

基于抽水试验资料确定含水层水文地质参数

周志芳 汤瑞凉

汪 斌

(河海大学土木工程学院 南京 210098) (淮河水利委员会 蚌埠 233001)

摘 要 根据现场稳定流抽水试验资料确定含水层水文地质参数是野外水文地质工作中最常用的方法之一. 但当抽水含水层的边界形状、边界条件较为复杂时, 就很难找到合适的公式用来计算水文地质参数. 考虑有越流和一侧有隔水边界的影响, 基于承压不完整井稳定流抽水试验资料提出了一种确定含水层水文地质参数的方法. 采用该方法通过一次稳定流抽水试验可以同时确定出主承压含水层的导水系数、弱透水层的渗透系数和弱透水层的越流因素. 计算实例表明, 该方法不仅简单易行, 而且可以通过一次抽水试验资料获得较多的水文地质参数.

关键词 抽水试验, 参数, 不完整井, 越流, 边界

中图分类号 P641

水文地质参数是研究地下水运动问题非常重要的参数. 根据现场稳定流抽水试验资料确定含水层水文地质参数是野外水文地质工作中经常采用的较为行之有效的方法之一^[1]. 早在 1863 年 J. Dupuit 就依据 Darcy 定律提出了地下水向完整井稳定流运动的 Dupuit 公式. 1951 年 И. А. Чарный 研究了地下水向不完整井的稳定运动, 发现流向承压含水层不完整井的水流存在着平面径向流动带和空间流动带, 并以此为基础, 提出了地下水向承压含水层不完整井稳定运动的计算公式. 1970 年 W. C. Walton 给出了承压含水层完整井有越流、无边界影响时的井流公式. 1972 年 J. Bear 基于镜象法原理和势叠加原理, 详细研究了位于边界附近的含水层井流运动及相应的井流计算公式.

所有这些理论和方法直到现在仍经常被人们用来确定特定水文地质条件下含水层的水文地质参数. 对于一些定解条件较为复杂的井流问题, 上述理论和方法难以直接应用, 因此寻求新的方法, 确定复杂定解条件下含水层的水文地质参数, 始终受到水文地质工作者热心关注. Н. D. Yel^[2]和 X. H. Chen^[3]等在这方面已做了许多有益的工作. 本文考虑到有越流和一侧有隔水边界的影响, 基于承压不完整井稳定流抽水试验资料提出一种确定含水层水文地质参数的方法. 计算实例表明, 该方法不仅简单易行, 而且可以通过一次抽水试验资料获得较多的水文地质参数.

1 方法的原理

当一口不完整抽水井位于有隔水边界影响和有相邻含水层越流补给的承压含水层中时, 在井中做抽水试验, 无疑地下水向这类不完整井的运动是非常复杂的. 为此, 首先采用 И. А. Чарный 提出的方法, 以流向承压含水层不完整井的水流存在着平面径向流动带和空间流动带为基础, 把承压含水层不完整井化为具有假想半径的完整井.

如图 1 所示, $r_c - r_w$ 为空间流动带, 这一带井的流量

$$Q = \frac{2\pi KM(H_c - h_w)}{\frac{1}{2\alpha} \left[2 \ln \frac{4M}{r_w} - 2.3A \right] - \ln \frac{4M}{R}} \quad (1)$$

式中: $\alpha = l/M$; l ——过滤器长度, m; $A \sim f(\alpha)$ 的关系曲线参见文献[1]; H_c ——对应 $r = r_c$ 处的承压水位,

m ; h_w ——抽水井水位 m ; K ——承压含水层渗透系数 m/d ; R ——影响半径 m ; M ——承压含水层厚度 m .
 r_c 至 R 为平面径向流动带, 这一带可按完整井 J. Dupuit 公式计算流量

$$Q = \frac{2\pi KM(H_0 - H_c)}{\ln \frac{R}{r_c}} \quad (2)$$

其中 H_0 为抽水前的承压水头 (m) .

根据水流连续性原理, 式(1)等于式(2), 令

$$\xi = \frac{1}{2\alpha} \left[2 \ln \frac{4M}{r_c} - 2.3A \right] - \ln \frac{4M}{r_c} \quad (3)$$

$$\beta = \left(\ln \frac{R}{r_c} \right) \gamma \xi \quad (4)$$

得两带间分界面上的动水位 H_c 为

$$H_c = \frac{H_0 + \beta \cdot h_w}{1 + \beta}$$

回代式(2), 整理后得

$$Q = \frac{2\pi KMS_w}{\ln \frac{R}{r_c}} \cdot \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (5)$$

式(5)表明, 一口承压不完整井的流量, 可以用一假想半径为 r_c 的完整井公式计算, 然后乘以修正系数. 根据实验资料, r_c 通常位于 $(1 \sim 1.5)M$ 处. ξ 称之为不完整井的阻力系数.

另一方面, 据 W. C. Walton, 完整承压水井有越流、无边界影响时井流公式为

$$s = \frac{Q'}{2\pi T} \ln \frac{1.123B}{r} \quad (6)$$

$$B = \sqrt{\frac{Tm_1}{K_1}} = \sqrt{\frac{T}{\sigma'}} \quad (7)$$

其中: B ——越流因素 $1/m$; σ' ——越流系数 $1/d$; T ——承压含水层导水系数 m^2/d ; m_1 ——弱透水层厚度 m ; K_1 ——弱透水层渗透系数 m/d ; r ——距抽水井径向距离 m ; s —— r 处的降深 m ; Q' ——有越流时承压水完整井抽水量 m^3/d .

因为抽水井为非完整承压水井, 必须将式(6)右边乘修正系数, 化为完整井公式, 有

$$s = \frac{\beta}{\beta + 1} \cdot \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1.123B}{r} \quad (8)$$

当有隔水边界影响时, 采用镜象法原理和势叠加原理, 得有隔水边界时, 承压含水层中任一观测井位置降深公式

$$s = \frac{\beta}{\beta + 1} \left[\frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1.123B}{r_1} + \frac{Q}{2\pi T} \ln \frac{1.123B}{r_2} \right] \quad (9)$$

其中 r_1, r_2 分别为实井和虚井至任意一观测井的距离 m .

对式(9)作适当转化, 有

$$s = - \frac{2.3Q\beta}{2\pi T(\beta + 1)} \lg r_1 r_2 + \frac{2.3Q\beta}{2\pi T(\beta + 1)} \lg 1.26B^2 \quad (10)$$

显然, $s \sim r_1 r_2 (= r^*)$ 在单对数纸上为一直线. 可以利用不同径向距离上观测到的降深作出该直线, 然后据直线斜率求出参数, 即由

$$i = - \frac{2.3Q\beta}{2\pi T(\beta + 1)}$$

得

$$T = 0.366 \frac{\beta Q}{\beta + 1} \frac{1}{|i|} \quad (11)$$

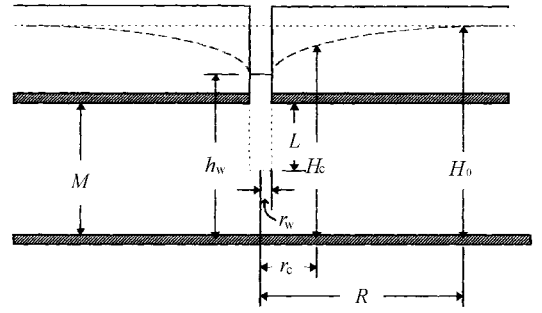


图1 不完整井概化为完整井的计算图
 Fig. 1 Conversion of partially penetrating well into fully penetrating well

由直线在横坐标上的截距($s = 0$) , $r^* = r_0^*$, 得

$$B = \sqrt{\frac{r_0^*}{1.26}}$$

(12)

具体计算时 , 为了在单对数纸上绘制出不同径向距离上的降深直线 , 抽水井附近至少必须 3 口观测井 .

2 计算实例及分析

据勘测资料 , 淮北平原边缘土层可分为四层 . 第一层自地表至高程 9 ~ 12 m 为细砂、极细砂和砂壤土层 , 属本区的潜水含水层 . 第二层为粉质粘土和粉质壤土层 , 透水性差 , 属于弱透水层 , 厚度在 10 m 左右 . 第三层为中砂、细砂、极细砂和砂壤土 , 夹少量的粗砂和砾质砂 , 透水性好 , 是区域内唯一的松散介质承压含水层 , 厚度为 10 m . 承压含水层以下 , 即为本区第四层基岩 , 岩性为石英岩、花岗岩和片麻岩 , 是承压含水层的隔水底板 . 承压含水层南部尖灭 , 为了研究蚌埠闸渗流控制问题 , 在距南部尖灭边界 140 m 处的主井中 , 1982 年冬做了抽水试验 . 已知 $Q = 864.0 \text{ m}^3/\text{d}$, $r_w = 0.3 \text{ m}$, $l = 7.0 \text{ m}$, $s_w = 6.32 \text{ m}$, 取 $r_c = 1.0 M = 10.0 \text{ m}$. 3 口观测井的位置和降深如表 1 所示 .

这样 , 由

$$\alpha = \frac{l}{M} = \frac{7.0}{10.0} = 0.7$$

查 $A \sim f(a)$ 的关系曲线图^[1] , 得 $A = 0.9$. 将相应数据代入式 (3) , 得 $\xi = 4.125$.

由于在式 (4) 中井的影响半径是未知的 , 这里取经验公式

$$R_0 = 3000s_w\sqrt{K} \text{ (} K \text{ 的单位为 } \text{m/s} \text{)}$$

(13)

用试算的办法确定 R 值 , 先假定 $K = 20 \text{ m/d}$, 代入 (13) 式 , 求得 $R = 288.46 \text{ m}$. 这样 , 由式 (4) , 求得 $\beta = 0.815$.

将表 1 资料 , 据式 (10) 在单对数纸上作图 2 . 求得

$$i = 0.73 \qquad r_0^* = 890\,000$$

代入式 (11) 及 (12) 得

$$T = 0.366 \frac{0.815 \times 864}{(0.815 + 1)} \times \frac{1}{0.73} = 194.5 \text{ (} \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1} \text{)}$$

$$K = \frac{T}{M} = 19.45 \text{ (} \text{m} \cdot \text{d}^{-1} \text{)}$$

$$B = \sqrt{\frac{890\,000}{1.26}} = 840.45 \text{ (} \text{m}^{-1} \text{)}$$

将求得的 K 值 , 重新代入式 (13) , 求得 $R = 284.45 \text{ m}$, 再求得 $\beta = 0.8116$.

这样 , 有

$$T = 0.366 \cdot \frac{0.8116 \times 864}{(0.8116 + 1)} \times \frac{1}{0.73} = 194.07 \text{ (} \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1} \text{)}$$

$$K = 19.41 \text{ (} \text{m} \cdot \text{d}^{-1} \text{)}$$

$$\sigma' = \frac{K_1}{m_1} = \frac{T}{B^2} = \frac{194.07}{840.45^2} = 2.75 \times 10^{-4} \text{ (} \text{d}^{-1} \text{)}$$

$$K_1 = m_1\sigma' = 10 \times 2.75 \times 10^{-4} = 2.75 \times 10^{-3} \text{ (} \text{m} \cdot \text{d}^{-1} \text{)}$$

K 值的两次计算误差已很小 , 可以认为是待求值 . 若误差很大 , 可以重复上述计算 , 其结果将收敛得很快 , 即非常便捷地得到待求值 .

将上述计算结果与不同时期、不同方法计算得到的水文地质参数比较如表 2 所示 . 从不同时期 , 不同方法计算出的水文地质参数看 , 总体上结果较为一致 . 相比较而言 , 本文和 1984 年科研报告采用的抽水试验方法求得的 K 值偏小 . 这是由于抽水井位于南部边界附近 , 那里承压含水层厚度较区域内部薄 , 且含水层透水

表 1 观测井降深-距离资料

Table 1 Observation well's $s \sim r$ data

井孔号	s/m	r_1/m	r_2/m	r^*/m
3	1.09	110	300	33 000
80—8	0.29	510	790	402 900
80—11	0.57	275	360	99 000

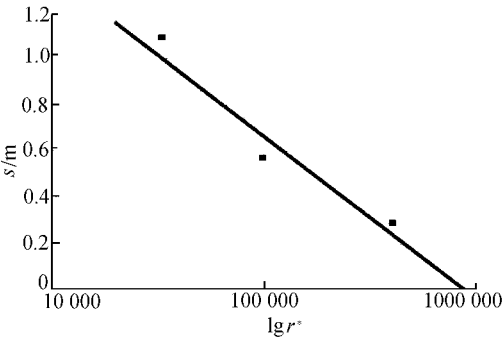


图 2 $s \sim \lg r^*$ 直线图解法

Fig.2 Straight line method of $s \sim \lg r^*$

性相对较差,故求出的 K 值偏小是正常的.数值反分析计算的参数,由于考虑到了研究区域内不同位置的井水位,反应了整个研究区域含水层的平均透水特性.

3 结 语

采用镜象法原理和势叠加原理,提出了确定边界附近有越流承压不完整井含水层水文地质参数的计算公式和计算方法.在有三个观测井的情况下,通过一次稳定流抽水试验,可以同时确定出主含水层的渗透系数、弱透水层的渗透系数和弱透水层的越流因数.计算实例表明,本文提出的复杂定解条件下确定含水层水文地质参数的方法是简单、有效的.与其它方法相比,本文的方法具有适合复杂定解条件下确定含水层水文地质参数和可以通过一次抽水试验资料获得较多的水文地质参数的优点.

表 2 水文地质参数成果汇总

Table 2 Results of hydrogeological parameters

类别	承压含水层渗透系	弱透水层渗透系	越流因数
	数 $K/(m \cdot d^{-1})$	数 $K_1/(m \cdot d^{-1})$	$B/(m^{-1})$
本文方法	19.41	0.002 75	840.45
数值反分析	22.50	0.002 60	930.26
施工阶段试验	25.92	0.005 18	1000.00
1984 年科研报告	17.00		900.00

参 考 文 献

1 薛禹群、朱学愚.地下水动力学.北京:地质出版社,1979.207~240
2 Yeh H D. Theis' solution by nonlinear least squares and finite difference Newton's method. Ground Water,1987,25(6):710~715
3 Chen X H. Utilization of the Hantush solution for the simultaneous determination of aquifer parameters. Ground Water,1997 35(5):751~756

Determination of Hydrogeological Parameters of Leaky Aquifer Based on Pumping Test Data of Partially Penetrating Well near the Boundary

Zhou Zhifang Tang Ruiliang

(College of Civil Engineering ,Hohai Univ. , Nanjing 210098)

Wang Bin

(Huaihe River Commission of Ministry of Water Resources ,Bengbu 233001)

Abstract One of the most useful methods in field hydrogeological work is to determine hydrogeological parameters of an aquifer based on the steady flow pumping test data. But when the boundary shape and boundary conditions are complicated it is very difficult to find a suitable formula for calculating hydrogeological parameters. In this paper, in consideration of leakage and the impervious boundary on one side of a confined aquifer, a method for determining hydrogeological parameters is introduced, which is based on the steady flow pumping test data of a partially penetrating well. By this method, the hydraulic conductivity and leakage factor of the semipervious layer and the transmissibility of the confined aquifer can be obtained through a steady flow pumping test. A practical case illustrates that the present method is simple and practical, and more hydrogeological parameters can be obtained by means of the data from one pumping test.

Key words pumping test; parameter; partially penetrating well; leakage; boundary