

鲁07井水位对固体潮滞后的处理

张昭栋 耿杰

(山东省地震局)

王昌文 张铸钢

(山东省计算中心)

摘要: 本文给出了一种计算考虑滞后影响的井水位固体潮系数的新方法, 导出了计算固体潮系数和滞后时间的公式, 给出了考虑滞后影响的井水位固体潮校正公式, 以鲁07井为例, 用该方法求出其井水位固体潮系数为 $16.5\text{mm}/10^{-8}$, 水位对固体潮响应的滞后时间为0.48小时, 与以前的回归分析方法相比, 校正后的水位中误差明显减小, 校正效果比较好。

关键词: 井水位, 固体潮系数, 滞后时间, 固体潮校正。

一、引言

近年来深井水位潮汐观测表明, 井水位潮汐有两个特点, 一是井水位的响应幅度与固体潮理论值成正比, 二是水位变化相对于固体潮有一个时间滞后^[1,2]。以前的地下水位固体潮校正方法, 一般不考虑时间滞后的影响^[3]。实际观测到的井水位对固体潮滞后时间可以长达1小时, 若再忽视, 势必给水位的固体潮校正结果带来较大的误差, 因为潮汐大的井水位1小时将改变几十甚至几百毫米。理论研究表明, 井水位对固体潮响应的滞后时间与水井含水层的参数有关, 特别是含水层的导水系数越小, 则滞后时间越长^[4]。

为了提高井水位固体潮校正的精度, 我们提出了一种考虑到滞后影响的水位校正新方法。鲁07井通过这种新方法处理, 比以前的方法得出的校正中误差减少了4.2mm, 可见新方法比以前的效果好。

二、新计算方法

假定某井孔只受固体潮单一因素影响, 考虑到井水位对固体潮响应的滞后时间 Δt , 那么井水位表达为

$$L(t) = B_0 G(t - \Delta t) + F(t) \quad (1)$$

其中 B_0 为井水位的固体潮系数; t 为时间; $F(t)$ 为井水位本身的趋势变化, 它好象一台观

• 地震科学联合基金资助课题的部分成果。

测仪器的零漂函数: $G(t - \Delta t)$ 为体应变固体潮的理论值, 但时间要错后 Δt 。

以前用回归分析的方法只能求出 B_G 来, Δt 一般较难求出。因为水位观测曲线采样为整点时值, 而 Δt 并非 1 小时的整数倍, 要破整点值做逐步回归较困难。因此, 计算式 (1) 中的 $G(t - \Delta t)$ 成了问题的关键。

如果 $\Delta t < 1$ 小时, 把 $G(t - \Delta t)$ 做泰勒级数展开, 于是有

$$G(t - \Delta t) = G(t) - \frac{dG(t)}{dt} \Delta t + \frac{d^2G(t)}{dt^2} (\Delta t)^2 - \dots \quad (2)$$

由固体潮理论可知, 固体潮可表达为各种谐波的迭加, 用 Doodsoon 法展开^[5]

$$G(t) = \sum_i A_i \cos(\omega_i t - \varphi_i) \quad (3)$$

其中 A_i , ω_i 和 φ_i 分别为固体潮第 i 个谐波的振幅、角频率和初位相。

从式 (3) 可求出 $G(t)$ 对时间的各阶微商, 其一阶微商为

$$\frac{dG(t)}{dt} = \sum_i -A_i \omega_i \sin(\omega_i t - \varphi_i) \quad (4)$$

利用式 (3) 和 (4) 计算 $G(t)$ 和 $dG(t)/dt$ 时, 参数 A_i , ω_i 和 φ_i 可从固体潮文献中查到^[6]。

根据井水位恢复理论, 函数 $F(t)$ 可表为

$$F(t) = f_0 + f_1 t + f_2 t^2 \quad (5)$$

其中 f_0 , f_1 和 f_2 为三个待定的常系数。

计算表明, 对 $G(t - \Delta t)$ 的展开级数只要取前两项就可以满足本问题的要求, 可求得

$$L(t) = B_G G(t) + B_1 \frac{dG(t)}{dt} + f_0 + f_1 t + f_2 t^2 \quad (6)$$

$$\text{其中 } B_1 = -B_G \Delta t \quad (7)$$

对于每一个井水位的观测时值, 可以由式 (6) 列出一个方程来, 其中有 5 个未知数 B_G , B_1 , f_0 , f_1 和 f_2 。有 j 个观测时值 ($j \geq 5$), 便可以得到一个矩陈方程组

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

它的解为

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

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

由式 (7) 和 (9) 可以求出参数 B_G 和 Δt , 那么, 井水位的固体潮校正公式可写作

$$L_j(t_j) = L(t) - B_G G(t) + B_G \frac{dG(t)}{dt} \Delta t \quad (10)$$

($j = 1, 2, \dots, n$)

三、鲁07井观测资料的计算分析

鲁07井对固体潮有明显的反映 (图 1)。该井水位调和分析结果表明, M_2 波有 16° 左

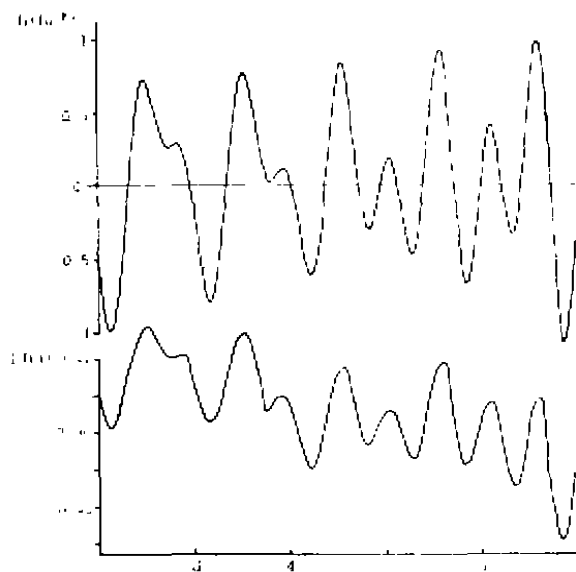


图 1. 鲁07井水位对固体潮的响应

G. 固体潮理论值; L. 井水位观测值

Fig. 1 The response of water level to the earth tide in well Lu—07.

G. The theoretical values of earth tide;

T. The observational values of the well water level

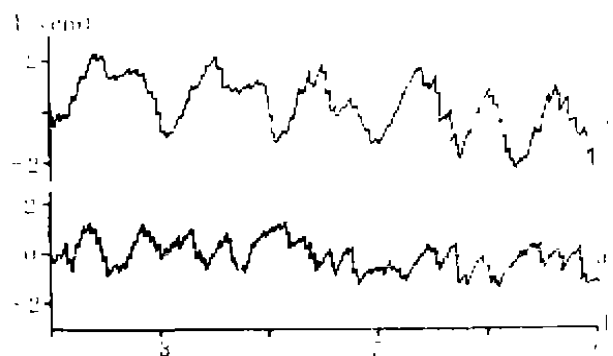


图 2. 校正后的鲁07井水位

Fig. 2. The corrected water level in well Lu—07.

a. 利用本文方法校正后的水位残差曲线;

b. 利用回归分析方法校正后的水位残差曲线

右, 位相滞后, 选取干扰较少的观测资料, 先进行考虑水位对气压滞后后的气压校正, 然后用本文的方法进行处理。得出鲁07井水位对固体潮系数为 $16.5 \text{ mm}/10^{-8}$, 水位对固体潮响应滞后时间为 0.48 小时。利用这两项对鲁07井的水位进行考虑滞后影响后的固潮校正, 得到校正后的水位残差曲线 (图 2 中曲线 a)。校正后的水位残差的中误差为 7.3 mm。如用以前的回归分析方法对同段资料处理, 得到校正后的水位残差曲线 (图 2 中曲线 b), 其中误差为 11.5 mm。

由图 2 可以看出, 不考虑滞后影响的结果不但离散大, 而且曲线中明显地含有周期变化成分, 说明曲线中周期成分没有扣除干净。而本文新方法的结果离散较小, 曲线中周期变化成分明显减少, 说明曲线中固体潮周期影响已基本扣除得干净。由此可见, 本文新方法校正结果较好。从校正后的水位残差中误差减小了 4.3 mm, 也是以说明了这一点。

四、讨 论

1. 滞后时间大于 1 小时的处理

有少数井水位对固体潮滞后时间超过 1 小时。例如, 鲁03井为 1.5 小时左右。为了能应用本文泰勒斯法, 可以把滞后时间做一点变换。令

$$\Delta t = 1 + \Delta t_1 \quad (11)$$

也就把 Δt 分为整数和小数两部分之和 (或差)。那么可得

$$G(t - \Delta t) = G(t - 1 - \Delta t_1) \quad (12)$$

也就是说, 可以利用前一个小时的值来计算后一个小时的值。此时公式 (7) 变为

$$B_1 = -P_1 \Delta t_1 \quad (13)$$

这样变换后, 也可以用本文的新法处理 $\Delta t = 1$ 小时的问题了。

2. 计算井水位固体潮校正的另一方法

对于公式 (12), 当 Δt 已求出后, 可

以采用更简单一些的方法来计算 $G(t-\Delta t)$ 。一种是用错后 Δt 小时来计算固体潮理论值,另一种是用对固体潮时值插值法。例如,三点二次插值。那么,公式(10)就可以用下式来代替

$$L_1(t_i) = L(t_i) - B_0 G(t_i - \Delta t) \quad (14)$$

五、结 论

(1) 井水位对固体潮响应的滞后影响问题不容忽视,特别是渗透性较差的井,井水位的固体潮校正,若不考虑滞后影响,校正后的残差离散大,残差的中误差也大,并且含有明显的周期变化成分。

(2) 利用本文的方法不但可以求出井水位的固体潮系数,而且可以求出井水位对固体潮响应的滞后时间。用新方法对井水位做固体潮校正,残差的中误差小,校正效果比以前的回归分析法好。

(3) 鲁07井观测资料用新方法处理结果表明,该井水位的固体潮系数为 $16.5\text{mm}/10^{-8}$ 井水位对固体潮响应的滞后时间为0.48小时,校正后水位残差的中误差为7.3mm。而用以前的方法得出其残差的中误差为11.5mm。可见新方法比以前的效果好。

感谢山东省栖霞县科委栾国玉和栖霞县气象站为我们提供了鲁07井的有关资料。感谢山东省烟台市地震办公室协助我们到鲁07井进行现场考查。

参考文献

- (1) 张昭栋著,地下水潮汐分析,山东大学出版社,1988.
- (2) 张昭栋、王宝银、高王斌、王昌文,中国地下水位潮汐的观测研究和分析,地震学报,11, 3, 1989.
- (3) 张昭栋、郑金涵、冯初刚,体膨胀固体潮对水井水位观测的影响,地震研究,4, 4, 1986.
- (4) 张昭栋、郑金涵等,承压井水位对气压动态过程的响应,地球物理学报,32, 5, 1989.
- (5) P. Melchior, The tides of the Planet earth, Pergamon Press, 1978.
- (6) 刘克人等译,固体潮译文集,科学技术出版社,1980.

PROCESS OF PHASE LAG IN WATER LEVEL TO THE EARTH TIDE IN WELL LU-07*

Zhang Zhaodong Geng Jie

(Seismological Bureau of Shandong Province)

Wang Changwen Zhang Zhugang

(Computing Center of Shandong Province)

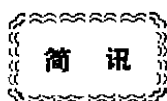
[Abstract] In this paper, a new method of calculating the lag influ-

ence of the tidal coefficient in the well level is given. The formulas of calculating the tidal coefficient and lag time are developed, and the corrected formulas of lag influence of tide in the well level are given. The well Lu-07 is instanced. By using this method, we have calculated that the tidal coefficient of the well level is $16.5\text{mm}/10^{-3}$ and the lag time of the response of water level to the tide is 0.48 h. The standard deviation of the water level corrected by the tide evidently decreases and the results of the water level are better than the former method of the regression analysis.

{Key Words} Well water level; Tidal coefficient; Lag time; Tidal correction

* Projects Sponsored by the Joint Earthquake Science Foundation

~~~~~



## 福建省减轻地震灾害学术讨论会在福州市召开

由福建省地震局和福建省地震学会主持召开的福建省减轻地震灾害学术讨论会于1990年12月26日至28日在福州举行。来自地震、地质、气象、建筑等部门的70多位专家、学者在大会上交流了70多篇学术论文。国家地震局震害防御司副司长王国治、福建省科委主任吴诚和福建省科协等有关单位的领导出席了会议。

会上，专家们从多学科、多角度、多层次探讨如何减轻自然灾害，特别是减轻地震灾害。与会者认为，减轻地震灾害，首先应加强地震监测，做好中、长期地震预报，为政府在城市规划建设中、提供科学依据；同时必须加强政府在减轻地震灾害中的职能作用，王国治同志在《政府在减轻地震灾害中的职能》中对此做了全面的阐述；还必须在全省范围内加强地震知识的宣传普及，提高群众防震抗震意识，制定地震灾害对策和开展震害评估工作。

与会者一致认为：我国大陆已进入一个新的地震活跃期，今后十年又是我国经济发展的关键十年，广大地震工作者肩负着重大使命，在国际减灾十年活动中，必须努力奋进，为减轻地震灾害做出应有的贡献。

(福建省地震局 连玉平)