

考虑地下水影响的大华滑坡塌岸预测

王乐华¹, 王家成¹, 杨姗姗¹, 陈 星²

(1. 三峡大学三峡库区地质灾害教育部重点实验室, 湖北 宜昌 443002 ;

2. 中国长江三峡集团公司枢纽管理局, 湖北 宜昌 443002)

摘要 : 针对目前塌岸预测方法多属于经验性或半经验性、简化了水文地质条件的影响而存在无法清楚了解塌岸和地下水影响之间确切关系的问题, 在考虑地下水影响的基础上, 综合应用极限平衡搜索预测法和 FLAC^{3D} 数值模拟预测法两种数值模拟方法, 对大华桥水库大华滑坡进行了塌岸预测, 并与传统的卡丘金法预测结果进行了对比分析。结果表明, 极限平衡搜索预测法和 FLAC^{3D} 数值模拟预测法在大华滑坡这种滑移型塌岸中的预测结果较为接近和合理, 考虑地下水影响下的数值模拟塌岸预测方法对滑移型塌岸的预测是可行与有效的。

关键词 : 滑坡 ; 塌岸预测 ; 极限平衡搜索 ; FLAC^{3D} ; 卡丘金法 ; 大华滑坡 ; 大华桥水库

中图分类号 : TU413 **文献标志码** : A **文章编号** : 1006-7647(2012)01-0058-04

Prediction of bank collapse in Dahua landslide considering influence of groundwater // WANG Le-hua¹, WANG Jia-cheng¹, YANG Shan-shan¹, CHEN Xing² (1. Key Laboratory of Geological Hazards on Three Gorges Reservoir Area, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, China ; 2. Multipurpose Project Administration, China Three Gorges Corporation, Yichang 443002, China)

Abstract : The current methods for predicting bank collapse are mostly empirical or semi-empirical, which simplify the influence of hydrogeological conditions and can not precisely depict the relationship between the bank collapse and the influence of groundwater. Considering the influence of the groundwater, two numerical methods, the limit equilibrium prediction method and the FLA^{3D} method, are employed to predict the possibility of bank collapse in Dahua landside of Dahuaqiao Reservoir, and a contrastive analysis is carried out with the traditional Kachugin method. It is shown that the results obtained by the limit equilibrium prediction method and the FLAC^{3D} method are close and rational, and the numerical simulation for predicting bank collapse considering the influence of the groundwater is feasible and effective.

Key words : landslide ; prediction of bank collapse ; limit equilibrium ; FLAC^{3D} ; Kachugin method ; Dahua landslide ; Dahuaqiao Reservoir

水库蓄水后, 由于库水位变化使库岸地质条件发生改变, 库岸在库水浸泡、风浪冲击、水流侵蚀以及干湿交替作用下发生坍塌, 导致水库岸线后退, 在水库周边波浪作用范围内形成浅滩, 进而诱发库岸稳定性发生变化, 这种现象称为水库塌岸现象^[1]。水库塌岸是影响水库工程安全的重大地质灾害, 为此, 有必要对滑坡可能失稳发生破坏范围和规模进行塌岸预测。

传统的塌岸预测方法有图解法、卡丘金法、佐洛塔廖夫法、平衡剖面法等^[2]。近年来, 许多学者提出了新的塌岸预测方法, 如两段法^[3]、土力学法、库岸结构法^[4]、数值模拟法^[5]等。上述基于工程实践的预测方法在实际的工作中仍然广泛地应用^[6]。地质

条件和环境的复杂多变性, 对岸坡滑坡的稳定性产生了显著影响^[7-8]。迄今为止的塌岸预测方法多属于经验性或半经验性的, 简化了水文地质条件的影响, 很少从定量的角度出发, 从而无法清楚了解塌岸和地下水影响之间的确切关系。本文在考虑地下水影响的基础上, 综合应用极限平衡搜索预测法、FLAC^{3D} 数值模拟预测法两种数值模拟方法, 对大华桥水库大华滑坡进行了塌岸预测, 并与传统的卡丘金法预测结果进行了对比分析。

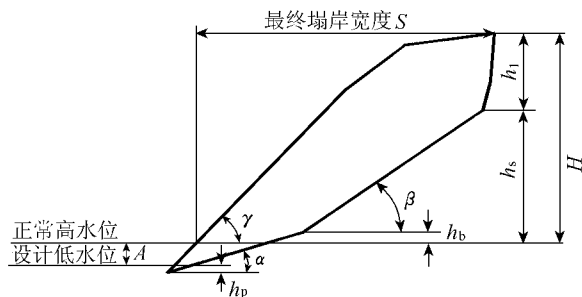
1 滑坡概况

大华滑坡距大华桥水电站下坝址 5 km。大华桥水库两岸岸坡较陡, 基岩由板岩、片岩等组成, 性状

2 塌岸预测方法及其改进

在具体评价库岸稳定性时,根据不同的塌岸类型,宜采用多种方法综合预测评价。根据水库库岸变形失稳的破坏机理,可将水库塌岸划分为侵蚀-剥蚀型、坍塌型、滑移型、崩塌型和流土型等 5 种类型^[3]。根据地质条件分析认为大华滑坡前缘岸坡的

另外,采用由卡丘金 1949 年提出的库岸最终塌岸宽度预测计算公式而演变的卡丘金法(图 3,图中 H 为正常高水位以上岸坡的高度; h_1 为黏性土斜坡



• 59 •

上部的垂直陡坎坎高 $h_s = H - h_1$; h_b 为浪爬高度 ; h_p 为波浪影响深度 ; γ 为原岸坡坡角 ; α 为水下稳定坡角 ; β 为水上稳定坡角 进行对比预测。该法的实质是依据实测的洪水、枯水位变幅带各岩土岸坡长期稳定坡角 根据几何关系用基于地质类比的图解法求解库岸最终塌岸宽度^[10]。

3 大华滑坡塌岸预测

3.1 渗流计算

分析大华桥水库正常蓄水位 1 477 m 下大华滑坡 3—3'剖面渗流情况。坡体组成及其渗透系数见表 1。土体渗透系数函数和体积含水量函数参照 SEEP/W 自带的函数库进行选取。

表 1 滑坡岩土体的渗透系数

岩土体	渗透系数 $k_e/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$
弱风化板岩(J_3b)	1.0×10^{-9}
强风化板岩(J_3b)	8.4×10^{-9}
坡积土(Q_4^{al})	2.3×10^{-5}
倾倒在板岩	5.8×10^{-8}
覆盖层($Q_4^{\text{col+dl}}$)	4.3×10^{-6}

大华滑坡 3—3'剖面 SEEP/W 采用平面有限元法进行求解 ,直接使用 AutoCAD 底图建模。计算模型共确定了 8 663 个节点 ,划分了 9 049 个单元(包括三角形单元和四边形单元) ,计算网格见图 4。

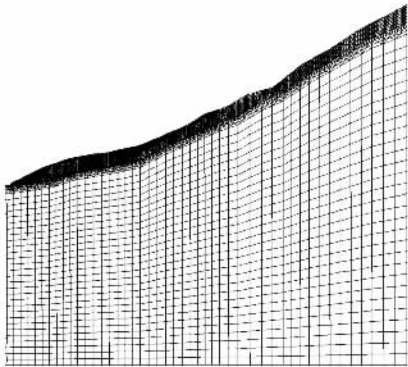


图 4 渗流计算网格

在正常蓄水位 1 477 m 稳态下的渗流场分布和地下水位线如图 5 所示。计算的地下水位线的溢出点高程为 1 477 m。

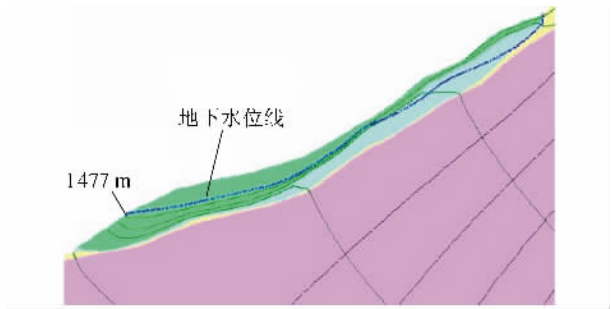


图 5 正常蓄水位 1 477 m 稳态渗流下的浸润线(局部)

3.2 极限平衡搜索预测法

在 SLOPE/W 中计算之前 ,首先将 SEEP/W 渗流计算得出的正常蓄水位 1 477 m 稳态结果导入 SLOPE/W 中进行稳定性计算。这样计算更符合实际 ,避免了根据经验确定地下水位线以致计算结果可信度低等弊端 ,计算结果可为滑坡失稳、发展趋势及塌岸预测提供参考依据。SLOPE/W 中所需的力学参数见表 2。

表 2 滑坡稳定性分析的力学参数

岩土体	密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(\text{^\circ})$
弱风化板岩(J_3b)	2.74	600.0	42.0
强风化板岩(J_3b)	2.65	100.0	33.0
坡积土(Q_4^{al})	2.10	20.0	22.0
倾倒在板岩	2.65	10.0	24.0
覆盖层($Q_4^{\text{col+dl}}$)	2.10	47.4	24.7

在 SLOPE/W 中分别进行了前缘岸坡最危险滑动面搜索 ,得出了大华滑坡 3—3'剖面最危险滑动面的分布范围 ,也就是采用极限平衡搜索预测法得出的各剖面塌岸发生的范围 ,如图 6 所示。

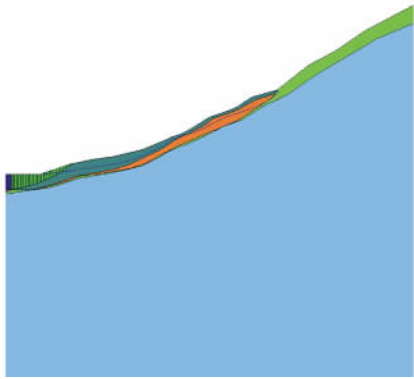


图 6 极限平衡搜索预测法搜索的最危险滑动面

3.3 FLAC^{3D}数值模拟预测法

在建立的单宽三维 FLAC^{3D}模型中添加 SEEP/W 渗流计算的地下水位线 ,这样可以根据地下水位线对水上和水下的岩层进行分区。相比根据经验估算地下水位线的范围 ,用渗流计算的地下水位线可以很好地解决经验估算的可靠度问题。采用 FLAC^{3D}数值模拟预测法分析大华滑坡 3—3'剖面的前缘岸坡 根据其剪应变增量云图(图 7)可得出 :由于库水位变化 ,在滑坡前缘会出现较明显的贯通面 ,岸坡的稳定性降低 ,说明滑坡性质受库水位影响作用较大 ,由于库水涨落 ,岸坡可能会沿着贯通面失稳。这里的贯通面分布范围即代表前缘岸坡的塌岸预测范围。

3.4 卡丘金法

根据卡丘金法预测塌岸宽度的原理 ,几个关键的取值如下 :浪爬高度 h_b 取 0.5 m 时 ,波浪影响深度 h_p 取 1 m。原岸坡坡角 γ 可从剖面图中量测 ,水

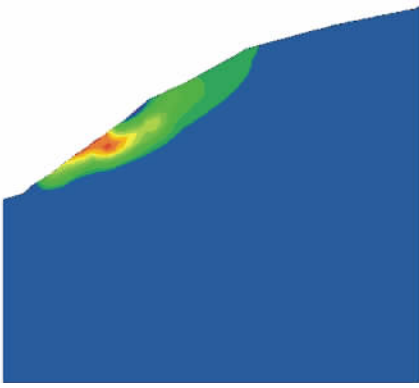


图7 FLAC^{3D}数值模拟预测法计算的
剪应变增量云图(局部)

下稳定坡角 α 和水上稳定坡角 β 可参考澜沧江流域已经测得的相关资料^[11-12]进行塌岸参数类比获得,并结合大华滑坡地形地貌特点,初步确定大华滑坡岸坡水上稳定坡角为 33° ,水下稳定坡角为 22° 。

对大华滑坡3—3'剖面进行几何作图,得出塌岸发生的范围,见图8中粗线所示。

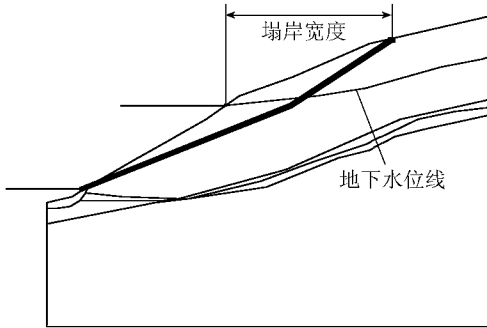


图8 卡丘金法计算示意图

3.5 3种方法预测结果对比分析

大华滑坡3—3'剖面采用3种方法预测的塌岸宽度分别为:极限平衡搜索预测法 124.4 m,FLAC^{3D}数值模拟预测法 124.7 m,卡丘金法 139.1 m,3种方法预测的塌岸宽度相差不大,采用卡丘金法得到的塌岸宽度分布范围相对较大。

对大华滑坡这种滑移型的塌岸类型进行塌岸预测时,传统的折线型几何作图预测方法从原理和变形破坏机制上来说就不适用,所以预测的结果会与实际情况极不相符。采用极限平衡搜索预测法和FLAC^{3D}数值模拟预测法两种方法得到的潜在滑移面较接近,塌岸宽度预测结果也较吻合,而卡丘金法的预测结果则较上述两种方法差别较大,故对大华桥库区大华滑坡前缘岸坡进行塌岸预测时,采用极限平衡搜索预测法和FLAC^{3D}数值模拟预测法两种方法较为合适,应以这两种方法得到的结果作为参考,如图9所示。

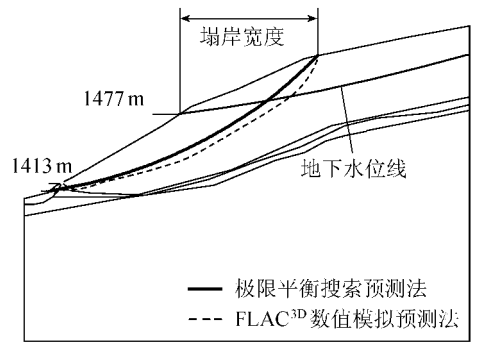


图9 极限平衡搜索预测法和
FLAC^{3D}数值模拟预测法预测结果对比

4 结 论

a. 大华滑坡3—3'剖面采用极限平衡搜索预测法、FLAC^{3D}数值模拟预测法和卡丘金法预测的塌岸宽度分别为 124.4 m, 124.7 m 和 139.1 m。

b. 相对于传统的卡丘金法,极限平衡搜索预测法和FLAC^{3D}数值模拟预测法充分考虑了地下水的影响,对大华滑坡这种滑移型塌岸的预测较为合理。

参考文献:

- [1] 缪吉伦,肖盛燮,彭凯.库岸再造机理及塌岸防治研究[J].重庆交通学院学报,2003,22(2):124-126.
- [2] 唐辉明.长江三峡工程水库塌岸研究[J].鄂州大学学报,2003,10(4):1-6.
- [3] 王跃敏,唐敬华,凌建明.水库塌岸预测方法研究[J].岩土工程学报,2000,22(5):569-571.
- [4] 许强,刘天翔,汤明高.三峡塌岸预测新方法:岸坡结构法[J].水文地质工程地质,2007(3):110-115.
- [5] 刘天翔,许强,黄润秋,等.三峡库区塌岸预测评价方法初步研究[J].成都理工大学学报:自然科学版,2006,34(1):77-83.
- [6] 尚敏,陈剑平.三峡库区忠县岸段塌岸预测研究[J].中国水土保持,2008(8):33-35.
- [7] 刘新喜,夏元友,张显书,等.库水位下降对滑坡稳定性的影响[J].岩石力学与工程学报,2005,24(8):1439-1444.
- [8] 魏丽敏,何群,林镇洪.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.
- [9] 莫伟伟,徐平,丁秀丽.库水位涨落对滑坡稳定性影响研究进展[J].地下空间与工程学报,2006,2(6):997-1002.
- [10] 彭辉,刘德富,童广勤.重庆市巫溪县王家河库岸139段塌岸预测研究[J].水土保持研究,2006,13(6):107-110.
- [11] 陈强,聂德新,李树武.澜沧江乌弄龙电站坝前崩塌堆积体发育特征及稳定性评价[J].山地学报,2006,24(1):95-100.
- [12] 黄润秋,王文远,许强,等.小湾水电站库岸稳定性专题研究初步成果[R].成都:成都理工大学,2010.

(收稿日期 2011-05-09 编辑 熊水斌)