

DOI: 10.11779/CJGE2014S2052

# 帷幕在降水条件下对基坑周边渗流及变形影响的研究

马昌慧<sup>1</sup>, 毛云<sup>2</sup>, 黄魏<sup>3</sup>, 蔡红<sup>4</sup>

(1. 中南建筑设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430071; 2. 湖北工业大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430068;

3. 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084; 4. 湖北中南勘察基础工程有限公司, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 人工降低基坑水位是基坑工程中的常用技术手段之一, 需要合理评价其在地基中引起渗流及附加的变形。采用 Visual MODFLOW 数值计算软件分析降水条件下武汉某基坑工程的渗流场, 并采用分层总和法计算地基变形场。结果表明, 随着离基坑的距离增加, 基坑外的水头逐渐增大, 而地基沉降逐渐减小。增加帷幕深度可以提高降水效果, 并有效减小基坑降水引起的沉降。

**关键词:** 基坑; 降水; 变形; 渗流; 数值模拟

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)S2-0294-05

**作者简介:** 马昌慧 (1986-), 女, 助理工程师, 主要从事基坑工程的设计和研究工作。E-mail: 513632660@qq.com。

## Effects of dewatering methods on seepage and deformation of foundation pits

MA Chang-hui<sup>1</sup>, MAO Yun<sup>2</sup>, HUANG Wei<sup>3</sup>, CAI Hong<sup>4</sup>

(1. Central-South Architectural Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430071, China; 2. School of Civil Engineering, Hubei Industrial

University, Wuhan 430071, China; 3. State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Department of Hydraulic Engineering,

Tsinghua University, Beijing 100084, China; 4. Hubei Central South Exploration & Foundation Engineering Co., Ltd., Wuhan 430071,

China)

**Abstract:** A usual approach for foundation pits is to decrease water level. It is necessary to evaluate the seepage and induced deformation in the soil base. The numerical simulation software, Visual MODFLOW, is used to analyze the seepage field of a foundation pit in Wuhan. The deformation of the soil base is accordingly derived using the layer-wise summation method. The analysis results show that the water level increases and the settlement of the soil base decreases as the distance from the foundation pit increases. The water level exhibits a significant loss near the curtain. The settlement decreases rapidly near the curtain, and the decrease rate becomes small when the distance is fairly large. The dewatering effect will increase and the settlement of the soil base decreases if the curtain depth increases.

**Key words:** foundation pit; dewatering; deformation; seepage; numerical simulation

## 0 引言

近年来, 基坑的深度和规模不断增大。在武汉等很多地区, 地下室施工都要求采用人工降低基坑水位。为了实现降水的目标, 需要在基坑及其附近设置井点抽水, 这必然在地层中引起渗流及附加的变形, 对周围环境和建筑安全产生影响。这些问题在设计中需要合理地加以评价。

降水设计的目标是在满足地下室施工的同时, 尽可能减少降水对周边环境的影响。为了达到该目标, 在基坑支护体系外围设置帷幕, 是一个常用的有效方法。不过, 目前帷幕深度对降水效果的影响还不够明确, 特别是降水引起的周边地层的变形规律还有待深入研究。

针对降水条件下基坑变形的破坏机理, 国内外学者已经采用现场观测、模型试验和数值分析等手段开展了多角度的研究<sup>[1-4]</sup>。其中, 数值模拟由于能够模拟基坑工程的复杂结构和边界条件, 得出基坑的水位和变形分布及其变化, 在实际工程模拟中得到了越来越广泛的应用<sup>[5-7]</sup>。

本文针对武汉某基坑工程, 采用数值模拟方法分析降水条件下地基的渗流场, 进而据此计算变形场。基于计算结果, 重点探讨防渗帷幕深度对地基渗流和变形的规律。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51479096, 51129902)

收稿日期: 2014-07-28

1 工程概况

本文计算针对的基坑位于武汉市建设大道延长线与发展大道交汇处(图 1), 拟建设 9 层商铺、21 层住宅, 设置 3 层地下室。基坑最大长度约 260 m、最大宽度约 95 m, 其周长约 614 m、面积约 15170 m<sup>2</sup>。场地地面整平标高 22.70 m, 基坑开挖深度 18.40 m。

该基坑设计等级为甲级, 重要性等级为一级, 支护结构安全等级为一级, 有效使用期限一年半。基坑平面示意图见图 1。从图中可以看出, 该基坑北侧东侧有大量民房, 南侧为发展大道高架桥, 西侧有建设大道涵洞。因此, 需要严格控制基坑对周围环境的影响。

基坑承压水水位为自然地面下 4 m, 含水层层顶埋深 11.0 m。根据施工要求, 需要进行降水。根据地质资料, 基坑的地层分布和降水井结构如图 2 所示。表 1 给出了基坑各地层以及支护结构的渗透系数、压缩模量等计算参数。

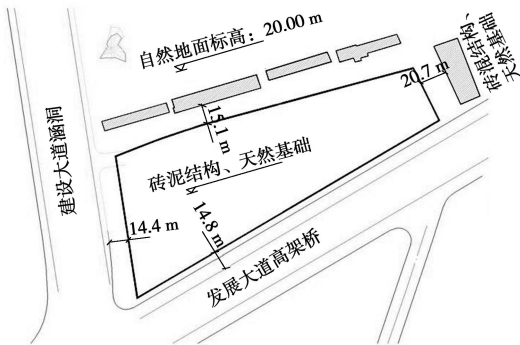


图 1 基坑布置平面示意图  
Fig. 1 Schematic view of foundation pit

表 1 基坑计算参数

| Table 1 Parameters for analysis |           |      |                             |                             |          |
|---------------------------------|-----------|------|-----------------------------|-----------------------------|----------|
| 层号                              | 土性        | 层厚/m | 水平渗透系数/(m·d <sup>-1</sup> ) | 竖直渗透系数/(m·d <sup>-1</sup> ) | 压缩模量/MPa |
| 1                               | 粉质黏土      | 5.2  | 0.050                       | 0.020                       | 4.6      |
| 2                               | 黏土        | 5.5  | 0.050                       | 0.020                       | 6.2      |
| 3                               | 粉质黏土夹粉土粉砂 | 2.8  | 0.050                       | 0.020                       | 5.5      |
| 4                               | 粉细砂       | 7.0  | 16.000                      | 5.000                       | 14.0     |
| 5                               | 粉细砂       | 10.5 | 16.000                      | 5.000                       | 19.0     |
| 6                               | 粉细砂       | 13.5 | 16.000                      | 5.000                       | 23.0     |
| 7                               | 强风化粉砂岩    | 12.0 | 0.010                       | 0.003                       | 43.0     |
| 8                               | 帷幕        |      | 0.001                       |                             |          |
| 9                               | 支护结构      |      | 0.001                       |                             |          |

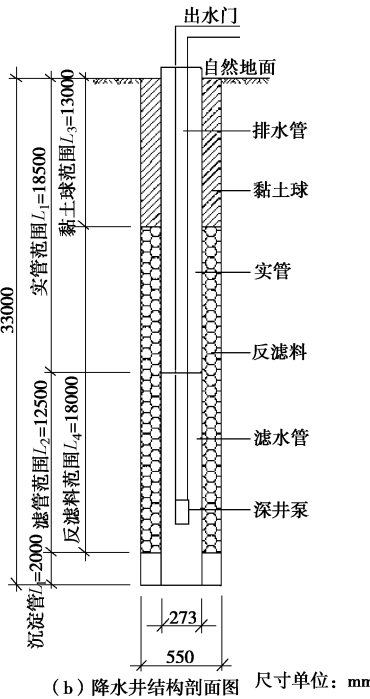
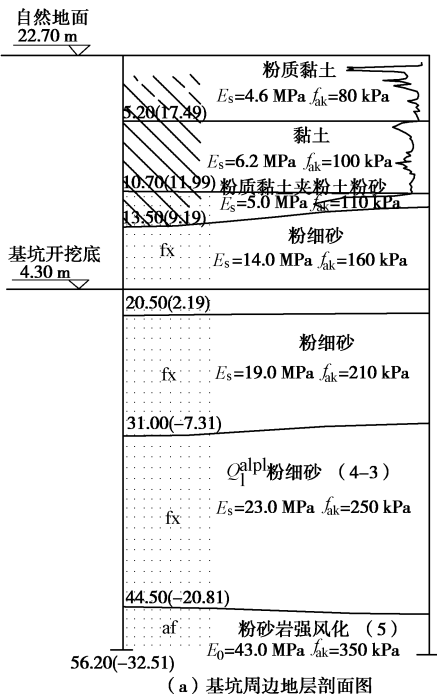


图 2 基坑地层及降水井示意图  
Fig. 2 Section of soil layers of foundation pit

2 计算模型与条件

计算降水引起的地基渗流场采用 Visual MODFLOW 软件进行。Visual MODFLOW 是国际上流行的三维地下水流标准可视化专业分析软件<sup>[8]</sup>, 具有良好的图形用户界面。它通过对地下水流动基本方程进行三维有限差分进行求解, 非常容易添加抽水井边界条件, 能够得出计算域的水头、流速等分布。因此, 该软件在地下水流动等领域得到了广泛的应用<sup>[9]</sup>,

在基坑降水渗流分析等方面也逐步得到了应用<sup>[5-7]</sup>。

本文计算范围取离基坑中心点距离 1500 m 的范围。在划分三维计算网格时,在基坑附近区域适当加密,以合理反映水头的分布变化(图 3)。在计算域边界处认为抽水对水位没有影响,设定为常水头边界条件(即自然地面下 4 m)。基坑内设置一系列的抽水井,在 MODFLOW 中可以直接设定位置和流量,其分布如图 4 所示。对抽水井设定流量条件:前 5 天为-1440 m<sup>3</sup>/d,后 5 天为-720 m<sup>3</sup>/d。

在基坑边界上设置帷幕。在保持降水条件不变的情况下,改变帷幕深度,计算基坑及周围地基的渗流场,得到帷幕深度和水头分布的关系。

在计算得出水头分布的基础上,在计算得出地基渗流场后,根据降水前后的有效应力变化,采用分层总和法进一步计算降水引起地基沉降。

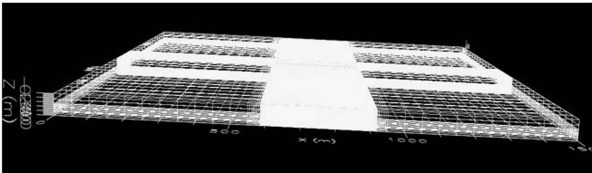


图 3 计算三维网格

Fig. 3 Three-dimensional mesh for analysis

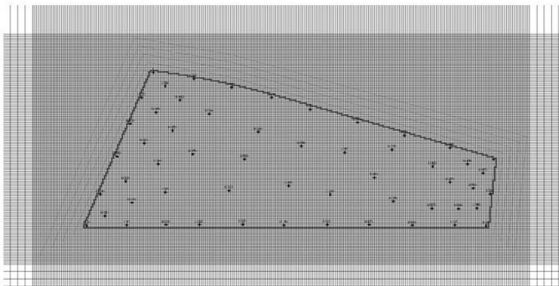


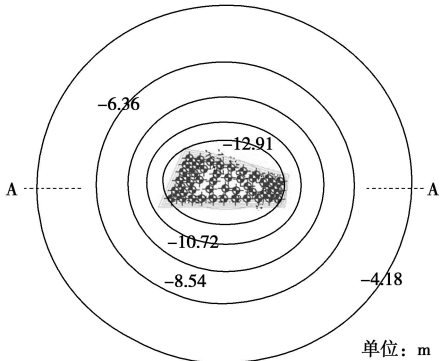
图 4 基坑网格平面图及降水井位置

Fig. 4 Plan view of mesh and locations of dewatering wells of foundation pit

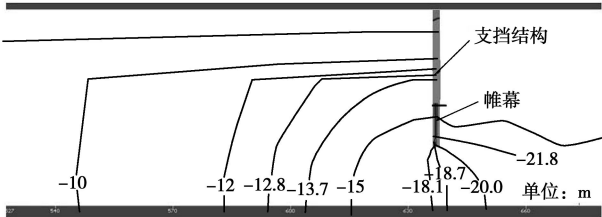
3 降水效果分析

图 5 给出了计算得出的降水 10 d 后、当帷幕深度为 35 m 时,基坑及周围地基的等水头线分布图。可以看出,基坑内的水头降至自然地面下 21.8 m,已经达到了设计要求。基坑外的水头随着离基坑的距离增加而增大。从图 5 (b) 可以看出,帷幕对水头分布有显著影响。等水头线在帷幕处出现明显集中,表明水头损失在帷幕处影响显著。

图 6 给出了某一断面上地基水位的水平分布。从图中可以看出,在不同高程处,地基的水位均是随着离基坑距离的增大而增高,这与图 5 所给出的规律是一致的,也符合一般的认识。



(a) 平面图(高程:自然地面下 13 m 处)



(b) 立面图(A-A)

图 5 降水 10 d 后、帷幕深度为 35 m 时,典型断面等水头线分布

Fig. 5 Contours of water head of typical section after 10 d-dewatering with curtain depth of 35 m

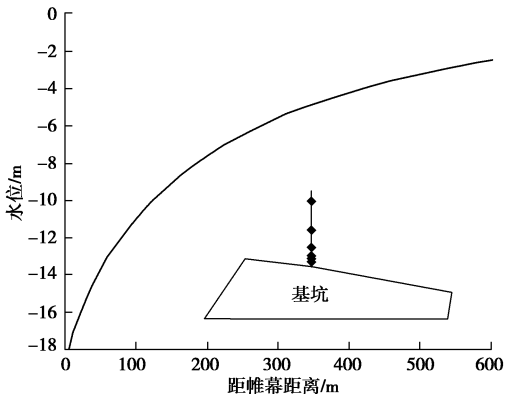


图 6 降水 10 d 后、帷幕深度为 35 m 时地基水位的水平分布

Fig. 6 Horizontal distribution of water level in soil base after 10 d-dewatering with curtain depth of 35 m

图 7 进一步给出了基坑内典型点的水位与帷幕深度的关系。可以看出,帷幕对于基坑的降水效果具有重要影响。在降水井点位置、数量和抽水量不变的条件下,典型点的水位随着帷幕的深度增大而减小。这表明设置帷幕可以有效的提高降水效果,增加帷幕深度可以使得降水效果进一步提高。

4 降水效果分析

图 8 给出了两个典型位置上地基沉降的水平分布。可以看出地基的沉降均是随着离帷幕距离的增大而减小。在帷幕附近地基沉降变化得较快,当达到一定距离后地基沉降的变化梯度趋缓。这意味着基坑降水在帷幕附近对地基沉降的影响较大,但该影响随距离的衰减较快。

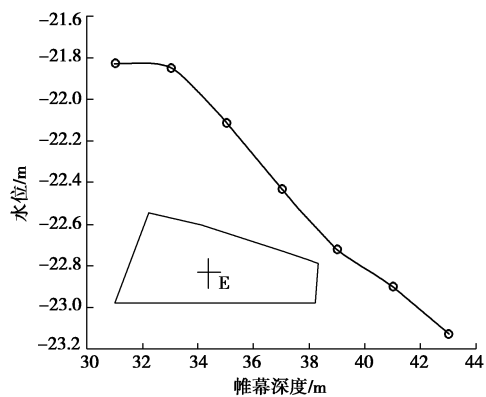


图 7 基坑内典型点水位与帷幕深度的关系

Fig. 7 Relationship between curtain depth and water level at typical points in foundation pit

基坑抽水引起地基沉降是标识其对周围环境影响的一个重要指标。因此可以推断，地基抽水对周围环境的影响在基坑附近较大，该影响随着离帷幕距离的增大逐渐减弱，且在帷幕附近衰减较快。

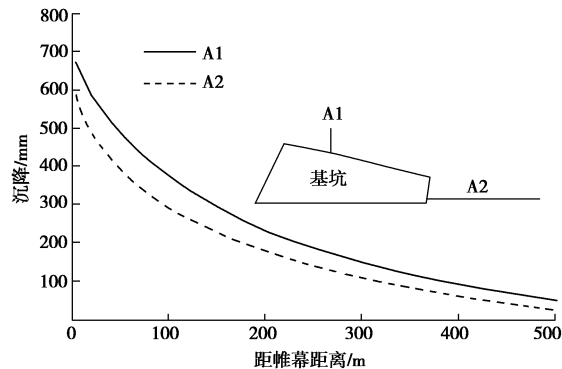


图 8 帷幕深度为 35 m 时不同典型位置处降水引起沉降的水平分布

Fig. 8 Horizontal distribution of settlement of soil base at different typical locations with curtain depth of 35 m

图 9 给出了地基不同位置处的沉降与帷幕深度的关系。可以看出，帷幕能够明显减小基坑降水引起的沉降。增加帷幕深度可以进一步减小基坑降水引起的沉降。这一结论从图 10 给出的不同帷幕深度条件下地基沉降的水平分布图也可以得到证实。

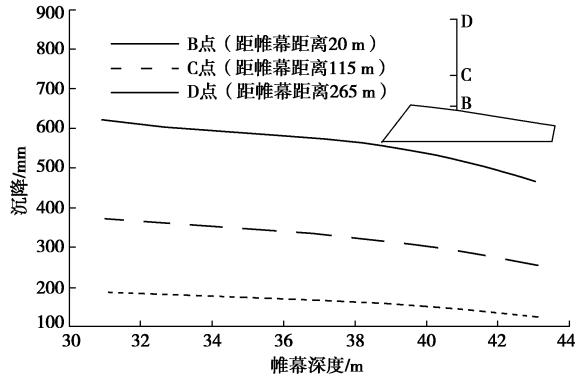


图 9 不同位置处地基沉降与帷幕深度的关系

Fig. 9 Relationship between curtain depth and settlement of soil base at different typical locations

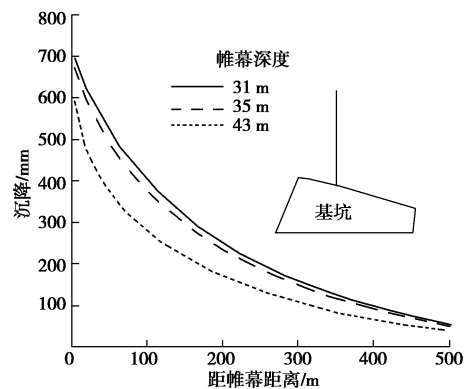


图 10 不同帷幕深度条件下地基沉降的水平分布

Fig. 10 Horizontal distribution of settlement of soil base under different curtain depth conditions

5 结论与建议

针对武汉某基坑工程,应用 Visual MODFLOW 数值计算软件分析降水条件下地基的渗流场,分层总和法计算地基变形场。基于计算结果,得出了在降水条件下,帷幕深度的变化对地层中的渗流以及周边沉降的影响规律:

(1) 基坑外的水头随着离基坑的距离增加而增大。等水头线在帷幕处出现明显集中,水头损失在帷幕处影响显著。

(2) 在降水井点位置、数量和抽水量不变的条件下,设置帷幕可以有效地提高降水效果,增加帷幕深度可以使得降水效果进一步提高。

(3)地基的沉降均是随着离帷幕距离的增大而减小。在帷幕附近地基沉降减小梯度大,当达到一定距离后地基沉降的减小梯度趋缓。

(4) 帷幕能够明显减小基坑降水引起的沉降。增加帷幕深度可以进一步减小基坑降水引起的沉降。

在工程施工后,拟根据监测结果与本文计算进行对比反演分析,进一步探讨所得规律的合理性,为相关工程的设计和施工提供依据。

参考文献:

[1] LIU G B, NG C W W, WANG Z W. Observed performance of a deep multistrutted excavation in Shanghai soft clays[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering ASCE, 2005, 131(8): 1004 - 1013.

[2] 丁春林, 周顺华, 张师德. 基于离心试验的承压水基坑变形稳定影响因素[J]. 同济大学学报, 2005, 33(12): 1586 - 1591. (DING Chun-lin, ZHOU Shun-hua, ZHANG Shi-de. Centrifuge model experimental study on influence factors of deformation stability for confined water foundation pit[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 33(12):

- 1586 - 1591. (in Chinese))
- [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(理学版), 2002, **29**(5): 595 - 600. (YU Hong-liang, LU Jie-feng, LI Shou-de. Study on seepage field characteristics of foundation pit excavation [J]. Journal of Zhejiang Univrsity (Science Edition), 2002, **29**(5): 595 - 600. (in Chinese))
- [4] 张 飞, 李镜培, 唐 耀. 考虑水位和孔压影响的基坑抗隆起稳定性上限分析[J]. 岩土力学, 2011, **32**(12): 3653 - 3659. (ZHANG Fei, LI Jing-pei, TANG Yao. Basal-heave stability of excavations considering groundwater level and pore water pressure fluctuations by upper bound method [J]. Rock and Soil Mechanics, 2011, **32**(12): 3653 - 3659. (in Chinese))
- [5] 黄林海, 汪光福. 上海某基坑降水环境影响评价研究[J]. 建筑监督检测与造价, 2010, **3**(5): 5 - 8. (HUANG Lin-hai, WANG Guang-fu. Environmental effect assessment on dewatering of foundation in Shanghai[J]. Supervision Test and Cost of Construction, 2010, **3**(5): 5 - 8. (in Chinese))
- [6] 娄荣祥, 周念清, 赵 珊. 上海地铁 11 号线徐家汇站深基坑降水数值模拟[J]. 地下空间与工程学报, 2011, **7**(5): 908 - 913. (LOU Rong-xiang, ZHOU Nian-qing, ZHAO Shan. Numerical simulation of deep foundation pit dewatering of Xujiahui Station of Shanghai Metro Line No.11 [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, **7**(5): 908 - 913. (in Chinese))
- [7] 王卫东, 徐中华. 预估深基坑开挖对周边建筑物影响的简化分析方法[J]. 岩土工程学报, 2010, **32**(增刊 1): 32 - 38. (WANG Wei-dong, XU Zhong-hua. Simplified analysis method for evaluating excavation-induced damage of adjacent buildings[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, **32**(S1): 32 - 38. (in Chinese))
- [8] 王庆永, 贾忠华, 刘晓峰, 等. Visual MODFLOW 及其在地下水模拟中的应用[J]. 水资源与水工程学报, 2007, **18**(5): 90 - 92. (WANG Qing-yong, JIA Zhong-hua, LIU Xiao-feng, et al. Visual MODFLOW and its application to groundwater simulation[J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2007, **18**(5): 90 - 92. (in Chinese))
- [9] 贾金生, 田 冰, 刘昌明. Visual MODFLOW 在地下水模拟中的应用——以河北省栾城县为例[J]. 河北农业大学学报, 2003, **26**(2): 71 - 78. (JIA Jin-sheng, TIAN Bing, LIU Chang-ming. Visual MODFLOW and its application on groundwater simulation—A case study on Luancheng county of Hebei province[J]. Journal of Agricultural University of Hebei, 2003, **26**(2): 71 - 78. (in Chinese))

(本文责编 明经平)