

# 库水位升降作用对库岸滑坡稳定性的影响研究

王学武<sup>1</sup>, 冯学钢<sup>1</sup>, 王维早<sup>2</sup>

(1. 四川省交通厅公路水运质量监督站, 成都 610041; 2. 石家庄经济学院工程学院, 河北 石家庄 050031)

**摘要:** 利用了渗流场- 应力场耦合的有限元法, 对三峡库区某滑坡体在库水位升降作用下的渗流特征及稳定性变化规律进行了研究。结果发现, 对于该滑坡体在库水位上升过程中其稳定性将有降低的趋势, 而在水位上升过程中, 滑坡的稳定性开始阶段下降而后逐渐上升。

**关键词:** 渗流场- 应力场耦合分析; 库水位升降作用; 滑坡; 稳定性

中图分类号: P642. 23

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2006)05-0232-03

## Study on the Effect to the Bank Landslide in Rising and Drawdown of Water Level of the Three Gorges Reservoir

WANG Xue-wu<sup>1</sup>, FENG Xue-gang<sup>1</sup>, WANG Wei-zao<sup>2</sup>

(1. Sichuan Provincial Highway & Water Transport Engineering Quality Supervision Station, Chengdu 610041, China;

2. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China)

**Abstract:** The characteristic of the seepage and stability of a landslide in Three Gorges Reservoir is analyzed due to the change of the water level in FEM of coupled stress and seepage field with the view of water-rock interaction; as a result, the stability of the landslide will fall down during the rising of the level, and the stability of the landslide will fall down at first and then rise during the falling of the level.

**Key words:** coupled analysis of the seepage and stress field; rising and drawdown of the reservoir water level; landslide; stability

大量工程实例表明, 水库的蓄水以及库水位周期性的升降变化不仅使得原已稳定的滑坡再度失稳, 同时还将导致库岸边坡的失稳, 形成崩塌和滑坡, 从而将给国民经济和人的生命财产造成严重的损失<sup>[1-4]</sup>。岸坡岩土体的变形破坏实质上是由岩土体成份、结构和环境三要素共同控制下的变形破坏过程, 其中岩土体赋存的地质环境是很重要的一方面, 它的主要因素包括应力场、化学场、温度场和渗流场, 这些因素存在着耦合关系, 如渗流场- 应力场耦合等<sup>[5-9]</sup>。水库水位的变化首先表现在渗流场的变化, 进而会引起应力场的变化, 从而造成岸坡的变形失稳。

因此本文通过利用渗流场- 应力场耦合分析的方法对大院坝滑坡体在水位上升和下降过程中的渗流特征及稳定性变化规律进行了研究, 以期能够为三峡工程建设后的安全及岸坡稳定提供参考。

## 1 大院坝滑坡体工程地质特征

### 1.1 地形地貌

大院坝滑坡为一大型切层式基岩滑坡, 分布于重庆市云安镇大院坝居民委员会一带, 北西以大井沟为界, 南至东风水泥厂, 西至汪家梁, 东抵汤溪河, 平面呈不对称“梨”状, 呈北东向展布, 在高程 160 m 和 200 m 见二级平台。滑体后缘高程 250 m, 宽 220 m, 前缘宽 800 m, 厚度 11~59 m, 面积 0.35 km<sup>2</sup>, 体积 850×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>, 主滑方向 70°, 滑体中下部地势较平缓, 未见负地形。

### 1.2 岩土体物理力学性质

滑体物质由前缘向后缘依次为碎石土、碎块石土、含碎块石粉质黏土, 结构中等密实, 从表至里颗粒渐粗且碎块石风化减弱, 滑体中部宝塔一带厚度约 59 m, 其余地带厚度一般在 20 m 左右, 滑带土为灰色含砾石粉质黏土, 厚度 0.7~1.5 m, 粉质黏土呈可塑-硬塑状, 砾石成分为砂岩、泥灰岩, 含量约 30%, 直径 20~100 mm, 呈亚圆形-棱角形, 含水量 10.8%~18.3%, 压缩比  $e=0.602$ , 属中等压缩性土。经反复抗剪强度试验, 其天然抗剪强度峰值: 内聚力  $C=14\sim16$  kPa, 内摩擦角  $\Phi=18^\circ\sim25.5^\circ$ 。经反复分析取值, 内聚力  $C=15$  kPa, 内摩擦角  $\Phi=20^\circ$ 。

滑床为三叠系中统巴东组泥岩、泥质灰岩, 弱风化, 岩层倾向南-南西, 倾角 30~80°。

## 2 大院坝滑坡体渗流及稳定性计算

### 2.1 计算模型

为对大院坝滑坡稳定性进行分析, 选取了该滑坡主剖面图如图 1 所示, 滑体主要由碎石土组成, 滑床为巴东组泥岩、泥灰岩。

### 2.2 计算参数

计算中需确定的计算参数包括渗流计算参数和滑坡稳定性计算参数, 其中滑体天然重度指标由室内试验成果经数理统计而得; 饱和重度指标据天然含水量、孔隙比等指标计算而得或类比取值; 浮重度指标取饱和重度与地下水重度的

\* 收稿日期: 2005-11-26

作者简介: 王学武(1981-), 男, 硕士, 主要从事地质工程及岩土工程技术工作。

差值;地下水重度取  $10\text{ kN/m}^3$ 。滑带土的抗剪强度指标结合室内试验成果、试算资料 and 同类图的经验值综合取值。最终确定结果如下表 1 所示。另外,渗流边界为:滑面为隔水边界,即零流量边界,库水位以上为零流量边界,库水位以下定为水头边界。

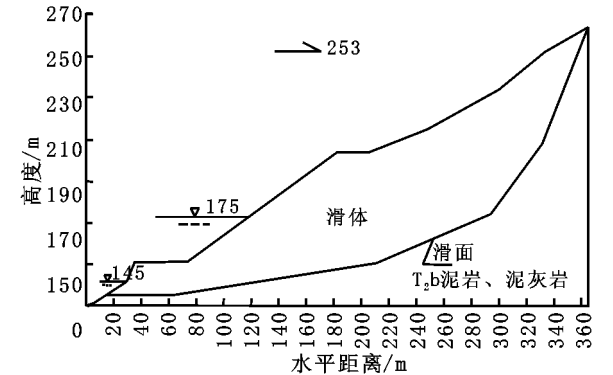


图 1 大院坝滑坡剖面图  
表 1 计算参数取值表

参数物质	渗透系数 $/(\text{m} \cdot \text{d}^{-1})$	含水率/%	容重/ $(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$		内聚力/MPa		内摩擦角/ $(^\circ)$	
			天然	饱和	天然	饱和	天然	饱和
碎块石土	6	65	25	26	0.015	0.013	20	18
泥灰岩	0.00064	65	26	27	0.85	0.72	34	33

2.3 渗流计算

对该滑坡进行了库水位上升和下降两个过程的数值模拟,模拟采用了 GEO- SLOPE 程序的 SEEP/W 模块进行模拟。模拟中滑坡体的渗透系数采用经验类比法,为  $6\text{ m/天}$ 。根据前面章节理论,求出了该滑坡在水库上升和下降时的地下水位变化规律,如下图 2、3 所示。

图 2 中,直线数字“0”,“1”,“2”,“3”,“4”,“5”,“6”分别代表库水位在 145 m 状态时,蓄水 5 d 后、10 d 后、15 d 后、20 d 后、25 d 后和 30 d 后滑坡体地下水位位置。据图可知:(1)库水位上升过程中,滑坡体内都出现了“倒流”现象,从而地下水位线都有略向左弯的趋势;(2)库水位上升的初始阶段,滑坡水位初期涨幅都较大,随蓄水的逐渐稳定,地下水位也逐渐稳定;(3)由于水位的上升过程属于“快速上升”过程,因此虽然滑坡体物质组成为碎块石土,其渗透性较大,但是水位上升过程中地下水位位置的变化仍然总是要滞后于江水位的变化。

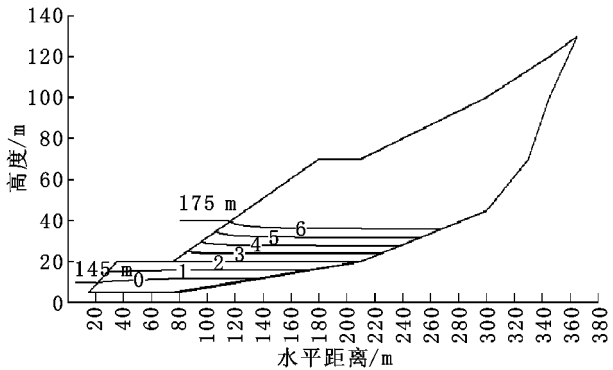


图 2 水库水位上升过程不同时段滑坡体内地下水位

图 3 中,直线数字“0”,“1”,“2”,“3”,“4”,“5”,“6”分别代表库水位在 175 m 状态时,降水 30 d 后、60 d 后、90 d 后、120 d 后、150 d 后和 180 d 后滑坡体地下水位位置。据图表明:(1)库水位下降过程中,滑坡体地下水位初期阶段降幅较大,随着水位的逐渐稳定,地下水位也逐渐稳定;(2)一方面,由于滑坡体物质组成为碎块石土,其渗透系数较大,另一方

面,库水位的下降过程属于“缓慢下降”过程,因此滑坡体地下水位与江水位的变化基本一致。

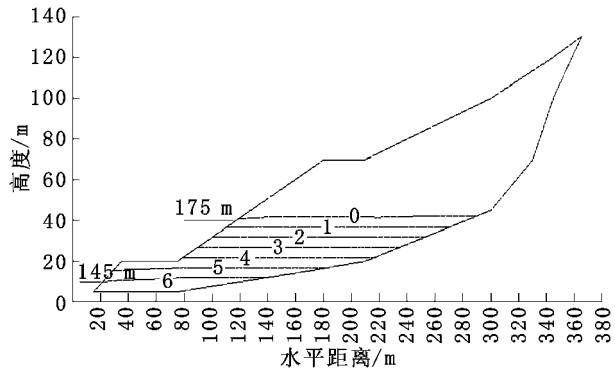


图 3 水库水位下降过程不同时段滑坡体内地下水位

2.4 稳定性计算

2.4.1 计算程序介绍

本次计算采用的计算程序是加拿大公司的 GEO- SLOPE 程序的 SLOPE/W 模块,该程序是 GEO- SLOPE 公司研制的岩土分析软件中的一个计算边坡稳定性的软件。它能计算考虑孔隙水压力情况下的边坡稳定性。由于在上文中利用了同样是 GEO- SLOPE 公司开发的 SEEP/W 程序进行了渗流计算,因此在计算边坡稳定性时, SLOPE/W 程序可读取 SEEP/W 程序计算的渗流结果,从而计算不同状态下的边坡的稳定性。

2.4.2 计算工况

SLOPE/W 程序中采用的滑坡稳定性计算方法仍然是传统的极限平衡法,本次计算主要采用 Janbu 法、Bishop 法、Morgenstern- Price 法三种方法计算滑坡的稳定性。由于本次滑坡稳定性计算的目的,重点是对该滑坡目前的稳定现状进行评价,并对今后该滑坡在水库蓄水运营期间的稳定状态演变进行预测和分析,从而为该滑坡是否需要实施工程治理提供依据。据此,计算中考虑了以下几种工况组合:(1)水库蓄水过程,这主要包括了蓄水 5 d、10 d、15 d、20 d、25 d 和 30 d 后的稳定性;(2)水库水位下降过程,这主要包括了水位下降 30 d、60 d、90 d、120 d、150 d 和 180 d 后的滑坡稳定性。

2.4.3 计算结果

应用上述程序首先对大院坝滑坡体沿已有滑面的整体稳定性进行了计算,然后对大院坝滑坡体利用自动搜索的方法计算了滑坡体局部可能存在的最危险滑坡的稳定性,其计算条分图与稳定性计算结果分别见图 4、5 和表 2。

(1) 水库水位上升过程滑坡稳定性。据表 2 计算结果,当库水位上升时,无论是大院坝滑坡体的整体稳定性还是局部稳定性都有降低的趋势,如图 6、7。图 6、7 说明,当库水位在 145 m 时,滑坡的整体稳定性系数为 1.622 (Morgenstern- Price 法),蓄水 5 d 后,降低为 1.599,30 d 后至 175 m 库水位时,稳定系数降到最低,为 1.340,降幅为 17.4%。对于滑坡的局部稳定性,145 m 水位时其稳定系数为 1.154,蓄水 d 天后,降至 1.142,30 d 后至 175 m 水位时,降至最低,为 1.071,降幅为 7.2%。

(2) 水位下降过程滑坡稳定性。据表 2 计算结果,当库水位下降时,无论是滑坡的整体稳定性还是局部稳定性系数都随时间的增加一开始逐渐减少,一定时间后(30 d)达到最低点,然后又呈上升趋势(图 8、9)。滑坡整体稳定性系数下降阶段的降幅为 17.8%,上升阶段的涨幅为 42.3%。滑坡局部稳定性系数下降阶段的降幅为 6.6%,上升阶段的涨幅为 18.3%。

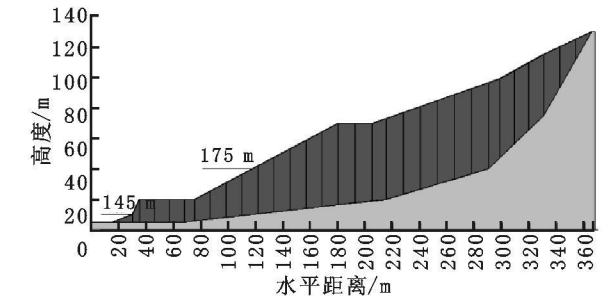


图 4 大院坝滑坡体整体稳定性计算条分图

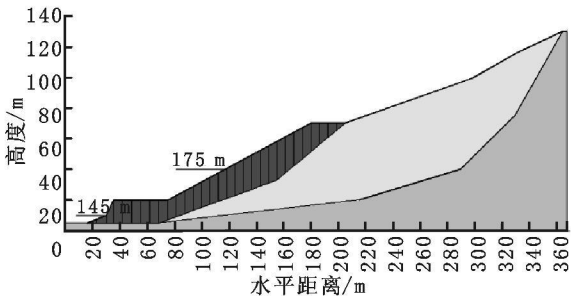


图 5 大院坝滑坡体局部稳定性计算条分图

方 法	整体稳定性			局部稳定性		
	Janbu 法	Bishop 法	Morgenstern - Price 法	Janbu 法	Bishop 法	Morgenstern - Price 法
水库蓄水过程	145 m	1.457	1.761	1.622	1.148	1.159
	5 d	1.436	1.730	1.599	1.136	1.151
	10 d	1.401	1.681	1.562	1.124	1.136
	15 d	1.361	1.625	1.519	1.114	1.127
	20 d	1.314	1.560	1.469	1.102	1.116
	25 d	1.263	1.489	1.414	1.08	1.096
水位下降过程	30 d	1.194	1.397	1.340	1.063	1.078
	175 m	1.194	1.397	1.34	1.06	1.078
	30 d	0.981	1.212	1.145	0.98	1.02
	60 d	1.2	1.444	1.324	1.074	1.118
	90 d	1.301	1.52	1.415	1.103	1.151
	120 d	1.361	1.59	1.469	1.121	1.164
	150 d	1.441	1.712	1.598	1.148	1.182
	180 d	1.475	1.772	1.629	1.169	1.195

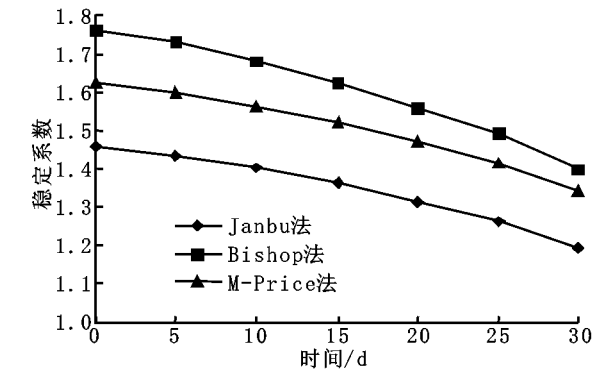


图 6 蓄水过程滑坡整体稳定性变化曲线

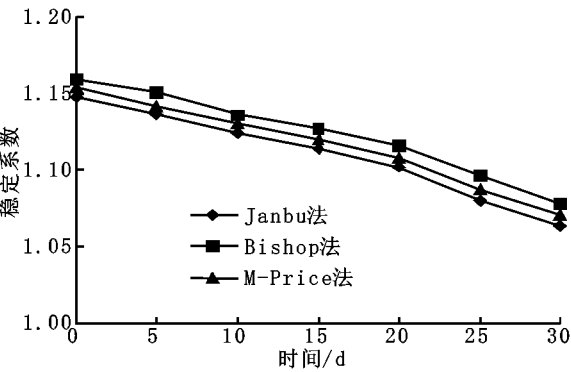


图 7 蓄水过程滑坡局部稳定性变化曲线

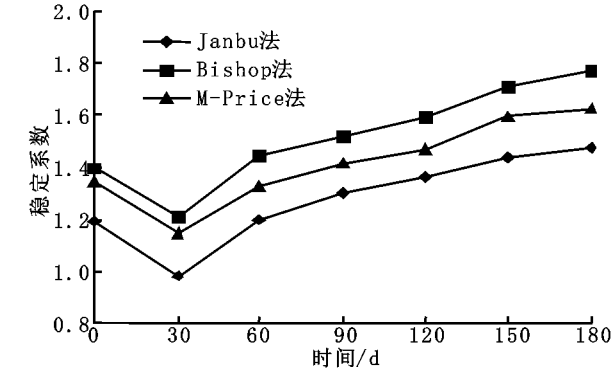


图 8 水位下降过程滑坡整体稳定性变化曲线

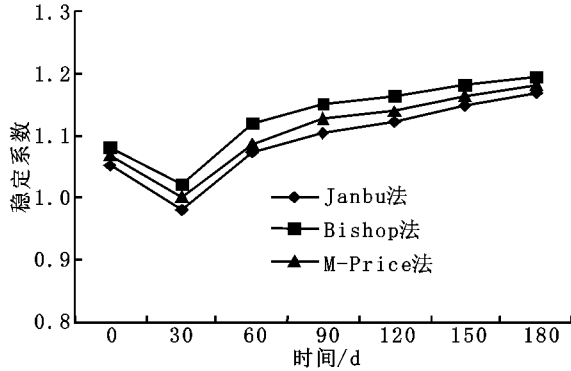


图 9 水位下降过程滑坡局部稳定性变化曲线

(2) 通过对大院坝滑坡体稳定性计算发现, 在库水位上升过程中, 滑坡体整体和局部稳定性都有所降低, 滑坡体整体稳定性降幅约 17.4%, 局部稳定性降幅约 7.2%; 水库水位下降过程中, 滑坡体整体和局部稳定性在初始阶段都减

导致水位下降过程中, 滑坡的稳定性开始阶段下降而后逐渐上升的原因在于, 首先大院坝滑坡体滑面形态属于座椅状, 因此当水库水位下降的初始阶段时, 此时属于对应于江水位达到最高峰的初始消落时刻, 其水动力类型就是岸坡向外流动的动水压力, 由于动水压力作用, 增加了坡体的重力或下滑力, 从而导致了稳定性的降低。但这一时刻仅限于水位的初始消落时刻, 随水位不断下降, 由于滑坡体渗透系数值较大, 地下水位与江水位近“同步下降”, 因此, 动水压力逐渐减小, 随水位不断下降, 滑坡体稳定性系数不断提高。

3 结 论

通过以上分析, 可得出以下结论:

(1) 通过对大院坝滑坡体渗流计算发现, 在库水位上升过程中, 滑坡体内地下水位位置几乎与江水位的变化“同步”, 因此只存在短时间的“滞后”效应, 于是在上升过程中会出现短暂的“倒流”现象; 在库水位下降过程中, 滑坡体内地下水位位置也与江水位的变化近同步, 只存在短暂的“滞后”现象。

(3) 水位下降过程中, 造成初始阶段滑坡的稳定性降低的原因一方面是由于大院坝滑坡体滑面形态属于座椅状滑

抢而倾洒饮用水。所以, 可将混乱的畜群分开各自放饮, 防止抢水过程的浪费。

(4) 经常清扫畜圈, 减少冲洗。养殖业需水中的牲畜饮水为生理需水, 必须予以保证, 主要是防止浪费。清洁用水为生态需水, 如能勤清扫可减少不必要的冲洗次数, 以节省总用水量。

3 庭院种植业需水量的分析

3.1 典型农户的种植业面积分析

按照庭院经济生态规划, 要确保一个农户有充足的蔬菜来源, 则需要至少建设一个小拱棚作为蔬菜生产地。小拱棚的建设面积为 30 m<sup>2</sup>, 可以种植白菜、豆角、茄子等蔬菜。

庭院菜地用水灌溉方式和灌溉量, 如下表:

表 4 庭院菜地用水灌溉量	
灌水次数(次)	灌水定额 / (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )
8	180

另外, 还需要建设至少 667 m<sup>2</sup> 的大棚等经济作物用地, 用来增加农民的收入。主要作物为西瓜和小香瓜等经济作物。

表 5 西瓜集雨补灌制度表		
水文年	补灌次数/ 次	总补灌定额/ (m <sup>3</sup> · hm <sup>-2</sup> )
平水年	2	142. 5
干旱年	3	262. 5

3.2 庭院种植业用水量的分析

根据庭院种植业的种植面积和种植的种类, 可以分别计算出庭院种植业用水:

$$Q=\sum_{i=0}^iK_i\times S_i$$

(5)

式中:  $K_i$  ——不同作物的灌水定额量, m<sup>3</sup>;  $S_i$  ——不同作物的种植面积, hm<sup>2</sup>;  $i$  ——代表不同的作物种类。由此, 可以计算出庭院种植业的最大用水量(干旱年)和最小用水量(平水年): 18. 1 和 10. 1 m<sup>3</sup>。

4 庭院经济用水的优先序排列

庭院经济用水主要有人的生活用水、畜牧养殖业用水和种植业用水三个方面组成。对于庭院经济这个整体而言, 应参考文献:

[ 1 ] 赵松岭. 集水农业引论[ M ]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1996.  
[ 2 ] 赵松乔. 察北、察盟及锡盟——一个农牧过渡地区经济地理调查[ J ]. 地理学报, 1953, 19( 1 ): 43- 60.  
[ 3 ] 周立三, 等. 甘青农牧交错地区农业区划初步研究[ M ]. 北京: 科学出版社, 1955.  
[ 4 ] 周廷儒, 张兰生, 等. 中国北方农牧交错带全新世环境演变及预测[ M ]. 北京: 地质出版社, 1992.  
[ 5 ] 程序. 农牧交错带研究中的现代生态学前沿问题[ J ]. 资源科学, 1999, 21( 5 ): 1- 8.  
[ 6 ] 马治国, 郑大玮, 段玉, 等. 黄土高原北部农牧交错带生态问题和农业可持续发展年[ J ]. 水土保持研究, 2004, 11( 3 ): 240- 242.

( 上接第 234 页)

面, 另外由于水位的下降, 形成了一定的动水压力, 从而增大了坡体重力或下滑力。

参考文献:

[ 1 ] 周平根. 地下水与岩土介质相互作用的工程地质力学研究[ J ]. 地学前缘, 1996, 3( 1- 2 ): 176.  
[ 2 ] 仵彦卿. 地下水与地质灾害[ J ]. 地下空间, 1999, 19( 4 ): 303- 309 .  
[ 3 ] 王士天, 等. 大型水域水岩相互作用及其环境效应研究[ J ]. 地质灾害与环境保护, 1997, 8( 1 ): 69- 88.  
[ 4 ] Louis C. Rock hydraulics in rock mechanics[ M ]. New York: Verlay wien, 1974.  
[ 5 ] 王媛. 单裂隙面渗流与应力的耦合特性[ J ]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21( 1 ): 83- 87.  
[ 6 ] 陈平, 张有天. 裂隙岩体渗流与耦合分析[ J ]. 岩石力学与工程学报, 1994, 13( 4 ): 299- 308.  
[ 7 ] 徐则民, 杨立中. 渗流场与应力场相互关系研究中应注意的两个问题[ J ]. 矿物岩石, 1998, 18( 1 ): 102- 107.  
[ 8 ] 杨延毅. 裂隙岩体非线性流变性态与裂隙损伤扩展过程关系研究[ J ]. 工程力学, 1994, 11( 2 ): 81- 90.