

基于 AquiferTest 的抽水试验参数计算方法分析

蒋 辉

(郑州工业贸易学校(原郑州地质学校), 郑州 450007)

摘要: 抽水试验是水文地质勘查中最常用的水文地质试验,通过抽水试验,可准确计算水文地质参数。本文根据在河南豫东地区进行的抽水试验,分别用 AquiferTest 软件计算抽水试验参数和人工求参,进而进行对比分析得出:传统的人工求参,计算结果较为准确,可靠,但因人而异,有不唯一性;用 AquiferTest 软件计算抽水试验参数,规范、可比性好。本文最后还对参数取值问题进行了分析对比。

关键词: 抽水试验;人工求参;AquiferTest;水文地质参数

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2011)02-0035-04

抽水试验是以地下水井流理论为基础,通过在井孔中进行抽水和观测,来测定含水层水文地质参数、评价含水层富水性和判断某些水文地质条件的一种野外水文地质试验。抽水试验的主要目的任务之一是确定含水层水文地质参数,如渗透系数(k)、导水系数(T)、贮水系数(μ^*)、给水度(μ)等,参数精度直接影响水量计算和地下水资源评价的准确性。以往稳定流抽水试验一般用公式法求参,非稳定流抽水试验多用配线法和直线图解法计算参数,对越流含水层系统,也常用拐点法求参,但不同人计算同一井孔抽水试验参数值时,计算结果可能不同,没有标准答案,结果不唯一,评判较困难,因而影响了含水系统之间特性的对比。用计算机自动求参,逐渐推广和应用。计算机求参具有速度快、效率高、计算结果精确、可比性好等优点。

目前,用计算机进行抽水试验参数计算的 AquiferTest(含水层试验)软件,以加拿大滑铁卢水文地质公司(Waterloo Hydrogeologic Inc.)开发研制的专

门用于抽水试验资料分析、数据处理及求参的图形化分析和研究的软件为代表。该软件可对抽水试验数据进行计算,并可完成对求参过程及结果的报表显示及打印。下面以非稳定流抽水试验应用泰斯(Theis)公式求参为例进行人工求参和计算机求参的对比分析和研究。

1 抽水试验资料

在河南省豫东黄河冲积平原商丘地区某县水源地承压含水层中进行了多孔非稳定流抽水试验^[1],抽水井编号为 14#,井深 102m,井径 0.6m;观测井为 15#,井深 172m,井径 0.4m,观测井距抽水井距离 $r = 140\text{m}$,抽水井稳定流量为 $60\text{m}^3/\text{h}$ 。根据勘探资料,含水层厚度 $M = 20\text{m}$,抽水井、观测井初始水位埋深均为 42.20m,抽水试验进行了 1185min。抽水时,15#观测孔的观测资料见表 1。

表 1 河南豫东平原地区某承压含水层抽水试验资料

Table 1 Pumping test data for some confined aquifer on the East Henan Plains

累计观测时间(min)	0	10	20	30	40	60	80	100	120	150
水位埋深(m)	42.20	42.36	42.68	42.74	42.85	43.05	43.20	43.32	43.42	43.56
降深(m)	0	0.16	0.48	0.54	0.65	0.75	1.00	1.12	1.22	1.36
累计观测时间(min)	210	270	330	400	450	645	870	990	1185	
水位埋深(m)	43.75	43.90	44.03	44.09	44.18	44.37	44.58	44.66	44.74	
降深(m)	1.55	1.70	1.83	1.83	1.98	2.17	2.38	2.46	2.54	

收稿日期: 2010-01-31; 修订日期: 2010-11-11

作者简介: 蒋辉(1956-),男,高级工程师,主要从事水文地质、环境地质的教学和研究工作。

E-mail: jianghui1956@126.com

2 配线法求参

2.1 人工配线法求参

该抽水试验只有一个观测孔,因此用泰斯(Theis)降深(s)—时间(t)配线法求参。首先根据实测的不同

时间的降深值(表 1),在透明双对数坐标纸上绘制 $s - t$ 曲线,然后将该曲线与双对数纸上绘制的 $w(u) - \frac{1}{u}$ 标准曲线拟合(配线),任选取一匹配点 A(图 1)^[2]:

$$W(u) = 1, \frac{1}{u} = 10, s = 0.58 \text{ m}, t = 85 \text{ min}$$

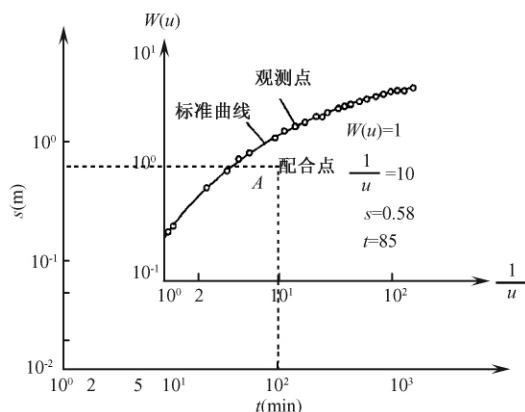


图 1 降深-时间配线法

Fig. 1 Drawdown-time type curve

代入泰斯(Theis)公式,进行参数计算。导水系数(T)为:

$$T = \frac{Q}{4\pi[s]} [W(u)] = \frac{60 \times 24}{4 \times 3.14 \times 0.58} \times 1 = 197.67 \text{ m}^2/\text{d}$$

贮水系数(释水系数) μ^* 为:

$$\mu^* = \frac{4T[t]}{r^2 \left[\frac{1}{u} \right]} = \frac{4 \times 197.67 \times 85}{140^2 \times 10 \times 1440} = 2.38 \times 10^{-4}$$

$$\text{渗透系数}(K): K = \frac{T}{M} = \frac{197.67}{20} = 9.88 \text{ m/d}$$

2.2 用 AquiferTest 软件配线求参

(1) 双击 AquiferTest 软件中试验图标,开始含水层抽水试验。

(2) 填写笔记本抽水试验的记录,键入抽水的时间、抽水流量及含水层的厚度。

(3) 在软件面板中,选择“实例”下的“Analysis”(分析),在出现的弹出窗口中,选择“Drawdown vs. Time”(水位降低与时间)图解。

(4) 创建一个新的分析。从出现的弹出窗口中选择“Theis”降速配线法进行理论分析。

该抽水试验的自动计算参数初值为:

Transmissivity(导水系数)

$$T = 1.83E + 2 (\text{m}^2/\text{d})$$

Conductivity(渗透系数)

$$K = 9.13E + 0 (\text{m/d})$$

Storativity(贮水系数)

$$\mu^* = 2.63E - 4$$

(5) 移动曲线,使用专业判断力来调整曲线,重新进行拟合,以实现自动拟合和手工拟和的最佳效果。

Transmissivity(导水系数)

$$T = 1.96E + 2 (\text{m}^2/\text{d})$$

Conductivity(渗透系数)

$$K = 9.78E + 0 (\text{m/d})$$

Storativity(贮水系数)

$$\mu^* = 2.63E - 4$$

3 直线图解法计算含水层参数

3.1 人工直线图解法

当 $u = \frac{r^2 \mu^*}{4Tt} \leq 0.01$ 时,可利用雅各布(Jacob)直线图解法求参。

因为只有一个观测孔,所以用降深(s)—时间(t)直线图解法求参。从配线法可知, $T = 197.67 \text{ m}^2/\text{d}$,为满足雅各布公式的使用条件, μ 值需大于 170min,本观测孔后期资料符合此要求。因此可采用直线图解法确定含水层的水文地质参数。

根据 15 号观测孔的观测资料,绘制 $s - \lg t$ 曲线(图 2),直线段在 t 轴(零降深线)上的截距 $t_0 = 18 \text{ min}$,直线斜率 $i = 1.4$,代入有关公式进行参数计算。含水层的导水系数(T)、渗透系数(K)和贮水系数(μ^*)计算如下^[3]:

$$T = \frac{0.183Q}{i} = 0.183 \frac{60 \times 24}{1.4} = 188.229 \text{ m}^2/\text{d}$$

$$K = \frac{T}{M} = \frac{188.229}{20} = 9.41 \text{ m/d}$$

$$\mu^* = \frac{2.25Tt_0}{r^2} = \frac{2.25 \times 188.229 \times 18/1440}{140^2} = 2.70 \times 10^{-4}$$

3.2 计算机直线图解法求参

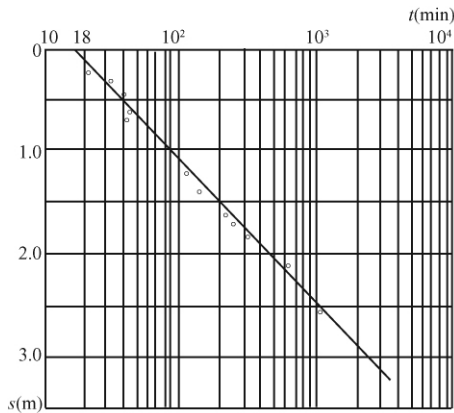
求参过程与上述配线法的步骤相似,即从出现的弹出窗口中选择“Jacob Time-Drawdown”进行“雅各布直线图解法”的理论分析,不再赘述。该法求得的参数为:

Transmissivity(导水系数):

$$T = 2.20E + 2 (\text{m}^2/\text{d})$$

Conductivity(渗透系数):

$$K = 1.10E + 1 (\text{m/d})$$

图2 $s - \lg t$ 曲线Fig. 2 $s - \lg t$ plot

Storativity (贮水系数):

$$u^* = 1.77E - 4$$

需要说明的是:雅各布公式使用条件是 $u \leq 0.01$, 本实例中 t 必须大于 170min, 因此最初的 10 个数据点 ($t = 0, 10, \dots, 150$) 应去除, 求参效果更好, 这项工作可由计算机完成。

4 人工求参与计算机求参对比分析

4.1 人工配线法和计算机配线法的对比分析

本实例中的抽水试验, 有一个抽水孔, 一个观测孔, 属承压水多孔非稳定流抽水试验。人工配线法与计算机配线法的计算结果基本相同或十分接近。人工求取的导水系数 (T) 为 $197.67 \text{ m}^2/\text{d}$, 计算机计算的导水系数 (T) 为 $183 \text{ m}^2/\text{d}$, 两种方法计算结果仅相差 $14.67 \text{ m}^2/\text{d}$, 偏差率为 7.4%; 两种方法计算的渗透系数 (K) 分别为 9.88 m/d 和 9.13 m/d , 仅相差 0.75 m/d , 偏差率为 0.76%; 贮水系数 μ^* 计算结果基本相同, 分别为 2.38×10^{-4} 和 2.63×10^{-4} , 仅相差 0.02×10^{-4} , 偏差率仅为 0.84%。总体而言, 计算机求取的三个参数略小于人工求取的参数。

4.2 人工直线图解法和计算机直线图解法求参对比分析

人工直线图解法与计算机直线图解法求取的三个参数也十分相近。人工图解法求取的导水系数 (T) 为 $188.229 \text{ m}^2/\text{d}$, 计算机图解法求取的导水系数 (T) 为 $220 \text{ m}^2/\text{d}$, 两种方法计算结果仅相差 $14.67 \text{ m}^2/\text{d}$, 偏差率为 7.79%; 渗透系数 (K) 计算结果为 9.41 m/d 和 11.0 m/d , 相差 1.59 m/d , 偏差率为 16.8%; 贮水系数 (μ^*) 的计算结果分别为 2.70×10^{-4} 和 1.77×10^{-4} , 相差 0.93×10^{-4} , 偏差率为 34.4%。直线图解法的计

算结果与直线段的选择有关, 直线段不同, 直线的斜率和截距也不同。人工直线图解法确定直线段有随意性, 而计算机确定直线段则更为精确。

以上讨论的是平原地区承压含水层中的完整井抽水试验只有一个观测孔的参数计算, 如果有多个观测孔, 还可采用其他方法求参, 从作者对其他实例和其他求参方法的应用中也得出与上述类似的情况。

4.3 求参方法分析

根据本实例和其他抽水试验, 对求参方法作一简要分析^[4]:

(1) 无论人工配线法还是计算机配线, 配线法的最大优点是: 可以充分利用抽水试验的全部观测资料, 避免个别资料的偶然误差, 提高计算精度。但也存在一定的缺点: ①抽水初期实际曲线常与标准曲线不符, 因此, 非稳定抽水试验时间不宜过短; ②当抽水后期曲线比较平缓时, 同标准曲线不容易拟合准确; ③一般而言, 用配线法求参时, 应尽量利用距主孔较近的观测孔资料和抽水初、中期的观测数据。因为该种情况下, 实测曲线的曲率比较大, 容易确定重合位置, 随意性较小。否则, 曲线的重合部位有很大的随意性, 容易影响计算结果的精度, 此种方法也常因个人判断不同引起误差。因此在确定抽水延续时间和观测精度时, 人工配线法应考虑所得资料在双对数坐标纸上能绘出 $s - t$ 曲线的弯曲部分, 便于拟合。如果后期实测数据偏离标准曲线, 则可能是含水层外围边界的影响或含水层岩性发生了变化等, 这就需要把试验数据和具体水文地质条件结合起来分析。

(2) 直线图解法的优点是: 既可以避免配线法的随意性, 又能充分利用抽水后期的所有资料, 且作图、计算都比较简便。缺点是: 必须满足 $u = \frac{r^2 \mu^*}{4Ti} \leq 0.01$ 或放宽精度要求 $u \leq 0.05$, 即只有在观测孔距抽水孔的距离 (r) 较小, 而抽水时间 (t) 值较大的情况下才能使用。否则, 抽水时间短, 直线斜率小, 截距值小, 所得的 T 值偏大, 而 μ^* 值偏小。因此, 使用直线图解法应尽量选用后期的资料进行计算。

5 结语

以上用四种方法计算了三个水文地质参数 (T 、 K 、 μ^*), 有如下初步结果:

(1) 总体来看, 在抽水时间较长, 数据点较多时, 配线法优于直线图解法, 且计算机配线法比人工配线法更精确。人工配线法和计算机配线计算结果基本一

致,人工图解法和计算机图解法有一定误差。相对而言,计算机求参比人工求参精确度稍好,且便于对比。

(2)从本实例进一步分析可知,计算机自动配线求得的导水系数(T)、渗透系数(K)略小于人工配线求得的值,贮水系数(μ^*)则略大于人工方法求得的值;相反,计算机直线图解法求得的 T 、 K 略大于人工方法求得值, μ^* 则小于人工方法求得的值。

(3)在进行地下水量计算时,最好用多种方法计算抽水试验参数,合理、科学地选取参数值^[5~7]。

参考文献:

- [1] 地质部水文地质工程地质技术方法研究队. 水文地质手册[M]. 北京:地质出版社,1978. [Hydrogeology Engineering Techniques and Methods Research Team of Ministry of Geology. Hydrogeology Manual [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1978. (in Chinese)]
- [2] 薛禹群,吴吉春. 地下水动力学[M]. 三版. 北京:地质出版社,2010. [XUE Y Q, WU J C. Groundwater Dynamics 3rd ed. [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 2010. (in Chinese)]
- [3] 蒋辉,曾波,潘宏雨. 地下水动力学[M]. 北京:地质出版社,2009. [JIANG H, ZENG B, PAN H Y. Groundwater Dynamics [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 2009. (in Chinese)]
- [4] 供水水文地质手册编写组. 供水水文地质手册(第二册)[M]. 北京:地质出版社,1977. [Water Supply Hydrogeology Manual Compiling Team. Water Supply Hydrogeology Manual [M]. Beijing: The Geological Publishing House, 1977. (in Chinese)]
- [5] 雷国辉,葛国昌,雷国刚,等. 承压完整井非稳定流抽水试验的观测时间要求[J]. 水文地质工程地质, 2009, 36(1): 40-42. [LEI G H, GE G C, LEI G G, et al. Requirement of Survey Time of Unsteady Flow Pumping Test of Complete Bearing [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2009, 36(1): 40-42. (in Chinese)]
- [6] 肖有才,靳向红,杨兰和. 井损的消除方法及其在抽水试验中的作用[J]. 工程勘察, 2009(11): 44-47. [XIAO Y C, JIN X H, YANG L H. Eliminating Method of Well Loss and Its Role in Pumping Test [J]. Engineering Prospecting, 2009(11): 44-47. (in Chinese)]
- [7] 戴长雷,迟宝明,刘中培. 北方城市应急供水源地研究[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(4): 42-46. [DAI C L, CHI B M, LIU Z P. Study on Emergency Water Supply Sources for Northern Cities [J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2008, 35(4): 42-46. (in Chinese)]

An analysis of parameter calculation through pumping tests based on the AquiferTest

JIANG Hui

(Zhengzhou School of Industry and Trade (former Zhengzhou Geological School),
Zhengzhou 450007, China)

Abstract: Pumping test is the most frequently used hydrogeological test in hydrogeological survey, through which the hydrogeological parameters can be accurately calculated. Based on the pumping test conducted in the East Henan Plain, the aquifer parameters are calculated respectively by using the AquiferTest software and by manual calculation methods. The further contrastive analysis shows that the calculation results with the traditional manual methods are relatively accurate and reliable, but have comparatively large arbitrariness and nonuniqueness; the parameter results with the AquiferTest software are normative and have good comparability. The limit values of the parameters are also analyzed.

Key words: pumping test; manual calculation; Aquifer Test; Comparative analysis

责任编辑:张若琳