显;折多山以西属亚寒带季风气候与高原大陆性气候的交揉区,气候温和偏寒,亦多降雨(如表 2 所示),缓坡为草,低谷为林,且多雪峰及高山湖泊。

表 2 康定县最大降雨资料

频率	降雨量/mm		
	1 h	6 h	24 h
100 年一遇	27.40	52.75	76.80
50 年一遇	24.20	48.00	70.80
20 年一遇	19.90	41.75	62.80

康定县年降水量 832.2 mm,年最多降水量为 1 005.7 mm,年平均蒸发量为 1 257.7 ml,积雪最大厚度 54 cm。康定地区降水年内分配不均,主要集中在夏季,5 ~ 9 月降雨量达 621 mm,占年降水量的 77%。其夏季降水曲线为双峰型:6 月为第一次高峰,降雨量 169 mm;9 月为第二次高峰,降雨量 125 mm。1995 年 6 月 15 日、7 月 3 日和 7 月 7 日,康定城区连续三次遭受以山洪为主的多种山地灾害袭击,6 月下旬总降雨量 84 mm,7 月 1 日和 2 日先后降雨 18 mm 和 15 mm,7 月 3 日降雨 29 mm,山洪再次袭击城区;7 月 4 ~ 6 日降雨 35 mm,7 日降雨 32 mm^[3],形成大规模山洪,康定城区第三次遭受山洪洗劫,如图 4 所示。



图 4 1995 年康定洪水淹没城区图

2 泥石流性质分析

对毛家沟岸坡积物(可能的泥石流物源)进行了野外采样和室内分析,确定颗粒组成。同我国研究较深入的蒋家沟粘性泥石流作对比。重点分析和比较能够影响泥石流浆体流变特性的关键性参数——细小颗粒(<2 mm)的含量,初步判断泥石流的性质^[4]。毛家沟岸坡积物颗分曲线同蒋家沟粘性泥石流的比较(颗分组分)如图 5 所示。样品中已经剔除了现场粗大颗粒(>100 mm)和块石(Boulder)。泥石流样颗粒物质从细小的粘粒(Clay)到砾石(Gravel)甚至到卵石(Cobble)的粒径跨越很大。

由图 5 可知,毛家沟岸坡积物(泥石流物源)颗粒物质的中值粒径 d₅₀ 和蒋家沟粘性泥石流的下限是

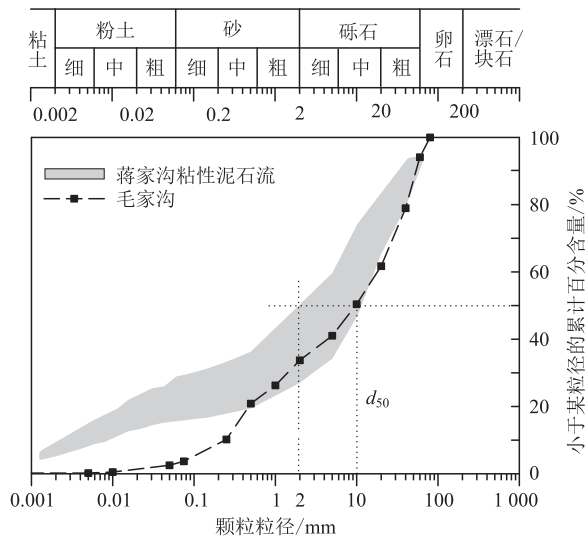


图 5 毛家沟泥石流和蒋家沟泥石流的颗粒级配

相同的(见图 7 蒋家沟颗分曲线的下限),2 mm 粒径所对应的泥石流浆体颗粒累计含量相同。所不同的是毛家沟可能的泥石流浆体所包含的细颗粒物(0.06 ~ 0.2 mm 的中、细砂)含量较蒋家沟的要少许多。这一般可以认为是粘性泥石流形成所需的泥浆体所裹挟的细小颗粒物含量相对较少,从而使得泥石流发生的类型更多可能是偏稀性的^[5]。从泥沙运动力学的角度分析,只有当上游发生超强洪水时,强大的水流搬运力才能扰动和掺混更多更粗(> 2 mm)的颗粒变成泥石流泥浆体的组分,即泥石流固液分界粒径相应的上移,泥石流浆体所含有的颗粒含量增大从而改变泥石流的流变特性,这时的泥石流才有可能从稀性变成粘性^[6]。通过野外调查访问当地村民,得知 1995 年康定山洪期间,该沟也发生过大型山洪,淹没沟口公路,河

水深度 3 ~ 4 m。此后,每逢雨季,均暴发山洪,但规模不大。通过数据分析及野外调查可大致判断:毛家沟主沟为山洪 - 水石流,其支沟磨子沟以为稀性泥石流,野人沟为水石流 - 稀性泥石流,野人沟以上毛家沟主沟为水石流 - 稀性泥石流。

3 泥石流危险性分析

泥石流爆发后的泥深对铁路线路标高、工程形式以及防治措施均有较大影响,本次采用了 1:2 000 地形图建立了毛家沟流域范围的数字高程模型(DEM),沟道糙率系数取 0.05,通过水文手册^[7],野人沟沟口以上毛家沟流域一次泥石流冲出量约为 46.0 万 m³($P = 0.5\%$),设定在 200 年一遇洪水频率条件下,对野人沟、磨子沟泥石流的动力过程进行数值模拟。

结合 GIS 技术,提取毛家沟隧道口断面数据,如图 6 所示,在毛家沟会让站附近断面处泥石流泥深为 6 ~ 8 m。同时,磨子沟泥石流冲出沟口,存在挤压河道、抬升洪水位的危害。考虑毛家沟与磨子沟泥石流叠加形成复合灾害,毛家沟会让站附近断面处的叠加泥深可达 8 ~ 10 m。铁路以桥梁形式通过,毛家沟大桥处距离毛家沟主沟道桥下净空为 14.5 m。可见,在 200 年一遇以上洪水的条件下,毛家沟泥石流泥深超过隧道口桥梁净高的 1/2,属于中度危险级别。如果铁路大桥桥墩修建在毛家沟及其支沟野人沟山洪泥石流灾害的直接危害范围内,一旦发生山洪泥石流,桥墩很容易被山洪泥石流及其中的大石块冲坏,甚至被冲毁。此外,在铁路的施工和运营期间,如果铁路工程的附属设施布置在毛家沟泥石流危害范围内,将会受到泥石流的高度威胁。

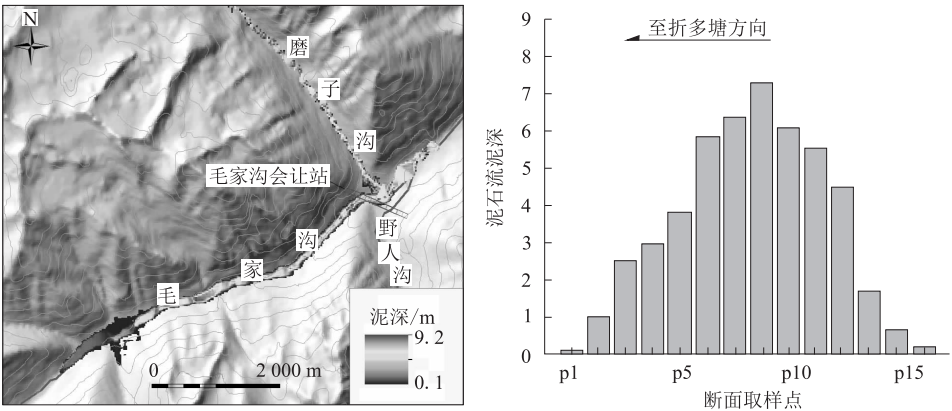


图 6 毛家沟车站断面泥深数值模拟

4 泥石流防灾对策

针对毛家沟山洪泥石流灾害,提出以下防治对策:

(1)毛家沟铁路大桥桥墩不要布置在其山洪泥石流直接危害范围内,桥梁要保证足够的桥下净空,并采用1孔跨沟的方案,可以有效地避免山洪泥石流的危害。

(2)针对铁路上下游一定范围内沟道,应疏通和归整沟道,必要时对相应部位进行治理。

(3)在铁路的建设和运营中,其进入毛家沟铁路位置处的进场公路、渣场、料场、站房等相关附属设施不要布置在山洪泥石流的直接危害范围内,必要时采取相应的治理措施,并建立预警预报系统。

(4)建议做好工程弃渣的堆放选址和安全管理工。加强工程弃渣的安全管理,防止进入泥石流流路参与泥石流。

5 结论

本文从泥石流形成条件出发,以泥石流颗粒级配特征对泥石流性质进行了定性,根据泥石流与铁路工程设施的相对空间位置,采用数值模拟手段得出泥石流对铁路工程影响的定量评估结果,并提出了相应的防灾对策,结论如下:

(1)从沟谷地形地貌条件、物源条件、气候与水文条件综合分析,毛家沟及多条支沟具备泥石流形成的条件,其松散固体物质来源的类型主要包括坡崩积物、坡脚堆积体、寒冻风化岩屑流失稳。通过初步估算,毛家沟整个流域内共有松散物源 $2\,778\text{万 m}^3$ 。毛家沟内松散物源分布较为复杂,建议下一步需开展详细的勘察工作,以确定流域内松散物源的准确储量情况。

(2)通过野外考察,结合毛家沟堆积物样品颗份结果,初步判断毛家沟主沟为山洪-水石流,其支沟磨子沟以为稀性泥石流,野人沟为水石流-稀性泥石流,野人沟以上毛家沟主沟为水石流-稀性泥石流。

(3)通过计算明确了毛家沟朱沟道的泥石流泥深

可达 $6\sim 8\text{ m}$,叠加泥深可大 $8\sim 10\text{ m}$,现方案设计以桥梁通过,桥下尽空满足设防要求。

(4)综合判断毛家沟泥石流属于中度威胁,其防治以疏通为主,避免铁路附属设施受到泥石流威胁,并建立预警预报系统。

参考文献:

- [1] 杜榕桓,李鸿链,唐邦兴,等.三十年来的中国泥石流研究[J].自然灾害学报,1995,4(1):64-69.
DU Ronghuan, LI Honglian, TANG Bangxing, et al. Research on Debris Flow for Thirty Years in China [J]. Journal of Natural Disasters, 1995, 4(1): 64-69.
- [2] 吕儒仁,唐邦兴,朱平一,等.西藏泥石流与环境[M].成都:成都科技大学出版社,1999.
LV Ruren, TANG Bangxin, ZHU Pingyi, et al. Debris Flow and Environment in Tibet[M]. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1999.
- [3] 谢洪,钟敦伦,王士革,等.1995年康定城区洪灾成因分析[J].山地研究,1997,15(2):129-131.
XIE Hong, ZHONG Dunlun, WANG Shige, et al. The Reason Analysis of Flood Hazard in Kangding Area in 1995 [J]. Journal of Mountain Science, 1997, 15(2): 129-131.
- [4] 康志成,李焯芬,马蔼乃,等.中国泥石流研究[M].北京:科学出版社,2004.
KANG Zhicheng, LI Zhuofen, MA Ainai, et al. Debris Flow Research in China[M]. Beijing: Science Press, 2004.
- [5] 吴积善,田连权,康志成,等.泥石流及其综合治理[M].北京:科学出版社,1993.
WU Jishan, TIAN Lianquan, KANG Zhicheng, et al. Debris Flow and Its Comprehensive Treatment[M]. Beijing: Science Press, 1993.
- [6] 费祥俊,舒安平.泥石流运动机理与灾害防治[M].北京:清华大学出版社,2004.
FEI Xiangjun, SHU Anping. Debris Flow Movement Mechanism and Disaster Prevention[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2004.
- [7] 四川省水利电力厅.四川省中小流域暴雨洪水计算手册[Z].成都:四川省水利电力厅,1984.
Sichuan Provincial Water Resources Department. Small and Medium River Basin Storm Flood Calculation Manual for Sichuan [Z]. Chengdu: Sichuan Provincial Water Resources Department, 1984.

(编辑:车晓娟 苏玲梅)