

文章编号: 1000-7598-(2007)12-2722-04

水库蓄水对库岸滑坡的影响研究

王明华^{1,2}, 晏鄂川³

(1. 武汉理工大学 土木工程与建筑学院, 武汉 430070;

2. 武汉工程大学 环境与城市建设学院, 武汉 430073; 3. 中国地质大学(武汉) 工程学院, 武汉 430074)

摘要: 水库蓄水将显著改变库岸的水文地质条件, 进而影响滑坡的稳定状态。以鄂西南某水库为例, 阐述了库水位对滑坡稳定性影响的一般规律, 并采用剩余推力法计算分析了滑带土抗剪参数、库水位变化和地下水疏干系数对库岸滑坡的影响。在此基础上, 对蓄水后库岸滑坡的变形模式进行了模拟分析。研究表明, 水库蓄水不仅使滑坡稳定性发生变化, 滑坡的变形模式也将由推移式转变为牵引式。

关键词: 蓄水; 库岸滑坡; 稳定性; 变形模式

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Study on influence of reservoir water impounding on reservoir landslide

WANG Ming-hua^{1,2}, YAN E-chuan³

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. School of Environmental & Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430073 China;

3. Engineering Faculty School, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: After water impounding, hydrogeological condition in the reservoir area varies obviously and landslide stability is affected. Taking a reservoir in Southwest Hubei for example, general law of influence of reservoir water level on landslide stability is discussed. By use of push method, anti-shearing parameters, affection by water level variation and drainage factor is analyzed. Additionally, numerical simulation are adopted to analyze its sliding mode. It is shown that reservoir water impounding not only influences landslide stability but also the failure mode, i.e. the that is to say, push mode will be substituted by drag mode.

Key words: water impounding; reservoir landslide; stability; deformation mode

1 引言

水库形成以后, 沿岸地区自然条件将发生显著变化, 不仅由于水位的升高造成河流局部侵蚀基准面和地下水位的抬高, 并引起水文动态变化, 使水库库岸遭受强烈改造^[1]。水库库岸滑坡的危害主要表现为两个方面: (1), 大量的岩土体滑入水库, 减少了有效库容, 甚至形成坝前坝, 使水库不能继续使用; (2), 如果滑坡体高速滑入水库, 会造成巨大的涌浪, 直接危及大坝的安全及水电站的正常运营。

在国外, 由于水库蓄水导致滑坡失稳的典型实例即瓦依昂水库滑坡^[2], 该滑坡在 1960 年初次蓄水至 652 m 高程时出现一个小型崩塌, 同时在上部平台发生裂缝。1963 年第二次蓄水时, $24 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的

滑体突然滑入水库, 造成了灾难性后果。琼斯 (Jones)^[3]等调查了 Roosevelt 湖附近地区 1941~1953 年发生的一些滑坡, 结果发现, 49 % 发生在蓄水初期, 30 % 发生在水位骤降时, 其余为发生在其他时间的小型滑坡。国内最近发生的一起库岸滑坡为位于湖北省秭归县沙镇溪镇青干河南岸的千将坪, 该滑坡距入江口仅 3 km, 2003 年 7 月 13 日凌晨滑坡高速滑入河中, 激浪高近 30 m, 同样造成巨大损失。研究表明, 长期暴雨是该滑坡的诱因, 但库水位抬升也是该滑坡失稳的重要因素^[4]。在以往的研究中, 水位变化对滑坡稳定性系数的影响受到广泛重视^[5-7], 而对滑坡破坏模式的影响研究较少。因此, 研究水库库岸滑坡的稳定性, 特别是水库蓄水对滑坡稳定性和变形破坏模式的影响, 对确保水

收稿日期: 2006-07-17

修改稿收到日期: 2006-09-20

基金项目: 湖北省教育厅中青年基金项目 (No.Q200715002)。

作者简介: 王明华, 男, 1976 年生, 博士, 副教授, 在站博士后, 主要从事地质灾害和岩体稳定方面的研究工作。E-mail: wmh1976@163.com

利水电工程建设的顺利进行及正常运营具有较为重大的意义。

2 库岸滑坡稳定性的影响因素分析

库岸滑坡既有一般滑坡的共性，又有其特殊的一面，其特殊性在于它的活动与库水位的变化有很大的关系。某水库位于鄂西南山区，近坝库岸发育一堆积体滑坡，滑带土主要为粉质黏土夹碎石，基岩弱风化，中倾角反倾。初始水位为 370 m，正常蓄水位为 490 m，当蓄水至 470 m 时，该滑坡后缘局部出现拉裂缝。

以下从滑带土抗剪参数、库水位变化和地下水疏干系数 3 方面对库岸滑坡稳定性进行影响因素分析。在计算过程中，滑体天然重度取 16.6 kN/m^3 ，饱和容重取 18.0 kN/m^3 ，并以水库蓄水至 470 m 水位加上降雨的工况作为确定抗剪参数的依据。本次计算采用规范方法——剩余推力法，选取的典型剖面如图 1 所示，根据剖面形态及变形破坏迹象，确定以第四系与强风化层的分界面为潜在破裂面，理由如下：（1）地表变形迹象显示，该滑坡主要表现为浅层土质滑坡，滑面未进入强风化层以下，因此，以强风化界限为潜在滑面的滑体为区内规模最大的滑体；（2）强风化界限为上缓下陡型，从滑体中后部剪出的滑面稳定性系数必大于从滑体前缘剪出的滑面。

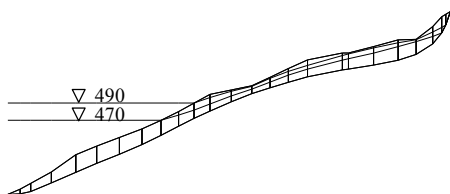


图 1 滑坡计算条分图

Fig.1 Slice map of landslide calculation

2.1 滑带土抗剪参数的敏感性分析

图 2 反映了滑坡稳定性系数随滑动面内摩擦角和黏聚力的变化情况，由图可知：内摩擦角每增加 2° ，稳定性系数仅增加 $5.4\% \sim 13.0\%$ ；黏聚力每增加 5 kPa ，稳定性系数增加 $6.43\% \sim 15.3\%$ 。稳定性系数取 1.0 时， $c = 15 \text{ kPa}$ ， $\varphi = 30.5^\circ$ ； $c = 20 \text{ kPa}$ ， $\varphi = 28^\circ$ ； $c = 25 \text{ kPa}$ ， $\varphi = 25.4^\circ$ ； $c = 30 \text{ kPa}$ ， $\varphi = 22.6^\circ$ ；

$c = 35 \text{ kPa}$ ， $\varphi = 20^\circ$ 。根据以上分析成果及类比其它工程经验，建议滑面抗剪强度取值如下：

$$c_d = 20 \text{ kPa}, \varphi_d = 28^\circ; c_s = 15 \text{ kPa}, \varphi_s = 25^\circ。$$

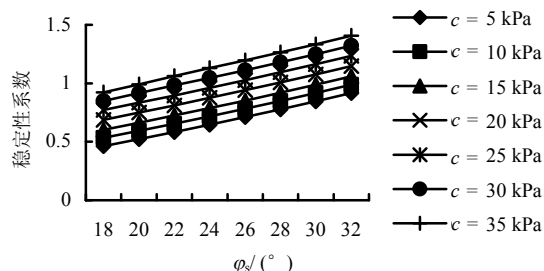


图 2 滑体抗剪参数与稳定性关系图

Fig.2 Relation between anti-shearing parameters and stability of landslide

2.2 库水位变化的影响

根据本工程实际，对水库运营过程中各种可能工况进行了计算，结果如表 1。

表 1 不同工况滑坡稳定性计算表

Table 1 Calculation result of landslide stability under different conditions

工况	天然状态	470 水位天然	470 水位暴雨	490 水位天然	490~452
稳定性系数	1.412	1.106	1.007	1.153	0.993

根据上述分析可知，滑坡在天然状态下总体处于相对稳定状态。库水位的上升导致坡体浸水体积增加，滑面上的有效应力减少或抗滑阻力减少，部分滑带饱水后强度降低。当蓄水至 470 m 水位时，在长期降雨作用下，滑坡稳定性系数急剧降低，幅度达 39% ，局部出现一定范围的滑动，这也与目前所出现的变形破坏迹象相符合。当库水位从 470 m 上升到 490 m 时，出现稳定性系数不降反升的现象，该现象说明滑坡稳定性系数的最小值位于 470 m 水位和 490 m 水位之间，稳定性在水位上升过程中经历了先降后升的过程。

2.3 地下水疏干系数的影响

针对 490 m 水位天然工况，对地下水疏干系数对库岸滑坡稳定性的影响规律进行了研究（表 2）。由表可以看出，当疏干系数增大 10% 时，滑坡稳定性系数增大约 0.02。

表 2 疏干系数与滑坡稳定性关系

Table 2 Relation between drainage factor and landslide stability

疏干系数	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
稳定性系数	1.153	1.174	1.195	1.209	1.229	1.250	1.272	1.292	1.310	1.326	1.344

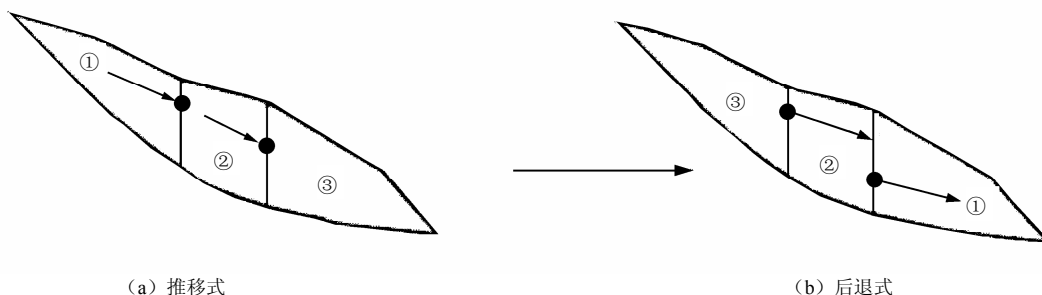


图 3 水库蓄水后滑坡变形模式

Fig.3 Deformation mode of reservoir landslide after water restoring

3 库水位变化对滑动模式的影响

水库蓄水前, 滑坡变形表现为后部岩土体推动前部岩体蠕动, 变形模式为推移式。而蓄水后, 下部抗力锁固段由于悬浮减重效应发生滑动变形, 抗滑段的滑动变形为坡体后部滑动变形提供了变形空间, 从而促使后部滑动变形, 变形模式转化为牵引式^[8]。

为了了解水库蓄水后滑坡岩土体的变形破坏特征, 并能对滑坡治理提供合理依据, 选用岩土工程数值分析的通用软件 FLAC 3D 对该库岸滑坡进行模拟分析。FLAC^{3D} (Three Dimensional Fast Lagrangian Analysis of Continua) 是由美国 Itasca Consulting Group Inc 开发的三维快速拉格朗日分析程序, 该程序适用于分析渐进破坏和失稳以及模拟大变形, 并能解决渗流问题。

经过模型概化, 建立了如图 4 所示的计算模型, 共划分 18 184 个单元, 5 629 个节点。在分析过程中, 模型两边约束 X 方向的位移, 底面约束 Y 方向的位移, 地表为自由面, 底面固定。仅考虑重力, 计算工况分为蓄水前和蓄水至 490 m 水位两种, 库水位的作用采用程序中的渗流模式进行模拟。

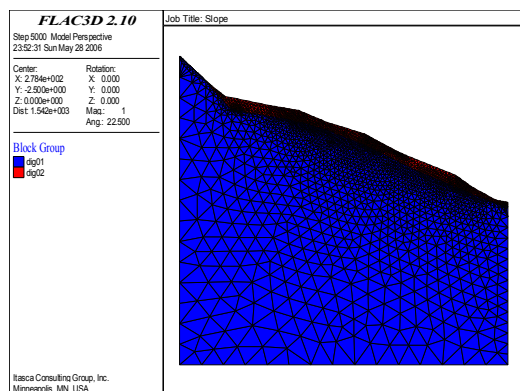
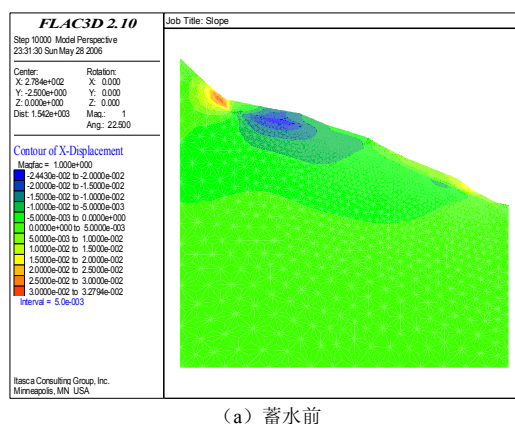


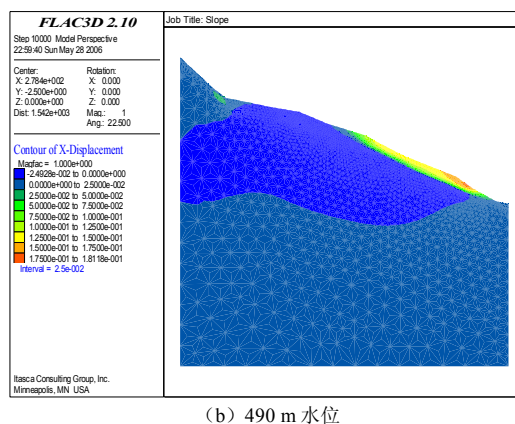
图 4 FLAC 计算模型

Fig.4 FLAC calculation model

坡变形以水平向为主, 但量值较小, 仅为 3.3 mm, 主要分布在滑坡后缘陡缓交接部位, 坡体内局部出现反向运动, 表明滑体在运动过程中将发生旋转。而蓄水至 490 m 水位后, 斜坡水平位移急剧增大, 最大值达到 18 mm, 增大近 5 倍, 最大位移分布区出现在滑坡前缘, 表明该滑坡在天然状态下后缘为稳定性较差的部位, 但蓄水后失稳部位由滑坡后缘向前缘转移。由此可知, 蓄水后滑坡前缘是潜在失稳的关键部位, 在治理和监测过程中应重点考虑。



(a) 蓄水前



(b) 490 m 水位

图 5 X 方向位移等值线

Fig.5 Displacement contours in X-direction

4 结 论

水库蓄水对库岸滑坡的影响较为复杂, 库水位

从 X 方向位移等值线图可以看出, 蓄水前, 斜

变化、抗剪参数和疏干系数对其均有一定影响。在库水位上升的过程中, 滑坡稳定性系数表现为先降后升, 稳定性系数的极小值出现在蓄水过程中。另外, 蓄水对库岸滑坡稳定性的影响还表现为其失稳破坏模式将由推移式向牵引式转化, 这一点为确定合理的滑坡治理措施具有重要意义。

参 考 文 献

- [1] 张倬元, 王士天, 王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [2] 沈新普, 范军. 意大利瓦洋特水库诱发滑坡的地质力学思考[J]. 沈阳工业大学学报, 2005, 27(6): 669—673.
SHEN Xin-pu, FAN Jun. Notes on the landslide of Italy Vajont reservoir[J]. **Journal of Shenyang University of Technology**, 2005, 27(6): 669—673.
- [3] 中村浩之. 论水库滑坡. 水土保持通报[J]. 1990, 10(1): 53—64.
Hiroyuki Nakamra. Discussions on reservoir landslide[J]. **Bulletin of Soil and Water Conservation** 1990, 10(1): 53—64.
- [4] 廖秋林, 李晓, 李守定, 等. 三峡库区千将坪滑坡的发生、地质地貌特征、成因及滑坡判据研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(17): 3 146—3 153.
LIAO Qiu-lin, LI Xiao, LI Shou-ding, et al. Occurrence geology and geomorphy characteristics and origin of Qianjiangping landslide in Three Gorges Reservoir area and study on ancient landslide criterion[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2005, 24(17): 3 146—3 153.
- [5] 朱冬林, 任光明, 聂德新, 等. 库水位变化下对水库滑坡稳定性影响的预测[J]. 水文地质与工程地质, 2002, 23(3): 378—381.
ZHU Dong-lin, REN Guang-ming, NIE De-xing, et al. Effecting and forecasting of landslide stability with the change of reservoir water level[J]. **Hydrogeology and Engineering Geology**, 2002, (3): 6—9.
- [6] 王志旺, 杨健, 张保军, 等. 水库库岸滑坡稳定性研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(11): 1 837—1 840.
WANG Zhi-wang, YANG Jian, ZHANG Bao-jun, et al. Study on stability of landside of reservoir area[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2004, 25(11): 1 837—1 840
- [7] 刘新喜, 夏元友, 练操, 等. 库水位骤降时的滑坡稳定性评价方法研究[J]. 岩土力学, 2005, 26(9): 1 427—1 432.
LIU Xin-xi, XIA Yuan-you, LIAN Cao et al. Research on method of landslide stability valuation during sudden drawdown of reservoir level[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2005, 26(9): 1 427—1 432.
- [8] 罗晓红, 李进元. 水库蓄水对库岸滑坡影响分析[J]. 水电站设计, 2003, 19(3): 61—65.
LUO Xiao-hong, LI Jin-yuan. Analysis of influence of water restoring on reservoir landslide[J]. **Hydropower Station Design**, 2003, 19(3): 61—65.
- [3] 郑东新区龙湖水系工程地质勘察报告(可行性研究阶段)[R]. 郑州: 水利部黄河水利委员会勘察规划设计研究院. 2003.1.
- [4] 郑东新区龙湖水系专项规划报告[R]. 郑州: 水利部黄河水利委员会勘察规划设计研究院. 2002.3.
- [5] 郑州市郑东新区生态水系一、二期工程可行性研究报告[R]. 郑州: 水利部黄河水利委员会勘察规划设计研究院. 2003.8.
- [6] 龙湖水资源保护及运行方式研究综合报告[R]. 河海大学, 清华大学, 南京大学, 中国地质大学(北京), 国家环保总局南京环境科学研究所, 华北水利水电学院. 2004.6.
- [7] 郑东新区龙湖水系主湖区成湖工程可行性研究报告[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 中国地质大学(北京). 2006.2.
- [8] 河南省郑州北郊水源供水水文地质勘探报告[R]. 郑州: 河南省地质工程公司. 1995.8.
- [9] 高茂生, 陈鸿汉, 李桂荣, 等. 郑州市龙湖成湖方案研究[J]. 地学前缘, 2005, 12(Supp1): 107—111.

上接第 2721 页