

某深基坑工程岩土工程勘察中抽水试验的应用

郭 嫄

上海元易勘测设计有限公司, 上海 201203

[摘要] 以上海地区某深基坑工程为研究背景,对抽水试验进行详细的应用分析,得出场地水文方面的地质工程参数-渗透系数、导水系数、贮水系数,为后期深基坑工程的设计和施工提供一定的理论指导。

[关键词] 深基坑工程; 水文地质参数; 抽水试验

DOI: 10.33142/aem.v7i1.15256

中图分类号: TU463

文献标识码: A

Application of Pumping Test in Geotechnical Investigation of a Deep Foundation Pit Project

GUO Man

Shanghai Yuanyi Survey and Design Co., Ltd., Shanghai, 201203, China

Abstract: Taking a deep foundation pit project in Shanghai as the research background, a detailed application analysis of pumping test was conducted to obtain geological engineering parameters in the field of hydrology - permeability coefficient, hydraulic conductivity coefficient, and water storage coefficient. This provides theoretical guidance for the design and construction of deep foundation pit projects in the later stage.

Keywords: deep foundation pit project; hydrogeological parameters; pumping test

引言

对高层建筑、地铁、地下停车场等建(构)筑物建设而言,其基础建设过程中,基坑较深,在基础设施建设中是很重要的一环,而对地下水丰富的深基坑建设中,水文地质条件对深基坑工程的安全性和经济性有着直接影响。水文地质勘察方法很多,抽水试验就是其中一种重要的水文地质勘察手段,能够提供关于地下水位、渗透系数、含水层特性等关键参数^[1-2],对于深基坑的设计和施工具有重要意义。目前,不少学者做了大量研究,吴林韬^[3]分析了软土地区深基坑工程主要勘察技术方法,并对原位测试中的抽水试验进行详细分析,得到该场地砂性土的渗透系数变化范围;屈新文^[4]对天津地区某深大基坑通过抽水试验研究场地水文地质条件,结合工程特点进行分析评价;杨全旺^[5]分析了抽水试验的作用、对勘察的重要性,以及抽水试验对水文地质上的价值,并指出进行抽水试验常出现的问题及采取的措施。以上海地区拟建深基坑工程为背景,对抽水试验进行详细的应用分析,得出该场地水文地质参数,为后期深基坑工程的设计和施工提供一定的理论指导。

1 工程概况

1.1 工程基本概况

本工程位于上海市浦东新区某公园内,南侧和西侧为公园绿化,北侧为现存建筑,西侧为黄浦江,拟建建筑基坑结构边线距离黄浦江最近处约 16.0m。拟建建筑物内尺寸 36m*26m,基坑开挖深度普遍深度约 25m,局部落深区为 27.4m,拟采用地下连续墙围护,墙身约 60.0m,基础型式采用桩基础,桩基型式采用钻孔灌注桩。

1.2 水文地质勘察工作主要内容

深基坑工程设计中,基坑支护是必须的工序之一,水

文地质参数的取值准确度直接影响降水的成效,尤其是渗透系数的取值问题。详勘阶段地质工程勘察过程中,需详细查明场地内隔水层、含水层的分布范围;含水层的埋深、土层厚度、渗透系数等参数;详细查明地下水与地表水之间的水力联系等,给设计和施工合理的结果和建议。

1.3 场地工程地质条件

(1) 地形地貌。上海属长江三角洲冲积平原。拟建建筑位于上海浦东新区,属滨海平原地貌类型。

(2) 场地内地层分布。根据勘察揭示,拟建场地揭露的地基土属第四纪河漫滩相、滨海、沼泽相、溺谷相、河口~滨海相、滨海~河口相沉积物,主要由黏性土、粉性土、砂土组成。勘探深度范围内揭露可划分为 4 个工程地质层及分属不同工程地质层的亚层。各土层名称、厚度、状态如表 1 所示,典型地质剖面图如图 1 所示。

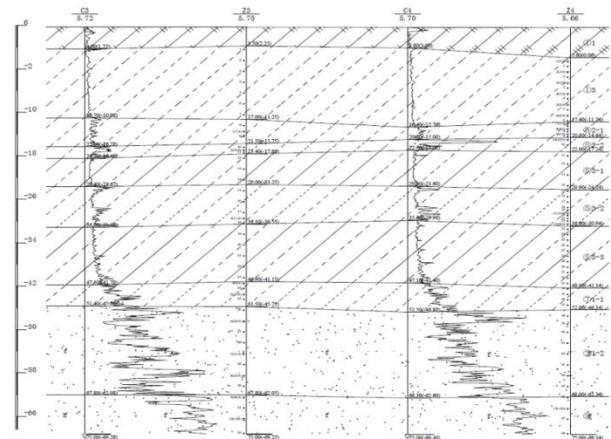


图 1 场地典型地质剖面图

表 1 场地地层特性表

土层层号	土层名称	土层厚度	状态	密实度
① ₁	杂填土	4.0	松散	
① ₃	江滩土(黏质粉土夹粉质黏土)	11.8	松散	
⑤ ₁	黏土	4.0	软塑	
⑤ ₂₋₁	黏质粉土夹粉质粘	2.7		松散
⑤ ₂₋₂	砂质粉土	2.7		中密
⑤ ₃₋₁	粉质黏土	6.2	软塑	
⑤ ₃₋₂	砂质粉土夹粉质黏土	7.1		稍密
⑤ ₃₋₃	粉质黏土	10.9	软塑	
⑦ ₁₋₁	砂质粉土夹粉质黏土	4.4		中密
⑦ ₁₋₂	粉砂	16.1		中密
⑨	粉砂	未钻穿		密实

(3) 场地内水文地质情况。拟建场地地下水位主要有浅部土层中的潜。补给来源主要有大气降水入渗和河水径流补给,其排泄方式以河流径流排泄为主,蒸发消耗为辅。潜水埋深一般离地表面 0.3~1.5m,常年平均地下水埋深为 0.5~0.7m。

场地内⑤₂₋₁层黏质粉土夹粉质黏土、第⑤₂₋₂层砂质粉土、第⑤₃₋₂层砂质粉土夹粉质黏土为微承压含水层,其中第⑤₂₋₁层、第⑤₂₋₂层连通可作为一个微承压含水层考虑。第⑦₁₋₁层砂质粉土夹粉质黏土、第⑦₁₋₂层粉砂、第⑨层粉砂连通可作为一个承压含水层考虑。

2 勘察成果分析

2.1 水力联系

为了揭示拟建场地地下水与地表水水力联系,在场地西侧布置一个水力联系孔进行地下水及地表水的监测,监测结果如图 2 所示:

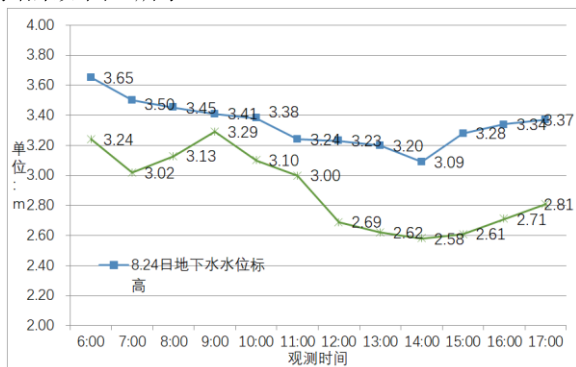


图 2 水位观测时间~水位标高变化曲线图

根据上图数据可知,拟建场地西侧黄浦江水位受潮涨潮落影响,绝对标高起伏在+2.58~+3.29m之间,地下水水位绝对标高为+3.09~+3.65m,根据观测结果可见,地表水的水位与场地内的地下水水位有较强的水力联系。

2.2 抽水试验方案设计与实施

2.2.1 抽水试验方案设计

为了得到微承压水、承压水水文地质参数,抽水试验

层位定在⑤₃₋₂、⑦₁层含水层中。对⑤₃₋₂层微承压含水层抽水试验井,编号 J1~J2,抽水井距离约 20m,设计井深 36.0m,试验井过滤器位于 29.0~35.0m,另布置 2 个观测井,编号 G3~G4,井深 35m。对⑦₁层承压含水层抽水试验井,编号 H1~H2,抽水井距离 26m,井深 58m,滤水管为 49~57m,另布置 2 个观测井,编号: G1~G2,井深 58m,滤水管为 50~57m。

2.2.2 抽水试验方案实施

本次试验分为 3 组,分别为:

第一组:对 H1 井进行单井抽水试验,观测井 H2、J1、J2, G1~G4,主要是求⑦₁层水文地质参数;

第二组:对 J2 单井抽水试验,观测井 J1、H1、H2、G1~G4,主要是求⑤₃₋₂层水文地质参数。

第三组:对 H1、H2、J1、J2 进行一组群井抽水试验,对 G1~G4 进行观测。

表 2 抽水试验工作量汇总表

试验分组	抽水井	观测井	累计时间(min)			平均流量 m ³ /h
			抽水	水位恢复	合计	
单井	H1	H2、G1~G4	1740	2940	4680	6.8
单井	J2	J1、G1~G6	1500	5340	6840	2.5
群井	H1~H2 J1~J2	G1~G4	4860	7980	12840	5.2/4.1 1.2/1.8

注:群井试验单井出水量按先后顺序分别对应 H1、H2、J1、J2。

2.2.3 水文地质参数求解

本次试验水文地质参数是根据稳定流与非稳定流抽水试验数据计算求得。含水层渗透系数等参数是根据试验时非稳定流阶段采集的数据,本次抽水试验计算方法采用定流量非稳定流的泰斯求解法进行参数计算。对于影响半径,通过抽水稳定后观测孔水位监测资料,利用稳定流计算公式求得。

(1) 理论推导公式

单井定流量的承压完整井流,可归纳为如下的数学模型:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{\mu^*}{T} \frac{\partial s}{\partial t}, t > 0, 0 < r < \infty \\ s(r, 0) = 0, 0 < r < \infty \\ s(\infty, t) = 0, \frac{\partial s}{\partial r} \Big|_{r \rightarrow \infty} = 0, t > 0 \\ \lim_{r \rightarrow 0} r \frac{\partial s}{\partial r} = -\frac{Q}{2\pi T} \end{cases} \quad (1)$$

由此得出泰斯公式:

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_{\frac{r^2}{4at}}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} \frac{r^2}{4ay^2} dy = \frac{Q}{4\pi T} \int_{\mu}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy, \text{其中: } \mu = \frac{r^2}{4at} = \frac{r^2 \mu^*}{4Tt} \quad (2)$$

用 $W(\mu) = \int_{\mu}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy$ 代替上式指数积分得到

$$s = \frac{Q}{4\pi T} W(\mu)。$$

为计算方便,将 $W(\mu)$ 展开成级数形式:

$$W(\mu) = \int_{\mu}^{\infty} \frac{e^{-y}}{y} dy = -0.577216 - \ln \mu + \mu - \sum_{n=2}^{\infty} (-1)^n \frac{\mu^n}{n \times n!} \quad (3)$$

$$\text{得: } T = \frac{2.3Q}{4\pi\Delta s}, \quad S = \frac{2.25Tt_0}{r^2}。$$

泰斯水位恢复法公式:

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} [W(u) - W(u')] = \frac{Q}{4\pi T} \left(\ln \frac{4Tt}{r^2 S} - \ln \frac{4Tt'}{r^2 S'} \right) \quad (4)$$

利用以上理论公式及其变化推导的公式,转化为可编程的公式编写的抽水试验软件 AquiferTest 软件,进行本工程的水文地质参数求解。本次试验利用 AquiferTest 软件中泰斯曲线法、汉图什曲线法、泰斯恢复法对抽水试验数据进行水文地质参数的求解。

(2) 水文地质参数结果

表 3 ⑦₁层水文地质参数表

参数求解		渗透系数 (m/d)		导水系数 (m ² /d)		贮水系数	
层位	抽水井	观测井	汉图什曲线法	泰斯恢复法	汉图什曲线法	泰斯恢复法	汉图什曲线法
⑦ ₁	H1	H2	1.75	1.74	17.84	17.41	4.05E-4
		G1	1.82	1.88	18.20	18.81	7.07E-4
		G2	1.83	1.79	18.31	17.90	4.73E-4
		平均值	1.80		18.08		5.28E-4

表 4 ⑤₃₋₂层水文地质参数表

参数求解		渗透系数 (m/d)		导水系数 (m ² /d)		贮水系数	
层位	抽水井	观测井	泰斯曲线法	泰斯恢复法	泰斯曲线法	泰斯恢复法	泰斯曲线法
⑤ ₃₋₂	J2	J1	0.39	0.51	2.73	3.58	3.78E-4
		J2	/	0.46	/	3.23	/
		G3	0.41	0.56	2.85	3.90	7.68E-4
		平均值	0.47		3.26		5.73E-4

通过抽水试验及水文地质参数的计算,可知,第⑤₃₋₂层渗透系数为 0.47m/d (5.44E-4cm/s),导水系数为 3.26m²/d,贮水系数为 5.73E-4;第⑦₁层渗透系数为

1.80m/d (2.08E-3cm/s),导水系数为 18.08m²/d,贮水系数为 5.28E-4。

3 结语

(1) 拟建场地紧靠黄浦江,地表水水位与地下水有较强的水力联系,设计与施工引起足够重视。

(2) 岩土工程勘察过程中,抽水试验具有重要的作用,能够提供地下水位、渗透系数、含水层水文地质特性等关键参数,为基坑围护设计和施工提供合理的依据。通过合理布置抽水试验孔和观测孔,进行详细的抽水试验,可以有效评估地下水对基坑稳定性的影响,优化地下水控制措施,确保基坑施工的安全性和经济性。

(3) 建议实际施工过程中,减压降水应最后一层土开挖时启动降压,并做到按需控制、快速施工等要求进行,建议当底板完成后,结构强度满足设计强度要求时,在监测等信息化施工条件下,逐渐关闭承压水降水,以减小对周边环境的影响。建议实际施工过程中,减压降水以实际施工方案为主,并采用实际水位控制整个减压降水运行,并根据实际水位变化指导降水运行,做到“按需降水”,有效控制周边环境安全。

[参考文献]

- [1] 工程地质手册编写委员会. 工程地质手册(第五版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [2] 李再兴. 有关基坑降水方法的探讨[J]. 地下水, 2008, 30(2): 72-79.
- [3] 吴林韬. 软土深基坑勘察技术及实例验证分析[J]. 江西建材, 2023(4): 147-151.
- [4] 屈新文. 天津滨海新区某深大基坑工程的水文地质勘察和分析评价[J]. 铁道勘察, 2010(2): 70-74.
- [5] 杨全旺. 浅谈岩土工程勘察中抽水试验的意义及注意事项[J]. 西部资源, 2018(3): 98-99.

作者简介: 郭嫚(1987.1—), 女, 毕业院校: 沈阳建筑大学, 学历: 研究生, 所学专业: 建筑与土木工程师, 目前工作单位: 上海元易勘测设计有限公司, 职务: 项目经理 10 年, 目前职称: 中级工程师。