

朱鹏涛, 沈宁, 李自芮, 等. 西吉王民井数字化水位动态变化的影响因素分析[J]. 华南地震, 2020, 40(3): 55-62. [ZHU Pengtao, SHEN Ning, LI Zirui, et al. Analysis on the Influencing Factors of Dynamic Change of Digital Water Level of Wangmin Well in Xiji [J]. South China journal of seismology, 2020, 40(3): 55-62]

西吉王民井数字化水位动态变化的影响因素分析

朱鹏涛¹, 沈宁², 李自芮¹, 马禾青¹

(1. 宁夏回族自治区地震局, 银川 750001; 2. 宁夏回族自治区地震局银川基准台, 银川 750001)

摘要: 结合西吉王民井区域水文地质条件, 从气压、降雨、李马河水库等对水位的影响进行频谱分析、回归分析、降雨量对比分析。结果表明: 王民井水位变化主要受气压和降雨的影响; 李马河水库建成时间与水位下降趋势变缓时间一致, 对王民井水位动态变化可能产生影响, 且水库的建成可能使区域地下水达到一种新的动态平衡。

关键词: 水位; 影响因素; 西吉王民井

中图分类号: P315.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2020)03-0055-08

DOI: 10.13512/j.hndz.2020.03.08

Analysis on the Influencing Factors of Dynamic Change of Digital Water Level of Wangmin Well in Xiji

ZHU Pengtao¹, SHEN Ning², LI Zirui¹, MA Heqing¹

(1. Earthquake Agency of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China; 2. Yinchuan Reference Station, Earthquake Agency of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 75000, China)

Abstract: Based on the hydrogeological conditions of the Wangmin well area in Xiji and from air pressure, rainfall, Limahe Reservoir and other factors that affect the water level, this paper conducts spectrum analysis, regression analysis and rainfall comparison analysis. The results show that the water level changes of Wangmin well are mainly affected by air pressure and rainfall; the completion time of the Limahe Reservoir, which was built in the upper stream of the observation point in the second half of 2016, is consistent with the time when the water level decreased, which may affect the dynamic changes of water level of Wangmin well, and the completion of the reservoir may rebalance the regional groundwater dynamic.

Keywords: Water level; Influencing factors; Wangmin well in Xiji

收稿日期: 2019-06-01

基金项目: 中国地震局地震科技星火计划(XH19048); 宁夏自然科学基金(2020AAC03438); 宁夏地震科学基金(NX201802) 联合资助

作者简介: 朱鹏涛(1989-), 女, 本科, 工程师, 主要从事地震前兆观测与分析研究工作。

E-mail: zhupengtao0972@163.com

0 引言

地下水的基本特性是上地壳中广泛存在,具有流动性,对上地壳中发生的各种地壳动力作用的响应具有灵敏性,其动态对地震活动与构造活动的响应十分灵敏,同时受多种自然环境的影响也较大。因此,提高利用地下水动态预测地震的效能,必须不断强化地下水异常调查与落实的工作力度,力争事前能够识别和排除各种干扰异常,并对其前兆异常性质做出肯定的确认^[1]。首先,确定地下水的主要干扰因素,一般可分为两类,一类是通过含水层水量变化引起的水位变化(其主要因素是降雨和开采);另一类是含水层应力应变状态改变引起的水位变化,例如气压、固体潮、地面荷载、地震波等附加应力对含水层的影响^[2]。井水位观测一直被看作是用于地震预测、预报的有效手段之一^[3],在排除干扰异常之后,研究震例是确定地震前兆异常的重要手段,通过大量的震例表明在许多地震前可以观测到井水位的异常变化。因此,本文仔细分析研究西吉王民井水位的变化影响因素,期望研究成果对今后的地震预报有着重要的意义。

1 井孔基础资料

1.1 井周边水文地质条件

西吉王民井观测含水层为第三系向斜承压水,岩性为砂岩。由月亮山区的大气降水和基岩裂隙水补给。地下水补给源远,径流途径长,受地表水干扰小,沟谷地带一般为富水性地带。在观测井东侧有一隐伏断裂从区域穿过,且断错了中新统(N1)泥质砂岩与砂质泥岩和渐新统(E3)的泥岩等。

1.2 井孔基本情况

西吉王民井是宁夏地质局第二水文队于1982年9月16日在水文地质普查工作中建成的普查井。井层底深357.62 m,现有井深351.20

m,水位埋深10.16 m,套管直径127 mm,套管深度326.44 m,水温12.0℃。1984年成为地震水位观测专用井,架设SW40-1型水位自记仪观测,2007年6月对该观测仪器进行数字化改造,使用LN-3A水位仪和SZW-1A水温仪进行观测,配有气温、气压和降雨等辅助观测项目。水位探头投放深度为16.00 m;水温探头投放深度为180 m。同时安装了公用数字化通信设备、供电、避雷等系统。水位观测段位于井下225.50~324.80 m间,过滤管位于井下225.50~324.80 m间。周围10 km无其它水井抽水干扰,观测条件比较理想。

2 水位影响因素分析

2.1 水位对气压的响应

2.1.1 频谱分析

将时域信号变换至频域加以分析的方法称为频谱分析。频谱分析的目的是把复杂的时间历程波形,经过傅里叶变换分解为若干单一的谐波分量来研究,以获得信号的频率结构以及各谐波和相位信息。选取2008年数字化正式观测以来,王民井2个不同时段(2012年1月至3月、2017年1月至3月)的水位整点值数据,得到该井水位2时段的频谱结果(图1),通过频谱分析发现,引起王民水位变化的主要潮汐分波有M2波、S2波、O1波、K1波。其中,S2波和K1波由气压引起。

2.1.2 回归分析

(1) 线性回归分析

线性回归是利用称为线性回归方程的最小平方差函数对一个或多个自变量和因变量之间关系进行建模的一种回归分析。选枯水期两个月(2018年11月—12月)水位整点值作为因变量与气压做线性回归计算,从置信水平95%条件下的回归结果看,水位和气压存在明显的负相关,并得到相关系数 $R=-0.813$ (图2),从而得到气压对水位有一定的影响。

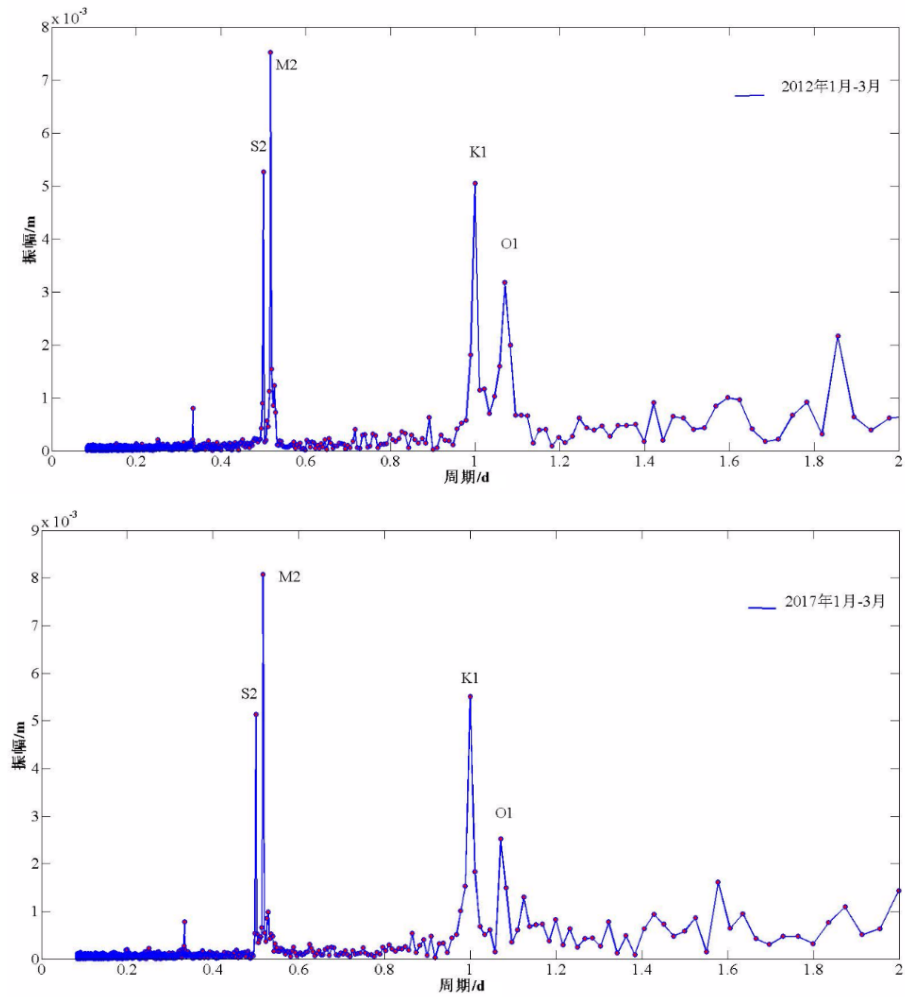


图1 王民井2时段内，原始水位的主要潮汐分波振幅谱

Fig.1 The main tidal partial wave amplitude spectrum of the original water level in the 2nd period of Wangmin well

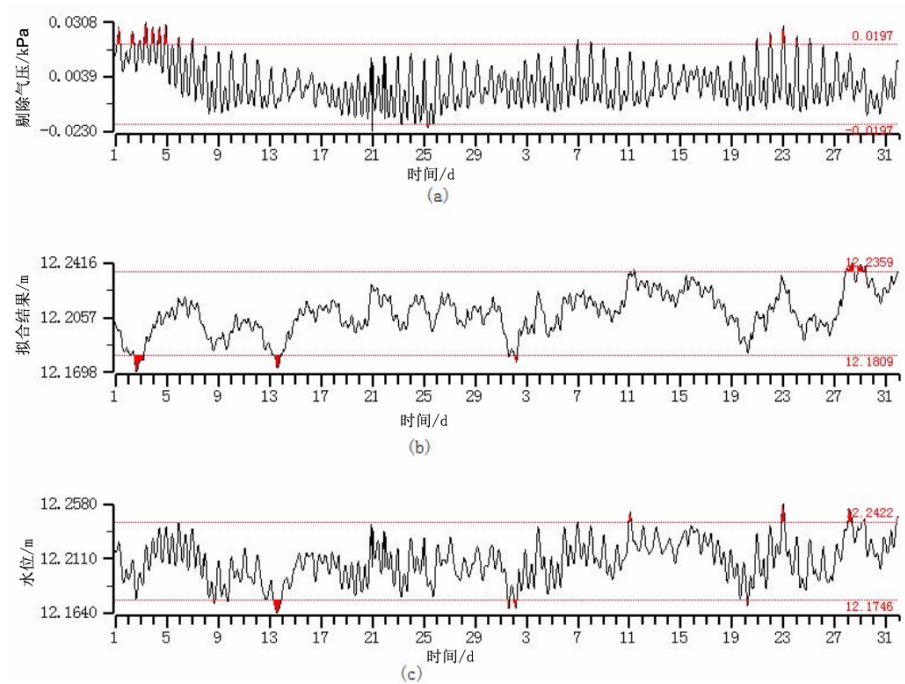


图2 2018年11—12月剔除气压(a)、拟合结果(b)及王民水位(c)对比曲线

Fig.2 Contrast curves of rejecting air pressure (a), fitting result (b) and Wangmin water level (c) from November to December in 2018

(2) 卷积回归分析

考虑水位与气压间的非线性关系及滞后时间的卷积回归法,已成为近年来气压校正的主要方法之一^[4-11]。该方法利用相对应的水位、气压数据来拟合阶跃响应函数的最佳值,再由该最佳阶跃响应函数对水位进行校正,最终计算出校正后的水位。

$$\begin{bmatrix} W_m^* \\ W_{m+1}^* \\ W_{m+2}^* \\ \vdots \\ W_n^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta B_1 & \Delta B_2 & \Delta B_3 & \dots & \Delta B_m \\ \Delta B_2 & \Delta B_3 & \Delta B_4 & \dots & \Delta B_{m+1} \\ \Delta B_3 & \Delta B_4 & \Delta B_5 & \dots & \Delta B_{m+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \Delta B_{n-m+1} & \Delta B_{n-m+2} & \Delta B_{n-m+3} & \dots & \Delta B_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, W_t^* 是 m 到 n 时间内每个观测值的校正量; m 是选择的最大滞后时间; n 是观测数据个数; α_m 为与最大滞后时间对应的气压单位脉冲响应函数。

选取 2018 年 12 月的水位整点值,通过两

井水位对气压的阶跃响应函数可表示为:

$$A(i) = \sum_{j=1}^i \alpha(j) \quad (1)$$

式中, $A(i)$ 为井水位对气压的阶跃响应函数,可由气压单位脉冲响应函数 $\alpha(i)$ 累加求和得到。

校正后的水位可表示为:

种方法(线性回归和卷积回归)进行气压校正对比,两种方法剔除气压之后的固体潮清晰,曲线变化形态一致(图 3),再次证实西吉王民井水位受气压影响。

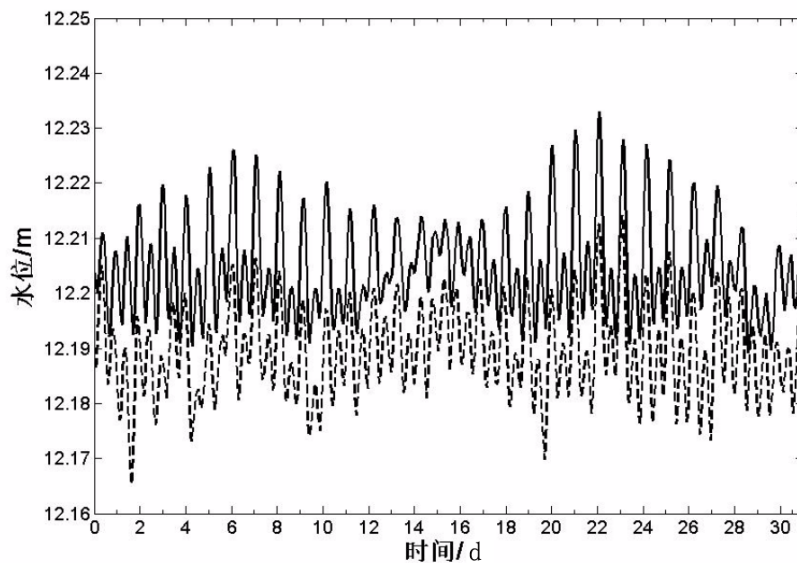


图 3 西吉王民两种方法剔除气压之后的水位对比图

Fig.3 Comparison of the water level of Wangmin well after removing the air pressure by the two methods (dotted line is convolution regression, solid line is linear regression)

2.2 水位对降雨的响应

西吉王民井水位数字化以来由于更换芯片,电瓶试验以及更换仪器产生多个台阶,选取 2013 年以来变化相对平稳的水位整点值进行分析。由于该井点的降雨辅助观测资料不全,故向宁夏气象局申请西吉县降雨量月值(表 1),分析西吉王民水位与降雨量之间的相关性。考虑到其他因素的影响,将原始水位进行去气压、

固体潮及趋势,用剩余水位与降雨量做对比分析,结果显示该井水位与区域降雨有关,降雨量增大时水位也上升(图 4)。进一步利用 2013 年以来西吉王民水位月均值与降雨量月值做线性回归分析,得到相关系数(见表 2),从表 2 可以得到在 2013 年、2017 年和 2018 年雨季降雨量比往年同期降雨量偏高的情况下,相关系数也相对较高。证实西吉王民水位的变化受降雨影响。

表 1 西吉县历年降雨月值
Table 1 Monthly rainfall value of Xiji County (according to Ningxia Meteorological Bureau)

年份	月份											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
往年历史数据	2.6	5.1	11.3	24.2	40.9	45.6	85.2	98.6	69.8	33.3	10.1	2.1
2012	1.6	2.8	17	17.3	46.1	73.6	60.4	71.7	70.7	8.1	5.2	3.4
2013	2.5	9.7	7.5	28.8	71.5	133.6	200.2	20.8	72.6	28.3	15.9	0.8
2014	1.6	7.6	9.6	73	12	121.2	51.4	75.9	127.9	48.5	13.9	1.1
2015	5.4	2.9	15.3	39.6	62.3	41.4	45.7	41	76.3	23.2	21.7	8
2016	1.7	6	16	15.1	63.3	31.6	49.6	31.1	30	52.6	1.5	2
2017	1.4	11.1	17	15.4	41	45.6	60.2	220.2	20.5	45	0	0.7
2018	7.3	6.2	6	23.5	62.1	88	180	167	67.9	7.2	20.5	0.7

表 2 西吉王民水位月均值与降雨量月值之间相关性统计
Table 2 Correlation statistics between the monthly mean value of the water level of Wangmin well and the monthly value of rainfall

年份	相关系数
2013	0.561
2014	0.414
2015	0.138
2016	0.137
2017	0.459
2018	0.705

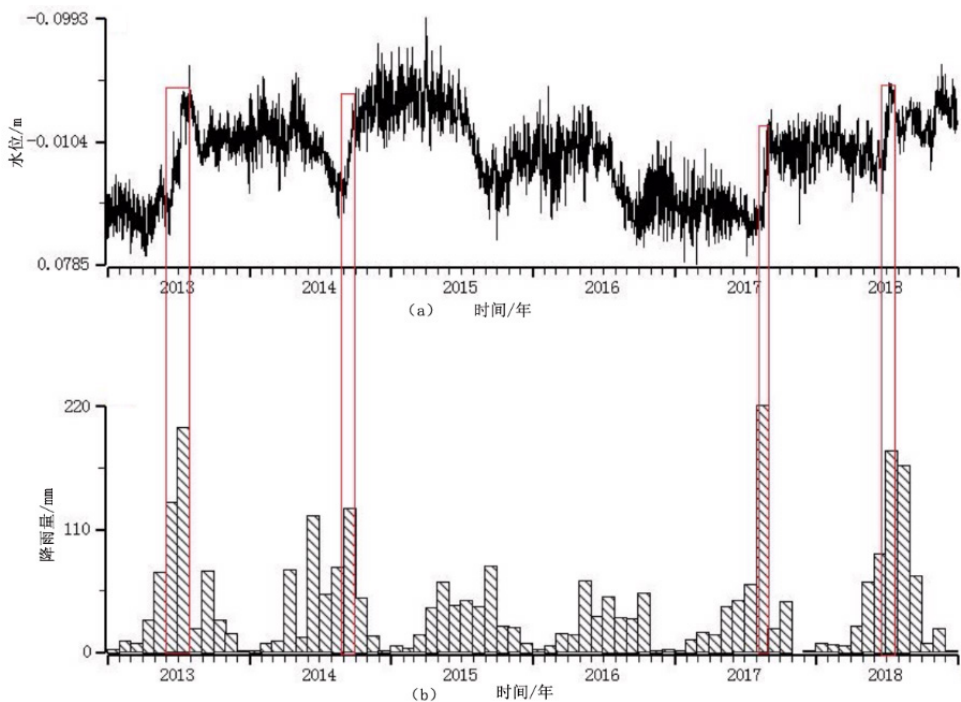


图 4 2013 年以来王民水位 (a)、降雨量 (b) 对比曲线
Fig.4 Comparison of Wangmin water level (a) and rainfall (b) since 2013

2.3 李马河水库对井水位的可能影响分析

2.3.1 水库基本情况

李马河水库于 2015 年下半年开建,2016 年下半年完工,位于西吉王民测点上游 1.2 km 处 (东经 106°31'39.9",北纬 35°55'03.6"),距西吉县城 50 km,距王民乡东 4.5 km。建设过程

中开始蓄水,总库容 628 万 m³,目前蓄水量 30 万 m³,主要用于农田灌溉。集水面积 54 km²,河道总长 60.6 km,河道平均比降 30.7%,流域跨越甘肃、宁夏两个省区,涉及甘肃省静宁县的原安乡和宁夏西吉县的王民、平峰乡,共计 8 个行政村 (原安乡的陈义村、关音村,王民乡

的王民村、三岔村、学杨村、平峰乡的金塘村、西坡村、张武村)。库区属黄土丘陵地貌单元。由于地壳运动及河流长期切割作用,使河谷形成“U”字型,两岸并形成相称的 I、II 级阶地,并有数条冲沟发育,岸坡较陡。第三系基岩强风化厚 2 m, 中等风化 3 m, 库区地形简单,临水面多形成陡坎。库区地处黄土丘陵地貌单元,第四系堆积物较厚,两岸山体高耸且宽厚,壤土属弱透水层。

2.3.2 区域地形及高程变化情况

王民井处于典型的黄土沟壑区域,冲积沟发育,井水位变化受季节降雨影响较大。在观测井 SW 方向的冲积沟内有 2016 年上半年完工的李马河水库(图 5 中的 AA 剖面),主要用于农田灌溉。值得注意的是,李马河水库所在的冲积沟(AA 剖面)越接近观测井,其海拔高度越低(也即王民井处于该冲积沟的下游),更有利于降雨及地表水的汇集。位于观测井北侧稍远的 BB 剖面,其海拔高度变化不明显,且整体要比西南侧的海拔高度低(图 6)。

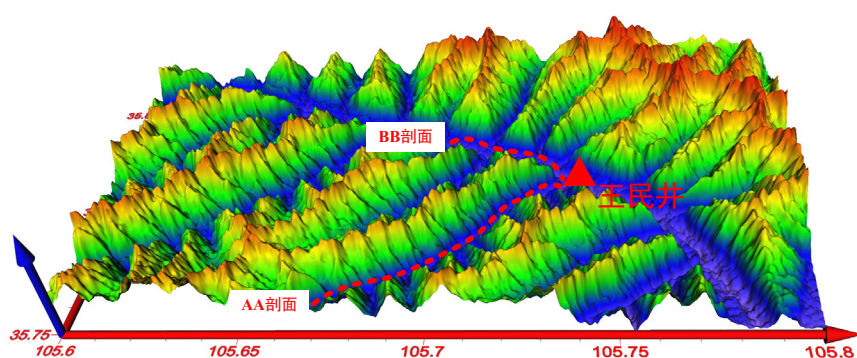


图 5 王民井周边地形及 AA 和 BB 剖面示意图

Fig.5 Schematic diagram of the surrounding terrain and AA and BB sections of Wangmin well

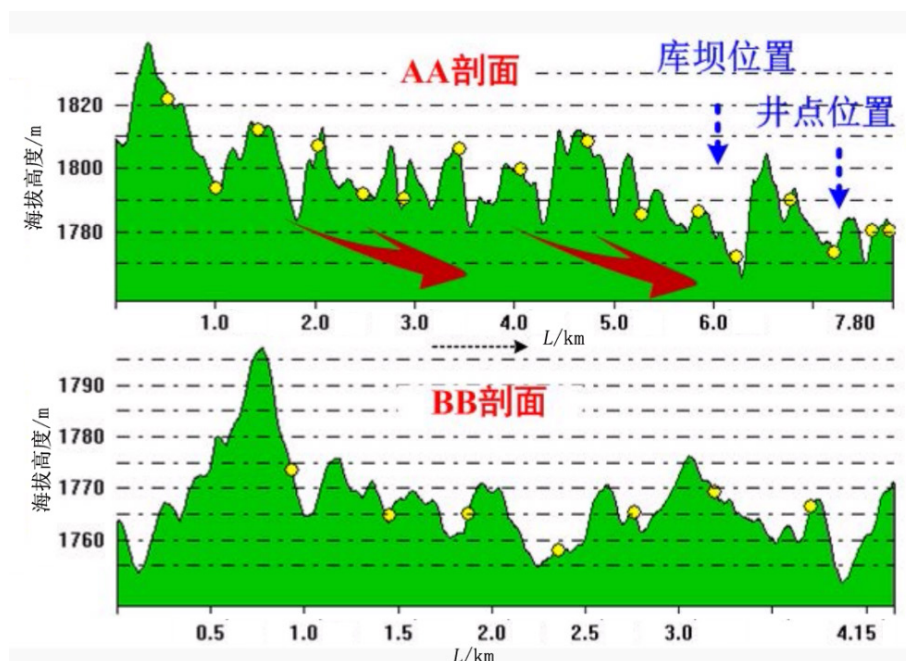


图 6 AA 和 BB 剖面海拔高度变化情况

Fig.6 Altitude changes of AA and BB profiles

结合区域水文地质条件,西吉王民井观测含水层为第三系向斜承压水,岩性为砂岩,由月亮山区的大气降水和基岩裂隙水补给。该井上游有利的地形条件和李马河水库的蓄水对井

水位动态变化可能产生很大影响。也即王民井水位自 2017 年年初出现的下降速率变缓现象与李马河水库的蓄水可能有很大关系。

3 震例分析

西吉王民井自观测以来，水位对发生在周边 300 km 范围内的地震有一定映震能力。1990 年 10 月 20 日和 2000 年 6 月 6 日先后在甘肃景泰地区发生的 M_s 5.9 级和 M_s 6.2 级地震前，均

出现了异常变化。两次地震前水位均出现明显的上升，在上升速率减缓转为下降的过程中发生地震，且异常持续时间较长，而此次该井水位自 2017 年年初至今出现下降速率减缓，并未出现明显的上升变化，与之前异常形态不一致（图 7、表 3），是地震前兆异常的可能性不大。

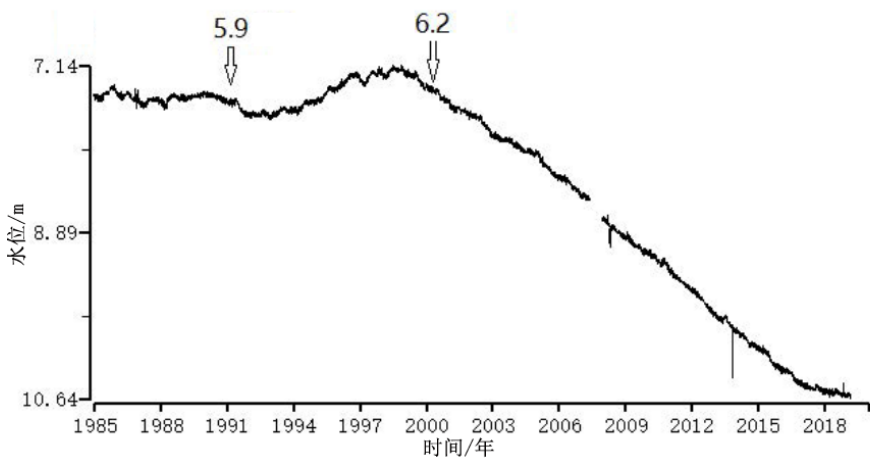


图 7 1985—2018 年西吉王民井水位月均值曲线
Fig.7 Curve of monthly average water level of Wangmin well in Xiji from 1985 to 2018

表 3 西吉王民井水位历史震例异常变化总结
Table 3 Summary of abnormal changes in the historical earthquake case of Wangmin well

地震	震前变化形态	持续时间 / 年	发震时间 / 年 - 月 - 日	距离震中位置 /km	震后变化形态
甘肃景泰 M_s 5.9	水位下降速率减小，之后出现明显上升趋势，且速率较大，之后上升速率减小，转为下降	3	1990-10-20	260	水位呈趋势性下降
甘肃景泰 M_s 6.2	水位出现明显的上升变化，之后上升速率减小，转为大幅度下降	6	2000-06-06	230	水位呈趋势性下降

4 结语

西吉王民井水位 2013 年以来处于下降变化，2017 年年初至今该井水位出现下降速率减缓的现象。本文利用频谱分析得到引起王民水位变化的潮汐分波主要有 M2 波、S2 波、O1 波、K1 波。其中，S2 波和 K1 波由气压引起。采用两种方法（卷积回归法和线性回归法）对水位进行气压校正，校正后的曲线变化形态一致。对水位和降雨量做线性回归分析，从结果可以得到，降雨量增多时相关系数增大。并且经过走访调查发现水位的变化与新建李马河水库蓄水有很大

关系，李马河水库建成后区域地下水可能达到一种新的动态平衡，但由于水库建成时间不长，蓄水资料积累较少，后续需密切关注李马河水库蓄水以及区域降雨对该井水位动态变化的影响。通过对西吉王民井水位的变化影响因素分析，得出以下结论：

- （1）气压和降雨是西吉王民井水位动态变化的主要影响因素。
- （2）西吉王民井水位 2017 年年初至今出现下降速率减缓的现象可能是李马河水库建成后区域地下水达到了一种新的动态平衡。

参考文献:

- [1] 车用太, 鱼金子, 刘成龙, 等. 判别地下水异常的干扰性与前兆性的原则及其应用实例 [J]. 地震学报, 2011, 33(6): 800-808.
- [2] 贾化周, 王信, 董守玉, 等. 地下水位主要干扰因素的识别与地震信息的提取 [J]. 地震地质, 1983, 5(4):15-24.
- [3] 付虹, 郭成栋, 赵小艳, 等. 云南开远井水位异常分析 [J]. 地震学报, 2014, 36(2): 292-298.
- [4] Toll N J, Rasmussen T C. Removal of barometric pressure effects and earth tides from observed water levels.[J]. Ground Water, 2007, 35 (6):1109-1120.
- [5] Rasmussen T C, Crawford L A. Identifying and Removing Barometric Pressure Effects in Confined and Unconfined Aquifers[J]. Groundwater, 2010, 35(3):502-511.
- [6] Darner R A, Sheets R A. Using Existing Data to Estimate Aquifer Properties, Great Lakes Region, USA[J]. Groundwater, 2012, 50(3):477-484.
- [7] 方慧娜. 利用地下水位气压效应反演汶川地震前后含水层参数的研究 [D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [8] 史浙明, 王广才. 承压含水层地下水位固体潮潮汐因子和相位滞后与汶川地震的关系 [J]. 中国科学: 地球科学, 2013(7):1132-1140.
- [9] 丁风和, 韩晓雷, 哈媛媛, 等. 承压井含水层孔隙度与固体骨架和水的体积压缩系数之间的关系 [J]. 地球科学 - 中国地质大学学报, 2015(7):1248-1253.
- [10] 丁风和, 戴勇, 宋慧英, 等. 大甸子井 - 含水层系统水文地质参数间的变化关系 [J]. 地震地质, 2015, 37(4):982-990.
- [11] 丁风和, 哈媛媛, 王勇, 等. 基于数字化水位的张渤带地区构造应力场时序特征分析 [J]. 地震, 2015, 35(2):133-138.