

非均质无限深透水坝基垂直防渗墙深度 对渗流影响的初步研究

常卓强, 侍克斌, 毛海涛, 尹海华

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 目前我国很大一部分土石坝都修建在非均质无限深透水地基上,通过对非均质无限深透水地基垂直防渗墙模型不同深度的选取,得出在非均质无限深透水地基土石坝的坝前水深不变的情况下,当悬挂式防渗墙的有效深度大约为6~10倍坝前水头时,坝基的渗流量明显减少的趋势变小,当悬挂式防渗墙的有效深度大约为18~20倍坝前水头时,坝基的渗流量基本趋于稳定。

关键词: 非均质无限深透水地基; 垂直防渗墙; 渗流控制

中图分类号: TV223.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2012)02-0073-04

Preliminary study on the influence of vertical impermeable wall depth in heterogeneous infinite deep pervious dam foundation on seepage flow

CHANG Zhuoqiang, SHI Kebin, MAO Haitao, YIN Haihua

(College of Hydraulic and Civil Engineering, Xinjiang Agriculture University, Urumqi 830052, China)

Abstract: The majority of earth-rockfill dams in our country are constructed on the heterogeneous infinite deep pervious foundation. According to the selection of different vertical impermeable wall depth in the heterogeneous infinite deep pervious foundation, the paper obtained the conclusion that the trend of marked reduction of seepage of a dam foundation was decreased, when the effective depth of suspended cut-off wall is about 6 to 10 times water head in front of dam, the amount of seepage in a dam foundation varies less, when the effective depth of suspended cut-off wall is about 18 to 20 times water head in front of dam, the amount of seepage tends to be stable.

Key words: heterogeneous infinite deep pervious foundation; vertical impermeable wall; seepage control

1 概述

目前我国由于现实因素的制约,有相当一部分水库大坝已建或将要建在无限深透水地基或深厚覆盖层地基上,并且对其渗流控制的理论研究仍还停留在各项同性的均值情况下,这对实际工程的指导意义存在一定的局限性。垂直防渗是有效解决坝基渗流控制问题的可靠手段,绝大多数覆盖层上的土石坝及闸坝均采用垂直防渗或以垂直防渗为主的渗流控制措施。本文针对非均质无限深透水地基垂直防渗墙的不同深度进行了相关的水力学模型试验,对非均质无限深透水地基垂直防渗墙进行初步探讨。

2 传统透水地基上的垂直防渗墙

2.1 防渗墙的类型

防渗墙是土石坝防渗的主要工程措施之一,合理设计的防渗墙能够有效的改善坝体、坝基的渗流状态,使其满足渗透稳定和尽量减少渗流量,并明显地降低坝体浸润面和出逸点的高度^[1]。

根据地基的地层结构、防渗墙的施工技术,防渗墙有三种结构型式^[2]:悬挂式、半封闭式和全封闭式(见图1)。悬挂式防渗墙的底面仍位于相对强透水层中。半封闭式防渗墙穿过相对强透水层,进入相对弱透水并与之一起形成统一的防渗结构体系,该相对弱透水层下面还有相对强透水层存在,全

收稿日期:2011-11-18; 修回日期:2011-12-21

基金项目:清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室开放研究基金课题(sklhse-2011-c-01);国家自然科学基金资助项目(50969010);新疆水利水电工程重点学科基金资助项目(xjzdxk-2002-10-05)

作者简介:常卓强(1984-),男,陕西杨凌人,硕士研究生,研究方向:当地材料坝设计理论与施工技术。

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。

封闭式与半封闭式防渗墙的不同在于防渗墙底面所在相对弱透水层以下没有相对强透水层。

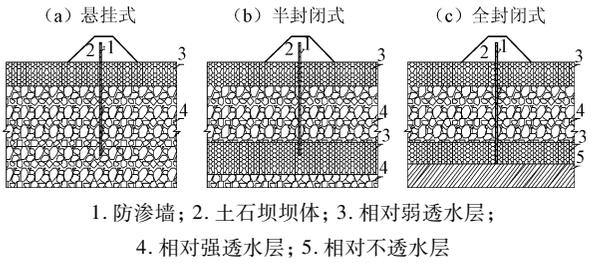


图1 防渗墙的结构型式

2.2 防渗墙的成墙深度

防渗墙的成墙深度主要应满足支撑条件、允许应力、不均匀沉降、墙底接触面的渗流稳定和降低渗流量等条件,同时,应便于墙体施工及其与其它防渗措施的协调^[3]。

随着防渗墙技术的发展,防渗墙的成墙深度日新月异。从20世纪60年代初的成墙深度不到20m;70年代最大深度达到129m;到目前成墙深度已达到170m,并完成了深170m防渗墙的生产试验。

3 垂直防渗墙位置的选取

从减小渗透坡降和渗流量的观点出发,防渗墙在坝底的位置不同时其渗径是不一样的。所以本节根据悬挂式防渗墙的特点,从减小渗流量的角度出发,通过模型实验和计算比较,找出悬挂式防渗墙的最佳位置^[4]。某水库最大坝高8m,坝前最大水深为6.5m,坝顶宽度5m,迎水坡1:2.5,坝后1:2,坝底宽38.75m,坝基按均质无限深透水地基考虑,其渗透系数为 6.26×10^{-3} cm/s,允许渗透坡降0.1,垂直防渗墙有1、2、3三个方案分别如图2。方案1采用不透水斜墙和垂直防渗墙,方案2、3采用不透水心墙和垂直防渗墙。

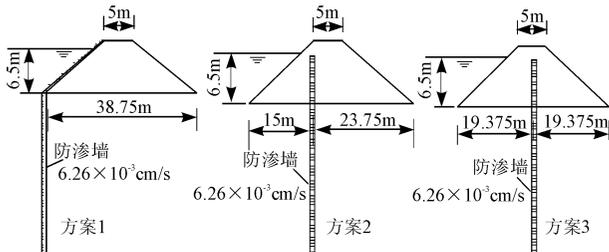


图2 防渗墙不同位置的选取

(1)当防渗墙位于坝底部不同位置时,所增加的渗径是不同的,由三种方案不同的渗径计算可以得到三种方案下不同深度防渗墙下的单宽渗流量和下游渗透坡降,计算结果见表1。

表1 不同方案下坝基渗流随着防渗墙深度不同变化 $m, m^3/(d \cdot m)$

| 防渗墙深度 | 设计方案1 | | 设计方案2 | | 设计方案3 | |
|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
| | 单宽渗流量 | 下游渗透坡降 | 单宽渗流量 | 下游渗透坡降 | 单宽渗流量 | 下游渗透坡降 |
| 10 | 14.33 | 0.1119 | 16.34 | 0.1121 | 16.47 | 0.1169 |
| 20 | 12.51 | 0.0700 | 14.48 | 0.0804 | 14.73 | 0.0822 |
| 30 | 11.50 | 0.0547 | 13.03 | 0.0603 | 13.34 | 0.0612 |
| 40 | 10.96 | 0.0445 | 12.06 | 0.0477 | 12.29 | 0.0482 |
| 50 | 10.60 | 0.0373 | 11.44 | 0.0392 | 11.66 | 0.0395 |
| 65 | 10.31 | 0.0298 | 10.87 | 0.0308 | 11.02 | 0.0309 |

(2)三种方案下坝基单宽渗流量和下游坡降随防渗墙深度变化曲线。根据表1可以绘制出不同方案下大坝坝基下单宽流量和下游坡降随防渗墙深度变化曲线如图3、4所示。

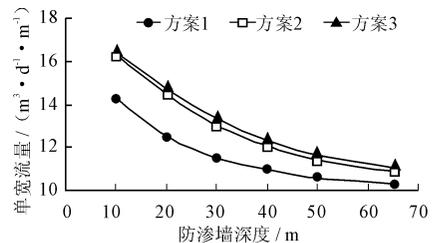


图3 单宽流量随防渗墙深度的变化曲线

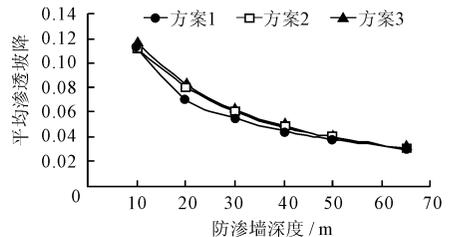


图4 下游出逸坡随防渗墙深度的变化曲线

(3)方案比较。从表1和图3、图4中可以看出:在防渗墙深度相同的情况下,三种方案在改变渗透坡降上比较接近(图4),在改变单宽流量上方案1较另外两种方案有明显的优势(图3)。而且防渗墙越靠近下游,防渗效果越差。从而得出方案1为三种方案中最佳方案。

无限深透水地基上土石坝坝基垂直防渗墙位置设置不同,会使坝基单宽流量和下游坡降改变^[5]。由以上分析可以看到,防渗墙位置靠近坝基上游时坝基下的防渗效果会较好,在满足同样渗透要求的情况下,防渗墙越靠近上游需要的防渗墙的深度越小。所以在实际的工程中要综合地质、施工、造价、允许渗透坡降和渗流量等因素找到一个合适的位置设置防渗墙,使其在满足渗流稳定的情况下,防渗效果更好,造价上更低,达到较好的综合经济效益。

4 非均质无限深透水地基垂直防渗墙的深度选取

4.1 试验的设计

任何模型实验必须是模型和天然原形之间保持几何相似并保持彼此之间的动力相似,对渗流场就是摩阻力起控制作用的达西定律^[6]。对渗流场的相似,以带脚码 m 表示模型量,以不带角码表示其他量的比尺,并以 λ 表示长度比尺即:

$$\lambda_Q = \frac{Q}{Q_m} \quad \lambda = \frac{L}{L_m} \quad \lambda_v = \frac{v}{v_m} \quad \lambda_k = \frac{k}{k_m} \quad \lambda_q = \frac{q}{q_m}$$

流速 $\lambda_v = \lambda_k$, 单宽流量 $\lambda_q = \lambda \lambda_k$, 流量 $\lambda_Q = \lambda^2 \lambda_k$
 式中: Q 为流量, v 为流速, k 为渗透系数, q 为单宽流量。

目前渗流研究的室内实验模型还是以渗流槽为主,本文也采用了这种形式的实验模型以 1:200 的比尺进行研究。

渗流槽为长 × 宽 × 高 = 4.0 m × 0.5 m × 1.2 m 的长方体。其上游端连接平水槽以调节坝前的水位,背部有测压孔接口用于连接测压管观测渗流槽内水头变化,下游端有出水孔用于收集渗流出水。根据上述比尺关系可在渗流槽中用砂填筑坝基料,为了模拟非均质无限深透水地基的情况,实验用砂选取两种,各砂层厚度及填筑方法见图 5 所示。砂 I 为中砂,其干密度为 1.93 g/cm³,渗透系数为 8.67 × 10⁻³ cm/s;砂 II 为细砂,其干密度为 1.78 g/cm³,渗透系数为 3.48 × 10⁻⁴ cm/s。假定砂层上的土石坝为不透水材料筑成,坝高为 16 m(0.08 m,括弧内为对应的模型尺寸,下同),上下游边坡均取 1:2;坝前水深 H 是 8 m(0.04 m),心墙与斜墙均为不透水材料(用土工膜模拟),防渗墙深度选取(2~20) H ;渗流槽侧壁上装测压管,用以观察砂槽内水压的变化情况;砂槽的下游地面相对于坝底高程取

224 m(-1.12 m),在下游端壁上与地面齐平的位置以及其下 8 m(0.04 m)和 12 m(0.06 m)处分别也开凿一排圆孔,圆孔接水量收集装置,用以观测渗流量的变化。根据以上描述结合比尺可得: $\lambda_v = \lambda_k = 6.26/8.67 = 0.722$,长度比尺取 200, $\lambda_q = \lambda \lambda_k = 144.4$, $\lambda_Q = \lambda^2 \lambda_k = 28880$ 。

4.2 实验步骤和分析

实验的主要目的是观察坝后渗流量及渗透坡降两个参数随着垂直防渗墙深度改变的变化趋势。实验过程中,坝体用不透水材料模拟,根据第三节的内容选择其中的方案 1 设置垂直防渗墙,防渗墙也用不透水材料模拟,其深度为 16~160 m(0.08~0.8 m),宽度与渗流槽同宽(0.5 m),两侧用红土与边壁涂抹,渗流槽边壁涂抹红粘土,防止水从边壁渗漏,以减少实验的误差。

实验中持续地调整垂直防渗墙的深度并记录下相关数据。防渗墙深度从 16 m(0.08 m)开始以水头的 2 倍深度 16 m(0.08 m)为单元逐步加深到 160 m(0.8 m)。在调整防渗墙深度时,从布置防渗墙位置每次下挖水头的 2 倍深度,将防渗墙深度逐步延伸,达到深度时再进行回填压实,每次改变防渗墙深度时先放光渗流槽内的水,静置 24 h 再进行防渗墙的延伸。深度每增加一次进行测压管水头和坝后渗流量数据的采集,每增加一次防渗墙深度测量 3 组,下表每组数据为 3 组数据的平均值。为了保证数据是在渗流槽在相应的防渗墙深度达到稳定时的数据,数据的采集在每次增加防渗墙深度 24 h 后进行。实验采集的数据经过处理后如表 2。

4.3 实验分析

通过实验数据与计算得到得表 2,从表 2 中渗流量随着防渗墙深度的变化绘制单宽流量 - 防渗墙深度的关系,得出图 6。

表 2 垂直防渗墙深度与坝基单宽渗流量关系

| 防渗墙深度与坝前水头倍数 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| 实测单宽渗流量 q | 13.968 | 7.689 | 5.904 | 4.809 | 4.349 | 3.889 | 3.605 | 3.393 | 3.256 | 3.139 |
| 坝后渗透坡降值 | 0.1081 | 0.0755 | 0.0579 | 0.0471 | 0.0396 | 0.0342 | 0.0301 | 0.027 | 0.024 | 0.0221 |

m³/(d·m)

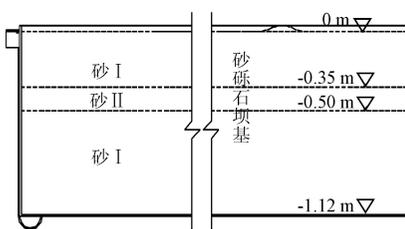
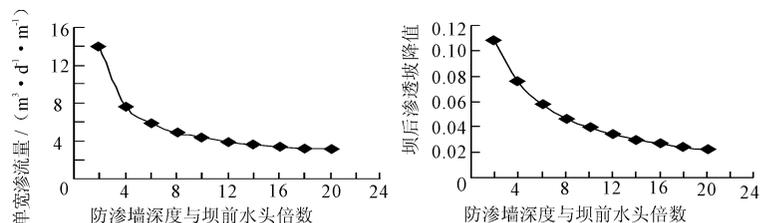


图 5 渗流槽内砂子的填充方式



(a) 防渗墙深度和坝基渗流量的关系 (b) 防渗墙深度和坝后渗透坡降的关系

图 6 单宽流量和渗透坡降随防渗墙深度变化曲线

通过图6可以发现,随着防渗墙深度的增加渗流量和渗透坡降都在显著的减少,但当防渗墙深度到达一定尺寸之后,再增加防渗墙的深度对减小渗流量作用已不是太明显。从图中可以看出当防渗墙深度达到坝前水头的6~10倍的时候,再增加防渗墙深度已经不能有效的减少坝基的渗流量;当防渗墙达到有效深度后,坝基的渗流量逐渐趋于稳定,再增加防渗墙深度意义也不是很大。

5 结 语

非均质无限深透水地基的渗流控制是水工地基渗流的重要组成部分,本文通过模型实验对给问题做了初步分析和研究,通过研究发现,防渗墙的位置变化对坝基的渗流量有显著影响,且越靠近坝基上游,其防渗效果越好;当悬挂式防渗墙的有效深度大约为6~10倍坝前水头时,坝基的渗流量明显减少的趋势变小,当悬挂式防渗墙的有效深度大约为18~20倍坝前水头时,坝基的渗流量基本趋于稳定。

本文虽然是以新疆某水库为研究对象,但对其他建在非均质无限深透水地基上的水库也有很高的

参考价值。在具体的工程中防渗墙的深度选取不但要考虑其防渗作用,还要综合考虑它的经济效益与对生态环境影响等多方面因素。

参考文献:

- [1] 张家发,李思慎,王文新. 长江重要提防垂直防渗工程[C]//. 长江护岸及提防防渗工程论文选集. 北京:中国水利水电出版社,2003.
- [2] 夏细禾,刘白兴,等. 长江提防防渗工程施工研究及其应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004:75-76.
- [3] 丛嵩森. 地下连续墙的设计施工与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.
- [4] 毛海涛,侍克斌. 无限深透水地基上土石坝防渗墙位置对坝基渗流的影响[J]. 水力发电,2008,34(1):45-47.
- [5] 毛海涛,侍克斌. 土石坝防渗墙深度对透水地基渗流的影响[J]. 人民黄河,2009,31(2):84-86.
- [6] 陈西安. 悬挂式防渗墙防身效果的模拟实验研究[J]. 岩石力学与工程学报,2008,27(增):2767-2771.
- [7] 毛海涛,侍克斌. 新疆透水地基上土石坝防渗墙有效深度研究[J]. 人民长江,2008,39(19):81-84.

(上接第72页)

(2)据预测,在未来100年中全球平均气温将每10年升高 $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[8]。因此,若就气温增暖而言,汾河径流量会进一步减少,断流趋势还会发展。但是文献[8]还提出“降水也会发生明显变化”,因此要是汾河流域降水增多幅度大于气温增暖趋势,人类对于径流需求增长趋势有所减缓,同时因“复流工程”实施而对流域水循环破坏有所控制的话,前者发生的可能性就会降低,伴随的灾害也会相对减少。

(3)有研究认为大暖期又常是湿润多水时期,在气候剧烈转变期间水旱灾害将会进一步加剧^[5],如1996年汾河洪水致使两岸堤防有10多处决口及滩地积水达40多天,2010年8月9日赵城汾河段发生近14年来最大洪水流量(即 $1\ 500\ \text{m}^3/\text{s}$)就是例子,因此在积极采取措施防御干旱影响的同时,还需积极开展气候、水文监测和预报,为抗拒小概率洪涝灾害的发生做好必要准备。

(4)本文所指气温、降水变化对径流量影响幅度分别为8.6%和16.3%是近期资料分析的结果,正如众多敏感性分析成果一样,事实上影响流域水量丰枯甚至断流的因素很多,气候变化对径流影响

的问题非常复杂,因此还需进一步加强研究与综合性分析。

参考文献:

- [1] 杨萍果,郑峰燕. 汾河流域50年降水量时空变化特征[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(12):108-111.
- [2] 赵学敏,胡彩虹,张丽娟,等. 汾河流域降水变化趋势的气候分析[J]. 干旱区地理,2007,30(1):53-59.
- [3] 梁丽霞,任志远,王丽霞,等. 汾河流域气温变化时空特征分析[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(1):52-57.
- [4] 王国庆,张建云,何瑞敏. 环境变化对黄河中游汾河径流情势的影响研究[J]. 水科学进展,2006,17(6):853-858.
- [5] 施雅风,范建华. 中国中纬度地带气候暖干化对水资源的影响[J]. 水科学进展,1991,2(4):217-223.
- [6] 严少敏,左文朴,朱绮霞,等. 近百年来全球气候变暖的倾向和甲型流感病毒神经氨酸酶进化的倾向(英文)[J]. 广西科学,2010,17(1):80-84.
- [7] 杨军生,梁述杰,王 箐. 关于汾河断流的分析[J]. 人民黄河,1998,20(3):3-6.
- [8] IPCC. Climate change, impacts, adaptation, and vulnerability[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.