

确定水文地质参数的 N 次平均降速配线法

李继江

(山东省地质矿产局第三水文地质工程地质大队)

提要 本文提出的确定水文地质参数的 N 次平均降速配线法,可用于短期抽水。对于任意观测孔而言,只要有从水位下降算起的两三个小时的抽水资料,就可以采用该方法求得水文地质参数。该方法的标准曲线为弓形曲线,因此,配线时任意性较小,人为影响很小。这在一定程度上保证了参数的精度。

笔者曾提出利用平均降速配线求承压含水层水文地质参数的方法^[1],并指出利用平均降速配线主要是配 $\text{Lg}l - \text{Lg}t$ 曲线的弓形段。然而,生产实践中发现,当观测孔距抽水孔较近或较远时,很难测到 $\text{Lg}l - \text{Lg}t$ 曲线的弓形段。从而使该方法失效。为了解决这个问题,本文把该方法进行了推广,提出了 N 次平均降速配线法。

一、原理

为了叙述方便,有必要写出众所周知的泰斯公式:

$$S = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (1)$$

$$u = \frac{r^2 S^*}{4Tt} \quad (2)$$

大家知道,在(1)式的两边同除以抽水时间 t ,即得到 t 时段内的水位平均降速:

$$\bar{V} = \frac{S}{t} = \frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{4T}{r^2 S^*} \right) u \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (3)$$

类似地,我们定义 S/t^n 的值为 t 时段内水位的 n 次平均降速,记为 V_n 。

$$V_n = \frac{S}{t^n} = \frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{4T}{r^2 S^*} \right)^n u^n \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (4)$$

$$\text{令 } G_n(u) = u^n \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \quad (5)$$

$$\text{则 } V_n = \frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{4T}{r^2 S^*} \right)^n G_n(u) \quad (6)$$

本文1990年2月收到,1992年8月改回。

对(6)式和(2)式取对数,得:

$$\begin{cases} \lg \Gamma_n = \lg \frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{4T}{r^2 S^*} \right)^n + \lg G_n(u) \\ \lg t = \lg \frac{r^2 S^*}{4T} + \lg \frac{1}{u} \end{cases} \quad (7)$$

对于一定的含水层和观测孔而言,(7)式中的 $\lg \frac{Q}{4\pi T} \left(\frac{4T}{r^2 S^*} \right)^n$ 和 $\lg \frac{r^2 S^*}{4T}$ 是两个常数。因此,由坐标平移的理论可知, $\lg G_n(u) - \lg \frac{1}{u}$ 曲线与 $\lg \Gamma_n - \lg t$ 曲线的形状是一样的。取不同的 n 值作一组 $\lg G_n(u) - \lg \frac{1}{u}$ 曲线为标准曲线,见表 1 和图 1。把计算得到的 $\lg \Gamma_n - \lg t$ 曲线与相同 n 值的标准曲线相配,配线时保持两坐标平行,并使两条曲线尽量重合。然后,任选一点作为配合点。读出该点在两张对数纸上的相应坐标 $G_n(u)$ 、 $\frac{1}{u}$ 、 Γ_n 和 t ,即可解出导水系数(T)、释水系数(S^*)和压力传导系数(a)。

$$\left(\frac{4T}{r^2 S^*} \right)^n = \frac{1}{t^n} \left(\frac{1}{u} \right)^n$$

$$T = \frac{Q}{4\pi \Gamma_n} \left(\frac{4T}{r^2 S^*} \right)^n G_n(u) \quad (8)$$

$$S^* = \frac{4Tt}{r^2 (1/u)} \quad (9)$$

$$a = T/S^* \quad (10)$$

同理,依照(6)式和(2)式还可以进行 n 次平均降速—距离配线以及 n 次平均降速—时间距离配线。

从图 1 可以看出,当 n 取一定值时, $\lg G_n(u) - \lg \frac{1}{u}$ 为一条特定的标准曲线;当 n 取不同的值时, $\lg G_n(u) - \lg \frac{1}{u}$ 为一组标准曲线。这组曲线的特点是:每条曲线都是一条弓形曲线,弓形的顶点随 n 值的不同而左右移动。当 n 增大时,向左移动;当 n 减小时,向右移动。由曲线 $\lg G_n(u) - \lg \frac{1}{u}$ 与曲线 $\lg \Gamma - \lg t$ 同形可知,在任意不太长的时间区间 $[t_1, t_{1+n}]$ 内(一般两、三个小时即可),通过调控 n 值就可以使 $\lg \Gamma - \lg t$ 曲线成为弓形曲线。从而与标准曲线相配,求得参数。令 t_1 为观测孔内水位开始下降的时刻,那么, $[t_1, t_{1+n}]$ 为水位下降持续时间段。也就是说,对于任意观测孔而言,只要有从水位开始下降算起的两三个小时的水位降深资料,就可以利用本文提出的方法来求得参数。

本方法适用于承压含水层,亦适用于无滞后给水的无压含水层^[2]。当使用于后者时,可以求出给水度。

二、实例

鲁西某地承压含水层抽水试验,连续抽水 20 天。含水层埋深在 240m 以下,总厚 54m,岩性为中细砂。水位埋深 5.9m。抽水流量 2163.8m³/d。距抽水孔 40m 的观 1 孔抽

表1 $G_n(u)$

$G_n(u)$ $1/u$	$n=5$	$n=4$	$n=3$	$n=2$	$n=1$	$n=\frac{1}{2}$	$n=\frac{1}{3}$
6.0E-2	4.218E-3						
8.0E-2	8.466E-2	6.772E-3					
1.0E-1	4.157E-1	4.157E-2	4.157E-3				
1.5E-1	2.217E0	3.325E-1	4.988E-2	7.482E-3			
2.0E-1	3.588E0	7.177E-1	1.435E-1	2.871E-2	5.741E-3	2.568E-3	1.964E-3
3.0E-1	3.529E0	1.059E0	3.176E-1	9.527E-2	2.858E-2	1.566E-2	1.281E-2
4.0E-1	2.433E0	9.733E-1	3.893E-1	1.557E-1	6.229E-2	3.940E-2	3.382E-2
5.0E-1	1.565E0	7.825E-1	3.912E-1	1.956E-1	9.781E-2	6.916E-2	6.161E-2
6.0E-1	1.007E0	6.044E-1	3.627E-1	2.176E-1	1.306E-1	1.011E-1	9.288E-2
8.0E-1	4.468E-1	3.574E-1	2.860E-1	2.288E-1	1.830E-1	1.637E-1	1.577E-1
1.0E0	2.194E-1	2.194E-1	2.194E-1	2.194E-1	2.194E-1	2.194E-1	2.194E-1
1.5E0	5.247E-2	7.870E-2	1.181E-1	1.771E-1	2.656E-1	3.253E-1	3.480E-1
2.0E0	1.749E-2	3.499E-2	6.997E-2	1.399E-1	2.799E-1	3.959E-1	4.443E-1
3.0E0	3.411E-3	1.023E-2	3.070E-2	9.210E-2	2.763E-1	4.786E-1	5.747E-1
4.0E0		4.079E-3	1.637E-2	6.527E-2	2.611E-1	5.221E-1	6.579E-1
5.0E0			9.781E-3	4.891E-2	2.445E-1	5.468E-1	7.150E-1
6.0E0				3.818E-2	2.291E-1	5.611E-1	7.564E-1
8.0E0				2.537E-2	2.029E-1	5.740E-1	8.117E-1
1.0E1				1.823E-2	1.823E-1	5.765E-1	8.461E-1
1.5E1				9.762E-3	1.464E-1	5.671E-1	8.906E-1
2.0E1					1.234E-1	5.518E-1	9.092E-1
3.0E1					9.524E-2	5.216E-1	9.195E-1
4.0E1					7.841E-2	4.959E-1	9.171E-1
5.0E1					6.709E-2	4.744E-1	9.106E-1
6.0E1					5.890E-2	4.562E-1	9.026E-1
8.0E1					4.772E-2	4.268E-1	8.859E-1
1.0E2					4.038E-2	4.038E-1	8.700E-1
1.5E2					2.960E-2	3.625E-1	8.357E-1
2.0E2					2.363E-2	3.342E-1	8.082E-1
3.0E2					1.710E-2	2.962E-1	7.663E-1

数值表

$n = \frac{1}{4}$	$n = \frac{1}{5}$	$G_n(u)$		$n = \frac{1}{2}$	$n = \frac{1}{3}$	$n = \frac{1}{4}$	$n = \frac{1}{5}$
		$1/u$	n				
		4.0E2		2.708E-1	7.352E-1	1.211E0	1.634E0
		5.0E2		2.522E-1	7.105E-1	1.193E0	1.627E0
		6.0E2		2.377E-1	6.902E-1	1.176E0	1.620E0
		8.0E2		2.160E-1	6.580E-1	1.149E0	1.605E0
1.717E-3	1.584E-3	1.0E3		2.002E-1	6.332E-1	1.126E0	1.590E0
1.159E-2	1.091E-2	1.5E3		1.739E-1	5.885E-1	1.083E0	1.560E0
3.133E-2	2.993E-2	2.0E3		1.571E-1	5.575E-1	1.050E0	1.536E0
5.816E-2	5.618E-2	3.0E3		1.356E-1	5.151E-1	1.004E0	1.498E0
8.901E-2	8.676E-2	4.0E3		1.220E-1	4.862E-1	9.704E-1	1.469E0
1.548E-1	1.531E-1	5.0E3		1.123E-1	4.643E-1	9.443E-1	1.446E0
2.194E-1	2.194E-1	6.0E3		1.049E-1	4.470E-1	9.229E-1	1.426E0
3.600E-1	3.674E-1	8.0E3		9.403E-2	4.205E-1	8.893E-1	1.394E0
4.707E-1	4.873E-1	1.0E4		8.633E-2	4.007E-1	8.633E-1	1.368E0
6.298E-1	6.654E-1	1.5E4		7.380E-2	3.665E-1	8.167E-1	1.321E0
7.384E-1	7.914E-1	2.0E4		6.595E-2	3.436E-1	7.843E-1	1.287E0
8.176E-1	8.882E-1	3.0E4		5.619E-2	3.132E-1	7.396E-1	1.238E0
8.782E-1	9.606E-1	4.0E4		5.010E-2	2.930E-1	7.085E-1	1.204E0
9.653E-1	1.071E0	5.0E4		4.581E-2	2.780E-1	6.850E-1	1.177E0
1.025E0	1.150E0	6.0E4		4.256E-2	2.663E-1	6.661E-1	1.155E0
1.116E0	1.278E0	8.0E4		3.788E-2	2.486E-1	6.370E-1	1.120E0
1.167E0	1.356E0	1.0E5		3.458E-2	2.356E-1	6.150E-1	1.094E0
1.221E0	1.447E0	1.5E5		2.928E-2	2.135E-1	5.763E-1	1.046E0
1.247E0	1.500E0	2.0E5		2.600E-2	1.989E-1	5.499E-1	1.012E0
1.262E0	1.534E0	3.0E5		2.197E-2	1.798E-1	5.142E-1	9.661E-1
1.270E0	1.558E0	4.0E5		1.948E-2	1.672E-1	4.900E-1	9.338E-1
1.276E0	1.589E0	5.0E5		1.774E-2	1.581E-1	4.718E-1	9.093E-1
1.277E0	1.608E0	6.0E5		1.643E-2	1.509E-1	4.573E-1	8.894E-1
1.269E0	1.630E0	8.0E5		1.455E-2	1.402E-1	4.352E-1	8.587E-1
1.257E0	1.638E0	1.0E6		1.324E-2	1.324E-1	4.186E-1	8.353E-1
1.233E0	1.639E0	1.5E6		1.114E-2	1.192E-1	3.898E-1	7.936E-1

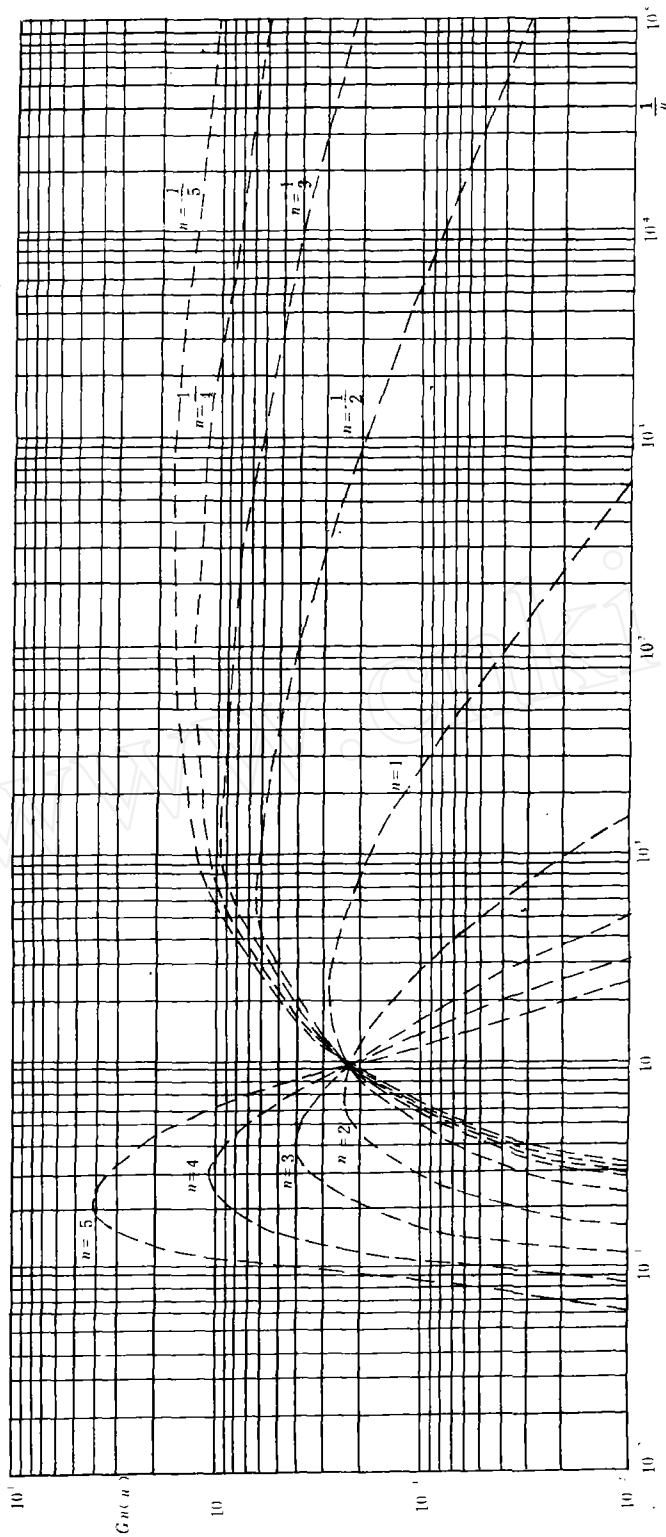


图 1 $G_n(u) \cdot \frac{1}{u}$ 标准曲线图

表 2 鲁西某地抽水试验资料

抽水时间 t (min)	降 深 S (m)	$\frac{S}{t}$ (m/min)	$\frac{S}{\sqrt{t}}$ (m/min $^{\frac{1}{2}}$)	$\frac{S}{\sqrt[3]{t}}$ (m/min $^{\frac{1}{3}}$)
一	二	三	四	五
1.0	0.164	0.164	0.164	0.164
1.5	0.249	0.1660	0.2033	0.2175
2.0	0.314	0.1570	0.2220	0.2492
2.5	0.367	0.1468	0.2321	0.2704
3	0.431	0.1437	0.2488	0.2988
4	0.510	0.1275	0.2550	0.3213
5	0.577	0.1154	0.2580	0.3374
6	0.634	0.1057	0.2588	0.3489
8	0.731	0.0914	0.2584	0.3655
10	0.801	0.0801	0.2533	0.3718
15	0.943	0.0629	0.2435	0.3824
20	1.037	0.0519	0.2319	0.3820
25	1.112	0.0445	0.2224	0.3803
30	1.187	0.0396	0.2167	0.3820
40	1.280	0.0320	0.2024	0.3743
50	1.361	0.0272	0.1925	0.3694
60	1.423	0.0237	0.1849	0.3658
80	1.532	0.0192	0.1713	0.3555
100	1.617	0.0162	0.1617	0.3480
120	1.687	0.0141	0.1540	0.3420
150	1.767	0.0118	0.1443	0.3320
180	1.819	0.0101	0.1355	0.3222

水前三个小时的实测资料见表 2 第一、第二栏。首先计算最简单的 $n=1$ 的 V_1 值,见表 2 第三栏。计算结果表明,在时间区间 $[1\text{min}, 180\text{min}]$ 内, V_1 是 t 的减函数。说明曲线 $\text{Lg}V_1 - \text{Lg}t$ 的弓形顶点出现的太早,没有测到。必须把 n 缩小,让弓形顶点向右移出来。故再取 $n = \frac{1}{2}$ 和 $n = \frac{1}{3}$, 计算 $V_{\frac{1}{2}}$ 和 $V_{\frac{1}{3}}$ 的值,列入表 2 第四、第五栏内。用一、四、五栏的数值作曲线 $\text{Lg}V_{\frac{1}{2}} - \text{Lg}t$ 和 $\text{Lg}V_{\frac{1}{3}} - \text{Lg}t$, 并分别与 $n = \frac{1}{2}$ 和 $n = \frac{1}{3}$ 两条标准曲线相配(图 2)。

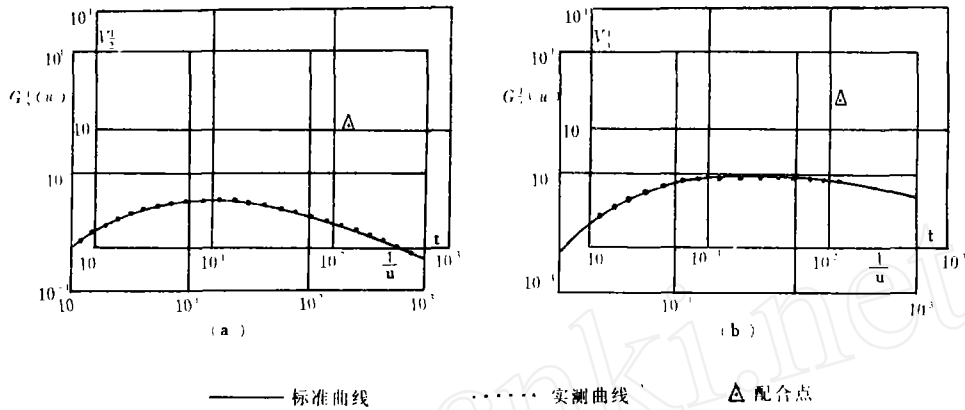


图 2 标准曲线与实测曲线的配合图

当 $n = \frac{1}{2}$ 时,选一配合点,其坐标为 $V_{\frac{1}{2}} = 1.1\text{m}/\text{min}^{\frac{1}{2}}, t = 150\text{min}, G_{\frac{1}{2}}(u) = 2.5, 1/u = 250$ 。

$$\left(\frac{4T}{r^2 S^*}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{\sqrt{t}} \left(\frac{1}{u}\right)^{\frac{1}{2}} = 1.291\text{min}^{-\frac{1}{2}}$$

$$T = \frac{Q}{4\pi V_{\frac{1}{2}}} \left(\frac{4T}{r^2 S^*}\right)^{\frac{1}{2}} G_{\frac{1}{2}}(u) = 0.3507\text{m}^2/\text{min} = 505\text{m}^2/\text{d}$$

$$S^* = \frac{4Tt}{r^2 \left(\frac{1}{u}\right)} = 5.26 \times 10^{-4}$$

$$a = T/S^* = 9.61 \times 10^5 \text{m}^2/\text{d}$$

当 $n = \frac{1}{3}$ 时,选一配合点,其座标为 $V_{\frac{1}{3}} = 2.5\text{m}/\text{min}^{\frac{1}{3}}, t = 150\text{min}, G_{\frac{1}{3}}(u) = 6, \frac{1}{u} = 250$ 。

$$\left(\frac{4T}{r^2 S^*}\right)^{\frac{1}{3}} = \frac{1}{\sqrt[3]{t}} \cdot \left(\frac{1}{u}\right)^{\frac{1}{3}} = 1.1856\text{min}^{-\frac{1}{3}}$$

$$T = \frac{Q}{4\pi V_{\frac{1}{3}}} \left(\frac{4T}{r^2 S^*}\right)^{\frac{1}{3}} G_{\frac{1}{3}}(u) = 0.3403\text{m}^2/\text{min} = 490\text{m}^2/\text{d}$$

$$S^* = \frac{4Tt}{r^2 \left(\frac{1}{u}\right)} = 5.10 \times 10^{-4}$$

$$a = T/S^* = 9.60 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{d}$$

为了说明该方法的求参精度,我们用 20 天抽水试验的全部资料,利用泰斯降深一时间配线法、雅氏直线图解法求取了参数。各种方法计算的结果见表 3。

表 3 各种方法计算成果表

参 数 方 法	$r_{\frac{1}{2}}-t$ 配线	$r_{\frac{1}{3}}-t$ 配线	泰斯 $s-t$ 配线	雅氏直线图解	平均值
T (m^2/d)	505	490	524	477	499
S^*	5.26×10^{-4}	5.10×10^{-4}	4.87×10^{-4}	5.30×10^{-4}	5.13×10^{-4}
a (m^2/d)	9.61×10^{-5}	9.60×10^5	1.07×10^6	9.00×10^5	9.73×10^5

由表 3 表明, N 次平均降速配线法与泰斯降深配线法、雅氏直线图解法一样,是一种求水文地质参数的可靠方法。它们所不同的是 N 次平均降速配线法需要的抽水时间短得多,并能用一组资料反复多次求参数。另外,由于它的标准曲线为弓形,因此,配线的位置比较固定。这就大大减小了配线的任意性。所以,用该方法求得的参数比较精确,波动性很小,肯定性很强。

参 考 文 献

- (1) 李继江,1986,利用平均降速配线求承压含水层参数。勘察科学技术,第五期。
- (2) G. P. 克鲁斯漫, N. A. 德里德著,俞树森译,1980,抽水试验资料的分析和评价。地质出版社。

CURVE-MATCHING METHOD FOR OBTAINING THEN-TH AVERAGE WATER-TABLE DROP RATE IN DETERMINING HYDROGEOLOGICAL PARAMETERS

Li Jijiang

*(The Third Hydrogeological Brigade, Shandong
Bureau of Geology and Mineral Resources)*

Abstract

The curve-matching scheme for the n th average water-table drop rate proposed here can be used in short-term pumping. The hydrogeological parameters for any observation borehole can be obtained by this method so long as the pumping data within two to three hours following the water-table drop are available. The standard curve in the method is bow-shaped and incurs little arbitrariness and personal influence during curve-matching, thus guaranteeing the accuracy of the results in a certain extent.