

山区公路泥岩危岩崩塌分析评价及防护设计

曾玉梅¹, 杨星^{2*}, 范安军², 周志林²

(1.四川省交通勘察设计研究院有限公司,四川成都 610000;2.四川公路工程咨询监理有限公司)

摘要:随着山区的建设发展,越来越多的公路修建在陡坡坡脚,由于山区地质条件较差,许多山区公路都受到地质灾害的威胁。该文以雅安山区某危岩崩塌为例,结合现场地质地貌、地层岩性等特点,对其进行了稳定性分析,并提出相应的防护设计,工程应用防护设计取得了良好的治理效果。

关键词:山区公路;危岩崩塌;防护设计

随着经济的加快发展,山区公路建设如火如荼,由于山区地形地貌限制,必然有不少公路存在高边坡开挖,甚至从不良地质体穿过的情况,对此,不少学者对路堑开挖边坡或公路两侧自然边坡的安全稳定性及防护设计进行过研究,如李建宇等通过对路堑高边坡采用锚索支护设计进行优化并利用FLAC^{3D}及Slide软件进行稳定性分析;杨闻达等通过研究主直根系植物对边坡的渗透性影响来考虑边坡的生态防护设计;魏小楠考虑边坡在施工开挖扰动情况下的应变软化特征,确定路堑边坡滑裂面材料强度分区演化规律。

部分开挖放坡的岩土体由于开挖暴露,易风化剥落形成危岩体,部分危岩体本身也处于高位,还具有一定隐蔽性,且泥岩等岩体由于其质地较软,抗风化能力较差,因此对山区坡脚公路过往行人和车辆的安全具有一定的安全隐患。鉴于此,该文以山区泥岩类危岩体为研究对象,分析评价其稳定性,计算其失稳时的运动参数,以此进行合理的防护设计。

1 工程概况

某灾害点位于四川雅安某电站水库右岸公路边坡上部,属于低山区和低山平坝区,地形南高北低,斜坡坡向近北向 4° ,坡度为 $45^\circ\sim 60^\circ$ 。崩塌区范围沿公路展宽约为43 m,纵向长约为50 m,其下方为水库库岸公路。灾害点顶部危岩带区曾发生崩塌,现为高达7~10 m的陡坎,在公路内侧形成崩坡积堆积体,并挤

占公路2~3 m。危岩带位于崩塌堆积后缘坡顶部位,平面呈“一”字形近东西向展布,延伸长度约30 m,危岩带后缘高程为1 050~1 052 m,前后缘相对高差为7~10 m,坡度达 75° ,局部直立。危岩带岩层产状为 $NE10^\circ\angle 3^\circ$,为近水平略倾坡外。岩层由粉砂质泥岩与泥岩组成,岩层厚度一般为5~20 cm,最大可达50 cm。通过对危岩带顶部槽探揭露,边坡顶部卸荷裂隙发育,卸荷带与危岩带水平距离为1.5~2 m,岩体卸荷裂隙发育,可见最长裂隙达1.9 m,略有张开,泥质充填,陡倾坡外。

据现场实测,岩层主要发育3组节理J1、J2和J3。产状分别为 $NE8^\circ\angle 85^\circ$ 、 $NE6^\circ\angle 51^\circ$ 和 $NE61^\circ\angle 82^\circ$ 。根据结构面发育情况分析,危岩带发育的卸荷裂隙与J1、J2为危岩带失稳的控制性结构面,结构面将危岩带切割成粒径为0.05~1 m不等的潜在危岩体(图1、2)。崩塌规模属于小型崩塌,该崩塌变形破坏对坡脚乡村公路以及公路上的行人和车辆安全将构成重大威胁。

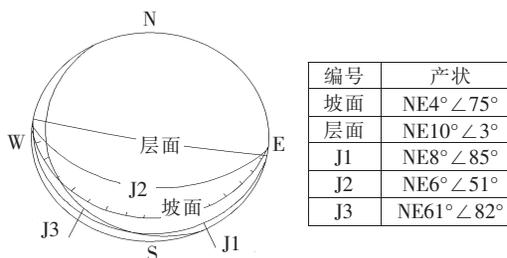


图1 结构面赤平投影图

收稿日期:2020-10-14(修改稿)

作者简介:曾玉梅,女,大学本科,高级工程师。

*通信作者:杨星,男,硕士,助理工程师。

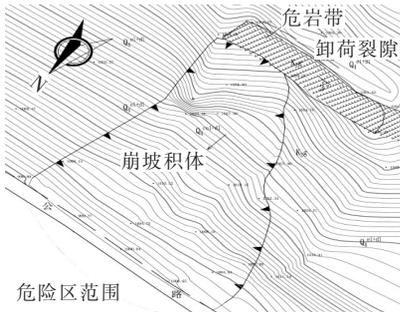


图 2 危岩带平面示意图

2 危岩稳定性评价分析

危岩带位于崩塌堆积体上方,基岩裸露,前缘临空,节理裂隙发育,岩体破碎,主要受 3 组结构面切割控制,于坡面形成不利结构面,岩体被切割成大小不等的危岩体,裂隙密度为 0.2~1.0 条/m,裂隙宽 0.5~2 mm,呈泥质充填状态,裂面平直~粗糙。现状危岩带整体处于基本稳定状态,局部危岩体受结构面切割,后缘节理裂隙贯通率高,处于基本稳定~欠稳定状态,危岩粒径一般为 0.1~0.3 m,最大可达 1 m。

由于构成边坡的岩体为泥岩和粉砂质泥岩,岩性软弱,工程地质性质差,力学强度低,加上岩层卸荷载

隙及结构面发育,因此,危岩带区在降雨、风化等作用下岩体易解体形成危岩再发生崩塌,威胁公路通行安全。

3 危岩整体稳定性计算

根据崩塌岩体节理裂隙发育特征,破坏模式为滑移式破坏,破坏模式属于后缘有陡倾裂隙、滑面缓倾。危岩稳定性按下式计算:

$$K = \frac{(W \cos \theta - Q \sin \theta - V \sin \theta - V) \operatorname{tg} \varphi + c \cdot l}{W \sin \theta + Q \cos \theta + V \cos \theta} \quad (1)$$

式中: V 为裂隙水压力 (kN/m); Q 为地震荷载 (kN/m); K 为危岩稳定性系数; c 为后缘裂隙黏聚力标准值 (kPa); φ 为后缘裂隙内摩擦角标准值 ($^{\circ}$); θ 为软弱结构面倾角 ($^{\circ}$),外倾取正,内倾取负; W 为危岩体自重应力 (kN/m)。

根据取样试验数据及相关规范要求需对岩石计算参数进行折减。得到危岩体计算参数,结果见表 1。

在进行稳定性计算时,天然工况按勘查期间的状态计算;暴雨工况按 50 年一遇 5 d 暴雨进行计算,由于危岩带表面未能圈定具体危岩体,因此计算采用结构面切割后的潜在危岩体进行计算,假定潜在危岩体体积为 1 m^3 ,危岩体的稳定性计算结果见表 2。

表 1 危岩稳定性计算参数建议值

项目	重度/($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)		抗压强度/MPa		抗拉强度/MPa		结构面黏聚力 c/MPa		结构面内摩擦角 $\varphi/(\text{^{\circ}})$	
	岩石	危岩体	岩石	危岩体	岩石	危岩体	岩石	危岩体	岩石	危岩体
天然	24.3	24.3	5.68	3.80	0.6	0.12	1.2	0.24	35	31.5
饱和	24.5	24.5	3.18	2.13	0.4	0.08	0.8	0.16	32	28.8
折减系数	1		0.67		0.2		0.2		0.9	

表 2 危岩体稳定性计算结果(假定潜在危岩体体积为 1 m^3)

工况	重度 $\gamma/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	黏聚力 c/MPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{^{\circ}})$	破裂角 $\theta/(\text{^{\circ}})$	滑面长度 l/m	自重应力 $W/(\text{kN} \cdot \text{m}^{-1})$	稳定系数 K
天然工况	24.3	0.24	31.5	51	0.5	24.3	1.23
暴雨工况	25.0	0.16	28.8	51	0.5	25.0	1.04

从表 2 可知:危岩带危岩在天然工况下为基本稳定,暴雨工况下为欠稳定,计算结果和野外判断结果基本一致,故需对其进行治理,防止崩塌危及下方公路通行。

4 防治设计

崩塌一般在降雨持续较长时间后发生,每次崩塌时危岩体方量不大,属于零星崩塌。崩落的块石从危

岩带上崩落后,先会落向崩塌堆积体后缘,然后主要沿堆积体表面发生滚落,也可能发生弹跳。在块石运动过程中,也可能通过撞击启动堆积体表面停积块石。

落石崩塌后在坡面翻滚碰撞,理论上可以视落石为一个质点来描述其移动轨迹曲线(如图 3、4 所示),通过落石腾越计算从而可以确定拦截建筑物的高度和建筑物与山坡坡角间的最小距离。

从危岩落石运动速度、弹跳高度以及撞击能量的

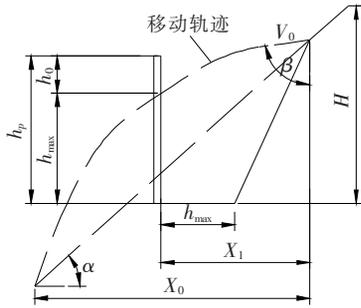


图3 拦截建筑的高度计算示意图

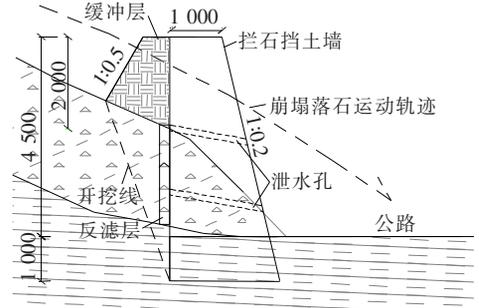


图5 拦石墙布设示意图(单位:mm)

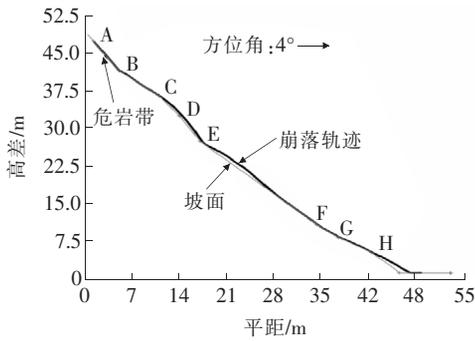


图4 崩落轨迹图

计算结果(表3)中可以看出:危岩失稳时,对坡下公路破坏的能量是巨大的。

表3 危岩落石计算结果

石块体 积/m ³	运动速度/ (m·s ⁻¹)	弹跳高 度/m	冲击能/ kJ	落石冲击 力 P/kN
1	12.22	1.2	350.4	259.92

在掌握灾害体的性质特征、发育规律的基础上,经济、合理、有效地布设防治工程。以此为防护设计理念拟采用重力式拦石墙设计,拦石墙采用 C20 混凝土浇筑,墙高 5.5 m,埋深 1 m,墙顶宽度 1 m,墙身迎坡直立,背坡比为 1 : 0.2,墙底水平,同时交错布设两排间距为 2 m 泄水孔,采用直径 10 cm PVC 管,墙后设置反滤层。如图 5 所示,该拦石墙高出部分约 2 m,墙后设置缓冲层,采用麻袋装碎石土堆砌,厚度不小于 0.5 m。拦石墙一方面防止坡脚崩坡积碎石土溜滑,另一方面也能有效拦挡崩塌落石。

通过危岩体崩落的冲击力及相关主动土压力对拦石墙进行稳定性验算,在各种不利组合下其滑移稳定性系数为 1.415,抗倾覆稳定性系数为 2.33,满足要求。

该处治方式在后续的观测中效果良好,确保了工

程的经济合理、安全可靠,保障了公路的正常通行,极大地方便了当地居民的出行。

5 结语

通过对现场采用钻探、探槽等勘察手段,查清现场地质条件,主要以泥岩和粉砂质泥岩为主,质软,力学强度低。结合现场调查分析,岩层卸荷裂隙及结构面发育,危岩带区在降雨、风化等作用下岩体易解体形成危岩再发生崩塌,通过计算得到危岩体在不同工况下的稳定系数,符合现场调查分析结果,提出了相应的防护设计措施,实施后取得了较好的效果。

参考文献:

- [1] 肖勃,朱禄宏,郭云开,等.山区高速公路顺向高边坡变形预测模型研究[J].中外公路,2018(5).
- [2] 李建宇,耿文林,潘家奇,等.路堑高边坡稳定性分析与支护参数优化设计研究[J].中外公路,2018(5).
- [3] 杨闻达,王桂尧,张永杰,等.主直根系植物对边坡土壤渗透性影响的原位试验研究[J].中外公路,2018(2).
- [4] 魏小楠.考虑岩土应变软化特性的开挖扰动诱发路堑边坡渐进性破坏机理分析[J].中外公路,2019(1).
- [5] GB 50330—2013 建筑边坡工程技术规范[S].
- [6] DB50/T 143—2018 地质灾害防治工程勘察规范[S].
- [7] 杨福荣.三峡库区万州港望天咀码头场地稳定性评价[D].成都理工大学硕士学位论文,2012.
- [8] 许建平.钢轨栅栏在崩塌落石病害整治中的应用研究[D].西南交通大学硕士学位论文,2005.
- [9] 余平.南江县毛地坡崩塌(危岩体)稳定性分析及防治措施研究[D].西南科技大学硕士学位论文,2017.
- [10] 高生平,崔阳,张辉军,等.河北省武安市管陶乡梁沟村西危岩崩塌稳定性评价[J].中国人口资源与环境,2014(A2).
- [11] 王辉.岩层厚度对顺层岩质边坡失稳机理的影响[D].贵州大学硕士学位论文,2009.