

深井水位气压效率和相关系数 在中强地震前的变化特征

耿 杰¹, 周 斌², 张昭栋¹

(1. 山东省地震局, 山东 济南 250014; 2. 东营市地震局, 山东 东营 257000)

摘要: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. 认为从这一方法中提取的短临异常信息是可行的, 可以作为中强地震前的短临异常指标.

关键词:高阶差分; 气压效率; 相关系数; 短临异常

中图分类号: P315.72⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)03-0257-05

0 引言

在地下水动态观测中, 气压对水位的影响具有普遍性. 但不同的观测井其影响程度不同, 主要表现在井水位气压效率及水位与气压的相关系数不同.

有关的研究结果表明, 地下水位的气压效率、相关系数在一定范围的中、强地震前有较明显的前兆显示^[1,2]. 从这一观点出发, 笔者对山东地下水动态观测井鲁 03 井、鲁 04 井、鲁 08 井、鲁 09 井及河南豫 01 井有关资料进行了计算处理, 试图找出 1983 年菏泽 5.9 级和 1982 年卢龙 5.3 级地震前深井地下水位观测井在气压效率、相关系数方面的前兆异常信息.

1 资料选取及数据处理方法

井水位的气压效率(以下简称气压效率)是指单位气压变化量引起井水位的变化量, 可表示为

$$b = \frac{\Delta h}{\Delta p} \quad (1)$$

式中: b 为气压效率, 单位为 mm/hPa; Δp 为气压变化量(hPa); Δh 是气压引起的水位变化量(mm). 井水位的气压效率与观测层的埋藏深度、岩性、井孔单位涌水量及观测方式等因素有关. 在无干扰因素如地震、降雨等影响时, 对某一口观测井而言, 气压效率的变化是有一定规律的.

由于地震前地下水动态异常分布与地质构造的关系密切, 笔者选取了沿聊考断裂及其北东延伸方向上的鲁 03 井、鲁 04 井、鲁 08 井、鲁 09 井及河南豫 01 井(图 1), 对这 5 口水位动态观测井自 1982 年 5 月到 1983 年 12 月的水位气压日均值连续数据进行了计算处理.

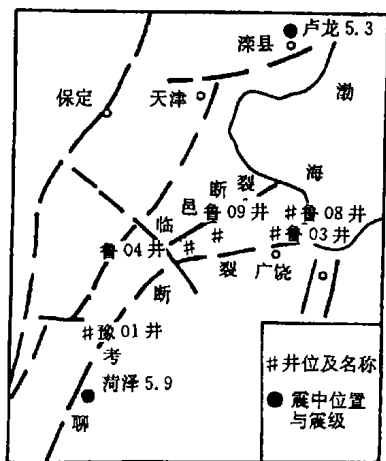


图1 水位观测井分布示意图

Fig. 1 Distribution of observation wells.

处理方法采用高阶差分法求深井水位气压效率和相关系数^[3].即用一个 n 阶多项式来拟合水位本身的恢复、变化,这时,水位 $w(t)$ 与气压 $p(t)$ 的关系为一个多元回归方程

$$w(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_n t^n + b p(t) \quad (2)$$

其中 $a_0, a_1, a_2 \dots a_n$ 是常数, b 是该井水位的气压效率.把式(2)两边对时间求 n 阶微商得到

$$\frac{d^n}{dt^n} w(t) = n! \cdot a_n + b \cdot \frac{d^n}{dt^n} p(t) = A + b \frac{d^n}{dt^n} p(t) \quad (3)$$

其中 A 是一个常数.

计算水位日均值时,可以用水位或气压的差分值来代替它们的微分值进行计算,即式(3)变为

$$\Delta^{(n)} w(t) = A + b \Delta^{(n)} p(t) \quad (4)$$

其中 $\Delta^{(n)}$ 表示 n 阶差分.

在计算时,差分阶数 n 由零开始起算,以后依次增加1阶,逐次计算到 n 阶,然后找出从零阶到 n 阶中相关系数最大的气压效率即优选最佳相关结果,作为要求的气压效率.本文选20天一个滑动,最高差分阶数为6阶.

2 结果分析

2.1 鲁04井

位于山东禹城县梁庄镇,聊考断裂带北端的上盘.井深2 657.00 m,含水层埋深300~970 m,为第三系砂岩裂隙承压水.由于受临盘油田开采的影响,水位长年下降,年降深600~700 mm.该井水位微动态可显示地球固体潮、气压波动、降雨荷载作用,可记录地震波.

对鲁04井1982年5月~1983年12月水位与气压日均值连续数据进行计算处理,求得590组水位与气压的相关系数(γ)和水位的气压效率(b)(图2a).其多年的气压效率日均值为3.3 mm/hPa;相关系数大于0.99;雨季由于降雨荷载作用有一定的起伏变化.在1983年11月7日山东菏泽5.9级地震及1982年10月19日河北卢龙5.3级地震前有明显的异常显示.1983年7月下旬起 γ 值明显偏离正常值,表现为负异常,最低值达0.69,至11月初恢复正常,异常持续时间达4个月;1983年6月下旬起, b 值表现出明显的波动现象,到8月中旬明显下降,最低值为2.4 mm/hPa,9月初回升,中旬上升至最大值4.7 mm/hPa,持续高值约15天后突降至正常值,40天后发生菏泽5.9级地震.1982年卢龙5.3级地震前 γ 值在8月初表现为明显的负异常,持续20多天,最低值为0.61,2个月后发震; b 值自5月份开始就表现出明显的波动现象,至8月底转为平稳变化,约50天后发震.

2.2 鲁08井

位于垦利县胜利油田,聊考断裂北东向延伸方向上.井深656.49 m,观测段505~525 m,为上第三系粉砂岩孔隙裂隙承压水.该井能显示气压、固体潮、降雨附加应力等水位微动态,可记录地震波.水位年动态受降雨影响不明显.菏泽5.9级地震前有异常显示^[4].

鲁08井相关系数、气压效率受气候因素影响较明显,日常观测时起伏变化较大,但在较大地震前出现的畸变幅度仍大于降雨等引起的随机变化.经同上计算,鲁08井多年的气压效率日均值为3.2 mm/hPa,相关系数为0.89.菏泽5.9级地震前 γ 值有明显的异常变化,最低值

为 0.12; 1983 年 6、7 月份 b 值有两次高值突跳现象, 最高值为 8.5 mm/hPa. 卢龙 5.3 级地震前 γ 值于 1982 年 6 月中旬起出现明显的下降变化, 7 月 10 日下降至最低值 -0.25, 7 月 20 日恢复正常; b 值在 1982 年 6 月 10 日突升至最大值 6.8 mm/hPa, 之后又下降, 7 月 11 日下降至最低值 -1.2 mm/hPa, 8 月下旬恢复至正常值 (图 2b).

2.3 豫 01 井

位于河南范县颜村铺, 聊考断裂北端. 该井井深 2 267.03 m, 观测段 1 030~1 977 m, 为奥陶系灰岩岩溶裂隙承压水. 该井水位多年趋势缓慢上升, 年变化幅度不超过 18 cm, 水位微动态可显示地球固体潮、气压波动, 可记录地震波. 水位年动态受降雨影响不明显, 1983 年菏泽 5.9 级地震前后, 该井有异常显示^[4]. 经同上计算, 豫 01 井多年的水位与气压相关系数, 气压效率均较稳定, 相关系数大于 0.99, 气压效率均值为 7.4 mm/hPa. 1983 年 11 月 5 日 γ 值表示出突降变化, 最低值为 0.906, 11 月 7 日发生菏泽 5.9 级地震; 震后 10 天, γ 值恢复正常. b 值在 8 月上旬及 9 月下旬出现两次明显的高值异常, 最大值为 10.6 mm/hPa. 卢龙 5.3 级地震前, 该井 γ 值变化尤为明显, 7 月 20 日起 γ 值表现出明显的下降趋势, 8 月 9 日下降至最低值 0.63, 之后 20 天恢复正常. b 值在 8 月份表现为明显的负异常, 持续时间一个月, 在正常背景下发震 (图 2c).

2.4 鲁 09 井

位于商河县白桥乡, 济阳凹陷主判镇潜山带白桥潜山. 该井井深 2 836 m, 观测段 2 799.0~2 836.0 m, 为奥陶系岩溶裂隙承压水. 水位长年稳定, 受降雨影响不明显, 水位微动态可显示固体潮、气压波动, 可记录地震波. 同上计算, 鲁 09 井多年的气压效率、相关系数变化均较稳定, 相关系数大于 0.98, 气压效率均值为 7.0 mm/hPa. 菏泽地震前于 1983 年 7 月 20 日 γ 值表现为下降变化, 持续时间达 20 天, 最低值为 0.91; 9 月初 γ 值又出现一下降过程, 持续时间

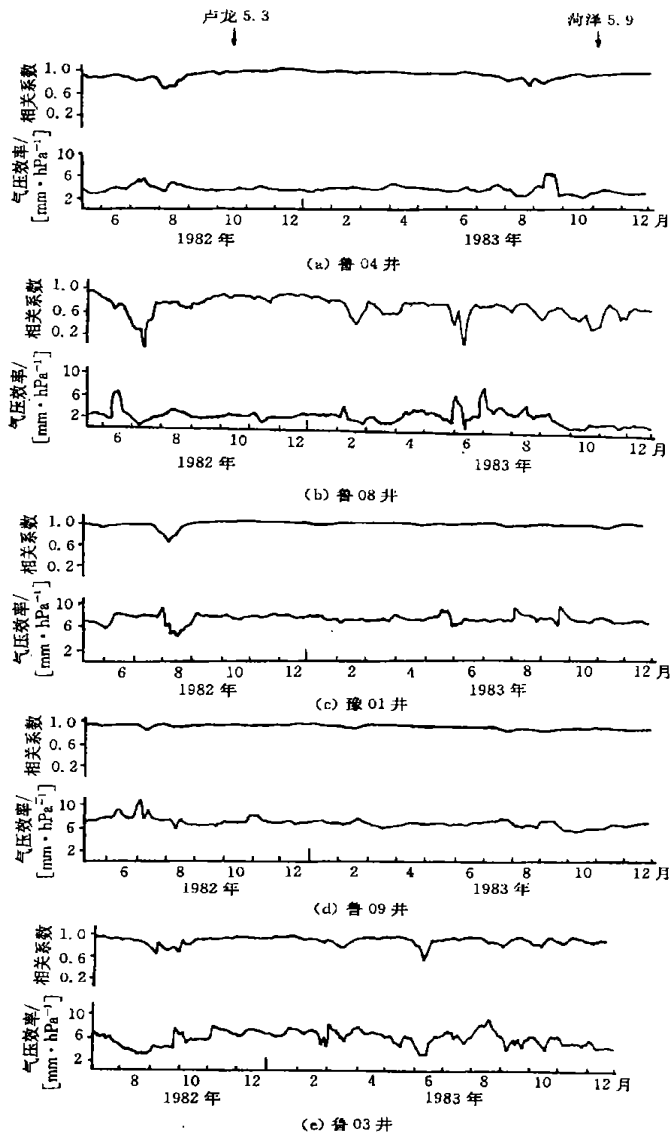


图2 井水位的气压相关系数、气压效率异常变化
Fig.2 Anomabus variations on barometric pressure efficiency and interrelation coefficient of groundwater level in five wells.

达 20 天, 最低值 0. 92. b 值在 1983 年 8 月份出现明显的下降变化, 持续时间达一个月, 最低值为 6. 6 mm/hPa; 9 月 15 日又出现一下降过程, 10 月初下降至最低值 6. 0 mm/hPa, 在恢复过程中发震. 卢龙地震前, 1982 年 7 月 10 日 γ 值明显下降, 持续 10 天, 最低值为 0. 85; 8 月 8 日又出现一下降过程, 持续 15 天, 最低值为 0. 95. b 值在 6 月底出现上升变化, 持续时间达 1 个半月, 最高值为 12. 0 mm/hPa(图 2d).

2.5 鲁 03 井

位于广饶县斗柯乡, 昌乐—广饶断裂带北侧. 该井井深 2 260 m, 观测段为 2 047. 2 ~ 2 048. 6 m, 为下第三系粉砂岩裂隙承压水. 该井水位年动态相对稳定, 水位微动态可显示地球固体潮、气压波动, 可记录地震波. 经计算鲁 03 井气压效率和相关系数起伏较大, 相关系数值为 0. 92, 气压效率均值为 6. 0 mm/hPa. 卢龙地震前, 1982 年 8 月中旬开始 γ 值出现明显的下降变化, 最低值为 0. 60, 持续时间 2 个月, γ 值在正常背景下发震. 菏泽地震前, γ 值在 3 月、6 月、8~9 月、10 月、11 月初出现 5 次异常变化. 该井 b 值多年起伏变化较大, 从处理的数据分析, 异常特征不明显, 仅菏泽地震前约 3 个月出现一次明显的正异常, 最大值为 10. 5 mm/hPa(图 2e).

3 讨论与结论

(1) 气压变化引起的井水位变化是通过井孔和含水层间的渗流来实现的. 当大气压力增加或降低时, 井孔中的水流向含水层或含水层中的水流向井孔. 由于这两个流动过程中所受的阻力不同, 其渗流量也必然不同, 导致不同的气压变化过程引起井水位变化量也不同, 当然所求得的气压系数也就不同. 表现为同一井孔气压系数在无干扰因素(如降雨、地震等)时的起伏变化. 因而在利用气压系数变化过程提取地震异常时, 不能一概而论. 对每个动态观测井必须分析其具体变化特征. 从以上 5 口井的气压系数、相关系数变化特征看, 除震前相关系数(γ)的异常特征均表现为负异常外, γ 值的变化幅度及气压效率(b)的变化均无一定规律.

(2) 理论研究表明, 水位气压效率主要取决于含水层的孔隙度、含水层固体格架体压缩系数及含水层的导水系数^[5]. 在某些中强地震前区域应力场的调整变化导致含水层孔隙度、渗流条件、导水系数的变化, 使水位与气压的正常关系上迭加了新的关系,

(3)
$$\frac{\Delta H}{\Delta P} = \frac{1}{\rho g} \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) \quad (b), \quad (\gamma)$$

(4)
$$\frac{\Delta H}{\Delta P} = \frac{1}{\rho g} \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} + \frac{1}{\gamma} \right)$$

[1] 王德胜, 李树德, 李树德. 中国地震学[M]. 北京: 地质出版社, 1989.

[2] 王德胜, 李树德, 李树德. 中国地震学[M]. 北京: 地质出版社, 1988.

[3] 王德胜, 李树德, 李树德. 中国地震学[M]. 北京: 地质出版社, 1986, 6(2): 74—78.

[4] 王德胜, 李树德, 李树德. 1983 年菏泽 5. 9 级地震与深井水位的变化[J]. 地震地质, 1990, 13(1): 70—78.

[5] 王德胜, 李树德, 李树德. 中国地震学[M]. 北京: 地质出版社, 1988.

THE CHARACTERISTICS OF ANOMALOUS VARIATIONS ON BAROMETRIC PRESSURE
EFFICIENCY AND INTERRELATION COEFFICIENT OF GROUNDWATER LEVEL
IN DEEP WELLS BEFORE MODERATE AND STONG EARTHQUAKES

GENG Jie¹, ZHOU Bin², ZHANG Zhao-dong¹

(1. *Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250014, China*;
2. *Seismological Bureau of Dongying City, Dongying 257000, China*)

Abstract: The barometric pressure efficiency and interrelation coefficient of groundwater level in five deep wells are calculated by using high-order difference method and the best interrelation result between them is optimized. The anomalous variations on two curves are obtained before the Heze 5.9 earthquake in 1983 and Lulong 5.3 earthquake in 1982. The result indicats that anomalous information obtained from the method is feasible, and can be used as short-impending anomaly before moderate and strong earthquakes.

Key words: High-order difference; Barometric pressure efficiency; Interrelation coefficient; Short-impending anomaly

(上接 256 页)

[1] . [J] , , 1989 11(4): 411—423.

[2] , , . 3 次强震前地下流体异常及其形成与演化机理[J] . , 1999, 15(2): 139—151.

[3] . [M] . : , 1992. 175—191.

[4] . [C] . : , 1987.

[5] . [M] . : , 1981.

ANALYSIS ON THE INTERFERENCE FACTOR AND REFLECTING EARTHQUAKE
ABILITY OF RADON IN DEEP WELL GROUNDWATER

WANG Zhi-gao

(*Seismological Bureau of Dingxi Prefecture, Dingxi 743000, China*)

Abstract: The data of radon and other items of deep well groundwater in Qing 6 well, Yumen city and Jing 3 well, Jingchuan county, Gansu province, are processed by multiple regression, correlation and univatent difference analysis to remove interference factor. The results show that there are obvious anomalies in data of both wells before Sunan $M_S5.4$, Tuolai $M_S6.0$ and Lixian $M_S5.1$ earthquakes. The reflecting and predicting earthquake ability are evaluated.

Key words: Deep well; Radon in groundwater; Interference factor; Earthquake prediction