

某面板堆石坝渗流控制措施有效性评估

万小强,唐少龙,熊 威

(江西省水利科学研究院,江西 南昌 330029)

摘 要:本文基于 ANSYS 运用三维稳定渗流有限元法对某面板堆石坝进行渗流稳定性分析,研究了渗控措施设计方案下工程的渗流场分布及渗透稳定性,评价渗控措施的有效性,并对混凝土面板和防渗帷幕的渗透系数的变化对大坝渗流场的影响进行模拟。研究结果表明:大坝防渗系统防渗效果较好,有效的控制了坝内渗流场的分布;混凝土面板及防渗帷幕渗透系数的改变对渗流场影响较大,在渗控系统的施工过程中须严格控制施工质量。

关键词:面板堆石坝;三维稳定渗流有限元法;渗流分析;渗流场

中图分类号:TV223.4 **文献标识码:**B **文章编号:**1004-4701(2017)03-0188-05

0 引 言

中国自 20 世纪 80 年代开始学习和引进国外的技术和经验,同时重视自主创新的科学研究和技术开发,以西北口坝作为试点工程开启了混凝土面板堆石坝的建设^[1]。这种坝型在实践中体现出来的施工方便、安全可靠、造价较低等优点,深受坝工界的青睐,经常成为首选的比较坝型。

混凝土面板堆石坝工程建成及运行过程不仅受变形和稳定性的影响,地下水渗流与控制问题也极为显著^[2]。其中,渗流问题主要表现在如下两个方面:一是发生在工程建设过程中扰动较为强烈^[3],可能会对施工质量直接造成影响,甚至导致灾难的发生;二是在运行期间会发生库水渗漏、产生不利荷载,影响工程正常运行,甚至导致溃坝事故的发生。国内外因渗流原因造成的工程失事现象时有发生。1976 年美国 Teton 坝发生溃决,其原因是由于水流通过岩石裂缝到达齿槽时产生了巨大的水压,在齿槽内部的岩土体内发生了水力劈裂现象,致使齿槽土体管涌;1998 年新疆喀什一级大坝由于洪水漫顶引起了溃坝,给人民生命安全和国家财产造成了巨大的损失;锦屏一级水电站左岸坝基 1 595 m 高程廊道在第二阶段蓄水过程中发生异常涌水现象,对水库蓄水决策和工程安全产生了不利影响^[4,5]。由此

可见,水利水电工程中地下水渗流问题对工程安全运行有着巨大的影响,在工程设计及后期运营过程中必须充分考虑地下水渗流的作用。

本文在某混凝土面板堆石坝渗控结构的基础上,运用 ansys 有限元分析软件建立了典型坝段三维有限元渗流分析模型,分析工程所采取的渗控方案的有效性及相关部位的渗透稳定性,并对混凝土面板和防渗帷幕进行渗透参数敏感性分析,揭示其变化对工程渗流场的影响。

1 工程概况

某面板坝位于官渡河中下游,坝址以上流域面积为 2 155 km²,混凝土面板堆石坝坝顶高程 524.30 m(黄海高程,下同),最大坝高 158.30 m,坝长 465.00 m,水库正常蓄水位为 520.00 m,校核洪水位 523.89 m($P=0.02\%$),总库容 8.30×10^8 m³,电站总装机容量 18.00×10^4 kW。水电站工程为 2 等工程,工程规模为大(2)型。河床及两岸趾板均座落在微风化和弱风化基岩上。上游坝坡 1:1.4,下游综合坝坡 1:1.5。

2 渗流理论

根据 Darcy 定律和水流连续性方程,稳定渗流微分

收稿日期:2017-03-20

作者简介:万小强(1991-),男,硕士,助理工程师。

方程为：

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_j}) = 0$$

须满足：

$$\begin{cases} h = \bar{h} & \text{在 } \Gamma_h \text{ 上} \\ q_n = -k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_i} n_j & \text{在 } \Gamma_q \text{ 上} \\ q_n = k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_i} n_j = h = z & \text{在 } \Gamma_f \text{ 上} \\ q_n = k_{ij} \frac{\partial h}{\partial x_i} n_j < h = z & \text{在 } \Gamma_s \text{ 上} \end{cases}$$

式中， x_i, x_j 均为三维整体坐标； k_{ij} 为坝址区岩体渗透张量； h 为节点水头； $\bar{h}$ 为已知水头； q_n 为法向流量，且流出为负； n_j 为边界上单位外法线向量； z 为位置高程； Γ_h 为水头边界； Γ_q 为流量边界； Γ_f 为渗流自由面； Γ_s 为自由溢出边界。

3 计算模型

3.1 有限元计算模型

根据该面板坝工程的主要构造形式及渗控系统的布置情况,选取河床中心(最大坝高处)位置作为典型坝段,构建三维有限元渗流分析模型,如图 1 所示。模型计算范围顺河向以坝基帷幕为基准向上游延伸 300.00 m,下游坝脚处向下游侧延伸 300.00 m;模型宽取 50.00 m;模型底部高程取 -34.00 m。整个计算域采用六面体等参单元进行剖分,共划分单元 27 485 个,节点 33 954 个。模型对概化的地层、混凝土面板及防渗帷幕等工程结构采用实体单元进行了模拟。

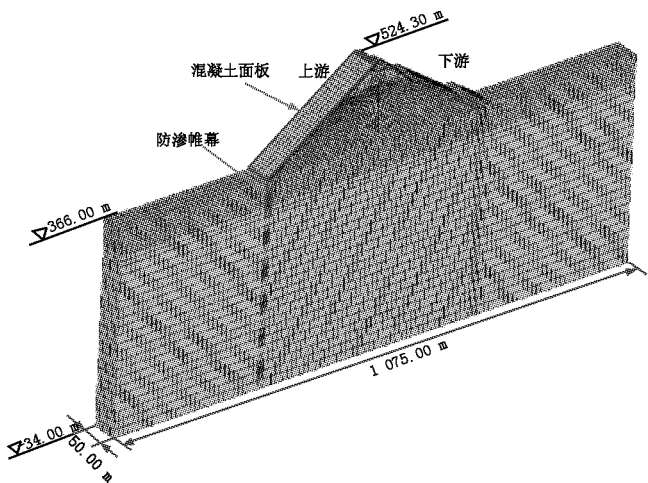


图 1 典型坝段有限元模型

3.2 计算参数及边界条件

根据坝体主要构成材料的特性,对地层和主要渗控结构进行概化。本文按坝体材料渗透系数划分为 7 个参数区,如表 1 所示。

表 1 坝址区各材料特性

编号	材料名称	渗透系数/(cm/s)
1	混凝土面板	1.0×10^{-7}
2	垫层	5.0×10^{-4}
3	过渡层料	2.0×10^{-2}
4	主堆石 1 区、2 区	1.0×10^{-1}
5	帷幕灌浆	1.0×10^{-5}
6	微风化(3Lu 线以下)	8.1×10^{-6}
7	基岩强风化(3Lu 线~10Lu 线)	4.8×10^{-4}
8	基岩全风化(10Lu 线以上)	2.6×10^{-3}

渗流分析的边界条件如下:大坝上游库水淹没区取定水头边界,水头值为 520.00 m;坝后下游及坝体非淹没区取为溢出边界;模型底部以及上、下、左、右游侧面视为不透水。

3.3 计算方案

本文计算分析主要从以下 7 个方案进行研究,运行条件均为上游正常蓄水位 520.00 m,下游无水状态。

方案 1(初设方案):面板、防渗帷幕均正常工作,作为基准工况;

方案 2:混凝土面板渗透系数增大 20 倍,即由 1.0×10^{-7} cm/s 增大为 2.0×10^{-6} cm/s,防渗帷幕及其他保持不变;

方案 3:混凝土面板渗透系数增大 50 倍,即由 1.0×10^{-7} cm/s 增大为 5.0×10^{-6} cm/s,防渗帷幕及其他保持不变;

方案 4:混凝土面板渗透系数增大 100 倍,即由 1.0×10^{-7} cm/s 增大为 1.0×10^{-5} cm/s,防渗帷幕及其他保持不变;

方案 5:防渗帷幕渗透系数增大 20 倍,即由 1.0×10^{-5} cm/s 增大为 2.0×10^{-4} cm/s,混凝土面板及其他保持不变;

方案 6:防渗帷幕渗透系数增大 50 倍,即由 1.0×10^{-5} cm/s 增大为 5.0×10^{-4} cm/s,混凝土面板及其他保持不变;

方案 7:防渗帷幕渗透系数增大 100 倍,即由 1.0×10^{-5} cm/s 增大为 1.0×10^{-3} cm/s,混凝土面板及其他保持不变。

4 计算结果分析

4.1 正常运行工况下渗流特性分析

图2~4为河道中心剖面相关渗流要素结果图。由图可知,由于混凝土面板的强阻水作用,渗流自由面在穿过面板后下降明显,并在下游坡脚处溢出,坝体绝大部分处于干区状态,有利于其安全稳定运行;等水头在防渗帷幕处分布较为密集、等压力线在防渗帷幕处有明显的绕

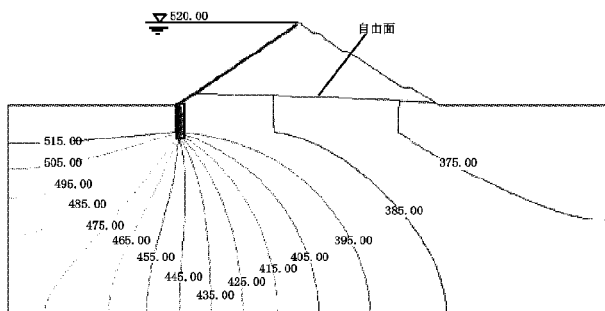


图2 等水头线图(单位:m)

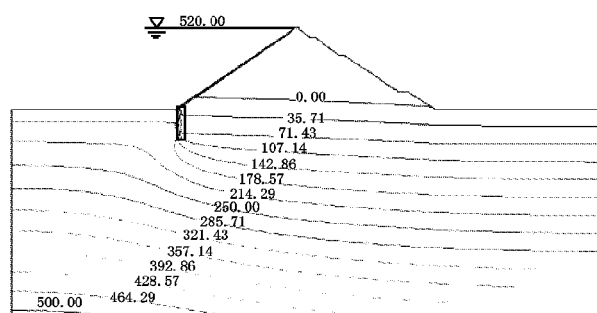


图3 等压力线图(单位:m)

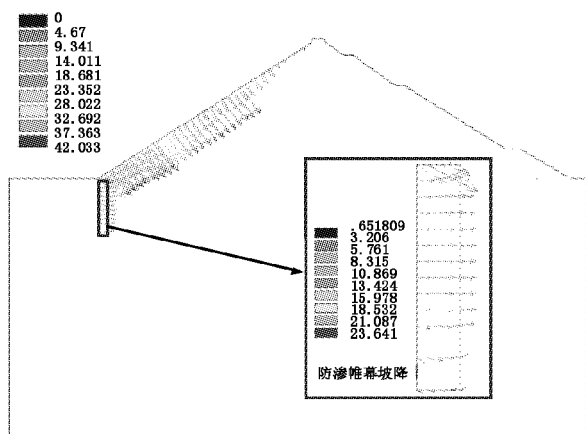


图4 渗透坡降矢量图

流现象,表明坝基防渗帷幕渗流控制作用显著;工程最大渗透坡降出现在混凝土面板中下部位,最大值约为42,小于容许渗透坡降,满足稳定要求;防渗帷幕处最大渗透坡降约为23,小于容许渗透坡降,满足稳定要求。

4.2 混凝土面板渗透系数敏感性分析

由于大坝在施工或运行当中,可能造成不利的影响,故对混凝土面板进行敏感性分析。研究渗透系数变化对渗流场的影响,图6~8为混凝土面板方案2~4的结果,伴随着混凝土面板渗透系数的增大,自由面有所抬升,坝内干区范围减小,不利于工程安全稳定运行。方案2、3、4最大渗透坡降分别约为36、32、27,均发生在混凝土面板中下部;随着混凝土面板渗透系数的增大,防渗帷幕最大渗透坡降也有所减小,主要由于面板透水增加,坝内水位抬升,防渗帷幕前后水头差减小导致。

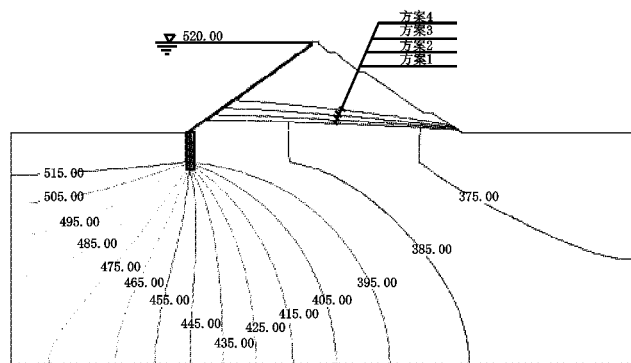


图5 自由面对比图

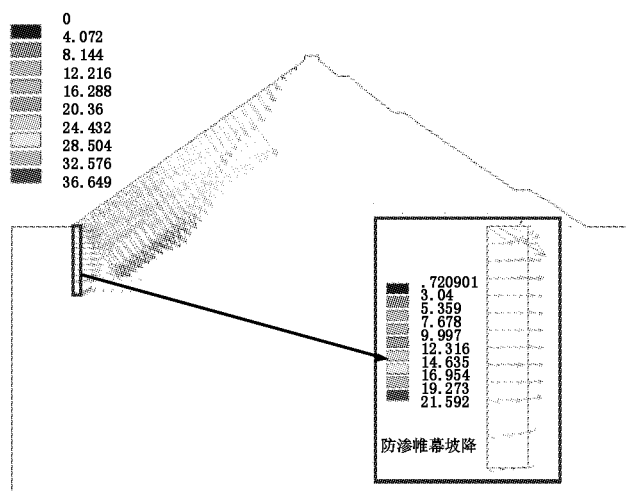


图6 方案2 渗透坡降矢量图

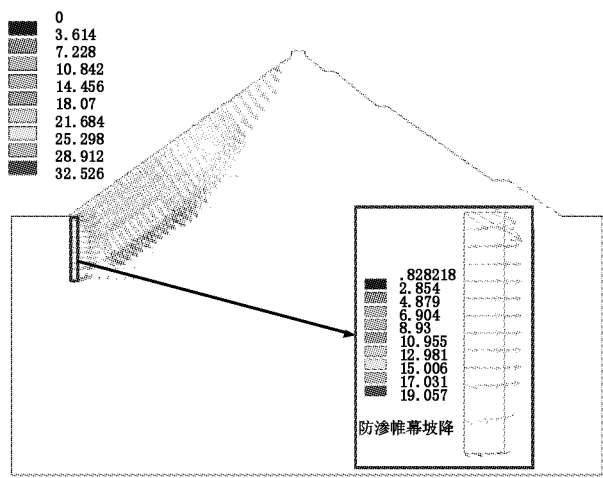


图 7 方案 3 渗透坡降矢量图

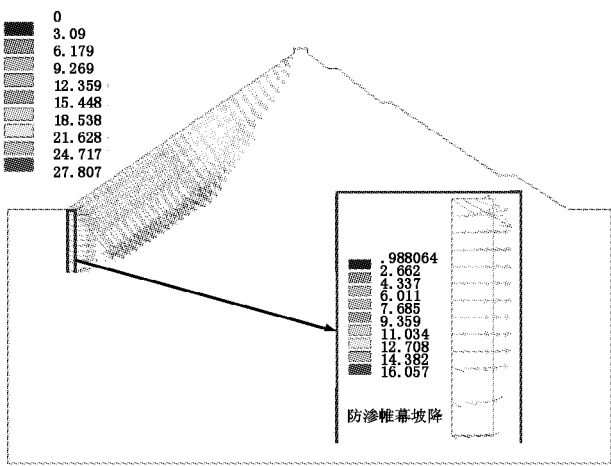


图 8 方案 4 渗透坡降矢量图

4.3 防渗帷幕渗透系数敏感性分析

通过改变混凝土面板堆石坝防渗帷幕的渗透性系数,自由面和最大渗透坡降也相应的发生了变化。伴随帷幕渗透系数放大 20、50、100 倍,自由面开始抬高,其中,在正常工况至渗透系数放大 20 倍时,变幅相对较大,坝内干区急剧变小(见图 9),不利于工程的安全稳定运行。面板最大渗透坡降发生位置较初设方案向中上部转移,数值呈递减趋势,变化范围在 30.7~25.0 之间(见图 10~12),主要由于随着防渗帷幕渗透系数增大,大量地下水通过防渗帷幕流向坝内,坝内自由面抬升,减小了混凝土面板两侧的压力差。同时防渗帷幕最大渗透坡降也发生了显著减小。

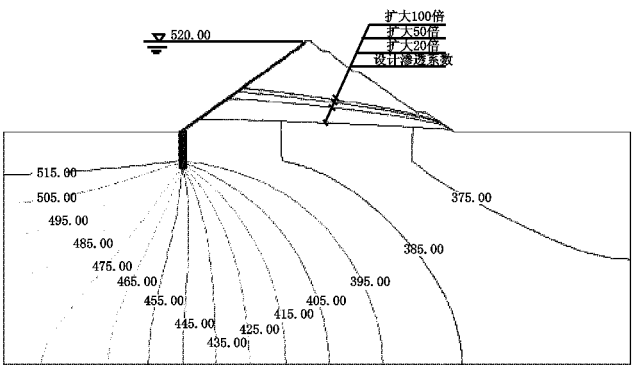


图 9 自由面对比图

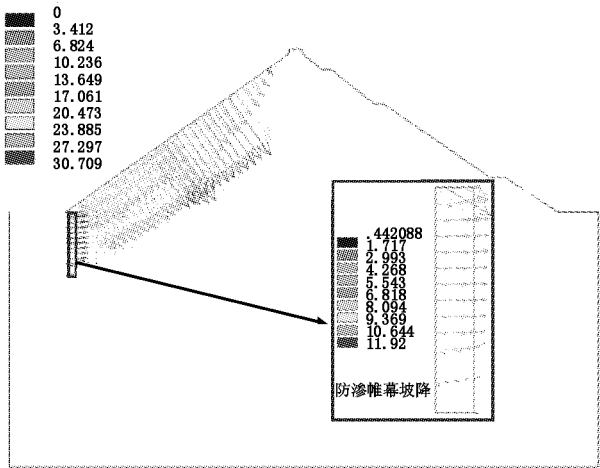


图 10 方案 5 渗透坡降矢量图

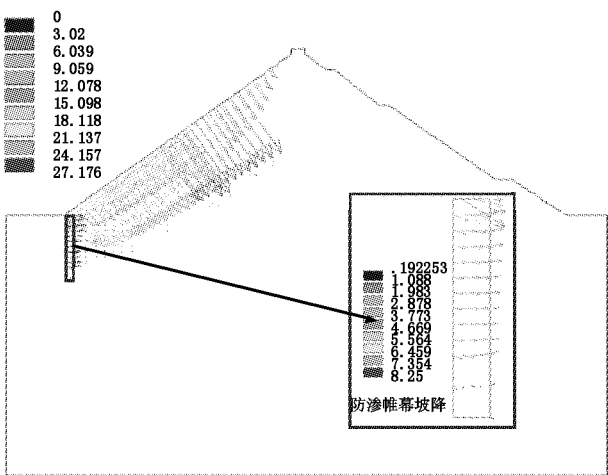


图 11 方案 6 渗透坡降矢量图

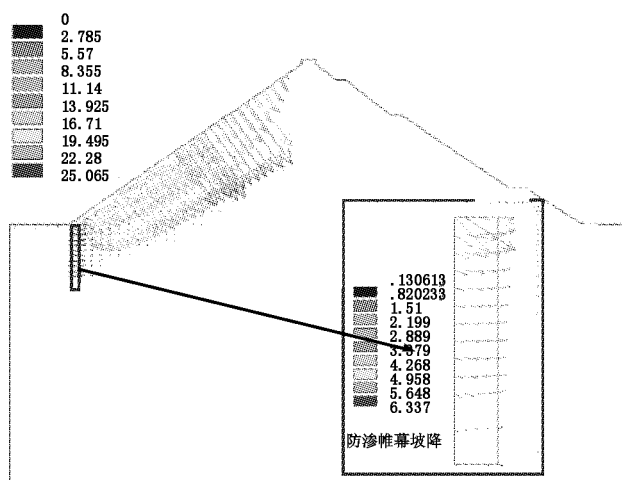


图12 方案7渗透坡降矢量图

5 结论

通过对混凝土面板堆石坝初设方案渗措施方及混凝土面板与防渗帷幕渗透系数敏感性分析,结果表明:初设方案下面板堆石坝在初设方案中运行状况良好,防渗措施效果显著,坝体大部分区域处于干区,混凝土面

板和防渗帷幕的最大渗透坡降也都小于相应的允许值范围,满足稳定运行要求;通过在一定范围内,放大混凝土面板和防渗帷幕的渗透系数,自由面呈正相关性关系抬高,使得坝体干区不断减少,不利于坝体稳定运行,需在施工建设过程中对坝体的渗控系统进行严格质量控制,保证工程的安全稳定运行。

参考文献:

- [1] 郇能惠,杨泽艳. 中国混凝土面板堆石坝的技术进步[J]. 岩土工程学报,2012,34(8):1361~1368.
- [2] 陈益峰,周创兵,胡冉,等. 大型水电工程渗流分析的若干关键问题研究[J]. 岩土工程学报,2010,32(9):1448~1454.
- [3] 周创兵. 水电工程高陡边坡全生命周期安全控制研究综述[J]. 岩石力学与工程学报,2013,32(6):1081~1093.
- [4] Chen Y F, Hong J M, Zheng H K, et al. Evaluation of Groundwater Leakage into a Drainage Tunnel in Jinping-I Arch Dam Foundation in Southwestern China: A Case Study[J]. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2016:1~19.
- [5] 李毅. 工程扰动条件下裂隙岩体的渗透特性及其演化规律研究[D]. 武汉大学,2014.

编辑:张绍付

The evaluation of effectiveness for the seepage control measures on a concrete face rockfill dam

WAN Xiaoqiang, TANG Shaolong, XIONG Wei

(Jiangxi Institute of Water Sciences, Nanchang 330029, China)

Abstract: This article is focusing on analyzing the seepage stability of a certain concrete face rockfill dam, by using three dimensional stable seepage finite element method based on ANSYS. Researching the distribution of seepage field and seepage stability about seepage control measures of the engineering design, and the influence about seepage field of dam seepage field by changing permeability coefficient of concrete face and impervious curtain, evaluating the effectiveness of the seepage control measures. The result of analysis shows that the effect of dam seepage control system is good for effective controlling the distribution of the seepage field in the dam; the quality of the construction process for seepage control system should be strictly controlled, because the permeability coefficient of the concrete slabs and anti-seepage curtain have a greater influence on the change of dam body seepage field.

Key words: Concrete face rockfill dam; The three-dimensional steady seepage finite element method; Seepage analysis; Seepage field

翻译:万小强