

# 无限承压含水层中主孔涌水多孔观测定降深井流试验水文地质参数计算

肖明贵<sup>1,2</sup>, 陈学军<sup>2</sup>, 刘宝臣<sup>2</sup>

(1. 吉林大学朝阳校区建设工程学院, 吉林长春 130026; 2. 桂林工学院土木工程系, 广西桂林 541004)

**摘要:** 利用自溢井(孔)做放水试验确定含水层水文地质参数, 是简便而经济的确定含水层水文地质参数的试验方法。涌水试验基本上属于定降深井流试验。在无限承压含水层中进行涌水试验, 使涌水孔(井)降深  $s_w$  保持不变, 涌水量随着时间的延续而减少, 除涌水孔(井)本身以外, 含水层中任意点的水头  $H$  随着时间的延续而降低。在单孔(井)定降深井流试验利用涌水孔  $1/Q - \lg t$  直线图解法计算水文地质参数的基础上, 建立一孔(主孔)涌水多孔观测水位降低的直线图解法, 即  $s/Q - \lg t$  直线图解法。

**关键词:** 承压含水层; 定降深井流; 水文地质; 参数计算。

**中图分类号:** P332

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2383(2003)05-0575-04

**作者简介:** 肖明贵(1964-), 男, 副教授, 主要从事水文地质与工程地质研究。

**E-mail:** xiaao6666ming@yahoo.com.cn

## 1 计算模型

在承压含水层中抽水时, 如含水层在平面上是无限延伸的, 侧向边界离井很远, 含水层的顶底板都是隔水层, 则认为井的抽水量不是来自外界补给, 而是由含水层内部的储量来供给。在水头降低的瞬间, 地下水立即从含水层的贮存中排水。将上述水文地质条件概括为: (1) 含水层均质、等厚、产状水平; (2) 地下水天然水力坡度近似为零; (3) 单井远离边界, 无垂向越流补给; (4) 瞬时释放。当井口高程固定时, 在打开自流井的过程中, 井中水位降深保持定降深, 而流量随时间延长自然减小, 井外任意点的水位都要下降, 这类问题为定降深问题。设井中水头  $H_w$  或降深  $s_w$  保持不变, 主孔涌水量( $Q$ )随着时间的延续而减小, 除了主孔本身以外含水层中任意点的水头( $H$ )随着时间的延续而降低<sup>[1,2]</sup>。

### 1.1 对于主孔而言

主孔定降深流量公式可简化为

$$Q = \frac{4 T s_w}{\ln(2.25 at / r_w^2)},$$

$$\frac{1}{Q} = \frac{0.183}{T s_w} \lg \frac{2.25 a}{r_w^2} + \frac{0.183}{T s_w} \lg t \quad (1)$$

由此可见对于主孔将  $1/Q - \lg t$  实测数据点在单对数坐标上会出现直线段, 其斜率  $m = 0.183 / (T s_w)$ , 截距  $(1/Q)_0 = m \lg(2.25 a / r_w^2)$ 。

根据上述公式, 利用定降深井流试验(主孔)涌水量与时间的观测数据可计算含水层水文地质参数<sup>[3,4]</sup>。

### 1.2 对于观测孔而言

$s = s_w A(r_D, t_D)$ , 当  $t_D = at / r_w^2 > 500$  时(此处井径  $r_w$  为 0.1 左右,  $a$  的常规值为  $10^x$ ,  $x > 1$ , 故很容易满足  $t_D > 500$ ),

$$A(r_D, t_D) = \frac{w(r^2/4t_D)}{\ln(2.25 t_D)},$$

则

$$s = s_w \frac{w(r^2/4t_D)}{\ln(2.25 t_D)} = s_w \frac{w[(r^2/r_w^2)/(4at/r_w^2)]}{\ln(2.25 at/r_w^2)} = s_w \frac{\ln(2.25 at/r_w^2)}{\ln(2.25 at/r_w^2)} \quad (2)$$

因主孔涌水量  $Q = 4 T s_w / \ln(2.25 at / r_w^2)$ , 在同一时刻(主孔、子观测孔同时观测)有

$$s = \frac{2.3 Q}{4 T} \lg(2.25 \frac{at}{r^2}),$$

$$\begin{aligned}\frac{s}{Q} &= \frac{2.3}{4} \lg(2.25 \frac{a}{r^2}) + \frac{2.3}{4} \lg t = \\ &\frac{0.183}{T} \lg(2.25 \frac{a}{r^2}) + \frac{0.183}{T} \lg t = \\ &(s/Q)_0 + i \lg t.\end{aligned}\quad (3)$$

即,同样可以应用无限承压含水层中泰斯公式图解法,用观测孔中降深与主孔涌水量之比与观测时间的对应关系,在单对数坐标上将出现直线段<sup>[5]</sup>,其斜率  $i = 0.183/T$ ,在纵坐标上的截距  $(s/Q)_0 = i \lg(2.25 a/r^2)$ . 其中  $s$  为同一时刻观测孔降深,  $Q$  为观测孔  $s$  降深时对应的主孔涌水量.

## 2 试验区地质条件

### 2.1 地层岩性

试验区位于广西珊瑚锡矿,出露地层见图1.

### 2.2 涌水试验含水层基本情况

含水层为下泥盆统莲花山组( $D_1l$ )似层状承压含水层,该承压含水层的岩性为砂岩,厚约260~305 m,该层裂隙发育,连通性好.

从八步岭至交椅岭至长营岭自西向东地势逐渐降低,莲花山组砂岩向东南倾斜,埋深逐渐加深,在水文地质构造上为补给区到径流承压区到排泄区的单斜承压构造.补给区位于八步岭以上地段,径流区在长营岭山麓部分及单斜构造西翼,排泄区不明显,试验区未发现较大泉水.其排泄形式主要为向斜核

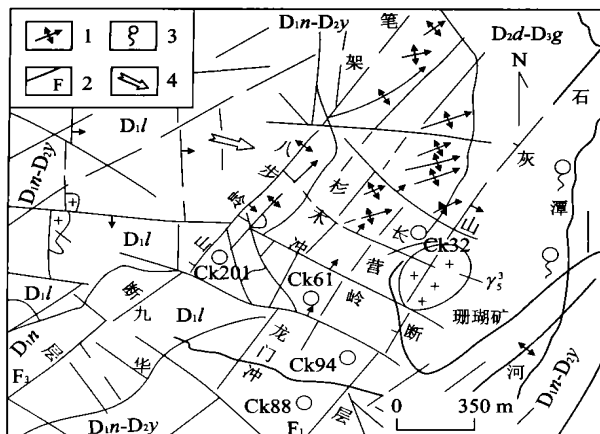


图1 珊瑚锡矿水文地质略图

Fig. 1 Hydrogeology sketch map of Shanhu Sn ore field  
 $D_{3g}$ . 桂林组灰岩;  $D_{2d}$ . 东岗岭组灰岩;  $D_{2y}$ . 郁江组灰岩;  $D_{1n}$ . 那高岭组页岩;  $D_{1l}$ . 莲花山组砂岩;  $\gamma_s$ . 花岗岩体; Ck88. 涌水孔; 1. 褶皱; 2. 断层; 3. 泉水; 4. 地下水径流方向

部的上覆地层的越流排泄,而上覆那高岭组主要以紫红色页岩、泥质灰岩为隔水层,越流排泄量小.地下水自八步岭(北西向)向长营岭(北东向)流动(图1),其水力梯度为0.032.试验区揭露莲花山组含水层大致水平,且含水层厚度较大;涌水试验孔水位标高相差较小.试验区符合计算模型假定条件.

## 3 主孔涌水多孔观测定降深井流试验方法与资料

试验时以94号孔(主孔)为涌水量观测孔,32,61,88号为水位降深观测孔.主孔孔口标高为272.88 m,含水层埋深为475.69~742.06 m,静止水位标高为343.42 m(高出孔口70.54 m),含水层厚度为266.37 m.32号观测孔孔口标高为240.24 m,静止水位标高为359.44 m,距主孔距离为1098 m;61号观测孔孔口标高为247.39 m,静止水位标高为340.81 m,距主孔距离为602 m;88号观测孔标高为288.04 m,静止水位标高为330.46 m,距主孔距离为533 m.

对94号孔(主孔)进行定降深放水试验,观测主孔在定降深条件下不同时刻的涌水量和32,61,88号孔(观测孔)对应主孔降深条件下不同时刻的水位降低值.以第三降深段试验资料为例,说明该方法的应用.第三降深段主孔涌水量随时间的变化规律、对应主孔降深的各观测孔水位降深随时间的变化规律分别如图2,3所示.

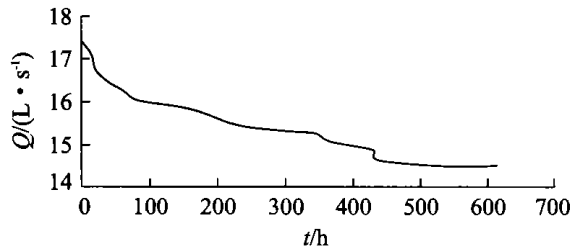


图2 94号孔第三降深段涌水量与时间关系

Fig. 2 Relation of gush water and time in the 3rd draw-down of hole 94

## 4 水文地质参数计算

### 4.1 主涌水孔水文地质参数计算

94号主孔第三降深段时  $1/Q - \lg t$  直线如图4所示,其斜率  $m = 0.0059s/L$ ,截距为  $0.0520s/L$ ,对

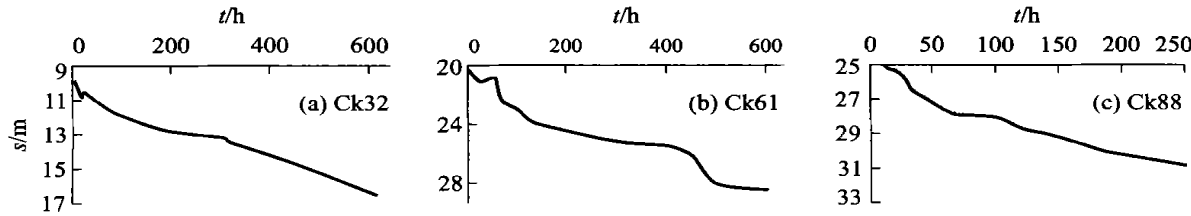


图 3 主孔第三降深段时 32,61,88 号孔降深与时间关系

Fig. 3 Relations of gush water and time in the 3rd drawdown of holes 32, 61, 88

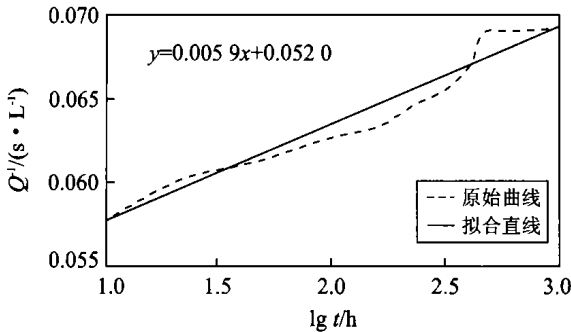


图 4 94 号主孔第三降深段时 1/Q - lg t 曲线

Fig. 4 Curves of 1/Q - lg t in the 3rd drawdown of hole 94

应于 94 号孔(主孔)降深  $s_w = 69.36$  m, 钻孔半径  $r_w = 0.045$  m, 钻孔揭露含水层厚度  $M = 266.37$  m.

$$T = \frac{0.183}{ms_w} = \frac{0.183}{0.0059 \times 69.36} \times 3.6 \times 24 = 38.64 \text{ m}^2/\text{d},$$

$$K = T/M = 38.64/266.37 = 0.145 \text{ m/d},$$

$$a = \frac{r_w^2}{2.25} 10^{(1/Q)_0/i} = 5.87 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{h} = 1.41 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{d},$$

$$u = T/a = 38.64/(1.41 \times 10^7) = 2.74 \times 10^{-6}.$$

4.2 观测孔水文地质参数计算

主孔第三降深段 32 号观测孔  $s/Q - \lg t$  直线如图 5a 所示,其斜率  $i = 0.24 \text{ s/L}$ ,截距为  $0.31 (\text{m} \cdot \text{s})/\text{L}$ ,对应于 94 号孔(主孔)降深  $s_w = 69.36$  m, 钻孔半径  $r_w = 0.045$  m, 钻孔揭露含水层厚度  $M = 266.37$  m,

表 1 94 号主孔涌水多孔观测水文地质参数计算结果

Table 1 Results of hydrogeological parameters calculated in the hole 94 in multi-hole observation

| 计算参数 | 第三降深段                 |                       |                       |                       |
|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|      | 94                    | 32                    | 61                    | 88                    |
| $m$  | 0.005 9               | 0.24                  | 0.41                  | 0.34                  |
| $i$  | 0.005 9               | 0.24                  | 0.41                  | 0.34                  |
| $b$  | 0.052 0               | 0.31                  | 0.68                  | 1.10                  |
| $c$  | 0.052 0               | 0.31                  | 0.68                  | 1.10                  |
| $K$  | 0.145                 | 0.247                 | 0.145                 | 0.175                 |
| $T$  | 38.64                 | 65.88                 | 38.56                 | 46.50                 |
| $a$  | $1.41 \times 10^7$    | $2.52 \times 10^8$    | $1.76 \times 10^8$    | $5.62 \times 10^9$    |
| $u$  | $2.74 \times 10^{-6}$ | $2.61 \times 10^{-7}$ | $2.19 \times 10^{-7}$ | $8.91 \times 10^{-9}$ |

$m$ :  $1/Q - \lg t$  斜率( $\text{s/L}$ );  $i$ :  $s/Q - \lg t$  斜率( $\text{m} \cdot \text{s/L}$ );  $b$ :  $1/Q - \lg t$  截距( $\text{s/L}$ );  $c$ :  $s/Q - \lg t$  截距( $\text{m} \cdot \text{s/L}$ );  $K$ : 渗透系数( $\text{m} \cdot \text{d}^{-1}$ );  $T$ : 导水系数( $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ );  $a$ : 导压系数( $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$ );  $u$ : 储水系数.

距主孔距离  $r = 1098$  m.

$$T = \frac{0.183}{i} = \frac{0.183}{0.24} \times 3.6 \times 2.4 = 51.00 \text{ m}^2/\text{d},$$

$$K = T/M = 65.88/266.37 = 0.247 \text{ m/d},$$

$$a = \frac{r^2}{2.25} 10^{(s/Q)_0/i} = \frac{1098^2}{2.25} 10^{0.31/0.24} = 1.05 \times 10^7 \text{ m}^2/\text{h} = 2.52 \times 10^8 \text{ m}^2/\text{d},$$

$$u = T/a = 65.88/(2.52 \times 10^8) = 2.61 \times 10^{-7}.$$

主孔第三降深段 61 号、88 号观测孔  $s/Q - \lg t$  曲线如图 5b,5c 所示.图 5 中出现非直线段,主要因为试验时含水层受降雨补给、蒸发排泄所影响.根据上述方法试验区 94 号主孔涌水多孔观测水文地质

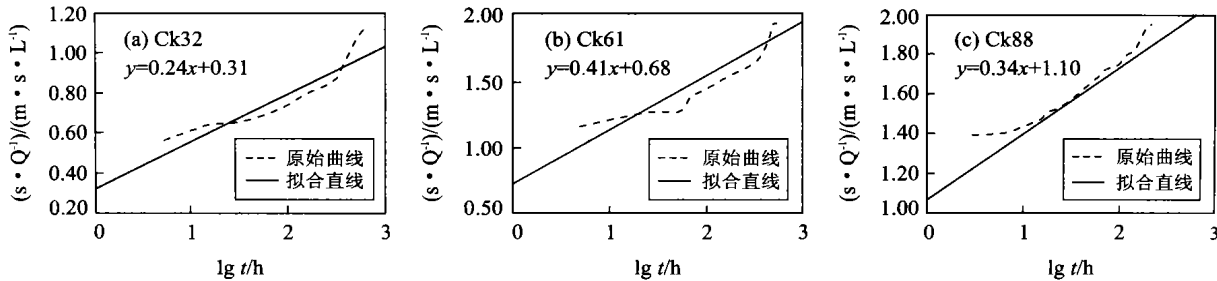


图 5 主孔第三降深段 32,61,88 号观测孔  $s/Q - \lg t$  曲线

Fig. 5 Curves of  $s/Q - \lg t$  in the 3rd drawdown of holes 32, 61, 88

参数计算结果如表 1 所示.

## 5 结语

在主孔涌水多孔观测的定降深井流试验中,因主孔涌水量随着时间的延续而降低,观测孔水位也随着时间的延续而降低.主孔涌水量影响到观测孔的水位,该方法计算所得水文地质参数对整个含水层的水文地质参数比单孔涌水试验(无观测孔)更具代表性.因观测孔方位不同也可反映含水层的各向异性特征.

### 参考文献:

- [1] 从沛桐,陈志云.非均质承压含水层井流计算[J].东北水利水电,1996,147:35-37,44.  
CONG P T, CHEN Z Y. Well flow calculations of heterogeneous confined aquifer [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 1996, 147: 35 - 37, 44.
- [2] 王文科,李俊亭,伍素兰.承压含水层中地下水向井非稳定流动的 LT 有限元分析法[J].西北地质科学,1995,16(2):65-72.  
WANG W K, LI J T, WU S L. LT finite element analysis of unsteady well flow in confined aquifer [J]. Northwest Geoscience, 1995, 16(2): 65 - 72.
- [3] 杨天行,傅泽周,刘金山,等.地下水流向井的非稳定运动的原理及计算方法[M].北京:地质出版社,1980.231-233.  
YANG T X, FU Z Z, LIU J S, et al. Principle and calculation methods of unsteady well flow [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1980. 231 - 233.
- [4] 陈崇希.地下水不稳定井流计算方法[M].北京:地质出版社,1983.83-89,132-137.  
CHEN C X. Calculation methods of groundwater unsteadily flowing to well [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1983. 83 - 89, 132 - 137.
- [5] 薛禹群.地下水动力学原理[M].北京:地质出版社,1986.  
XUE Y Q. Groundwater dynamics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1986.

## Hydrogeology Parameter Calculation in Water Gushing Test of Constant Drawdown Yield in Infinite Confined Aquifer Where Gushing in the Main Hole Is Observed from Several Other Holes

XIAO Ming-gui<sup>1,2</sup>, CHEN Xue-jun<sup>2</sup>, LIU Bao-chen<sup>2</sup>

(1. Constructing Engineering College, Chaoyang Campus, Jilin University, Changchun 130026, China; 2. Department of Civil Engineering, Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China)

**Abstract:** The water gushing test in an artesian well, a simple and economical test method for confirmation of the hydrogeology parameter in the water containing layer, basically belongs to the test of constant drawdown yield. During the water gushing test in the infinite confined aquifer, the inrush of water and the random water head  $H$  in the confined aquifer decrease with the time, except the well itself, but the fall of well water  $s_w$  is kept unchangeable. The calculation of the hydrogeology parameter using the linear diagrammatized method  $l/Q\lg t$  in the constant drawdown yield test of single well, helps the authors to establish the linear diagrammatized method,  $s/Q\lg t$  method, in which one well is a main hole while the other wells can be used for watching the lowering of water.

**Key words:** confined aquifer; constant drawdown yield; hydrogeology; parameter calculation.