

巴鹤公路 K169 + 600 ~ K169 + 800 段边坡危岩 稳定性及防治措施分析

李超,程英建

(成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,成都 610059)

摘要:实地勘察查明,巴鹤公路 K169 + 600 ~ K169 + 800 段岩质边坡整体稳定,主要地质灾害问题为路基左侧上方边坡危岩失稳破坏问题。在详细分析了其发育特征及变形破坏模式等基础上对其稳定性进行评价,并提出针对性防治措施建议,具有实际工程指导意义。

关键词:巴鹤公路;危岩;成因机制;破坏模式;稳定性;防治措施

中图分类号:U213.1 + 58

文献标志码:A

巴鹤公路(S245)为湖北省省道,北起巴东县,南接鹤峰县,是一条重要二级公路。巴鹤线鹤峰境内公路弯多坡陡,存在不少地质灾害点,对过往车辆及行人有较大威胁。其中 K169 + 600 ~ K169 + 800 段边坡即为鹤峰境内一个重要隐患点;该段边坡较高处约 35 ~ 55 m,坡度多在 75°以上,由于边坡高陡,表层岩体破碎、崩塌冲击力大、危险性较大,为防止危岩崩塌地质灾害的发生,需对该病害发育特征、变形破坏机制等进行详细科学的评价,并在此基础上“对症下药”,提出合理防治措施建议,减小甚至消除病害影响。



图 1 边坡全貌照(镜向南)

1 边坡基本特征

1.1 地形地貌

该段边坡长约 200 m,最大坡高 55 m,一般坡高 20 ~ 30 m,坡度一般大于 75°,多处地形近陡立,边坡坡向 224° ~ 240°,河谷走向 150° ~ 162°,二者走向近一致,且与区域构造线方向近垂直。坡表生长灌木及草本,覆盖率约 50%,其余段基岩裸露,坡脚局部堆积薄层崩积物。公路面距下部河面高差约 20 m。整体而言,该段边坡山高坡陡,呈深“V”型峡谷,属侵蚀构造低中山地貌^[1]。边坡全貌见图 1。

1.2 地层岩性与构造特征

该段边坡地层岩性为志留系下统罗惹坪组(S_{1r}),

黄绿色厚层~巨厚层灰质粉砂岩,岩层产状 315° ~ 330° ∠ 15° ~ 20°,属横向坡。经现场调查,这类均质岩石锤击声不清脆、较哑,岩体较易击碎,为细粒较软岩,抗风化能力较弱。在昼夜温差影响下,由于岩体内表部温度不同,导致差异性膨胀收缩,易形成球状风化裂隙。此外,这类岩石遇水易软化,可见流水侵蚀裂缝,且局部泥质含量较高易崩解。该段边坡位于八字山背斜 SW 翼的末端,受构造影响较小。但岩体内部 V 级结构面较发育,且于局部坡段发育层间错动带,岩体呈碎裂结构。现场沿公路选定代表性剖面,通过测线法统计边坡结构面特征如图 2 及表 1 所示。

收稿日期:2013-05-31

作者简介:李超(1987-),男,四川自贡人,硕士生,主要从事工程岩土体稳定性方面的研究,(E-mail)827237184@qq.com

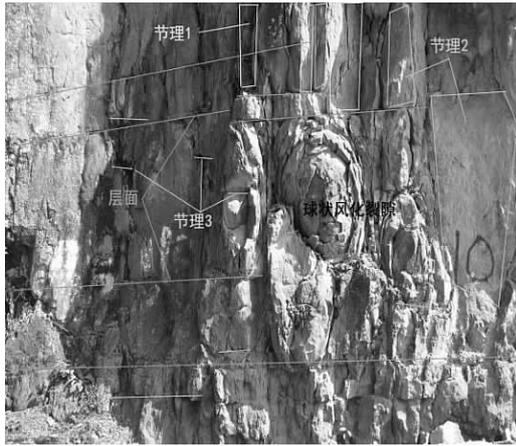


图 2 结构面分布图

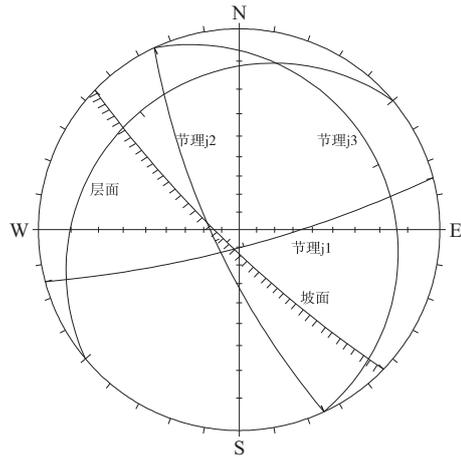


图 3 结构面组合赤平投影图

表 1 优势结构面统计表

编号	产 状	延伸(m)	间距(m)	起伏粗糙度	张开度	备注
j_1	$165^\circ \sim 170^\circ \angle 75^\circ \sim 85^\circ$	5 ~ 8	0.1 ~ 0.3	局部起伏粗糙	2 ~ 12mm	充填粉粘土
J_2	$245^\circ \sim 255^\circ \angle 75^\circ \sim 82^\circ$	5 ~ 8	0.05 ~ 0.2	平直粗糙	闭合	无充填
J_3	$60^\circ \sim 75^\circ \angle 8^\circ \sim 25^\circ$	0.1 ~ 0.3	0.1 ~ 0.3	平直粗糙	闭合	无充填
j_4	$240^\circ \sim 275^\circ \angle 81^\circ \sim 85^\circ$	5 ~ 10	5 ~ 15	起伏粗糙	2 ~ 15cm	卸荷裂隙

1.3 水文条件

该坡段区域地下水类型主要为基岩裂隙水,其随季节变化较大,雨季水量充沛,多赋存于边坡浅表部风化卸荷带内,主要接受地表水和大气降水补给,具有就地补给就近排泄的特点,多为季节性山泉。现场调查时为雨季,可见基岩渗滴水。

2 危岩成因及破坏模式、影响因素

2.1 危岩成因及破坏模式

经详细地质测绘得出危岩的形成主要受不利结构面组合切割及地形的控制。组合方式有以下两种:(1)节理 j_1 陡倾坡外,发育较密集,延伸较长,节理 j_2 与节理 j_1 共轭产出,亦陡倾坡外,二者与层面相互组合,将岩体切割成数方大小的松动块体,在优越临空条件的配合下易形成呈带分布的危岩,结构面组合情况见赤平投影(图 3);(2)局部坡段发育两条层间错动带,岩体完整性相对较差,结构松散,局部呈碎裂结构,下部发育球状风化裂隙的松动卸荷带,加之受节理 j_1 、节理 j_2 和节理 j_3 密集切割,形成方量较小的短柱状岩块,且块体下部大多已临空,由于地形陡立,易发生掉块,形成相对集中发育的危石群。图 4 是该坡段一处较大规模危岩拍摄近照。

根据组合情况判断,该段边坡破坏模式以倾倒式破坏为主,其次为坠落式破坏。倾倒式破坏指前期历史时期内坡表岩体底部形成凹岩腔,后缘发育裂隙,上覆岩体重心发生外移,在动水压力和自重力等的作用下,上



图 4 边坡 WY₂ 号危岩发育情况

覆岩体失去支撑,产生拉裂并沿岩体下部倾覆点旋转而向下倾倒,形成危岩^[2];而坠落式破坏即指多组结构面将岩体切割成不稳定块体,当底部发育临空凹腔时,上部岩体失去支撑,卸荷加剧,在重力作用下向下掉落^[3],在本坡段此种类型破坏以小型危石坠落为主。

2.2 失稳影响因素

边坡 V 级结构面较发育,为地下水提供了良好流通和赋存的空间,且边坡细粒粉砂岩抗风化能力差,遇水易软化,加速了表层岩体矿物的风化和结构面的扩展、贯通。据当地居民介绍,该段边坡每遇暴雨,就会发生掉块、落石,只是“大雨大垮,小雨小垮”。图 5 为小雨过后,次日在现场拍得危岩体失稳后的情况,可见降雨为该段边坡表生病害源失稳破坏的主要诱因。

此外,在现场调查测绘时,时常会有块体碎落,表层岩块失稳崩落后,使内部岩体暴露,往往又加速其风化



图5 雨后边坡危岩破坏情况

过程,这是该段危岩体、危石(群)的变形破坏特征之一。而且,这类半路堑边坡开挖坡率大于这类软质岩边坡的经验设计坡率,使得边坡高陡提供了临空条件。且修路爆破震动,又加速了裂隙的变形。

3 危岩体稳定性分析

由野外调查知,边坡共发育 2 处较大规模危岩体,其中 WY₁ 受节理 j₁₋₃ 的切割,整体处于半切割状态,易沿主控结构面 j₂ 发生倾倒式破坏,虽后壁与母岩未完全贯通,但表部岩块已发生破坏,稳定性较差;WY₂ 与 WY₁ 发育类似,但其下部已临空,板梁根部易拉裂贯通而倾倒失稳破坏。此外,边坡多处发育小型危石或危石群,方量小于半方,大部分处于全切割状态,成片发育,稳定性差~极差。针对较大规模危岩体,由于其方量较大,威胁性更大,需进行定量计算评价,计算工况按天然和暴雨条件选取(因该区地震基本烈度为 IV 度,烈度较低,该工况可不用计算)。

3.1 计算模型

两处较大规模危岩体整体均处于半切割状态,破坏模式为倾倒式,由后缘岩体抗拉强度控制稳定,且危岩体重心在倾覆点之内(计算示意图见图 6),计算公式如下^[4-5]:

表 2 计算参数取值表

岩性	天然重度 (g/cm ³)	饱和重度 (g/cm ³)	抗拉强度 (MPa)	结构面粘聚力 (MPa)	结构面摩擦角 (天然/饱和)(°)	岩石粘聚力 (MPa)	岩石内摩擦角 (°)
灰质粉砂岩	26.8	27.6	1.58	0	23.5/23.5	3.30	35

表 3 危岩稳定性计算结果表

危岩体	长×高×厚(m)	破坏形式	工况	稳定性系数 K	稳定性判断
WY ₁	8×3×3	倾倒式	天然	1.25	欠稳定(极差)
			暴雨	1.04	
WY ₂	13×5×1.6	倾倒式	天然	1.28	欠稳定(较差)
			暴雨	1.14	

由表 3 可知,两处较大规模危岩体稳定性系数在各工况下均较低,不满足安全标准,尤其是 WY₁ 安全系数

$$K = \frac{\frac{1}{2}f_{tk} \cdot \frac{H-h}{\sin\beta} \cdot \left[\frac{2}{3} \frac{H-h}{\sin\beta} + \frac{b}{\cos\theta} \cos(\beta-\theta) \right] + W \cdot a}{Q \cdot h_0 + V \left[\frac{H-h}{\sin\beta} + \frac{h_w}{3\sin\beta} + \frac{b}{\cos\theta} \cos(\beta-\theta) \right]}$$

式中:K—危岩体稳定系数;W—危岩体自重(kN);Q—地震力(kN), $Q = WK_H$;V—裂隙静水压力, $V = 0.5\gamma_w h_w^2$,其中 γ_w 取 10 kN/m; h —后缘裂隙深度(m); h_w —后缘裂隙充水高度(m); H —后缘裂隙上端到未贯通下端的垂直距离(m); a —危岩体重心到倾覆点的水平距离(m); b —后缘裂隙未贯通段下端到倾覆点之间的水平距离(m); h_0 —危岩体重心到倾覆点的垂直距离(m); f_{tk} —危岩体抗拉强度标准(kPa),根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.4 的折减系数确定; θ —危岩体与基座接触面倾角(°),外倾时取正值,内倾时取负值; β —后缘裂隙倾角(°)。

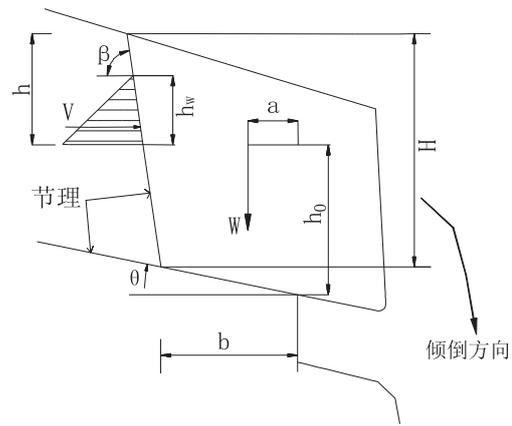


图 6 稳定性计算示意图

3.2 计算参数及结果

计算所用参数主要依据室内试验成果,结合经验数据等综合取值。计算参数如表 2 所示,计算结果见表 3。根据 DZ/T 0218 - 2006《滑坡防治工程勘察规范》防治工程等级为 II 级(省道二级公路)时,倾倒式危岩稳定安全系数为 1.5。

比 WY₂ 值更偏低,与现场调查情况相吻合,出于设计安全角度考虑,危岩体 WY₁ 综合判定处于极限平衡状态,

稳定性为极差;WY₂ 综合判定稳定性为差,二者均需要进行治理。

4 防治措施

根据现场勘察情况及工程地质测绘,结合该段边坡工程地质条件,建议采取如下防治措施^[6-7]:对于较大规模危岩体 WY₁、WY₂,建议清除局部松动的块体,再进行锚杆锚固,同时对后缘裂隙及危岩面上出露的其他裂隙等进行注浆封堵的勾缝处理,这样既可以达到排水作用,又增加了岩体完整性。对于呈带分布的小型危石群,因数量较多,稳定性差且发育相对集中,建议清除局部松动块体后再挂主动网即可,对极破碎带可采取喷浆挂网。切忌不可采取全部清除的单一措施,若将表部危岩全部清除会使得后部岩体充分暴露,致使其风化、卸荷作用急剧加强,同时受到降雨、地下水等长期侵蚀作用,岩体质量变差,终将形成新的危岩。为此,不可采取全部清除的单一防治措施以防恶性循环致后部岩体发育成新危岩。同时,建议设立公路“落石”警示标志,并进行定期巡查,发现异常应及时处理。

5 结论

(1) 工程区地质环境背景大多有利于地质灾害的孕育,而形成的危岩体、危石(群)严重威胁到道路和行车安全,急迫需要工程治理。

(2) 该坡段危岩的形成主要受不利结构面组合及地形的控制。由一组陡倾坡外共轭节理 j_1 及 j_2 控制后缘,层面或节理 j_3 提供底滑面,密集切割成不稳块体,加

之陡立地形的配合,易形成倾倒式或坠落式危岩。

(3) 该坡段主要分布 2 处较大规模危岩体,查明危岩体的边界、规模,掌握了危岩体崩塌的诱发因素和变形破坏特征,并通过定性分析和定量计算综合评价了其稳定性:其中 WY₁ 稳定性为极差,WY₂ 稳定性为差。

(4) 根据勘察结果,综合危岩特征,提出了对较大规模危岩体采“取局部清除+锚杆锚固+勾缝”的方法,对呈带分布的小型危石群采用“局部清除+挂主动网”的防治方法。

参考文献:

- [1] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [2] 汪小刚,贾志新.岩质边坡倾倒破坏的稳定分析方法[J].水利学报,1996,41(3):3-9.
- [3] 李沧海,邓辉.渝利铁路青石岩段边坡危岩体稳定性评价及防治措施研究[J].地质灾害与环境,2010,21(1):64-68.
- [4] 陈洪凯,唐红梅.三峡库区危岩稳定性计算方法及应用[J].岩石力学与工程学报,2004,23(4):614-619.
- [5] 黄达,黄润秋.溪洛渡水电站某危岩体稳定性分析及加固措施研究[J].岩土力学,2008,29(5):1425-1429.
- [6] 马惠民,吴红刚.山区高速公路高边坡病害防治实践[J].铁道工程学报,2011(7):34-41.
- [7] 聂斐,杨洋.秦巴山区公路边坡防护技术[J].公路交通科技:应用技术版,2012(5):64-66.

Analysis on Stability and Prevention Measures of K169 + 600 ~ K169 + 800 Unstable Rock Masses on Badong-Hefeng Provincial Highway

LI Chao, CHENG Ying-jian

(State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu University of
Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on geological investigation on spot, the K169 + 600 ~ K169 + 800 rock slope on Badong-Hefeng highway is overall stable. The main geological hazard problem is unstable rock masses failure from the top of slope on the left side of the subgrade. In this article, its stability is evaluated on the basis of detailed analysis of its growth characteristics and deformation failure type, and some specific prevention measures are put forward, which have some practical engineering significance.

Key words: Badong-Hefeng highway; unstable rock masses; formation mechanism; failure mode; stability; prevention measures