

深覆盖层地基防渗措施对渗流场影响数值分析

黄梅琼¹, 柴军瑞^{1,2}, 白 勇³, 刘钊春¹

(1. 西安理工大学 水利水电学院, 西安 710048; 2. 三峡大学 土木水电学院, 宜昌 443002;
3. 河南省水利勘测设计研究有限公司, 郑州 450016)

摘要:深厚覆盖层广泛分布于我国大江大河中,开展其研究对加快我国水利水电工程建设具有重大意义。在深厚覆盖层地基上建坝首要解决的是大坝的基础防渗问题。对工程算例进行了二维渗流场数值分析,结果表明:在深厚覆盖层地基上延长水平黏土铺盖至4倍上游水头可以减少渗漏量;大于4倍上游水头时,继续增加铺盖长度对渗流量无影响;只有当混凝土防渗墙深度大于3/4倍地基覆盖层厚度时才能取得较好的防渗效果;当防渗墙完全封闭覆盖层时能够可靠、有效地截断水流。

关 键 词:深厚覆盖层;渗流场;有限元法;铺盖;防渗墙;ANSYS

中图分类号:TV223.4 **文献标识码:**A

开发西部水能资源常会碰到河谷中深厚覆盖层的问题,尤其在水能资源丰富的西南地区,此问题格外突出。深厚覆盖层指堆积于河谷谷底,厚度大于30 m的第四纪松散堆积物,颗粒组成偏粗大且透水性强,是一种地质条件差且复杂的地基^[1-3]。随着坝的高度增加以及坝基的复杂性增加,带来了一系列技术问题,造成的损失也越来越大。随着这些深厚覆盖层基础上闸坝的兴建,国内许多专家、学者进行了大量的研究,在深厚覆盖层的勘探和取样技术、工程特性试验、建坝试验研究、变形应力计算、防渗加固处理等方面都积累了比较丰富的经验,但和国际先进水平相比仍有差距^[4]。本文针对深厚覆盖层地基上建土坝,采用有限元法分析了防渗措施对渗流场的定量影响,得出了重要规律性意见,对类似工程具有一定指导意义。

1 防渗措施和渗流场有限单元法

1.1 水平与垂直防渗措施

在坝上游填筑黏土铺盖,防渗铺盖可以延长渗流路径,降低渗透坡降,减少渗漏量,即水平防渗。覆盖层厚度在80 m以内的垂直防渗可采用混凝土防渗墙,混凝土防渗墙是在松散透水地基或土石坝坝体中连续造孔成槽,以泥浆固壁,在泥浆下浇筑混凝土而建成的起防渗作用的地下连续墙^[5]。

1.2 渗流基本方程

当考虑水和土不可压缩时,符合达西定律的二维向非均质各向异性土坝稳定渗流基本方程为

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k_z \frac{\partial h}{\partial z}\right) = 0 \quad , \quad (1)$$

式中: h 为水头函数; x, z 为空间坐标; k_x, k_z 为以 x, z 轴为主轴方向的渗透系数。

1.3 渗流量计算

利用有限单元法求得渗流场节点水头值可直接计算渗流量。目前常用的方法有:①计算通过单元某一条边的流量;②计算通过单元二边长中点连线的流量,称中线法。本文采取的是中线法。过流断面通过单元形心,则通过这一断面的单宽流量为

$$q = -k_n l \frac{\partial h}{\partial n} = -l \left[k_x \frac{\partial h}{\partial x} \cos(n, x) + k_z \frac{\partial h}{\partial z} \cos(n, z) \right] \quad (2)$$

则通过单元计算断面的流量为 Δq ^[5]

$$\Delta q = \sum q \quad (3)$$

2 工程实例

某黏土斜墙坝,坝高20 m,坝顶宽10 m,上、下游坝坡均为1:2.5。该坝坝址区河床分布着第四纪松散沉积物,分为上、下两大岩层:上部为漂卵砾石层,下部为块碎石层,其平均厚度都约25 m。颗粒

收稿日期:2009-07-28
基金项目:国家自然科学基金项目(50579092),教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-05-0679),三峡大学科技创新团队项目(603402)
作者简介:黄梅琼(1958-),女,福建福州人,硕士研究生,主要从事水工结构分析及数值仿真的研究,(电话)13772072334(电子信箱)huangmq8585@163.com。

粗、孔隙大、渗透性强,属深覆盖层地基。运用黏土铺盖和混凝土防渗墙进行防渗。

2.1 计算模型与网格剖分

为了正确合理分析坝基的渗流场,研究其渗透规律,采取最优措施进行防渗,假设坝体不透水,计算模型见图 1。模型中的坝基及不同坝基交界处应用 ANSYS 软件,取上游 100 m 且坝基深 50 m 处作为坐标原点,采用三角形单元进行网格剖分,共剖分 1 102 个单元,616 个节点,如图 2 所示。

各区材料的渗透系数的取值见表 1。

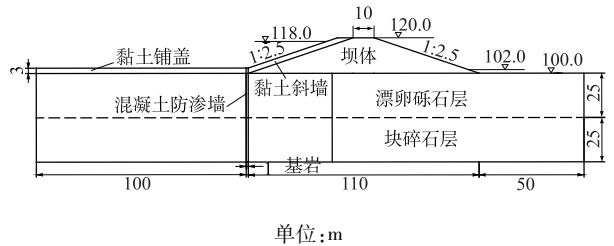


图 1 计算模型
Fig.1 The calculation model

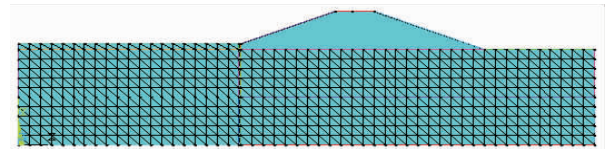


图 2 网格剖分图
Fig.2 Mesh dissection

表 1 各区材料的渗透系数

Table 1 The permeability coefficients of various materials	
材料名称	渗透系数/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
黏土铺盖	1.0×10^{-8}
混凝土防渗墙	1.0×10^{-9}
漂卵石层	2.5×10^{-5}
块碎石层	5.0×10^{-4}

2.2 拟定计算方案

为了分别研究黏土铺盖和混凝土防渗墙对坝基渗流场的影响,计算拟定了 11 种计算方案(见表 2)。

表 2 计算方案

Table 2 The calculation programs			
无混凝土防渗墙		无黏土铺盖	
方案	黏土铺盖长度/m	方案	防渗墙深度/m
(1)	0	(7)	0
(2)	20	(8)	15.5
(3)	40	(9)	28
(4)	60	(10)	40.5
(5)	80	(11)	53
(6)	100		

其中,方案(1)~(6)是为了研究无混凝土防渗墙时黏土铺盖长度对渗流场的影响;方案(7)~(11)是为了研究无黏土铺盖时混凝土防渗墙深度

对渗流场的影响^[6]。

2.3 计算结果及分析

2.3.1 无防渗墙时铺盖长度对渗流场的影响

无混凝土防渗墙时铺盖长度依次从 0 m 逐渐增加到 100 m(对应方案(1)~(6)),得到通过断面的渗流量与铺盖长度的关系,见图 3。

从图 3 可以看出,在无混凝土防渗墙的情况下,当上游水平铺盖长度小于 4 倍上游水头时,通过地基的渗流量随着铺盖长度的增加而相应减小;当上游水平铺盖长度大于 4 倍上游水头时,通过地基的

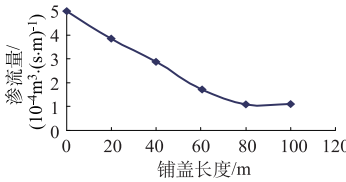


图 3 渗流量随铺盖长度的变化曲线
Fig.3 The curve showing the relation of the amount of seepage and the length of waterproof blanket

渗流量随着铺盖长度的增加无明显变化。这表明在深厚覆盖层地基上,延长水平黏土铺盖至 4 倍上游水头可以减少渗漏量,大于 4 倍上游水头时,继续增加铺盖长度对渗流量无影响,必须要采取水平与垂直防渗措施进行防渗。图 4 给出了方案(3)(黏土铺盖 40 m)的等水头线图。

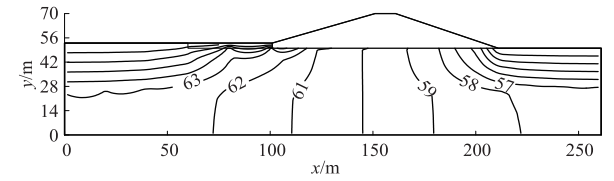


图 4 方案(3)(黏土铺盖 40 m)的等水头线图

Fig.4 The water head contours of the Program 3 with clay waterproof blanket 40 meters long

2.3.2 无铺盖时防渗墙深度对渗流场的影响

无铺盖时防渗墙深度依次从 0 m 逐渐增加到 53 m(对应方案(7)~(11)),得到通过地基的渗流量与防渗墙深度的关系,如图 5 所示。

从图 5 可以看出,在无黏土铺盖的情况下,当混凝土防渗墙深度小于 3/4 倍地基覆盖层厚度时,通过地基的渗流量随防渗墙深度的增加而相应减小,但幅度有限。当混凝土防渗墙深度大于 3/4 倍地基覆盖层厚度时,渗流量随之减少的幅度明显增大。当防渗墙打

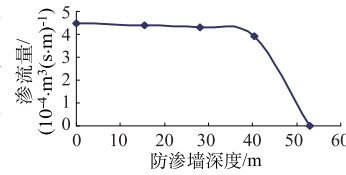


图 5 渗流量与防渗墙深度的变化曲线
Fig.5 The curve representing the change of the amount of seepage and the depth of the cut-off wall

到基岩后(防渗墙 53 m),渗流量骤降为 $0.726 \times 10^{-6} \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。这表明对于深厚覆盖层地基,只有当混凝土防渗墙深度大于 3/4 倍地基覆盖层厚度时才能取得较好的防渗效果。当防渗墙完全封闭覆盖层时能够可靠、有效地截断水流。图 6 给出了方案(9)(防渗墙深度 28 m)的等水头线图^[7-9]。

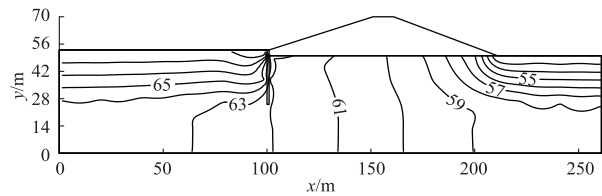


图 6 方案(9)(防渗墙深度 28 m)的等水头线图
Fig. 6 The water head contours of the Program 9 with the cut-off wall 28 meters in depth

3 结 论

(1) 应用有限元法分析了工程实例,由于主要研究的是地基的渗透规律,所以假定坝体不透水。而在实际工程中,在深厚覆盖层地基上建坝应共同研究坝体与坝基,格外注意防渗墙与坝体防渗体的连接。

(2) 在计算条件下,延长水平黏土铺盖至 4 倍上游水头可以减少渗流量;大于 4 倍上游水头时,继续增加铺盖长度对渗流量无影响,必须要采取水平与垂直防渗措施进行防渗。

(3) 在计算条件下,只有当混凝土防渗墙深度大于 3/4 倍覆盖层厚度时才能取得较好的防渗效果。

(4) 当防渗墙完全封闭覆盖层时能够可靠、有效地截断水流。

参考文献:

[1] 杨天俊. 深厚覆盖层岩组划分及主要工程地质问题[J]. 水力发电,1998,6:17-19.
[2] 罗守成. 对深厚覆盖层地质问题的认识[J]. 水力发电,1995,(4):21-24.
[3] 蔡元奇,朱以文,唐 红,等. 在深厚覆盖层坝基上建堆石坝的防渗研究[J]. 武汉大学学报(工学版),2005,24(增2):5658-5663.
[4] 高钟璞,等. 大坝基础防渗墙[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
[5] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
[6] 柴军瑞. 大坝工程渗流力学[M]. 拉萨:西藏人民出版社,2001.
[7] BOWLES J E. Analytical and Computer Method in Foundation EngGeotechnique[J]. 1974:62-66.
[8] 张乾飞,顾冲时,郭海庆,等. 土石坝渗流确定分析模型研究[J]. 武汉水利电力大学学报,2000,33(4):5-9.
[9] 叶焰中,李 荣,罗赛虎. 深厚覆盖层中防渗墙施工的若干问题[J]. 水利科技与经济,2008,14(8):671-672.

(编辑:罗玉兰)

Numerical Analysis for Influence of Anti-seepage Measure of Deep Overburden Foundation on Seepage Field

HUANG Mei-qiong¹, CHAI Jun-rui^{1,2}, BAI Yong³, LIU Zhao-chun¹

(1. College of Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;
2. College of Civil And Hydroelectric Engineering, China Three Gorges University, Yichang 443002, China;
3. Henan Water and Power Consulting Engineering Co., Ltd, Zhengzhou 450016, China)

Abstract: Deep overburden distributes widely in rivers of our country, in which case the study is of great significance to speed up our country water conservancy and hydropower project. To build a dam on the deep overburden foundation, the first problem to solve is the seepage of the dam foundation. In this paper, two-imensional numerical seepage analysis method is used for project instances. The analysed result shows that it can effectively decrease the amount of seepage when the length of clay waterproof blanket on the deep overburden foundation is 4 times upstream water head; that it doesnt effect the amount of seepage when its length is more than 4 times upstream water head; that it can receive better effect of anti-seepage when the depth of cut-off wall is over 3/4 times thickness of deep overburden, and that it can cut off water flow reliably and effectively when the deep overburden are completely closed by the cut-off wall.

Key words: deep overburden foundation; seepage field; finite element method; waterproof blanket; cut-off wall