

DOI: 10.7672/sjgs2018010084

武汉某超大型深基坑整体抽水试验分析

孔政¹ 唐红¹ 杨明亮²

(1. 武汉科技大学城市建设学院, 湖北 武汉 430065; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

[摘要] 根据地质勘察资料,对武汉长江航运中心项目深基坑工程进行整体抽水试验,依据试验结果,对周边各类建筑物的影响结果进行预测分析。同时,建立二维非稳定渗流模型,借助渗流分析软件 SEEP/W 模拟抽水过程中基坑内、外渗流场的变化情况,以现场观测井水位实测数据为依据,反演出 TRD 渗透系数,从而验证了模型及其相关参数在工程应用中的合理性和准确性,为深基坑开挖对应的降水设计提供依据。

[关键词] 深基坑;抽水;试验;数值反演;渗透系数

[中图分类号] TU753

[文献标识码] A

[文章编号] 1002-8498(2018)01-0084-04

Analysis of the Whole Pumping Test of a Super Large Deep Foundation Excavation in Wuhan

KONG Zheng¹, TANG Hong¹, YANG Mingliang²

(1. School of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430065, China;

2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China)

Abstract: According to geological prospecting data, the pumping test was carried out on the project of deep foundation excavation of Wuhan Yangtze River Shipping Center project, depending on the test results, it will predict and analyze the influence of the surrounding buildings. At the same time, a two dimensional unsteady seepage model is established, with the seepage analysis software SEEP/W to simulate the change of flow field about the intravasation and extravasation during the pumping process, based on the measured data of the well water levels in the field to perform inverse analysis of TRD permeability coefficient, thus, it checked the rationality and accuracy of the model and its parameters in engineering application and provided basis for dewatering design of deep foundation excavation.

Key words: deep foundation excavation; pumping; testing; numerical back analysis; permeability coefficient

0 引言

大型深基坑中地下水的处理如果不当,破坏原有的水土应力平衡,可能引起周围环境的沉降,造成不可估量的损失,因此采取安全、有效、可控的施工方法来控制地下水位已成为一个重要的研究课题。本文以武汉长江航运中心项目为研究背景,对该项目大基坑进行整体抽水试验,对周边环境影响进行预测分析;另外,结合试验结果,利用 SEEP/W 软件建立渗流计算模型,进行 TRD 渗透系数反演,为基坑后续施工和监测提供了理论依据。

1 工程概况

武汉长江航运中心项目位于武汉市江岸区沿

江大道以西,民生路以南,与积玉桥商圈隔江相望。该项目基坑工程占地面积为 31 000m²,周边延长米 750m,包含 1 栋 63 层塔楼(约 330m)、2 栋超高层住宅楼及部分商业,设有整体 4 层地下室。本工程普遍开挖深度为 18.8m,围护结构采用墙底标高为 -37.200 ~ -48.200m 的 1 000mm/1 200mm 厚地下连续墙+4 道钢筋混凝土环形支撑的形式,地下 4 层区域采用 850mm TRD 工法等厚度水泥土搅拌连续墙止水,临近 16 层居民楼区域在 TRD 水泥土搅拌墙内插 H 型钢。TRD 工法为湖北省首次采用,属于新工法,施工质量以及使用效果都需要进行检测和监测验证。该项目属于湖北省范围内最大、距长江最近(50m)的基坑环撑工程。

[作者简介] 孔政,硕士研究生, E-mail: 893656944@qq.com

[收稿日期] 2016-11-28

1.1 场地工程地质条件

根据拟建场区勘察报告,地层在勘察深度范围内,按各岩土层的成分、成因及工程性质等自上而下依次可分为:①杂填土(Q^m) 场区内普遍分布,碎石、砖块等建筑垃圾占主要部分,含少量黏性土,堆积年限超过10年,层厚4.6~9.6m,结构松散,均匀性较差,强度低。② 1 粉质黏土夹粉土(Q_4^{al+pl}) 状态由软塑~流塑,湿~饱和,粉土含量不等,稍密状态,层理清晰,偶夹粉砂,层顶埋深3.0~6.6m,层厚3.0~12.4m,强度较低,压缩性较高。② 2 粉质黏土与粉土、粉砂互层(Q_4^{al+pl}) 普遍分布,粉质黏土为可塑~软塑状态,呈薄层状夹于粉砂中,粉土呈稍密~中密状态,层理清晰;层顶埋深4.0~13.0m,层厚4.6~15.9m,有一定强度,压缩性中等偏高。③粉细砂(Q_4^{al+pl}) 场区内普遍分布饱和,中密,局部地段夹少量黏性土和粉土薄层;层顶埋深15.4~24.6m,层厚0.8~23.7m;强度中等,压缩性中等。④强风化泥岩(S) 稍湿,母岩结构大部分破坏,矿物成分显著变化,裂隙发育成熟,岩体破碎,风化成土柱状,手捏即散;层顶埋深52.0~57.2m,层厚0.3~2.5m,强度高,压缩性低。⑤中风化泥岩(S) 结构部分破坏,矿物成分基本未变,风化裂隙发育,裂隙面方解石脉充填,岩体完整程度为破碎,岩体基本质量等级为V级。该层岩石泥岩岩块抗压强度为5.1MPa,泥质粉砂岩岩块抗压强度为11.5MPa,均为软岩,层顶埋深53.5~64.5m,本次钻探未钻穿。

1.2 场区水文地质条件

场地地下水主要为上层滞水及下部承压水。上层滞水主要由地表水源、大气降水和生活用水补给,无统一的自由水面,水位及水量随地表水源、大气降水和生活用水排放量的影响而波动;承压水含水层顶板主要由杂填土、粉质黏土夹粉土、粉质黏土与粉土、粉砂互层组成,大部分承压水赋存于细砂层中,与长江有一定的水力联系,其水位变化受长江水位变化影响,水量较丰富。

2 整体抽水试验

2.1 抽水试验目的

- 1) 通过基坑内外水位观测,确定坑内外水力联系规律,检验TRD防渗墙的防渗效果。
- 2) 通过基坑外侧地面沉降观测,取得基坑周边地面沉降与抽水历时和水位降深的关系,预测施工降水对周边环境的影响程度,并提出合理的施工建议。
- 3) 通过进行数值模拟,建立该大基坑二维非稳定渗流模型,反演得到TRD渗透系数,预测基坑内

外地下水的时空分布,为深基坑进一步施工服务;同时,提前发现基坑是否有较严重的渗漏现象,确定大致的渗漏位置,提出渗漏补强措施以及施工地下水控制措施建议。

2.2 井点布置

该项目所用降水井直径0.6m,井深40~45m,井壁管29.0~34m,滤水管15.0m,沉淀管1.0m。考虑现场实际施工情况,基坑内降水井布置34口,编号J1~J34,受现场施工影响,在西侧的西北角和西南角的井点密度大于其他区域;基坑内动水位观测井布置5口,编号SJ1~SJ5,均布于基坑内支撑结构内;基坑内水位观测井布置8口,编号SWL1~SWL6和SWZ1~SWZ2,其中SWZ1~SWZ2是根据基坑内水位观测需要在基坑中部增设的2口水位观测井;基坑外水位观测井布置了19口,编号SW1~SW19,受施工场地影响,只能在基坑南侧设置1道距TRD地下连续墙约50m范围的坑外水位观测线,其他测点均距TRD地下连续墙2~3m,井点布置如图1所示。另外,为了清楚地观察抽水试验对长江大堤和周围环境及建筑物的影响,在周围布置了共91个沉降观测点。

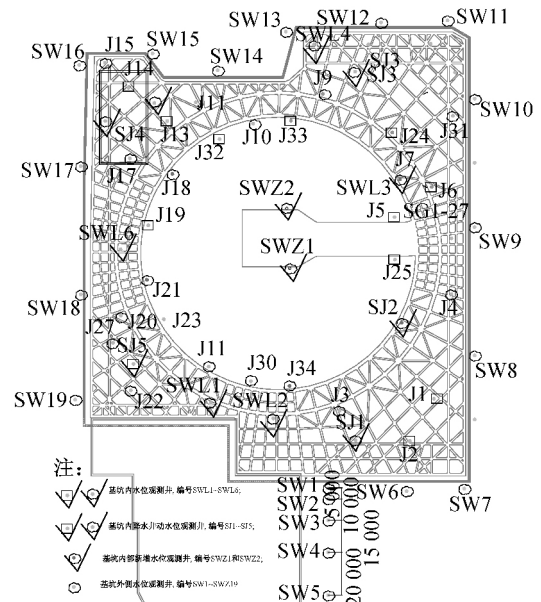


图1 抽水试验井点布置
Fig. 1 Well points layout

2.3 抽水试验结果

在基坑抽水试验的结果分析中,基坑内外水位和长江水位均指相对于基坑±0.000标高,水位低于±0.000标高为正值。基坑整体抽水试验中,基坑内降水井动水位与时间的关系曲线如图2a所示,基坑内水位观测井中的水位观测结果如图2b、2c所示,基坑外侧与TRD地下连续墙相距2~3m的坑外

水位观测井的水位观测结果如图 2d 2e 所示。

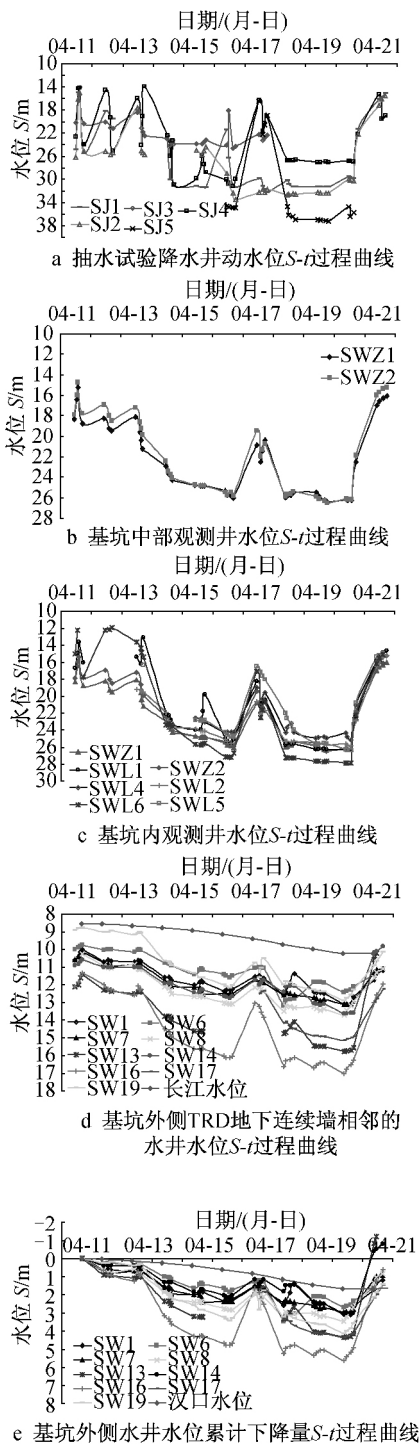


图 2 抽水试验结果

Fig. 2 Pumping test results

由图 2a 可分析得到 4 月 18 日前,基坑内降水井处于非连续抽水状态时,降水井的动水位变化幅值较大 4 月 18 日至 20 日,基坑内降水井处于连续抽水状态时,降水井的动水位变化幅值较小,降水井的动水位随降水井的数量增加而逐渐下降。通过比较图 2a, 2b 和图 2b, 2c, 基坑内水位观测井中水位受基坑内抽水量影响很大,除 SWL6 测井外,其

他靠近基坑边界的水位观测井的水位受坑外水位影响较大,基坑中部两口观测井 SWZ1 和 SWZ2 的水位略高,即基坑中部水位下降量略大于基坑周边观测井水位下降量,中部水位恢复速度略低于周边观测井。结合图 2d 和图 2e,从 4 月 11 日至 20 日,长江水位下降量为 1.68m,基坑外侧水位累计下降量为 2.70 ~ 5.65m,减去长江水位下降量,基坑外侧实际水位累计下降量 1.02 ~ 3.97m,基坑外北侧和西侧的水位下降量大于东侧和南侧,其原因可能是基坑东侧和南侧受长江水位影响较大,地下水补给比基坑外西侧和北侧更容易。

3 基于 SEEP/W 软件的基坑降水渗流分析

3.1 SEEP/W 软件简介

SEEP/W 是加拿大 GEO-SLOPE 系列软件中的一种,它能够进行多孔介质(如土体和岩石)中地下水的运动和孔隙水压力分布的渗流有限元数值模拟,该软件包容广泛的计算公式使它能够分析简单和非常复杂的渗流问题。SEEP/W 软件已经在岩土工程、土木工程、水文地质工程和采矿工程的设计和设计中得到比较广泛的应用。

3.2 计算模型及边界条件

有限元模型以基坑为中心,一侧边界线以长江岸坡为界,另一侧以降水井影响半径为依据,取距离 TRD 地下连续墙外边线 200m,模型概化成非均质、非稳定地下水渗流系统。典型断面实体模型如图 3 所示,有限元网格划分如图 4 所示。根据工程地质资料,计算模型渗流场的初始边界条件为:基坑内降水井的滤管部分为透水边界,降水井水头为抽水时的控制水头。由于工程场地开阔,地下水流量充沛,根据基坑降水的影响半径,认为基坑两侧远离降水井的边界,地下水位恒定,为定水头边界;模型底层为中风化泥岩,其渗透系数取为 $1 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ 。根据含水层水平向与竖向的渗透性质,假定地层均质各向同性。

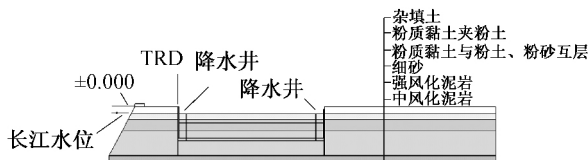


图 3 基坑断面实体模型

Fig. 3 Solid model of foundation excavation section



图 4 基坑断面有限元网格

Fig. 4 Finite element mesh of foundation excavation section

3.3 TRD 地下连续墙的渗透系数反演

根据已有的勘察报告中地质资料,综合室内土工试验和本地经验,选取各土层渗透系数如表 1 所示。

表 1 各土层渗透系数

Table 1 Permeability coefficient of each soil layer

土层(结构)名称	层厚/ m	重度/ (kN·m ⁻³)	渗透系数/ (m·s ⁻¹)
杂填土	4.6~9.6	18.0	5.00×10 ⁻⁶
粉质黏土夹粉土	3.0~12.4	18.5	5.96×10 ⁻⁸
粉质黏土与粉土、粉砂互层	4.6~15.9	18.4	4.61×10 ⁻⁷
细砂	0.8~23.7	18.0	2.12×10 ⁻⁴
强风化泥岩	0.3~2.5	20.0	2.00×10 ⁻⁷
中风化泥岩	—	20.0	1.00×10 ⁻⁸

整体抽水试验降水井 SJ1~SJ4 连续从 2015 年 4 月 12 日—16 日 19 点之前连续抽水 5d,至 4 月 20 日基坑内水位稳定,降水井、观测井测试数据如表 2 所示。

表 2 整体抽水时水井观察数据

Table 2 Well observation data of overall pumping

水井 编号	降水井水位/m						
	初值 (4月 11日)	第1天	第2天	第3天	第4天	第5天	4月20日 (稳定)
SJ1	14.10	24.80	25.00	30.10	31.40	31.35	21.20
SJ2	15.00	25.20	25.70	25.40	25.75	30.70	22.25
SJ3	15.30	21.10	22.45	25.80	27.70	28.40	21.00
SJ4	14.20	23.95	25.05	24.10	28.80	31.20	22.20
SW1	10.00	10.60	10.70	11.55	11.85	12.30	12.70
SW8	10.25	11.00	11.10	12.34	12.65	13.05	12.95
SW13	11.40	12.30	12.28	13.78	14.65	15.37	15.78
SW16	11.35	12.00	12.60	14.50	15.65	16.10	17.00

以抽水 5d 及其后稳定时的坑外观测井水位降深为依据,通过反演得到不同降水井处 TRD 渗透系数如表 3 所示。

表 3 整体抽水反演得到 TRD 渗透系数

Table 3 TRD permeability coefficient obtained by integral pumping inversion

编号	降水井		坑外观测井			TRD 渗透 系数反 演值/ (m·s ⁻¹)
	初水 位/m	编号	距 TRD 距离/m	天数	试验 降深/m	
SJ1	14.1	SW1	3	第 5 天	2.30	3.05×10 ⁻⁷
				稳定	2.70	
SJ2	15.0	SW8	2	第 5 天	2.80	4.17×10 ⁻⁷
				稳定	2.70	
SJ3	15.3	SW13	2	第 5 天	—	7.78×10 ⁻⁷
				稳定	4.38	
SJ4	14.2	SW16	2	第 5 天	4.25	9.44×10 ⁻⁷

由表 3 可见,抽水试验坑外降深计算值与实测值两者相差不大,在工程允许的误差之内,证明模型计算与实际情况吻合较好,采用数值模拟方法对 TRD 渗透参数进行反演分析,TRD 反演的计算参数

符合实际要求,反演得到 TRD 平均渗透系数变化区间为(3.05~9.44)×10⁻⁷,数值模拟方法能反映真实情况,可以较准确地预测基坑内外地下水的时空分布,从而为基坑施工服务。不同区域渗透性虽有一定的离散性,但总体来说,TRD 渗透系数较小,且在同一数量级。坑内抽水时坑外水位降幅较低,坑外地下水很难进入坑内,说明 TRD 具有良好的防渗止水效果,基坑抽水对周围环境影响较弱。

抽水前与抽水后基坑典型断面水头或水压力分布结果表明,在降水井处水位急剧下降,形成明显的降落漏斗;在降水井周围水力梯度较大,并向边界方向逐渐减小。水头等值线在坑外稀疏,说明降深较小;坑内较密,说明降深较大。由此可见,TRD 的防渗作用使坑外地下水很难进入坑内,说明 TRD 的隔水效果明显。

4 结语

本文针对具体工程实例进行了基坑整体抽水试验,在试验结果的基础上,分析了抽水试验对基坑周围环境的影响;同时,建立二维非稳定渗流模型,借助渗流分析软件 SEEP/W,以现场观测井水位实测数据为依据,反演出 TRD 渗透系数,计算分析得到 TRD 地下连续墙的渗透系数为(3.05~9.44)×10⁻⁷m/s,大体满足设计要求,从而验证了模型及其参数在工程应用中的合理性和准确性。通过对基坑进行整体抽水试验,为深基坑进一步开挖提供了技术支持,但也存在些许不足。例如,应在基坑周边设置坑外回灌井,特别是在基坑北侧、西侧和东北侧应增设回灌井,以提高基坑外侧水位,进一步减小基坑周边建筑物和路面沉降量;加强基坑施工监测,采用信息化施工,以及时发现工程隐患,及时有针对性采取工程补救措施。总之,该工程实例具有一定的代表性,对紧邻江边的高层建筑基坑设计、施工和预测具有较大的参考价值。

参考文献:

- [1] 聂庆林,高广东,轩华山,等.抽水试验确定承压含水层参数方法探讨[J].水文地质工程地质,2009(4):37-40.
- [2] 赵琳琳,肖长来,陈昌亮,等.基于抽水试验的多种方法确定水文地质参数[J].地下空间与工程学报,2015,11(2):306-309.
- [3] 孙锦剑.基于抽水试验的基坑降水引起地面沉降的预测分析[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2015(4):502-506.
- [4] 崔春雷.上海某广场基坑抽水试验分析.山西建筑[J].2014,40(7):76-77.
- [5] 李进军,王卫东.受承压水影响的深基坑工程中的群井抽水试验[J].地下空间与工程学报,2010,6(3):460-466.
- [6] 杨建民,郑刚,焦莹.天津站抽水试验分析[J].土木工程学报,2008,41(7):67-70.
- [7] 杨建民,郑刚,焦莹.天津站抽水试验数值反演分析[J].土木工程学报,2010,43(9):125-130.
- [8] 杨柳,杨正文.岩土工程勘察中抽水试验探讨[J].工程建设,2009,41(3):21-23.