

# 抽水试验中两种直线图解法的对比

刘天霸, 石建省, 张永波, 高业新

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

**摘要:**应用定流量非稳定流抽水试验获取含水层水文地质参数时,常用的求解方法是 Jacob 直线图解法,而拟合直线的方法一般是基于最小二乘理论,但该方法易受异常值影响,拟合结果常常不理想,从而导致求解的参数值误差较大。相比最小二乘法,基于信息损失最小化的最频值算法对异常值不敏感,是一种更为稳健的算法。将最频值算法与 Jacob 直线图解法耦合,推导出了求解导水系数和贮水系数的新公式。最后,通过 MATLAB 环境下自行编制的程序,以受到不同水位影响效应的 3 个抽水试验为例,对两种直线图解法进行了对比分析。结果表明,基于最频值算法的直线图解法求参结果更准确可靠。

**关键词:**抽水试验;水文地质参数;直线图解法;最频值算法;最小二乘算法

**中图分类号:**P641.2

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-7849(2011)06-0122-06

抽水试验是获取含水层渗透系数、贮水系数等水文地质参数,确定含水层给水能力、最大开采量等数据最直接、最有效的手段之一<sup>[1-4]</sup>。计算水文地质参数的方法很多,采用的数据源也各不相同。各种计算方法及公式都有其特殊的适用条件,在试验含水层满足 Theis 假设的前提下,常用的试验方案是定流量非稳定流抽水,而分析抽水试验数据的方法多为配线法或 Jacob 直线图解法<sup>[5]</sup>。由于 Jacob 直线图解法不但简便易懂而且能避免配线法的随意性,还能充分利用抽水试验后期的资料,因此,尽管 Jacob 直线图解法使用有条件(要求  $u \leq 0.01$  或  $u \leq 0.05$ ,这个条件对于抽水过程又很容易满足),但该方法还是备受青睐。

早期人工进行直线图解既繁琐又带有主观性,同一组数据,不同的人可能得出不同的参数值,而同一个人多次求参的结果也不完全相同。随着计算机技术的发展,运用计算机程序求参逐渐成为主流<sup>[6-11]</sup>,计算机求参不但效率高而且计算结果唯一并可多次重复。直线图解法的计算机程序在将散点数据拟合成直线时依据最小二乘法,但最小二乘法对异常值比较敏感,拟合结果常因异常值的存在而偏离真实趋势<sup>[12]</sup>。由于抽水试验中存在多种干扰因素,如记录误差、井管储蓄效应、薄壁效应、邻层抽水效应等<sup>[13-17]</sup>,因此直接由最小二乘直线图解法求得的参数值并不可靠。

1973 年,Steiner<sup>[18]</sup>提出了一种新的算法——最频值算法,该法与最小二乘法相比,对异常值不敏感,是一种更稳健的算法。笔者欲通过 3 组实际抽

水试验来对比这两种方法的优劣。

## 1 试验区概况及实验安排

试验区位于河北省衡水市护驾迟镇中国地质科学院水文地质环境地质研究所衡水地下水科学试验基地,处于山前堆积平原与冲积低平原的交接地带。试验区地层揭露深度为 600 m,根据沉积特征和水文地质条件,将含水岩系划分为 5 个含水组,各含水组特征见表 1,在试验区内,各含水组间有稳定的、厚度为 10~20 m 的黏土、亚黏土隔水层。每一含水组中有 1 眼抽水井和 1 眼与抽水井同深同结构的观测井,井的布置如图 1 所示,抽水井与观测井的有关信息见表 2。

表 1 试验区含水组划分一览表

Table 1 Information of aquifers in test area

地层	含水组	底板埋深/m	隔水层岩性	含水层岩性
第四系	全新统 I	30~60	灰黄色亚黏土	粉砂、粉细砂
	上更新统 II	160~230	黄棕、灰黄色黏土	细砂、粉细砂
	中更新统 III	350~450	棕褐、黄棕色黏土	中砂、中粗砂
	下更新统 IV	450~640	棕红色黏土	细砂、中粗砂
新近系	明化镇组 V	未见底	紫红色黏土	细砂、中细砂

表 2 抽水井与观测井的相关信息

Table 2 Information of test wells & observation wells

井代号		抽水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	抽水井与观测 井距离/m	所属 含水组
抽水井	观测井			
TW5	OW5	—	25.0	I
TW4	OW4	1 859.0	37.5	II
TW3	OW3	2 210.0	37.5	III
TW2	OW2	2 124.5	37.5	IV
TW1	OW1	1 200.0	37.5	V

收稿日期: 2011-06-17

编辑: 刘江霞

基金项目: 国家“973”项目(2010CB428800)

作者简介: 刘天霸(1982—),男,现正攻读地质工程专业博士,主要从事地下水数值模拟研究。E-mail: iheglu@163.com

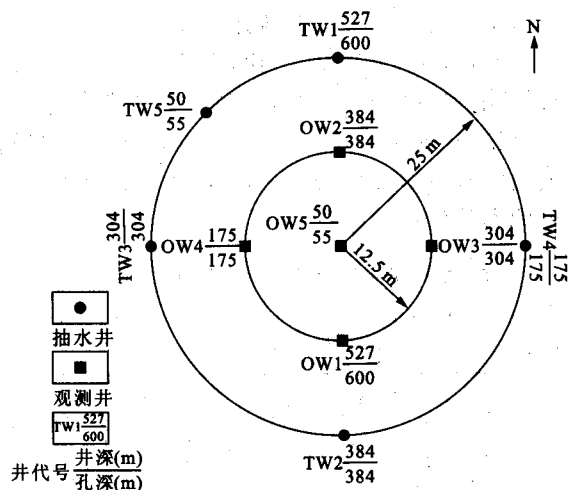


图1 抽水井和观测井布置图

Fig.1 Layout plan of test wells and observation wells

## 2 基于最频值算法的直线图解法

### 2.1 最频值法简介

最频值法(the most frequent value method,简称 MFV Method)的核心思想是使数据的信息散度(information divergence)最小化<sup>[19]</sup>,具体计算公式为:

$$M_{j+1} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{x_i \epsilon_k^2}{\epsilon_k^2 + (x_i - M_j)^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{\epsilon_k^2}{\epsilon_k^2 + (x_i - M_j)^2}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{k+1}^2 = \frac{3 \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - M_j)^2 \cdot \epsilon_k^4}{[\epsilon_k^2 + (x_i - M_j)^2]^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{\epsilon_k^4}{[\epsilon_k^2 + (x_i - M_j)^2]^2}} \quad (2)$$

式中:  $x_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ) 为测量数据系列;  $M_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots$ ) 为最频值, 初始值  $M_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ;  $\epsilon_k$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ) 为分散系数, 初始值  $\epsilon_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} (x_{\max} - x_{\min})$ ,  $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$  分别代表测量数据中的最大值和最小值。

对  $M$  和  $\epsilon$  嵌套迭代求解, 当  $M$  和  $\epsilon$  分别满足各自的终止条件(如小于某个设定值或循环次数)时, 即可停止迭代求解过程。

对于两组数据, 定义其最频值相关系数  $r_M$  为:

$$r_M = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{(x_i - M_x)}{(x_i - M_x)^2 + \epsilon_x^2} \cdot \frac{(y_i - M_y)}{(y_i - M_y)^2 + \epsilon_y^2} \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{(x_i - M_x)^2}{(x_i - M_x)^2 + \epsilon_x^2} \right]} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{(y_i - M_y)^2}{(y_i - M_y)^2 + \epsilon_y^2} \right]}} \quad (3)$$

式中:  $x_i$ 、 $y_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ ) 为两组含有  $N$  个数据的数据系列;  $M_x$ 、 $M_y$  分别为数据系列  $x$  和数据系列  $y$  的最频值;  $\epsilon_x$ 、 $\epsilon_y$  分别为数据系列  $x$  和数据系列  $y$  的分散系数。

与最小二乘法回归直线公式相似, 最频值法拟合直线的公式为:

$$y = r_M \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} (x - M_x) + M_y \quad (4)$$

### 2.2 最频值直线图解法简介

基于最频值算法的直线图解法的原理同传统的 Jacob 直线图解法一样。传统的 Jacob 直线图解法求解导水系数  $T$  和贮水系数  $\mu^*$  的公式分别为:

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi i} \quad (5)$$

$$\mu^* = \frac{2.25T\Delta t}{r^2} \quad (6)$$

式中:  $Q$  为非稳定流抽水试验的流量;  $r$  为观测孔到抽水井的距离;  $i$  为拟合出的直线的斜率;  $\Delta t$  为直线在时间轴  $t$  上的截距。

据公式(4)可知依据最频值算法拟合出的直线的斜率  $i$  及其在  $x$  轴的截距  $\Delta x$  分别为:

$$i = r_M \frac{\epsilon_y}{\epsilon_x} \quad (7)$$

$$\Delta x = M_x - M_y \cdot \frac{1}{r_M} \cdot \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y} \quad (8)$$

将式(7)代入式(5), 式(8)代入式(6), 得:

$$T = \frac{2.3Q}{4\pi} \cdot \frac{1}{r_M} \cdot \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y} \quad (9)$$

$$\mu^* = \frac{2.25T(M_x - M_y \cdot \frac{1}{r_M} \cdot \frac{\epsilon_x}{\epsilon_y})}{r^2} \quad (10)$$

式(9)、(10)即是基于最频值算法求解的导水系数  $T$  和贮水系数  $\mu^*$  的最终公式。

## 3 不同水位影响效应的计算结果与比较

为说明基于最频值算法的直线图解法较基于最小二乘算法的直线图解法更稳健, 笔者在 MATLAB 环境下编写了两种算法的程序, 其中最小二乘算法拟合直线部分调用 MATLAB 自带函数 polyfit 完成。

本次抽水试验中, 在前 1 000 min 内, 对水位观测干扰最大的是水位影响效应<sup>[20]</sup>。所谓水位影响效应是指某一含水层抽水时, 在没有发生水量交换的情况下, 非抽水含水层水位随抽水含水层水位下降而下降的现象。水位影响效应不是由含水层的越流引起的, 而是因为含水层抽水时使得地层压力减小而引起的水位变动, 其间并无水量的交换, 实质是地层压力的变化。

下面以观测水位影响效应时的不同情形,分别对两种方法的计算结果进行对比。

### 3.1 水位影响效应较小时的计算结果

在对第 V 含水组进行抽水试验时,各观测孔中水位动态见图 2。由于观测孔 OW1 中水位在 2 700 min 后开始小幅回升,已不符合非稳定抽水试验规律,故求取参数时选取前 2 700 min 内的观测数据。两种方法所得的降深—时间曲线见图 3,计算出的参数值见表 3。

由图 2 可以看出,TW1 井抽水时,OW2、OW3 井中的水位分别在 123 min 和 95 min 时达到最大降深,最大降深值仅为 51 mm 和 64 mm,OW5 井中的水位在 993 min 时达到最大降深(1 600 min 后水

位又有下降是由该层中农灌井抽水造成的),为 202 mm。与 TW2 井抽水时相比,TW1 井抽水造成的水位影响效应持续时间短,邻层水位下降较小。由图 3 可知,在这种情况下,水位影响效应对观测数据造成的干扰较小,两种方法拟合出的直线基本重合,求得的参数值也基本相同。

表 3 水位影响效应较小时两种直线图解结果

Table 3 Results of two linear graphic approaches as small water level effect existed

参数名称	拟合直线的方法	
	最频值法	最小二乘法
导水系数 $T/(\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1})$	286.88	281.29
贮水系数 $\mu^*$	$6.12 \times 10^{-5}$	$7.19 \times 10^{-5}$

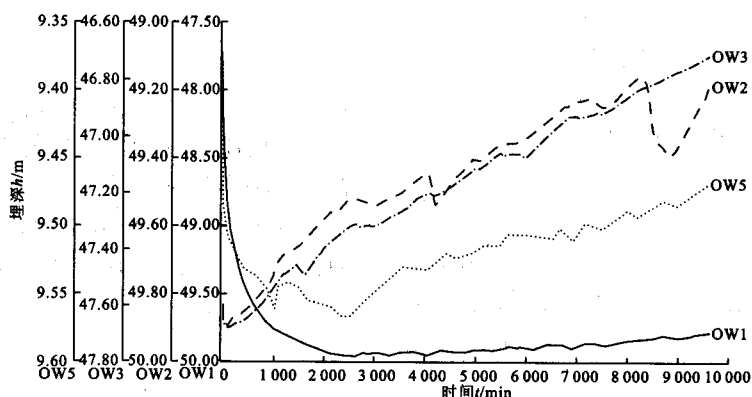


图 2 TW1 井抽水时各观测井水位动态曲线

Fig. 2 Water level dynamic curves of different observation wells as TW1 pumped

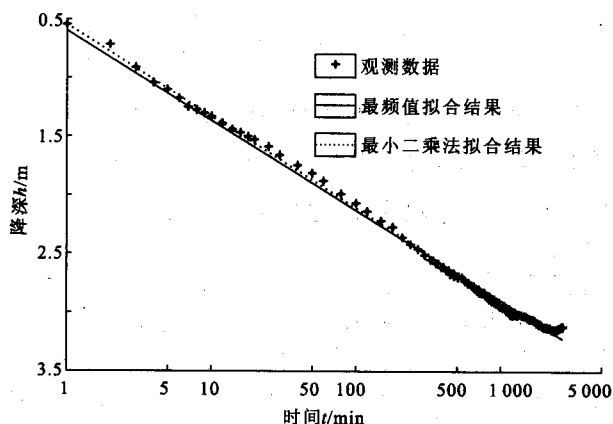


图 3 水位影响效应较小时的降深—时间曲线对比图

Fig. 3 Comparison diagram of drawdown-time curves as small water level effect existed

### 3.2 水位影响效应较大时的计算结果

在对第 IV 含水组进行抽水试验时,各观测孔的水位动态见图 4。由于观测孔 OW2 的水位在 2 800 min 后受到农灌井抽水的影响,已不符合非稳定流抽水试验规律,故在求取参数时选取 2 800 min 前

的观测数据。应用最小二乘法和最频值法图解结果见图 5,所得参数值见表 4。

表 4 水位影响效应较大时两种直线图解结果

Table 4 Results of two linear graphic approaches as large water level effect existed

参数名称	拟合直线的方法	
	最频值法	最小二乘法
导水系数 $T/(\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1})$	666.66	775.26
贮水系数 $\mu^*$	$3.41 \times 10^{-3}$	$1.43 \times 10^{-3}$

两种方法求得的结果差异明显。导致这种结果的原因是当抽水试验中存在较大的水位影响效应时,最小二乘法无法剔除这部分干扰值。由图 4 可以看出,当第 IV 含水组中的 TW2 井抽水时,相邻的含水组 I、II、III、V 中的水位也都出现了同步下降,108 min 时,OW4 井的水位下降到最大,最大降深值为 143 mm;600 min 时,OW3 井的水位下降至最深,最大降深值为 157 mm;1 000 min 时,OW1 和 OW5 井的水位也达到了最大降深,分别为 202 mm 和 213 mm。与 TW1 井抽水时相比,TW2 井抽水引起的水位影响效应持续时间和强度都较大,已不

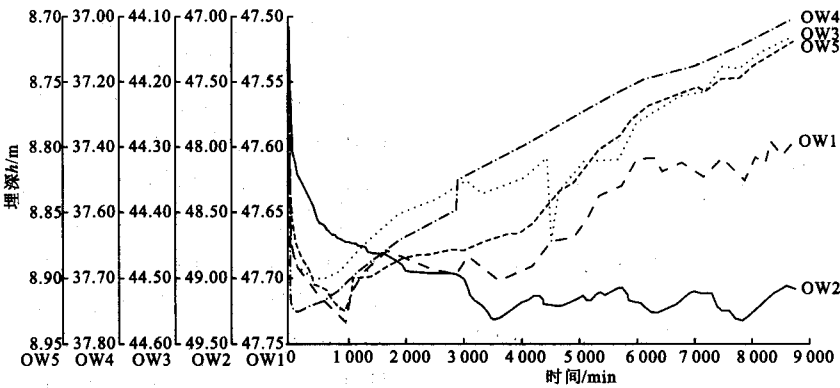


图 4 TW2 井抽水时各观测井水位动态曲线

Fig. 4 Water level dynamic curves of different observation wells as TW2 pumped

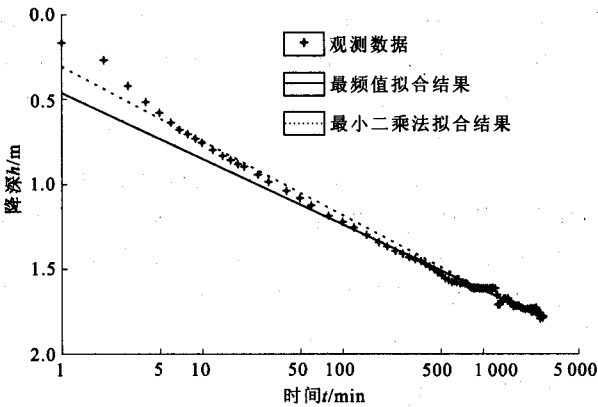


图 5 水位影响效应较大时的降深—时间曲线对比图

Fig. 5 Comparison diagram of drawdown—time curves as large water level effect existed

在水位影响效应,并且持续时间也不会短(TW1、TW2 井抽水时,OW5 井的水位都是在约 1 000 min 时达到最大降深)。而随后的水位恢复数据求出的  $T$  值为  $1\,027.62\text{ m}^2/\text{d}$ ,  $\mu^*$  值为  $9.28\times10^{-5}$ ,最频值法求解出的结果与其比较接近,而最小二乘法求得的结果与之相差甚大,这再次证明基于最频值法的直线图解法不易受噪声值影响,具有很强的稳定性。

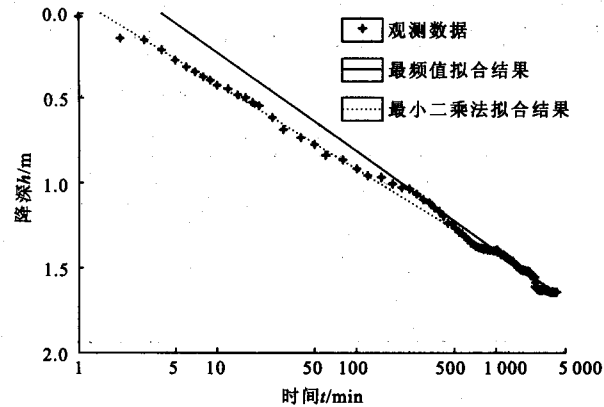


图 6 水位影响效应未知时的降深—时间曲线对比图

Fig. 6 Comparison diagram of drawdown—time curves as water level effect unknown

4 讨 论

图 5 中似乎基于最小二乘法拟合出的直线比基于最频值法拟合出的直线更符合数据的分布规律,但事实上,以 1 000 min 前的数据和 1 000 min 后的数据分别做直线可知,两段直线的斜率明显不同,分别为 0.49 和 0.64,两者的差异远超出了可能的误差范围。作为对比,全时段数据拟合出的直线,基于最小二乘法的斜率为 0.50,与 1 000 min 前的直线斜率基本相同,而最频值法的斜率为 0.58,比较接近 1 000 min 后的。图 7 是图 5 中 1 000 min 后两种直线图解法的放大显示,从图 7 更能直观地看出

能忽略,因此应用包括这段时间内的数据求解含水层参数时会引起较大的误差,所得参数值不可信。而最频值法能够给干扰因素赋以很小的权重系数,自动剔除这部分噪声数据,由图 5 可以看出,这种方法拟合出的直线符合数据的真实规律,因此,求得结果的可靠度较高。

3.3 水位影响效应未知时的计算结果

本次试验中,当 TW3 井抽水时,邻层观测孔中的自动水位记录仪的数据线出现故障,没有得到观测数据。应用最小二乘法和最频值法对 OW3 观测井中数据图解结果见图 6,计算的参数值见表 5。

尽管没有直接的邻层观测数据,但由 TW1 及 TW2 井抽水时的情形可推知, TW3 井抽水时也存在

表 5 水位影响效应未知时两种直线图解结果  
Table 5 Results of two linear graphic approaches as water level effect unknown

参数名称	拟合直线的方法	
	最频值法	最小二乘法
导水系数 $T/(\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1})$	1 051.61	925.95
贮水系数 $\mu^*$	$8.34\times10^{-5}$	$2.37\times10^{-5}$

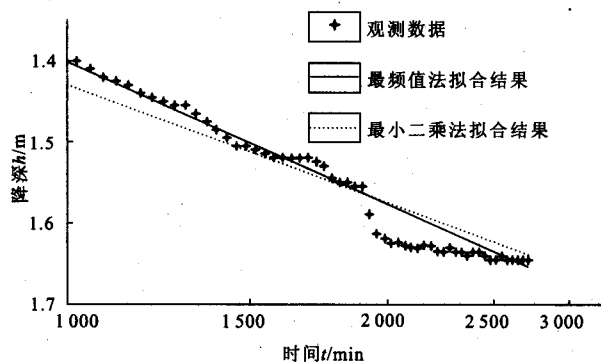


图7 OW2井1000 min后降深-时间曲线对比图

Fig. 7 Comparison diagram of drawdown-time curves after 1000 min in well OW2

最频值法拟合出的直线比最小二乘法拟合出的直线更接近数据的真实趋势。对OW3井进行分析也会得到相同的结论。

由于最小二乘法基于极大似然理论的 $L_2$ 准则,因此应用它的前提是要求数据符合正态分布<sup>[21]</sup>,当数据中存在较大噪声或者数据不服从正态分布时,应用最小二乘法会严重影响计算结果<sup>[22]</sup>。与之相比,最频值法基于信息散度理论的 $P_k$ 准则,适用于

多种分布类型,如正态分布、柯西分布,尤其适用于服从地统计分布的数据。

为进一步证实最频值法比最小二乘法在直线图解中适用性更好,假设一服从Theis条件的理想抽水试验,导水系数 $T$ 和贮水系数 $\mu^*$ 已知,分别为 $300 \text{ m}^2/\text{d}$ 和 $2.5 \times 10^{-5}$ ,井距 $r=20 \text{ m}$ ,观测时间 $t$ 从1 min持续到3 000 min,依此计算出 $u$ 、井函数 $W(u)$ 以及流量 $Q$ ,根据标准Theis公式可以求得降深 $h$ 的值。以该假设试验为背景,为降深 $h$ 添加4种随机噪声以验证两种算法的鲁棒性,每种噪声重复20次,最终计算结果取其平均值。由表6的计算结果可知,最频值算法明显好于最小二乘算法。最小二乘算法只有在噪声服从正态分布时计算结果才可靠,当噪声类型不服从正态分布时,计算结果精度明显降低,尤其是计算出的贮水系数 $\mu^*$ 与其真实值甚至相差1~2个数量级。

总之,在水文地质研究中,存在着很多不易观测或未知的干扰因素。Szucs等<sup>[23]</sup>通过反演地下水数值模型后认为,在分析这些干扰因素影响下的数据时,应用对异常值不敏感、鲁棒性更好的最频值算法要比应用最小二乘算法有更多优势。本文的算例从另一方面进一步证实了这一观点。

表6 4种噪声影响下的两种直线图解结果

Table 6 Results of two linear graphic approaches under 4 different noises

噪声类型	最小二乘法		最频值算法	
	导水系数 $T/(\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1})$	贮水系数 $\mu^*$	导水系数 $T/(\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1})$	贮水系数 $\mu^*$
正态分布噪声	300.077 7	$2.464 4 \times 10^{-5}$	299.472 1	$2.515 6 \times 10^{-5}$
对数正态分布噪声	328.569 7	$8.939 7 \times 10^{-6}$	316.807 1	$1.336 7 \times 10^{-5}$
$t$ 分布噪声	211.548 2	$1.163 5 \times 10^{-3}$	282.954 9	$4.802 9 \times 10^{-5}$
地统计分布噪声	238.679 7	$2.394 9 \times 10^{-4}$	307.480 3	$1.927 9 \times 10^{-5}$

## 5 结 论

通过将最频值算法与Jacob直线图解法耦合得出一种新的直线图解程序,在此基础上,将其与基于最小二乘算法的传统Jacob直线图解法分别应用到3个抽水试验案例中对比分析求参结果,得出了以下结论:

(1) 与基于最小二乘算法的计算机直线图解法相比,该方法不受异常值影响,能迅速配准直线,求参结果可靠。

(2) 与人工直线图解法相比,该方法求解效率高,求参结果不会因人而异,并且结果唯一、可重复验证。

(3) 尽管应用水位恢复试验求得的参数更为准确,但其成本较高,相比之下,应用最频值直线图解法就显得更为经济省时。

## 参考文献:

- [1] 原华,张庆贺. 不等流量双井非稳定流抽水试验参数的确定[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(增刊2): 3705-3711.
- [2] 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(4): 37-40.
- [3] 孙丰英,许光泉,赵宏海,等. 稳定井流抽水含水层参数计算机富水性评价[J]. 资源调查与环境, 2009, 30(3): 229-234.
- [4] 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): 44-50.
- [5] 蒋辉,曾波,潘宏雨. 地下水动力学[M]. 北京:地质出版社, 2009.
- [6] Samuel M P, Jha M K. Estimation of aquifer parameters from pumping test data by genetic algorithm optimization technique[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2003, 129(5): 348-359.
- [7] 刘立才,陈鸿汉,张达政. 梯度法在水文地质参数估值中的应用[J]. 水文地质工程地质, 2003(3): 39-41.
- [8] 程璐,朱国荣,江思珉. Theis公式的优选逼近求解及在Pocket PC上的嵌入[J]. 勘察科学技术, 2005(3): 18-21.
- [9] 郭建青,李彦,王洪胜,等. 确定含水层参数的混沌序列优化算

- 法[J]. 中国农村水利水电, 2006(12):26-29.
- [10] 李林子, 朱国荣, 江思珉, 等. Theis 解析模型的数值解及其在 MATLAB 中的实现[J]. 江苏地质, 2007, 31(3):67-71.
- [11] 颜俊. 遗传算法反演工程水文地质参数[J]. 铁道工程学报, 2007, 24(7):20-23.
- [12] 肖长来, 梁秀娟, 崔建铭, 等. 确定含水层参数的全程曲线拟合法[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2005, 35(6):751-755.
- [13] Davis A D, Stetler L D. Pumping Well Test Analysis: Hell creek aquifer, North Cave Hills, Harding County, South Dakota[EB/OL]. (2007-11-27) [2011-07-02]. <http://uranium.sdsmt.edu/Downloads/NCH%20Pumping%20Test%20Final.pdf>.
- [14] Kim J, Parizek R R. Numerical simulation of the Rhade effect in layered aquifer systems due to groundwater pumping shutoff[J]. Advances in Water Resources, 2005, 28(6):627-642.
- [15] Kim J, Parizek R R. Numerical simulation of the Noordbergum effect resulting from groundwater pumping in a layered aquifer system[J]. Journal of Hydrology, 1997, 202(1/4):231-243.
- [16] Kabala Z J. Sensitivity analysis of a pumping test on a well with wellbore storage and skin [J]. Advances in Water Resources, 2001, 24(5):483-504.
- [17] Bardsley W E, Sneyd A D, Hill P D H. An improved method of least-squares parameter estimation with pumping-test data [J]. Journal of Hydrology, 1985, 80(3/4):271-281.
- [18] Steiner F. Most frequent value and cohesion of probability distributions[J]. Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica, 1973, 8:381-395.
- [19] Steiner F. The most frequent value. Introduction to a modern conception of statistics [M]. Budapest: Akademiai Kiado, Hungary, 1991.
- [20] 高业新, 吴庆华, 韩玉英, 等. 抽水含水层对非抽水含水层水位影响的效应分析[J]. 现代地质, 2009, 23(4):164-170.
- [21] 张文生, 何樵登. 最小二乘法与反问题误差最优模的选择[J]. 长春科技大学学报, 1996, 26(4):454-460.
- [22] 王兆磊, 周辉. 在反演过程中利用不同范数准则压制噪声对反演结果的影响[J]. 地球物理学进展, 2007, 22(3):919-923.
- [23] Szucs P, Civan F, Virag M. Applicability of the most frequent value method in groundwater modeling [J]. Hydrogeology Journal, 2006, 14:31-43.

## Comparison on Two Kinds of Linear Graphic Approaches in Pumping Test

LIU Tian-ba, SHI Jian-sheng, ZHANG Yong-bo, GAO Ye-xin

(Institute of Hydrogeology and Environmental Geology,  
Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, China)

**Abstract:** In order to acquire aquifer hydrogeologic parameters by unsteady flow pumping at a constant rate, the commonly used way is Jacob linear graphic approach, and the method of fitting line is basing on the least squares principle. But this method is easily influenced with outliers, and the fitting result is usually not satisfying, thus it leads to the errors of parameters becoming large. Compared with the least squares principle, the most frequent value method (MFV), which is theoretically derived from the minimization of information loss, is insensitive to outliers, so it's a robust and resistant algorithm. In this paper, the MFV algorithm is coupled with linear graphic approach, and then derived the new formulae of transmissivity and storage coefficient. At last, the authors compiled the linear graphic program under MATLAB, and took three pumping tests, which suffered from interference factors in different state, as examples to compare the two kinds of linear graphic approach. The results showed that it's more reliable to get hydrogeologic parameters with linear graphic approach based on the most frequent value method.

**Key words:** pumping test; hydrogeologic parameter; linear graphic approach; the most frequent value principle; the least squares principle