

DOI:10.3969/j.issn.1004-4701.2018.03.09

# 反倾岩质库岸边坡渗流稳定性数值分析

郑尚涛

(江西省鹰潭市水利电力勘察设计院,江西 鹰潭 335000)

**摘要:**在库水渗流作用下,水位变化会产生非稳定渗流,土体的渗透性质会影响土体中水压力分布.利用有限元 Phase2 软件,对不同水位情况下的反倾岩质库岸边坡进行渗流分析,研究库水水位变化速率和滑体渗透系数对岸坡稳定性的影响.当滑体渗透系数一定时,库水位变化速率越大,岸坡安全系数变化越明显.当库水位变化速率一定时,滑体渗透系数越小,岸坡安全系数变化越明显.当库水位下降速率越大,滑体渗透系数越大时,岸坡最容易发生失稳滑移破坏.

**关键词:**反倾岩质库岸边坡;稳定性分析;渗流稳定性数值分析

**中图分类号:**TV621 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-4701(2018)03-0191-06

## 0 引言

许多研究及统计资料表明,影响库岸边坡稳定性失稳破坏的重要因素是地下水.地下水的渗流作用会影响边坡内的渗流场变化,并随之影响岸坡的稳定性<sup>[1-3]</sup>.为了确定浸润面位置,众多学者采用解析方法<sup>[4]</sup>对其进行了研究,目前多采用数值模拟方法<sup>[5]</sup>对其进行工程计算.

库水水位的变化对坡体稳定性影响很大,水位的变化导致土体孔隙水压力发生变化,而土体的渗透系数也严重影响着土体内部水压力的变化,研究库水水位和土体渗透系数变化对坡体稳定性研究十分重要<sup>[6,7]</sup>.

本文利用 Phase2 软件,对反倾岩质库岸边坡进行渗流分析,研究库水水位变化速率和滑体渗透系数对岸坡稳定性的影响.

## 1 基本渗流理论

地下水的流动可以通过达西定律进行描述,在  $x-y$  平面上可以写成:

$$q_x = -k_x \frac{\partial \mu}{\partial x}, q_y = -k_y \frac{\partial \mu}{\partial y} \quad (1)$$

其中,总水头  $\mu$  可以写成下式:

$$\mu = y - \frac{p}{\gamma_w} \quad (2)$$

式中: $\mu$  为总水头值; $y$  为竖直高度; $p$  为孔隙水压力; $\gamma_w$  为水的重度.

除此之外,还定义了一个孔隙水压力水头  $\mu_p$ :

$$\mu_p = -\frac{p}{\gamma_w} \quad (3)$$

当进行瞬态分析时,其连续性方程为:

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x \frac{\partial \mu}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y \frac{\partial \mu}{\partial y}) + c \frac{\partial \mu}{\partial t} + Q = 0 \quad (4)$$

式中: $k_x, k_y$  分别为土体  $x, y$  方向的渗透系数; $Q$  为边界流量; $t$  为时间参数.

上式中左端第三项中把水头值的变化通过有效容量  $c$  和单元体内含水率的变化联系起来.和饱和土不同的是,非饱和土的有效容量  $c$  和非饱和土渗透系数的大小取决于土体中含水率和毛细力的大小.

有效容量  $c$  和渗透系数张量  $K$  的表达式为:

$$c = c_{sat} + n \frac{dS(\mu_p)}{d\mu_p} \quad (5)$$

$$K = k_{rel}(S) \cdot K_{sat} \quad (6)$$

采用有限元程序进行安全系数的求解,可以通过程序提供的强度折减计算功能实现.其方法是不断减小强度参数  $\tan\varphi$  和  $c$ ,直到计算模型发生破坏.此时系数  $M_{fs}$  定义为强度折减系数,其表达式如下:

$$M_{fs} = \frac{\tan \varphi_{input}}{\tan \varphi_{reduced}} = \frac{c_{input}}{c_{reduced}} \quad (7)$$

收稿日期:2018-02-26

作者简介:郑尚涛(1985-),男,大学本科,工程师.

式中： $\varphi_{input}, c_{input}$  为程序在定义材料属性时输入的强度参数值； $\varphi_{reduced}, c_{reduced}$  为在分析过程中用到的经过折减后的强度参数值。

程序在开始计算时默认  $M_{fs} = 1$ ，然后  $M_{fs}$  按设置的数值递增，直至计算模型发生破坏。此时，非线性有限元静力计算将不收敛，对应的强度折减系数  $M_{fs}$  值即为安全系数值。

## 2 模型的建立及参数

某库岸在水库蓄水、大气降雨等不利因素作用下，处于欠稳定~不稳定状态，可能产生推移型、剥蚀侵蚀型库岸，产生塌岸破坏在所难免。因此，开展该段库岸的治理工作十分必要。图1为滑坡全貌图。

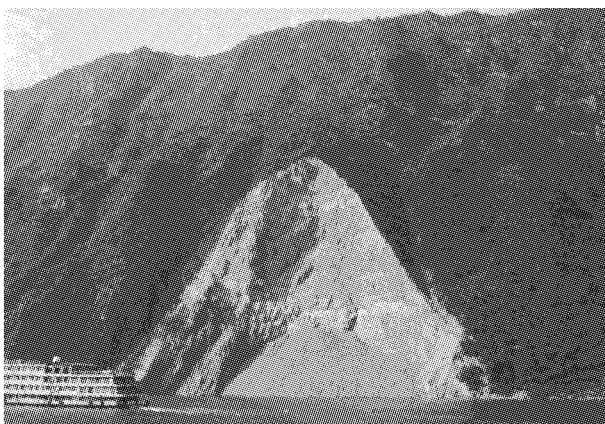


图1 边坡全貌图

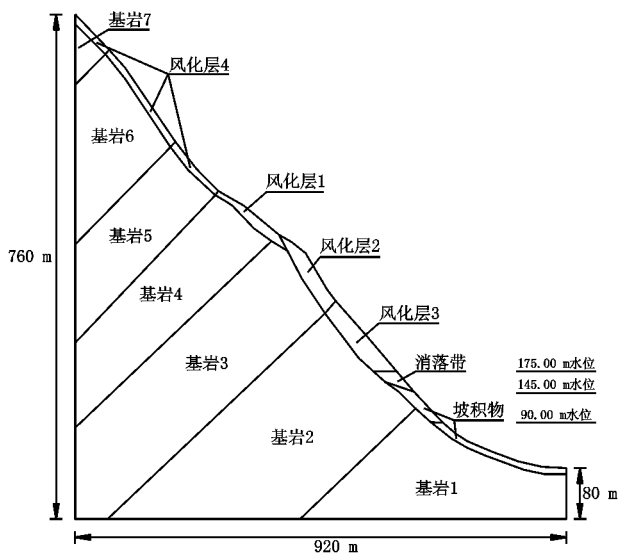


图2 坡体地质剖面图

对研究区勘察资料进行整理，选取库岸的某个典型断面进行分析，对坡面进行适当简化，图2为坡体地质剖面图。

水库蓄水后，库水水位在 145.00 m 到 175.00 m 之间变化，库岸边坡每年都会经历一次升降水位变化过程，极大地影响了岸坡的水文地质环境，消落带长期遭受干湿循环作用，岩体强度不断降低，岩体内部结构发生改变，消落带岩体的软化作用将会导致整个坡体的稳定性发生变化。图3为消落带全貌图。

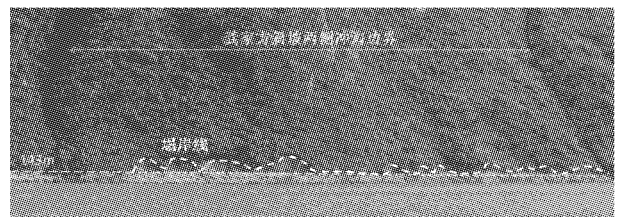


图3 消落带全貌图

消落带以上的岩体由于长期的风化作用，岩土体物理力学参数也出现了一定程度的降低，该库岸边坡的岩体结构主要为灰岩，基岩为弱风化灰岩，风化层为强风化灰岩，依据相关试验以及规范<sup>[8]</sup>，对岩土体相关物理力学参数进行经验取值，表1为坝坡相关的物理力学参数。

表1 坡体相关物理力学参数

岩性	岩体容重 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	内摩擦角 $\varphi/(\text{°})$	黏聚力 /kPa	弹性模量 /MPa	泊松比
基岩	27	36	800	45 000	0.10
强风化灰岩	26	32	180	5 100	0.20
消落带	21	24	150	4 000	0.20
坡积物	23	28	50	70	0.28

设计库水位范围为 145.00 m ~ 175.00 m，水位落差为 30.00 m，对研究区岸坡某个典型断面进行分析，拟采用有限元软件 Phase2 对岸坡渗流场进行数值分析，研究库水位升降速率和滑体渗透系数对岸坡稳定性的影响，改变库水位的升降速率和滑体渗透系数，在此将滑体设置为风化层和消落带，库水位的升降速率分别为  $v = 0.20 \text{ m/d}$ 、 $v = 0.40 \text{ m/d}$ 、 $v = 0.60 \text{ m/d}$ 、 $v = 1.00 \text{ m/d}$ 、 $v = 2.00 \text{ m/d}$ ，滑体渗透系数分别为  $k = 0.10$ 、 $k = 1.00$ 、 $k = 10.00$ 。图4为有限元计算模型。

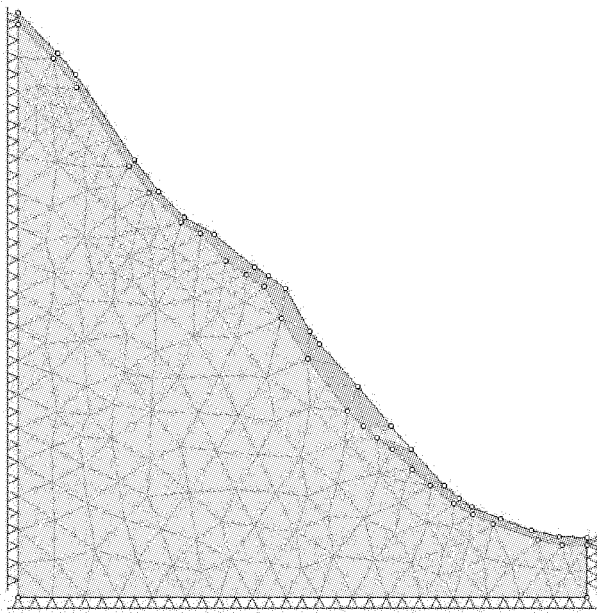
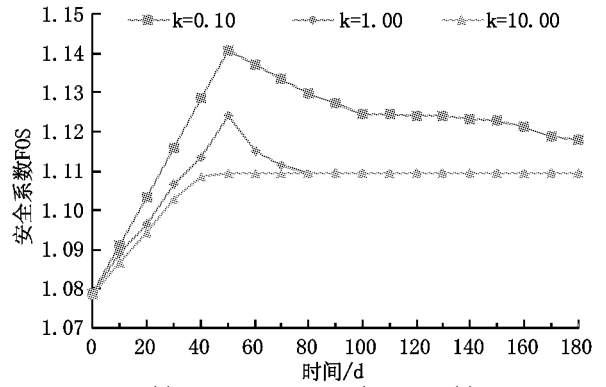


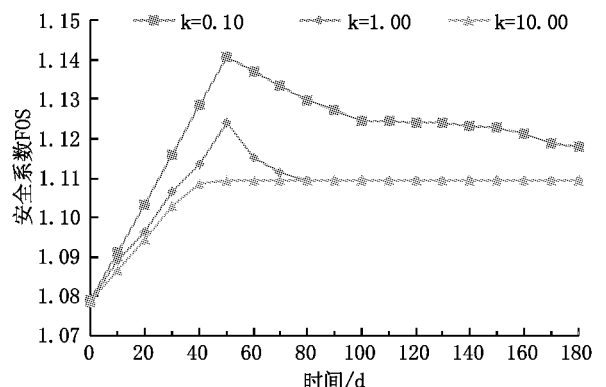
图4 有限元计算模型

### 3 库水位升降速率变化

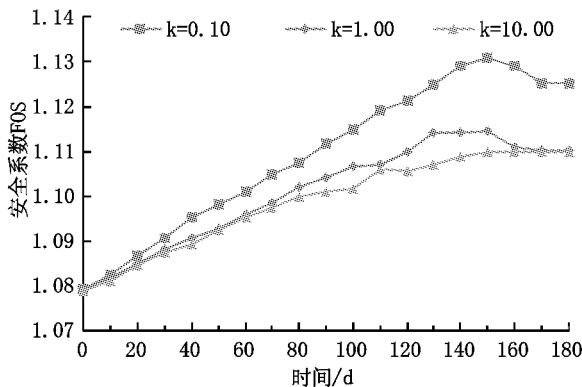
#### 3.1 库水位上升时



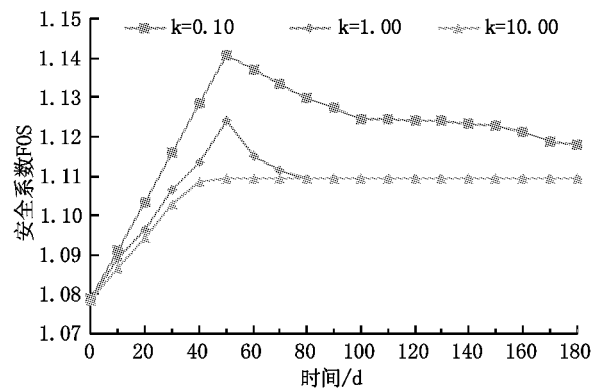
(c) 145.00m~175.00 m (v=0.60 m/d)



(d) 145.00m~175.00 m (v=1.00 m/d)



(a) 145.00m~175.00 m (v=0.20 m/d)



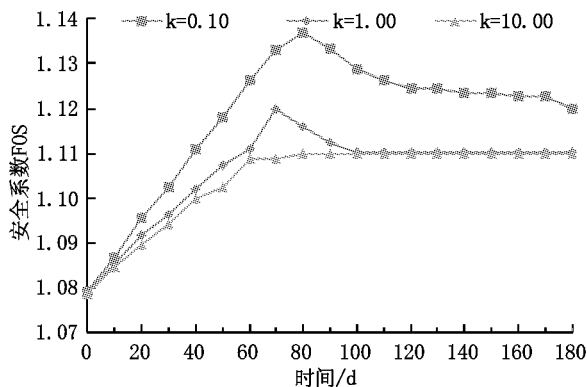
(e) 145.00m~175.00 m (v=2.00 m/d)

图5 库水位上升时安全系数随时间变化曲线

从图5中可以看出,库水位上升过程中,当水位上升速度一定时,滑体渗透系数越小,岸坡的安全系数越大;岸坡的安全系数随着库水位的上升呈现先增大后减小的趋势,最后趋于平稳,但最终安全系数比最初安全系数大;库水位上升速率一定时,滑体的渗透系数越小,岸坡安全系数的增加速率越大。

#### 3.2 库水位下降时

从图6中可以看出,库水位下降过程中,当水位下降速度一定时,滑体渗透系数越大,岸坡的安全系数也



(b) 145.00m~175.00 m (v=0.40 m/d)

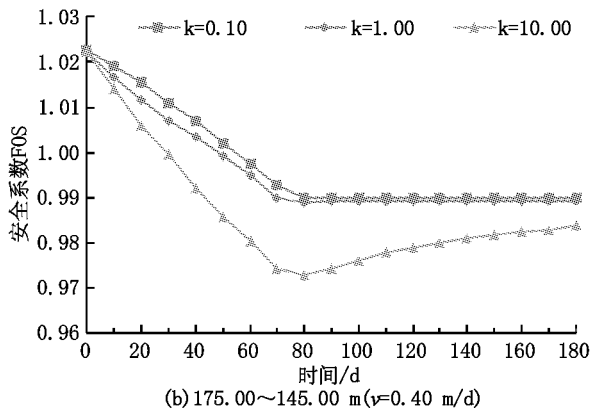
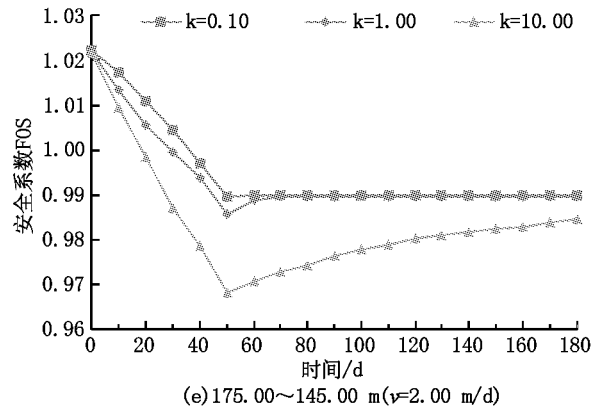
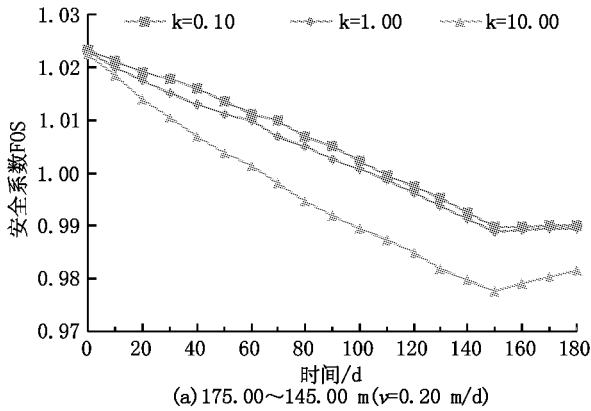
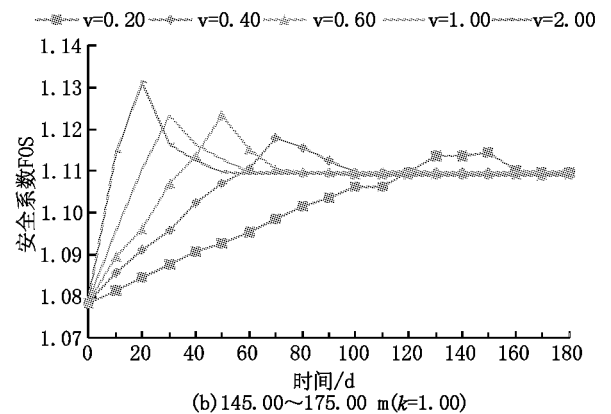
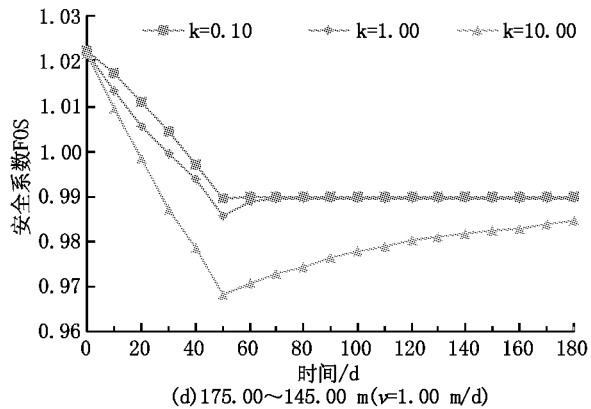
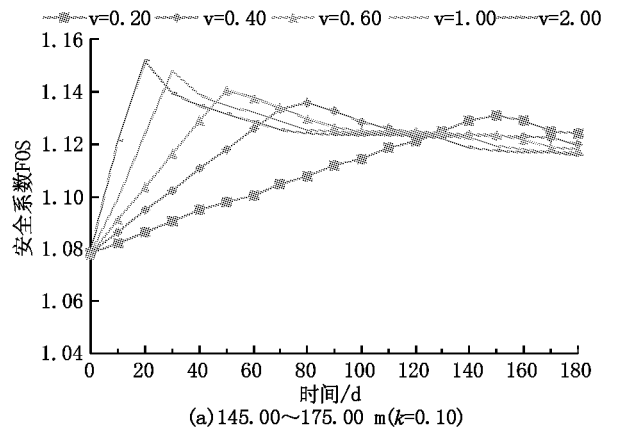
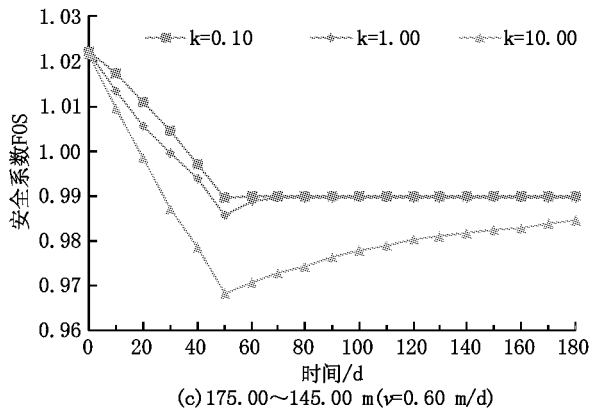


图6 库水位下降时安全系数随时间变化

越大;岸坡的安全系数随着库水位的上升呈现先减小后增大的趋势,最后趋于平稳,但最终安全系数比最初安全系数小;滑体的渗透系数越小,岸坡安全系数的减小速率越小。

## 4 滑体渗透系数变化

### 4.1 库水位上升时



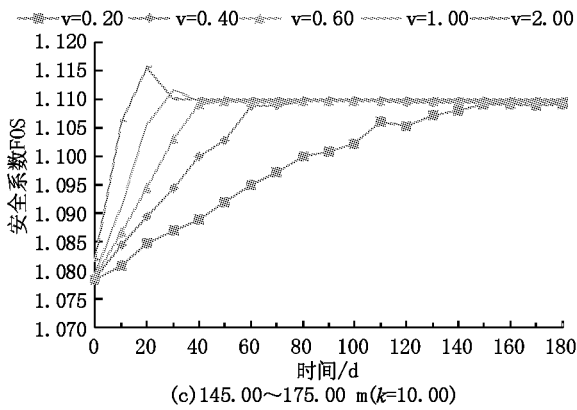
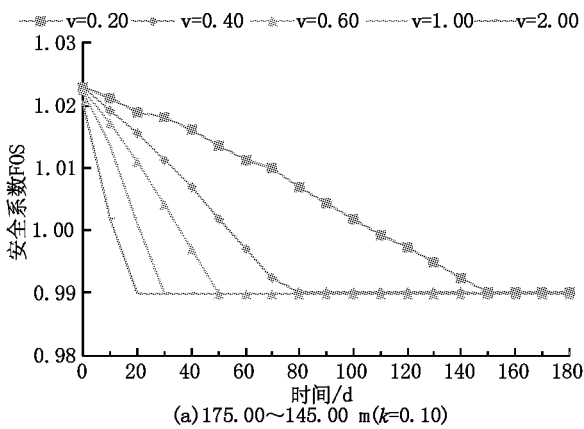


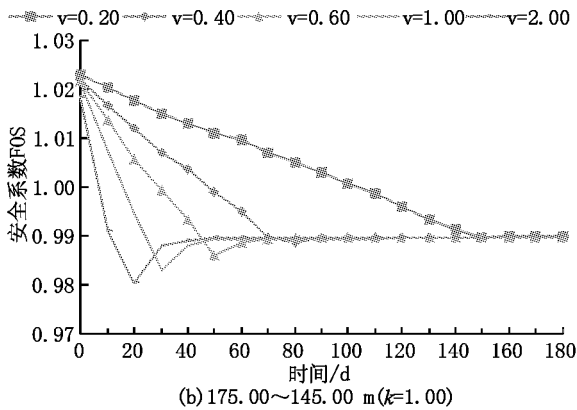
图 7 库水位上升时安全系数随时间变化

从图 7 中可以得到:库水位上升过程中,滑体渗透系数和库水位上升速率一定时,岸坡安全系数均呈现先增大后减小的趋势,最后安全系数趋于平稳,但最终安全系数比最初安全系数大;当滑体渗透系数一定时,库水位上升速率越大,岸坡安全系数变化越明显。

#### 4.2 库水位下降时



(a) 175.00~145.00 m (k=0.10)



(b) 175.00~145.00 m (k=1.00)

从图 8 中可以得到:库水位下降过程中,滑体渗透系数和库水上升速率一定时,岸坡安全系数均呈现先减

小后增大的趋势,最后安全系数趋于平稳,但最终安全系数比最初安全系数小;当滑体渗透系数一定时,库水位下降速率越大,岸坡安全系数变化越明显。

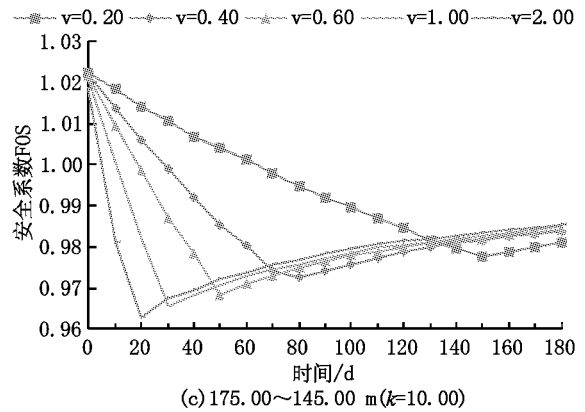


图 8 库水位下降时安全系数随时间变化

## 5 结论

利用有限元 Phase2 软件,对反倾岩质库岸边坡进行渗流分析,研究库水水位变化速率和滑体渗透系数对岸坡稳定性的影响。

当滑体渗透系数和库水位上升速率一定时,库水位上升时,岸坡安全系数呈现先增大后减小的趋势,最后安全系数趋于平稳,但最终安全系数比最初安全系数大;库水位下降时,岸坡安全系数呈现先减小后增大的趋势,最后安全系数趋于平稳,但最终安全系数比最初安全系数小。

当库水位下降速率越大,滑体渗透系数越大时,岸坡最容易发生失稳破坏。

### 参考文献:

- [1] 郑慧,邵子叶,韩文喜,等.暴雨与库水位变化条件下晒盐坝滑坡渗流和稳定性数值模拟[J].地质灾害与环境,2012,23(1):58~63,95.
- [2] 刘广宁,黄波林,陈小婷,等.降雨和库水位升降对岩质岸坡的影响[J].长江流域资源与环境,2013,22(3):353~358.
- [3] 周永强,盛谦.库水位变化和降雨作用下付家坪子高陡滑坡稳定性研究[J].长江科学院院报,2014,31(2):57~61,67.
- [4] 吴琼,唐辉明,王亮清,等.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):90~94.
- [5] 王小东,戴福初,黄志全.基于 DEM 的“两段法”水库塌岸预测研究[J].工程地质学报,2016,24(1):0035~0043.
- [6] 郑颖人,唐晓松,赵尚毅,等.有限元强度折减法在涉水岸坡工程中的应用[J].水利水运工程学报,2009,12(4):0001~0010.
- [7] 肖志勇,邓华锋,李建林.库水位间歇性下降对堆积体滑坡稳定性的

影响[J]. 长江科学院院报, 2016, 33(8): 114 ~ 119.

[8] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑边坡工程技术规范 (GB50330-2013)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.

编辑: 张绍付

## Numerical analysis of seepage analysis on anti - dip rock bank slope

ZHENG Shangtao

(Yingtan Municipal Water Conservancy and Electric Power Survey and Design  
Institute of Jiangxi Province, Jiangxi Yingtan 335000, China)

**Abstract:** Under the action of reservoir water seepage, the change of water level will produce unsteady seepage, and the seepage property of soil will influence the distribution of water pressure. Seepage analysis is carried out on anti - dip rock bank slope under different water level by using the finite element Phase2 software. The influence of slope stability is studied under different water level variation rate and slip permeability coefficient. When the permeability coefficient of landslide is certain, the greater variation rate of reservoir water level, the more obvious variation of safety factor. When the variation rate of reservoir water level is certain, the smaller permeability coefficient of landslide, the more obvious variation of safety factor. When the falling rate of reservoir water level and the permeability coefficient of landslide is larger, the bank slope is more likely to be damaged.

**Key words:** Anti - dip rock bank slope; Stability analysis; Numerical analysis of seepage analysis

翻译: 郑尚涛

---

## 长江委督导江西省中小河流治理工作

5月29~31日,由长江委规计局副巡视员徐国新率领的中小河流治理督导组一行4人,对我省中小河流治理工作进行督导。省水利厅副巡视员袁国荣陪同督导。

督导组一行先后抽查察看了南昌市青山湖区幸福渠治理工程、安义县把口堤除险加固工程和靖安县县城(南岸)防洪工程3个项目,认真了解我省中小河流治理组织实施和总体进展情况。督导组查阅了工程建设有关资料、勘测设计成果及建设管理相关文件,与工程建设、设计、监理、施工单位负责人进行了交流。

督导组对我省中小河流治理项目建设给予了充分肯定,认为我省高度重视中小河流治理工作,工作机制建立健全,工程调度措施得力、工作总体进展较顺利、建后管护成效显著。同时也指出了存在的一些问题,对下一步工作提出了建议:一是要加快工程前期工作,二是要高度重视生态环保工作,抓好生态环保措施落实,三是要抓好安全施工、加强工程应急预案和度汛方案规范管理工作,四是要加快施工进度,抓紧工程验收,五是要做好项目管理系统填报工作,及时更新数据,做到系统信息准确完善。

袁国荣对督导组对江西中小河流治理工作的指导表示感谢,同时表示将按照督查组提出的问题,认真整改。并做到举一反三,避免出现同样的问题,切实抓好我省中小河流治理工作。

省河湖局,南昌、宜春市水利(水务)局,抽查项目所在地政府、水利局负责人陪同督导。

(江西省河湖局 韩志宇)