

李悦,王熠熙,姚会琴,等.井水位气压响应滞后计算方法比较[J].地震工程学报,2017,39(增刊):144-148.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2017.增刊.144

LI Yue, WANG Yixi, YAO Huiqin, et al. Comparison of Methods for Calculating Response Lag of Well Water Level to Barometric Pressure[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2017, 39(Supp.): 144-148. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017. Supp.144

井水位气压响应滞后计算方法比较^①

李 悦, 王熠熙, 姚会琴, 邵永新

(天津市地震局, 天津 300201)

摘要:分别采用相关分析、卷积回归和调和分析三种方法,计算了宝坻井、高村井水位对气压响应的滞后时间。对比分析三种方法计算结果的规律性和差异性、以及各方法计算结果差异性的主要影响因素,从而明确三种方法各自的优缺点以及适应性,为今后方法选择提供参考。

关键词:气压效应; 滞后时间; 相关分析; 卷积回归; 调和分析

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2017)增刊-0144-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2017.Supp.0144

Comparison of Methods for Calculating Response Lag of Well Water Level to Barometric Pressure

LI Yue, WANG Yixi, YAO Huiqin, SHAO Yongxin

(Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin 300201, China)

Abstract: The effect of barometric pressure on well water levels is well recognized in continuous observations of seismic ground water fluid, especially in deep confined water. The response of the underground water level to barometric pressure is called the water-level-barometric-pressure effect. The main research emphasis on the water-level-barometric-pressure effect has shifted from how to eliminate the influence of barometric pressure on the water level to the calculation and determination of the well-water-level-barometric-pressure coefficient, and then to the exploration of abnormal changes of the water level in response to the barometric pressure prior to earthquakes. However, there has been little research on the response lag changes of the well-water level to barometric pressure. In this paper, we use three methods, including correlation analysis, convolutional regression, and harmonious analysis, to calculate the response lag time of the water level of the Baodi and Gaocun wells to barometric pressure. Then, we compare the regularity and differences in the calculation results of the three methods to clarify the advantages and disadvantages of each. The study results provide a reference for the selection of methods in the future.

Key words: barometric pressure effect; lag time; correlation analysis; convolutional regression; harmonious analysis

① 收稿日期: 2016-07-25

基金项目: 中国地震局监测、预测、科研三结合课题“水位气压响应滞后研究”项目(150206)

作者简介: 李悦(1986—), 女, 工程师, 硕士, 现主要从事地震监测预报工作。E-mail: liyue3869@163.com。

0 引言

地下水的气压效应问题,早在 20 世纪 30 年代就引起了国外水文地质研究者的注意。但在我国,直到 20 世纪 70 年代地震地下水动态观测井网的建设才开始得到较为深入的研究^[1],张昭栋等^[2-3]分析了井水位对气压响应的滞后机理,提出了一种处理井水位对气压影响滞后的新方法,给出了计算井水位固体潮系数和气压系数以及滞后时间的公式。耿杰等^[4]采用高阶差分求深井水位的气压效率和相关系数的方法并优选最佳相关结果,获得了 5 口井在两次中强地震前二者的变化。丁风和等^[5]对大甸子井水位和气压进行了相关性分析,得到了该井气压系数的背景值,认为其变化一定程度上反映了前兆异常的变化特点。刘学领等^[6]对天津地区 4 口地下水动态观测井的气压系数进行计算分析,认为气压系数是随时间和空间而变化的物理量。

然而,目前的探索以及震例验证工作多集中在气压系数和相关系数方面,水位对气压响应滞后的相关计算研究开展较少。宝坻井、高村井多年来对气压变化均有很好的响应,本研究在前人工作基础上,采用三种不同的方法分别计算出水位对气压响

应的滞后,探索不同方法对计算结果的影响,以及不同方法计算过程中的主要影响因素,为今后方法选择提供参考。

1 观测井基本情况

宝坻井深 427.17 m 左右,197 m 以下为裸孔,并为出水段,含水层为灰岩承压水,溶洞发育;其上覆盖为第四纪沉积砂层。采用 LN-3 数字型水位仪,采样率为分钟,观测数据稳定可靠。宝坻井水位总体上呈多年下降趋势,在此基础上,受浅层水季节性开采影响,具有较好的年周期变化特征。

高村井深 3 402.81 m 左右,2 700.58 m 以下为裸孔,出水段 2 685.5~3 402.8 m,含水层为灰岩承压水。观测采用 SWY-1A 型水位仪进行连续观测,采样率为分钟,观测数据稳定可靠。高村井受地下水开采影响水位呈多年直线下下降趋势。

2 不同方法计算结果对比分析

2.1 相关分析

两口井水位与气压的变化具有良好的相关关系,当气压增加时,地下水位下降,水位埋深变大;反之,当气压降低时,地下水位升高,水位埋深减小(图 1)。

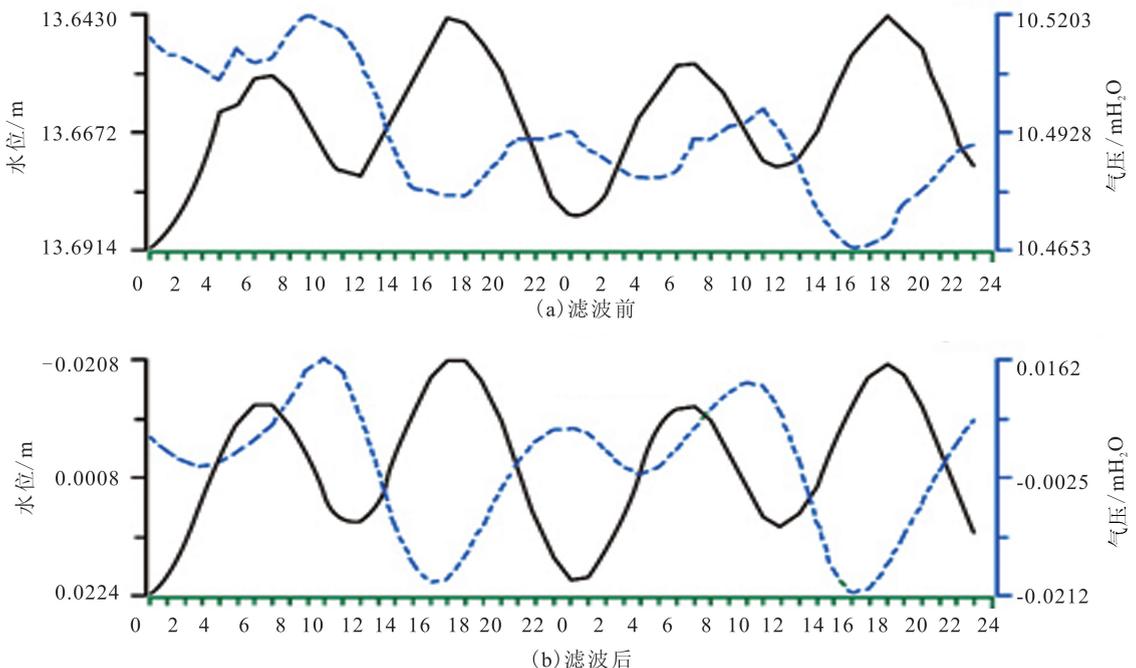


图 1 宝坻井滤波前、后水位与气压相关性

短周期内,水位波动与气压的变化具有很好的负相关性,也都表现出了明显的周期性,同时,水位、

气压数据中也带有了很多非周期性变化信息。因此,在对数据进行相关分析和调和分析前,对数据

进行滤波处理,将频率高于 0.5 cycle/hour(周期小于 2 小时)的高频噪声消除和频率为 0~0.8 cycles/day(周期大于 30 小时)的低频成分噪声进行消除。滤波后,水位对气压变化的响应更加显著,二者相关性更好,响应的滞后也更加可以容易辨别。

相关分析方法,先假设水位对气压变化响应无滞后、滞后 1 小时、滞后 2 小时……滞后 23 小时,分别求出每月各个滞后时间的相关系数,取相关系数最大值时对应的时间为水位对气压响应滞后的最佳时间,所得结果见图 2。

由相关分析计算结果可以看出,宝地井水位对气压响应的滞后时间比较稳定,在 2 小时左右。2013 年 4 月 20 日四川雅安发生 $M_s7.0$ 地震和 2014 年 2 月 12 日新疆于田地区发生 $M_s7.3$ 地震,滞后

时间明显偏高(2014 年 12 月至 2015 年 3 月,水位数据有较多缺数,为人为插值补充,导致计算结果变化较大)。高村井水位对气压响应的滞后时间则具有较好的规律性,表现为冬季滞后时间较长,而夏季滞后时间较短。分析认为,宝地井主要受生活、生产用水浅层开采影响,进行滤波后,基本可以排除干扰成分,故而表现出水位对气压响应滞后的稳定性。高村井水位观测主要受地热开采影响,冬季地热开采量增加所导致的水头压力变化远大于气压变化导致的压力变化,使得井孔内外渗流达到平衡的时间延长,从曲线相关性分析上则表现为水位曲线对气压曲线的滞后时间变长,均在 15 h 左右。即所求得的滞后时间不仅有气压变化导致的渗流平衡时间,更多的是抽水干扰带来的渗流平衡时间。

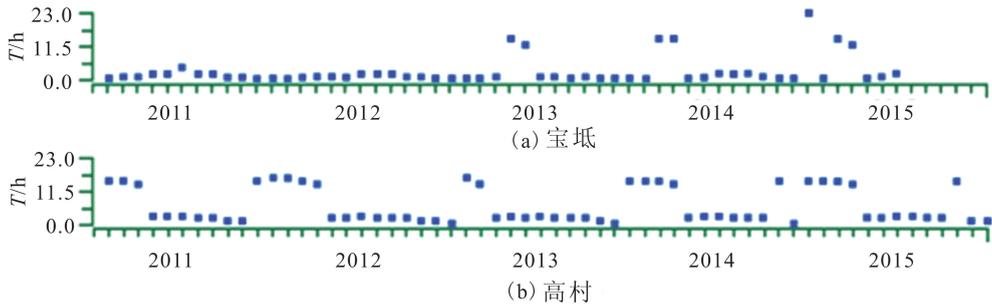


图 2 相关性分析最佳滞后时间变化

2.2 卷积回归

卷积回归法的主要原理如下:引入阶跃响应函数的概念(即井水位对气压的响应函数),通过对相对应的水位和气压数据来拟合出阶跃响应函数的最佳值,从而得到最佳滞后时间。

卷积回归法采用的是未进行滤波的数据,将井

水位埋深转换为高程,将气压变化以 mm H₂O 水柱高度表示,按月分段,分别计算出水位对气压响应的滞后时间,结果见图 3。

由卷积回归计算结果可以看到,两口井水位对气压响应的滞后时间均在 3~6 h 之间,并且两口井水位对气压的响应均具有一定的年变周期。

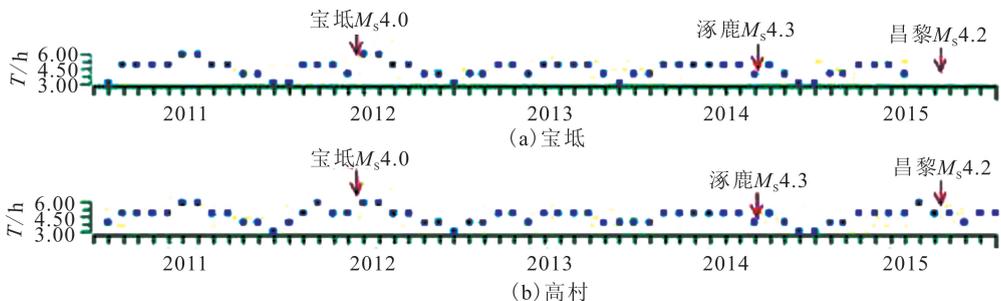


图 3 卷积回归最佳滞后时间变化

分析认为:卷积回归采用的是未进行滤波的数据,更多的考虑了水位对气压变化直接响应的瞬时性。因此所得结果比相关分析法更能表现出水位对气压变化的直接反应。由于夏季天气情况多变,气压短时波动较冬季更为强烈,所以计算结果会表现出一定夏高冬低的规律性。另一方面,

由计算结果可以看出,两口井采用卷积回归计算方法所得结果相差不多。这两口井所处地理位置相近,虽然观测深度不同,但观测层位岩性相近,均以灰岩为主,渗透性较好。说明深度变化对计算结果影响不大,水位对气压相应滞后更多取决于含水层的渗透性。

2.3 调和分分析

水位与气压的变化具有很好的负相关性,同时水位、气压序列也都表现出了明显的周期性。承压含水层中的井水位变化主要是由固体潮、海潮和大气潮的综合作用引起的,并且和局部的应力场变化

具有非常密切的联系。气压的主要影响分波为 $P_1S_1K_1$ 波群和 S_2 波。因此,主要针对这两个分波,对水位和气压分别进行调和分分析,并根据相位计算出水位对气压响应的滞后时间。

由调和分分析结果可见,两口井周期为 24 h 的日

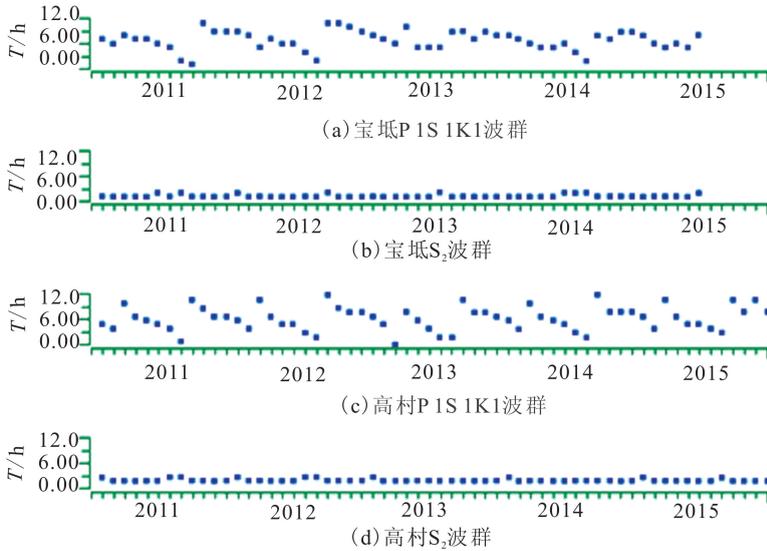


图 4 调和分分析滞后时间变化

波成分对气压响应的滞后具有一定的年变化规律,并且滞后时间均在 1~12 h 之间逐步调整变化。而周期为 12 h 的潮汐分波成分对气压响应的滞后稳定在 1~2 h,基本无变化。但高村井的滞后时间普遍要比宝坻井的滞后时间长一个小时。

分析认为,随含水层深度增加,固体潮效应对水位观测影响加大,因此水头差变化中叠加了更多的固体潮信息,而同样频率的潮汐分波所引起的固体潮效应是无法去除的。

3 三种方法的优缺点比较

通过三种不同的方法分别计算了宝坻、高村两口井对气压响应的滞后时间,所得结果既有一定的规律性,又有一定的差异性。

气压本身的特性(气压主要受纬度位置与气温的影响)、井水位的观测方式、承压含水层的埋深、含水岩层的岩性、岩石介质的力学参数、井孔一含水层的水文地质参数等,对井水位气压效应的变化都有不同类型、不同程度的影响。这些影响因素本身具有一定的周期变化规律,因此计算结果会显示出一定的规律性。

不同的计算方法,所关注的重点有所不同,使得

计算结果又表现出一定的差异性。相关分析方法直观的以水位的升降变化和气压的升降变化相对应,未能考虑水位的升降变化中混有其他非气压因素的影响,虽然在计算前进行了一定的滤波处理,但并不能完全排除叠加其中的非气压效应变化因素,有些时候甚至这些因素对水位的影响和气压的影响是反向抵消的。卷积回归方法计算时,采用的是未进行滤波的数据,更多的考虑了瞬时响应。地震前由于应力积累,含水层产生压缩(或拉长),其渗透性和储水性发生一定程度的改变,因此计算结果会显示出水位对气压响应的滞后时间发生变化(图 3)。而调和分分析方法,更加关注水位和气压的周期性变化,以及这种周期性变化基础上的响应关系,但周期变化中叠加了一定的固体潮信息无法分离。

4 结论与建议

由以上分析可以看出,水位对气压的响应滞后具有一定的稳定性和年动态周期性,主要表现为夏季滞后时间相对较长,冬季滞后时间相对较短。

含水层性质、埋深,抽水干扰,在计算方法的选择时对井水位气压响应滞后都有不同类型、不同程度的影响。

相关分析方法,虽然长期稳定性较好,但较大的干扰容易造成计算结果产生较大偏差。由高村井的相关分析结果可见,大量抽水干扰甚至会淹没水位对气压响应滞后的规律性。该方法更加适合于辅住判断抽水干扰。

调和分析方法,更加关注水位和气压的周期性变化,但周期变化中叠加的固体潮信息无法分离,并且随着观测井深度的增加,固体潮影响所占比重会变大。结合潮汐因子和滞后的计算,更加适用于含水层性质的辨别。

卷积回归方法,更多的考虑了瞬时响应,对于气压波动的响应,其计算结果即有较好的稳定性,也有较强的规律性,并且受缺数影响不大。由两口井的计算结果看到,在距离较近的范围内发生地震前一

个月,两口井所得滞后时间均有一定的减少,可以考虑将其应用到更多的地震前兆信息的提取中。

参考文献

- [1] 巩浩波.地下水微动态对应力的响应关系研究[D].吉林:吉林大学,2009.
- [2] 张昭栋,王立忠,王昌文,等.鲁03井水位滞后于气压的处理[J].西北地震学报,1992,14(2):59-63.
- [3] 张昭栋,郑金涵,张广城.井水位对气压响应的滞后及其机理[J].大地测量与地球动力学,1993,13(4):51-56.
- [4] 耿杰,周斌,张昭栋.深井水位气压效率和相关系数在中强地震前的变化特征[J].西北地震学报,2002,24(3):257-261.
- [5] 丁风和,赵铁锁,尹占军,等.大甸子井水位的气压系数及其震前异常[J].西北地震学报,2007,29(2):174-176.
- [6] 刘学领,马建英,邵永新.天津地区井水位气压系数变化与地震关系的探讨[J].地震地磁观测与研究,2010,31(3):77-81.

(上接第 133 页)

- [1] 聂永安,巴振宁,聂瑶.深埋电极的地电阻率观测研究[J].地震学报,2010,32(1):33-40.
- [10] 杨兴悦,杨立明,康云生,等.天水地震台井下地电观测系统介绍及其分析[J].地震研究,2012,35(1):92-97.
- [11] 康云生,安海静,马可兴,等.天水地电阻率地表与井下多种观测方式的试验分析.地震工程学报,2013,35(1):190-195.
- [12] 高曙德.深井地电观测技术在地震监测中的应用探讨[J].地球物理学进展,2016,31(5):2078-2088, doi: 10.6038/pg20160526.
- [13] 张帆,陈军辉,钟羽云,等.浙江长兴深井地电台建设[J].地震地磁观测与研究,2014,35(3):209-214.
- [14] 赵斐,张远富,武善艺,等.平凉崆峒地电台深井地电阻率观测系统介绍及分析.高原地震,2015,27(1):41-47.
- [15] 中国地震局.地震及前兆数字观测技术规范——电磁观测(试行)[S].北京:地震出版社.2001:5-6,19-46.
- [16] 杜学彬,赵家骝,谭大诚,等.DB/T 18.1-2006.地震台站建设规范 地电台站 第1部分:地电阻率台站[S].北京:地震出版社,2006.
- [17] 安海静,康云生,石航,等.井下地电观测漫谈[J].城市与减灾,2015,(6):14-17.
- [18] 马可兴,安海静,王康,等.地电井下观测装置技术指标的测试与认定讨论[J].西北地震学报,2013,35(增刊):143-147.