

非稳定渗流作用的岩体边坡稳定非连续变形分析

沈振中¹, 姜媛媛², 王金男³

(1. 河海大学水利水电工程学院, 江苏 南京 210098; 2. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 四川 成都 610072; 3. 苏州市吴中区水利建筑安装工程有限公司, 江苏 苏州 215000)

摘要:建立了分析边坡非稳定渗流场的有限元模型,考虑库水位降落的非稳定渗流的影响,应用非连续变形分析方法分析了岩体边坡的变形规律,并确定了边坡断层的极限内摩擦角,利用传统安全系数的概念,分析了某水库水位降落时边坡的稳定性,得到了该边坡稳定安全系数随库水位降落的变化关系.结果表明,在现行水库运用方式下该边坡是稳定的.

关键词:岩体边坡;非稳定渗流;非连续变形分析;边坡稳定

中图分类号: TU457 文献标识码: A 文章编号: 1000-1980(2007)01-0039-03

非连续变形分析(DDA)法是由石根华^[1]提出的一种块体系统运动和变形分析数值方法.该方法可以详细地模拟岩体中的每一条断层和裂隙,结构面上的接触-非接触性态以及块体滑动和转动的大变形,从而对岩体的整体和局部稳定性做出较准确的评价.殷坤龙等^[2]应用 DDA 法对滑坡运动的全过程进行了数值模拟.周少怀等^[3]利用 DDA 程序分析了边坡大位移问题和地下开挖引起的地面变形,并与离散元计算结果进行了比较. Kim 等^[4]利用 DDA 法模拟开挖过程且考虑了静水压力的作用. Jing 等^[5-6]发展了流体与裂隙岩体的 DDA 耦合分析模型,探讨了裂隙水对岩体变形作用的影响,给出了流体压力对总体刚度矩阵和荷载向量作用的离散系数表达式.张国新等^[7]利用 DDA 考虑渗流与变形的耦合作用,研究了裂隙渗流对岩石边坡的影响.沈振中等^[8-9]利用 DDA 法模拟了某大型地下水电站厂房的开挖过程,研究了块体对洞室围岩稳定的影响,并在简化假定渗流场的情况下分析了水库水位骤降对岩体边坡稳定的影响.上述研究均没有考虑非稳定渗流作用的影响.本文在研究非稳定渗流场的基础上,应用 DDA 法分析了某水库水位降落时其边坡的变形特性和稳定安全性.

1 边坡概况

某水库的一处边坡,主要由微风化岩体组成,地质结构较为均一,边坡中存在断层.由于库水位不断变化,该边坡发生了蠕变变形.为此,在滑坡体顶部设立了一观测点并进行了位移观测,结果如图 1 所示.图 2 为该水库边坡的概化模型.

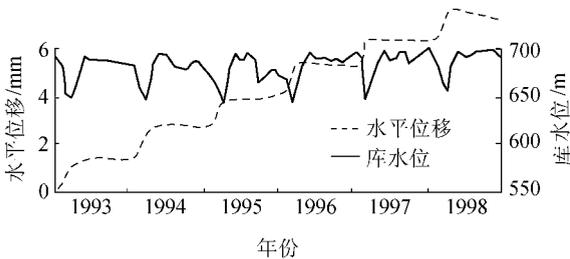


图 1 水库岩体边坡顶部一测点水平位移实测曲线
Fig.1 Measured horizontal displacement of a point on the top of reservoir rock slope

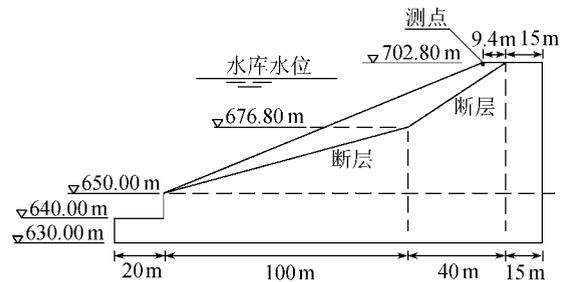


图 2 水库岩体边坡概化模型
Fig.2 Generalized model of reservoir rock slope

2 渗流分析

由图 1 可知,1993 年 2~3 月水库水位降落速约为 0.5 m/d,选取该时段进行渗流分析.该时段初始水位为

690 m 边坡另一侧山体地下水位为 702.8 m. 断层滑动带设为厚 0.2 m 的多孔介质,按连续介质考虑岩体,建立有限元模型.应用非稳定渗流理论模拟库水位下降过程中边坡内的非稳定渗流场,得到各时刻边坡内的地下水位势分布,由地下水渗流位势场分析可得各时刻滑动面上水头压力的分布.图 3 给出了边坡剖面在库水位降至 680.00 m 时的等压力水头分布,图 4 给出了此时断层滑动面上的水头压力.

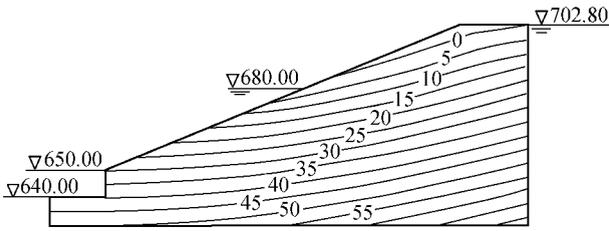


图 3 库水位为 680.00 m 时的边坡等压力水头线(单位: m)

Fig.3 Isoline of piezometric head of rock slope at reservoir water level of 680.00 m

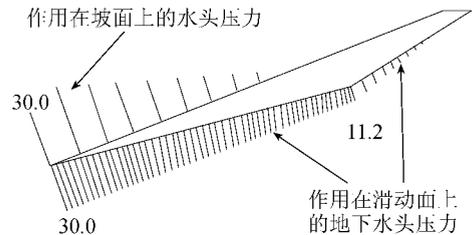


图 4 库水位降落至 680 m 时作用在滑动面上的水头压力(单位: m)

Fig.4 Water head pressure on sliding face when reservoir water level decreased from 690.00 m to 680.00 m

3 稳定分析评价

3.1 力学参数反演

根据水库边坡实测位移曲线,应用可变容差法反演岩体的变形特性参数^[10].反分析得到的实测位移与计算位移的比较如图 5 所示,其中计算位移是将各时段滑动面上水压力变化作为荷载作用在滑动体上分时段计算累加获得的.由于计算值与实测值的初始位移并不相同且实测位移包括了蠕变变形,而 DDA 模型未考虑蠕变变形,单纯比较它们的绝对值并无实际意义,所以,这里考虑同一时间段内的位移增量.由图 5 可知,位移计算值比实测值稍大且变形趋势一致.因此,反分析得到的力学参数基本符合实际.边坡力学参数反演结果如表 1 所示.

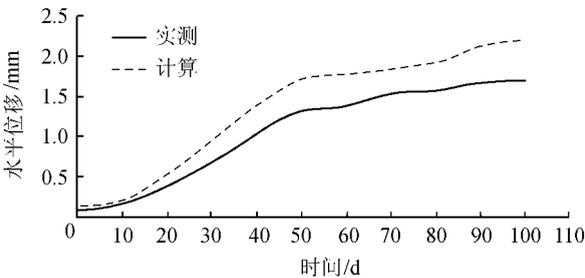


图 5 边坡某一测点实测位移与计算位移的比较

Fig.5 Comparison of measured and calculated displacements at a point on rock slope

表 1 岩体力学参数

Table 1 Mechanical parameter of rock mass

材料参数	自然密度 ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	饱和密度 ρ_{sat} ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	黏聚力 c /kPa	内摩擦角 φ ($^{\circ}$)	弹性模量 E /GPa	泊松比 μ
岩体	1900	2100			24.5	0.2
断层			25.0	35.4		

3.2 稳定分析评价

为了分析和评价岩体边坡的稳定性,首先需要确定极限摩擦角,即能使滑动体保持稳定的最小摩擦角.但是,DDA 法不能直接给出极限摩擦角,而只能给出每一个块体随时间变化的应力和位移.对于某一给定的块体系统,如果黏聚力和内摩擦角等材料参数发生变化,滑动体的位移也将发生变化.通过某一点不同情况下位移变化的分析,可以确定滑动面的极限内摩擦角^[9].在确定极限内摩擦角后,可以按下式计算安全系数 F_s .

$$F_s = \tan \varphi_A / \tan \varphi_L \quad (1)$$

式中: φ_A ——实际内摩擦角; φ_L ——极限内摩擦角.

滑动面上的地下水压力荷载按非稳定渗流分析得到的水头压力考虑.采用 DDA 法分析岩体边坡的稳定性.时间步数取 200,最大容许位移增量取 0.000 5.边坡某一测点不同库水位时的水平位移变化过程如图 6 所示.相应的安全系数变化过程如图 7 所示.计算结果表明,当库水位降速为 0.5 m/d 时,随着水库水位的下降,边坡测点水平位移不断增大,经过 20 d,水位降到

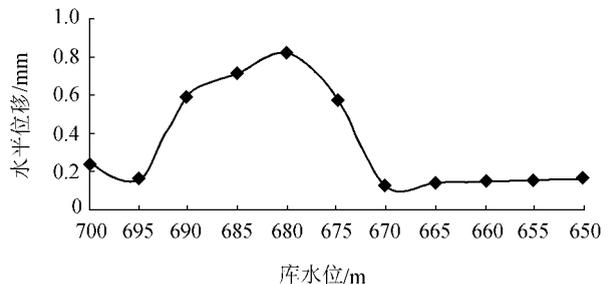


图 6 不同库水位降落时边坡某一测点的水平位移变化过程

Fig.6 Horizontal displacement of a point on rock slope during different falling of reservoir water level

680 m 左右时, 测点水平位移增幅明显减小, 临界时间即为 20 d。此后库水位虽继续下降, 但渗流浸润面已变得较平缓, 渗流作用影响减小, 因此边坡位移减小, 其稳定安全性有所提高。

4 结 论

滑坡体的运动是一个集滑动、转动、拉张等方式的复杂运动过程, 传统的极限平衡计算和有限元分析均无法描述滑坡的运动学特点和运动过程, 而 DDA 法可以较好地模拟、分析和评价岩体边坡的稳定性。

本文应用非稳定渗流理论建立了考虑非稳定渗流影响的岩体边坡非连续变形分析模型, 并结合某水库边坡的变形监测结果分析了库水位下降时边坡的变形规律, 确定了边坡稳定的极限内摩擦角, 评价了边坡的稳定性, 得到了该边坡稳定安全系数与库水位的关系。结果表明, 在现行水库运用方式下该边坡是稳定的。

参考文献:

- [1] 石根华. 数值流形方法与非连续变形分析[M]. 裴觉民, 译. 北京: 清华大学出版社, 1997.
- [2] 殷坤龙, 姜清辉, 汪洋. 新滩滑坡运动全过程的非连续变形分析与仿真模拟[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(7): 959-962.
- [3] 周少怀, 杨家岭. DDA 数值方法及工程应用研究[J]. 岩土力学, 2000, 21(2): 137-140.
- [4] KIM Y, AMADEI B, PAN E. Modeling the effect of water, excavation sequence and rock reinforcement with discontinuous deformation analysis[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 1999, 36: 946-970.
- [5] JING Lan-ru, MA Yue, FANG Zu-lie. Modeling of fluid flow and solid deformation for fractured rocks with discontinuous deformation analysis[J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 2001, 38: 343-355.
- [6] JING Lan-ru. Formulation of discontinuous deformation analysis-animplicit discrete element model for block system[J]. Engineering Geology, 1998, 49: 371-381.
- [7] 张国新, 武晓峰. 裂隙渗流对边坡稳定的影响——渗流、变形耦合作用的 DDA 法[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(8): 1269-1275.
- [8] 沈振中, 倪治斌, 赵坚. 水工洞室围岩稳定性的非连续变形分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(增刊 1): 2299-2303.
- [9] 沈振中, 大西有三. 基于非连续变形分析的水库边坡稳定分析方法[J]. 水利学报, 2004(3): 117-122.
- [10] 沈振中. 三维黏弹塑性位移反分析的可变容差法[J]. 水利学报, 1997(9): 66-70.

Discontinuous deformation analysis of rock slope stability under unstable seepage flow

SHEN Zhen-zhong¹, JIANG Yuan-yuan², WANG Jin-nan³

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;

2. Chengdu Hydroelectric Investigation & Design Institute, Chengdu 610072, China ;

3. Suzhou Wuzhong Water Conservancy Construction and Installation Co. Ltd, Suzhou 215000, China)

Abstract: A finite element model for rock slope was established for analyzing the unstable seepage flow field. In consideration of the effect of unstable seepage flow during the falling of the reservoir water level, the deformation regulation of rock slope was analyzed by the discontinuous deformation analysis (DDA), and the ultimate inner friction angle of the fault was determined. Based on the conventional concept of the safety factor, the stability of rock slope during the falling of the reservoir water level was analyzed, and the relationship between the safety factor of slope stability and the speed of the falling of the reservoir water level was obtained. It is shown that the slope is stable under the current reservoir operation mode.

Key words: rock slope ; unstable seepage flow ; discontinuous deformation analysis ; slope stability

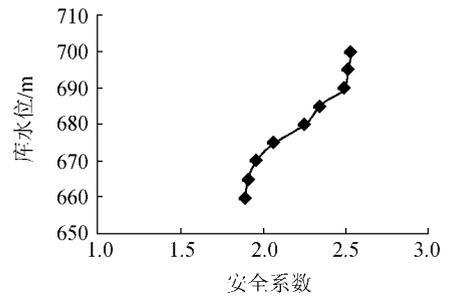


图 7 不同库水位降落时边坡安全系数变化曲线

Fig. 7 Safety factor of rock slope during different falling of reservoir water level