

高水位承压含水层抽水试验研讨

刘春华 张涛 袁小刚

湖北建艺岩土工程勘察设计有限公司, 湖北 荆州 434000

[摘要]荆州开发区地层中下部为砾砂层和卵石层, 为区域承压含水层, 渗透性强, 水位很高, 且与长江水补给关系密切。本篇文章介绍了荆州开发区某工程勘察项目抽水试验案例。并通过全方位、多角度的对比分析, 论证了本次试验成果的有效性、可靠性, 较准确获得了场地含水层综合渗透系数及其它水文地质参数。此外, 通过与荆州其它抽水试验项目进行分析对比, 提出了承压含水层抽水试验地方经验的一些新见解。

[关键词]承压含水层; 抽水试验; 综合渗透系数

DOI: 10.33142/ect.v2i11.14344

中图分类号: TU463

文献标识码: A

Discussion on Pumping Test of High Water Level Confined Aquifer

LIU Chunhua, ZHANG Tao, YUAN Xiaogang

Hubei Jianyi Geotechnical Engineering Survey and Design Co., Ltd., Jingzhou, Hubei, 434000, China

Abstract: The middle and lower parts of the strata in Jingzhou Development Zone are composed of gravel sand layers and pebble layers, which are regional confined aquifers with strong permeability and high water levels, and are closely related to the recharge of the Yangtze River. This article introduces a pumping test case of a survey project in Jingzhou Development Zone. Through comprehensive and multi angle comparative analysis, the effectiveness and reliability of the experimental results were demonstrated, and the comprehensive permeability coefficient and other hydrogeological parameters of the site's aquifer were accurately obtained. In addition, by analyzing and comparing with other pumping test projects in Jingzhou, some new insights on local experience in pumping tests for confined aquifers have been proposed.

Keywords: confined aquifer; pumping test; comprehensive permeability coefficient

引言

荆州开发区, 属长江北岸一级阶地地貌单元, 地势相对平坦, 为典型的二元地层结构。其地表填土层相对较薄, 堆积年限短, 粘性土层厚度一般在 10m 左右。其中浅部 6m 深度范围内成分相对较单一, 渗透系数很小, 为相对隔水层; 6~10m 深度范围内则多为粉质黏土与粉土、粉砂互层, 具弱渗透性; 粘性土下面为砂层、圆砾和卵石层, 为区域承压含水层, 渗透性强, 水位高, 该承压水头丰水期高至地表下 0.5~1.5m 左右, 且与长江水补给关系密切。荆州开发区地下室多为一层地下室, 基坑开挖深度在 5.0m 左右, 开挖后基底隔水层厚度不够, 不足以抵抗高承压水头压力而存在产生突涌的可能性, 故荆州开发区基坑开挖一般需要采取降水、隔水措施。

荆州开发区砂层的渗透系数较小, 经验值为 3~5m/d, 砂层与深部砾卵石层实为同一含水层, 补给性很强, 按此参数进行基坑降水设计施工, 难以降低承压水头, 降水效果较差。而单一砾卵石层渗透系数相对较大, 经验值为 13~15m/d, 单纯于砾卵石层中抽取地下水以降低承压水头, 虽然降水效果很明显, 但设计井深大, 降水井偏多, 施工难度大, 对环境影响很大, 经济效益差。开发区基坑降水实为抽取砂砾卵石层同一含水层的承压水。因此如何对场地砂、砾卵石含水层综合渗透系数进行合理取值成为

开发区基坑降水设计施工成功的关键。

我单位近期完成的一勘察项目, 考虑其基坑开挖深度与规模, 在该项目抽水试验中采用了“稳定流多孔抽水试验”的方案, 以求获得相对准确的砂、砾卵石含水层综合渗透系数及其他有关水文地质参数, 达到指导基坑降排水设计施工的目的。

1 项目案例介绍

1.1 项目工程地质与水文地质概况

1.1.1 项目地质概况及地形、地貌

表 1 岩土层的分布及主要特征一览表

层号及土名	颜色	状态	层厚 (m)
①素填土	褐色	松散	0.7~3.6
②粉土	黄褐色	稍密	0.6~3.4
③淤泥质粉质粘土	灰黑色	流塑	0.5~2.1
④粉质粘土	黄褐-灰褐色	软塑	2.0~5.3
⑤粉质粘土夹粉土	黄褐色	可塑	0.8~3.8
⑥粉砂夹粉土	黄褐-灰褐色	松散	0.5~6.3
⑦细砂	灰色	中密	0.5~4.6
⑧圆砾	杂色	稍密	8.8~15.0
⑨卵石	杂色	中密	最大揭露厚度

场地属长江北岸一级阶地地貌单元, 勘察期间, 场地

原始地形为荒地。勘察期间实测勘探孔地面高程 28.8~30.2m, 场地整体地势较平坦。根据钻探、孔内原位测试和土工试验等多种方法和手段, 将勘察深度范围内的岩土体分为9层, 各土层的分布、结构特征见表1。

1.1.2 地下水类型及埋藏条件

(1) 上层滞水

上层滞水为包气带局部隔水层粉质粘土之上集聚的重力水, 表层填土中粉质粘土具毛细水, 湿润地区毛细上升高度为1.5m左右, 二者混合赋存于①层素填土层中。接受大气降水及地表水补给, 并易达到饱和, 入渗补给强度较差, 通过蒸发排泄。水量有限且不稳定。勘察期间实测其水位埋深为0.30~0.90m。

(2) 承压水

承压水赋存于深部的⑦层细砂、⑧层圆砾及⑨层卵石层中, 其水位及水量主要接受临区含水层及长江侧向补给, 径流条件下部优于上部。因与区域承压含水层连通, 水量丰富, 其水头呈年周期性变化, 主要受季节影响, 且随长江水位变化而变化, 勘察时测得承压水水位埋深为0.80~2.20m。

1.2 抽水试验方案

1.2.1 抽水试验过程

本次试验共进行三次降深, 降深按从小到大的顺序。整个试验过程及抽水时间要求均严格按照《供水水文地质勘察规范》(GB50027-2001) 实施。对水位降深、稳定持续时间及流量分别观测。观测时间间隔先密后疏, 直至稳定。抽水终止后, 再次观测恢复水位, 观测时间先密后疏, 直至恢复。

1.2.2 抽水试验井结构

本次试验于场地范围内沿垂直地下水流向布置两口抽水试验井, 一口为观测井, 一口为抽水井, 观测井与抽水井的距离为50.4m。

试验中, 两试验井结构完全一致, 抽水井井深为29.5m。

水井成孔直径为 $\phi 600\text{mm}$, 井管直径为 $\phi 219\text{mm}$, 抽水

管直径为 $\phi 80\text{mm}$, 深井泵放置深度22.0m, 涌水量计量采用水表DN80。

井结构: 地面以下0~11.0m深度为实管, 11.0~27.0m深度为滤水管, 27.0~29.5m为沉淀管。其中井管高出自然地面约30cm。

井管材料: 井管采用钢管 $\phi 219 \times 6.0\text{mm}$, 实管与滤管采用相同材料。其中滤管段侧壁钻孔, 孔径18mm, 孔距5cm, 滤管外包缠12目钢丝网一层, 60目尼龙网三层。

填料: 井管与井孔孔壁之间0~10.5m深度段填黏土球; 10.5~29.5m深度段填滤料。黏土球为直径20~40mm, 滤料为 $\phi 1\sim 3\text{mm}$ 的圆砾。

过滤器紧接隔水层顶板, 本次抽水试验井为承压非完整井。

1.3 试验结果

1.3.1 试验成果曲线

从第1落程到第2落程, 抽水井降深较明显, 降深差值为3.5m, 观测井降深差值为0.23m, 抽水量明显增大; 从第2落程到第3落程, 抽水井降深减缓, 降深差值为0.6m, 观测井降深差值为0.07m, 抽水量进一步增大, 如下图1所示。

从Q-S曲线可知, 出水量随着降深的增加持续增大, 近似线性关系, 表明抽水含水层的渗透性、补给条件好, 出水量较大, 如下图2所示。

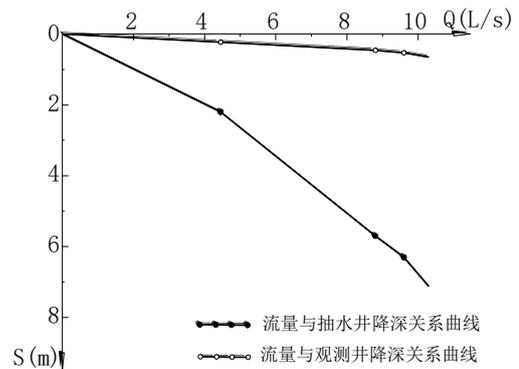


图2 Q-S曲线

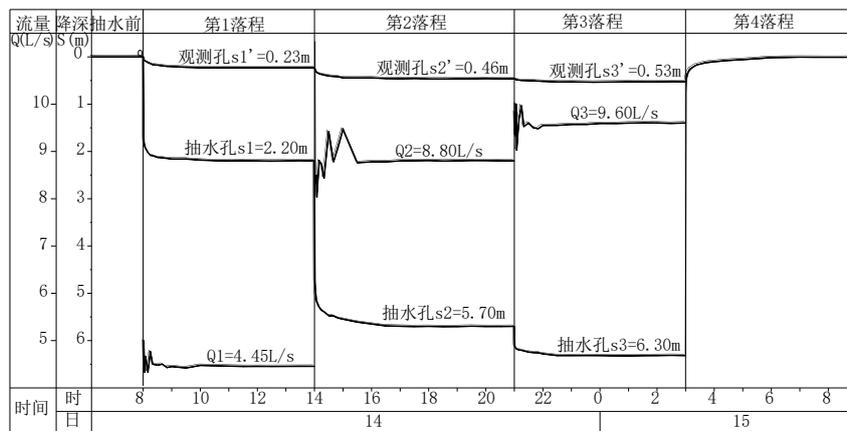


图1 Q-t与S-t曲线

1.3.2 水文地质参数计算

1.3.2.1 影响半径 R

根据计算公式 $R=10 \cdot S \cdot K^{0.5}$ ，当本工程中降深达最大值时，所得 $R=189.0\text{m}$ 。依据地方经验，抽水影响半径一般为 $180\sim 300\text{m}$ ，为方便计算，抽水影响半径取 200m 。

1.3.2.2 综合渗透系数 K

根据过滤器长度和过滤器设置位置选用与之相匹配的计算公式，据此综合渗透系数 K 计算式采用《水文地质手册》式 8-1-22：

$$K = \frac{0.16Q \left[\ln \frac{r_1}{r_w} + 0.5(\xi_0 - \xi_1) \right]}{m(S_w - S_1)}$$

计算结果： $K_1=10.7\text{m/d}$ ； $K_2=7.9\text{m/d}$ ； $K_3=8.1\text{m/d}$ 。
 $K=(K_1+K_2+K_3)/3=8.9\text{m/d}$ 。

2 试验结果分析研讨

2.1 试验结果复核

(1) 计算公式选取检查及参数复核

根据区域成果资料和荆州长江大桥岩土工程勘察结论，卵石层覆盖厚度近百米，故本工程中对场地含水层厚度 m 值参照以上研究成果取 $m=100\text{m}$ 。

本次抽水试验井为承压非完整井，过滤器紧接隔水层顶板，且过滤器长度小于含水层厚度的 $1/3$ （过滤段长度为 16.0m ），本次试验中抽水井结构设置的具体情况与试验所选取计算公式的适用条件相符。

(2) 试验曲线检查

根据《工程地质手册》图 9-3-5，本工程试验曲线（图 2）是较为典型的渗透性强、补给条件好，出水量大的含水层抽水试验曲线。

(3) 试验结果离散性分析

根据试验成果曲线，对三次降深计算各自的渗透系数，分别为：

$$K_1 = 10.7\text{m/d}, K_2 = 7.9\text{m/d}, K_3 = 8.1\text{m/d};$$

$$K=(K_1+K_2+K_3)/3=8.9\text{m/d}。$$

其极差变异性为： $(10.7-8.9)/8.9=20.2\%$ ； $(8.9-7.9)/8.9=11.2\%$ 。

根据以上统计结果，三次降深所得综合渗透系数最大极差为 20.2% ，极差不超过平均值的 30% ，试验结果的变异性满足相关规范要求。

2.2 与其他项目抽水试验的分析对比

我公司在神华 6#楼项目中，试验所得场地含水层综合渗透系数为 14.6m/d ，而在顺驰太阳城人防项目中，试验所得场地含水层综合渗透系数为 11.2m/d 。本次试验所得场地含水层综合渗透系数为 8.9m/d ，其值要稍小于以上两个项目，为便于比较分析，列表如下：

比较分析发现，本次试验与神华 6#楼项目的差异，主要是由于距长江补给源的距离不同，所处水力梯度差别

较大，而本次试验与顺驰太阳城人防项目的差异则主要是由于场地含水层结构组成的不同。这就说明，场地含水层综合渗透系数的大小，不仅与场地工程地质条件有关，而且与地下水的水力梯度也有密切的关系。根据以上对比分析的结论，建议在本场地基坑降水设计中，根据卵石层层顶埋深变化情况，合理调整相邻井孔距离及井深，对卵石层分布较浅地段建议适度加密降水井。

表 2 不同项目抽水试验的对比分析

类别	与长江补给源距离	含水层厚度			综合渗透系数 (m/d)
		区域经	砂层深度范围	卵石层深	
本项目	5800m	100m	8.0~11.0m	17.0m 以	8.9
神华	不足 300m	100m	15.5~24.0m	24.0m 以	14.6
顺驰太	2000m	100m	10.0~13.0m	13.0m 以	11.2

此外，由于在荆州开发区地下室多为单层地下室，基坑开挖深度有限，因而地下水水位降低值要求不大，所以尽管在本地区场地含水层厚度近百米，但降深影响深度范围亦有限，故真正对工程有实际意义的场地含水层综合渗透系数，实为井管范围及降深影响深度范围地层的综合渗透系数。即井深的差异，对试验所得渗透系数值也会有间接的影响。

2.3 利用地方经验参数检验

(1) 十字交叉相乘法核算

本次抽水试验花管总长 16.0m ，其中位于细砂层中过滤段长度为 7.0m ，位于卵石层中过滤段长度为 9.0m ，在地层单层结构均匀性较好的前提下，根据花管在砂层和卵石层中的比例分配，采用十字交叉相乘法，对本次抽水井试验深度范围内砂、卵石层承压含水层综合渗透系数 K 可能的分布范围进行估算：

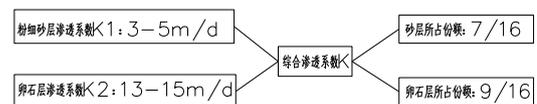


图 3 十字交叉相乘法

据此，得计算式如下：

$$\frac{K-K_1}{K_2-K} = \frac{7/16}{9/16}$$

计算结果为 K 值范围在 $7.4\sim 9.4$ 之间。

本次试验所得综合渗透系数为 $K=8.9 \in (7.4\sim 9.4)$ 。因此可判定本次试验结果是较准确的。

(2) 地方经验判断

根据《荆州市建筑工程勘察技术规定》第二章第四节地下水相关部分：“根据荆州市中心城区水文地质长期观测及研究资料认定：用于二、三级基坑的降水设计时，中下部砂、卵石含水层（组）的渗透系数 K 可按经验取值：粉、细砂层 $3\sim 5\text{m/d}$ ，卵石层 $13\sim 15\text{m/d}$ ”。

本工程实测抽水井井深范围内砂、卵石的综合渗透系数 $K=8.9\text{m/d}$ 位于地方经验值范围内。

本次试验参数与地方经验值差异性原因分析：本项目

卵石层间充填细砂,局部地段层间细砂含量较高,该层于勘察场区内均有分布。故综合渗透系数应高于纯砂层渗透系数、低于纯卵石层渗透系数,而试验结果进一步验证了本次抽水试验的可靠性。

3 结语

通过以上的比较分析,让我们对荆州开发区抽水试验及含水层渗透系数,有了新的认识:

(1) 场地综合渗透系数的大小,与场地水力梯度范围、场地所处的水力补给环境等有关,并且与试验所采用的井结构也有间接关系。所以在荆州开发区,只有在场地属同一水文地质单元,水文地质条件类似的邻近工程中,才可以引用抽水试验成果资料。

(2) 在荆州开发区,对渗透性系数虽然已有成熟的经验性结论,但对含水层综合渗透系数,仍应通过现场抽

水试验实测获得,且推荐使用稳定流多孔抽水试验。

(3) 在条件允许时,抽水试验不仅应提供影响半径及场地含水层综合渗透系数等水文地质参数,尚应对基坑降水设计中的井结构设置、井深及最大涌水量等提供具体的合理建议。

[参考文献]

- [1] 《建筑基坑支护技术规程》[Z]. JGJ 120-2012.
 - [2] 《水文地质手册》[Z]. 第二版 地质出版社出版.
 - [3] 《荆州市建筑工程勘察设计技术规定》[Z].
 - [4] 《供水水文地质勘察规范》[Z]. GB50027-2001.
 - [5] 《基坑工程技术规程》[Z]. DB42/159-2012.
 - [6] 《工程地质手册》[Z]. 第五版 中国建筑工业出版社.
- 作者简介:刘春华(1987—),男,湖南新化人,汉族,硕士研究生学历,工程师,研究方向为岩土工程勘察设计。