

# 三峡库区马家屋场—后坪滑坡成因及稳定性分析

何清雨<sup>1,3</sup>, 陈征宙<sup>1</sup>, 周心经<sup>2</sup>, 郭峰<sup>2</sup>

(1. 南京大学 地球科学系, 南京 210093; 2. 长江勘测规划设计研究院,  
武汉 430010; 3. 广西电力工业勘察设计研究院, 南宁 530023)

[摘要] 详细介绍了三峡库区马家屋场—后坪滑坡体的特征, 收集了大量软弱结构面资料, 研究了各软弱结构面的组合关系, 运用优势面理论, 合理解释了该滑坡体的成因。采用剩余推力法, 对滑坡体在各种不同工况下的稳定性作了科学分析, 并对滑坡体在三峡水库蓄水以后的稳定性作了合理预测, 结果表明, 滑坡体在目前状态下基本稳定, 三峡水库蓄水以后, 将对滑坡体稳定性产生较大影响, 极有可能导致滑坡体失稳。

[关键词] 滑坡; 成因; 稳定性; 优势面理论; 工况; 三峡库区

[中图分类号] TU457 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)04-0019-05

[作者简介] 何清雨(1976-), 男, 广西桂林人, 硕士研究生, 从事工程地质和岩土工程研究。

## 0 引言

马家屋场—后坪滑坡位于长江三峡库区巫山县境内, 巫山县双龙镇新址的主体部分位于该滑坡体上。滑坡体治理工程于2001年12月开始<sup>[1]</sup>, 由于勘察精度不够, 对滑坡体的稳定性、成因没有正确的认识, 导致施工过程中出现异常地质情况, 2002年3月工程被迫停工<sup>[1]</sup>。由于滑坡治理工程的滞后, 严重影响了双龙镇移民迁建工程的进度, 而三峡二期蓄水迫在眉睫, 滑坡治理的成败, 不仅关系到双龙镇新址的安全, 而且影响到三峡水库蓄水的进度。因此, 查明滑坡体的成因和稳定性, 对滑坡治理的成败具有十分重要的意义。

## 1 滑坡体工程地质条件

### 1.1 地层岩性

滑坡体位于长江支流大宁河西岸涧槽沟下游的谷坡地带, 总体趋势为一向北倾斜的斜坡, 坡度

10°~45°。地层岩性为中三叠统巴东组( $T_2b$ )岩石。中三叠统巴东组第二段为( $T_2^2b$ )紫红色中厚层—厚层状泥岩、泥质粉砂岩及数层粉细砂岩、砂质灰岩, 上部紫红色泥岩中夹有灰绿色条带状粉砂质泥岩、石英砂岩、粉砂岩, 顶部紫红色厚层状泥岩夹泥质粉砂岩、泥灰岩及数层灰岩, 中部有一层厚约10 m的青灰色厚层—中厚层状的粉砂岩; 中三叠统巴东组第三段( $T_2^3b$ )为中厚层状深灰色中厚层灰岩, 局部夹泥质灰岩, 岩层位于巴雾河向斜南翼次一级向斜的核部, 受构造挤压作用, 岩石节理极发育, 加之受地下水溶蚀作用, 溶隙、溶孔发育, 局部发育溶洞, 因此, 岩体十分破碎, 完整性差。

### 1.2 地质构造

滑坡体位于川东弧形褶皱带东延段, 构造线呈北东东—东西向。主体构造为巴雾河向斜, 巴雾河向斜核部在曾家咀—马家屋场—后坪—沈家湾一线, 走向近东西, 枢纽向东延伸穿过大宁河于双龙镇旧址所在地翘起。轴面倾向167°, 倾角86°, 几何形态为圆顶开阔歪斜状。核部地层由 $T_2^3b$ 的泥质灰岩、灰色灰岩组成。在马家屋场—后坪一带南翼岩层倾角相对较陡, 北翼岩层倾角相对较缓, 两翼产状分别为倾向180°~195°, 倾角12°~35°, 倾向340°~5°, 倾角20°~45°。由于受南北向应力的强烈挤压, 向斜内部地层形成了一系列的次级褶皱, 主要有赵家屋基背斜及果园场倒转向斜。

[收稿日期] 2005 01 08

[基金项目] 重庆市移民局三峡库区移民迁建工程资助项目  
(51200232)

### 1.3 地下水

滑坡体范围内岩石为泥岩、泥质粉砂岩, 弱透水岩层, 仅存在少量基岩裂隙水, 地下水主要为覆盖层孔隙水, 赋存于滑坡体中。地下水位受大气降水的影响, 季节性变化大。

## 2 滑坡成因分析

### 2.1 滑坡体特征

马家屋场-后坪滑坡东边界位于双龙中学新建职工住宅楼北侧, 与曾家咀东侧山梁相接, 边界东侧为较完整的  $T_2^b$  的紫红色泥岩, 边界西侧滑坡体的混合土碎块石; 西侧边界位于柚子树坪一带, 后缘位于滴翠路外侧, 前缘剪出口位于双龙中学旧址南侧, 东边界附近剪出口高程约 155~160 m, 西边界附近剪出口高程约 159~165 m, 中部剪出口高程最低, 为 153~155 m。滑坡体面积  $5.55 \times 10^4 \text{ m}^2$ , 平均厚度约 10.45 m, 总体积  $57.9 \times 10^4 \text{ m}^3$  [1]。

该滑坡体形成于晚更新世距今约 30 000 年 [1], 滑坡体物质主要由砾质粘土、碎块石混合土、混合土碎块石组成, 局部存在滑动岩体, 可见原岩构造, 厚度一般 8~15 m。由此推测, 该滑坡体为基岩滑坡。

### 2.2 成因分析

优势面理论认为, 岩坡是一个以优势面为主导控制因素的系统, 在边坡岩体的各不连续面中, 优势面及其组合构成了岩坡分离体和滑动边界, 也就是说优势面控坡, 对岩体稳定性起控制作用之结构面叫优势面 [2]。工程区位于川东弧形褶皱带东延段, 构造线呈北东东—东西向, 主体构造为巴雾河向斜。经过大量野外工作, 查明了滑坡体区域内主要有以下几类优势面:

#### 2.2.1 断层

测区断层不太发育, 未见规模较大、影响场地整体稳定性的断层, 仅在钻孔内揭露有小型张扭性断层, 破碎带铅直厚度约 0.5~2.3 m, 断层带物质主要为碎裂岩, 钙质胶结, 坚硬型, 局部有方解石脉充填。

#### 2.2.2 节理

据现场实测统计(图 1), 工程区内岩体中除层面裂隙外主要发育有 4 组节理:

(1) 倾向为  $260^\circ \sim 275^\circ$ , 倾角  $65^\circ \sim 70^\circ$ , 面平直, 长度一般大于 2 m, 剪性, 常呈闭合状。

(2) 倾向  $230^\circ \sim 245^\circ$ , 倾角  $45^\circ \sim 70^\circ$ , 节理面粗糙起伏, 长度一般 2~3 m。

(3) 倾向  $45^\circ$ , 倾角  $60^\circ \sim 75^\circ$ , 剪性。

(4) 发育相对较弱的一组为倾向  $125^\circ$ , 倾角  $45^\circ \sim 60^\circ$ 。

(1)(2)(4) 组节理面与层面组合常将岩体切割成六面块体, 块体常失稳, 构成崩滑体, 如滴翠大道及后坪大道上因道路开挖形成的顺层滑坡即为例证。

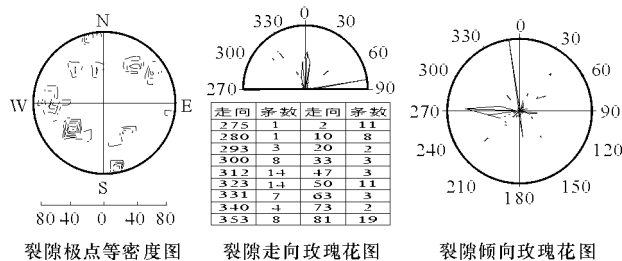


图 1 工程区节理等密图及玫瑰图(赤平投影)

Fig. 1 Equal Density Map and Rose Map of Joint (Projection on Equator Plane)

#### 2.2.3 劈理

受构造挤压作用, 工程区内劈理十分发育, 主要发育于巴东组第二段泥岩中, 以挤压流劈理为主, 走向为近东西、基本平行于巴雾河向斜轴面, 以陡倾角为主, 倾向  $175^\circ$ , 倾角  $65^\circ \sim 75^\circ$ , 劈理间距 0.5~1.5 cm。在新鲜泥岩中常呈闭合状, 遭受风化后, 常出现刀刀状脊背和小沟槽状的相间地形。

#### 2.2.4 夹层

在  $T_2^b$  岩层中发育有破碎泥化夹层, 一般延续性差, 呈透镜状分布, 物质成分为碎石混合土。夹层顺层面发育, 主要由泥岩软化、层间挤压而成。根据物质成分划分紫红色破碎泥化夹层和青灰色破碎泥化夹层 2 类。

(1) 紫红色破碎泥化夹层主要发育于紫红色泥岩中, 少量夹于灰绿色粉砂岩中, 厚度一般 0.1~0.4 m, 有的上下层面可见擦痕、光面, 大部分由于破碎带的泥化隔水作用沿层面有轻微渗水。物质成分一般为含砾粘土或砾质粘土, 角砾成分为紫红色泥岩, 砾径一般 0.2~1.0 cm, 大者 3~5 cm, 次棱角、棱角状为主, 少量次圆状, 体积分数 15%~30%。土湿, 不同位置塑性状态不一, 一般为可塑—硬塑状。

(2) 青灰色破碎泥化夹层发育于灰绿色粉砂岩中, 颜色以青灰色居多, 少量鲜黄色。厚度一般 0.1

~0.35 m, 大部分可见层间挤压现象, 上下岩层面见有擦痕、光面, 局部有地下水渗出。物质成分一般为含砾粘土或砾质粘土, 角砾成分为青灰色泥质粉砂岩、少量泥岩, 砾直径一般 0.2~0.80 cm, 个别大者达 3 cm, 次棱角、棱角状为主, 少量次圆状, 体积分数 15%~45%。土湿, 不同位置塑性状态不一, 一般为可塑-硬塑状, 夹层产状倾向 5°, 倾角 58°。

因此, 夹层、节理、劈理、层面是控制该区域斜坡稳定性的控制因素, 也就是控制该地斜坡稳定性的优势面。

由于巴东组第二段为泥岩、泥质粉砂岩, 系弱透水岩层, 地下水能沿层面、节理面等结构面运移, 而泥岩、泥质粉砂岩软化系数为 0.52<sup>[1]</sup>, 具有遇水崩解的性质, 在长期地下水的作用下, 逐渐形成沿层面发育的泥化夹层, 同时节理的力学性状变差。在风化作用下, 岩石逐渐破碎, 力学性质及岩体完整性逐渐破坏, 因此, 软弱夹层、层面及节理面组合(见图 1), 形成优势组合结构面, 滑坡前缘发育一条河流, 在河流不断下切作用下, 形成临空面, 在地形条件具备的情形下, 导致滑坡的形成。

### 3 滑坡体稳定性分析

#### 3.1 计算参数的选择

- 稳定性计算参数主要根据 3 方面确定:
- (1) 滑体、滑带岩土室内试验成果。
  - (2) 结合前期勘探成果与附近类似滑体进行类比参考。
  - (3) 参数反演。反演计算采用天然状态, 稳定系数  $K$  分别取值 1.05, 1.0, 稳定性计算参数见表 1。

土体 类型	天然状态			饱和状态		
	$\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	$c/\text{kPa}$	$\varphi/(\text{°})$	$\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	$c/\text{kPa}$	$\varphi/(\text{°})$
砾质粘土	19.9	43.5	18.8	20.0	35.0	23.5
碎石混合 土(灰岩)	21.2	25.0	37.0	21.5	15.0	35.0
碎石混合 土(泥岩)	21.0	20.0	35.5	21.4	15	35.0
滑带土(马 家屋场)	20.3	26.5	23.0	20.5	22.0	21.5
滑带土(后 坪)	20.3	15.0	16.5	20.5	10.0	16.0

#### 3.2 计算条件

##### 3.2.1 计算方法

采用规范中推荐的剩余推力传递系数法进行计算分析<sup>[4]</sup>, 基本力系见图 2。

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (R_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + R_n}{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i \prod_{j=1}^{n-1} \psi_j) + T_n}$$
$$E_i = K \cdot T_i + \psi \cdot E_i - 1 - W_i \cos \theta_i \tan \varphi - C \cdot L_i$$
$$\prod_{j=1}^{n-1} \psi_j = \psi \cdot \psi_{+1} \cdot \psi_{-2} \dots \psi_{-1}$$
$$T_i = W_i \sin \alpha_i$$
$$\psi = \cos(\theta_i - \theta_{i+1}) - \sin(\theta_i - \theta_{i+1}) \tan \varphi_{i+1}$$
$$R = N_i \tan \varphi_i + C_i \cdot L_i$$

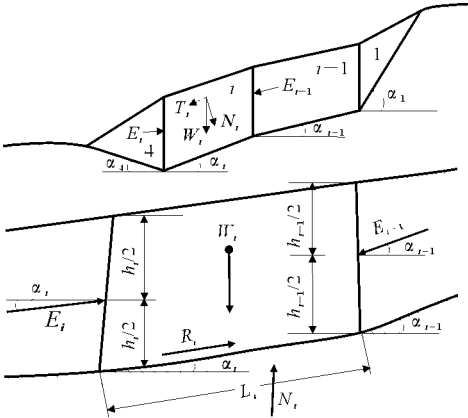


图 2 作用于滑体分块的基本力系

Fig. 2 Base Power Acted to the Slide

式中:  $F_s$  为稳定系数;  $C_i$  为第  $i$  块段滑带土的粘聚力(kPa);  $L_i$  为第  $i$  块段滑动面长度(m);  $R_i$  为作用于第  $i$  块段的抗滑力(kN/m);  $\varphi_i$  为第  $i$  块段滑带土的内摩擦角(°);  $T_i$  为作用于第  $i$  块段滑动面上的滑动分力(kN/m);  $\psi$  为传递系数;  $\theta$  为第  $i$  块段滑面的倾角(°)<sup>[3]</sup>。

##### 3.2.2 边界条件与滑动面的选择

根据宏观地质判断、马家屋场-后坪滑坡一带的斜坡结构及滑坡岩土体结构特征, 针对滑坡可能出现的失稳形式及影响滑体的稳定因素, 选择具有代表性的剖面(图 4)进行稳定性分析。

稳定性计算分析中考虑以下几种潜在滑动模式:

- (1) 整体滑移型(碎石土与基岩接触面、竖井及钻孔中已基本揭露滑带物质)。
- (2) 浅表层滑移型有灰岩碎石土与泥岩、粉砂

岩碎石土的接触面(部分揭露滑带物质)、角砾质粘土与碎石土的接触面。

- 计算荷载分 2 种:
- (1)基本荷载为自重。
  - (2)附加荷载(图 3)主要考虑建筑荷载(8 层楼房)、正常蓄水位条件的静水压力、库水位骤降时地下水来不及排出时的动水压力<sup>[4]</sup>、地震时的水平荷载。

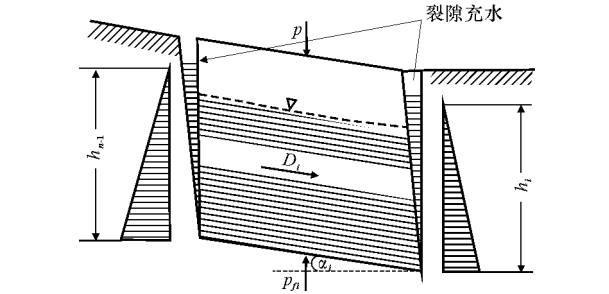


图 3 作用于滑体分块的附加力系

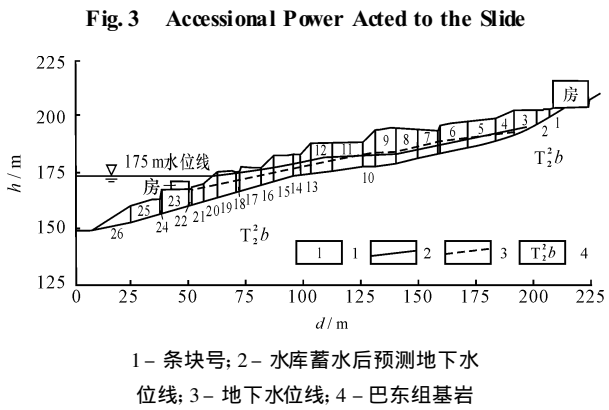


图 4 条块分割图

Fig. 4 Division Map of the Slide

3.2.3 计算工况

- 一般工况分 5 种:
- (1)天然状态。
  - (2)遇特大暴雨时(1/2 h 滑体处于饱水状态)<sup>[5]</sup>。
  - (3)天然状况+建筑荷载。
  - (4)遇特大暴雨时(1/2 h 滑体处于饱水状态)+建筑荷载<sup>[6]</sup>。
  - (5)三峡水库正常蓄水位 175 m(吴淞高程)+建筑荷载。
- 特殊工况分 3 种:
- (1)天然状态+地震(地震烈度为 VI 度)。
  - (2)三峡水库正常蓄水位 175 m(吴淞高程)突降至防洪限制水位 145 m(吴淞高程)。
  - (3)三峡水库正常蓄水位 175 m(吴淞高程)+建筑荷载+地震。

3.3 计算结果

各剖面计算结果表明(表 2),滑坡体在天然状态下总体处于稳定状态,稳定性系数  $K$  为 1.24,总的来说,在滑坡体上加建筑荷载对滑体的总体稳定性不会产生大的影响。暴雨及地震对滑坡体的稳定影响较大,稳定性系数降低为 1.10,对稳定的安全储备有较大幅度的降低。

表 2 滑坡稳定性计算结果

Table 2 Calculated Production to the Stability of the Slide				
工况	天然状况	天然+建筑荷载	天然+地震	暴雨
稳定系数 $K$	1.24	1.21	1.16	1.10
工况	暴雨+建筑荷载	175 m+建筑荷载	175 m+荷载+地震	175 m ~ 145 m +荷载
稳定系数 $K$	1.03	1.25	1.02	0.87

三峡水库蓄水后,滑坡体的地质环境产生了较大改变,尤其是其前缘滑动带经常处在 reservoir 水位的动荡环境中,滑带土浸泡在水下,与当前地下水的浸润是完全不同的,天然条件下地下水的给水度有限,不足以使滑带土全部饱和,且地下水的渗流也是有限的。蓄水后,由于地下水的壅高,使滑带土长期处于地下水的浸泡中<sup>[7]</sup>,这就使滑带土的抗剪强度大大降低,因而在稳定性计算中考虑蓄水后水库水位以下滑带土强度的降低。计算结果表明,三峡水库正常蓄水位(吴淞高程 175 m)对滑体的总体稳定性有较大影响,但不足以导致滑坡体的总体失稳,但如果三峡水库蓄水期间发生烈度为 VI 度的地震,滑体将处于临界状态,稳定性系数为 1.02,可能导致滑体整体失稳。另外,三峡水库由正常蓄水位骤降至防洪限制水位,滑体稳定性将大大降低,为 0.87,将导致滑体整体失稳。

4 结论及建议

- (1)查明滑坡体的成因及稳定性是滑坡地质灾害治理的前提条件,具有十分重要的意义,笔者用优势面理论对该滑坡体的成因进行了合理解释,并分析了滑坡体在不同工况下的稳定性。
- (2)马家屋场-后坪滑坡形成的主要原因是由于该地区地层岩性决定的,软弱结构面发育,软弱结构面的组合以及独特的地形条件,是导致滑坡形成的主要原因。
- (3)在目前状态下,马家屋场-后坪滑坡体是基

本稳定的, 三峡水库蓄水对滑坡体稳定性影响较大, 特别是水库水位下降时, 极有可能导致滑坡体失稳。

(4) 马家屋场-后坪滑坡治理是三峡库区地质灾害治理工程的一个组成部分, 查清该滑坡成因及其稳定性, 对滑坡体的治理具有重要意义, 同时对三峡库区同类滑坡体的治理也有一定的参照价值。

(5) 在地质灾害治理工程中, 忽略工程地质勘察重要性的现象依然存在, 应该引起有关部门的高度重视。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 长江水利委员会第九工程勘测院. 巫山县双龙镇新址马家屋场-后坪滑坡及赵家屋基变形体工程地质勘察报告: 补充勘察[ R ]. 武汉: 长江勘测规划设计研究院, 2002.

[ 2 ] 罗国煜, 李晓昭, 阎长虹, 等. 城市环境岩土工程[ M ]. 南京: 南京大学出版社, 2000.

[ 3 ] 彭小云, 高德彬, 毕选生, 等. 高陡边坡稳定性的概率分析[ J ]. 地球科学与环境学报, 2003, 25 ( 3 ): 67 - 70.

[ 4 ] GB 50021- 2001. 岩土工程勘察规范[ S ]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.

[ 5 ] 魏丽敏, 何群. 考虑地下水影响的滑坡稳定性分析[ J ]. 岩土力学, 2004, 25( 3 ): 422 - 426.

[ 6 ] 刘传正. 区域滑坡泥石流灾害预警理论与方法研究[ J ]. 水文地质工程地质, 2004, 32( 3 ): 1 - 6.

[ 7 ] 毛新虎. 某滑坡稳定分析及处理方案探讨[ J ]. 地球科学与环境学报, 2003, 25( 2 ): 22 - 26.

## Stability of Majiawuchang Houping Landslide at Three Gorges Dam Area

HE Qing yu<sup>1,3</sup>, CHEN Zheng zhou<sup>1</sup>, ZHOU Xin jing<sup>2</sup>, GUO Feng<sup>2</sup>  
( 1. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China;  
2. Changjiang Institute of Survey Planning Design and Research, Wuhan 430010, China;  
3. Guangxi Institute of Investigation Design of Electric Power, Nanning 530023, China)

**Abstract:** The Majiawuchang Houping landslide lies in Wushan county in the region of the Three Gorge dam area. The main part of new Shuanglong town is on the landslide. The characteristic of the landslide was introduced in detail. A great deal of data about weak structural plane were analyzed, the combinatorial connection of various weak structural planes were studied, and preferred plane theory was used to explain the origin of the landslide. Remained Thrust Method was used to study the stability of the landslide in diverse engineering case. Meanwhile, the stability of the landslide was forecasted after Three Gorge dam area would be inundated. The study indicated that, the landslide was steady at present, and the water of Three Gorge dam area has prodigious influence on the landslide, the landslide would lost its stability after Three Gorge dam area was inundated.

**Key words:** landslide; reason; stability; preferred plane theory; engineering case; Three Gorge dam area

[ 英文审定: 苏生瑞 ]

### 欢迎订阅 2006 年《建筑科学与工程学报》

《建筑科学与工程学报》是由国家新闻出版总署批准, 国家教育部主管, 长安大学主办的学术性期刊。主要刊载建筑学、结构工程、地下建筑与基础工程、建筑环境与设备工程等专业及相关领域的论文, 包括科研、设计、施工方面的研究成果与工程实践总结, 同时也刊登建筑材料、桥梁工程、市政工程、防灾减灾、力学等专业中与上述学科交叉的论文, 并就一些热点和难点问题, 开设“专家论坛”和“院士讲座”。主要读者对象为建筑学与土木工程技术领域的科研人员、工程技术人员和大专院校师生。

《建筑科学与工程学报》为季刊, 大 16 开本, 96 页, 欢迎国内外读者订阅。订阅时可直接汇款至《建筑科学与工程学报》编辑部, 每期定价: 10.00 元, 全年定价: 40.00 元。

开户行: 中行西 安翠华路支行

账 号: 0104134 - 34148598091001

账 户: 长安大学杂志社

联系人: 李 艳

地 址: 西安市长安中路 161 号长安大学小寨校区《建筑科学与工程学报》编辑部

邮 编: 710061

E - mail: jzxb@chd.edu.cn

电 话: ( 029 ) 82337253