

仙宇屯景区危岩体稳定性分析及治理措施

胡才源^{1,2}, 章广成², 李小玲¹, 孙全福¹, 张忠¹

(1. 贵州省地质环境监测院, 贵州 贵阳 550081; 2. 中国地质大学 工程学院, 湖北 武汉 430074)

[摘要]为保障景区游客及旅游设施的安全,本文运用无人机遥感航空拍摄,生成实景三维立体模型,宏观分析危岩体的破坏模式。基于三维激光扫描技术,对仙宇屯东南面和西南面危岩带进行精准量测,获取危岩体几何尺寸、结构面产状、方量等崩塌参数,对危岩体的稳定性进行定性评价。结果表明,天然工况下,仙宇屯两处危岩处于稳定状态;暴雨工况下,处于不稳定状态。因危岩体与旅游栈道形成垂直威胁,分析计算采用长廊式的板棚治理措施以达到融入自然生态环境目的。

[关键词]崩塌;危岩体;仙宇屯;三维激光扫描技术;精准量测;稳定性评价;板棚

[中图分类号]P642.2 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1000-5943(2018)02-0153-05

崩塌是危岩体在重力的作用下,从斜坡体上脱离母岩瞬时失稳发生坠落、滚动等运动方式的地质灾害(唐红梅等,2003),属于斜坡动力地貌过程(Richard J C, 1984; Bertran P, 2003)。近十年来,对崩塌的研究集中于形成机理、运动路径及防治范围,从力学、动力学及运动学等方向进行研究,取得了一系列研究成果。

随着景区开发与崩塌地质灾害的矛盾日益凸显,景区崩塌危岩体防治工作引起了工程界高度重视。何思明等通过赤平投影、楔形体稳定性分析,研究了乐山大佛景云亭危岩体的稳定性,对危岩体采用预应力垫墩锚索加固(陈洪凯等,2015)。陈洪凯等以四面山国家级风景名胜区红岩山为例,分析了崩塌形成的链式规律^[6]。胡善风等利用GIS栅格网络技术,对黄山景区内崩塌灾害稳定性和危害性进行耦合分析(胡善风等,2013)。高永才等运用静力解析法对云台山景区危岩体稳定性进行了定量判定,运用SNS主动防护网治理(高永才等,2015)。吕乔森等采用Rocfall模拟软件分析阿勒泰市骆驼峰景区崩塌落石的运动特征(吕乔森等,2015)。刘伍运用专著《崩塌与落石》(胡厚田,1989)及专著《危岩防治原理》(陈洪凯,2006)中所提供的崩塌落石运动计算公式计算北京天梯峡谷

崩塌运动参数,提出了峡谷地形采用柔性被动网防护治理危岩(刘伍,2016)。

三维激光扫描技术是利用激光测距原理获取目标实物的三维坐标数据点元,快速建立被测实地的三维模型,能精准查明危岩单体的大小和控制性结构面的分布。董秀军,黄润秋,娄国川,刘昌军,黄江,魏小佳,罗敏敏等利用三维激光扫描技术对高陡危岩体进行了调查研究。本文以油杉河国家级景区仙宇屯危岩体为例,应用三维激光扫描技术,精准量测危岩体所需的各种计算参数,并进行稳定性评价,提出防治措施建议。

1 危岩带勘查

1.1 危岩带分布特征

本文利用无人机遥感拍摄仙宇屯景区三维地形地貌,从图1可直观看出该区域为岩溶中低山峡谷地貌,位于贵州侏罗山式褶皱带的北西部九龙山背斜东翼,出露地层为寒武系娄山关组,岩层产状为 $105^{\circ} \angle 8^{\circ}$,岩性为泥质白云岩。危岩体主要分布于仙宇屯东南面和西南面基岩出露区域。基于三维激光扫描技术获取的点云数据在

[收稿日期] 2017-12-28 [修回日期] 2018-04-16

[基金项目] 贵州省地质灾害三年综合治理行动计划 2017 年治理工程勘查设计项目。

[作者简介] 胡才源,男,在职硕士研究生,工程师,主要从事地质灾害勘查、设计及治理工作。

Autodesk Recap 软件的视图中可直观量测获取基本的崩塌危岩体参数,并估量危岩体规模。

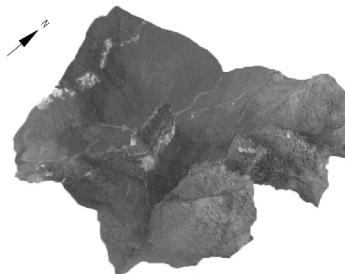


图1 无人机测量生成仙宇屯景区及周边三维地形地貌

Fig. 1 3D landform by UAV survey in Xianyutun scenic spot

东南面危岩带位于仙宇屯中上部,距游客栈道高 12.9 m,平均宽 30 m,斜坡近垂直,危岩底部存在凹型槽(图 2、图 3)。受降雨、风化、灌木根劈作用,危岩带破碎,形成多个危岩单体,其中最大危岩单体高 5.2 m,宽 1.7 m,厚 1.0 m,方量约 8.84 m³,位于旅游栈道正上方 20 m。

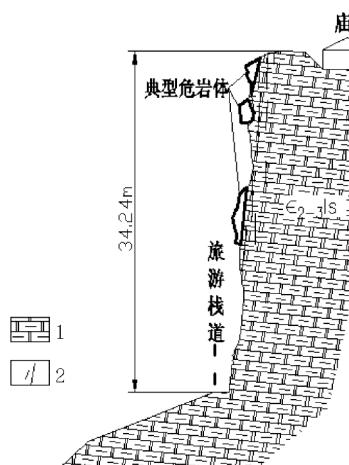


图2 东南面典型危岩体剖面图

Fig. 2 Section of typical unstable rock in the southeast side

1—泥质白云岩;2—裂缝



图3 东南面危岩带三维激光扫描图

Fig. 3 3D laser scan of unstable rock in the southeast side

危岩单体由一组结构面控制,切割深度 0.6 ~ 0.8 m,间距 1.2 m,利用三维激光扫描技术,提取出同一结构面上的不在同一直线上的 3 个点,生成通过这 3 个点的平面^[20],测得结构面的产状 $175^{\circ} \angle 75^{\circ}$,坡面产状 $95^{\circ} \angle 75^{\circ}$ 。

西南面危岩带位于仙宇屯中部,距游客栈道高 13.2 m,平均宽 26.5 m,斜坡近垂直,表层风化剥离强烈(图 4、图 5),形成多个危岩单体,其中最大危岩单体为高 3.0 m,宽 1.5 m,厚 0.3 m,方量 1.35 m³。

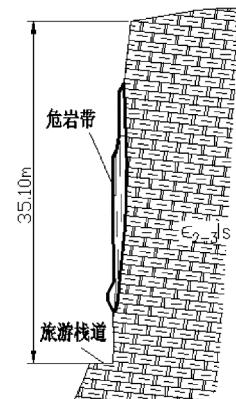


图4 西南面典型危岩剖面

Fig. 4 Section of typical unstable rock in the southwest side

1—泥质白云岩;2—裂缝

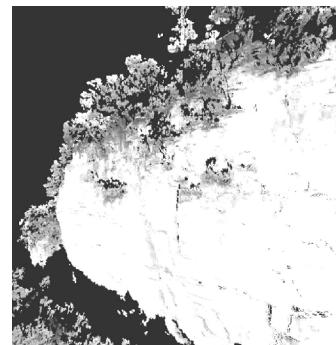


图5 西南面危岩带三维激光扫描图

Fig. 5 3D laser scan of unstable rock in the southwest side

危岩单体中主要发育有 2 组节理裂隙,裂隙 1 产状 $265^{\circ} \angle 80^{\circ}$,宽约 2 mm,间距 0.1 ~ 0.2 m,切割深度 0.8 ~ 1.0 m;裂隙 2 产状 $200^{\circ} \angle 77^{\circ}$,宽约 1 mm,间距 0.2 ~ 0.3 m,切割深度 0.7 ~ 1.1 m。坡面产状 $163^{\circ} \angle 79^{\circ}$ 。

1.2 危岩体破坏模式分析

仙宇屯东南面危岩体和西南面危岩体虽位于同一山体的两个面,但其破坏机制和类型存在较大差异,为灰岩地区地表景区典型破坏模式。根

据规范^[21]中提出的三种破坏模式,即坠落、倾倒、滑塌模式,结合现场调查宏观分析,模拟东南面危岩体和西南面危岩体的形成过程。

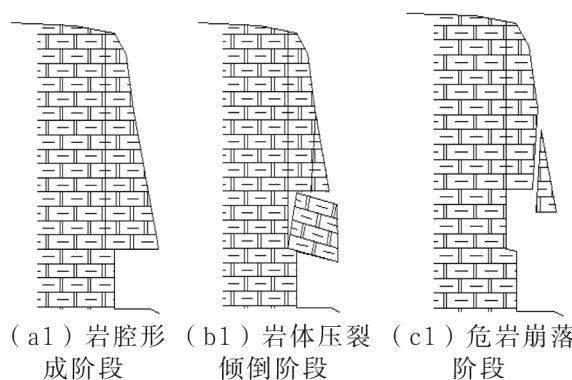


图 6 坠落式危岩体破坏的各阶段

Fig. 6 Each stage of destoried falling unstable rock mass

仙宇屯东南面危岩体形成主要有三个阶段:(1)岩腔形成阶段:人为开凿旅游栈道或自然卸荷、风化、溶蚀、根劈等作用形成岩腔,岩腔为上部危岩体形成良好的临空面,加剧了顶部岩体的卸荷作用,一般形成上宽下窄的张拉裂缝(a1);(2)岩体压裂倾倒阶段,岩腔顶部的第一岩体因失去支撑,长期处于力矩不平衡状态,压裂局部支撑体形成倾倒落石(b1);(3)危岩崩落阶段,岩体长期卸荷,卸荷裂缝自上而下贯通,岩体抗剪切能力降低,危岩体在自身重力作用下,形成崩塌掉块(c1)。

仙宇屯西南面危岩体形成主要有两个阶段:(1)岩体卸荷张拉阶段:岩体处于陡斜坡上,受人为开凿旅游栈道或风化、溶蚀、根劈等作用影响,在缓倾角岩层层面形成多层外倾张拉结构面,张拉裂缝逐渐加大,抗拉力减小(a2);(2)危岩剥离倾倒阶段,当抗拉力不足以克服危岩体自身重力时,危岩逐层剥离倾倒崩塌(b2)。(图 7)

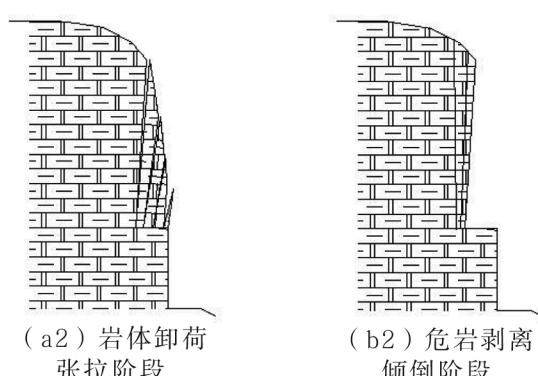


图 7 倾倒式危岩体破坏的各阶段

Fig. 7 Each stage of destoried toppling unstable rock mass

1.3 稳定性分析

岩体的失稳与破坏主要是受各种结构面所控制,赤平投影法可以直观判断各种结构面的组合和切割关系,进而判断岩体的稳定性^[22]。

由图 8 可知,岩层面与坡面的走向、倾向均相同,但倾角小于坡角,岩层面的投影弧位于坡面投影弧之外,属于不稳定结构,说明岩层面对该岩体的影响大。

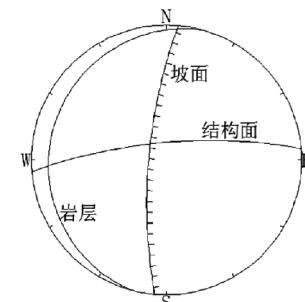


图 8 东南面危岩体赤平投影

Fig. 8 Stereographic projection of unstable rock in the southeast side

由图 9 可知,裂隙 1 与裂隙 2 的交点位于坡面的对侧,属于稳定结构,但岩层面和裂隙 1 与岩层面和裂隙 2 的交点位于坡面外侧,且倾角小于坡脚,属于不稳定结构,说明岩层面与裂隙的结合对该岩体的影响最大。

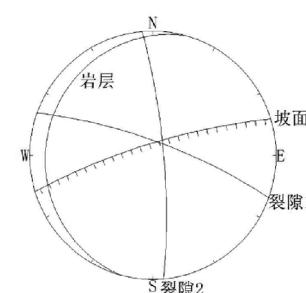


图 9 西南面危岩体赤平投影

Fig. 9 Stereographic projection of unstable rock in the southwest side

仙宇屯东南面危岩带由一组结构面控制,可简化为平面问题^[23],选取最大危岩单体进行稳定性计算。计算时假定滑动面的强度服从 Mohr-Coulomb 判据。仙宇屯西南面危岩体主要受岩层面和裂隙 1 或岩层面和裂隙 2 共两组结构面的控制,符合楔形体单面滑动的判据条件^[24],而楔形体单面滑动的稳定性也可简化成平面滑动的计算公式来进行稳定性计算。平面滑动时岩体边坡的稳定性系数 K:

$$K = \frac{F_s}{F_y} = \frac{\gamma C_{\cos\theta} \tan\varphi + AC}{\gamma V \sin\theta}$$

式中: F_s —滑动面上的抗滑力; F_y —滑动面上的下滑力; γ —滑动体的重度(kN/m^3); V —滑动体的体积(m^3); θ —结构面的倾角($^\circ$); C 坡面上的粘聚力(kPa); A —滑动面的面积(m^2); φ —坡面上的摩擦角($^\circ$)。

根据典型危岩体特征,结合实验室实测数据, $C = 1.65 \text{ MPa}$, $\varphi = 50.3^\circ$, $\gamma_{\text{天然}} = 26.78 \text{ KN}/\text{m}^3$, $\gamma_{\text{暴雨}} = 26.88 \text{ KN}/\text{m}^3$ 滑动面的长度取最大危岩单体的长度。依据规范^[25]计算危岩体稳定性。稳定性系数及稳定性评价见表1。

表1 危岩稳定性系数及稳定性评价结果

Table 1 Index of dangerous rock stability and evaluation results of stability

工况	稳定性	仙宇屯东南面危岩	仙宇屯西南面危岩
天然条件	系数评价	2.15 稳定	2.02 稳定
暴雨评价	系数评价	1.18 欠稳定	1.1 欠稳定

2 防治方案探讨

对危岩体的防治一般采用避险和工程治理两种方案。当前工程治理方案主要有危岩清除、主动防护网和被动防护网。对于景区治理存在景观保护与危岩治理的矛盾,一般按照“少清方、不破坏、重防护”的原则,以被动防护为主。

对本工程的治理,因危岩体与旅游栈道形成垂直威胁,为达到治理措施融入自然生态环境目的,治理方式采用长廊式的板棚(图10)。板柱采用钢筋混凝土结构,顶部采用回填土消能缓冲。

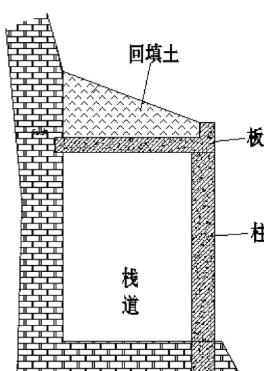


图10 板棚示意图

Fig. 10 Diagram of plate tent

2.1 落石冲击力计算

采用日本道路公团计算^[26]。

$$p = 2.108 \cdot m^{2/3} \cdot \lambda^{2/5} \cdot H^{3/5} \quad (1)$$

式中: p —落石冲切力(kN);

m —落石质量(t);

λ —拉梅常数,建议取 $1000 \text{ kN}/\text{m}^2$;

H —落石自由下落高度(m)。

2.2 抗冲切力及配筋计算

采用结构设计规范^[27]计算。

$$F = 1.2f_t \eta u_m h_0 \quad (2)$$

式中: F —抗冲切能力(kN), f_t —混凝土轴心抗拉强度设计值, η —偏心受压构件考虑二阶效应影响的轴向力偏心距增大系数, u_m —计算截面的周长,取距离局部荷载或集中反力作用面积周边 $h_0/2$ 处板垂直截面的最不利周长, h_0 —截面有效高度。

$$A_{svu} = [P - (0.5f_t + 0.25\sigma_{pc.m}\eta u_m h_0)] / 0.8f_{yv} \quad (3)$$

式中: A_{svu} —与呈 45° 冲切破坏椎体斜截面相交的全部箍筋截面面积, $\sigma_{pc.m}$ —计算截面周长上两个方向混凝土有效预压应力按长度的加权平均值,其值宜控制在 $1.0 \text{ N/mm}^2 \sim 3.5 \text{ N/mm}^2$ 范围内, f_{yv} —箍筋抗拉强度设计值。

$$A_{sbu} = [P - (0.5f_t + 0.25\sigma_{pc.m}\eta u_m h_0)] / 0.8f_y \sin\alpha \quad (4)$$

式中: A_{sbu} —与呈 45° 冲切破坏椎体斜截面相交的全部弯起钢筋截面面积;

f_y —普通钢筋抗拉强度设计值;

α —弯起钢筋与板底面的夹角。

2.3 计算参数及结果

计算参数:危岩单体体积 $V = 1 \text{ m}^3$,落石密度 $\rho = 2731 \text{ kg}/\text{m}^3$,落石自由下落高度 $H = 40 \text{ m}$,重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。板厚 $h = 20 \text{ cm}$,混凝土重度 $25 \text{ kN}/\text{m}^3$,单块板面积 $2 \times 3 \text{ m}$,四角设置矩形支撑体,截面 $0.3 \times 0.3 \text{ m}$,填土重度 $18.7 \text{ kN}/\text{m}^3$,填土平均厚 0.5 m ,钢筋保护层 25 mm 。

利用公式(1)~(2)求得 $P_{\text{总}} = 685.30 \text{ kN} > F = 570.57 \text{ kN}$,即混凝土不能抵抗冲击力,需要对板进行配筋;再根据公式(3)计算得出 $A_{svu} = 1265.0$,可采用17根 $\varphi 10$ 箍筋钢筋;通过公式(4)计算得出 $A_{sbu} = 1795.3$,可采用12根 $\varphi 14$ 弯起钢筋。

3 结论

为保障景区游客及旅游设施的安全,助推旅游业井喷式发展,本文以油杉河国家级景区仙宇屯危岩体为例,对景区危岩体进行宏观分析和定量分析,得出以下结论。

(1)通过无人机遥感生成的三维地形图,可直观看出景区为岩溶中低山峡谷地貌。危岩体主要分布于仙宇屯东南面和西南面基岩出露区域。

(2)基于三维激光扫描技术获取的点云数据,精准量测危岩体几何大小、规模和结构面产状等崩塌参数。

(3)对东南面和西南面危岩进行了稳定性评价,结果表明天然工况下,处于稳定状态;暴雨工况下,处于不稳定状态。

(4)因危岩体与旅游栈道形成垂直威胁,分析计算采用长廊式的板棚治理措施以达到融入自然生态环境目的。

[参考文献]

- Bertran P. The rock - collapse of February 1995 at Claix (French Alps)[J]. Geomorphology, 2003, 54(3): 339-346.
- 陈洪凯,董平,唐红梅. 危岩崩塌灾害研究现状与趋势[J]. 重庆师范大学学报,2015,32(6): 53-60.
- 陈洪凯,鲜学福,唐红梅. 石质山区崩塌灾害形成机制[J]. 四川大学学报,2010,42(3): 1-6.
- 陈洪凯. 危岩防治原理[M]. 北京:地震出版社,2006,1-180.
- 重庆市质量技术监督局. 地质灾害防治工程勘察规范 DB50/143-2003[S]. 重庆:重庆市质量技术监督局,2003.
- 董秀军,黄润秋. 三维激光扫描技术在高陡边坡地质调查中的应用[J]. 岩石力学与工程学报,2006,25(增 2): 3629-3635.
- 高永才,孟小军,齐永安,高建良,张盼盼,代明月,杨小伟. 云台山景区危岩体特征及其预防治理[J]. 河南理工大学学报,2015,34(1): 129-135.
- 高永才,孟小军,齐永安,高建良,张盼盼,代明月. 云台山景区危岩体稳定性分析[J]. 河南理工大学学报,2015,34(4): 572-576.
- 工程地质手册编委会. 工程地质手册[M]. 四版. 北京:中国建筑工业出版社. 2007.
- 何思明,张晓刚,沈均,罗渝. 乐山大佛景区景云亭危岩灾害分析及其防治研究[J]. 灾害学,2009,24(3): 39-45.
- 胡善风,王金莲,周晨峰,张俊香. 黄山风景区崩塌灾害危险性评估及防治对策[J]. 地理研究,2013,32(10): 1814-1823.
- 胡厚田. 崩塌与落石[M]. 北京:中国铁道出版社,1989,1-183.
- Huang RQ, Dong XJ. Application of Three - Dimensional Laser Scanning and Surveying in Geological Investigation of High Rock Slope[J]. Journal of China University of Geosciences, 2008, 19(2): 184-190.
- 黄江,石豫川,吉锋,段伟锋. 三维激光扫描技术在高边坡危岩体调查中的应用与讨论[J]. 长江科学院院报,2013,30(11): 45-49.
- Kawahara S, Muro T. Effects of dry density and thickness of sandy soil on impact response due to rockfall [J]. Journal of Tereamechanics, 2006, 43(3): 329-340.
- 吕乔森,董玮玮. 阿勒泰骆驼峰景区崩塌灾害特征与防治措施研究[J]. 水利学报,2015,46(增 1): 214-219.
- 刘伍. 北京天梯峡谷崩塌灾害及防治方案分析[J]. 中国地质灾害与防治学报,2016,27(4): 18-23.
- 姜国川,赵其华. 基于三维激光扫描技术的高边坡岩体结构调查. 长江科学院院报,2009,26(9): 58-61.
- 刘昌军,张顺福,丁留谦,廖井霞. 基于激光扫描的高边坡危岩体识别及锚固方法研究[J]. 岩石力学与工程学报,2012,31(10): 2139-2146.
- 罗敏敏,徐超,石振明. 三维激光扫描技术在高陡岩质边坡地质调查中的应用[J]. 勘察科学技术,2017,2:58-61.
- 卢达. 基于赤平投影法的岩质稳定性分析[J]. 铁道建筑,2010,11:69-71.
- Richard JC, Stanley AS, David ES. Geomorphology[M]. Cambridge: The University Press of Cambridge, 1984: 255-275.
- 唐红梅,易朋莹. 危岩落石运动路径研究[J]. 重庆建筑大学学报. 2003,25(1): 17-23.
- 魏小佳,黄润秋,裴向军,董秀军. 三维激光技术在高陡危岩体调查中的应用[J]. 工程勘察,2014,3:57-62.
- 吴绍强. 极射赤平投影法在岩质边坡稳定性分析中的应用[J]. 西部探矿工程,2009,21(10): 117-121.
- 中华人民共和国国土资源部. 滑坡防治工程勘查规范 DZ/T0218-2006[S]. 北京. 中国标准出版社,2006.
- 中华人民共和国住房和城乡建设部. 混凝土结构设计规范 GB 50010-2010[S](2015 年修订). 北京. 中国建筑工业出版社,2010.

(下转第 144 页)