

喇嘛溪沟泥石流运动特征及其对工程影响分析*

魏成武, 巫锡勇

(西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031)

摘要:喇嘛溪沟是流沙河的一条支流,历史上曾发生过不同规模的泥石流。沟内第四系松散堆积物丰富,在特大暴雨的诱发下,有暴发泥石流的可能。为确保桥梁的安全运营,在现场调查的基础上,根据国内外的研究成果,结合喇嘛溪沟流域的特征,分析研究了喇嘛溪沟沟谷发育特征和泥石流的运动特性。通过对不同设计概率下的泥石流流速、峰值流量、一次泥石流固体物质总量的计算,桥梁工程设施按 100 a 使用寿命考虑,喇嘛溪沟流域内的松散物源在遭遇 100 a 一遇特大暴雨的情况下有失稳启动的可能,并对桥梁安全运营有一定的影响,这一研究对保证桥梁工程的安全有着重要的现实意义。

关键词:泥石流;发育特征;流速

中图分类号: P642.23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2008)06-0170-03

The Debris Flow Movement Characteristics and Their Influences on Engineering Projects in the Lamaxi Channel

WEI Cheng-wu, WU Xi-yong

(College of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The Lamaxi channel is a tributary of the Liusha stream. The different scale debris flows ever occurred along these gullies in history. The gullies are affluent in the Quaternary sediments. The debris flow induced by heavy rainstorms is still possible. To ensure the safety of the bridge operation, based on the investigation at the scene, according to the study of the home and abroad, the authors analyzed the formation and the dynamic characteristics of the debris flow with the characteristics of the Lamaxi channel drainage area. Through calculating the probability of different design of the debris flow velocity, peak flow, a one-time total volume of solid matter of the debris flow, the bridge project facilities are considered by the service life of 100 years. The loose source of the Lamaxi channel drainage area may start instability in the event of a return period of 100 years of heavy rainfall circumstances. This has a certain influence to the safety of the bridge operation. This study to guarantee the safety of the bridge has an important practical significance.

Key words: debris flow; development characteristic; flow velocity

1 引言

喇嘛溪沟位于大渡河支流流沙河的左岸,是流沙河的一条支流。拟建中的雅安至泸沽高速公路以桥梁方式跨过喇嘛溪沟中下游的大型滑坡,填方反压后桥梁净高 48 m。沟谷发育,沟谷中下游多呈“U”型,斜坡坡度多为 15~30°,属斜坡地貌。沟两岸多滑坡、崩塌,植被覆盖差,出露地层为上第三系上新统昔格达组粉砂岩,其冲沟两侧土体较松散,在河床不断的下切侵蚀作用过程中,易失稳发生大规模的不良地质灾害,加剧溯源侵蚀,据现场调查文武坡喇嘛溪沟松散固体物质丰富,在暴雨的诱发下有可能发生泥石流侵蚀。因此,在现场调查的基础上对喇嘛溪沟泥石流的发育特征及其动力学特性进行分析,进而分析泥石流对工程的影响是很有必要的。

2 喇嘛溪沟沟谷发育特征

喇嘛溪沟流域面积为 4.3 km²,主沟沟长 4.8 km,主沟平均纵坡坡降 140‰(见图 1),主沟沟床弯曲系数 1.163,属溯源侵蚀沟。除沟道在距沟口约 800 m(相应海拔高程 925 m)处存在明显弯曲外,总体较为顺直。沟口段坡度较缓,沟谷切割较浅,无明显的堆积物,只有零星崩塌发生,沟道中游可见昔格达地层出露,以“V”型谷为主,切割较深,沟内堆积物丰富,主要是滑坡、崩塌等的坡积物,稳定性较差,极易在洪水等的冲刷下被运送走。沟上游为较狭窄“V”型谷,属形成区地段,沟内松散堆积物以坡残积白云岩块碎石为主。喇嘛溪沟共有 4 条支沟,其支沟都较小,稳定性较好,在暴雨等条件的诱发下不会发生规模较大的泥石流,其对主沟的物源补给可以忽略不计。

* 收稿日期:2008-03-05

基金项目:四川省科技厅科技项目

作者简介:魏成武(1983-),男,陕西榆林市人,硕士研究生,主要从事地质灾害与防治工程研究。E-mail:weichengwu@yahoo.cn

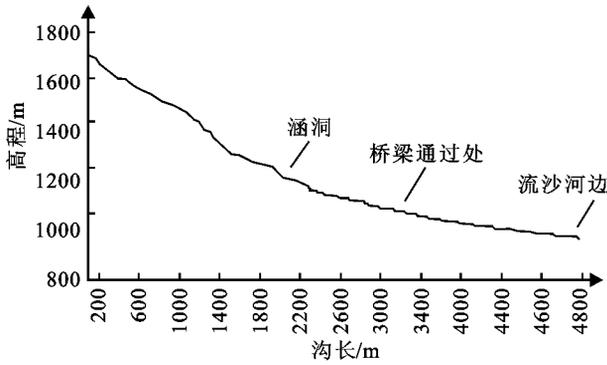


图 1 喇嘛溪沟主沟纵坡坡降变化图

3 喇嘛溪沟泥石流运动特征

对泥石流运动特征和动力特征的定性分析,是认识泥石流和进行泥石流防治工程设计的基本依据。对喇嘛溪沟泥石流的分析,主要依据调查资料,运用目前泥石流运动特征及动力特征研究成果进行分析。

3.1 喇嘛溪沟泥石流流速计算

泥石流流速是泥石流动力学研究中非常重要的问题,结合现场调查和历史资料,初步确定喇嘛溪沟泥石流为稀性泥石流。喇嘛溪沟泥石流流速计算采用西南地区现行公式^[1]。

$$V_c = M_c \cdot R^{2/3} \cdot I_c^{1/2} \quad (1)$$

$$= \frac{H(c-1)}{H-c} \cdot I_c^{1/2} = [H+1]^{1/2} \quad (2)$$

式中: V_c ——稀性泥石流流速(m/s); M_c ——泥石流沟糙率系数; I_c ——泥石流沟底坡度(‰); R ——泥石流水力半径,在天然河床,一般可以平均水深 H_c 代替; H ——泥石流固体颗粒容重(g/cm^3); c ——泥石流容重(g/cm^3); $\frac{H(c-1)}{H-c}$ ——泥石流修正系数, $= \frac{c-1}{H-c}$ 。

泥石流容重取得的方法有实测法、现场调查法、泥痕相似法和经验公式法等。由于缺乏泥石流记录的资料,采用经

验公式法确定。泥石流容重的经验计算公式是

$$c = \frac{1}{1 - 0.0334A I_c^{0.39}} \quad (3)$$

式中: c ——泥石流容重(g/cm^3); A ——坍方程度系数; I_c ——坍方区平均坡度(‰)。当上式 $A = 1.4$, $I_c > 800$ ‰时,公式无意义。

通过野外调查和经验值确定 M_c 泥石流沟糙率系数为15, H_c 泥石流固体颗粒容重为 $2.7 g/cm^3$,平均水深 H_c 为1.2 m, I_c 坍方区平均坡度为450‰。泥石流流速的计算结果见表1。

3.2 喇嘛溪沟泥石流峰值流量的计算

按照《四川省中小流域暴雨洪水计算手册》^[2],综合喇嘛溪沟的流域特征、降雨条件和地形地貌等因素,确定设计流域的暴雨特征值以及相应的计算参数,采用推理公式计算清水流量 Q_B :

$$Q_B = 0.278 \cdot i \cdot F = 0.278 \left(\frac{S}{n} \right) F \quad (4)$$

式中: $\frac{S}{n}$ ——洪峰径流系数; i ——最大平均暴雨强度(mm/h); S ——某频率的暴雨雨力,即最大一小时的暴雨雨量(mm/h); n ——流域汇流时间; n ——暴雨公式指数; F ——集水面积(km^2)。各相关参数取值及具体计算结果见表2,经计算,流域特征系数为6.48,汇流参数 m 为0.32,产流参数 μ 为2.75,暴雨参数(n_2)为0.78。

表 1 喇嘛溪沟泥石流流速计算

名称	设计频率/ %						
	20	10	5	2	1	0.5	0.2
坍方程度系数	0.90	0.92	0.94	0.96	0.98	1.00	1.02
泥石流容重/ ($g \cdot cm^{-1}$)	1.48	1.50	1.52	1.53	1.55	1.57	1.58
泥沙修正系数	0.40	0.42	0.44	0.46	0.48	0.50	0.52
泥石流流速/ ($m \cdot s^{-1}$)	4.40	4.35	4.30	4.24	4.19	4.13	4.08

表 2 喇嘛溪沟按推理公式计算最大洪水流量

指标	设计频率/ %						
	20	10	5	2	1	0.5	0.2
雨力 $S_p / (mm \cdot h^{-1})$	44.88	53.55	62.30	72.80	80.85	88.55	98.70
汇流时间 $t_o (=1)$	3.91	3.70	3.53	3.37	3.26	3.17	3.06
洪峰径流系数	0.82	0.86	0.88	0.90	0.91	0.93	0.93
汇流时间 t / h	4.16	3.88	3.68	3.48	3.35	3.24	3.13
最大流量 $Q_B / (m^3 \cdot s^{-1})$	13.90	18.39	22.83	28.49	32.90	37.85	43.31
反算汇流参数 m	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32

由于泥痕调查法计算泥石流峰值流量的困难性,很难满足工程设计的需要,国内外学者提出了基于配方法为基础的雨洪修正法,前苏联学者 E. K. 拉布柯娃提出的泥石流流量计算式(简称拉氏公式)为

$$Q_c = Q_B \cdot e^{0.8(c-1)} \quad (5)$$

式中: Q_c ——泥石流流量(m^3/s); Q_B ——泥石流沟的清水流量(m^3/s); c ——石流容重(g/cm^3)。

我国学者在对东川、成昆线上的泥石流研究后认为堵塞附加流量不能很好地反映泥石流的堵塞阵流现象,按照雨洪修正法原理,建议泥石流流量的计算公式为(东川公式):

$$Q_c = Q_B (1 + D_c) \quad (6)$$

式中: Q_c ——泥石流流量(m^3/s); Q_B ——泥石流沟的清水流量(m^3/s); D_c ——泥石流堵塞系数,喇嘛溪沟泥石流的堵塞系数取1.1。

采用雨洪修正法计算喇嘛溪沟泥石流的泥石流流量(见表 3)。拉氏公式计算的结果比东川公式计算的结果稍小,

但是相差不大,说明喇嘛溪沟泥石流的堵塞程度轻微,从安全角度考虑,采用东川公式的计算结果。

表 3 喇嘛溪沟泥石流峰值流量

指标	设计频率/ %						
	20	10	5	2	1	0.5	0.2
最大洪水流量/ (m ³ · s ⁻¹)	13.90	18.39	22.83	28.49	32.90	37.85	43.31
泥石流峰值流 量/ (m ³ · s ⁻¹)	拉氏公式 20.41	27.43	34.61	43.53	51.08	59.72	68.88
	东川公式 21.41	28.63	36.04	45.62	53.47	62.47	72.63

4 喇嘛溪沟总量及输沙量

4.1 由暴雨推求洪水总量

设计洪水总量是由设计暴雨量,按照综合分区的暴雨径流关系求得。洪水总量的暴雨历时即由流域面积的大小,确定相应的设计暴雨历时长短。根据《四川省中小流域洪水计算手册》,设计洪水总量可以按照下式求得:

$$W_p = 0.1 H_{tp} F = 0.1 h F \quad (7)$$

式中: W_p ——设计洪水总量(万 m³); H_{tp} ——历时为 T 设计暴雨量(mm); F ——流域面积(km²); ——径流系数; h ——径流深(mm)。

根据上述推导公式,计算出喇嘛溪流域的洪水设计总量,见表 4。

表 4 喇嘛溪沟洪水设计总量

指标	设计频率/ %						
	20	10	5	2	1	0.5	0.2
径流深/ mm	33.91	39.37	47.77	57.85	65.57	72.96	82.69
设计洪水总量/ 万 m ³	14.01	16.26	19.73	23.89	27.08	30.13	34.15

4.2 一次泥石流总量

通过断面的一次泥石流总量 V_c 和一次泥石流冲出固体物质总量 V_s 分别按下式计算:

$$V_c = 19 T Q_c / 72 \quad (8)$$

$$V_s = \frac{c - w}{h - w} V_c \quad (9)$$

式中: V_c ——一次泥石流总量(m³); T ——泥石流历时(s); Q_c ——泥石流最大流量(m³/s)。 V_s ——通过计算断面的固体物质实体总量(m³); w ——水容重(kg/m³)。

由于近百年间发生的大都是小型泥石流,并结合现场调查,取泥石流历时为 2 h 进行计算。按照上述公式,喇嘛溪沟一次泥石流总量及固体物质总量的计算结果见表 5。

5 喇嘛溪沟泥石流对工程的影响

由于桥位处在喇嘛溪沟的中下游,桥墩基础处于滑坡体上,此滑坡下伏在昔格达地层之上,属于昔格达地层滑坡,而昔格达地层是一种工程性质较差的极软岩,结合喇嘛溪沟泥石流的运动特征和动力特性,分析如下:

喇嘛溪沟中游纵坡较缓,沟道较平直,工程设施按 100 a 使用寿命计算,预测喇嘛溪沟泥石流遭遇 100 a 一遇特大暴雨的情况下,可能流速为 4.19 m/s,峰值流量 53.47 m³/s,

由此可见其对滑坡前缘的冲刷淘蚀作用是比较大的,可能引起沟床的下切,致使桥墩基础外露,严重影响主桥身的安全。

表 5 喇嘛溪沟一次性泥石流总量及固体物质总量

指标	设计频率/ %						
	20	10	5	2	1	0.5	0.2
泥石流峰值流量/ (m ³ · s ⁻¹)	21.41	28.63	36.04	45.62	53.47	62.47	72.63
泥石流总量/ 万 m ³	4.07	5.44	6.85	8.67	10.16	11.87	13.80
固体物质总量/ 万 m ³	1.16	1.60	2.08	2.71	3.28	3.96	4.75

由于桥位附近的河道较顺直,流通性较好,发生淤积的程度不会很大,值得注意的是拦砂坝的修建,势必会破坏现有河道的稳定,提高了相对侵蚀基准面,引起拦挡坝以上沟道的淤积,导致排导沟排流不顺畅。

6 结论

(1)通过对喇嘛溪沟泥石流运动特征的分析表明,喇嘛溪沟泥石流在相应设计概率下的暴发规模属中型。近百年间曾暴发过不同规模的泥石流,喇嘛溪沟流域内的松散物源只有在遭遇特大暴雨的情况下才有可能失稳启动。

(2)根据喇嘛溪沟桥梁工程建设方案,在喇嘛溪沟流域把昔格达地层土作填料加以开采利用,一旦在冲沟流域内进行大范围的边坡开挖,必然破坏现有边坡稳定的平衡条件,导致不稳定和潜在不稳定松散物源方量明显增加,使喇嘛溪沟发生泥石流的可能性加大,暴发频率会显著增高,规模也会加大。因此,在施工过程中应尽量避免产生大量不稳定松散物源,对产生的松散物质,应进行合理堆放或处理。

参考文献:

- [1] 陈光曦,王继康,王林海. 泥石流防治[M]. 北京:中国铁道出版社,1983:65-76.
- [2] 朱平一,程尊兰,汪阳春. 长江上游暴雨泥石流与环境研究[J]. 水土保持学报,2000,14(5):35-40.
- [3] 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.
- [4] 郑达,黄润秋,邓辉. 票子坪水电站南桠村沟泥石流运动特征研究[J]. 地质灾害与环境保护,2003,14(4):16-20.
- [5] 周必凡,李德基,罗德富,等. 泥石流防治指南[M]. 北京:科学出版社,1991.