

复杂地质条件下水电站厂房 深基坑防渗方案优化

周华雷, 沈振中, 徐力群

(河海大学水利水电学院, 江苏 南京 210098)

摘 要: 以某水利枢纽工程电站厂房基坑为例, 应用三维渗流有限单元法, 建立了一期厂房基坑的三维有限元模型。分析不同防渗布置方案下基坑渗流场的分布特性, 计算各种方案下防渗墙和基坑内部砂砾石覆盖层的最大渗透坡降及其变化规律, 预测基坑排水量。以基坑渗透稳定为控制标准, 综合考虑经济因素, 提出了深基坑防渗布置优化方案。

关键词: 深基坑; 防渗方案; 优化; 渗透稳定

Seepage Control Scheme Optimization for Deep Foundation Pit of Powerhouse under Complicated Geological Conditions

ZHOU Hualei, SHEN Zhenzhong, XU Liqun

(College of Water Conservancy and Hydropower, Hohai University, Nanjing 210098, Jiangsu, China)

Abstract: Taking a powerhouse foundation pit as study case, the three dimensional finite element model of foundation pit is established to analyze foundation pit seepage field distributions under different seepage control schemes. The maximum seepage gradients and its variations for impervious wall and sand and gravel overburden of foundation pit under different seepage control schemes are calculated, and the water seepage of pit is predicted. Taking pit seepage stability as a precondition and considering economic factors, the seepage control optimization of deep foundation pit is finally put forward.

Key Words: deep foundation pit; seepage control scheme; optimization; seepage stability

中图分类号: TV223.42

文献标识码: A

文章编号: 0559-9342(2016)04-0053-04

0 引言

许多水电工程采用坝后式开发, 电站厂房建造在河床上。在厂房基坑开挖时, 深厚覆盖层地基存在渗透稳定问题, 尤其是当基坑开挖深度大, 地质条件复杂时, 基坑的防渗问题更加突出, 一旦出现问题, 后果十分严重。湖南溇水水电站二期基坑施工过程中基坑内部出现管涌, 不但严重影响了工程进度, 更造成了巨大的经济损失。因此, 如何选择合理有效的防渗措施, 防止基坑工程因渗透稳定问题发生破坏具有重要的研究意义。

国内外学者在基坑渗流控制研究方面取得了许多成果。陈骏峰等基于饱和-非饱和理论, 计算了某临河基坑渗流场, 得出了基坑的优化防渗措施^[1]。姜忻良等应用三维有限元法计算分析了基坑渗流场

的分布, 还分析了土质条件发生改变时对基坑渗透稳定性的影响^[2]。俞洪良等采用有限单元法分析计算了基坑渗流场, 研究了基坑渗透稳定性随水利条件变化特性^[3]。由此可见, 应用渗流有限元法研究复杂地质条件下基坑的渗流安全问题是常用而有效的方法。

本文针对某水利工程电站厂房基坑覆盖层深厚, 且受近几年河道频繁采砂活动的影响较大, 河床覆盖层土体地质条件更加复杂的情况, 开展了基坑渗

收稿日期: 2015-12-02

基金项目: 江西省水利科技项目(KT201545); 中央高校基本业务费项目(2014B11914); 江苏省自然科学基金青年基金(BK2012410)

作者简介: 周华雷(1992—), 男, 江苏淮安人, 硕士研究生, 研究方向为工程渗流控制与分析。

流控制方案的优化计算分析研究,提出了合理有效的防渗布置方案。

1 工程概况

浙江某水利枢纽工程等级为三等,主要建筑物有泄洪闸、船闸、河床式发电厂房、左岸混凝土重力坝及右岸回填防渗建筑物等。本文模拟计算该枢纽工程右岸厂房基坑,基坑内部按发电设备布置要求进行开挖,开挖最深处达 25 m 左右。施工期间,在基坑上、下游侧和河床侧分别布置横向围堰及纵向围堰,围堰均采用混凝土防渗墙防渗,防渗墙厚 0.6 m。基坑平面布置示意图 1。

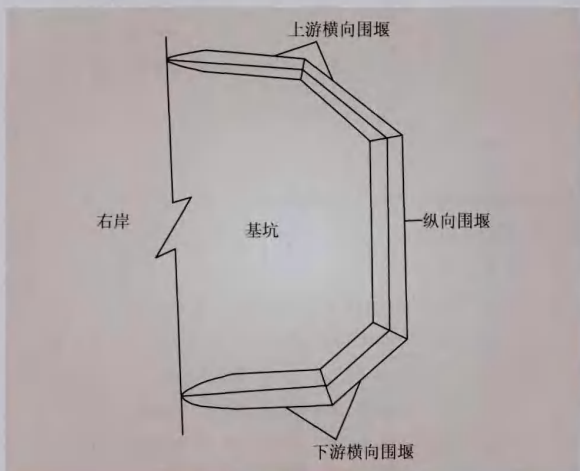


图1 基坑平面布置示意

河床上部分布有第四系全新统冲洪积砂砾卵石层,厚约 15 ~ 37 m,渗透系数 K 为 $2.28 \times 10^{-4} \sim 5.78 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$,强~中等透水性。下部分布有第四系上更新统冲洪积含泥砂砾卵石,厚约 6 ~ 23.5 m,渗透系数 K 为 $1.3 \times 10^{-4} \sim 8.14 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$,中等透水性。基岩为侏罗系上统诸暨组 a 段含砾晶屑凝灰岩,新鲜岩石较坚硬。全风化带厚 0 ~ 5 m;强风化带厚 0.25 ~ 1.5 m。沿线未见断层通过,节理稍发育,一般以中~陡倾角为主,节理面一般充填铁锰质、黄色矿物、钙质薄膜及细脉等。基岩相对不透水层($q \leq 5 \text{ Lu}$)埋深:左岸 3 ~ 14 m;河床 8 ~ 56.5 m,局部 62 m;右岸 18 ~ 31 m。由于近几年采砂活动频繁无序,河床顶部细颗粒砂石流失,留下相对比较粗颗粒,河床顶部一定范围内土体渗透系数变大。

2 计算模型和计算参数

根据工程地质条件建立三维有限元模型。围堰按实际结构考虑,包括土工膜、砂砾石堰体、防渗墙等;地基部分包括覆盖层和下部基岩;基坑内部

按实际开挖情况进行模拟,模型底部截取至相对不透水层以下约 50 m,即高程 -100 m。

2.1 有限元模型及边界条件

以大地坐标为模型原点,上游指向下游为 X 轴正方向;右岸指向左岸为 Y 轴正方向;由下到上为 Z 轴正方向,与高程一致。整体模型 x 、 y 、 z 尺寸为 510、401、112 m。使用空间八节点六面体单元对模型进行网格划分,共生成 46 613 个单元,50 952 个节点。计算模型三维有限元网格见图 2。

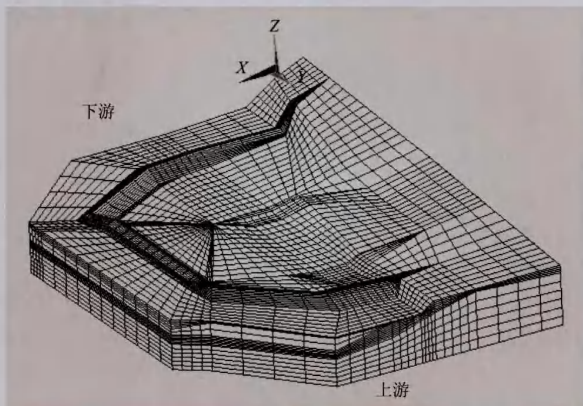


图2 基坑三维有限元网格

计算模型的边界条件包括已知水头边界、出渗边界及不透水边界^[4]。已知水头边界包括围堰上、下游侧河道水位以下的河岸、河底以及岸坡地下水水位以下的截取边界^[5];出渗边界为河道水位以上的上、下游围堰,基坑内侧所有与大气接触的表面;不透水边界包括基坑模型上、下游两侧和右岸两侧截取边界除给定地下水水位以外的部分边界以及模型底面^[6]。

2.2 材料渗透参数

围堰各分区材料及地层的渗透参数见表 1。

表1 围堰各区材料及地层渗透参数

材料名称	渗透系数/ $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	允许坡降
土工膜	1.00×10^{-10}	—
围堰堆石体	5.00×10^{-1}	—
混凝土防渗墙	1.00×10^{-7}	80
砂砾石层	5.00×10^{-2}	0.30
含泥砂砾石层	4.00×10^{-3}	—
基岩	1.00×10^{-5}	—

3 基坑防渗方案

3.1 防渗布置

根据本工程实际地质条件,参考设计资料,拟定 7 种(H1 ~ H7)防渗布置方案进行基坑的渗流计算,分析不同防渗方案下基坑渗流场的位势分布、

渗透坡降及其变化规律,以确定经济合理的防渗方案。防渗方案 H1 ~ H7 的防渗墙底部高程分别至 -35.5 、 -38 、 -41 、 -44 、 -47 、 -50 m 和 -52 m。河床侧及基坑上、下游侧计算水位取 10 年一遇 ($P=10\%$) 洪水位 10.94 m, 岸坡侧地下水水位取 10.00 m。

3.2 基坑渗流场位势分布

经计算得到各种防渗方案下基坑的三维渗流场。方案 H1、H6 基坑的地下水水位等值线见图 3。从图 3 可知,河道水流和岸坡地下水通过围堰及山体向基坑内部入渗,浸润面最低位置出现在基坑内部开挖深度较大的部位。防渗墙处地下水水位等值线密度较大,说明该部位渗透坡降较大,防渗墙的阻渗作用明显;防渗墙的深度变化对整体基坑的地下水水位分布有明显影响,随着围堰防渗墙底部高程的降低,防渗墙处地下水水位等值线的密集程度有一定增大,表明防渗墙的防渗效果越好。

防渗方案 H1 和 H6 基坑典型剖面 $Y=120$ m 的位势分布见图 4。从图 4 可知,地下水水位在防渗墙上、下游降落明显,且随着防渗墙深度的变化,防渗墙下游位势值的变化明显。图 5b 中防渗墙下游浸润面比图 5a 明显降低,位势降低约 1.25 m。

防渗墙下游位势随防渗墙底部高程变化规律见图 5。从图 5 可知,防渗墙底部高程至 -35.5 m 时,上游防渗墙后水头为 2.89 m;防渗墙底部高程分别至 -38 、 -41 、 -44 、 -47 、 -50 m 和 -52 m 时,防渗墙下游位势相对于方案 H1 分别降低了 0.19 、 0.48 、 0.57 、 0.63 、 1.25 m 和 1.29 m。数据表明,防渗墙对水头的削减作用随防渗墙深度增加有一定增幅。当防渗墙达到基岩时,即底部高程为 -50.0 m 时,防渗墙对水头的削减作用较大,再继续增加防渗墙的深度,实际得到的防渗收益较小。

3.3 基坑排水量

各种防渗墙方案下基坑的总渗透流量(即排水

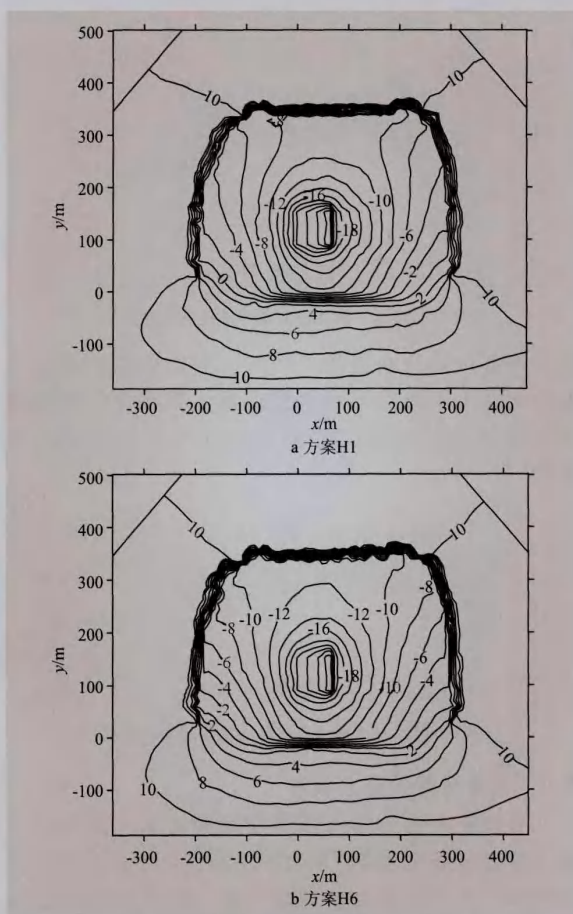


图3 地下水水位等值线(单位:m)

量)及其随防渗墙深度变化规律见图 6。从图 6 可知,防渗墙底部高程达到 -35.5 m 时,基坑总的排水量为 $42\,790\text{ m}^3/\text{d}$,随着防渗墙深度的增大,基坑总的排水量不断减少。相对于方案 H1,方案 H2 ~ H7 基坑总的排水量分别减小了 1481 、 $2\,949$ 、 $4\,665$ 、 $5\,839$ 、 $12\,778\text{ m}^3/\text{d}$ 和 $13\,228\text{ m}^3/\text{d}$ 。数据表明,当防渗墙未达到基岩时,增加防渗墙深度得到的防渗收益较高,且当防渗墙达到基岩时,防渗墙对阻碍

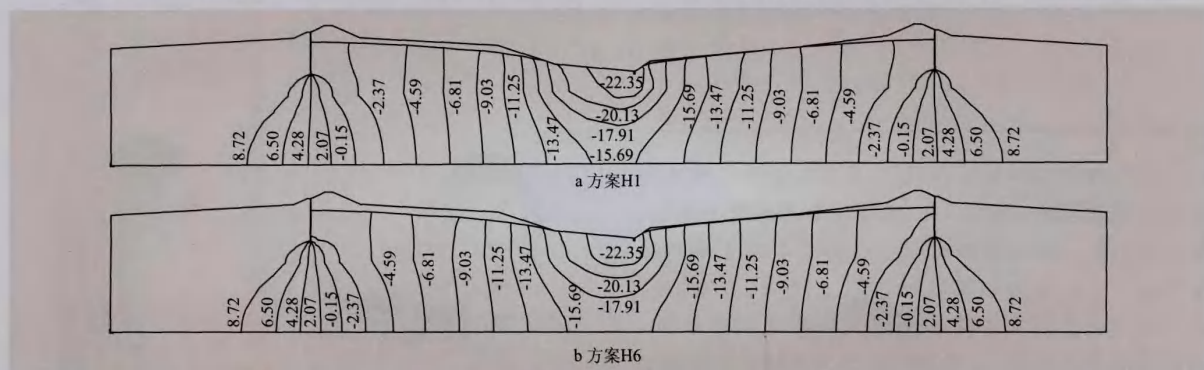


图4 不同防渗方案基坑剖面位势分布(单位:m)

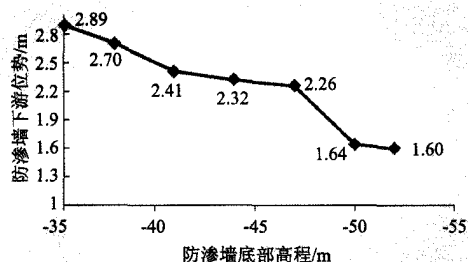


图5 防渗墙下游水位随防渗墙底部高程变化

水流向基坑内的渗透效果较好。当防渗墙已经达到基岩时,由于相对不透水层渗透系数较小,再继续增加防渗墙的深度,对渗透流量的防渗收益同样较小。

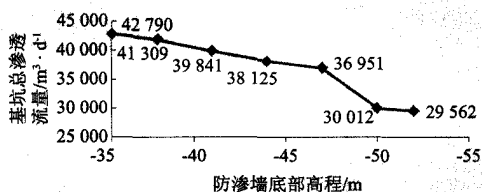


图6 基坑总渗透流量随防渗墙底部高程变化

3.4 主要分区的渗透坡降

各防渗方案下基坑防渗墙和覆盖层主要分区的最大渗透坡降见表2。从表2可知,防渗墙的最大渗透坡降均出现在上游围堰防渗墙。随着防渗墙深度的增加,防渗墙的阻渗作用愈加明显,防渗墙的渗透坡降有一定程度的增大。混凝土防渗墙的允许渗透坡降为80,各方案下防渗墙的最大渗透坡降均远小于允许坡降。

表2 各种方案下不同部位的最大渗透坡降

方案编号	防渗墙	覆盖层
H1	13.42	0.44
H2	13.73	0.39
H3	14.22	0.35
H4	14.37	0.31
H5	14.47	0.27
H6	15.50	0.24
H7	15.57	0.23

基坑内部下游侧覆盖层出逸坡降最大,故该处出现渗透破坏的几率较大。随着防渗墙深度的增加,覆盖层的最大渗透坡降有明显的降低。基于渗透稳定考虑,当防渗墙底部高程达到-47 m(方案H5)时,砂砾石的最大坡降即小于允许渗透坡降0.30。当防渗墙达到基岩(方案H6)时,再继续增大防渗墙深度对减小砂砾石的渗透坡降效果已不明显。

4 结语

针对某水利枢纽工程电站厂房基坑开挖施工的渗流控制问题,建立三维有限元模型,计算分析厂房基坑的渗流场特性,研究采用不同防渗方案时基坑渗流场的变化规律,得出以下结论:

(1)采用防渗墙防渗进行渗流控制可有效阻隔地下水向基坑内部渗透,削减水头的作用主要集中在防渗墙中。在一定范围内,增加防渗墙的深度可有效地减少基坑总的渗透流量及基坑内覆盖层的出逸坡降,提高基坑的渗透稳定性。当防渗墙已经达到基岩,再继续增加防渗墙的深度,实际的渗流控制收益增幅较小。因此,以渗透稳定为控制条件,综合考虑经济效益,可以拟定基坑围堰防渗墙的最佳深度。

(2)根据不同防渗方案的渗流场计算结果,并截断可能的采砂层,建议采用方案H5,即防渗墙底部高程达到-47 m。此时,在计算水位下,基坑的总排水量为36 951 m³/d,防渗墙的最大渗透坡降为14.47,基坑内部砂砾石覆盖层的最大出逸坡降为0.27,出现在基坑内部下游侧覆盖层,防渗墙和覆盖层的最大渗透坡降均小于材料的允许坡降,已达到渗透稳定的要求。

参考文献:

- [1] 陈骏峰,冯美果.基于饱和和非饱和渗流理论的基坑防渗措施分析[J].岩土力学,2009,30(5):1425-1430.
- [2] 姜忻良,宗金辉.不同土质条件下基坑渗流场渗透特性分析[J].天津大学学报,2006,39(11):1299-1304.
- [3] 俞洪良,陆杰峰,李守德.深基坑工程渗流场特性分析[J].浙江大学学报,2002,29(5):595-600.
- [4] 任杰,沈振中.哈达山水利枢纽右岸渗流控制优化方案研究[J].水力发电,2010,36(8):28-30,89.
- [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] 徐力群,黄柏云,陆誉婷,等.地质缺陷的面板堆石坝渗流特性分析及处理措施研究[J].水力发电,2015,41(12):48-53.

(责任编辑 杨健)

