

文章编号: 1007 - 3701 (2010) 02 - 0066 - 05

# 影响巫峡横石溪马鞍子危岩体稳定性的因素分析

刘广宁, 陈立德, 黄波林, 彭轩明

(武汉地质矿产研究所, 武汉 430223)

**摘要:** 危岩是三峡库区重要地质灾害之一, 影响危岩坡稳定性的因素有很多, 但总体可归为起控制作用的内在因素和起诱发作用的外在因素两类。内因主要包括组成岸坡的地貌特征、岩土体性质、地质构造、岩土体结构等; 外因包括地震、水的作用、风化、人类工程活动等。本文从岩性、岩体结构特征、水体作用、地震、人类工程活动等因素对巫峡横石溪马鞍子危岩体稳定性进行了分析研究, 为今后野外高陡岩质岸坡、危岩的调查或稳定性评价提供参考。

**关键词:** 危岩体; 岩体结构; 降雨; 地震; 人类工程活动; 三峡库区

中图分类号: P642.21

文献标识码: A

巫山位于重庆市东北部, 三峡库区腹心, 是游览长江三峡的必经之地, 是长江三峡库区的重镇, 素有“渝东门户”之称, 地跨长江巫峡两岸, 东邻湖北省巴东县, 西接重庆市奉节县, 南与湖北建始县毗连, 北与重庆市巫溪县及湖北神农架林区接壤。巫山以巫峡幽深秀丽擅奇天下, 更以小三峡和小小三峡的秀丽景色而享誉世界。“险”也是巫峡一道独特的风景线, 该峡谷段发育一些典型危岩体, 如望霞危岩体、手爬岩危岩体、猴子包危岩体、箭穿洞危岩体、上坪沱危岩体等等, 远望岌岌可危, 横石溪马鞍子危岩体便是其中一处。

## 1 马鞍子危岩体地貌特征及活动历史

横石溪马鞍子危岩体位于长江左岸横石溪口与长江交汇处, 重庆市巫山县望霞乡横石村, 上距巫山县城 15 km, 下距青石神女峰 5 km, 横石溪常年有水, 最终汇入长江, 横石溪马鞍子危岩体所处

位置为低山地貌, 临江坡顶高程 270 ~ 320 m, 坡面向南、坡体呈 EW 向延伸, 坡度为 42 ~ 45°。坡体呈阶梯状折线坡, 分别于 380 ~ 410 m 高程、420 ~ 475 m、580 ~ 620 m 高程发育三级平台, 危岩体处于最下方的三级平台上, 高程为 248.37 m, 危岩体三面临空, NE 向为 30 ~ 50° 峻坡状, SE 面向横石溪凌空, SW 方向为历史多次崩塌和雨水冲蚀形成的小型冲沟, 现也构成危岩体的一个临空面, 构造上处于横石溪背斜 NW 翼。

经调查统计, 从 2006 ~ 2008 年马鞍子危岩体发生 5 次不同程度的崩塌, 其中 2007 年 6 月初发生较严重的崩塌, 导致底部一个泄煤口垮入江中, 并使横石溪码头废弃; 最近一次崩塌为 2008 年 5 月 12 日 14 点 30 分, 横石溪危岩体因地震的影响发生小范围岩体崩塌, 崩塌体积约 300 m<sup>3</sup>。崩塌落石击沉下部一条载重量为 70 t 装满木料的机驳船, 一辆卡车驾驶室被击中砸毁, 江边趸船被崩塌碎石击穿, 由于时值中午, 车船上人员都离开吃午饭, 所幸无人伤亡, 本次崩塌造成直接经济损失约人民币 30 万元。每次变形、崩塌我们均及时向巫山政府有关部门进行汇报, 2007 年 7 月还制作了危岩警示牌

收稿日期: 2009 - 11 - 30

基金项目: 中国地质调查局基础调查项目 (1212010640601)

作者简介: 刘广宁 (1980 - ), 男, 工程师, 主要从事环境地质灾害研究, E-mail: guangning123@163.com

树立在横石溪码头边和马鞍子危岩体 SW 侧山坡上,提醒过往行人、车辆、船只提高警惕。下面对影响该危岩体稳定性的因素进行分析。

## 2 影响马鞍子危岩体稳定性因素分析

### 2.1 岩性特征因素

马鞍子危岩体所在区域岩层总体倾向 NW,产状 335° 27' 倾角向下逐渐变缓,为逆向坡,由泥盆系云台观组 (D<sub>2</sub>y) 和志留系纱帽组 (S<sub>1</sub>s) 构成,顶层云台观组由黄褐色薄 - 中层石英砂岩构成,强度较高;下部纱帽组从上至下可细分为四段,依次为:薄 - 中层泥质粉砂岩、薄 - 中层砂岩、薄层粉砂岩夹泥岩、薄层泥质粉砂岩夹泥岩,均为灰黄色。形成相对的软硬相间结构,同时反映了岩体强度大小,岩体强度是产生岩体活动的内因<sup>[1]</sup>,对岩体的发展趋势起到重要的控制作用。我们在现场对该危岩体自上而下不同岩性段采样,进行点荷载试验,得到了岩性与点荷载值曲线图(图 1)。从图 1

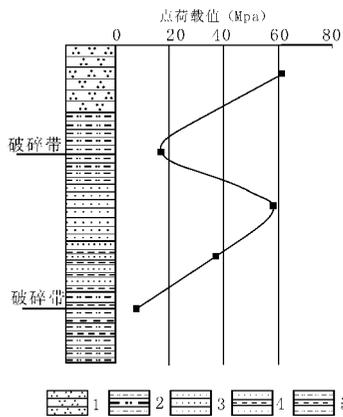


图 1 危岩体岩性 - 点荷载曲线

Fig. 1 The point load testing results of different lithology in Maanzi dangerous rock

- 1. 石英状砂岩; 2. 泥质粉砂岩; 3. 砂岩; 4. 砂岩加泥岩;
- 5. 泥质粉砂岩夹泥岩

可以清晰的看出在点荷载值较低的岩性段,岩体极其破碎,同时发现这些岩性段也是节理、裂隙、结构面极其发育岩性段,与现场进行的节理、裂隙、结构面测量结果完全吻合,所以强烈的岩体活动多发生在岩性比较脆弱、结构比较破碎的部位,马鞍子危

岩体正是一典型实例。

### 2.2 岩体结构特征因素

岩体结构特征取决于岩体中各种结构面的特性,以及相互结合的特征,过去的一些专家也对结构面和岩体结构进行了分级<sup>[2-3]</sup>,随着级别的不同,岩体存在着明显的工程地质性质分段性。因此,查明结构面发育特征、控制结构面的空间位置和相互关系,对分析评价危岩体稳定性十分重要。对马鞍子危岩体中发育的节理、裂隙的规模进行了分级,共分为四级: 级(断层、或长度 > 25 m); 级(15 m < 长度 < 25 m); 级(5 m < 长度 < 15 m); 级(长度 < 5 m)。通过对危岩体下部沿横石溪 80 m 范围内,近 130 条节理、裂隙和 8 个控制性结构面的测量(表 1、表 2),绘制了马鞍子危岩体节理倾向玫瑰花图(图 2)和优势结构面赤平投影图(图 3)。从图 2、图 3 对比可以看出节理裂隙最为发育的倾向区间为 50°~70°、131°~150°、241°~260°、291°~311°,且倾角 > 50° 的节理裂隙占多数。对比发现:裂隙 B 组(级、主控)与结构面 b、g(级)相对应,裂隙 C 组(级、主控)与控制性结构面 a、d(级)相对应,该危岩体主要结构面 a、d、b、g 发生破坏变形,但 B、C 组在危岩体中并不是发育最多、密度最大的组别,因此在实际调查、分析、评价的过程中,不能以节理、裂隙相对较多,密度较大就认定其控制了岩体稳定性、破坏模式。

表 1 马鞍子危岩体节理、裂隙测量统计表

Table 1 The statistic of joint on Maanzi dangerous rock

分组	倾向区间	平均倾向	条数	级别、性质
A	50°~70°	62°	19	级
B	71°~90°	86°	5	级、主控
C	91°~110°	106°	6	级、主控
D	111°~130°	120°	13	级
E	131°~150°	142°	17	级
F	221°~240°	230°	12	级
G	241°~260°	252°	19	级
H	261°~280°	270°	9	级、次控
I	291°~311°	304°	18	级
J	311°~330°	321°	9	级

实地测量,看出该危岩体节理、裂隙发育密度较大,岩体被切割强烈,局部形成架空状,节理、裂隙是岩体在应力作用下形成的,其发育的方位、数

量、规模及形态的不同,控制了岩体的稳定性、破坏模式和破坏程度<sup>[4]</sup>。

切呈立体网状,马鞍子危岩体即属于较典型的节理、裂隙交错切割强烈构成空间网状结构类型。

表 2 马鞍子危岩体控制性结构面统计表

Table 2 Statistic of structure face on Maanzi dangerous rock

编号	产状	延伸 (m)	性质
a	105° 65°	22	构造(小断层)
b	85° 58°	5	次生结构面
c	270° 85°	3	次生结构面
d	110° 55°	20	构造(小断层)
e	155° 85°	4	次生结构面
f	70° 58°	5	次生结构面
g	88° 68°	7	构造结构面

### 2.3 水体作用因素

巫峡地区属于温湿的亚热带气候,气候受峡谷地形影响十分显著,是全国的暴雨中心地区之一,年平均降雨量在 1 000 ~ 1 400 mm 之间,雨量充沛。水体作用在影响马鞍子危岩体稳定性中起到极其重要的作用。

研究表明<sup>[6]</sup>,当有降雨作用时,随着降雨积水的形成,裂隙的水压力增长较快,当降雨稳定时裂隙中的水压力达到最大值,降雨停止之后,随着裂隙中地下水流的运动,会在裂隙中产生一定的负压,从降雨过程来看,由于裂隙开始时处于干燥状态,裂隙表面因介质的不同而吸附水的能力不同,这对于初始阶段压力会产生一定影响,当裂隙表面湿润后裂隙中正压值将有所增加,负压值恰好相反,介质表面吸附水的能力越大,负压越大。所以,降雨入渗所产生的无论是静水压力还是动水压力都会影响岩体内部的受力平衡,尤其象马鞍子危岩体这样的碎裂结构岩体,降雨入渗产生的拖拽作用表现的更加突出。地下水对岩体抗剪强度的影响表现在孔隙水压力  $p_m$  抵消了外界作用的正压  $p_n$ ,并使岩体的内摩擦  $\alpha$ 角由  $\alpha_0$  降至  $\alpha_m$ 。同时降雨的入渗会软化岩体中含有的软弱夹层(如该危岩体中极薄的泥岩夹层),大大降低其抗剪强度和粘聚力,进而发生剪切破坏<sup>[7]</sup>。若岩体浸水前的抗剪强度为  $\tau_0$ (见公式 1);浸水后的抗剪强度为  $\tau_m$ (见公式 2);抗剪强度降低值为  $\Delta\tau$ (见公式 3)。另外,雨水又对一些结构面起到了润滑作用,如该危岩体中的 a、d 面,大大增强了结构面的滑动力。这就是马鞍子危岩体雨后发生崩塌次数居多的重要原因。

$$\tau = p_n \tan \alpha + c$$

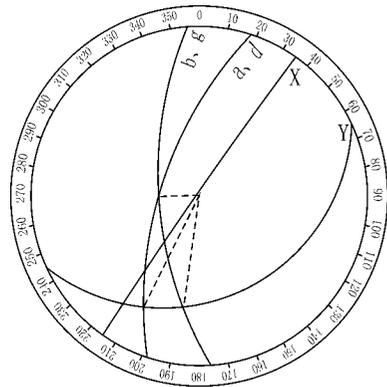


图 3 优势结构面赤平投影

Fig 3 Stereographic projection of preponderant structure face

X:临空面; Y:岩层面; (a、d、b、g):主控结构面

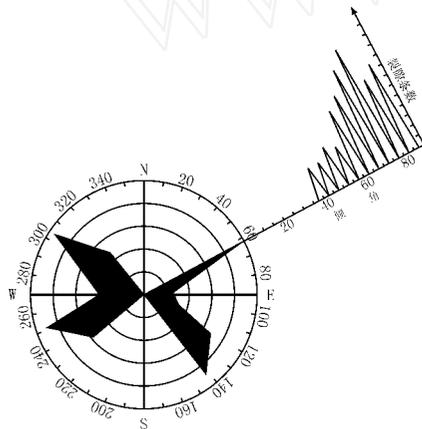


图 2 节理倾向玫瑰花图

Fig 2 The rose diagram of the joint incline

#### 2.3.1 降雨因素

水体作用主要表现在降雨和地下水两个方面,马鞍子危岩体中节理、裂隙极其发育,岩体极其破碎。因此,受水体作用的影响显著,过去发生的多次崩塌多在降雨之后,尤其是强降雨。边坡岩体按其通水情况,可分为透水体介质和隔水介质两种,岩体中的非连续面按其渗流作用的不同,可分为主干裂隙和网络状裂隙两部分<sup>[5]</sup>。主干裂隙如断层剪切破裂等,所测量的结构面 a、d 即为此类,网络状裂隙主要由节理和裂隙等构成,在空间上相互交

$$\sigma_m = (\sigma_n - u_m) \tan \phi + c_m \quad 2$$

$$= \sigma_n - u_m = (c - c_m) + \sigma_n (\tan \phi - \tan \phi_m) + \sigma_m \tan \phi_m \quad 3$$

式中:  $u_m$  - 空隙水压力;

$\sigma_n$  - 外界作用正压力;

$\phi$  - 内摩擦角;

$c$  - 粘聚力;

$c - c_m$  - 粘聚力下降值;

$\tan \phi - \tan \phi_m$  - 摩擦系数下降值;

$\sigma_m \tan \phi_m$  - 孔隙水压力作用下,岩体抗剪强度下降值

通过对马鞍子危岩体控制性结构面抗剪强度试验,马鞍子危岩体岩体浸水前抗剪强度为 ( $c = 136.8 \text{ kPa}$ ,  $\tan \phi = 0.67$ ),浸水后的抗剪强度  $\sigma_m$  为 ( $c = 103.6 \text{ kPa}$ ,  $\tan \phi = 0.56$ ),可见抗剪强度明显降低,降低值还与孔隙水压力  $u_m$  和正应力  $\sigma_n$  大小有关。可见降雨入渗对该危岩体稳定性影响强烈,这也是马鞍子危岩体多次雨后发生崩塌的重要原因。

### 2.3.2 地下水因素

地下水历来被认为是极其敏感的因素,在这里也不例外。马鞍子危岩体可视为透水体介质,因为地处临江,地下水丰富,会在介质中形成自由运动的潜水,且水力联系畅通,有统一的地下水位线,江水对其影响也是显而易见的,现在的水位为 156 m,比实际调查时的 136 m 上升了 20 m,目前在危岩体所在的坡脚明显的可以看到被江水冲刷、掏空现象,尤其当水位下降时,地下水的拖拽作用使得软弱岩层软化脱落向下运动,大大降低了下部岩体对上部岩体的承载能力,当上部岩体的压力大于下部岩体支撑的极限承载力时,岩体稳定的力学系统被损坏,最终可导致岩体整体或局部发生变形或崩塌。

按照三峡工程的总体规划,从 1993 ~ 2009 年采用分期蓄水方案,水位将达到 175 m,也就是说水位还将上升 20 m,三峡大坝全面建成后,三峡水库水位将保持在 145 ~ 175 m 之间。每年 5 ~ 10 月的长江丰水季节,根据防洪的需要,三峡坝前水位将降至 145 m  $\pm$ ,每年基本保持着 20 ~ 30 m 的水位升降,这也是影响马鞍子危岩体稳定的重要因素之一<sup>[8]</sup>。

### 2.4 地震因素

地震产生的巨大能量可使一些潜在不稳定的

崩塌、滑坡等地质灾害发生失稳,三峡库区岸边的危岩体如果失稳,巨大块体坠入江中,将严重威胁到正在航行中的船舶,即使未砸中船只,其产生的涌浪也不容忽视,通过在巫峡青石随机抽取一周,每天 24 小时对长江航道船舶通行量进行统计,并绘出船舶通行量与时间曲线(图 4),据当地海事部门同志反映,当时还不是航运的高峰期,如果是在旅游黄金时期交通量将翻倍。

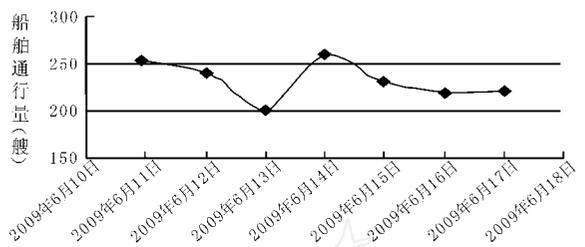


图 4 长江船舶通行量时间曲线图

Fig 4 Statistics of ships traffic amount in a week in Yangtze River

2008 年 5 月 12 日汶川大地震发生时,马鞍子危岩体也随之发生了崩塌,并造成了十分严重的损失。岩体在地震动力作用下的破坏形式不仅有特征显著的地表破裂、崩塌、滑坡等现象,还有岩体内部损伤、松动的隐性破坏。通过对马鞍子危岩体下方坡体的勘察发现,岩体内部裂隙有明显的变宽、错位、架空、岩块轻敲即碎等特征。从本质上讲就是岩石密度减小、结构松散、岩体力学参数下降<sup>[9]</sup>。研究表明<sup>[10]</sup>,岩体在地震动力作用下的损伤破坏应该以拉张破坏和结构面破坏(结构面错动或张裂等)为主,尤其是后者的破坏占主导地位。

地震对岩体稳定的影响是显而易见的,这只是受到远处地震的波及,假如是处在震中,后果不堪设想,其“横纵筛糠”式运动,破坏坡体平衡,从而诱发坡体崩塌,一般烈度 > 度以上的地震都会诱发大量崩塌,马鞍子危岩体所在区域的地震烈度为度,地震的发生总是带有偶然性,据统计<sup>[11]</sup>,地震诱发的崩塌占崩塌总数的 1%,一般发生在巨型崩塌中,但是三峡水库蓄水后会大大增加库水对地壳的压力,因此,诱发地震的可能性也随之增加,今后应该对三峡库区岸坡的稳定状况加大关注,对已查明的地质灾害点应加强监测和研究力度。

### 2.5 人类工程活动因素

人类工程活动也是影响马鞍子危岩体稳定性的重要因素之一,修建贮煤场地、码头、煤炭运输道路,这些使自然环境遭到严重破坏,尤其在该危岩体下方,由于蓄水和中型车辆频繁碾压等原因,码头、公路经常垮塌,每垮塌一次,码头、公路就要向坡体内侧移动一次,坡体就相当于遭受一次开挖,现今坡体已经严重开挖过度,形成的临空面越来越大,使岩体体积的应力得以释放,导致岩体变形失稳。随着水库水位的不断上升,码头和公路必将废弃,坡体还将遭受因修建新码头、公路而进行的开挖。

### 3 结论及建议

(1)马鞍子危岩体三面临空,NE向呈峻坡状,SE向横石溪方向临空,SW向以冲沟为界。岩体内发育优势结构面二组( $105^{\circ} \sim 110^{\circ}$ 、 $55^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 、 $85^{\circ} \sim 88^{\circ}$ 、 $55^{\circ} \sim 58^{\circ}$ ),危岩体总方量为  $8\,000\text{ m}^3$ ,对下方道路、码头及过往船只构成严重威胁。

(2)马鞍子危岩体受岩性特征、岩体结构特征、水体、地震及人类工程活动影响,其中以岩体结构影响最大,现今处于不稳定状态。

(3)通过野外测量、室内数据整理表明:大量的节理、裂隙测量具有统计学意义,但不能够直接、准确的反映岩体结构特征,尤其不能反映它对岩体变形、破坏失稳所起到的控制作用大小。

(4)马鞍子危岩体内部岩石极其破碎,安全隐患大,建议采取清除、或采用挂网喷浆措施进行处理。

(5)影响危岩体稳定性因素众多,今后的实际工作中,岩体稳定性评价,各因素的影响程度值得进一步关注和研究。

### 参考文献:

- [1] 阎树魁. 控制岩体活动的地质因素分析 [J]. 吉林地质, 1993, 12(4): 64 - 65.
- [2] 谷德振. 岩体工程地质力学基础 [M]. 北京科学出版社, 1979, 8 - 52.
- [3] 冯增朝, 赵阳升. 岩体裂隙尺度对其变形与破坏的控制作用 [J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(1): 79 - 80.
- [4] 乔兰, 蔡美峰. 新城金矿深部节理裂隙调查及岩体质量分级评价研究 [J]. 中国矿业, 2000, 9(4): 71 - 73.
- [5] 汤平, 张电吉. 降雨对裂隙岩质边坡稳定性影响研究 [J]. 有色金属 (矿山部分), 2004, 56(3): 30 - 32.
- [6] 孙役, 王恩志, 陈光华. 降雨条件下的单裂隙非饱和渗流实验研究 [J]. 清华大学学报 (自然科学版), 1999, 39(11): 14 - 16.
- [7] 刘明华, 谭毅. 水对岩质边坡稳定性的影响 [J]. 甘肃科技纵横, 2006, 35(5): 139, 38.
- [8] 袁中友, 唐小春. 蓄水和水位变动对三峡库区崩塌滑坡的影响及对策 [J]. 热带地理, 2003, 23(1): 31 - 33.
- [9] 梁庆国, 韩文峰, 谔文武, 等. 岩体地震动力破坏问题研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(增 2): 2783 - 2788.
- [10] 汪思敬. 论人类工程活动与地质环境的相互作用及其环境效应 [J]. 地质灾害与环境, 1997, 8(1): 21 - 26.
- [11] 李媛, 孟晖, 董颖, 等. 中国地质灾害类型及其特征 - 基于全国县市地质灾害调查成果分析 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15(2): 30 - 32.

## Factors Effecting Stability of Maanzi Dangerous Rock in Wu Gorge

LU Guang - ning, CHEN Li - de, HUANG Bo - lin, PENG Xuan - ming

(Wuhan Institute of Geology and Mineral Resources, Wuhan 430223, China)

**Abstract:** The factor effecting stability of Maanzi dangerous rock in Wu Gorge is mainly controlling intrinsic factor and inducing exterior factor. Intrinsic factor includes geomorphic feature, property of rock mass, geologic structure, and structure of rock mass, while exterior factors includes earthquake, water movement, weathering, and human engineering activity. Stability of Maanzi dangerous rock is analysis by considering lithology, rock structure, hydrology, earthquake, and human engineering activity, which maybe provide some reference to estimate the stability for high rock slop and dangerous rock in the future.

**Keywords:** dangerous rock; rock structure; rainfall; earthquake; human engineering activity; Three Gorges reservoir area