

基于抽水试验的水文地质参数 计算方法研究

秦甜甜¹ 丁国辉²

(1. 江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018;
2. 南京市测绘勘察研究院股份有限公司, 江苏 南京 210005)

【摘要】 本文以南京地铁十一号线六合区政府站为例, 根据分层抽水试验资料, 利用稳定流公式法、非稳定流泰斯配线法、直线图解法和水位恢复法计算出潜水及承压含水层的水文地质参数。基于车站场地的地质条件, 对以上多种方法的计算结果进行对比分析, 从而优选出参数, 为车站基坑降水设计提供可靠的依据。

【关键词】 抽水试验; 水文地质; 参数; 计算

中图分类号: P64

文献标志码: A

文章编号: 2096-0131(2018)01-069-05

Study on hydrogeological parameter calculation method based on water pumping test

QIN Tiantian¹, DING Guohui²

(1. *Jiangsu Geological Survey Research Institute, Nanjing 210018, China;*
2. *NanJing Surveying and Mapping Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210005, China*)

Abstract: Liuhe District Government Station of Nanjing Metro Line 10 is adopted as an example in the paper. Steady flow formula method, unsteady flow tice wiring method, linear graphic method and water level recovery method are utilized to calculate hydrogeological parameters of phreatic water and confined aquifer according to stratified water pumping test data. The calculation results of the above methods are comparatively analyzed based on the geological conditions of the station site, thereby selecting parameters and providing reliable basis for the design of the foundation pit precipitation of the station.

Key words: water pumping test; hydrogeology; parameters; calculation

1 引言

我国大中城市地铁工程的建设正如火如荼, 与此同时, 车站基坑突涌水、地下市政管网破裂、道路路面塌陷等事故屡见不鲜, 基坑降水措施不当是造成上述事故的主要原因之一。由此可见, 准确的含水层水文地质参数是确定合理的基坑降水设计方案的重要依据^[1]。

以往多采用裘布依稳定井流公式计算含水层的水文地质参数。然而, 该方法较为单一, 并且常与实际误差较大^[2]。南京地铁十一号线六合区政府站水文地质条件较为复杂。基于该车站潜水及承压含水层的抽水试验资料, 本文采用稳定井流裘布依公式^[3]、非稳定井流泰斯配线法^[4]、直线图解法^[5]和水位恢复法^[6]分别计算含水层的水文地质参数。上述不同方法的计算结果不同, 并且均存在一定的误差^[7]。本文对以上多种

方法进行对比分析,并结合车站场地地质条件为基坑降水设计确定较为可靠的含水层水文地质参数。

2 工程概况

南京地铁十一号线工程南起大桥北路站,北至金牛湖站。线路全长 45.2km,共设 17 座车站。

六合区政府站位于南京市六合区宁六公路与通湖路交叉口南侧,沿宁六公路东侧规划绿地布置。该车站为地下两层岛式站,基坑长 270m,宽 19.2m,标准段基底埋深 16.0 ~ 18.5m,拟采用明挖法施工,钻孔咬合桩或钻孔灌注桩加止水帷幕支护。

3 场地地质条件

3.1 工程地质条件

六合区政府站位于滁河漫滩平原区,场地岩土层总体分布较为稳定。地基土为第四系冲淤积相的粉土、砂土及黏性土。车站基坑开挖范围内土层为 ②-1cd2-3 层粉土夹粉砂和 ②-1bd4 层淤泥质粉质黏土与粉砂互层。下伏基岩以白垩系赤山组的泥质砂岩为主,局部为砂岩、泥岩,基岩埋深约 42m。

车站的工程地质条件总体上较差,各地层岩性、结构及分布特征如工程地质剖面图 1 所示。

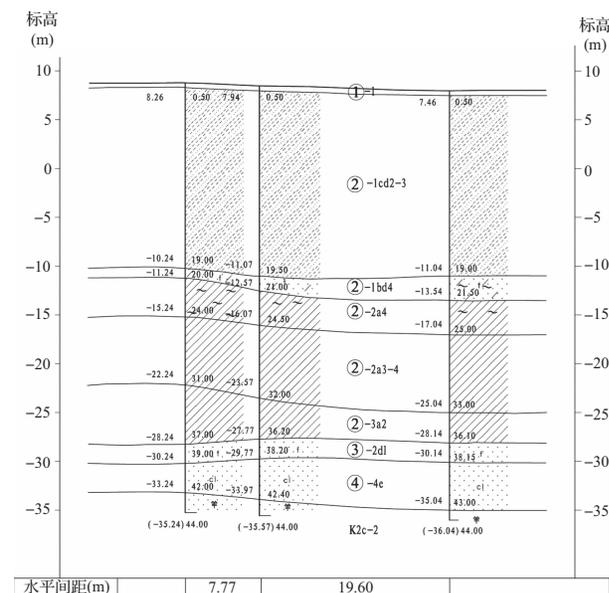


图 1 六合区政府站工程地质剖面

3.2 水文地质条件

a. 地表水。车站场地东侧位于新河范围,地表水较为丰富,平均水位标高 8.26m,平均水深 1.85m。河底淤泥平均厚度 0.38m,河底为 ②-1c2-3 粉土层。

b. 地下水。场地地下水类型主要有松散层孔隙潜水、孔隙承压水和基岩风化带裂隙水三类。其中潜水含水层由 ①层填土、新近沉积的 ②-1cd2-3 层粉土夹粉砂组成,该层平均厚度 18.5m,稳定水位埋深 1.50 ~ 1.75m,平均水位标高 8.12m;孔隙承压水含水层由 ③-2d1 层粉砂和 ③-4e 层中粗砂混卵砾石组成,平均厚度 5.0m,稳定水位埋深 6.00 ~ 6.58m,平均水位标高 6.46m;基岩风化带裂隙水含水层由白垩系赤山组砂岩、泥岩及泥质砂岩组成,因场地基岩埋深大于 40m,对地铁施工影响不显著。

4 抽水试验概况

本次对潜水和承压含水层进行了分层抽水试验,且均为完整井。其中 W_1 、 W_2 分别为潜水和承压水含水层抽水孔; G_{1-1} 、 G_{1-2} 为潜水含水层观测孔; G_{2-1} 、 G_{2-2} 为承压水含水层观测孔。

潜水含水层进行一次降深稳定流抽水,抽水流量 34.38m³/d,抽水持续时间 76.5h,其基本数据见表 1。

表 1 潜水含水层抽水试验基本数据

井号	井径/ m	井深/ m	距主井距 离/m	过滤器长/ m	降深/ m
W_1	0.1	21.0	0.0	18.5	4.77
G_{1-1}	0.1	21.0	11.4	18.5	0.736
G_{1-2}	0.1	21.0	19.5	18.5	0.448

承压含水层采用三次降深稳定流抽水,其中第一次降深抽水 76h 后停电,此时主井水位基本稳定,而观测孔水位尚未稳定,随后进行水位恢复观测。第二、三次降深为连续抽水试验,一次性水位恢复,抽水持续时间 101.5h。三次抽水流量分别为 621.24m³/d、863.28m³/d、946.80m³/d;主井和观测井过滤器长度均为 5.0m。基本数据见表 2。

表2 承压含水层抽水试验基本数据

井号	井径/ m	井深/ m	距主井 距离/m	第1次 降深/m	第2次 降深/m	第3次 降深/m
W ₂	0.18	44.0	0.0	4.032	7.500	9.281
G ₂₋₁	0.10	44.0	7.8	2.394	3.455	4.129
G ₂₋₂	0.10	44.0	27.0	1.502	1.891	2.701

本次在对承压含水层进行抽水试验的同时,对潜水含水层的水位进行了观测,观测结果显示潜水含水层的水位几乎没有变化。由此说明,承压含水层和潜水含水层之间并无水力联系。

5 水文地质参数计算

5.1 稳定流公式法

依据场地地质条件,可将潜水和承压含水层近似视为均质、各向同性、等厚的无限含水层,其渗流服从达西定律的稳定流。稳定流公式中分为单孔和有观测孔的两种计算方法。由于水跃值对于单孔稳定流公式计算的结果影响较大,故本次仅利用带两个观测孔的稳定井流公式^[8]进行水文地质参数的计算:

$$K = \frac{0.732Q \lg\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \quad (\text{潜水}) \quad (1)$$

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

$$K = \frac{0.366Q}{M(S_1 - S_2)} \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{承压水}) \quad (3)$$

$$\lg R = \frac{S_1 \lg r_2 - S_2 \lg r_1}{(S_1 - S_2)} \quad (\text{承压水}) \quad (4)$$

式中 K ——含水层的渗透系数, m/d;

Q ——试验涌水量, m³/d;

H, M ——潜水和承压水含水层的厚度, m;

r_1, r_2 ——观测井与抽水井之间的距离, m;

S_1, S_2 ——观测井水位降深, m;

R ——影响半径, m。

5.2 非稳定流法

根据车站勘察资料显示,试验场地水文地质条件较为复杂,抽水很难形成理论上的稳定流,因此利用稳定井流公式计算的参数存在一定的误差。为了减小上述误差,本次依据非稳定流观测方法,对主井和观测井分别进行水位观测,并采用泰斯配线法和直线图解法进一步进行验算。

5.2.1 泰斯配线法

选取与标准曲线 $W(u) \sim 1/u$ 模数相同的双对数坐标纸,绘出实测 $s-t$ 关系曲线;保持上述两图的坐标轴平行,移动 $s-t$ 曲线,直到野外测试点与图中标准曲线全部或大部分重合为止,如图2所示。在重合曲线上任取一点,读出相应的坐标值;将重合点坐标代入泰

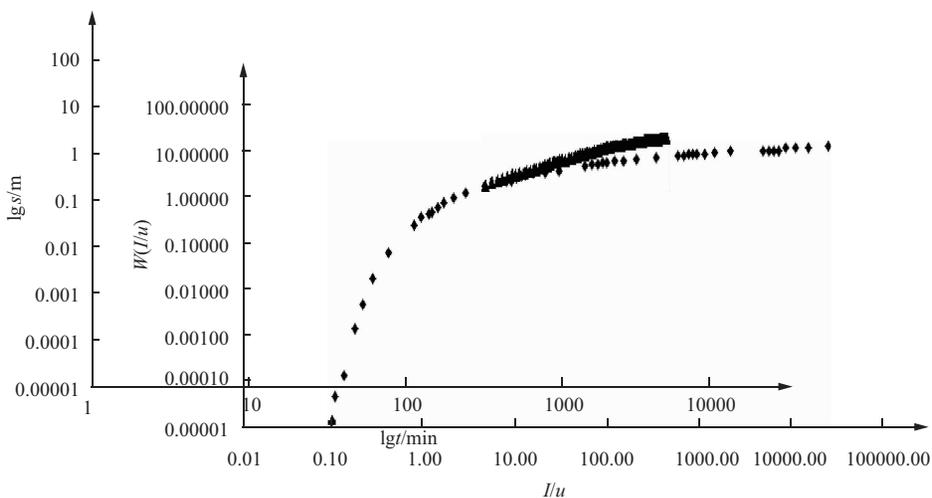


图2 泰斯配线

斯公式^[9]计算参数:

$$s = \frac{Q}{4\pi T}W(u) \quad (5)$$

其中

$$u = r^2/4at$$

式中 T ——导水系数, m^2/d ;

s ——降深, m ;

t ——时间, min ;

r ——井径, m ;

a ——导压系数, cm^2/s ;

其他参数同上。

5.2.2 直线图解法

根据主井及观测井在抽水开始后不同时间观测到的水位资料绘制 $s-lgt$ 曲线, 如图 3 所示。求该曲线直线段的斜率 C , 并按式(6)计算含水层的水文地质参数^[10]:

$$T = KM = \frac{0.183Q}{C} \quad (6)$$

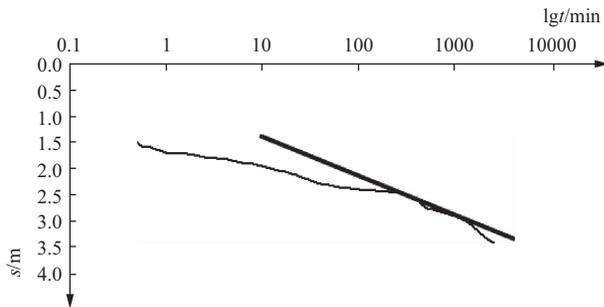


图3 $s-lgt$ 曲线

5.3 水位恢复法

前述几种求参方法利用的均是抽水阶段观测的数据, 水位很容易受到抽水流量的微小变化而产生波动。为了减少这方面的影响, 根据主井及观测井在抽水结束后观测到的水位恢复资料绘制 $s-lgt/t'$ 曲线, 如图 4 所示。

同样求取该曲线直线段的斜率 C , 利用公式 $T = KM = 0.183Q/C$ 计算含水层水文地质参数^[11]。

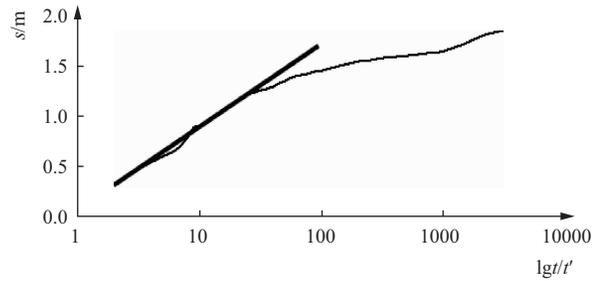


图4 $s-lgt/t'$ 曲线

6 参数分析与选用

上述不同求参方法及不同降深的抽水试验数据计算的水文地质参数均有一定的差异。但是不同降深的抽水试验数据计算出的参数变化不大, 取其平均值作为计算结果见表 3。

表3 各种求参方法计算结果

含水层	计算方法	渗透系数 $K/(m/d)$	影响半径 R/m	导水系数 $T/(m^2/d)$
潜水	两个观测孔稳定流	0.58	45.71	10.82
	两个观测孔稳定流	23.99	201.95	119.95
承压水	泰斯配线法	16.20	—	81.00
	直线图解法	33.07	—	165.35
	水位恢复法	24.65	—	123.25

在潜水含水层中, 利用带两个观测孔的稳定井流公式计算的参数作为最终结果, 主要是因为潜水含水层出水量小、降深不大, 稳定井流公式法计算简便, 且计算精度足以满足实际降水设计的需要。

在承压含水层的水文地质参数计算中, 利用非稳定流泰斯配线法计算结果偏小, 是因为抽水试验前期阶段水位下降速度较快, 来不及观测, 获得的观测数据较少, 造成前期数据与标准曲线的拟合精度较差, 且在配线过程中人为因素影响较大。

直线图解法计算结果偏大, 因为只有在 $u < 0.05$ 的条件下才会出现直线段, 且直线段较短, 代表性相对

较低。由于水跃值对于带两个观测孔的稳定井流公式计算的结果影响较小,其计算精度相对较高。

考虑到水位恢复法计算的参数不受流量等因素的影响,因为抽水流量的轻微波动所造成的降深变化在水位恢复期间不存在,所以其降深—时间曲线比较规则,所求取的参数值较为准确、可靠,且与带两个观测孔的稳定井流公式计算结果相近。

结合含水层的颗粒大小、级配及厚度分布情况,同时考虑到本工程项目的安全性与工程的安全角度出发,承压含水层的水文地质参数采用带两个观测井的稳定流井公式法和水位恢复法两种方法计算结果的平均值作为最终参数,见表4。

表4 水文地质参数优选值

含水层	渗透系数 $K/(m/d)$	影响半径 R/m	导水系数 $T/(m^2/d)$
潜水	0.58	45.71	10.82
承压水	24.32	201.95	121.60

7 结论

a. 所有的求参方法均有各自的适用条件,且均存在一定的误差。在计算参数时,应结合场地具体地质条件及工程的实际需求,利用多种方法进行对比分析,确定较优的水文地质参数。

b. 基于抽水试验数据资料求取承压含水层的水文地质参数时,由于前期观测数据较少,人为因素影响较大,使得泰斯配线法计算结果偏小。实际情况完全符合直线图解法的应用条件较为困难,观测数据直线段不甚明显,导致计算结果偏大。水跃值对带两个观测孔的稳定井流公式的计算结果影响较小,计算精度相对较高。水位恢复法不受流量等因素的影响,因此计算结果较为可靠。

c. 带两个观测孔的稳定井流公式法和水位恢复法计算结果较为接近,选取两者的平均值作为承压含水层水文地质参数的设计值,为基坑降水提供依据。最终确定的参数分别为:潜水含水层渗透系数 $K = 0.58m/d$,影响半径 $R = 45.71m$,导水系数 $T = 10.82m^2/d$;承压含水层渗透系数 $K = 24.32m/d$,影响半径 $R = 201.95m$,导水系数 $T = 121.60m^2/d$ 。

参考文献

- [1] 宋厚园,彭振斌. 抽水试验在长沙某地铁站勘察中的应用[J]. 山西建筑,2011,37(34):57-58.
- [2] 廖昌贵,贺大印,白玉华. 小口径井求K的抽水试验方法[J]. 勘察科学技术,1996(5):38-39.
- [3] 李友龙,董洪信,孙小林. 南京长江大桥北锚碇抽水试验与降水分析[J]. 勘察科学技术,2011(3):40-43.
- [4] 杨建明,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.
- [5] 周志芳,汤瑞凉,汪斌. 基于抽水试验资料确定含水层水文地质参数[J]. 河海大学学报,1999,27(3):5-8.
- [6] 石中平. 单孔稳定抽水试验水位恢复资料确定含水层参数[J]. 西安工程学院学报,2000,22(2):71-74.
- [7] 赵琳琳,肖长来,陈昌亮,等. 基于抽水试验的多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.
- [8] 余学鹏,门妮. 完整井稳定流抽水试验渗透系数的确定分析[J]. 铁道勘察,2010(6):34-36.
- [9] 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,2009,37(4):37-41.
- [10] 薛禹群,朱学愚,吴吉春,等. 地下水动力学[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [11] 于传宁,宗先国,张利红,等. 利用抽水试验资料确定水文地质参数[J]. 地下水,2006,28(1):44-45.