

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2022.01.017

抽水试验在城市轨道交通工程勘察中的运用

李建红

(北京爱地地质勘察基础工程公司,北京 100144)

摘要: 地下工程建设中不可避免地遇到地下水的控制问题,正确的水文地质参数是准确预测基坑涌水量进而进行地下水控制的前提。文章以郑州地铁 5 号线经开第八大街站的现场抽水试验为基础,通过 1 个抽水试验孔、2 个观测孔进行了 3 个不同水位降深的抽水试验,以更精确地确定含水层的水文地质参数,为深基坑地下水控制设计和施工提供重要的基础数据,对类似建设工程降水系统设计和防治水措施制定具有重要现实意义。

关键词: 抽水试验;水文地质参数;渗透系数;影响半径

中图分类号: P627;P618.31 **文献标识码:** A

0 引言

近年来,在城市高层建筑、城市轨道交通等基本建设工程中涉及地下工程建设的项目不断增多,此类项目中需要开挖大量的深基坑工程,而地下水的控制问题是深基坑工程中的关键问题之一^[1-8]。水文地质参数是地下水控制设计和施工所必需的基础数据,水文地质参数的客观性和准确性直接关系到工程设计和施工的效果^[5-8];抽水试验是地层渗透性、测定水文地质参数常用的方法之一^[6-10]。本文以郑州地铁 5 号线经开第八大街站为例,针对地层分布特点及地下水发育情况,进行了多孔稳定流抽水试验,取得含水层的渗透系数和影响半径等水文地质参数,有效指导了后续降水设计施工,验证了含水层水文地质参数的准确性。

1 抽水试验的布置

1.1 工程概况

郑州市轨道交通 5 号线经开第八大街站为地下三层结构,与下穿市政隧道共建,车站基坑总长 239

m,宽度 21 m,基坑深约 24.1 m。

1.2 场地地质条件

根据地质勘察报告^①,地铁工程开挖范围所涉地层主要为第四系全新统冲洪积层和第四系上更新统冲洪积层。自地表向下依次为:①素填土;②₂₁粉质黏土;②_{33D}粉细砂;②₃₅黏质粉土;②₅₁细砂;②₅₂细砂;③₂₄粉质黏土。地铁工程开挖范围内的地下水主要为潜水,水位埋深 14.5 m,赋存于第四系全新统冲洪积②₅₁细砂和②₅₂细砂层中,下伏地层③₂₄粉质黏土为硬塑-坚硬状,为不透水层(图 1)。

1.3 水井布置

(1)水井布置。在场内地内设置 1 个抽水孔和 2 个观测孔,抽水孔深 35 m,井底进入下伏隔水层 3.2 m,观测孔深 30~35 m。水井间距布设时考虑避免三维流和紊流的影响,各孔孔深和间距见表 1。

(2)水井结构。抽水试验井采用反循环钻机成井,终孔口径 600 mm,井管采用井径 300 mm 的无砂水泥管,井壁外侧围填 2~4 mm 砾料,砾料围填厚度不小于 100 mm;观测井井径 150 mm,井管采用 89 mm 的 PVC 管作为滤水管,管壁外侧包扎尼龙布并围填 2~4 mm 砾料,砾料围填厚度不小于 50 mm。

(3)止水及洗孔。止水需在洗孔前进行,抽水井及各观测井在含水层顶、底板做好止水,采用半干干

收稿日期: 2021-09-17; 责任编辑: 余和勇

作者简介: 李建红(1980—),男,高级工程师,研究方向为岩土施工、勘察及地质灾害治理。通信地址:北京市石景山区晋元庄路 23 号,北京爱地地质勘察基础工程公司;邮政编码:100144;E-mail:23831626@qq.com

表1 抽水孔、观测孔孔深及孔距

Table 1 The holes' depth and distance between the holes

孔号	设计孔深/m	抽水孔与观测孔间距/m
抽水孔	35	/
观测孔 1	35	15
观测孔 2	30	25

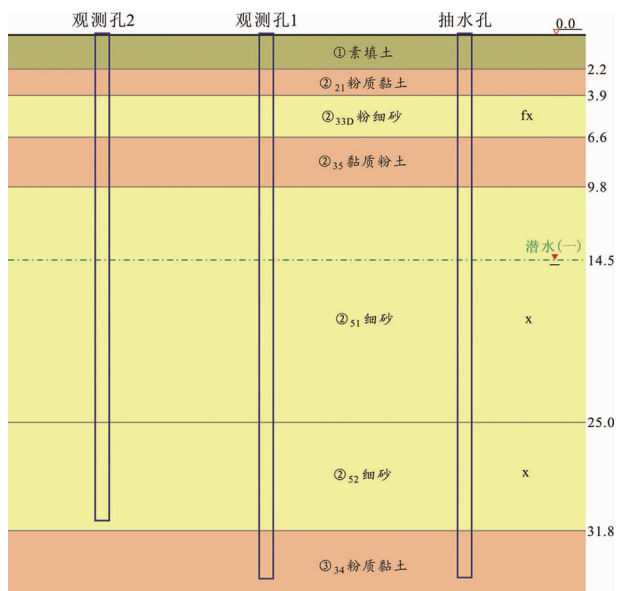


图1 抽水孔、观测孔位置及地层分布示意图

Fig.1 Sketch showing localities of the pumping hole and observation holes and the strata distribution

黏土球捣实止水。抽水井及观测井下滤管后进行止水,然后洗孔。下管投砾后,用清水冲孔,活塞和空压机反复进行洗孔,直至水清、砂净、水位反应灵敏为止。洗孔达到要求后再施工新孔。

1.4 试验过程

(1)地下水位测量。地下水位以上土层采用干钻工艺,直至观测到初见水位为止,其余采用湿法钻进,洗孔符合要求后测量孔内水位,开始每半小时测量一次,4 h后,每隔1 h测量一次,最后3次测量结果误差在2 cm之内且无持续上升或下降现象时视为稳定。

(2)试验性抽水。抽水孔及观测孔按要求完成实施,测得稳定水位后,进行一次最大降深试验性抽水,抽水时间约4 h,以了解降深、流量、洗孔、止水效果及各孔连通性,便于调整降深和流量,为正式抽水试验提供依据。

(3)稳定流抽水。①每次试验完成3个降深,3个降深的间距保证分布均匀,分别为 S_{max} 、 $2/3S_{max}$ 、 $1/3S_{max}$,采用由小至大的抽水顺序,最大降深 S_{max} 按工程降水深度控制;②本次试验含水层为细砂层,

抽水稳定延续时间按不少于24 h控制;③抽水稳定的标准:主抽水井水位误差不超过水位降低平均值1%,稳定水位幅度不超过3~5 cm,观测孔水位波动不超过2~3 cm,在涌水量无连续增大或变小的区间内各次流量的最大差值与平均流量值之比不大于3%;水位稳定的标准:在抽水试验稳定延续时间内水位无持续上升或下降趋势,动水位不大于平均水位降深的1%;④水位观测:动水位与出水量同时观测,应认真测准抽水初始阶段的动水位和出水量,观测井和抽水井按规定时间统一进行观测,抽水按2、5、10、20、30 min间隔进行观测,之后每30 min观测一次^[2];⑤恢复水位观测:抽水井和观测井的恢复水位按1、2、3、4、6、8、10、15、20、25和30 min的时间间隔进行观测,之后每30 min观测一次,直至稳定为止;⑥水温、气温观测:在抽水开始和结束时各观测一次,抽水过程中每隔2~4 h观测一次,在抽水中气温、水温同时观测,温度计浸入水中时间不少于15 min,同时,注意观测及时发现和分析并处理稳定延续时间内涌水量可能出现的不稳定情况;⑦水样采取:抽水开始及抽水稳定后水样各一组。本次抽水试验降水、流量与时间关系如图2所示。

(4)井损的测定。在抽水试验孔井壁外侧下置50 mm PVC滤管,同时观测抽水井和井外水位。

(5)注水试验。待抽水试验完毕,根据水位和含水层情况,对地下水水位以上透水地层进行注水试验。注水试验采用钻孔常水头注水法,注水前测定孔内的静止水位,用流量箱连续向孔内注入清水,使管内水位升高到设计高度后,控制注水量,使水头和水量稳定。

注水开始后,在第1、2、3、4、5、10、15、20、25、30 min同时观测一次水位、水量,以后每隔30 min观测一次,至稳定后再延续4 h结束。

注水试验结束后立即观测钻孔中的水位下降,其时间间隔与注水试验相同,直到水位下降到静止水位为止。

注水试验进行3次水位升高,每次水位升高采用2、4、6 m,间距为2 m。

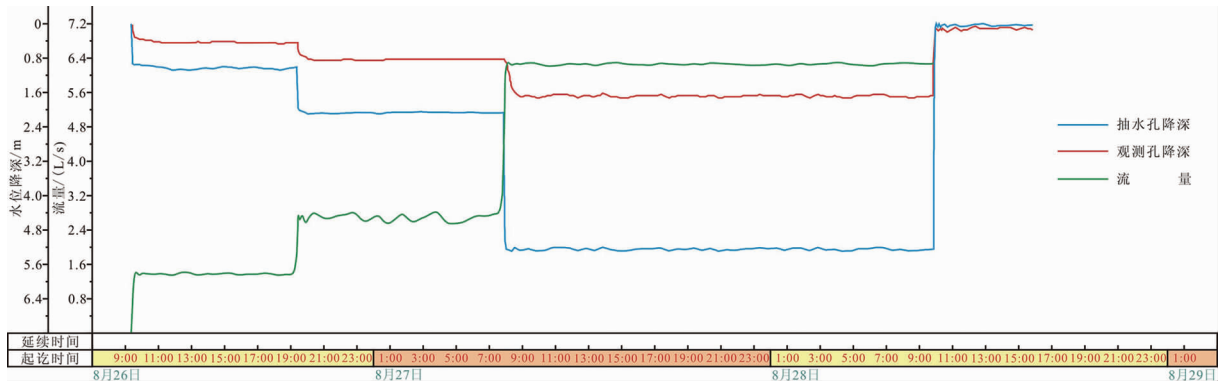


图 2 降深、流量与时间关系曲线

Fig. 2 Water table drop and discharge rate VS time plot

表 2 稳定流试验计算参数结果统计

Table 2 Statistics of parameters calculated from the stable flow test

主井孔号	主井降深/m	渗透系数 $K/(m/d)$	影响半径 R/m
抽水孔 1	1.04	10.23	104
	2.07	10.37	163
	5.24	9.88	187

2 水文地质参数的确定

2.1 试验资料的整理

本次抽水试验分别进行 3 个落程带有观测孔的完整井稳定流抽水试验,抽水延续 48 h,主井降深分别为 5.24 m、2.07 m、1.04 m。选用《YS 5215—2000 抽水试验规程》中潜水完整井条件下,2 个观测孔,中心井抽水推荐的公式(1)求取 K ,公式(2)求取影响半径 R 。

$$K = \frac{0.733q(\lg r_2 - \lg r_1)}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \quad (1)$$

$$\lg R = \frac{S_1(2H - S_1)\lg r_2 - S_2(2H - S_2)\lg r_1}{(S_1 - S_2)(2H - S_1 - S_2)} \quad (2)$$

2.2 水文地质参数的计算

经计算,含水层②₅₁细砂、②₅₂细砂的主要水文地质参数结果统计见表 2。

经过抽水试验得出含水层②₅₁细砂、②₅₂细砂的渗透系数平均值为 10.16 m/d。

2.3 试验参数评述

该地铁车站降水设计及施工过程中采用了通过本次抽水试验所取得的水文地质参数,目前该地铁车站已经竣工。经施工期间对降水施工数据实测验证,水文地质参数与本次抽水试验取得的结果基本吻合。

3 结论与建议

(1)通过本次抽水试验,确定了含水层的渗透系数,为地铁基坑降水工程设计和施工提供了基础数据和依据。

(2)采用带观测孔的多孔抽水试验,通过合理布设观测孔,可以避免紊流、三维流和造孔对抽水孔附近含水层扰动的影响,可以使成果能比较真实地反映含水层的透水性。

(3)根据观测孔水位降低值可以更准确地计算含水层渗透系数,无需考虑难以确定的抽水影响半径,同时也可较准确地计算影响半径。

注释:

① 中铁第五勘察设计院集团有限公司. 郑州市轨道交通 5 号线工程勘察 02 标段经开第八大街站岩土工程勘察报告. 北京: 中铁第五勘察设计院集团有限公司, 2014: 14.

参考文献:

- [1] 张惠平. 城市地下工程建设中的环境工程地质问题: 预防与控制[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(4): 150 - 153.
- [2] 郑小燕, 张志林. 浅谈城市地下空间开发中的地下水控制问题[J]. 城市地质, 2018, 13(1): 30 - 36.
- [3] 高伶琴, 覃祖森. 深基坑开挖环境效应的控制对策研究[J]. 水文地质工程地质, 1997(5): 51 - 53, 59.
- [4] 杨树良, 刘东坤. 房屋建筑地基施工中的影响因素与控制措施

- [J]. 施工技术, 2017, 46(S2): 390 - 392.
- [5] 郭志业. 岩土工程中地下水危害防治[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009: 23 - 28.
- [6] 唐益群, 杨坪, 王建秀, 等. 工程地下水[M]. 上海: 同济大学出版社, 2011: 22 - 28.
- [7] 杨坤. 高富水砂卵石地层地铁车站不同围护条件下的基坑涌水量预测分析[J]. 施工技术, 2018, 47(S1): 565 - 571.
- [8] 钟建文, 李罡, 牛磊, 等. 基于抽水试验的参数反演和基坑降水过程数值分析[J]. 工程勘察, 2019, 47(7): 36 - 41, 72.
- [9] 王旭东, 吕乐, 时俊, 等. 抽水试验反演水文地质参数的多线全程加权法[J]. 水利学报, 2020, 51(3): 276 - 285.
- [10] 朱宏军, 黄选明, 胡莉莉, 等. 煤矿水文地质勘探中稳定流抽水试验确定水文地质参数讨论[J]. 中国安全生产科学技术, 2014, 10(3): 24 - 29.

Application of water pumping test to investigation of city rail transit construction

LI Jianhong

(Beijing Aidi Geological Investigation & Foundation Construction Company, Beijing 100144, China)

Abstract: Underground water control is an inevitable problem encountered in the underground engineering operation. Correct determination of hydro geological parameters is the prerequisite of correct prediction of water gushing volume in the foundation pit for water control. Water pumping test was conducted in 1 pumping hole and 2 observation holes at the 8th street station of Zhengzhou's No. 5 subway line at Jingba road to watch drop of the same water table. The hydrogeological parameters of the water-bearing bed is properly determined to provide the key data for underground water control design and operation of the deep foundation pit and for important reference of dewater system of similar engineering construction.

Key Words: pumping test; hydro geological parameter; permeability coefficient; radius of influence