

孔凡亮, 邢喜民, 2020. 巴彦岱1号井静水位周期变化主要影响因素研究. 震灾防御技术, 15(3): 643—650. doi: 10.11899/zfy20200319

巴彦岱1号井静水位周期变化 主要影响因素研究¹

孔凡亮 邢喜民

(新疆工程学院数理学院, 乌鲁木齐 830023)

摘要 本文以巴彦岱1号井静水位为研究对象, 分别应用别尔采夫滤波、小波分析与相关分析等方法, 研究巴彦岱1号井静水位周期变化主要影响因素。分析结果表明, 巴彦岱1号井静水位在日波、半日波频段主要受固体潮的影响; 气压影响频段可能为64—256min、32—2048h(1—2个月周期的月波)2个频段, 年周期变化与气温变化具有较强的线性相关性。

关键词: 水位 相关系数 月波 散点图

引言

地下流体观测物理量明确, 观测方法简单直观, 能灵敏反映岩体微小应力、应变状态变化, 所观测的地震前兆信息十分丰富, 使地震地下流体成为地震监测预报中非常重要的学科, 在地震预报实践中取得了丰硕成果, 显示了良好前景(国家地震局预测预防司, 1997)。由于观测台站建立在地球表层, 会受各种因素的影响, 激励、调制出相应的周期性变化, 并被观测仪器记录, 因此观测值序列必然蕴含了多种物理、数学信息(中国地震局监测预报司, 2008)。应用一定数学理论方法, 定量估计观测序列包含的各种成分, 可加深对观测物理意义的理解, 评定台站观测环境、观测质量, 为准确识别震前异常奠定基础。

地下水位变化在一定程度上反映了岩层应力-应变状态、裂隙发育与串通、断层闭锁、蠕动和错动等(汪成民等, 1988)。因此地下水位异常变化已被用于地震监测预报, 并在短期预报中发挥了重要作用(魏焕等, 2001; 刘学领等, 2010; 叶碧文等, 2018; 陆丽娜等, 2019)。地下流体水位变化包含了多种非构造应力因素, 这些因素的干扰往往掩盖了由构造应力引起的水位异常变化。为排除干扰因素, 提取孕震信息, 有关学者对主要非构造应力对井水位的影响进行了大量研究工作, 如 Bredehoeft (1967) 利用气压效率计算了含水层水动力学参数; 魏焕等 (2003) 根据承压井水位气压效应, 将气压随机变化作为加载和卸载力源, 从理论上

1 基金项目 中国地震局科技星火计划 (XH19049); 中国地震局监测、预报、科研三结合课题项目 (CEA-JC/3JH-173103); 新疆工程学院科研项目 (2019xgy672112)

[收稿日期] 2019-08-07

[作者简介] 孔凡亮, 男, 生于1983年。硕士, 讲师。主要从事统计学方面的研究。E-mail: 616564513@qq.com

[通讯作者] 邢喜民, 男, 生于1980年。硕士, 高级工程师。主要从事定点形变数据分析方面的研究。E-mail: 442635690@qq.com

论证了可用气压的随机变化计算加卸载响应比; Neuzil (2003) 提出潮汐应变引起含水层孔压变化依赖于含水层剪切模量和荷载效率; 李利波等 (2017) 研究了降水量与水位的变化关系。本文选取伊宁市巴彦岱水位数据, 研究气压对静水位的影响及影响频段。

1 观测台站及观测系统概况

巴彦岱 1 号井位于伊犁哈萨克自治州伊宁市巴彦岱镇苏阿拉木图村, 台站坐标为 (81.28°E, 44.18°N), 高程 1062m。观测井北距伊犁河谷北缘断裂带最南的 1 条断裂约 5km, 井区内有走向 SW40°—50°、倾向 SE、倾向约 40°的小断裂通过, 井点位于该断裂东约 30m 处, 附近约 30m 处有河流通过。观测井原设计深度 300m, 井径 146mm, 无变径, 实际井深 296m。巴彦岱 1 号井水位、水温观测仪器为中国地震局地壳应力研究所研发的 DRSW-II 型水温水位综合观测仪, 该台站配置了 3 个不同深度的水温观测和 1 个通道的水位观测, 水位架设深度为 10m。

2 数据处理

巴彦岱 1 号井静水位于 2015 年 6 月 1 日开始观测, 2016 年 6 月—12 月数采故障, 导致数据无法采集。2017 年 1 月起数据稳定性较好。因此本文选取 2017 年 1 月 1 日至 2019 年 1 月 31 日静水位、气压、温度为研究对象。

2.1 数据趋势处理

巴彦岱 1 号井静水位既具有年周期变化特征, 又具有趋势上升变化特征 (图 1), 而气压、气温有年周期变化特征, 无趋势变化特征, 根据干扰成因相关性 (车用太等, 2011), 巴彦岱 1 号井静水位趋势性变化与气压、气温无关, 故选用 $y = -4.06655x + 0.00015$ 拟合将静水位趋势性变化剔除, 结果如图 2 (a) 所示。

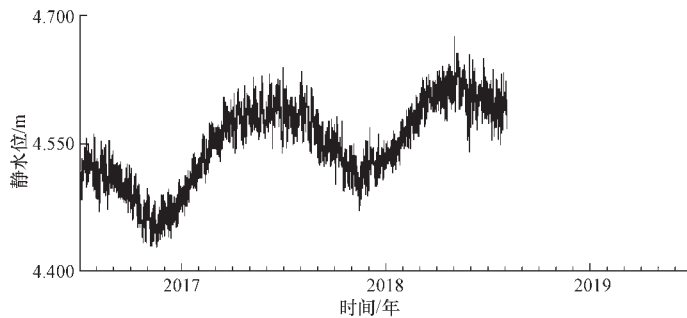


图 1 巴彦岱 1 号井静水位观测曲线图

Fig. 1 Static groundwater level curves of Bayandai well 1

2.2 滤波处理

本文首先利用别尔采夫滤波将巴彦岱 1 号井静水位、气压日波、半日波滤除, 然后利用一般多项式分段曲线拟合法 (张凌空等, 2008) 将周期在 1—2 个月内的月波滤除, 结果如图 2 所示。

分别计算相应周期静水位与气压、理论固体潮在各周期的相关系数, 结果见表 1, 并绘制散点图 (图 3)。

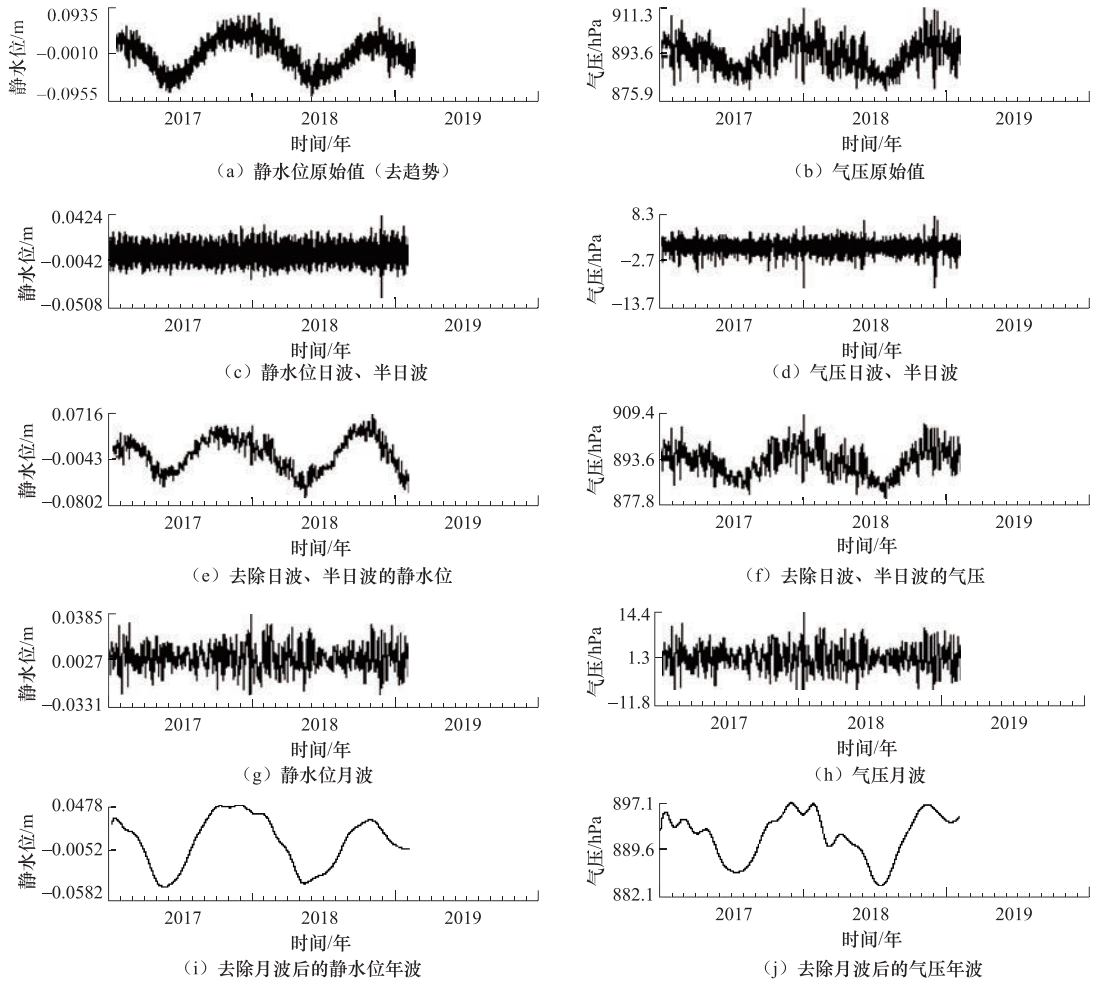


图 2 巴彦岱 1 号井静水位与气压观测曲线及主要周期成分

Fig. 2 Static groundwater level and pressure observation curves and main period components of Bayandai well 1

表 1 巴彦岱 1 号井静水位与气压、理论固体潮的相关系数

Table 1 Correlation coefficient of bayandai water level with air pressure and theoretical solid tide

数据分解周期	与气压相关系数	与理论固体潮相关系数
日波、半日波	0.445	-0.866
去除日波、半日波	0.506	0.0006
月波	0.963	0.0006
去除日波、半日波、月波	0.632	0.3320

由表 1、图 2、图 3 可知，巴彦岱 1 号井静水位在日波、半日波频段主要受固体潮的影响，而气压的影响主要在月波频段；去除日波、半日波后气压与静水位具有一定线性相关性；由去除日波、半日波、月波后静水位与气压的年波分析可知，静水位相位滞后气压约 45d。

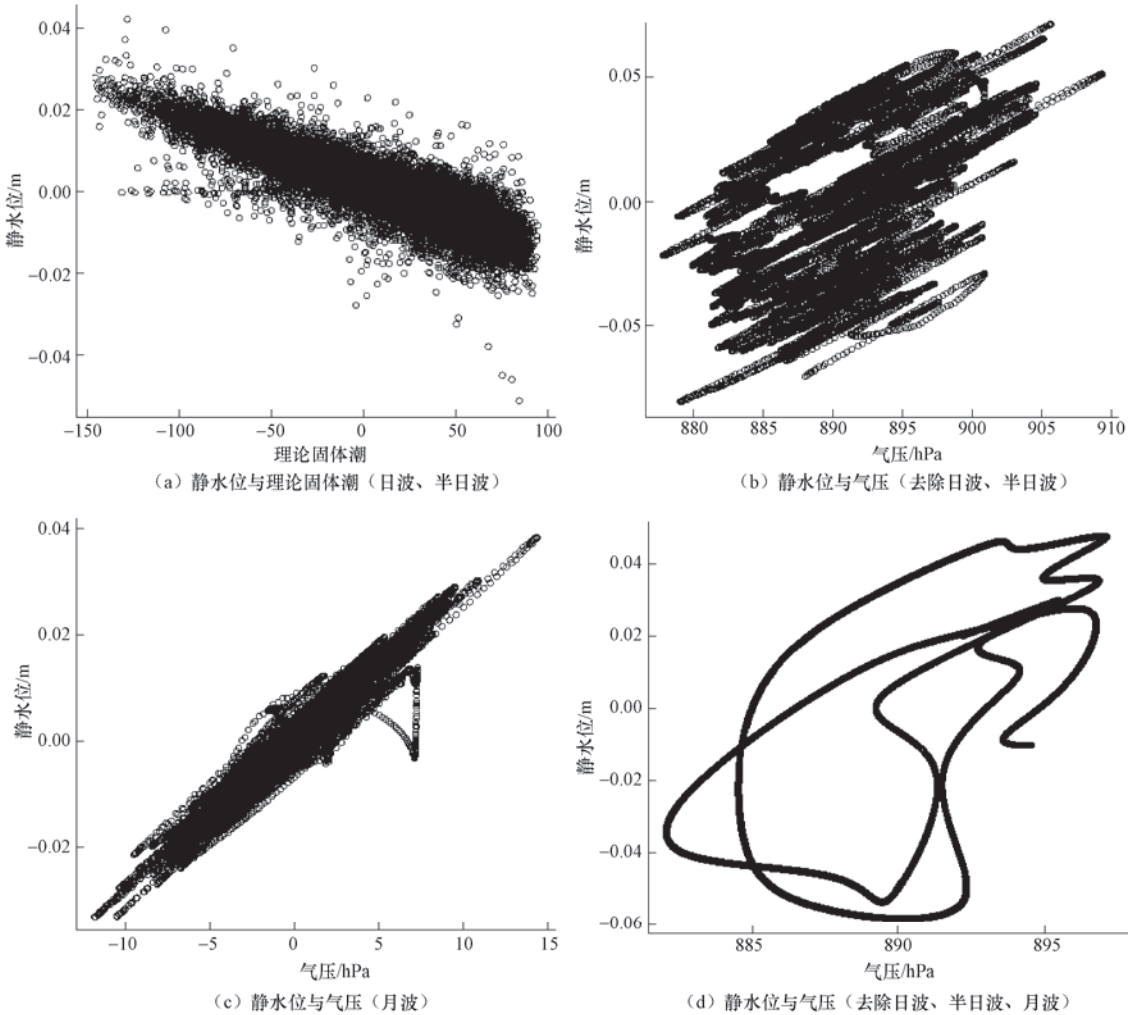


图 3 巴彦岱 1 号井静水位与气压、理论固体潮散点图

Fig. 3 The scatter diagram of the static water level, air pressure and the theoretical solid tide of bayandai

2.3 小波处理

原永东等(2017)基于小波分析研究水位观测气压效应,认为水位和气压存在 7.8—14.7h 的共振周期;晏锐等(2007)认为利用小波分解后的结果是在不同频率范围内计算各种系数,是以波动理论和振动理论为基础,较全频段上计算单一系数更精细,更具有明确的物理意义,更接近于实际情况,在分析气压波动的细节方面较一般回归分析方法更具优势;明成山等(2009)认为气压变化对地下水水位的影响具有普遍性,大气压力一方面通过井孔直接作用于水面上,另一方面通过上覆地层给含水层施加附加应力,气压发生变化时,在含水层孔隙压力和孔水柱压力间形成压力差,从而导致地下水在含水层和井孔间流动,引起水位升降变化。气压对水位的影响有 2 种方式,为研究 2 种方式影响周期,不失一般性,选取 2018 年 11 月—12 分钟值、2018 年时值静水位和气压数据,选用 db6 函数进行小波分析,并计算相同周期静水位与气压的相关系数,结果见表 2。

表 2 气压与静水位小波分析的各频段相关系数

Table 2 Correlation coefficients of air pressure and static groundwater level wavelet analysis in each frequency band

2018 年 11 月—12 月分钟值			2018 年时值		
周期		相关系数	周期		相关系数
2—4min	—	0.0072	2—4h	—	0.656
4—8min	—	0.051	4—8h	—	0.397
8—16min	—	0.100	8—16h	—	0.295
16—32min	—	0.233	16—32h	—	0.424
32—64min	—	0.449	32—64h	1.33—2.67d	0.943
64—128min	1.07—2.13h	0.825	64—128h	2.67—5.33d	0.990
128—256min	2.13—4.27h	0.930	128—256h	5.33—10.67d	0.986
256—512min	—	0.477	256—512h	10.67—21.33d	0.977
512—1024min	—	0.372	512—1024h	21.33—42.67d	0.948
1024—2048min	—	0.607	1024—2048h	42.67—85.33d	0.892
2048—4096min	34.13—68.27h	0.987	2048—4096h	—	0.577
4096—8192min	68.27—136.53h	0.989	4096—8192h	—	0.030
8192—16384min	136.53—273.07h	0.974	8192—16384h	—	0.991
16384—32768min	273.07—546.13h	0.979	—	—	—
32768—65536min	546.13—1092.27h	0.952	—	—	—

小波分析结果表明,气压对静水位的影响频段可能有 64—256min、32—2048h 和年周期。由前文分析可知,静水位相位滞后气压约 45d,气压对静水位的影响实际是力的作用,根据干扰成因相关性,如果静水位年周期变化滞后气压 45d,那么其他频段也应有相应的滞后周期,因此静水位年周期变化可能不是受气压的影响。为此,研究巴彦岱 1 号井静水位年周期变化可能影响因素。

2.4 温度影响

去趋势后的巴彦岱 1 号井静水位与气温相关系数为 0.825,且相位滞后约 105d。可用 $y=0.038x-0.033$ 定量剔除气温对静水位的影响,得到回归残差曲线(图 4)。由图 4 可知,巴彦岱 1 号井静水位年变形态基本消失,认为静水位年周期变化可能与气温具有较强的相关性。

综上所述,巴彦岱 1 号井静水位在日波、半日波频段主要受固体潮的影响;气压的影响频段可能为 64—256min、32—2048h(1—2 个月周期的月波)2 个频段,年周期变化与气温具有较高的相关性。

3 分析探讨

地下水有在第 1 个稳定隔水层之上的潜水和在上下 2 个稳定隔水层之间的承压水 2 种埋藏类型。结合本文关于巴彦岱 1 号井静水位与气压的相关研究结果、测井情况及地下流体地震预报方法(国家地震局预测预防司,1997)的相关描述,笔者认为巴彦岱 1 号井静水位为

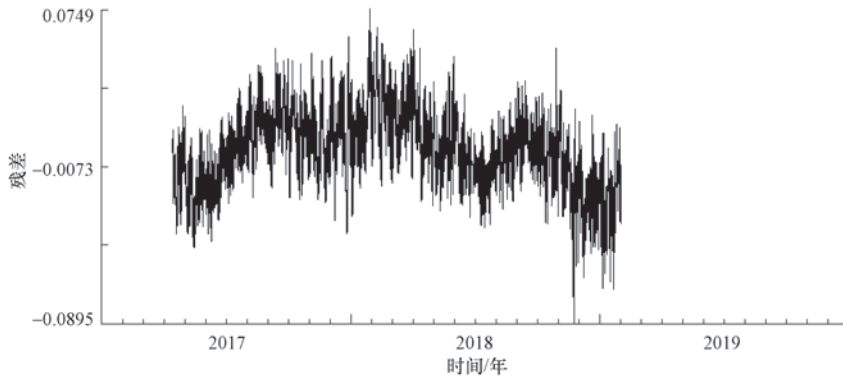


图4 巴彦岱1号井静水位与气温拟合残差曲线

Fig. 4 Bayandai's static water level and temperature fitting residual curve

承压水。潜水和承压水除埋藏条件不同外,还有一定区别。潜水补给主要为当地大气降水和部分河湖水,承压水则依靠大气降水与河湖水通过潜水补给,且仅在含水层出露于地表,或在与地表连通处获得补给(图5)。大气降水为地下水主要来源,因降水具有准年周期波动,故地下水位也呈现周期性动态变化(金菊良等,2000)。我国处于暖温带,夏季受来自海洋的湿润气流影响,降水丰沛,冬季受来自大陆的干燥空气影响,降水少,即夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。而伊犁地区冬季寒冷,降水主要以雪的形式,只有温度升高,冰雪融化才可能向下渗透,对地下水进行补给,因此静水位年周期变化与气温具有较强关系,而二者的相位滞后可能与该地区土壤渗透性及承压井与补给区的距离有关。

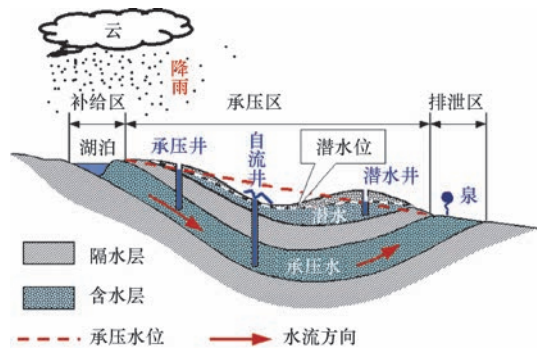


图5 降水补给潜水、承压水示意图

Fig. 5 Schematic diagram of precipitation recharge phreatic water and confined water

4 结论

本文首先利用别尔采夫滤波滤除巴彦岱1号井静水位日波、半日波;然后利用一般多项式分段拟合,将1—2个月内的月波分离,进一步选取分钟值数据进行小波分析,并对气温、气压进行相同的数据处理;最后利用相关性分析静水位主要周期影响因素,分析结果如下:

- (1) 静水位趋势性变化与气压、气温无关;
- (2) 静水位在日波、半日波频段主要受固体潮的影响;
- (3) 气压对静水位的影响频段可能为 64—256min、32—2048h (1—2 个月周期的月波) 2 个频段;
- (4) 静水位年周期变化与气温具有较强的相关性,相位滞后约 105d,这可能是因为夏季降水丰沛,冬季降水少且为冰雪形式,需温度升高融化后向下渗透补给地下水;
- (5) 静水位与固体潮、气压、气温之间呈线性关系。

参考文献

- 车用太, 鱼金子, 刘成龙等, 2011. 判别地下水异常的干扰性与前兆性的原则及其应用实例. 地震学报, **33** (6): 800—808.
- 国家地震局预测预防司, 1997. 地下流体地震预报方法. 北京: 地震出版社.
- 金菊良, 杨晓华, 金保明等, 2000. 具有周期变化和下降趋势的地下水位的预测. 水利水运科学研究, (3): 53—57.
- 李利波, 张立, 毛慧玲等, 2017. 滇南地区降雨量与水位变化的关系——以澄江井、建水井为例. 震灾防御技术, **12** (1): 230—239.
- 刘学领, 马建英, 邵永新, 2010. 天津地区井水位气压系数变化与地震关系的探讨. 地震地磁观测与研究, **31** (3): 77—82.
- 陆丽娜, 李静, 薛红盼等, 2019. 赵各庄井地下流体的映震响应. 震灾防御技术, **14** (1): 174—190.
- 明成山, 纪延辉, 查楠等, 2009. 地下流体水位观测地震前兆机理研究. 东北地震研究, **25** (2): 41—50.
- 汪成民, 车用太, 万迪堃等, 1988. 地下水微动态研究. 北京: 地震出版社.
- 魏焕, 张昭栋, 耿杰等, 2001. 水位随机气压效率的地震前兆异常研究. 地震研究, **24** (1): 88—91.
- 魏焕, 张昭栋, 耿杰等, 2003. 井水位气压加卸载响应比. 西北地震学报, **25** (1): 82—85.
- 晏锐, 黄辅琼, 陈颀, 2007. 小波分析在井水位的气压和潮汐改正中的应用. 中国地震, **23** (2): 204—210.
- 叶碧文, 王维, 缪阿丽等, 2018. 江苏苏 05 井、苏 06 井水温近年来典型异常特征分析及其机理讨论. 震灾防御技术, **13** (1): 125—137.
- 原永东, 周锐, 莫佩婵等, 2017. 基于小波分析的水位观测气压效应研究. 地震, **37** (4): 162—172.
- 张凌空, 牛安福, 2008. 不同周期气压波对钻孔体应变仪观测结果的影响. 中国地震, **24** (4): 415—421.
- 中国地震局监测预报司, 2008. 地形变测量. 北京: 地震出版社.
- Bredehoeft J. D., 1967. Response of well-aquifer systems to Earth tides. *Journal of Geophysical Research*, **72** (12): 3075—3087.
- Neuzil C. E., 2003. Hydromechanical coupling in geologic processes. *Hydrogeology Journal*, **11** (1): 41—83.

Exploring the Factors Affecting the Main Cycle of the Static Water Level in Bayandai Well 1

Kong Fanliang and Xing Ximin

(Xinjiang Institute of Engineering , Urumqi 830023, China)

Abstract In this paper, the static groundwater level of Bayandai 1 well is selected as the research object, and the influence factors of its main Period are studied by using Bertsev filter, wavelet analysis and correlation analysis respectively. The analysis results show that Bayandai static groundwater level is mainly affected by the solid tide in the daily and semi-daily wave bands. The influence frequency bands of atmospheric pressure on Bayandai water level may be 64-256min and 32-2048h (1-2 lunar periodicity monthly waves). The main influence factor of annual Period change may be air temperature.

Key words: Water level; Correlation coefficient; Monthly wave; Scatter diagram