

鲁 03 井水位滞后于气压的处理

张昭栋 王立忠

(山东省地震局)

王昌文 张铸钢

(山东省计算中心)

摘 要

本文给出了一种处理井水位对气压影响滞后的方法,同时给出了计算公式。以鲁 03 井为例,用这种方法求出其井水位气压系数为 6.41mm/hpa,水位对气压响应的滞后时间为 1.52 小时。该方法排除气压影响的效果较好,水位的气压校正中误差明显减小。

关键词: 水位 气压 滞后时间 气压系数 泰勒级数

一、前 言

地下水微动态观测是监测预报地震的主要前兆手段之一。由于深井水位对其含水层应力、应变的变化反映比较灵敏,因此,深井水位的干扰因素比较多。其中对水位干扰影响较大的是固体潮和气压。固体潮的影响相对比较容易排除。然而,要排除气压对井水位的影响则要复杂一些。

井水位和气压观测资料的数据采样,一般取整点时值。而承压井水位对气压变化的响应一般都有一个滞后时间^[1],这个时间大多是几分钟到几十分钟,不恰好是一个小时的整数倍。这样,就给定量排除气压对井水位的影响带来了不便。以往用多种方法排除都不尽理想。

为了解决上述问题,本文给出了一种计算井水位气压系数的新方法。并以鲁 03 井水位和气压的观测资料为例进行了检验。

二、鲁 03 井水位对气压响应滞后的特点

鲁 03 井位于山东省广饶县境内(东经 119.4°,北纬 36.9°),地处济阳凹陷南坡,昌

乐—广饶断裂北侧。1971年5月建成，完钻深度2260m。直径为323mm的套管下至2197m，套管射孔部位位于井下2047.2—2048.6m。其含水层为下第三系沙河街组四段粉砂岩，揭露厚度为1.4m。该含水层渗透性能较差，井孔与含水层水力联系较弱。成井后井水位高出地面1.8m左右，井水涌水量为0.5升/小时。

自1980年1月以来，该井水位观测采用SW—40型水位仪进行连续自记观测，其井水位最大日潮差在20mm左右。以后又用气压自记仪对井房内气压进行连续自记观测。该井水位对气压变化及固体潮的响应有明显的滞后现象（图1）。水位潮汐观测曲线与理论固体潮曲线存在约1.5小时的位相差。

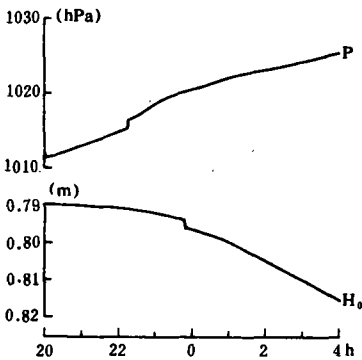


图1 鲁03井水位对气压响应的滞后

Fig. 1 Lag of the response of water level in the well
Lu-03 to barometric pressure

三、计算井水位气压系数 的一种方法

以前计算井水位气压系数多采用回归分析的方法，图2中的曲线 H_2 是用以前的方法计算给出的，可以看出残差显然较大。

为了提高水位观测资料中气压影响校正的精度，就必须考虑水位对气压响应的滞后问题。挑选一段干扰较少的水位资料，同时避开降雨和地震等明显的干扰影响，这时水位观测资料中主要包括有水位自身的趋势变化、固体潮的影响和气压变化的影响。假定固体潮的影响已设法扣除了，那么此时水位变化可表达为：

$$H_0(t) = B_p \cdot P(t - \Delta t) + F(t) \quad (1)$$

式中 B_p 为井水位的气压系数， P 为气压， t 为时间， Δt 为水位对气压响应的滞后时间， $F(t)$ 为水位自身的趋势变化（包括一些未知的干扰影响）。

由于滞后时间 Δt 并非1小时的整数倍，所以关键的问题是计算 $P(t - \Delta t)$ 。利用泰勒公式将其展开为级数：

$$P(t - \Delta t) = P(t) - \frac{dP(t)}{dt} \cdot \Delta t + \dots \quad (2)$$

计算表明，一般只要取前两项即可满足本计算的精度要求。这样可以把（1）式改写成：

$$H_0(t) = B_p [P(t) - \frac{dP(t)}{dt} \cdot \Delta t] + F(t) \quad (3)$$

再通过一个二次多项式

$$F(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \quad (4)$$

来表示水位自身的变化项。式中 a_0 、 a_1 和 a_2 是待定常数。将上式代入 (3) 式可得:

$$H_0(t) = B_p \cdot P(t) + B_1 \frac{dP(t)}{dt} + a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \quad (5)$$

其中:

$$B_1 = -B_p \cdot \Delta t \quad (6)$$

对于每一对水位和气压的观测时值 $H_0(t_i)$ 和 $P(t_i)$, 可以由 (5) 式列出一个方程, 即

$$H_0(t_i) = B_p \cdot P(t_i) + B_1 \frac{dP(t_i)}{dt} + a_0 + a_1 t_i + a_2 t_i^2 \quad (7)$$

其中有 5 个未知数: B_p 、 B_1 、 a_0 、 a_1 和 a_2 。如果有 n 个观测时值 ($n > 5$), 可以得出由 n 个方程组成的方程组:

$$\vec{H} = \vec{A}\vec{X} \quad (8)$$

其中

$$\vec{H} = \begin{pmatrix} H_0(t_1) \\ H_0(t_2) \\ \vdots \\ H_0(t_n) \end{pmatrix}, \quad \vec{A} = \begin{pmatrix} P(t_1) & \frac{dP(t_1)}{dt} & 1 & t_1 & t_1^2 \\ P(t_2) & \frac{dP(t_2)}{dt} & 1 & t_2 & t_2^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ P(t_n) & \frac{dP(t_n)}{dt} & 1 & t_n & t_n^2 \end{pmatrix}, \quad \vec{X} = \begin{pmatrix} B_p \\ B_1 \\ a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix}.$$

用最小二乘法解方程组 (8), 可得:

$$\vec{X} = (\vec{A}^T \vec{A})^{-1} \vec{A}^T \vec{H} \quad (9)$$

其中 \vec{A}^T 为 \vec{A} 的转置矩阵, $(\vec{A}^T \vec{A})^{-1}$ 为 $(\vec{A}^T \vec{A})$ 的逆矩阵。

把根据 (9) 式求出的两个参数 B_p 和 B_1 代入 (6) 式, 就可得到井水位对气压响应的滞后时间 Δt 。

公式 (7) 中气压对时间的微商, 可以用气压观测时值的三点二次拟合曲线求出。对于某一时刻的气压观测值 $P(t_i)$ 及其相邻的两个时值 $P(t_{i-1})$ 和 $P(t_{i+1})$, 可以得出三个方程:

$$P(t_{i-1}) = C_0 + C_1 t_{i-1} + C_2 t_{i-1}^2 ;$$

$$P(t_i) = C_0 + C_1 t_i + C_2 t_i^2 ;$$

$$P(t_{i+1}) = C_0 + C_1 t_{i+1} + C_2 t_{i+1}^2 .$$

其中 C_0 、 C_1 和 C_2 是未知的待定常数。解上述方程组, 求出三个待定常数, 就可以写出气压曲线方程:

$$P(t) = C_0 + C_1 t + C_2 t^2 .$$

由该方程可得出气压对时间的微商:

$$\frac{dP(t_i)}{dt} = C_1 + 2C_2 t \quad (10)$$

考虑气压校正的水位的计算公式为:

$$H_1(t_i) = H_0(t_i) - B_p \left[P(t_i) - \frac{dP(t_i)}{dt} \Delta t \right] \quad (11)$$

四、鲁03井观测资料的计算

首先对鲁03井的水位和气压观测资料,选择在冬、春季节无降雨、无地震等干扰最少的时段,排除水位观测资料中固体潮的影响,然后利用本文的方法计算。

该井对气压响应的滞后时间大约为1.5小时(图1)。为了使泰勒展开级数尽快地收敛,一般对 Δt 的值取得越小越好,但要考虑含水层本身的客观条件。为了保证收敛较快,我们可对 Δt 进行适当处理,使 $\Delta t \leq 1$ 小时。

对任一井水位和气压的观测曲线,可以先初步确定是否 $\Delta t < 1$ 小时。若 $\Delta t < 1$ 小时,则可直接套用前面的公式进行计算。若 $\Delta t > 1$ 小时,可将 Δt 取整数,则有

$$\Delta t = \text{int}(\Delta t) + \Delta t_1 \quad (12)$$

对于鲁03井,

$$\Delta t = 1 + \Delta t_1 \quad (13)$$

这样气压观测值

$$P(t_i - \Delta t) = P(t_{i-1} - \Delta t_1) \quad (14)$$

计算气压的微商时也可同样处理。那么对鲁03井公式(7)变为

$$H_0(t_i) = B_p \cdot P(t_{i-1}) + B_1 \frac{dP(t_{i-1})}{dt} + a_0 + a_1 t_i + a_2 t_i^2 \quad (15)$$

公式(6)变为:

$$B_1 = -B_p \Delta t_1 \quad (16)$$

滞后时间用(13)式计算。

对以上的公式稍加推广,可以把 Δt_1 限制在0.5小时以内,也就是用最近的气压时值进行计算。这样泰勒展开级数将收敛得更快。但一般只要 $\Delta t_1 < 1$ 小时就可以了。

用上述方法处理鲁03井观测资料,得出该井水位气压系数为6.41mm/hpa,水位对气压响应的滞后时间为1.52小时。

考虑气压校正的鲁03井水位

$$H_1(t_i) = H_0(t_i) - B_p [P(t_{i-1}) - \frac{dP(t_{i-1})}{dt} \Delta t_1] \quad (17)$$

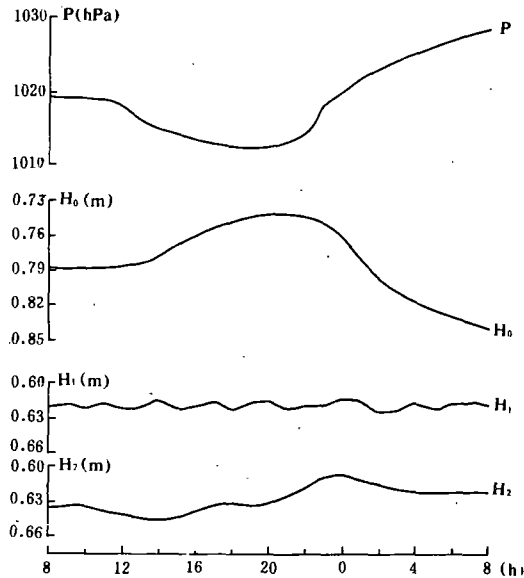


图2 鲁03井水位、气压及校正水位

Fig. 2 Water level, barometric pressure and water level corrected in the well Lu-03

其水位曲线如图 2 中 H_1 所示。同不考虑滞后效应的气压校正水位曲线 H_2 相比, 可以明显地看出, H_1 曲线的残差比 H_2 小得多。

用本文提出的方法计算的鲁 03 井的水位的平均中误差为 0.29cm, 而用一般的回归方法计算为 0.98cm。可见用本文的方法计算的效果较好。

五、讨论与结论

1. 以前在对地下水位观测资料的处理中, 一般不考虑水位对气压响应的滞后问题。因此排除气压影响的效果不理想。要对水位观测资料进行气压校正必须考虑到水位对气压响应的滞后影响。用本文提出的方法计算, 水位校正中误差明显减小, 校正效果较好。用本文的方法对鲁 03 井水位和气压观测资料进行处理, 得出该井水位的气压系数为 6.41mm/hpa, 水位对气压响应的滞后时间为 1.52 小时。

2. 本文讨论的是处理井水位和气压的时值问题, 该方法只要稍加改变就可推广到处理水位和气压的日均值。日均值是 24 个时值的平均值, 求平均值的过程在实质上等于对观测资料做了一次滤波处理, 所以不必再考虑固体潮影响问题, 只考虑消除气压影响即可。对于日均值, Δt 可以 1 天为单位, 只要 $\Delta t < 1$ 天就可以保证泰勒展开级数的收敛, 直接应用公式 (7) 进行计算, 计算的效果也很好。

3. 对水位观测资料进行气压校正, 除了公式 (11) 外还有一个更简便的方法。在公式 (1) 中, 由于 Δt 是一个未知量, 所以要计算 $P(t - \Delta t)$ 就不得不借助于泰勒级数展开, 这就出现了计算气压对时间的微商的问题。当 Δt 已求出来后, 计算 $P(t - \Delta t)$ 就不一定要通过泰勒展开, 而可以直接通过插值法求得, 所以公式 (11) 可以用下式来代替:

$$H_1(t_i) = H_0(t_i) - B_p \cdot P(t_i - \Delta t) \quad (18)$$

这样做气压校对比使用公式 (11) 更简便。

4. 一般认为气压变化由趋势性变化和周期性变化两部分组成。周期性变化即大气潮中的日波和半日波潮。理论研究表明, 井水位对气压变化的响应与气压变化的周期有关。一般说来气压变化的周期越小, 井水位气压系数也越小^[2]。因此, 严格地说长周期的气压变化与大气潮对井水位的影响是不同的。但是对应于长周期气压与对应于大气潮中的日波和半日波潮的井水位气压系数之间相差不大, 因为一般井水位对气压响应的共振曲线的周期在几秒到几百秒之间, 而大气潮半日波的周期超过了几万秒, 早已远离了共振周期^[3]。所以在一般计算中大多仅考虑长周期的气压变化。就目前的观测精度而言, 这样处理还是可以的。在本文的计算中也是采用了这样的处理方法。

感谢滨州市地震办公室卜凡泉为我们收集、提供了鲁 03 井有关的资料。

(本文 1990 年 7 月 29 日收到)

参考文献

- [1] 汪成民、车用太、万迪堃、董守玉, 地下水微动态研究, 地震出版社, 1988.
- [2] 张昭栋等, 承压井水位对气压动态过程的响应, 地球物理学报, Vol. 32, No. 5, 501—512, 1989.
- [3] Zhang Zhaodong, et al., Response of a well-aquifer system and water level observation system to earth tides and seismic waves, Acta seismologica sinica, Vol. 2, No. 2, 251—264, 1989.

(下转 78 页)

**A STUDY ON CURRENT STRESS FIELD AND SEISMIC DANGER AREAS
IN THE CENTRAL—WESTERN YUNNAN PROVINCE**

Li Qunfang

(Institute of Crustal Dynamics, SSB, Beijing, China)

Abstract

In this paper, based on the analysing of horizontal remnant stress - strain fields near the Red River fault, the calculation of 2-D finite element method with six different tectonic stress directions, and other related data, the current stress field and the seismic danger areas are inferred. The results indicate that the current stress field in this area is very complex and shows regionalized features, but the dominant direction of principal compressive stress is nearly NS. The Yongsheng area, Jianchuan—Eryuan area, and the area surrounded by Dali, Xiaguan and Binchuan are coming seismic danger areas. When the principal compressive stress axis rotates toward northwest, the Yongping, Puer—Simo, Eshan, Shiping, and Tonghai are as will become seismic danger areas.

—————
(上接63页)

**DATA PROCESSING OF WELL LU—03 IN PHASE LAG OF WATER
LEVEL TO BAROMETRIC PRESSURE**

Zhang Zhaodong, Wang Lizhong

(Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan, China)

Wang Changwen, Zhang Zhugang

(Computing Center of Shandong Province, Jinan, China)

Abstract

In this paper, a new processing method of phase lag of response of water level to barometric pressure is given. The formulae for calculating the barometric coefficient and lag time of the well level in consideration of lag influence are given. Taking well Lu—03 as an example, by using the new method, it is obtained that the barometric coefficient is 6.41 mm/hPa and the lag time of the response of well level to barometric pressure is 1.52h. The standard deviation of the water level corrected by barometric pressure decreases obviously.