

文章编号: 1000-7598-(2005)增刊-029-04

库水位变化对边坡稳定性的影响

郭志华¹, 周创兵¹, 盛 谦², 周火明³

(1.武汉大学 水资源与水电工程学科国家重点实验室, 武汉 430072;

2.中国科学院武汉岩土力学研究所, 武汉 430071; 3.长江科学院, 武汉 430010)

摘 要: 为了研究库水位下降速度、库水位下降时间和渗透系数对边坡稳定性的影响, 本文结合某工程, 利用现有的程序对多种方案进行了模拟。结果表明: 库水位下降速度越大, 滑弧的深度越大, 比较容易发生深层滑动。边坡的安全系数分别随着库水位高程的减小和库水位下降时间的增加均出现先减小后增加的趋势。不同的库水位下降速度有不同的临界库水位和临界下降时间。渗透系数对边坡的稳定性影响较大, 渗透系数越大, 越有利于边坡的稳定。

关 键 词: 边坡; 稳定性; 库水位变化

中图分类号: TV 697.3⁺9

文献标识码: A

Influence of reservoir water level variation on slope stability

GUO Zhi-hua¹, ZHOU Chuang-bing¹, SHENG Qian², ZHOU Huo-ming³

(1.State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;

2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China;

3. Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: In order to study the influence on slope stability produced by the coefficient of conductivity, descendent speed and time of reservoir's water level, combined with a certain project, the numerical simulation of many schemes has been done. It is shown that the depth of the slip arc becomes bigger and the appearance of deep slide becomes easier with the bigger descendent speed of reservoir's water level. The tendency of slope's safety factor first becomes decrescent and then increscent with the decrease of the reservoir water level and the increase of the persistence of time. The critical reservoir's water level and critical persistence of time are different for different decrescent speeds of water level. The bigger the influence on the stability of the slope produced by the coefficient of conductivity and the bigger of coefficient of conductivity, the better to the stability of the slope.

Key words: slope; stability; reservoir water level variation

1 引 言

边坡失稳问题以及滑坡的稳定性问题已引起国内外广大学者的普遍关注^[1]。但是水库边坡和滑坡与一般的边坡和滑坡相比, 既有共性, 也有其特殊性。其特殊在于它的活动与库水位的升降有很大的关系^[2]。有资料表明: 水库水位变化对库岸稳定会产生较大的影响^[3, 4]: 在日本, 大约 60 % 的水库滑坡发生在库水位骤降时期, 其余 40 % 发生在水位上升时期, 包括初期蓄水。1963 年意大利著名的瓦

依昂水库岸坡就是水库蓄水后坡体内水压升高造成的。

岩土工程师不仅要研究兴建水库之前场地静止的工程地质条件, 还须预测水库兴建和使用过程中地质环境条件的变化, 如: 水库在蓄水过程中和蓄水后, 库区的许多滑坡将被水淹没; 在使用过程中, 若大坝内部的变形监测出现异常或超出允许值, 需要紧急泄水等等。在这些情况下, 由于初始的工程地质条件会发生变化, 需要研究库区边坡随水位变化的规律, 并为控制和防治工程地质问题提出切

实可行的措施。目前这方面的研究尚少。

本文对某库岸边坡在水位变化时该边坡的渗流和整体稳定性进行了分析。渗流分析采用有限单元法,可求得渗流场中任一点处的水头和其它渗流要素;在计算渗流作用力时,利用有限单元法对孔隙水压力场进行计算。有了有限单元法的应力计算结果后,计算出滑裂面上等效的下滑力和阻滑力,然后再按传统的刚体极限平衡法,求出各个相应的稳定安全系数,其中最小者即作为该边坡的稳定安全系数,作为边坡稳定性综合评判的依据。笔者用此方法,研究了该边坡的稳定系数与库水位、库水位下降时间、渗透系数的关系。

2 分析理论

2.1 渗流分析

二维非均质各向异性非稳定渗流控制方程是:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

式中 H 是总水头; k_x 是 x 方向的渗透系数; k_y 是 y 方向的渗透系数; Q 是施加的边界流量; t 是时间, m_w 是贮水曲线的斜率, γ_w 是水的重度。

将方程式 (1) 的右端变为 0, 此时非稳定渗流控制方程变为稳定渗流的控制方程。此时方程式可写为

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = 0 \quad (2)$$

式中的参数同上。

2.2 极限平衡分析

定义边坡的安全系数为滑动面上的抗滑力与滑动力之比。假设边坡的材料是满足 Mohr-Coulumb 准则, 且整个边坡的所有条块的安全系数相同; 假设岩土材料的凝聚力与内摩擦角对边坡的安全系数所起作用的大小相同。把滑体作为刚体, 按照极限平衡的原则进行受力分析 (见图 1), 推导可得该滑动面的安全系数。

由滑动面上面的法向方向作用力平衡, 并由安全系数的定义, 经过整理得安全系数为:

$$F_t = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - u \beta) \tan \phi' \cos \alpha)}{\sum N \sin \alpha + \sum kW - [D \cos \omega] \pm A} \quad (3)$$

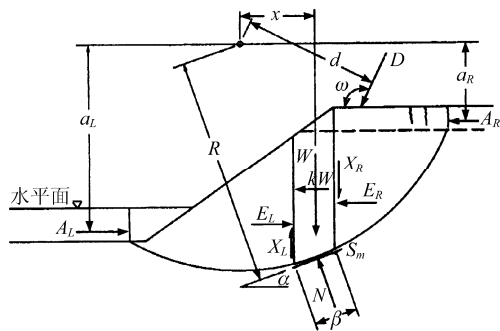


图 1 圆形滑动面时条块上作用力示意图

Fig. 1 Forces acting on a slice through a sliding mass with a circular slip surface

其中:

$$N = \frac{W + (X_R - X_L) - \frac{c' \beta \sin \alpha + u \beta \sin \alpha \tan \phi'}{F_t} + [D \sin \omega]}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F_t}} \quad (4)$$

式中 W 是宽度为 b 、高度为 h 的条块的重量; N 是条块底部的法向压力; S 是每个条块底部的切向力; E 是条块间水平压力; X 是条块间竖直方向的剪力; 其中 L 代表条块的左边和 R 代表条块的右边; D 是外部的线荷载; kW 是施加在条块质心上的水平地震荷载; R 是代表圆形滑动面的半径; x 是圆心滑动面的圆心与条块的中心线之间的距离; d 是圆心到外部线荷载的垂直距离; a 是圆心到水压力的合力之间的距离, A 是水压力的合力, ω 是线荷载与水平线之间的角度; α 是条块底部切线与水平线之间的夹角; β 是条块的底部长; c' 是有效凝聚力, ϕ' 是有效摩擦角; u 为孔隙水压力。

上式左右两端都含有 F_t , 所以需要进行迭代计算。计算时, 可以先假定的一个初值 (一般假定 $F_t = 1$), 求出 N ; 再代入式 (3), 求出新的 F_t , 如此反复迭代, 直到假定的 F_t 与算出的 F_t 非常接近为止。

2.3 分析步骤

由于本文在分析库水位变化对边坡稳定性的影响时, 主要涉及了孔隙水压力的问题, 在此给出了考虑孔隙水压力变化时, 边坡稳定性分析的分析步骤: 首先, 建立模型, 输入材料参数, 划分网格, 边界设定; 接着, 计算出模型中各节点的孔隙水压力, 并把此结果输入边坡稳定计算的模型中; 接着, 并进行稳定计算; 最后输出最危险滑动面以及安全系数。

3 工程实例

某库岸边坡位于红水河左岸,地形简单,山体宽厚。边坡区岩体地层简单,从上到下依次是第四系的冲积层、残坡积层;三叠系的灰岩,砂岩。该水库按正常蓄水位 400 m 设计,初期建设正常蓄水位 375 m,水库总库容 162 亿立方米;后期正常蓄水位 400 m,水库总库容 272 亿立方米。

3.1 计算模型

根据该水库的地质条件,建立地质模型,见图 2。取 x 轴与河流垂直,背离河流为正; y 轴为铅直方向,向上为正,底部高程为 0 m。计算中所用参数见表 1。

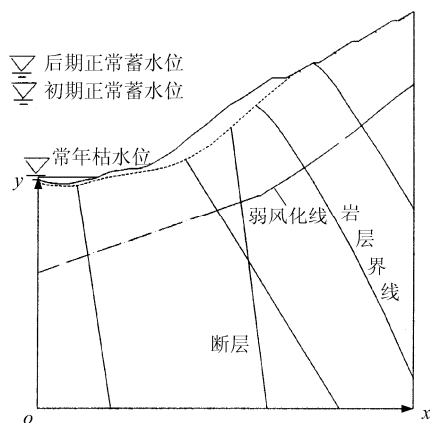


图 2 计算剖面图

Fig.2 Section for computation

表 1 计算中材料的参数

Table 1 Parameters of materials in computation

岩土类型	k_x / $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	k_y / $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$	干重度 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	湿重度 / $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	c' / MPa	φ' / $(^\circ)$
第四系	3.81	3.81	17.2	18.5	0.09	25
断层	1	1	25.3	26	0.02	10
灰岩	0.16	0.16	26.6	27.5	1.35	43
砂岩	0.1	0.1	26.3	27	1.21	53

计算中为了研究库水位下降速度,以及库水位下降时间对边坡安全系数的影响,特选择降速 $v=0.5 \text{ m/d}$, 1 m/d , 2 m/d 3 种方案;为了考虑不同渗透系数对边坡安全系数的影响,针对第四系岩层特选择两种不同的渗透系数(考虑降速 $v=1 \text{ m/d}$, 其它参数不变的情况);以及边坡中没有渗流的情况下。利用现有的程序对这些方案进行了模拟。

3.2 结果分析

3.2.1 滑弧变化

对于不同的库水位下降速度,在库水位刚开始下降时,滑弧的形状、半径以及深度相差不大;但

是对于不同的方案,随着时间的增加,由于库水位下降速度不同,造成自由面位置的不同,此时滑弧的形状、半径以及深度相差较大,不过,总体上滑弧圆心的位置变化不大。总的趋势是:库水位下降速度越大,滑弧的深度越大,此时,比较容易发生深层滑动;随着时间的增加,由于该边坡中的孔隙水压力消散,3 种不同方案的最终滑弧的位置、形状、深度以及半径趋于一致。

3.2.2 库水位下降速度对边坡稳定性的影响

由模拟的结果知:在该边坡中没有渗流的情况下,该边坡的安全系数为 1.89。当库水位降速为 2 m/d 时,库水位为 400 m 时该边坡的安全系数为 1.65,比天然边坡的安全系数下降了 13.7%;3 d 后,也就是库水位为 394 m 时该边坡的安全系数为 1.36,比库水位为 400 m 时的安全系数下降了 17.6%,比天然边坡的安全系数下降了 28.0%;8 d 后,该边坡的安全系数为 0.89,已经由稳定边坡变为不稳定边坡。由此可见,库水位下降时,边坡中的渗流对边坡的稳定起到了决定性的作用。

将各种计算方案的结果进行整理,由图 3 知:对于同一种库水位下降速度而言,边坡的安全系数随着时间的增加开始是一直减小,直到最低点后,此时的时间就是临界时间;之后,该边坡的安全系数随着时间的增加又有增大的趋势,但是此时的安全系数比开始时的安全系数要小。不同的降速有不同的临界时间。对于不同的库水位下降速度而言,如果库水位下降时间小于在最小的临界时间,那么在同一时间的情形下,库水位下降的速度越大,对应的安全系数越小。

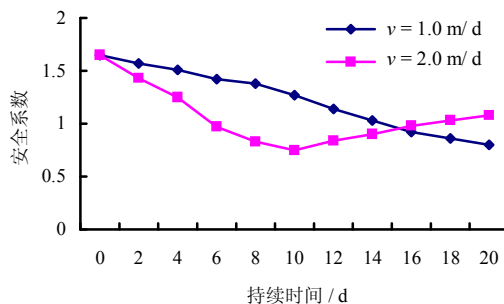


图 3 安全系数随持续时间的变化图

Fig.3 Relation between safety factor with persistent time of reservoir's water level

由图 4 知:对于同一种库水位下降速度而言,边坡的安全系数随着库水位的减小开始是减小,直到最低点后,此时的库水位就是临界库水位;之后,

该边坡的安全系数随着库水位的增加有增大的趋势。不同的降速有不同的临界库水位。

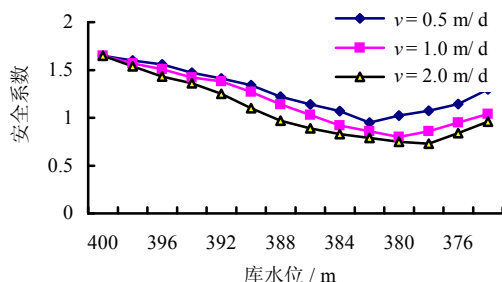


图4 安全系数随库水位的变化图
Fig. 4 Relation between safety factor and reservoir's water level

3.2.3 渗透系数对边坡稳定的影响

将不同渗透系数方案的模拟结果进行整理, 见图5。

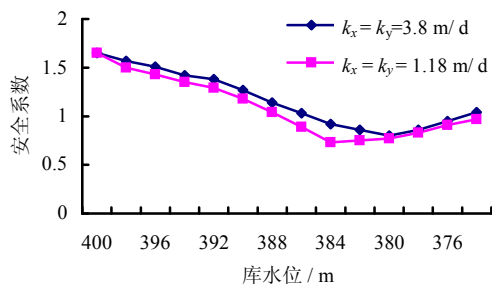


图5 不同渗透系数时安全系数随库水位的变化图($v=1$ m/d)
Fig. 5 Relation between safety factor with reservoir's water level and different coefficients of conductivity ($v=1$ m/d)

由该图知: 对渗透系数不同的方案而言, 同一库水位时, 渗透系数越大, 边坡的疏水能力越好,

渗流力对边坡的作用越小, 因而边坡的安全系数越大。对同一种渗透系数而言, 边坡的安全系数随着库水位的下降出现先减小后增大的趋势; 不同的渗透系数对应不同的库水位值。

4 结 论

本文结合某工程, 为研究库水位下降对边坡安全的影响, 选取多种方案进行了数值模拟。模拟结果表明:

(1) 库水位下降时, 边坡中的渗流对边坡的稳定性起到了决定性的作用。库水位下降速度越大, 滑弧的深度越大, 比较容易发生深层滑动。

(2) 库水位下降时, 边坡的安全系数分别随着库水位高程的减小、库水位下降时间的增加出现先减小后增加的趋势。不同的库水位下降速度有不同的临界库水位和临界下降时间。

(3) 渗透系数对边坡的稳定性影响较大, 渗透系数越大, 边坡越稳定; 边坡的安全系数随着库水位的下降出现先减小后增大的趋势。

参 考 文 献

- [1] 梁冰, 薛强, 王起新. 边坡失稳系统的岩体与水固流耦合作用机理研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2001, 12(1): 18—21.
- [2] 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, 3: 6—9.
- [3] 中村浩之. 论水库滑坡[J]. 水土保持通报, 1990, 10(1): 53—64.
- [4] 钟立勋. 意大利瓦依昂水库滑坡事件的启示[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1994, 5(2): 77—83.