

广西某山体危岩稳定性分析及防治措施建议

杨凡

泰国格乐大学

DOI:10.12238/jpm.v3i10.5333

[摘要] 介绍了广西某山体危岩的工程地质特征和形成原因, 根据危岩体的失稳模式和力学参数, 采用极限平衡法计算了各危岩在自重和暴雨工况下坡体的稳定性系数。结果表明, 该山体危岩天然工况下处于基本稳定状态, 暴雨工况下处于不稳定状态, 建议分别采用“静态破碎清除”、“锚杆锚固+主动防护网”、“被动防护网”的治理措施, 消除危岩灾害隐患。

[关键词] 危岩; 稳定性分析; 防治措施

Stability analysis and prevention measures of dangerous rock in a mountain in Guangxi
Yonfan

Gele University Thailand Bangkok 10700

[Abstract] The engineering geological characteristics and formation causes of a mountain dangerous rock in Guangxi are introduced. According to the instability mode and mechanical parameters of the dangerous rock mass, the limit balance method calculates the stability coefficient of each dangerous rock under the dead weight and rainstorm conditions. The results show that the mountain dangerous rock is basically stable under natural working condition and rainstorm working condition. It is suggested to adopt the treatment measures of "static crushing removal", "anchor anchor + active protective net" and "passive protective net" to eliminate the hidden danger of dangerous rock disasters.

[Key words] dangerous rock; stability analysis; prevention and control measures

引言

危岩是陡峭山体上形成的与母岩渐趋分离、处于欠稳定状态的岩体^[1], 含大量的软硬相间结构面, 在地应力、裂隙水、重力、动荷载等作用下^[2], 突然以倾倒、坠落、滑移等形式发生崩塌, 沿坡面翻滚、抛落至坡脚, 威胁坡脚处人民的生命及财产安全。危岩崩塌是岩质山区较为常见的一种地质灾害, 具有突发性、破坏力强、难预测等特征^[3]。以广西柳州市鱼峰区某山体危岩为例, 该山体高坡陡, 浅层岩体破碎, 节理裂隙发育, 历史曾发生过多处危岩崩塌灾害, 严重威胁山下基础设施和人民的安全, 影响城市的生态文明建设。据现场调查, 山体表面裂隙发育, 危岩众多, 危岩体多为裂隙相互切割而成, 在降雨、植物根系劈裂、震动等影响下, 随时可能发生危岩崩塌地质灾害, 危岩所处山体坡脚分布有居民楼、商铺、道路等建筑, 为保证危岩崩塌影响范围内建筑物、车辆、居民的生命和财产安全, 对某山体危岩进行稳定性分析后有效防治是十分必要的。

1 危岩地质灾害概述

某山体位于广西壮族自治区柳州市市区内, 山体各面临近城市主干道, 其中山体北西向约 2.3km 为柳江河, 北东向约 3

50m 为荣军路, 东南向约 110m 为蝴蝶山路, 西南向 250m 为柳石路, 山脚下均拥有道路与各方城市主干道相连。地理坐标为东经 109° 25' 33.57", 北纬 24° 17' 12.35"。某边坡峰顶标高 141.50m, 山底标高约 88.32m, 相对高差为 53.18m。

危岩所处山体中下部地形坡度 35° ~ 50°; 上部以陡崖为主, 近似直立, 局部基岩裸露, 坡度 45° ~ 70°, 整体上陡下缓。岩性为灰岩, 受区域地质构造影响, 整体山体浅层较破碎, 特别是陡峭山体之上凸起的岩体在节理裂隙切割下, 加之地质内因、降雨等外因因素下更利于危岩的形成。经实地调查, 典型的危岩体有 9 处, 主要分布在山体陡崖前缘或陡坡上, 其中沿倾向坡外的软弱结构面滑出坡外, 产生竖向运动为主的滑移式 6 处; 受裂隙切割或下部悬空、脱离母岩向下运动为主的坠落式 3 处。

危岩分布高程 99.0m ~ 139.2m, 按危岩分布相对高度划分, 其中 < 15m 为 3 处, 15m 至 50m 为 5 处, > 50m 为 1 处, 本工程危岩以为中位危岩为主, 部分为低位和高位危岩; 经调查, 危岩岩体破碎程度为较破碎 ~ 破碎、外倾结构面 27° ~ 75°, 属于 III2、IV2 型, 综合判定危岩勘查区地质条件复杂程度等级为中等。

山体紧邻住宅区、城市主干道,山脚下人员活动密集,预测治理区坡脚受威胁人数总计约650人。山脚下各面约15~30m范围内均为住宅区等建筑物,预计受威胁楼房约20栋。可能直接经济损失约850万。根据《危岩防治工程技术规范》(DB 45/T 1696-2018)规定,危害人数≥100人,直接经济损失≥500万元,确定危岩地质灾害危害程度大,防治工程等级为一级。

2 危岩成因分析及稳定性分析评价

2.1 危岩成因分析

危岩所处的某山体位于拉堡断层以南,受断裂影响山体发育数组次级断裂、裂隙,裂隙倾向北、北西,倾角 $52^{\circ}\sim 75^{\circ}$ 。裂隙裂面平直,多呈剪切结构面,在后期构造应力作用下转为张性。另外,在山体成坡过程中,由于荷重的不断减少,斜坡临空面必然产生卸荷回弹,这样在近临空面岩体内会产生大致与坡面平行的卸荷裂隙面,卸荷裂隙与构造裂隙相互切割,在后期大自然的物理、化学(溶蚀)作用下,进一步扩展、扩张,结构面(硬性、软弱、泥夹岩屑型或泥质)贯通,岩体进一步切割,在重力或其它触发因素—大气降雨、地震、植物根劈以及人类工程等外部因素的影响下失稳崩塌。

某山体危岩的形成主要来自以下三个方面:一是受地质构造等地质内因作用,切割岩体形成危岩,这些危岩规模相对较大,变形特征明显,多处是在陡壁上或陡壁顶部边缘斜坡地带,呈块状、片状、长方体或椭圆等;二是在成坡过程中卸荷、裂隙切割岩体,经长期降雨、溶蚀、植物根劈等作用形成的危岩,这些危岩形态各异,体积小,体积多在 5m^3 以内,个别呈碟盆大小,主要分布在陡崖前缘凸起地段或陡坡上,局部裂隙发育岩面形成鱼鳞状碎裂化;三是古岩崩落沿坡面运移过程中受凸起岩体或树木多次阻拦,堆积在斜坡上的浮石形式的危岩体,这些危岩在陡坡(小陡崖)地带多以堆叠形式分布,而较缓的斜坡地带则散落分布,经翻滚、撞击后多分解为椭圆、方体或块状,危岩体积不大,多在 $0.3\sim 1.0\text{m}^3$ 不等。

综上所述,某山体危岩的成因以自然因素为主,包括各种溶蚀、降雨渗透压力和冲刷、植物根系劈裂、振动等作用。这些因素亦是影响岩体稳定性的主要因素。

2.2 危岩稳定性定量分析

根据该山体区域岩体的地质环境背景、岩层产状、岩体裂隙产状、间距、闭合程度等,总结危岩体的变形特征,参照前人对山体危岩失稳不同阶段变形特征的研究成果,以及《危岩防治工程技术规范》(DB45/1696-2018)、《滑坡防治工程勘查规范》(DZ/T0218-2006)和极限平衡计算理论。对危岩稳定性进行定量分析。

(1) 计算参数取值

考虑危岩裂隙面产生的原因有自然和人为多种因素,裂隙面有平直的、缓坡状、锯齿状和充填的、半充填、未充填等多种形式,其表面各点或不同的裂隙面之间力学性质变化较大,取样试验结果不能代表未取样点的裂隙面力学性质。本次勘查

未对岩体进行现场物理力学测试工作及取样进行室内试验,因此,本次岩体力学性质指标的取值采用地区经验数据及规范进行计算取得,见表1。

表1 岩体结构面抗剪峰值强度参数

岩体结构面类型		摩擦系数 f	摩擦角 ψ ($^{\circ}$)	黏聚力 C (MPa)
硬性结构面	胶结的结构面	0.9~0.7	42~35	0.30~0.20
	无充填的结构面	0.7~0.55	35~29	0.10~0.20
软弱结构面	岩块岩屑型	0.55~0.45	29~24	0.10~0.08
	岩屑夹泥型	0.45~0.35	24~19	0.08~0.05
泥夹岩屑型		0.35~0.25	19~14	0.05~0.02
泥		0.25~0.18	14~10	0.10~0.05

(2) 定量分析

由于危岩体的形态以及切割危岩的裂隙千变万化,没有统一的形式,难以选取标准的模型进行计算分析,因此对危岩稳定性计算根据危岩的工程地质条件对其进行简化,按规范选取滑移式、坠落式(不考虑裂隙水压力)三种模式建立模型进行计算分析。

稳定性计算所采用工况如下:工况1:现状工况(自重+裂隙水压力);工况2:暴雨状态(自重+暴雨时裂隙水压力);工况3:地震工况(地震烈度VI度,可不考虑)。

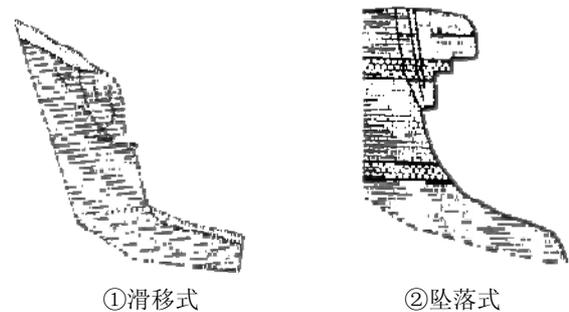


图1 危岩形式

①滑移式

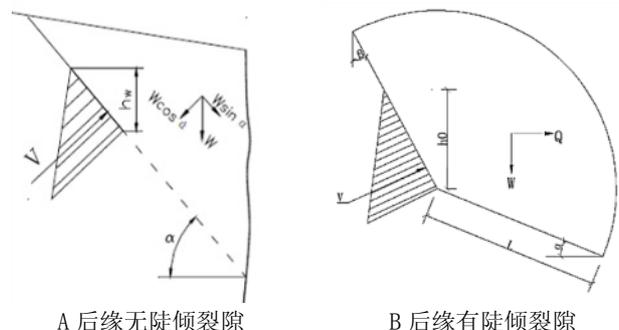


图2 滑移式危岩稳定性分析简图

A. 后缘无陡倾裂隙滑塌式

安全系数计算公式:

$$K = \frac{(W \cos \alpha - Q \sin \alpha - V) \tan \Psi + C \cdot \frac{H-h}{\sin \alpha}}{W \sin \alpha + Q \cos \alpha} \quad (1)$$

式中: W—危岩自重 (kN/m); Q—地震力 (kN/m); V—裂隙水压力 (kN/m); C—结构面上残余粘聚力 (kPa); Ψ —结构面的内摩擦角 ($^{\circ}$); α —结构面倾角 ($^{\circ}$);

B. 后缘有陡倾裂滑移式

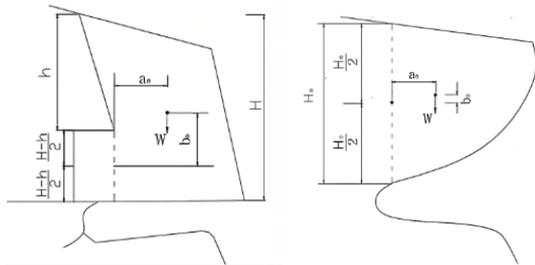
滑移式危岩稳定性计算模型 (后缘有陡倾裂隙)

计算公式:

$$K = \frac{(W \cos \alpha - Q \sin \alpha - V \sin(\alpha + \beta) - U) \tan \phi + c \cdot L}{W \sin \alpha + Q \cos \alpha + V \cos(\alpha + \beta)} \quad (2)$$

式中: L—结构面的长度 (m)

② 坠落式



A 后缘无陡倾裂隙 B 后缘有陡倾裂隙

图3 坠落式危岩稳定性分析简图

A. 后缘无陡倾裂隙的悬挑坠落计算

坠落式危岩稳定性计算 (后缘无陡倾裂隙)

计算公式:

$$K = \frac{c(H-h) - Q \tan \phi}{W} \quad (3)$$

B. 后缘有陡倾裂隙的悬挑坠落计算

坠落式危岩稳定性计算 (后缘有陡倾裂隙)

计算公式

$$K = \frac{\zeta \cdot f_{tk} \cdot (H-h)^2}{W a_0 + Q b_0} \quad (4)$$

式中: ζ —危岩抗弯力矩计算系数, 依据潜在破坏面形态取值, 一般可取 1/12~1/6, 当潜在破坏面为矩形时可取 1/6; a —危岩体重心到潜在破坏面的水平距离 (m); b_0 —危岩体重心到过潜在破坏面形心的铅垂距离 (m); f_{tk} —危岩体抗拉强度标准值 (kPa), 根据岩石抗拉强度标准值乘以 0.20 的折减系数确定; c —危岩体粘聚力标准值 (kPa); ϕ —危岩体内摩擦角标准值 ($^{\circ}$).

结合危岩点稳定系数计算结果与危岩特征对危岩稳定性进行综合分析, 根据危岩稳定性等级划分表 (表 2), 得到各危岩稳定性定量分析结果, 见表 3。

表 2 危岩稳定程度等级划分表

危岩稳定性系数 F		危岩稳定状态		
		不稳定	基本稳定	稳定
危岩类型	滑移式危岩	$F < 1.0$	$1.0 \leq F < 1.3$	$F \geq 1.3$
	坠落式危岩	$F < 1.0$	$1.0 \leq F < 1.5$	$F \geq 1.5$

表 3 危岩点稳定性定量分析及建议防治方案

编号	体积 (m ³)	崩塌形式	稳定性评价			建议防治方案	
			工况 1	工况 2			
W1	48.2	滑移式	1.18	基本稳定	0.98	不稳定	静态破碎清除
W2	870.5	滑移式	1.20	基本稳定	0.98	不稳定	锚杆锚固+主动网
W3	77.9	坠落式	1.16	基本稳定	0.99	不稳定	静态破碎清除
W4	16.1	滑移式	1.15	基本稳定	0.97	不稳定	静态破碎清除
W5	274.9	坠落式	1.15	基本稳定	0.99	不稳定	静态破碎清除
W6	156.0	滑移式	1.17	基本稳定	0.97	不稳定	静态破碎清除
W7	717.4	滑移式	1.33	基本稳定	1.07	基本稳定	锚杆锚固+主动网

2.3 危岩稳定性综合评价

根据以上定量分析结果, 工况 1 危岩体处于基本稳定状态; 工况 2 危岩体处于不稳定状态;

考虑最不利工况: 工况 2 (暴雨状态), 由于长期暴雨影响, 危岩体裂隙充水, 岩体饱和状态时, 抗剪强度指标降低, 岩体自重增大, 加上后缘裂隙充水形成水对岩体的侧向压力, 导致危岩在暴雨工况时, 容易造成危岩崩塌。根据以上稳定性分析, 危岩体在暴雨工况时处于不稳定状态。

3 危岩防治建议

根据生态文明建设需要, 危岩治理工程应满足安全、可行、经济要求, 同时还应尽可能的保持原有生态条件, 保持治理后山体景观的协调性、美观性。

根据《危岩防治工程技术规范》(DB45/1696-2018), 防治工程参数建议取值如表 4:

表 4 危岩防治工程设计参数取值建议表

地层名称	天然重度 (kN/m ³)	饱和重度 (kN/m ³)	抗剪强度 (天然快剪)		抗剪强度 (饱和快剪)		基底摩擦系数 μ	承载力特征值 f_{sk} (kPa)	岩石与锚固体极限粘结强度标准值 f_{tk} (kPa)
			内摩擦角 ϕ (度)	内聚力 C (kPa)	内摩擦角 ϕ (度)	内聚力 c (kPa)			
含碎石粘土	18.2	18.6	16	25	13	17	0.20	/	/
中风化白云	26	27	35	45	30	40	0.70	1800	1200

根据柳州市已有的危岩治理措施经验及《危岩防治工程技术规范》(DB45/1696-2018), 目前山体危岩的治理方法主要有

两种:清除、加固。清除措施有人工清除、爆破清除、静态破碎清除等;加固措施有锚杆(索)锚固、空腹镶补垫托支撑、支挡、挂主动网等。被动防护措施主要有:拦石墙、拦石网、遮挡结构、防护林。

结束语

广西某山体危岩的形成是多方面因素共同作用的结果。通过极限平衡法对该山体各趋向分离的危岩进行了稳定性计算,天然工况下,危岩体处于基本稳定状态,暴雨工况下,处于不稳定状态,在连续强降雨的作用下,危岩极有可能发生崩塌。针对该危岩边坡,拟对各危岩体分别采用“静态破碎清除”、“锚

杆锚固+主动防护网”、“被动防护网”的治理措施。另外由于危岩形成的突然性和特殊性,还应建立完善的监测网,进行必要的监测预警措施。

[参考文献]

[1]段宏波.高陡岩质边坡稳定性评价[D].中国地质大学(北京),2016.

[2]张建伟.青岛地区典型高陡危岩边坡地质环境治理及生态复绿技术[D].浙江大学,2020.

[3]孔德珩.山房山危岩体稳定性分析、滚石运动特征及防治建议研究[D].吉林大学,2015.