

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.04.005

# 基于ADNIA的基坑渗流有限元分析

张冬冬<sup>1</sup>, 孙瑞瑞<sup>2</sup>, 袁新明<sup>3</sup>, 王刚<sup>4</sup>

(1. 上海交通大学 船建学院安全与防灾工程研究所, 上海 200240;

2. 上海市地矿工程勘察院, 上海 200072; 3. 扬州大学 水利科学与工程学院, 江苏 扬州 225009;

4. 山东农业大学 水利土木工程学院, 山东 泰安 271000)

**摘要:** 基坑工程许多事故是地下水引起的, 船坞基坑中常采用防渗设施来减小地下水的危害, 而对渗流规律的分析研究尚未明确。为了进一步研究基坑防渗设施对渗流场的影响, 应用温度场数学模型来模拟渗流计算, 通过ADINA-T进行渗流模拟, 得到不同工况下船坞基坑典型断面的渗透水头及坡降的分布变化规律, 防渗设施对渗透水头和压力均有明显的下降作用, 形成了较大的渗径长度, 有效的缩小了渗透坡降, 分析研究结果有利于进一步认识基坑在防渗设施下的渗流规律, 为基坑渗流和防渗设施的研究提供理论依据。

**关键词:** 三维水动力; 船坞基坑; 渗透水头; 防渗设置; 渗流控制

**中图分类号:** TU44

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-1144(2016)04-0021-04

## The Finite Element Analysis of Foundation Seepage Based on ADNIA

ZHANG Dongdong<sup>1</sup>, SUN Ruirui<sup>2</sup>, YUAN Xinming<sup>3</sup>, WANG Gang<sup>4</sup>

(1. Institute of Engineering Safety and Disaster Prevention, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China; 2. Shanghai Institute of Geological Engineering Exploration, Shanghai 200072, China;

3. College of Hydraulic Science and Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

4. Water Conservancy and Civil Engineering College, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271000, China)

**Abstract:** Deep excavation is often affected by groundwater that results in many accidents. Seepage control facilities were adopted in dry dock foundation to reduce the harm of groundwater seepage, yet the seepage law is not yet clear. In order to further study the effect of foundation seepage prevention facilities of seepage field and temperature field mathematical model to simulate the seepage, a three-dimensional mathematical model was developed by using ADNIA-T, which could provide us the distribution of seepage head and grade on typical section under different working condition. The results indicate that arrangement of anti-seepage dock has increased the seepage path length, reduced the seepage slope, and prevented the occurrence of piping and flow soil. This research is helpful to further recognize the seepage law of foundation pit under seepage control facilities, and could provide the reliable theory basis for foundation pit seepage and facilities design.

**Keywords:** 3D-water power; dry dock foundation; cut-off wall; seepage control

临江船坞基坑处于水位高处, 常采用基坑减压降水措施降低地下水位, 在基坑降水过程中底板与周围形成较大的水位差, 存在一定的水力坡降, 基坑安全存在隐患。采用减压防渗设施可以减小船坞底板的渗透水头确保基坑安全<sup>[1-5]</sup>。

实际工程中由于模型边界条件实现方式复杂, 采用通常的水力及渗流学解法难以准确模拟实际流场情况<sup>[6]</sup>。随着计算机数值模拟技术发展, 利用数值模拟手段采用有限元法计算防渗设置对地下水阻挡产生的渗流场影响<sup>[7-12]</sup>。本文以基坑防渗设施

对渗流场影响为核心,对渗流场模型进行研究发  
现温度场与渗流场相应量类似,采用 ADINA 软件模拟  
断面的渗透场基本情况。

1 数学模型

1.1 基本思路

将渗流区域剖分成有限元的组合体,在渗流微分  
方程中采取数学方法建立单元支配方程,采用多项式  
插值表示水头函数,描述渗流区域内的水头曲线。

1.2 渗流计算在 ADINA 中的实现

ADINA 采取的温度场控制方程为:  
$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x \frac{\partial \theta}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y \frac{\partial \theta}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_z \frac{\partial \theta}{\partial z}) = -q^B \quad (1)$$
  
式中: $\theta$  为温度; $k_x, k_y, k_z$  为导热系数; $q^B$  为域内热  
单位体积生成率。模型边界满足:

$$\theta|_{S_1} = \theta_e \quad (2)$$

$$k_n \frac{\partial \theta}{\partial n} \Big|_{S_2} = q^S \quad (3)$$

式中: $S_1, S_2$  为温度和热源密度; $q^S$  为热源密度边界  
条件。

式(1) 中对和导热系数分别以水头  $h$  和渗透系  
数代替,令  $q^B = 0$ ,则式变换为:

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_x \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_y \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_z \frac{\partial h}{\partial z}) = 0 \quad (4)$$

即为渗流基本微分方程。

根据温度场与渗流场相似原理,位函数将温度  
场换为渗流水头,导热系数替换为渗透系数,比热换  
成单位储存量,外渗强度以热产生率表征,采用 AD-  
INA-T 模块边界条件设置并进行渗流计算。

1.3 算例

采用以低渗透性地基的均质坝体为例计算稳定  
渗流自由等水头面,设置坝体参数为坝体上部和下  
部水头分别为 6.0 m、1.0 m 来计算稳定渗流自由面  
位置。

图 1 为低渗透地基均质坝体稳定渗流自由面。  
实线为 ADINA-T 模块计算出的温度场结果,虚线  
为甘油模型的实际试验结果,最大误差仅为 7.0%,  
可以看出两者结果误差较小,满足计算精度要求。

2 有限元模型

2.1 工程概况

船坞基坑工程<sup>[13]</sup>包括坞首、室及连接段等结构  
组成,平面尺寸为 10 200 mm×46 000 mm,地下连续

墙采用 450 mm 厚钢筋混凝土。底板采用钢筋混凝  
土梁板,在最底部铺设土工布,两侧设置为 500 mm  
×800 mm 的排水沟。

坞首采用三块分离式块基结构,坞门采用宽为  
15 m 的整体浮箱式钢坞门。船坞设置第一道为坞  
首 450 mm 和坞外 220 mm 厚地下连续墙,第二道由  
坞首 450 mm 厚地下连续墙和坞室板桩墙。图 2 为  
船坞基坑底部平面图,图 3 为船坞基坑纵剖面图。

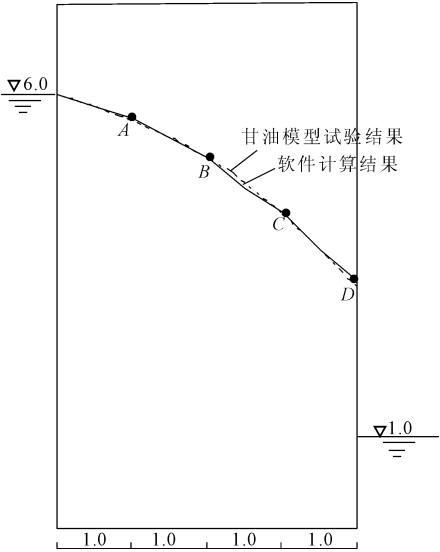


图 1 低渗透地基均质坝体稳定渗流自由面

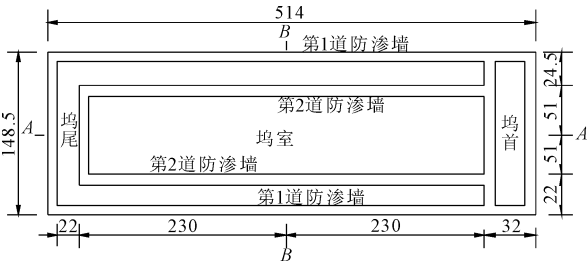


图 2 基坑平面图

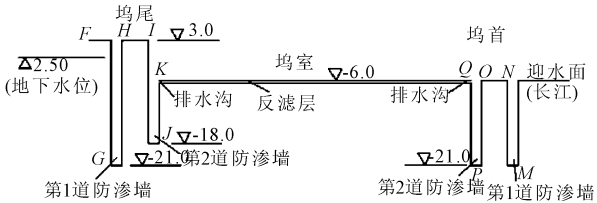


图 3 基坑纵剖面图

2.2 有限元模型

(1) 计算区域的确定<sup>[8,14-16]</sup>。根据工程经验及  
有限元分析,计算模型范围取基坑宽度的 2~4 倍,  
长度的 1~3 倍。本基坑宽度为 102 m,长度为 460  
m,计算模型宽度为 459.04 m,长度为 840.27 m。

(2) 单元剖分的划分。由于模拟计算区域较

大,采用六面体单元结构化和非结构化网格相结合的方法,结合基坑和计算域的对称性,整个区域网格单元数划分为 64 028 个。划分网格时,针对重点部位进行适当加密处理,一般部位可以适当放宽的原则进行,对防渗墙作为不透水单元处理。图 4 为整个计算区域网格划分。

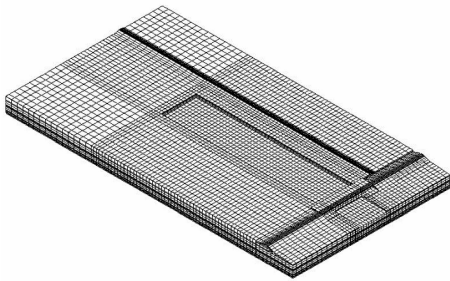


图 4 基坑数值计算网格划分

(3) 计算参数的选取。表 1 为基坑的材料计算参数。材料参数根据计算区域内基坑土体和材料的物理力学性质划分计算单元,混凝土面层采用 3-D soild 线弹性实体单元。

表 1 基坑的材料参数<sup>[13]</sup>

| 编号  | 名称   | 渗透系数<br>/( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) | 重度<br>/( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ) |
|-----|------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| F   | 反滤层  | $6.00\times 10^{-4}$                      | 24.0                                     |
| ③   | 粉土   | $3.19\times 10^{-5}$                      | 18.5                                     |
| ④   | 粉砂   | $3.75\times 10^{-5}$                      | 18.5                                     |
| ⑤   | 粉细砂  | $4.35\times 10^{-4}$                      | 18.5                                     |
| ⑤2a | 粉细砂  | $3.25\times 10^{-4}$                      | 18.6                                     |
| ⑤2  | 粉质黏土 | $1.30\times 10^{-5}$                      | 17.9                                     |
| ⑥   | 粉土   | $3.40\times 10^{-6}$                      | 18.7                                     |
| D   | 黏土   | $2.00\times 10^{-7}$                      | 18.5                                     |
| W   | 混凝土  | $1.00\times 10^{-10}$                     | 23.5                                     |
| ⑦   | 粉砂   | $4.25\times 10^{-4}$                      | 18.6                                     |
| ⑦   | 粉砂   | $1.75\times 10^{-5}$                      | 18.3                                     |
| ⑧   | 粉土   | $4.53\times 10^{-7}$                      | 18.1                                     |
| T   | 土工布  | $1.00\times 10^{-9}$                      | 18.5                                     |

(4) 边界条件处理与求解工况。模型中的边界类型为给定水头边界,计算模型左后两侧分别给定 3.50 m 的地下水位,在迎水面及右侧分别给定 5.20 m 的水头。根据基坑设计的上游作用水头及基坑右侧水位,将计算分为两种工况。

表 2 计算工况表

| 工况   | 正常水位 | 100 年一遇 |
|------|------|---------|
| 水位/m | 5.20 | 3.50    |

3 分析讨论

3.1 渗透水头分析

图 5、图 6 为工况一、工况二基坑渗流等水头线。基坑内部存在渗透压力,防渗墙的设置对压力分布也有一定的影响。

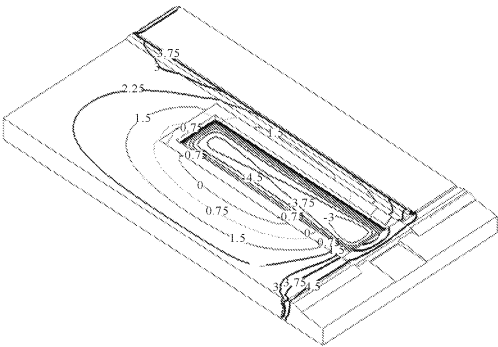


图 5 工况一基坑渗流等水头线

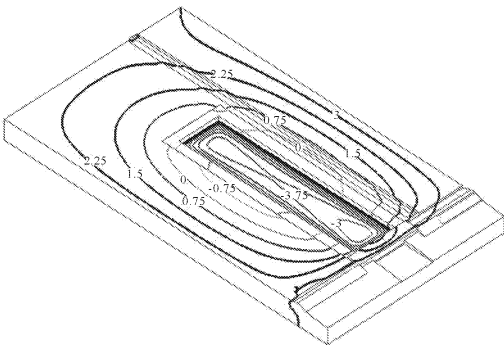


图 6 工况二基坑渗流等水头线

(1) 防渗墙对降低渗透水头具有明显阻挡作用。基坑首处、横纵向的渗透水头均呈下降趋势,右侧的渗透水头也下降明显。

(2) 基坑所受的压力非均匀分布。基坑所受的渗透压力水头不相等,在防渗墙附近压力下降最快。

(3) 基坑周围渗透水头变化呈下降趋势。在基坑前中线,底板所受 3.0 m 水柱高的渗透压力。

3.2 渗透坡降分析

由于采用基坑减压降水措施降低地下水位,底板与周围形成较大的水位差,存在一定的水力坡降。

表 3 基坑渗透坡降结果

| 水头值/m | 渗透坡降    |         |
|-------|---------|---------|
|       | J - K 段 | P - Q 段 |
| 5.20  | 0.48    | 0.49    |
|       | 0.50    | 0.34    |
| 3.50  | 0.41    | 0.42    |
|       | 0.39    | 0.36    |

表 3 为渗透坡降计算结果。图 3 截面的  $J-K$ 、 $P-Q$  段在地下水位为 5.20 m 时的坡降为 0.48、0.49 均在允许范围内满足计算要求。

## 4 结 论

本文以基坑防渗设施对渗流场影响为核心,对渗流场模型进行研究发现温度场与渗流场相应量类似,采用 ADINA 计算结果如下:

(1) 防渗设施对降低渗透水头具有明显阻挡作用。渗透水头在基坑底部呈下降趋势,防渗墙作用明显,基坑与周围的变化趋势相同呈下降趋势。

(2) 防渗设施对渗透水头和压力均有明显的下降作用,形成了较大的渗径长度,有效的缩小了渗透坡降,有效减小发生管涌和流土的概率。

(3) 基于 ADINA 软件建立三维数学模型能够准确模拟基坑渗流三维水流动力特性,模拟方法有利于进行多工况的比较,适用于大基坑建筑内的水流流态。

文中提到的数值模型仅对渗流场进行分析研究,对应力场的耦合模型未能完成,但该方法证明了 ADINA 有限元软件对基坑渗流场的模拟有效性。

## 参考文献:

- [1] Zhang D D, Zhou J F, Zhang W G, et al. The finite element analysis of the excavation on adjacent buildings based on mohr coulomb model [J]. Advanced Materials Research, 2012, 374/377: 2171-2175.
- [2] 王云平,赵德深,郭东亮.渗流下不同覆岩结构长壁上大型船坞渗流的有限元分析[J].水利与建筑工程学报,2016,14(1):27-31.
- [3] 胡卸文,罗 刚,等.唐家山堰塞体渗流稳定及溃决模式分析[J].岩土力学与工程学报,2010,29(7):1409-1417.
- [4] Zhang D D, Ding J W, Wang R B, et al. Research on application of deep foundation pit decompression dewatering technology and impact on surrounding environment[J]. Advanced Materials Research, 2013, 671/674: 101-104.
- [5] 吴 辉.干船坞渗流数值模拟研究及其应用[D].大连:大连理工大学.
- [6] 熊 政,何蕴龙,韩 健,等.ADINA 软件在土石坝渗流场计算中的应用[J].西北水力发电,2006,22(1):39-45.
- [7] Zhang D D. Coupled numerical simulation research on dewatering and land subsidence in deep foundation pit[J]. Advanced Materials Research, 2013, 275/277: 1549-1552.
- [8] 陈 蕾.大型船坞工程施工期结构有限元分析研究[D].扬州:扬州大学,2012.
- [9] 吴 辉,艾丛芳,等.干船坞渗流分析[J].水道港口,2014(6):602-607.
- [10] 常卓强,侍克斌,王海涛,等.非均质无限深透水坝垂直防渗墙深度对渗流影响的初步研究[J].水资源与水工程学报,2012,23(2):73-77.
- [11] 毛海涛,何华详,邵东国,等.无限深透水坝基渗流场与应力场耦合分析[J].水动力研究与进展: A 辑, 2015, 30(2): 223-229.
- [12] 吴玉龙,孙成祥,张建海,等.某水电站厂房基坑排水井抽排效果三维有限元渗流分析[J].水利与建筑工程学报,2015,13(5):200-203.
- [13] 孙瑞瑞.船坞渗流与坞室底板的有限元分析[D].扬州:扬州大学,2009.
- [14] 顾美娟,张磊磊,袁新明.大型船坞渗流的有限元分析[J].水利与建筑工程学报,2007,5(1):44-47.
- [15] 张小伟,姚笑青.基坑工程变形的渗流应力耦合有限元分析[J].地下空间与工程学报,2012,2(8):339-344.
- [16] 位俊俊,张利伟.基坑渗流稳定分析[J].水利与建筑工程学报,2012,10(6):79-83.