

文章编号: 1008-2786-(2016)3-323-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000135

水库蓄水初期库岸边坡变形特征

薛秀 李凯 黄秋香* 徐博

(成都理工大学/地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室,四川 成都 610059)

摘 要: 为研究水库蓄水过程中库岸边坡的变形特征,以雅砻江某水电站库岸边坡为例,充分利用第一手监测资料进行变形分析,另外再结合 Geo-Studio 程序(Slope/W 和 Seep/W 耦合)对边坡地下水渗流情况及稳定性进行计算,结果表明:库水位上升初期,库水向坡体由表及里、由前缘向后缘入渗,坡体变形滞后于库水位变化;随着库水位快速上升,库水来不及入渗到坡体内部,故先是库水对坡脚的压重起主要作用,坡体稳定性增大,后期库水入渗到坡体后,库水对岸坡岩土体力学参数弱化起主要作用,稳定性降低;在整个蓄水过程中,坡体变形以蠕变为主。结合数值模拟和变形分析可知,蓄水会导致研究区稳定性降低,但该变化在允许变形范围内,边坡最终仍处于稳定状态。

关键词: 水库蓄水; 库岸边坡; 变形特征; 稳定性

中图分类号: P642.2

文献标志码: A

水库在蓄水及运行期间,由于库水位的波动变化,破坏了库岸坡体的天然稳定情况,会引起坡体结构及其稳定性发生变化,甚至导致岸坡破坏。例如:库水位下降时,若滑坡岩土体渗透性较差,地下水会相对库水位的下降而发生骤降^[1-4],导致斜坡岩土体的地下水向水库排泄,引起动、静水压力迅速增大,从而诱发边坡变形或发生滑坡。水库在蓄水期间,水位波动引起的边坡失稳会威胁过往船只、岸坡周边城镇以及大坝本身安全等,因此需要对库岸坡体变形特征进行分析评价。

库水位变化直接影响到岸坡稳定。刘才华等^[5]提出,库水位上升后,首先岩土体会饱水软化,潜在滑动面的力学参数降低;其次是坡体内浸润线发生改变,坡体内产生渗流力会携带细小物质发生迁移,增加坡体下滑力,因而坡体稳定性降低。刘红岩^[6]提出库水位上升时的边坡渗流场是饱和渗流与非饱和渗流共同作用的结果,且在库水位上升到某一位置的初期,非饱和渗流占有主导地位。由于

基岩与覆盖层渗流系数的差异,会导致地下水位变化线在基岩面附近生成向坡体内弯曲的突变区。董金玉和刘新荣等^[7-8]通过运用 FLAC3D 数值模拟,得出循环次数增加会加快坡体变形速率,坡体整体变形特征呈现前缘大于后缘大于中部。廖红建、肖蕾、夏敏等^[9-11]通过 Slope/W 与 Seep/W 耦合,揭示了渗透系数和水位下降速度增大都会导致坡体稳定性降低。郑颖人、张友谊等^[12-13]提出了浸润线的计算方法,但由于建立在一定的假设条件基础上,在实际应用中存在一定误差。

综合来看,针对库岸边坡变形规律及稳定性分析多是规律性认识,对特定环境下变形特征及演变规律研究很少。本文以雅砻江某水电站库岸边坡蓄水过程监测数据为依据,首先对该边坡的变形特征进行分析,然后利用 Geo-Studio 程序(Slope/W 和 Seep/W 耦合)对坡体渗流及稳定性进行分析计算,这样大大提高了分析结果的可靠性。

收稿日期(Received date): 2015-04-28; 改回日期(Accepted): 2015-06-10。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金 4140020411。[Supported by the National Natural Science Foundation of China(4140020411) .]

作者简介(Biography): 薛秀(1988-),女(汉),籍贯山西省,硕士研究生,专业方向为岩土体稳定及工程环境效应。[Xue Xiu(1989-),female (Han), born in Shanxi, mastel candidate, majored in rock and soil stability and environmental effects of the project.]

* 通信作者(Corresponding author): 黄秋香(Huang Qiuxiang). E-mail: lengjiao@sohu.com

1 研究区概况

1.1 地貌

研究区位于雅砻江某水电站库首左岸,沿江方向(上游至下游)划分为 I、II 两个研究区域,其中 I 区(图 1)为本文研究对象。研究区为古滑坡,呈顺坡槽谷地貌,顺河宽 140~220 m,长约 860 m,剪出口高程 980~1 000 m,后缘高程约 1 400 m,总方量约 $350 \times 10^4 \sim 380 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。库区地貌总体为高山峡谷,水库蓄水至正常高水位时,约有 $200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 被淹没。

1.2 地层岩性

由 I—I 剖面线做出工程地质图(图 2),地层岩性由新到老依次为:第四系(Q)坡残积物、滑坡堆积物、人工堆积物和冲洪积物;下二叠系梁山组粘土岩(P_{1l})和阳新组石灰岩(P_{1y});石炭系(C)石灰岩、石英砂岩、粘土岩;震旦系灯影组(Z_{bd})白云岩。

1.3 地下水

区内隔水岩层埋藏较浅,其上为古滑坡堆积物,孔隙潜水略高于隔水层顶板(隔水层以上 0.61~2.72 m),且有较统一的浸润线,水力坡度基本与古滑床一致。该区潜水主要受大气降水补给,并排泄于雅砻江中。承压水为石炭系石灰岩和震旦系白云岩中裂隙式承压水(喀斯特不发育),水头变化大。总趋势为:坡脚水头高于坡顶,下游水头高于上游

(高程 1 030 m 处钻孔揭示,水头达 97.39 m,流量为 2.4 L/min,而坡体上部有干孔)。

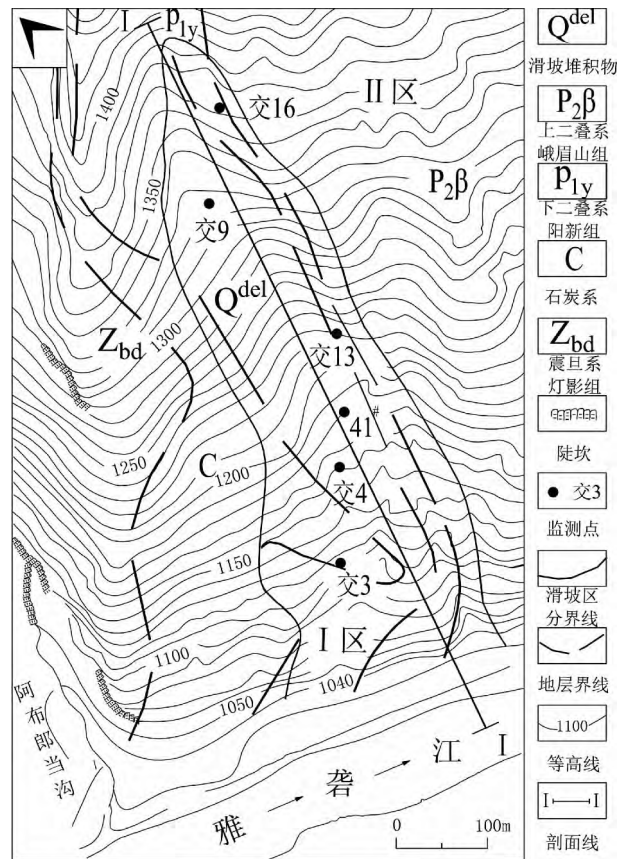


图 1 研究区平面图

Fig. 1 Plan view in the study area

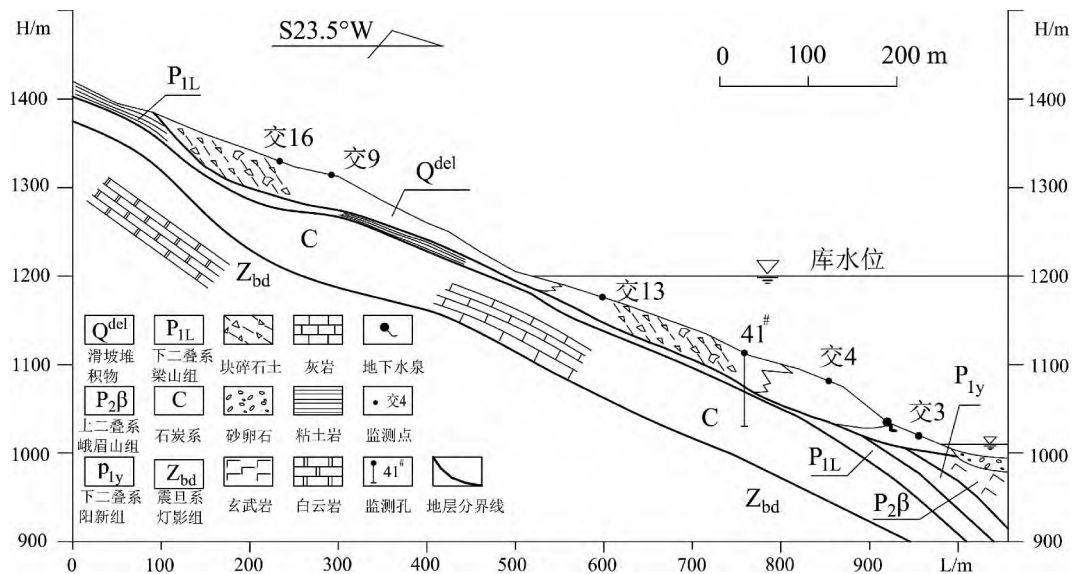


图 2 谷坡工程地质剖面图

Fig. 2 Main geological profile of the slope

1.4 监测仪器布置

针对研究区的地貌及变形特征,从上到下布置交4、金41[#]、交13、交9和交16五个地表位移监测点及一个钻孔变形(滑动式倾斜仪)监测孔(金41[#]钻孔)(表1,图2)。地表变形使用水准仪、经纬仪以及全站仪观测,深部变形则使用滑动式测斜仪监测。由于在蓄水过程中,水位不断上涨,交3在1998年5月中旬后被淹没,不能进行监测,而交4和孔41[#]在随着库水位低于其高程时才会出露,故监测时段受库水位升降影响,其余观测孔则不受影响。

表1 监测点高程表

Tab.1 Altitude-tint legend of monitoring points

监测点 Monitoring points	交3 Point 3	交4 Point 4	交9 Point 9	交13 Point 13	交16 Point 16	41 [#] Point 41 [#]
高程/m	1 112.6	1 161.3	1 326.9	1 231.2	1 372.1	1 179.1

2 蓄水期间库水位上升及滑坡位移特征

2.1 蓄水过程水位变化

雅砻江某电站于1998-05-01(水位1 030.8 m)下闸蓄水,1999-11-17基本达到正常蓄水水位(1 200 m),至此首次蓄水期结束。从下闸蓄水到蓄水至正常高水位历时多于600 d,其可以概括为几个阶段:①快速上涨阶段(1998-05-01—1998-07-14),历时75 d,水库水位涨幅大于140 m,上涨幅度为1.87 m/d;②涨落波动阶段(1998-07-15—1999-05-17),历时约300 d,水位在1 155~1 180 m之间波动;③平稳阶段(1999-05-18—1999-11-17),历时约225 d,在该阶段中,库水位相对平稳地保持在正常蓄水水位1 200 m左右(图3、4)。

2.2 滑坡地表变形

随着库水位的升高,库水不断向坡体入渗,坡体逐渐变形。因坡体具有差异性,故其变形特征也有所不同。如图3所示:各测点位移变化曲线趋势基本一致,但各测点位移加速启动的时刻都滞后于库水位,且坡体前缘的测点较后部测点的加速启动的时间要早,这表明库水位向滑体内的渗透存在一个由表及里、由前缘至中后部的发展过程;测点交9、交4、金41[#]位于滑坡堆积体上,故交9、交4、金41[#]的变形量比位于粘土岩区域的交16、交13大得多。

根据交6测点位移速率(图4)可知:在库水位

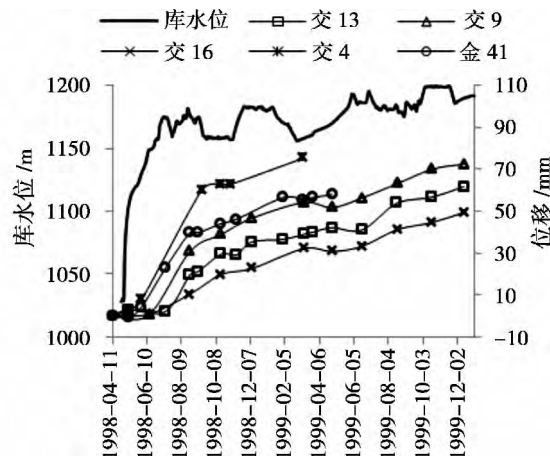


图3 累计水平位移和库水位-时间的关系曲线

Fig.3 Curves of accumulative horizontal displacement vs. water level

快速上升初期,该测点位移速率没有立刻增加;在蓄水两个月之后,测点位移速率明显增大,这是由于库水渗透到坡体内部需要一定时间,导致变形滞后于水位变化。等到库水渗透到坡体内部后,坡体岩土体强度弱化导致变形加速,即在初始1998-07-10的位移速率增加,水位波动及平稳期位移速率随水位波动相应变化,值得注意的是位移速率下降的期间正好是水位上升的时间,表明这期间库水起到了压重作用;在蓄水完成后整体位移速率要比蓄水前大,即蓄水后坡体稳定性较蓄水前变差。

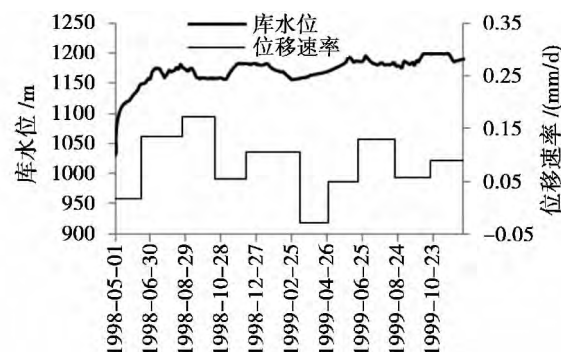


图4 代表性测点位移速率及库水位关系曲线

Fig.4 Curves of representative points displacement rate vs. water level

2.3 滑坡深部变形

2.3.1 滑面及滑动方向

金41[#]位于坡体前缘,观测深度为32 m。图5为该孔1998-03-11孔深与累计位移关系图:该孔孔口下30 m附近位移突变位置即为滑带位置,滑带深度为29.31 m,厚度约为2 m;坡体滑动方向在S47°W·S53°W,滑面以上坡体变形基本同步,即只

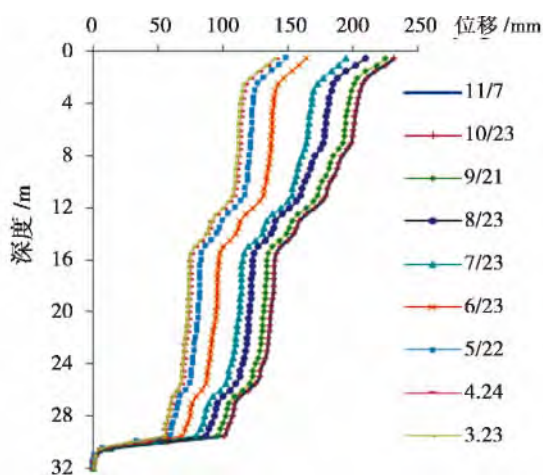


图 5 41#孔累计合位移-深度关系曲线

Fig. 5 Curves of accumulative resultant displacement-depth curves of hole 41#

有一个滑面。

2.3.2 位移与时间关系

如图 6, 金 41# 孔不同深度位移变化曲线趋势基本一致, 并有着明显的蠕变特征; 坡体内岩土体受库水的水力学及软化效应, 尤其滑带受到地下水影响, 坡体以缓慢蠕变形式逐渐变形。蠕变是坡体内部应力调整的一种方式, 坡体在变形允许范围内由加速变形到后期减速, 最终趋于稳定。

滑面的变形速率随着库水位上升也在变化。如图 7, 蓄水前坡体平均滑移速率为 0.29 mm/月, 5 月水库蓄水后坡体位移速率迅速增大到 7.79 mm/月。在 6—8 月 3 个月内位移变化速率都超过了 9 mm/月, 由于滞后效应, 坡体位移速率最大值出现在

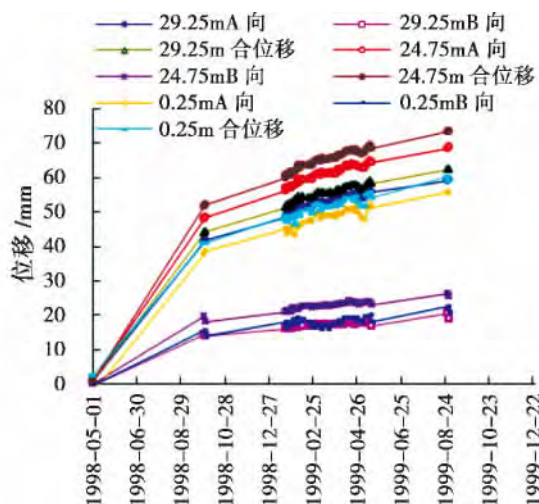


图 6 41#孔不同深度位移-时间曲线

Fig. 6 Curves of displacement-time from different deep of hole 41#

蓄水的 3 个月后。到 1999 年 4 月后, 位移速率稳定在 1.14 mm/月。和蓄水前比较, 蓄水后的位移速率明显增大, 说明蓄水会造成坡体稳定性变差。

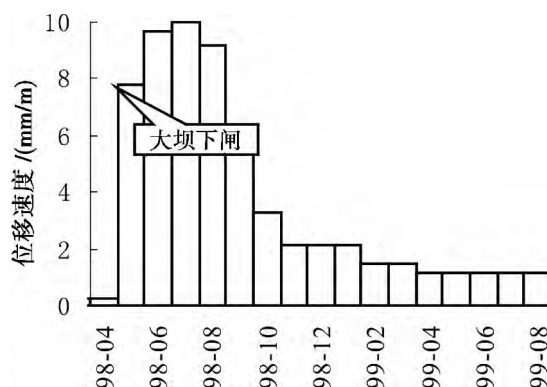


图 7 滑面位移速率图

Fig. 7 The displacement rate of slip plane

3 坡体在蓄水过程中的模拟分析

3.1 分析理论

3.1.1 渗流计算理论

文中主要针对饱和-非饱和土体瞬态渗流问题, 故需给定边界条件和初始条件。边界条件分为第一类边界条件和第二类边界条件。其中:

第一类边界条件(或称为 Dirichlet 条件), 即给定水头边界:

$$H(x, y, z) = f(x, y, z) \mid (x, y, z) \in \Gamma_1 \quad (1)$$

第二类边界条件(或称 Neumann 条件), 即给定流量边界:

$$k \frac{\partial h}{\partial n} \mid \Gamma_2 = q(x, y, z) \quad (2)$$

初始条件为:

$$H(x, y, 0) = H_0(x, y, 0) \quad (3)$$

采用水头 h 为控制方程变量, 结合达西定律可得各项异性运动的二维 Richards 饱和非饱和渗流控制方程^[1, 14]。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) = m_w \rho_w g \frac{\partial h}{\partial t} \quad (4)$$

式中 Γ_1 为渗流区的边界; $f(x, y, z)$ 为已知函数; x, y, z 位于边界 Γ_1 上。

Γ_2 为具有给定渗入流量的边界段; n 为 Γ_2 的外法线方向; h 为总水头; k_x, k_y 分别为 x, y 方向的渗透系数; m_w 为比水容重; ρ_w 为水的密度; g 为重力加速度。

(1) ~ (4) 相结合, 便可对稳态和暂态的饱和流

和非饱和流进行模拟。

3.1.2 稳定性计算理论

在边坡渗流稳定性计算中,采用极限平衡法中的 Morgenstern – Price 法^[15]。该方法假设相邻土条间正应力和剪应力之间有一个相对于滑坡体横坐标的函数关系。

其中土条平衡微分方程积分得到的法向条间力需满足:

$$E_n(F_s, \lambda) = 0 \tag{5}$$

土条侧面的力矩需要满足:

$$M_n = \int_{x_0}^{x_n} (X - E) \frac{dy}{dx} dx = 0 \tag{6}$$

(5) ~ (6) 式中 $y = Ax + B$, λ, A, B 为任意常数 X 为切向条间力, E 为法向力。首先假定一个 λ 及 F_s , 然后逐条积分得到 E_n 和 M_n , 如果不为 0, 则再用一个有规律的迭代步骤不断修正 λ 及 F_s , 直到 E_n 和 M_n 都为 0。最终可以得到边坡的稳定系数 F_s ^[16]。

3.2 建立模型

库水位变化会影响滑体中地下水的分布, 最终影响坡体稳定性。Geo – Studio 软件中 Slope/W 和 Seep/W 两个模块, 可以将瞬时渗流场与极限平衡分析结合起来。在 Seep/W 程序中先进行暂态渗流问题的分析, 得到各个不同时间下渗流场的水头分布, 然后将渗流场中的水头值输入到边坡稳定计算的 Seep/W 程序中, 再用条分法计算滑动体的稳定系数^[9]。根据前期研究成果, 选取研究区工程地质剖面图, 按 1:1 000 比例建立了节点数为 2 512, 单元数为 4 797 的网格模型(图 8)。其中滑坡后缘高程 1 420 m, 前缘高程 993 m。

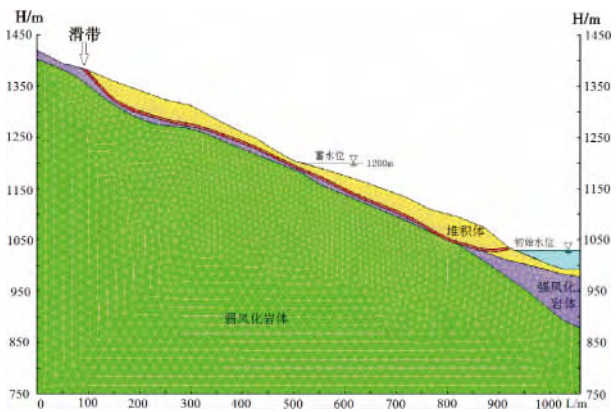


图 8 滑坡的离散化模型
Fig.8 Discrete model of slope

3.3 参数及边界条件

通过工程类比法, 得出了各个土层的力学参数。以此试验数据为基础, 以钻孔实测初始水位 1 030 m 的地下水位线为前提, 通过渗流模拟计算, 得到 1 030 m 水位浸润线, 并与现场实测 1 030 m 水位的地下水位进行对比, 从而判断所取渗透参数是否合理。坡体力学参数见表 2。渗流边界条件为模型底面为不透水边界, 左侧边界为定水头边界, 右侧边界强风化岩体以上部分为自由透水边界, 以下为不透水边界。坡面水位以下为水位随时间变化的变水头边界, 以上为不透水边界。考虑到后缘边界距库区较远, 库水位的变化对其影响不大, 因而计算中左侧边界的水位保持 1 370 m 不变。

表 2 岩土体力学参数取值表
Tab.2 Mechanical parameters of rock and soil in calculation

土体名称 Name	重度 Unit weight $\gamma/(kN/m^3)$	粘聚力 Cohesion /kpa	内摩擦角 Friction angle $\varphi/^\circ$	渗透系数 Hydraulic conductivity K/(m/d)
滑带	26.0	30.0	25.0	0.7
堆积体	22.5	40.0	26.0	0.8
强风化岩体	25.2	400.0	30.0	2.5×10^{-3}
弱风化岩体	—	—	—	1.5×10^{-4}

3.4 计算结果分析

3.4.1 渗流分析

蓄水过程(0 ~ 610 d)中, 由于基岩透水率相对滑坡体更低, 所以渗流场的变化主要集中在滑坡体内。为了反映坡体水位变化, 做出 9 条不同时间的浸润线, 如图 9 所示: 地下水浸润线随着库水位的上升而上升, 并且由于滑坡体渗透系数较小, 库水在短时间内无法完全浸入滑坡体, 形成向滑体内的动水压力作用, 地下水浸润线开始呈现“倒流”趋势, 即浸润线向坡内弯曲; 到了水位波动及平稳期, 随着水位上升速度变缓, 浸润线也趋于平缓。这刚好解释了前面提到的滞后现象。

图 10 为蓄水 50 d 时, 压力水头的分布及坡体内渗流场分布。由于这里是针对非饱和渗流进行的计算, 所以在坡体蓄水位上部出现了负压力水头区域。随着水位的上升不断减小, 负压力水头区域逐渐减小, 压力水头沿着坡向逐渐增大, 这与客观规律相吻合。

3.4.2 稳定性分析

将渗流分析后的瞬时水头应用到 Geo – Slope

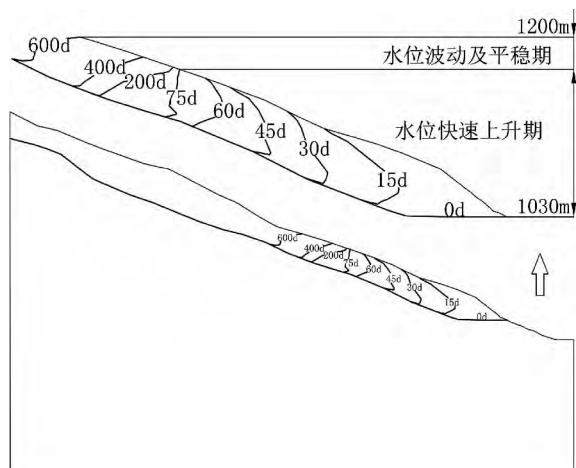
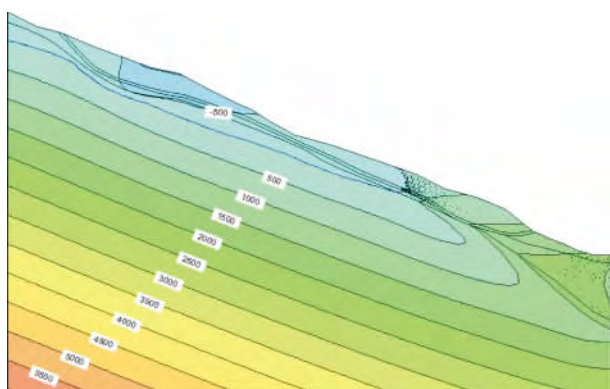


图9 蓄水过程坡体浸润线变化图

Fig. 9 Phreatic line in the slope during reservoir filling

图10 $t = 50$ d时的压力水头空间分布特征Fig. 10 Distribution character of pressure head field in the whole slope at time $t = 50$ day

程序,可以计算在该时间的稳定系数。如图11,在水位快速上升阶段(0~75 d),由于库水不能迅速渗透到坡体内,此时库水对坡体前缘主要是压重作用,坡体抗滑力也相应增加;随着库水的入渗,水对岩土体的软化作用逐渐明显,坡体开始发生蠕滑变形,故该阶段内坡体稳定系数呈先增后减趋势,这也解释了坡体在蓄水初期变形滞后现象;水位波动期(76~376 d)随着入渗坡体的饱和,水对岩土体的软化起主要作用,坡体稳定系数随着库水位波动也相应发生波动,综合监测结果发现坡体随着水位波动依然在蠕滑但变形量却在减小;水位平稳期(377~610 d)坡体内应力场随着水位平稳也逐渐稳定,坡体稳定系数基本平稳。总体来看,在整个蓄水过程中,坡体的稳定系数都大于1.3,表明坡体在整个蓄水过程中是稳定的。但是蓄水后的稳定系数要小于蓄水前的,说明水库蓄水会导致坡体稳定性变差,与

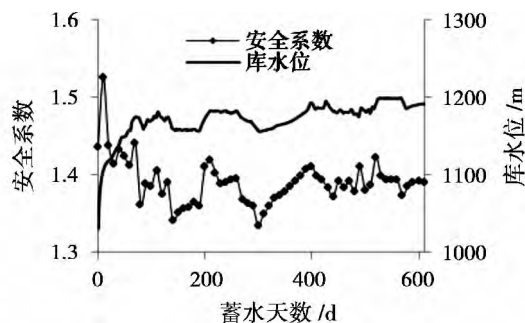


图11 坡体稳定系数与库水关系曲线图

Fig. 11 Curves of slope stability factor vs. water level

监测结果相吻合。

4 结论

通过对水库蓄水过程中雅砻江某水电站边坡变形特征分析,得出以下认识和结论:

1. 在库水位上升初期,坡体加速变形启动时间滞后于库水位,且前缘的测点较后缘测点的加速启动的时间要早,结合渗流模拟地下水浸润线呈“倒流”趋势,认识到库水向滑体内的渗透存在一个由表及里、由前缘至中后缘的发展过程。

2. 坡体稳定性随库水位上升发生变化。比较突出的是在库水位快速上升阶段(0~75 d),由于库水渗透到坡体需要一定的时间,这时水的重力给坡体前缘的压重起主要作用,坡体前缘抗滑力增加,而坡体中后缘下滑力不变,坡体稳定系数相应增大;等到库水渗透到坡体内后,坡体岩土体及滑面力学参数弱化,因此坡体稳定系数下降。

3. 由于库水对坡体的水力学及软化效应,坡体变形有着典型的蠕变特征。而蠕变是坡体调整应力的方式,且变形总量在可控范围内没有产生加速过程,坡体最终仍会趋于稳定。结合库水位上升过程中滑带的变形速率先增后减并最终趋于稳定可知,该坡体处于稳定状态。

4. 稳定性随着库水位变化而变化,从模拟结果来看整个蓄水过程中坡体稳定系数都大于1.3,即坡体在蓄水过程中不会失稳。然而数值模拟结果显示蓄水后的稳定系数小于蓄水前的稳定系数,结合监测结果来看,蓄水过程会导致坡体稳定性变差。

参考文献(References)

- [1] Fredlund D G, Rahardjo H. Soil mechanics for unsaturated soils [M]. New York: John Wiley & Sons, 1993: 159-164

- [2] 李晓,张学年,廖秋林.库水位涨落与降雨联合作用下滑坡地下水动力场分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(21):3714-3720 [Li Xiao, Zhang Xuenian, Liao Qiulin. Analysis of hydrodynamic field influenced by combination of rainfall and reservoir level fluctuation[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(21): 3714-3720]
- [3] 孙冬梅,朱岳明,张明进.库水位下降时的岸坡非稳定渗流问题研究[J].岩土力学,2008,29(7):1807-1812 [Sun Dongmei, Zhu Yueming, Zhang Mingjin. Research on unsteady seepage problem of slope due to drawdown of reservoir water level[J]. Rock and Soil Mechanics, 2008, 29(7): 1807-1812]
- [4] 吴琼,唐辉明,王亮清.库水位升降联合降雨作用下库岸边坡中的浸润线研究[J].岩土力学,2009,30(10):3025-3031 [Wu Qiong, Tang Huiming, Wang Liangqing. Analytic solutions for phreatic line in reservoir slope with inclined impervious bed under rainfall and reservoir water level fluctuation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(10): 3025-3031]
- [5] 刘才华,陈新从,冯夏庭,等.地下水对库岸边坡稳定性的影响[J].岩土力学,2005,26(3):419-422 [Liu Caihua, Chen Xincong, Feng Xiating, et al. Effect of groundwater on stability of slopes at reservoir slope[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(3): 419-422]
- [6] 刘红岩,秦四清.库水位上升条件下边坡渗流场模拟[J].工程地质学报,2007,15(6):796-801 [Liu Hongyan, Qin Siqing. Simulation of seepage field in slope slope due to reservoir water level change [J]. Journal of Engineering Geology, 2007, 15(6): 796-801]
- [7] 董金玉,杨继红,孙文怀等.库水位升降作用下大型堆积体边坡变形破坏预测[J].岩土力学,2011,32(6):1774-1780 [Dong Jinyu, Yang Jihong, Sun Wenhui, et al. Prediction of deformation and failure of a large-scale deposit slope during reservoir water level fluctuation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, 32(6): 1774-1780]
- [8] 刘新荣,傅晏,王永新,等.水-岩相互作用对库岸边坡稳定的影响研究[J].岩土力学,2009,30(3):613-616 [Liu Xinrong, Fu Yan, Wang Yongxin, et al. Stability of reservoir slope slope under water-rock interaction[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(3): 613-616]
- [9] 廖红建,高石穷,盛谦,等.渗透系数与库水位变化对边坡稳定性的影响[J].西安交通大学学报,2006,40(1):88-92 [Liao Hongjian, Gao Shihang, SHENG Qian, et al. Influence of permeability Coefficient and reservoir Water level variation on slope stability [J]. Journal of Xi'an Jiao Tong University, 2006, 40(1): 88-92]
- [10] 肖蕾,骆世.三峡库区某库岸边坡渗流及稳定性分析[J].水利水电技术,2014,45(2):108-111 [Xiao Lei, Luo Shiwei. Analysis on seepage and stability of a slope in Three Gorges Reservoir Area [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2014, 45(2): 108-111]
- [11] 夏敏,任光明,马鑫磊,等.库水位涨落条件下滑坡地下水渗流场动态特征[J].西南交通大学学报,2014,49(3):399-405 [Xia Min, Ren Guangming, Ma Xinlei, et al. Dynamic responses of groundwater seepage of landslide influenced by fluctuation of reservoir water level [J]. Journal of Southwest Jiao Tong University, 2014, 49(3): 399-405]
- [12] 郑颖人,时卫民,孔位学.库水位下降时渗透力及地下水浸润线的计算[J].岩石力学与工程学报,2004,23(18):3203-3210 [Zheng Yingren, Shi Weimin, Kong Weixue. Calculation of seepage forces and phreatic surface under drawdown conditions [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(18): 3203-3210]
- [13] 张友谊,胡卸文.库水位等速上升作用下岸坡地下水浸润线的计算[J].水文地质工程地质,2007,5:46-49 [Zhang Youyi, Hu Xiewen. Calculation of saturation line of groundwater under reservoir water table uniform rising [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2007, 5: 46-49]
- [14] 吴宏伟,陈守义,庞宇威.雨水入渗对非饱和土坡稳定性影响的参数研究[J].岩土力学,1999,20(1):1-14 [Wu Hongwei, Chen Shouyi, Pang Yuwei. Parametric study of effects of rain infiltration on unsaturated slopes [J]. Rock and Soil Mechanics, 1999, 20(1): 1-14]
- [15] Morgenstern N R, Price V E. The analysis of the stability of general slip surface [J]. Geotechnique, 1965, 15(1): 79-93
- [16] 王科,王常明,王彬,等.基于Morgenstern Price法和强度折减法的边坡稳定性对比分析[J].吉林大学学报(地球科学版),2013,43(3):902-907 [Wang Ke, Wang Changming, Wang Bin, et al. Comparative analysis on slope stability based on Morgenstern Price Method and Strength Reduction Method [J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2013, 43(3): 902-907]

Deformation Characteristics of Reservoir Slopes in the Initial Impoundment Period

XUE Xiu , LI Kai , HUANG Qiuxiang , XU Bo

(State Key Lab. of Geo-hazard Prevention and Geo-environment Protection / Chengdu University of Technology , Chengdu 610059 , China)

Abstract: With the rise of groundwater level , the stress field of reservoir slopes will adjust during reservoir filling. Coupled with the weakening role of water in the rock mass slopes , the slope may slide. To research on the deformation characteristics of reservoir slopes during reservoir filling , in this paper , a reservoir slope of large hydro-power station on the Yalong River in western Sichuan of China was discussed here. It used firsthand monitoring data in the region to analyze the deformation characteristics of the reservoir slopes , and combined the Geo - Studio (Slope/W & Seep/W) to analyze ground-water seepage and slope stability. It turned out that reservoir water infiltration in to the slope was a process from its out to core , from the leading edge to the rear in early days , so the deformation of reservoir slopes had lagged behind the reservoir water level. As the reservoir level rose , there wasn't enough time to infiltrate into the slopes , so weights of reservoir level at the foot of slope increased the factor of safety. When water infiltrated into the slopes , the weakening action of water decreased the factor of safety. The slope kept creep during this process. Numerical simulation and deformation analysis showed that water storage can reduce stability of slope. However , its deformation should be controlled within tolerances and was still in a stable state.

Key words: reservoir filling; reservoir slopes; deformation characteristic; stability