

# 悬挂式微透水防渗墙的土石坝渗流计算

徐毅<sup>1</sup>, 侍克斌<sup>2</sup>, 毛海涛<sup>3</sup>

(1. 新疆水利水电勘测设计研究院 乌鲁木齐 830000; 2. 新疆农业大学 水利与土木工程学院 乌鲁木齐 830000;  
3. 重庆三峡学院 土木工程学院 重庆 404100)

**摘要:** 以往对于土石坝渗流计算都是假定防渗体是完全不透水的, 这样的计算结果难免会出现偏差。本文通过赋予悬挂式防渗墙合理渗透系数的情况下, 利用有限元法对无限深透水地基上的土石坝建立数学模型进行理论计算。通过对比两种悬挂式防渗墙方案, 选取不同深度进行渗流计算和分析。结果表明: 防渗墙的位置越靠近上游防渗效果越好, 此时防渗墙的有效深度为6~8倍的坝前水深。

**关键词:** 微透水防渗体; 非均质无限深透水地基; 有限单元法; 悬挂式防渗墙

中图分类号: TV641 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2014)04-0138-04

## Calculation of seepage flow of earth rock dam for hanging micro porous cut-off wall

XU Yi<sup>1</sup>, SHI Kebin<sup>2</sup>, MAO Haitao<sup>3</sup>

(1. Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute of Xinjiang, Urumqi 830000, China;  
2. College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830000, China;  
3. College of Civil Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404100, China)

**Abstract:** The seepage calculation of earth rock dam is based on that the anti-seepage body is completely impervious to water in the past. The error of calculated result is inevitable. This paper gave the suspended cutoff wall a reasonable permeability coefficient, and established mathematical model by using finite element method of earth rock dam on infinite deep pervious foundation carried out theoretical calculation. By comparing the two kinds of schemes of suspended cut-off wall, it conducted seepage calculation and analysis in different depths, and draw the following conclusions that the closer the cut-off wall gets to upstream, the better the anti-seepage effect. The effective depth of impervious wall is 6~8 times of water depth before dam.

**Key words:** micro porous impervious body; non-homogeneous infinite deep pervious foundation; finite element method; suspended cutoff wall

## 1 研究背景

随着水利水电工程的不断开发, 我国西部地区修建的水库许多不得不坐落在无限深透水地基上。理论上此类地基存在明显的缺陷, 应当尽量避免在此类地基上修建大坝<sup>[1]</sup>。但实际工程中, 修建在无限深透水地基上的大坝却早已存在, 通过合理的渗流控制, 这些水库运行良好, 说明此类地基上的大坝渗流问题是可控可防的<sup>[2]</sup>。目前, 已有学者对无限

深透水地基上的土石坝渗流问题进行了研究, 确定了不透水水平防渗体的有效长度<sup>[3]</sup>和透水垂直防渗体的有效深度<sup>[4]</sup>。以往学者对于非均质无限深透水地基的渗流问题都是假定其为均质的情况, 按照有效深度的概念将无限深地基转化为有限深的情况, 并且假定防渗体为完全不透水的<sup>[5-7]</sup>。这种简化理论条件的方法虽然容易讨论和计算, 但是与实际工程还是有一定的偏差。例如大面积施工的复合土工膜的渗透系数往往只能达到  $10^{-7} \sim 10^{-8}$  cm/s<sup>[8]</sup>。因此, 若假定防渗体完全不透水进行计

收稿日期: 2014-03-27; 修回日期: 2014-05-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(51309262, 50969010); 新疆科技支撑计划项目(201233132); 新疆水利水电工程重点学科基金项目(xjzdxk-2010-02-12)

作者简介: 徐毅(1988-), 男, 山东莱西人, 硕士研究生, 从事水利水电经济评价工作。

通讯作者: 侍克斌(1957-), 男, 新疆石河子人, 教授, 博士生导师, 从事水利水电工程方面的教学和研究工作。

算,其计算结果所带来的偏差会对坝体的稳定性和经济问题带来影响,在西北地区还会造成水库下游的盐渍化问题<sup>[9]</sup>。

本文在赋予悬挂式防渗墙合理渗透系数的情况下,利用有限元法对无限深透水地基上的土石坝建立数学模型进行理论计算。通过对比两种悬挂式防渗墙方案,选取不同深度进行渗流计算和分析,确定了非均质无限深透水地基上土石坝微透水悬挂式防渗墙的最佳位置和有效深度。

## 2 非均质无限深透水地基上微透水悬挂式防渗墙渗流计算

### 2.1 防渗墙的类型

垂直防渗墙的防渗效果稳定可靠。随着科学技术和施工工艺的发展,防渗墙的深度从20世纪60年代初的不到20 m到70年代的129 m,现在已完成了深度170 m的生产试验<sup>[10]</sup>。在无限深透水地基上悬挂式防渗墙往往只能做成悬挂式防渗墙。随着水利工程的实施和试验表明,无限深透水地基上悬挂式防渗墙存在有效成墙深度,即达到一定深度后,再增加防渗墙深度渗流量的减少效果不再明显。

### 2.2 有限元法基本原理

有限元法已经成为了当代最实用、最广泛的数值计算方法。有限元法是通过把所求解的连续体结构离散,划分为有限多个相互关联的基本单元。再对每一个单元建立单元方程后,最终将单元与单元结成整体,通过计算机求解这些代数方程。由水流的连续条件和达西定律可以得到土石坝的二维渗流方程:

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

当  $k_x = k_z = k$  时,上式化简为 Laplace 方程<sup>[11]</sup>

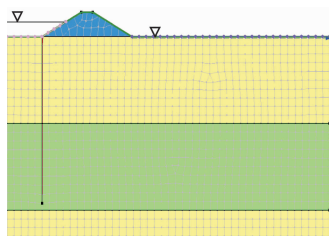
$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad (2)$$

式中:  $k_x$ 、 $k_z$  分别为水平向与竖向的渗透系数;  $h$  为总水头。

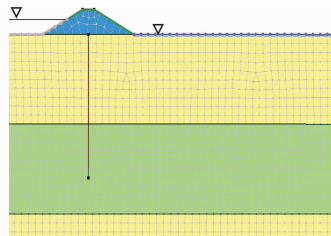
### 2.3 算例数值模型

某水库为灌注式平原水库,坝基为渗透系数不同的深厚粉细砂覆盖层,厚约800 m。坝前最大水深为16 m,坝基60 m之上和90 m之下为较强透水层,渗透系数  $k_1$  为  $3.13 \times 10^{-3}$  cm/s;60~90 m为较弱透水层,渗透系数  $k_2$  为  $1.25 \times 10^{-4}$  cm/s,允许渗透坡降为0.1。水库的坝体为土石坝,坝高为28 m,坝顶宽度为16 m,坝底最大宽度80 m,上下游边坡比均为1:2。采用粘土防渗墙作为垂直防渗体,渗透系数  $k_3$  为  $1 \times 10^{-7}$  cm/s。方案一为防渗墙设置在坝前位置,方案二为防渗墙设置在土石坝宽8 m的位置,见图1。

对上述工程实例建立数值模型,假设该模型参数在  $x$ 、 $y$  方向上是均匀的,因此只对模型进行了二维的分析。坝基为长  $\times$  高 = 800 m  $\times$  200 m,下游坝脚至下游边界136 m,上游坝脚至上游边界584 m。地基由上到下分为三层,第一层60 m,第二层30 m,第三层110 m。坝体、防渗体一级各层地基材料的渗透系数与上述工程实例一致。上游水头为正常蓄水位16 m,下游水位为零水头。对全局每10 m进行一个单元的划分,主要采用四节点四边形网格单元。模型的建立及单元剖分如图2所示。



方案一 防渗墙在坝前位置



方案二 防渗墙在坝中位置

图1 土石坝的网格剖分图(以10倍水头深度为例)

该模型在计算的时候除了水平面以外的边界均认为是不透水的。计算过程中不考虑应力、应变问题,在此条件下考虑了渗流及相关的流速、流量及孔压等参数。模型分析中一共分析了10种工况,分别为防渗墙的深度是坝前水头的2~20倍(转换成墙深度分别为32~320 m)的工况。

### 2.4 计算结果

此计算考虑的均为稳定渗流,计算终止时的浸润线图、总水头等值图、流速云线图分别见图2~5。

从图2、图3可以看出,方案一中浸润线下降趋势靠近上游,而方案二中浸润线下降明显的位置在坝中。通过比较浸润线位置,发现水是可以透过浸

润线从饱和区域流入非饱和区域的,那么渗透函数曲线的平均渗透系数的降低会使得不饱和水下降。

不同防渗墙深度对应的坝基单宽渗流量和渗透坡降数据如表1和2所示。

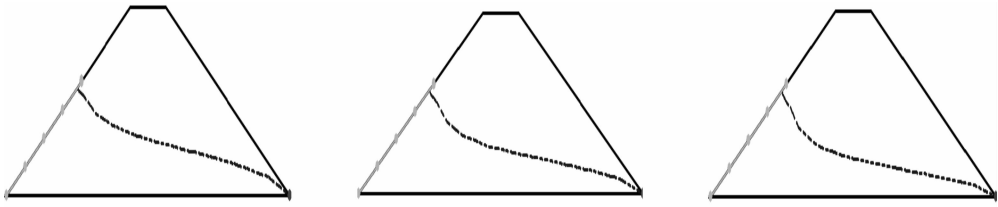


图2 方案一防渗墙深度为2倍(左)、6倍(中)、10倍(右)时的浸润线图

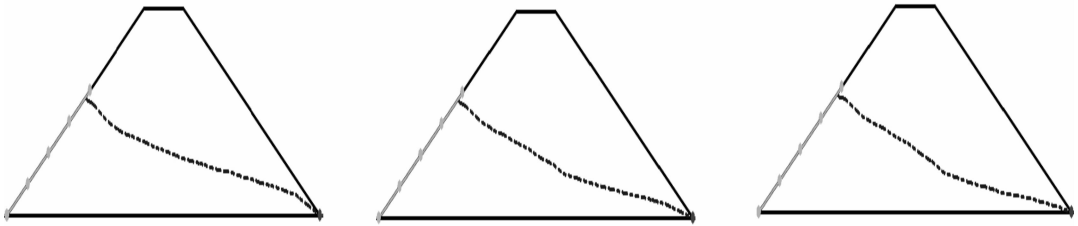


图3 方案二防渗墙深度为2倍(左)6倍(中)、10倍(右)时的浸润线图

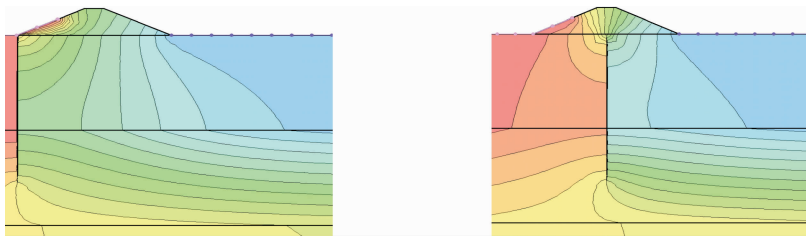


图4 防渗墙为10倍上游水头时的总水头等值图(单位:kPa)

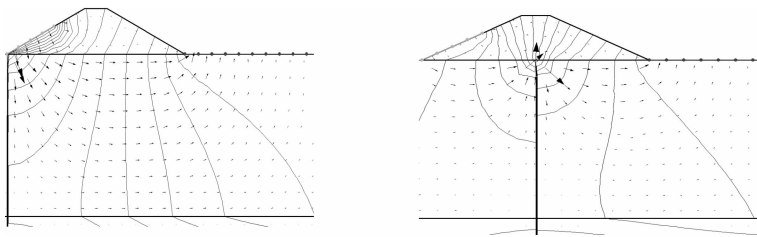


图5 防渗墙为10倍上游水头时的流速云线图(单位:m/s)

表1 方案一防渗墙深度与坝基单宽流量、渗透坡降的关系  
 $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$

防渗墙深度与坝前水头倍数	单宽渗流量 $q$	坝后渗透坡降比
2	16.31	0.160
4	13.38	0.122
6	9.35	0.083
8	4.05	0.060
10	3.91	0.049
12	3.72	0.037
14	3.70	0.031
16	3.66	0.025
18	3.60	0.024
20	3.53	0.023

表2 方案二防渗墙深度与坝基单宽渗流量、渗透坡降的关系  
 $\text{m}^3/(\text{d} \cdot \text{m})$

防渗墙深度与坝前水头倍数	单宽渗流量 $q$	坝后渗透坡降比
2	18.68	0.169
4	16.36	0.132
6	12.69	0.090
8	5.66	0.071
10	4.50	0.059
12	4.45	0.047
14	4.43	0.041
16	4.39	0.035
18	4.33	0.034
20	4.25	0.033

根据表1和2中模型计算出的单宽渗流量的数据,绘得渗透坡降与成墙深度关系曲线图如图6所示,渗流量与成墙深度关系曲线见图7。

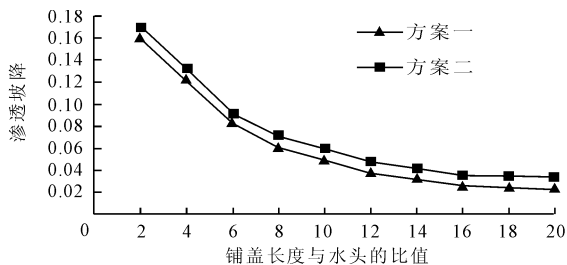


图6 渗透坡降与成墙深度关系曲线图

从图6中可以看出,方案一的防渗墙深度为坝前水深的5倍时,渗透坡降就小于0.1,满足允许渗透坡降;方案二的防渗墙深度为坝前水深的6倍时,渗透坡降小于0.1,满足允许渗透坡降。

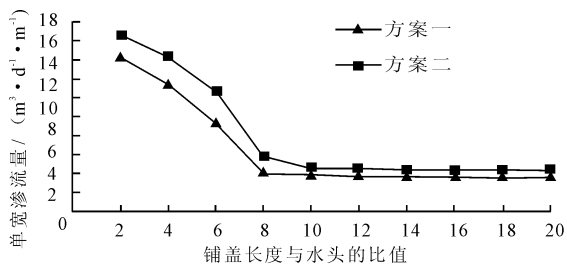


图7 单宽渗流量与成墙深度关系曲线图

从图7中可以看出,方案一的防渗墙深度为坝前水深的6~8倍之前防渗效果较为显著,方案二的防渗墙深度为坝前水深的8~10倍之前防渗效果较为显著。

随着防渗墙深度的增加,当超过10倍坝前水深后,渗流量仍虽然较小,但是效果不再明显。从防渗效果来看,方案一的效果优于方案二。说明防渗墙位置越靠近上游所需要的深度越小。所以,在实际工程中综合考虑渗流坡降、渗流量和地质条件等因素,选择合适的防渗墙位置,不仅防渗效果更好,也可以达到更好的综合经济效益。

### 3 结语

本文使用 geo-slope 有限元软件对非均质无限深透水地基上的渗流问题进行了相关分析,得出如下结论:

(1)由两组方案可以得出,当防渗墙深度达到5~6倍上游水深的时候渗透坡降已经小于0.1了,满足渗透稳定的要求。

(2)方案一中,防渗墙深度达到坝前水深的6~8倍时已经达到了防渗墙的有效深度;方案二中,防渗墙深度达到坝前水深的8~10倍时已经达到了防渗墙的有效深度。

(3)防渗墙的位置越靠近上游防渗效果越好。选取悬挂式防渗墙的最佳位置和有效深度,防渗效果更好,可以达到更好的综合经济效益,对类似的实际工程能起到很好的指导作用。

### 参考文献:

- [1] 袁莹.无限深透水地基上土石坝坝基渗流控制计算模型及有关问题研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2007.
- [2] 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.
- [3] 尹海华,侍克斌,毛海涛.非均质无限深透水坝基不透水铺盖防渗体长度选取[J].水资源与水工程学报,2011,22(2):62-65.
- [4] 常卓强.非均质无限深透水地基上带有垂直防渗墙的土石坝渗流控制研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2012.
- [5] 曹杰.悬挂式防渗墙防渗效果的模拟试验研究[J].山西建筑,2011,37(25):223-224.
- [6] 黄辰杰,王保田.悬挂式防渗墙防渗效果数值模拟[J].水电能源科学,2013,31(5):123-125+95.
- [7] 王保田,陈西安.悬挂式防渗墙防渗效果的模拟试验研究[J].岩土力学与工程学报,2008,27(z1):2766-2771.
- [8] 徐毅,侍克斌,徐千军,等.无限深透水地基上土石坝微透水水平防渗体对渗流的影响[J].水资源与水工程学报,2013,24(1):89-92.
- [9] 毛海涛,侍克斌,李建华,等.西北干旱区平原水库防治土壤盐渍化渗流计算[J].人民黄河,2009,31(11):115-117.
- [10] 毛海涛,张保平,何运祥,等.无限深透水地基土石坝坝基防渗体效果研究[J].人民黄河,2011,33(3):109-112.
- [11] 侍克斌,袁莹,曾祥惠.无限深透水地基上土石坝坝基垂直防渗研究[J].人民黄河,2010,32(1):132-133.