

三峡库区奉节县某滑坡特征和稳定性分析

吴亚子, 傅荣华, 王小群

(成都理工大学工程地质研究所, 成都 610059)

摘 要: 研究了三峡库区某滑坡的工程地质条件及滑坡体基本特征的基础上, 分析了诱发坡体失稳的主要因素; 据岩土样品的试验值、现场大剪值, 结合地区经验值及反算值, 确定计算滑坡稳定性及剩余滑坡推力的抗剪强度参数, 考虑到未来三峡水库蓄水, 在不同工况下对滑坡体进行稳定性计算, 结果表明滑坡整体在各种条件下是稳定的, 次级滑坡体在饱水及水库蓄水后, 处于临界蠕滑或失稳状态, 需尽快进行治理。

关键词: 三峡库区; 稳定性; 抗剪强度参数; 临界蠕滑

中图分类号: P642 22

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)01-0125-04

Characteristics and Stability Analysis of Landslide in Three Gorges Reservoir Area in Fengjie County

WU Ya-zi, FU Rong-hua, WANG Xiao-qun

(Institute of Engineering Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: Based on the study of engineering geology condition and basic properties of landslide in Three Gorges Reservoir area, the main factor inducing slope failure is analyzed. According to the test data of soil sample, the data of site investigation, the parameter of the landslide's stability and the anti-shearing strength parameters were gotten. Because of water in the reservoir of Three Gorges, the result of the stability of the main landslide and the sub-landslide under the different conditions were calculated. The results show that the main landslide is stable in different conditions while the sub-landslide is in critical creeping motion when the landslide body is in water-saturation. Therefore, this landslide need to be controlled as soon as possible.

Key words: Three Gorges Reservoir area; stability; anti-shearing strength parameters; critical creeping motion

长江三峡库区地形条件、自然地质条件复杂, 地质环境容量有限, 暴雨、洪水频繁, 是我国地质灾害的多发区和重灾区。三峡大坝的兴建和百万移民工程, 在一定程度上改变了原有地质环境的平衡状态, 加剧了地质灾害的发生, 给库区的移民建镇带来了极大的危害。随着三峡工程建设的不断推进, 库区地质灾害对三峡工程和库区人民生命财产安全的影响日益增加, 及时有效地防治库区地质灾害已成为三峡工程建设的重要任务之一。因此对该地区已有的边坡开展稳定性评价, 并及时采取治理措施, 显得尤为重要。

1 工程地质条件概况

1.1 自然地理及地形地貌

奉节县属中纬度亚热带暖湿东南季风气候区, 气候温和湿润, 雨量充沛, 四季分明。多年平均降雨量由川鄂交界处的 2 000~2 100 mm 到北部边缘的 1 500~1 600 mm 向长江河谷渐低为 1 100 mm, 多年平均降雨量 1 147.9 mm, 年最大降

雨量 1 636.3 mm, 最小为 721.6 mm, 月最大降雨量 548.4 mm, 日最大降雨量 141.3 mm (1998 年 6 月 1 日), 降雨引发全县许多地区地质灾害, 降雨多集中于 5~9 月, 约占全年降雨量 70%, 12 月至翌年 2 月降雨较少。滑坡区属中低山丘陵地区, 位于梅溪河左岸河口地段, 梅溪河于滑坡前缘由近东西流向转为南北以南东 160°方向流入长江。滑坡区发育有大小冲沟 5 条, 滑坡从前缘至后缘, 坡面上发育有多级缓坡平台。

1.2 地层岩性

工程区域主要出露的地层有: 三叠系中统巴东组第二段、第三段、第四段, 岩性主要为紫红色及少量灰黄、灰绿色黏土岩、砂质与粉砂质黏土岩、钙质黏土岩与不等厚粉砂岩、细砂岩、钙质砂岩互层; 覆盖层主要为第四系松散堆积层。滑坡主体发生在巴东组地层中。

1.3 地质构造及地震

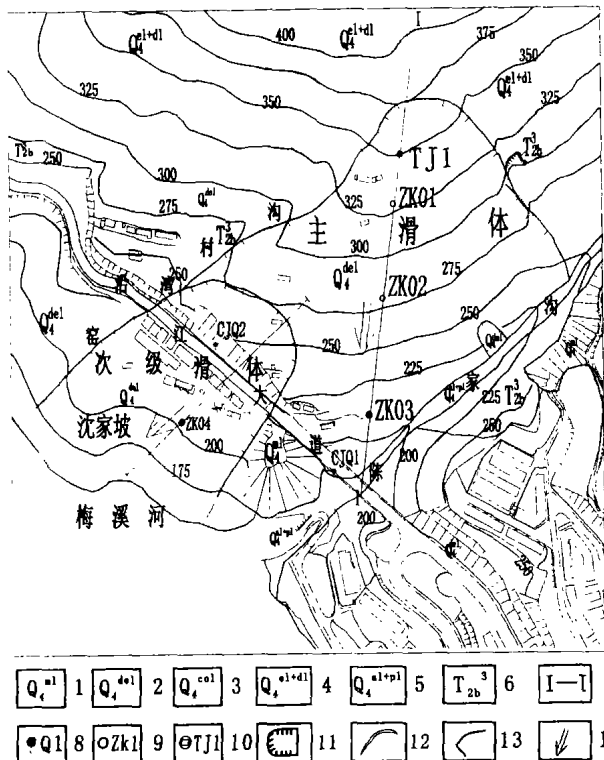
滑坡区位于巴务河向斜北翼近轴部, 岩层总体倾向 SSE, 倾角 6°~18°。受巴务河向斜控制, 工程区内主要发育有

次级褶皱,并伴生有裂隙等。工程区属相对稳定的弱震环境,地震基本烈度为VI。

1.4 水文地质条件

滑坡区主要赋存裂隙水和孔隙水两类地下水,其中裂隙水主要赋存于厚层基岩巴东组三段(T_{2b}^3)的泥灰岩、泥质灰岩的裂隙和岩溶空隙中,基岩透水性总体由浅部向深部渐弱,透水性的强弱主要与岩体风化、构造破碎带等因素有关。

基岩裂隙水一般埋深较大,多出露于冲沟底部或滑坡体前缘,水量随季节变化明显。孔隙水主要埋藏于第四系松散堆积物孔隙中,在堆积物前缘与基岩阻水层面处以泉的形式排泄于地表,其底部与基岩接触部位有一层0.4~3.0 m的滑带,为相对隔水层。该含水层因岩性或结构的不同而构成多个含水单元。滑坡区地下水以松散介质水为主,主要接受大起降水入渗补给,受季节变化影响,动态不稳定。



1 第四系人工堆积层; 2 第四系滑坡堆积层; 3 第四系崩塌堆积层;

4 第四系残坡积层; 5 第四系冲洪积层; 6 三叠系巴东组; 7 剖面线及编号;

9 钻孔编号; 10 探井及编号; 11 滑坡边界; 12 变形裂缝; 13 地层界线; 14 主滑方向

图1 滑坡工程地质图

2 滑坡体的基本特征

2.1 滑坡体的空间形态

该滑坡体位于奉节县梅溪河左岸河口地段,上距奉节老县城直线距离约1 km,下距长江约0.4 km。目前场地高程140~400 m,相对高差260 m。滑坡平面形态成扇形不归则形状展布,后缘高程375 m,滑坡前缘高程140 m,滑坡主轴向长度约440 m,东西宽度约120~400 m。滑坡体平均厚度53.9 m,滑坡现有分布面积约 $16.0 \times 10^4 \text{ m}^2$,体积约 $960 \times 10^4 \text{ m}^3$,该滑坡为松散堆积体滑坡。滑坡体形态保持较完整,滑体两侧均有冲沟围切,主滑体两侧有两条大冲沟,为主滑体边界,前缘临梅溪河一侧已淹没于水下,陈家沟一侧高程为170~210 m。滑坡区发育有多级缓坡平台,地貌特征较明显的分布高程分别为:300~320 m、205~220 m、140~150 m,平均地形坡度仅10~18°,其它地形坡度一般介于26~33°之间,局部可达45°。次级滑体140 m以下已被库区水淹没,两侧以冲沟为界,后缘高程约275 m,宽约120 m;前缘高程为80 m左右。

2.2 滑体特征

2.2.1 滑体基本地质结构

由于滑体成因及物质组成的差异使滑体的物质组成具有成层性,自地表而下共分四层:第一层为表层土夹碎石,为粉质黏土夹少量碎块石,分布不连续,厚0~6.0 m,结构松散;第二层为块石碎石夹土,是滑体的主要组成部分,块碎石成分为青灰色泥灰岩,呈棱角状,强风化,其中溶蚀现象明显,土石比随深度增加而减少,分布深度最厚可达90 m,该层在整个滑体中连续分布;第三层为碎裂岩体,为巴东组三段(T_{2b}^3)的泥灰岩、泥质灰岩,分布不连续,厚度约7.3~36.23 m不等;第四层为碎石土,碎石成分为青灰色泥灰岩、泥质灰岩,因原岩性质软弱,十分破碎,呈次棱角状-次圆状,厚3~12 m不等。

2.2.2 滑带特征

滑带厚度0.4~3 m,滑带土为黏性土,其中的碎石多有一定的磨圆,碎石含量约5%。钻孔中可见擦痕。主滑体前缘剪出口位于抚军桥下泉出露的地方,高程约170 m。次级滑体前缘剪出口已被淹没于水下,钻孔(ZK04)揭示该处滑带

深度在 42.15~42.85 m。

2.2.3 滑床特征

依据现场勘察资料,滑体下伏基岩多为巴东组第三段(T_{2b}^3)的泥灰岩、泥质灰岩,滑床基岩表层局部牵动破碎,风化强烈,其下岩石较完整,为缓倾的顺向坡。滑床形态呈波状起伏,总体上陡下缓。

2.3 滑坡体的变形特征及稳定现状

该滑坡体随着沿江公路及其路边房屋的修建,改变了滑坡体的自然稳定边坡形态,原有应力平衡状态遭到破坏,在降雨条件下,滑带上的孔隙水压力加大,抗滑力减小,从而诱发了坡体的蠕变。其变形特征表现如下:滑坡主滑体未发现明显的变形迹象,只是在坡体冲沟附近有局部的滑塌现象,规模很小;而次级滑体变形迹象明显,在高程约 200 m,居民住房地面及主墙体开裂。在次级滑体的后缘(沿江公路上方)居民住房地面也表现出裂缝发展迹象。裂缝发育方向为 85~105°范围内。裂缝开裂明显表现在 2002 年夏季洪水后退时期及在水库蓄水后裂缝的出现,暂无明显变形发展。滑体在沿江公路一带建筑荷载与日俱增,滑体中前部大量人工弃渣的堆填以及三峡水库蓄水运行必将导致滑坡体应力的进一步调整。所有这些均表明:滑坡整体条件正在逐步恶化,如不进行有效合理防治,滑坡潜在局部甚至整体失稳的可能。

2.4 滑坡成因机制分析

该滑坡是在特定的自然地质环境条件下经过漫长复杂的发展演变过程形成的。

(1) 构造与地层。滑坡区位于巴务河向斜 NE 翼,在坡体结构上表现为顺向坡,岩层平缓,地层产状 165~190°、8~30°。滑坡发育于巴东组地层中。巴东组岩层软硬相间,软岩中黏土矿物含量高,强度低,遇水易软化、泥化,亦易风化,是产生滑坡的物质基础。在滑坡区内发育的巴东组三段(T_{2b}^3)的地层,为泥灰岩、泥质灰岩、泥岩等软硬相间的互层结构,在当初的构造运动过程中造成了地层的层间错动发育强烈,在人工开挖的新鲜剖面上可见到明显的架空隆起、滑移拉裂以及滑移弯曲等现象。

(2) 斜坡效应。在梅溪河和陈家沟的发育过程中,由于河谷的不断下切和水流的不断反复侵蚀,在坡脚形成高陡的斜坡,为滑坡提供了良好的临空条件;同时产生了一系列的斜坡效应:坡顶及谷肩因卸荷产生引张;斜坡中段岩体发生弯曲变形,并产生滑移拉裂缝;坡脚应力集中,产生垂直于坡面的剪切破裂面和平行于坡面的滑移拉裂缝。在坡体自重应力场的长期作用下,在谷坡靠近地表一定深度内,岩体产生蠕变弯曲,其结果,一方面降低了岩体中结构面的抗剪强度,另一方面使得表层岩体松散,风化加剧,结构面扩展连通,有助于滑坡的形成。

(3) 降雨、地表水和地下水。奉节区内降雨丰沛,水渗入地下降低了斜坡的稳定性,长江水位变幅大,洪水期与雨季一致,洪峰陡降陡落形成的地下水动水压力和江水对斜坡的反复冲刷,致使斜坡岩土体的软化,均易导致滑坡的产生。

主滑体在形成过程中由于受地形和滑坡推力不同的影响,在地貌上表现出撒开塌落现象形成了坡体中部和前缘较

明显的平台,中部平台被后期冲沟分割,滑体前缘由于面临梅溪河,在梅溪河的进一步下切过程中形成新的临空面,发生了次级滑动,其近期的变形迹象皆与洪水的涨落密切相关。

3 滑坡的稳定性分析与评价

该滑坡若失稳,将给当地居民生产生活带来诸多不便,严重地影响沿江公路的交通安全,为此有必要对滑坡体在天然、暴雨季节及三峡 II、III 期水库蓄水后的稳定性作出计算与评价,为开展对该滑坡工程整治提供工程地质依据。

3.1 诱发边坡失稳的因素分析

滑坡所在区域,坡体坡度多为 26~33°,坡体中及坡体周边沟谷发育,为坡体排水形成了天然良好的排水系统,坡体中未发现明显的变形迹象。诱发边坡失稳的主要因素是:人类工程活动和库水。由于当地城市发展的需要,在次级滑体中部修建了沿江公路,次级滑体左边界的冲沟被填埋,破坏了斜坡原有的应力平衡状态,直接影响了边坡的稳定性。同时,后期的人为改造破坏了坡体原有的地表水、地下水的流态,地表水排泄受阻,向坡体内渗流,土体处于饱水状态,孔隙水压力增高,岩土力学指标降低,恶化了滑坡的稳定条件。随水库的蓄水,库水位以下的滑体和滑带将长期浸泡于水中,地下水位将会升高,滑带土遇水软化而强度降低,坡体物质结构也会有所变化而引起滑体应力状态的调整;三峡工程建成后,水位的骤起骤落,使得滑体内外形成较大的水位差,骤然增加滑体内的动水压力,导致滑体应力重新调整而影响滑坡的稳定。此外地震、暴雨也是导致滑坡发生的诱因。

3.2 滑坡稳定性计算

3.2.1 计算工况的确定

根据现状及三峡水库蓄水以后的运行特点,稳定性分析包括:现状天然条件、暴雨导致土体饱和及库水陡降等影响因素。本滑坡按以下 4 种工况进行计算:

(1) 自重+饱水状态+建筑荷载;

(2) 自重+饱水+建筑荷载+175.0 m 水库正常蓄水位,滑坡 175.0 m 以上新建建筑加载按均布荷载 10 kN/m 考虑,坡体 175.0 m 以下浸入库水中;

(3) 自重+饱水+建筑荷载+175.0 m 水库正常蓄水位+地震,地震水平加速度取 0.05 g; (4) 自重+饱水+建筑荷载+水位由 175 m 降至 145 m 的动水压力+地震。

3.2.2 计算方法

滑坡的稳定性计算选取依据二维刚体极限平衡原理,采用不平衡推力法计算。旱季地下水位低于滑床时,用不平衡推力公式进行计算:

$$E_i = F_{si} \sin \alpha_i - W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i - c_i l_i + E_{i-1} \Psi_{i-1,i} \quad (1)$$

式中: F_s ——稳定性系数; E_i ——第 i 块 R 剩余下滑力(kN/m); E_{i-1} ——滑坡的剩余下滑力(kN/m); W_i ——第 i 块滑块的重力(kN/m); α_i ——第 i 滑块面倾角(°); c_i ——第 i 滑块滑带土的内聚力(kPa); φ_i ——第 i 滑块滑带土的内摩擦角(°); l_i ——第 i 滑块滑动面的长度(m); $\Psi_{i-1,i}$ ——第 $i-1$ 和 i 滑块之间力的传递系数,其值为:

$$\Psi_{i-1,i} = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \tan \varphi_i \quad (2)$$

雨季滑体不同程度充水时,在上述公式中叠加动水压力和静水浮托力。

3.2.3 计算指标的选取

(1) 滑体密度。根据现场大密度试验成果并类比其它滑坡取值确定: $\gamma_{\text{天然}} = 22.5 \text{ kN/m}^3$, $\gamma_{\text{饱和}} = 23.0 \text{ kN/m}^3$ 。

(2) 滑带土抗剪参数 (c , φ)。在进行滑坡剩余下滑推力及稳定性计算时,滑带土的抗剪强度 c , φ 的取值是以滑带土的物质组成及综合形状为基础,根据试验值、反算值、大剪试验值及当地经验值选定的,考虑到大剪试验值只是在天然状态下求得的,当地经验值是一个范围值,样品试验的重塑土中未能包含有滑带土中事实上已存在的碎石,其值可能偏低,而反算值是根据野外调查和访问进行验算取得的,故选定该指标时,以反算指标为主,参照以上各种情况综合确定,见表 1。

表 1 滑带土的抗剪参数取值表

项 目	滑带土抗剪指标	
	c/kPa	$\varphi/^\circ$
室内试验 (饱和固结快剪, 固结快剪, 固结慢剪)	14.3~23.7	18.8~27.6
现场大剪 (范围值/标准值)	30~85/23.5	16.7~22.3/20.7
试验 反演分析 ($F_s = 1.05 \sim 1.10$)	10~15	22.0~23.5
国内部分典型滑坡稳定分析取值 (范围值)	6.0~34.3	17.0~23.0
滑坡稳定计算滑带土抗剪参数取值	15 (水上)/10 (水下)	23.5 (水上)/21.5 (水下)

3.3 滑坡稳定性影响因素敏感分析

影响滑坡稳定的主要因子有滑带土抗剪参数 (c , φ)、滑体地下水位变幅 (H_w) 等,这里分别对其进行敏感性分析,如图 2 所示。

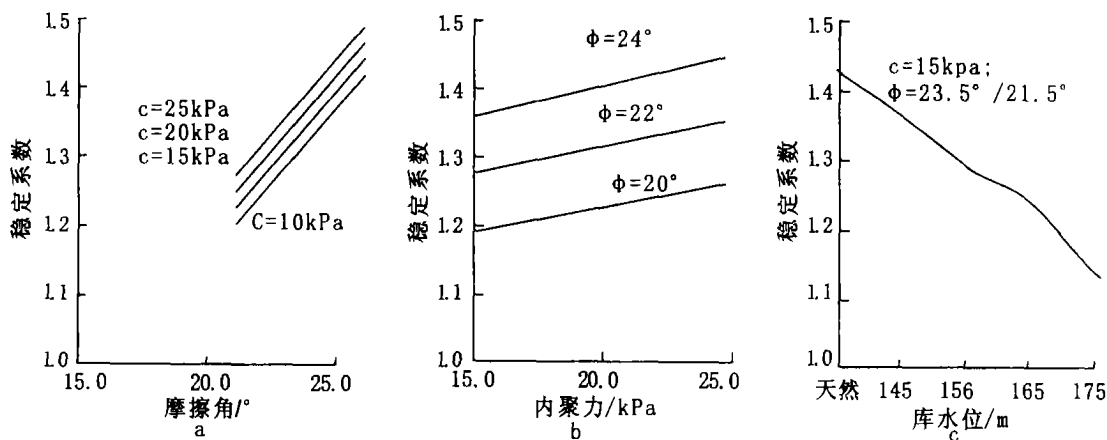


图 2 滑坡稳定性敏感分析图

分析图 2 可知,滑坡稳定系数 F_s 随抗剪参数 c , φ 值的降低而呈线性关系下降,而且稳定性系数对内摩擦角 φ 的变化比对内聚力 c 的变化更为敏感,滑动面及可能滑动带的 c , φ 值对稳定系数的影响均很显著:就同一滑坡体而言, φ 值对稳定系数的影响较 c 更为显著, φ 值降低 1° , F_s 值降低 0.04~0.07,而 c 值每降低 5 kPa, F_s 值降低 0.02~0.03。此外,还进行了库水位对稳定性的敏感性分析,从图中可看出稳定系数 (F_s) 将随库水位抬升而呈下降趋势,表明地下水的影响是很显著的,过高的地下水位及其引起的动水压力将是诱发边坡失稳的主要因素。

3.4 计算结果与稳定性评价

通过上述 4 种工况下几条剖面的计算,得出该滑坡主滑体稳定性较好,稳定系数为 1.11~1.43。次级滑体在基本工况下,其稳定性系数为 1.09,处于基本稳定状态;当库水位上升到 175 m 时,稳定性系数为 1.03;当库水位由 175 m 降至 145 m 时,其稳定性系数小于 1。表明未来三峡库区蓄水暴雨和地震等条件下,次级滑体处于临界蠕滑或失稳状态。

该滑坡主滑体上因有规模较大的三条冲沟为滑坡排泄

地表水的天然通道,坡体要达到完全饱水的可能性小,所以一般暴雨情况下,滑坡稳定性较好。在天然状态下,总体是稳定的。次级滑体由于梅溪河水水位涨落的影响产生了变形破坏,在三峡水库运行后,该滑坡的整体稳定性将降低,次级滑体处于不稳定状态,会发生较大规模的滑动,进而可能牵动滑体整体滑动。

4 结 论

(1) 滑坡为一松散堆积层滑坡,滑坡所处区域地壳相对稳定,地震烈度为 VI 度。

(2) 诱发边坡失稳的主要因素为:后期人为改造、加载及地下水作用等。

(3) 充分考虑未来三峡水库蓄水对该滑坡的影响,在未来水位蓄水 175.0 m,水位由 175.0 m 降至 145.0 m,及滑体上居民建筑加载等情况下,对其稳定性进行计算和趋势预测,滑坡整体稳定系数在 1.11 以上,具备一定安全储备,处于基本稳定状态,次级滑体稳定系数为 0.957~1.096,处于临界蠕滑或失稳状态,需尽快对其进行监测和工程治理。

参考文献:

- [1] 张成恭,王思敬,张倬元,等. 中国工程地质学[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- [2] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理(第二版)[M]. 北京: 地质出版社, 1994