

文章编号 1001-8166(2004)增-0238-04

都汶公路泥石流对沟口桥梁危险性评价

王全才, 刘希林, 孔纪名, 何思明

(中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041)

摘要 本文对都汶公路发育的 4 条主要泥石流沟对沟口桥梁的危险性进行了评价, 分析了不同频率洪峰流量和泥石流流量及泥石流堆积对工程的冲击力, 提出治理工程措施及用于泥石流治理中专门保护公路桥梁的新型结构工程。

关键词 都汶公路, 泥石流, 粗化作用, 危险性评价

中图分类号 P642.23 **文献标识码** A

0 前言

泥石流危险性评价是对泥石流流域活动状况和危险程度的综合表述, 是指在一定范围(单沟或区域)内所存在的一切人和物有遭到泥石流损害的可能性大小^[1], 是泥石流勘查的重要内容, 也是制定治理工程和进行防治工程设计的前提。泥石流危险度的大小对跨越沟口公路桥梁的设计及其应采取的泥石流防治措施具有重要的作用。

都(江堰)汶(川)公路是为了满足九寨沟旅游热线的需要而即将动工修建的一条高等级公路, 全长 108 km, 由于所处特殊的自然地理位置, 拟建公路沿线的板子沟、桃关沟、登基沟和彻底关沟 4 条泥石流沟长期肆虐, 对沟口公路桥梁产生巨大威胁。本文在对都汶公路沿线 4 条沟泥石流进行考察分析的基础上, 进行了危险性评价分析, 以期对拟建公路的设计施工提供理论依据。

1 泥石流沟的地质环境

板子沟、登基沟、桃关沟、彻底关沟位于汶川县城以南区域性大断裂带—茂汶断层的中段, 为岷江两侧的支沟。汶川县城以南地区为典型的中高山河谷切割地貌, 岷江由北东向南西流经本区, 为泥石流

发育地区。岷江的西侧为北东向的雪隆包—山葱—山脉, 其中最高峰雪隆包海拔高程 5 314 m。雪隆包山位于绵半镇西北, 东西宽 14 km, 南北长 24 km, 面积 236 km², 是“晋宁期”地壳运动时期形成的古老陆壳基底, 经多次构造活动的作用后隆起成山, 形成“雪隆包岩体”。板子沟、登基沟以及彻底关沟都发育在雪隆包山的崇山峻岭之中。茂汶断层是一条北东走向的压扭性大断裂, 经汶川三江耿达、草坡、绵半、玉龙、威州、雁门等地, 上盘(北西盘)向南仰冲, 下盘(南东盘)向北俯冲, 扭动方式为逆时针。从宝兴县向北东经芦山县北端羊子岭, 延伸到汶川耿达, 至绵半后分为两支, 一支沿牟托—十里铺复背斜经威州、三尖山等地延伸入茂县; 另一支沿该复背斜南东侧经威州、雁门到茂县, 断层走向 30~45 NE, 总体约 40° 倾向 300~330°, 倾角 45~80°, 长约 156 km。斜穿汶川县境内 113 km。断层自古生代以来一直在活动, 卷入地层十分破碎, 羽状节理裂隙极为发育, 是龙门山构造带主要发生地震的断裂之一。由于茂汶断层的存在, 使得汶川县城以南地区岩石十分破碎, 板子沟、登基沟、桃关沟、彻底关沟内都堆积有较多的块石和松散物质, 为泥石流的发生提供了固体物质条件, 加上长期人为活动破坏, 使这里成为泥石流危害区(图 1~4)。

收稿日期: 2004-04-10

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目(编号: KZCX3-SW-323), 四川省重点科技项目(01SG049-02)资助。

作者简介: 王全才(1959-) 男, 河南省鲁山人, 研究员, 主要从事滑坡整治工程设计与滑坡机理、工程结构与坡体协调性方面的研究。E-mail: slopeok@imde.ac.cn



图1 板子沟中游左侧的大型滑坡(刘希林摄)

Fig. 1 A large landslide on the left bank in the middle reach of Banzi gully (by Liu Xilin)



图2 登基沟内分布的大量崩塌(刘希林摄)

Fig. 2 Numerous collapses in Dengji gully (by Liu Xilin)



图3 桃关沟口大型的泥石流堆积扇, 沟内分布有大量人工采石(刘希林摄)

Fig. 3 A large debris flow fan and a lot of deposits in quarry of Taoguan gully (by Liu Xilin)



图4 彻底关沟内的小型泥石流(刘希林摄)

Fig. 4 A small debris flow in Chediguan gully (by Liu Xilin)

2 危险性评价

2.1 评价方法及因子确定

泥石流危险性评价有多种方法,在泥石流成灾度评价中,生态环境和资源分布的自然规律往往是评价的理论基础,而人类经济活动又直接反映出成灾度评价的地域性。针对都汶公路泥石流沟的特点,采用《泥石流危险性评价》^[2]和《泥石流风险评价》^[3]单沟泥石流危险度评价中推荐的如下公式计算:

$$H = 0.29M + 0.29F + 0.14S_1 + 0.09S_2 + 0.06S_3 + 0.11S_6 + 0.03S_9 \quad (1)$$

式中 M 、 F 、 S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_6 、 S_9 分别为 m 、 f 、 s_1 、 s_2 、 s_3 、 s_6 、 s_9 的转换值。 m 为泥石流规模($10^3 m^3$); f 为泥石流发生频率(次/100年); s_1 为流域面积(km^2); s_2 为主沟长度(km); s_3 为流域相对高差(km); s_6 为流域切割密度(km/km^2); s_9 为不稳定沟床比例(%)。各评价因子通过 1:50 000 地形图量算、现场调查访问和参考历史资料以及按设计频率下泥石流固体物质径流量计算方法获取。因子选择具有明确的物理意义,各因子互相独立明确和量化。4 条沟各因子数据见表 1。各沟泥石流危险度评价因子的转换值可由表 2 所列转换函数换算求得,转换函数赋值及危险度评价结果见表 3。

同样采用《泥石流危险性评价》^[2]中推荐的公式计算一次泥石流最大堆积厚度

$$d = 0.254[V \cdot r_c / G^2(\ln r_c)]^{1/3} \quad (2)$$

式中 d 为一次泥石流最大堆积厚度(m); V 为一次泥石流固体物质径流量(m^3); G 为堆积区坡度($^\circ$); r_c 为泥石流容重(t/m^3)。

式(2)得出 d 的平均相对误差为 7.8%。若以此校正,按 50 年一遇的泥石流固体物质径流量计算,板子沟泥石流最大堆积厚度为 9.3 m,桃关沟泥石流最大堆积厚度为 9.1 m,登基沟泥石流最大堆积厚度为 8.9 m,彻底关沟泥石流最大堆积厚度为 6.1 m。以上泥石流最大堆积厚度可供桥梁设计预留净空和泥石流拦砂坝设计高度时参考。

表1 泥石流危险度评价基础数据

Table 1 Basic data for hazard assessment of debris flow s

沟名	M	F	s_1	s_2	s_3	s_6	s_9
板子沟	364	5	54.7	10.5	3.7	2.15	76
桃关沟	458	5	49.9	13.3	2.7	1.78	53
登基沟	309	20	46.3	10.7	3.8	1.82	47
彻底关沟	89	3	16.7	7.1	2.4	1.93	28

表 2 单沟泥石流危险度评价因子的转换函数

Table 2 Transform ation functions for site-specific hazard assessment of debris flows

转换值(0-1)	转换函数(m, f, s ₁ , s ₂ , s ₃ , s ₆ , s ₉ 为实际值)
M	M = 0 当 m = 1 时 M = logm / 3 当 1 < m < 1000 时 M = 1 当 m > 1000 时 F = 0 当 f = 1 时
F	F = logf/2 当 1 < f < 100 时 F = 1 当 f > 100 时
s ₁	s ₁ = 0.2458e ^{0.1495s₁} 当 0 s ₁ 50 时
s ₂	s ₂ = 1 当 s ₂ > 50 时 s ₂ = 0.2903e ^{0.5372s₂} 当 0 s ₂ 10 时
s ₃	s ₃ = 1 当 s ₃ > 10 时 s ₃ = 2s ₃ / 3 当 0 s ₃ 1.5 时
s ₆	s ₆ = 1 当 s ₆ > 1.5 时 s ₆ = 0.05s ₆ 当 0 s ₆ 20 时
s ₉	s ₉ = 1 当 s ₉ > 20 时 s ₉ = s ₉ / 60 当 0 s ₉ 60 时
	s ₉ = 1 当 s ₉ > 60 时

表 3 泥石流危险度评价因子转换值及危险度

Table 3 The transformed values of the factors for hazard assessment of debris flows

沟名	M	F	s ₁	s ₂	s ₃	s ₆	s ₉	H
板子沟	0.85	0.35	1	1	1	0.11	1	0.68
桃关沟	0.89	0.35	0.96	1	1	0.09	0.88	0.69
登基沟	0.83	0.65	0.94	1	1	0.09	0.78	0.74
彻底关沟	0.65	0.24	0.66	0.83	1	0.10	0.17	0.50

按 50 年一遇设计频率下的泥石流固体物质径流量计算 4 条沟泥石流的最大堆积厚度见表 4。需要说明的是表 4 中的最大堆积厚度并不是一些规范中所说的设计年限内总淤积厚度,前者已包含了很多项,后者要小得多。导流工程设置后,在保证桥梁上下排泄状态完好的条件下,后者可根据桥位处实际排导槽宽度和计算最小排导槽宽度的关系对最大堆积厚度进行折减。

泥石流过流断面面积按下式计算

$$W = Q_c / V_c \quad (3)$$

式中 W 为泥石流过流断面面积(m²), Q_c 为泥石流流量(m³/s), V_c 为泥石流流速(m/s)。

按 50 年一遇设计频率下的泥石流流量和最大堆积厚度考虑,沟口桥梁附近的泥石流过流断面以及最小的过流宽度 B(按矩形槽计算)见表 5。最小过流宽度可作为设计桥梁跨度和泥石流排导槽时参考。

2.2 泥石流冲淤变化分析

4 条沟整个流域均呈“上冲下淤”的趋势。就一场泥石流过程而言,总的来说是大量泥砂石块沿沟

表 4 泥石流最大堆积厚度

Table 4 Maximum depositional thickness of the debris flows

沟名	V	G	r _c	D
板子沟	363634	4.6	1.5	10.1
桃关沟	457717	5.1	1.6	9.9
登基沟	309384	4.6	1.5	9.6
彻底关沟	88903	4.6	1.4	6.6

表 5 泥石流过流断面和过流宽度

Table 5 Cross section and width of the debris flows

沟名	Q _{c2%}	V _c	W	d(校正后)	B(m)
板子沟	799	4.11	194	9.3	20.8
桃关沟	621	4.12	151	9.1	16.6
登基沟	652	4.59	142	8.9	16.0
彻底关沟	279	4.00	70	6.1	11.5

自上而下搬运运输移的过程。因此,在沟口桥位附近,泥石流发生后是以淤积为主。4 条沟均为岷江的一级支流,自 1956—1985 年的 30 年间,汶川县威州(县城所在地)姜舍坝水文站记录的岷江最高洪峰流量为 1 890 m³/s(1973-06-23),最低洪峰流量为 639 m³/s(1970-07-08) 历年平均洪峰流量为 1 076 m³/s。板子沟、桃关沟和登基沟 3 条高危性的泥石流沟与入汇河的关系,用 100 年一遇泥石流流量分析,基本上属于势均力敌或略显主强支弱的主一支关系。因此,泥石流发生过程中,岷江主河很难将泥石流冲出的固体物质迅速带走,加上岷江河道狭窄,容易形成堵江现象,1978 年板子沟爆发大型泥石流,堵断岷江即为实证,如此的主流关系会加剧泥石流堆积物在沟口部位的淤积。针对沟口桥梁的安全性而言,一旦发生泥石流,主要是防止泥石流淤积和大石块对桥墩桥梁的冲击。因此,桥梁设计时,只要留有足够的净空、过流断面和适当的流通坡度,以让泥石流顺利通过。

从泥石流堆积物粒度分析来看,主要以砂砾为主,粘粒含量很少(小于 5%),4 条沟均为稀性泥石流,容重介于 1.4 ~ 1.6 t/m³ 之间。稀性泥石流在运动过程中有冲淤现象,特别是在后期,冲刷作用较为明显,但主要是将前期淤积的泥石流物质冲走。据我们现场考察并测量推算,板子沟和登基沟一次泥石流最大冲刷深度一般不会超过 3.5 m,桃关沟一次泥石流最大冲刷深度一般不会超过 3 m,彻底关沟一次泥石流最大冲刷深度在 1.5 m 左右。为保险起见,可将板子沟和登基沟的一次泥石流最大冲刷深度定为 4 m,将桃关沟的一次泥石流最大冲刷深

度定为 3.5 m,将彻底关沟的一次泥石流最大深度定为 2.5 m,以此作为桥墩基础埋深和防止泥石流冲刷时应该考虑的最小深度。

3 泥石流活动趋势预测

现场调查表明,板子沟和登基沟沟口附近均表现为沟床下切。据当地老乡介绍和我们实地量测,估计下切深度 3~4 m 不等,主要是洪水期间的流水冲刷和粗化作用造成的。考察期间(2003-05-19~23),对上述 2 条泥石流沟中游沟道的常流水(雨季)流量所作实测,板子沟流量为 $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$,登基沟流量为 $5.3 \text{ m}^3/\text{s}$,这一资料表明,两沟雨季洪水具有较大的冲刷能力。桃关沟中下游沟道常流水(雨季)实测流量为 $5.2 \text{ m}^3/\text{s}$,由于下游部位堆放大量的人工采石,提供了丰富的固体物质,沟床的下切侵蚀现象已不明显,反而有人为造成沟床淤积加高的可能。彻底关沟雨季流量较小,实测流量为 $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$,由于沟口有公路桥跨过,为护坡修建了单侧导

流堤,冲淤基本平衡,沟床没有明显的冲淤变化。

4 条沟所属流域为非强暴雨区,降水特征以阴绵区和秋绵雨为主。流域内植被覆盖很好,沟床以粗大砾石为主,细砂和粘粒物质很少,属山区典型的砾石质河床,砾石磨圆度较高,河床物质比较稳定,重新启动参与泥石流活动较为困难。

板子沟、桃关沟和彻底关沟均为低频率泥石流或高含沙洪水,平均 20~50 年发生一次,登基沟泥石流(包括高含沙洪水)发生频率稍高,平均 5~10 年发生一次。从降水条件和松散固体物质补给情况来看,如果板子沟和桃关沟内人工采石的强度能得到有效控制,没有明显迹象表明上述 4 条沟的泥石流活动会有增强的趋势。

由此得出,板子沟泥石流危险度为 0.68,属高度危险;桃关沟泥石流危险度为 0.69,属高度危险;登基沟泥石流危险度为 0.74,属高度危险。高度危险的泥石流沟可造成重大灾难和严重危害。彻底关沟泥石流危险度为 0.50,属中度危险。中度危险的

表 6 泥石流危险等级及其防治方案^[2]

Table 6 Classes of debris flow hazard and their countermeasures^[2]

单沟泥石流危险度	危险度等级	泥石流活动特点	灾情预测	防治原则	防治对策	工程设计标准
0.0~0.2	极低	基本上无泥石流活动	基本上没有泥石流灾难	防为主 无需治	维持生态环境的良性循环	无需工程措施
0.2~0.4	低度	各因子取值较小,组合欠佳,能够	一般不会造成重大灾难和严重危害	防为主	加强水土保持,保护生态环境,搞好群策群防;必要时辅以一定的工程治理	10 年一遇
	危险	发生小规模和低频率的泥石流或山洪		治为辅		
0.4~0.6	中度	个别因子取值较大,组合尚可,能够间歇性发生中等规模的泥石流,较易由工程治理所控制	较少造成重大灾难和严重危害	治为主	实施生物工程和土木工程综合治理即可抑制泥石流的发生发展;必要时可建立预警避难系统,避免一切不必要的灾害损失	20 年一遇
	危险			防为辅	加强预测预报和预警避难“软”措施,同时施以生物工程和土木工程综合治理“硬”措施,确保危害对象安全无恙	50 年一遇
0.6~0.8	高度	各因子取值较大,个别因子取值甚高,组合亦佳,处境严峻,潜在破坏力大,能够发生大规模和高频率的泥石流	可造成重大灾难和严重危害	防、治并重	尽量绕避,不能绕避者建立预警避难系统;必要时采取生物工程和土木工程综合治理,将可能的灾害损失减少到最低程度	100 年一遇
	危险			治为辅		

泥石流沟较少造成重大灾难和严重危害。在同属高度危险的 3 条泥石流沟中,以登基沟泥石流危险度最高,为 0.74,因此,建议在设计跨沟桥梁和制定防治方案时,登基沟应给予高度重视。

泥石流危险度和泥石流活动特点及其防治对策参见表 6,表中内容可供桥梁选址布线和制定泥石流防治方案时参考。

参考文献(References):

- [1] Liu Xilin (刘希林). Approaches to risk assessment of debris flow[J]. Journal of Mountain Science, 2000, 18(2): 341-345 (in Chinese).
- [2] Liu Xilin (刘希林), Tang Chuan (唐川). Danger Assessment on Debris Flow[M]. Beijing: Science Press, 1995 (in Chinese).
- [3] Liu Xilin (刘希林), Mo Duowen (莫多闻). Risk Assessment on Debris Flow[M]. Chengdu: Sichuan Science and Technology Press, 2003 (in Chinese).