

周坤隆, 翁钊强, 章鑫, 等. 粤东东山湖 7 号井物化性质长趋势背景回溯分析[J]. 华南地震, 2018, 38(S1): 94–100. [ZHOU Kunlong, WENG Zhaoqiang, ZHANG Xin. Long Term Trend Background Analysis of Physicochemical Properties of Groundwater in Dongshanhu Area [J]. South China journal of seismology, 2018, 38(S1): 94–100]

粤东东山湖 7 号井物化性质长趋势背景回溯分析

周坤隆, 翁钊强, 章 鑫, 洪千盛, 庄映辉, 柯璟

(广东省地震局, 广州 510070)

摘要: 回顾了 1986—2015 年汕头东山湖 7 号井地下水物化性质长趋势变化, 重新核实本区域 30 年尺度的采样点异常变化情况。对于数据波动较大的 2003—2006 年段, 查阅了原始采样及数据测试记录; 此外获取了邻近的新丰江台和漳州台、泉州台数据, 以对比分析该阶段的变化特点。采用傅里叶频谱及小波能谱分析法, 据此初步地认识到在 16~64 d 周期范围内可能包含部分孕震前兆信息, 其他频段受干扰较大。该分析对了解含水层特性和探索地下流体在地震的作用, 以及对于利用地下流体观测开展地震预测研究具有一定的参考价值。

关键词: 东山湖地区; 地下流体; 水氡; 水质

中图分类号: P315.723 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-8662(2018)S1-0094-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.S1.015

Long Term Trend Background Analysis of Physicochemical Properties of Groundwater in Dongshanhu Area

ZHOU Kunlong, WENG Zhaoqiang, ZHANG Xin,

HONG Qiansheng, ZHUANG Yinghui, KE Jing

(Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China)

Abstract: This paper reviews the long term trend of physicochemical properties of groundwater in No. 7 well of Dongshanhu in Shantou seismic station, during 1986 and 2015, and verifies the abnormal changes of this sampling points in the 30 year scale of the region. For the paragraph during 2003 and 2006 with large fluctuations, these raw sampling and data test records are reviewed, in addition, the paper obtains the data of Xinfengjiang, Zhangzhou and Quanzhou stations to comparatively analysis the characteristics of these stage changes. This paper initially realized that there may be some parts of earthquake precursory information in the period of 16~64 days range by fourier spectrum and wavelet energy spectrum analysis method, which is not seen in other frequency bands because of greater interference. This analysis is helpful to understand aquifer characteristics and explore the role of underground fluid in earthquake, and it has some reference value for earthquake prediction research by using underground fluid observation.

Keywords: Dongshanhu area; Groundwater; Water radon; Hydrochemical properties

收稿日期: 2018-03-28

基金项目: 中国地震局监测、预测、科研三结合课题(CEA-JC/3JH-172003)资助

作者简介: 周坤隆(1975-), 男, 助理工程师, 主要从事地震观测与研究。

E-mail: zhangxin_suxin@163.com.

0 引言

地下水与地壳的固体介质发生相互作用表现出十分活跃的物理化学性质,同时地下流体在地壳运动及地震过程中具有独特的作用和表现,对构造活动与地震过程具有灵敏的信息响应。地震地下水物化性质观测是以捕捉地震活动信息为目的的浅层地壳流体观测手段^[1]。但连续观测不仅观测到与地震活动有关的信息,而且还含有许多非地震方面的信息,比如大气降水、降雪和其他荷载作用以及抽水、注水都会使井水位及其物化性质发生显著变化。研究地震地下水物化性质动态中存在的长趋势影响因素,对于识别与提取地震前兆信息及认识含水层特性都是至关重要的。

在粤东地区地下水物化性质映地震方面,叶秀薇等^[2-3]开展了大量的研究工作,对1994年台湾海峡7.3级地震前后观测到的地下流体异常变化进行了分析;此外,通过计算粤东闽南地区地下流体月异常频次叠加值,发现1988—2000年粤闽两省及其沿海发生中强地震前地下流体月频次叠加值均出现异常。吴泽文等^[4]对潮州台的水质观测进行分析,发现了在距台250 km范围内发生的中强地震前,除Cl⁻外,其余测项均观测到短期异常变化。徐起浩等^[5-6]对两次新丰江4级以上地震分析中,也论述了区域地下流体异常的效应。此外,郑小菁等^[7]分析了邻近的附件地区的地下流体映震异常情况,杨马陵等^[8]对1999年河源2次4~5级地震的地下流体中短期异常进行了讨论。

上述研究表明粤东地区的地下流体观测具有一定的映震效果,但实际观测中较多的非震背景化需要重视和排除。本文利用汕头地震台地下流体30年来的观测数据,分析了地震地下流体观测的物理基础和观测中存在的几种影响因素,希望在利用地震地下流体观测资料获取与中强地震活动之间的关系时,应充分认识这些因素的影响。这对了解含水层特性和探索地下流体在地震孕育与发生过程中的作用,利用地下流体观测对该区域地震预测研究具有一定的参考价值。

1 数据背景和处理方法

1.1 数据背景

汕头地震台位于汕头市西北郊桑浦山下,樟林—汕头北东向断裂与玉窖—下莲、东山湖、椎栋山、榕江等一组西北向断裂及蓬洲东西向断裂

之交汇处,地理坐标为东经116°38′,北纬23°25′,海拔高度15 m。汕头台东山湖7号井地处东南沿海地震带的西南端,地质构造复杂,隶属汕头—惠来深断裂带,地震活动频繁,观测取水观测井为高温自流井,成井水温102℃。汕头台水氡、水质系模拟观测,每天定时到观测井采样回台分析,观测仪器为FD-105K测氡仪,电导率仪,PHS-3C酸度计。仪器性能稳定,测氡仪,电导率仪采用定期标定(检查)仪器,PHS-3C酸度计每次使用时用标准缓冲溶液校正仪器。

氡是地震水文地球化学研究得最充分的一种元素,它是放射性元素铀、钍衰变的中间产物,属于惰性气体。氡以不同的含量广泛分布在岩石和水中,并按照气体运动的规律由分压力高的地方向分压力低的地方,由射气浓度高的地方向射气浓度低的地方移动。Cl⁻是地下水中的主要离子成分,分布范围广,但其含量变化范围大,在含盐量较高的地下水中,Cl⁻占优势。Cl⁻主要来源于岩石中的含氯矿物,氯化物的溶解或由海水下渗入地下水中。Cl⁻还有可能来自深部,是地幔脱气过程中的产物,因此氯的变化有可能反映深部组分地震前兆变化的信息。地下水的电导率是水的矿化度、离子的成分、温度等因素有关的一个综合指标,一般来说的电导率与七种常量离子组分的关系最大。地下水pH值的大小,取决于碳酸平衡时各种存在形式之间的比例关系,取决于有机酸、气体、微生物的存在以及各种盐类的水样等。

1.2 小波分析方法

小波变换是继承和发展了短时傅立叶变换局部化的思想,同时又克服了窗口大小不随频率变化等缺点,能够提供一个随频率改变的“时间-频率”窗口,是进行信号时频分析和处理的理想工具。它的主要特点是通过变换能够充分突出某些方面的特征,能对时间(空间)频率进行局部化分析,通过伸缩平移运算对信号(函数)逐步进行多尺度细化,最终达到高频处时间细分,低频处频率细分,能自动适应时频信号分析的要求,从而可聚焦到信号的任意细节。有限时间序列的小波变换定义为如下积分形式:

$$W_{\psi}f(a,b)=\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\psi_{a,b}^{*}(t)dt \quad (1)$$

(1)式中,*表示对 $\psi_{a,b}(t)$ 取复共轭, a 是尺度伸缩因子, b 是时间平移参数, $W_{\psi}f(a,b)$ 表示经小波变换后的小波系数。常用的复值MORLET小

波在频率域为:

$$\psi(\omega) = \pi^{-1/4} e^{-(\omega-\omega_0)^2/2} \quad (2)$$

在 $\omega_0 \geq 5$ 时, 上式近似满足容许条件, 将 ω_0 值取为 6。 $\psi(t)$ 和 $W_\psi f(a, b)$ 是复数, 通常用振幅的平方 $|W_\psi f(a, b)|^2$ 来绘制小波能谱图。小波能谱可在时间域得到信号各频谱成分随时间的变化。本文中除了应用小波能谱方法处理观测数据外, 还应用了各频段能谱的 $R_w(a, b) = |W_\psi f(a, b)|^2 / \overline{W}(a, b)$ 相对变化方法。其中 $\overline{W}(a, b) = \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} |W_\psi f(a, b)|^2$ 是全局小波能谱, 表示在整个时间内将小波能谱对时间取平均; N 表示数据长度。

2 结果及分析

2.1 水氡序列分析

图 1 为东山湖 7 号井水氡 30 年日值序列图, 时间从 1986 年至 2015 年底。30 年间数据出现几次大的波动, 尤其 1987 年中旬以及 2003 年底至 2005 年最为显著, 曲线出现几十 Bq/L 的变化, 而 2003 年底则出现约 200 Bq/L 的波动, 个别时段甚至超过 250 Bq/L。如此大幅度变化不太可能是水化学本身性质变化, 经了解由于更换采样井以及周边发生大面积施工等的影响, 该原因也适用于 2015 年初更换采样井导致曲线阶变抬升。

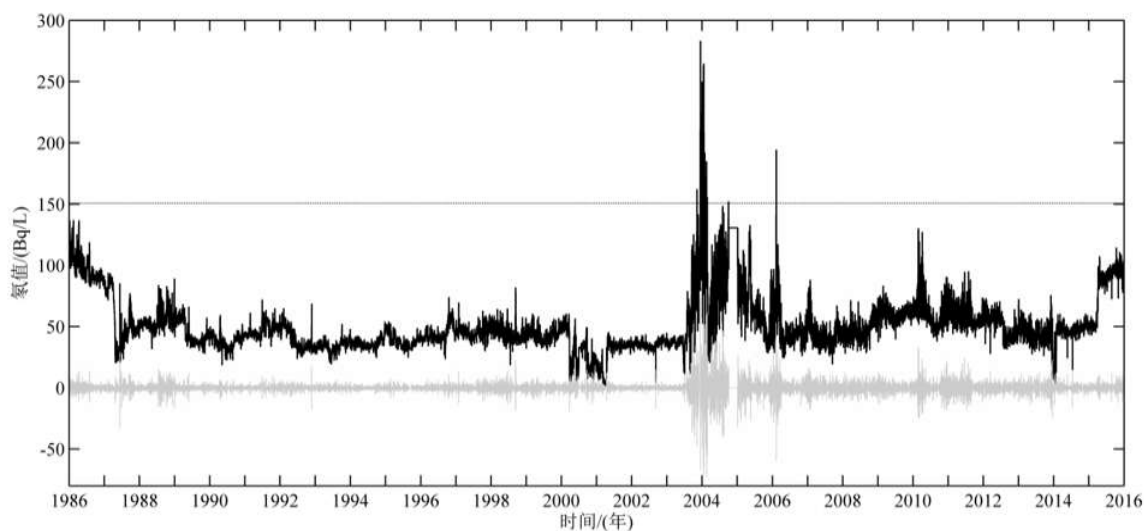


图 1 1986—2015 年汕头台水氡日值

Fig.1 Daily value of Donshanhu water radon in Shantou station in from 1986 to 2015

图 1 中浅色线为日值曲线的一阶差分, 可显示氡值曲线的变化程度, 图示 2004 年前后出现较大的变化量。此外, 在数据曲线变化大的地方也显示出较大的变化量。

若仅是采样取水点变动, 导致了持续 3 年的水氡日值大幅度波动, 可能是难以理解的。为了认识 2003—2006 年时段的东山水氡日值变化情况是否孤立, 本文获取了 2003 年 6 月 1 日至 2006 年 6 月 1 日周边新丰江台、泉州和漳州台水氡日值, 其测值原始曲线如图 2 所示。在 2004 年前后 2 月, 除新丰江台曲线相对稳定以外, 汕头和漳州台均具有明显的上升趋势, 而泉州台则具有明显的突降趋势, 与汕头台的突然上升相对应。不仅如此, 在 2006 年 1~5 月的氡值曲线上, 汕头台具有一个 1 月上升→2~4 月波动较大→5 月下降的过程; 相应地, 该时段泉州台具有一个 1 月下降→

2~4 月波动较大→5 月上升的过程, 两个台站的氡值曲线变化趋势大致相反, 漳州台也具有与泉州台类似的变化趋势。

基于此, 我们把汕头台和泉州台该时段的小波能谱显示在图 3 中, 在 2003 年 6 月 1 日起的 100~300 d 内, 两台的小波能谱极为相似, 128 天周期以上的能量最强, 且也具有 16 d 以下的周期能量。

2.2 频谱特点

上述分析均是从时域中对原始数据曲线进行直观的认识, 因此对于更换采样点等原因造成的测值突变尤其显眼, 从而可能压制了部分较长趋势的规律性特点。那么在此需要避开测值突变带来的障碍, 从宏观上认识整个 30 年的变化趋势, 通过 FFT 变换, 把 30 年水氡日值 FFT 频谱绘制于图 4 中。

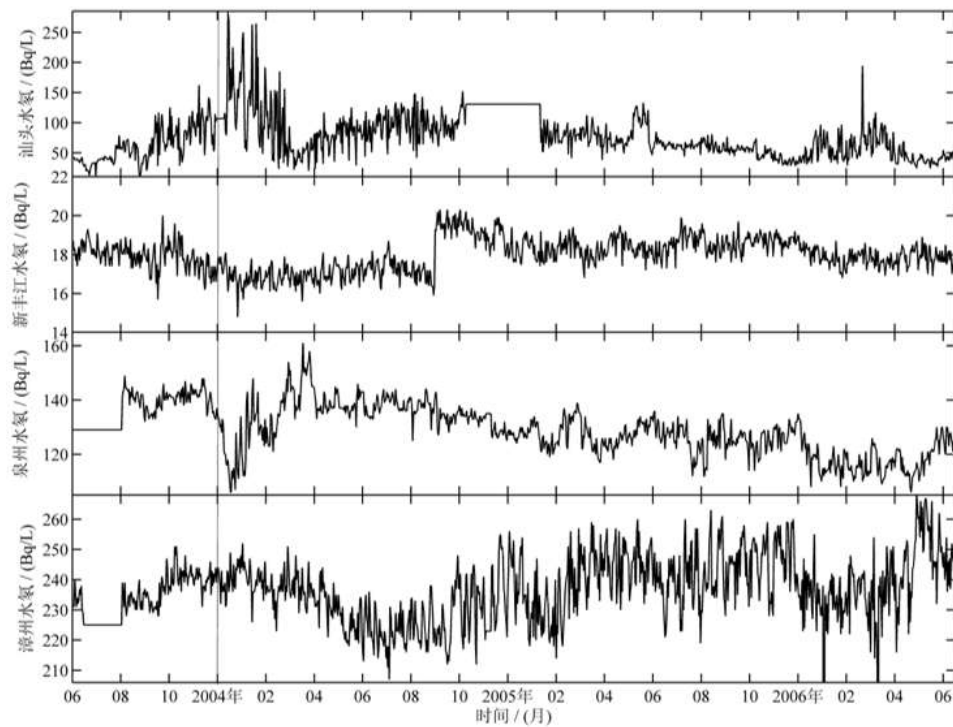


图2 东山湖邻近台站同时段水氡日值曲线对比

Fig.2 Comparison of daily value curve of water radon in adjacent stations of Dongshanhu area

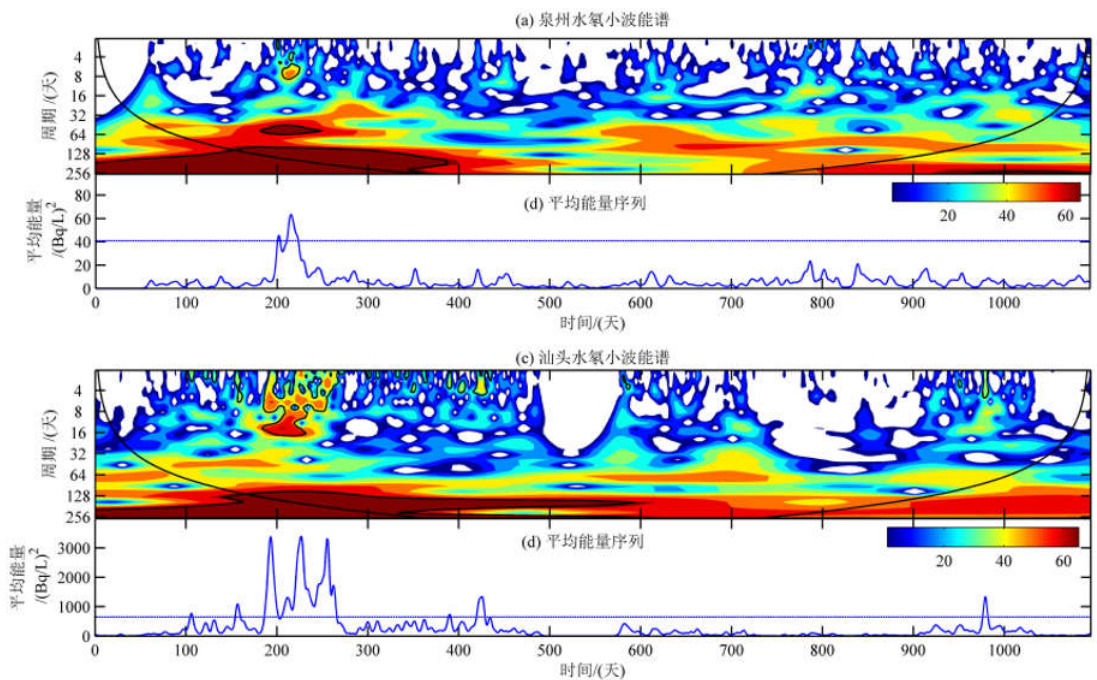


图3 泉州台(a~b)及汕头台(c~d)2003—2006年日值小波能谱

Fig.3 Daily value wavelet energy spectrum of Quanzhou station (a~b) and Shantou station (c~d) in from 2003 to 2006

由于采样率为1 d,那么由于奈奎斯特关系,最低周期12 h。30年来的长时段数据并未出现能量特别集中的频段,在幅度未取对数时,第一个高能量频率为 5.397×10^{-9} Hz,对应周期约为2 145 d;第二个高能量频率为 3.238×10^{-8} Hz,对应周期约为357.4 d,接近一年。第一个高能量频率对应周期接近6

年,相对于30年来说,近6年的周期并无特殊的事件与之对应,目前尚未发现与近6年周期相适应的水氡值变化的报道。第二个近1年周期的高能频率,可能与季节变化相关。广东沿海有其特定的年变化气候特点,冬季和早春季降雨稀少,天气相对干燥,水氡的取样流量减小,而温泉水的取样温度稳定;

晚春回潮,水氡观测对湿度的要求较高,回潮天气对观测仪器的稳定性造成一定影响;夏秋季节多台

风,降雨集中,取样流量较大,而且大量降雨渗入可能会降低取样的温度和温泉水的氡浓度。

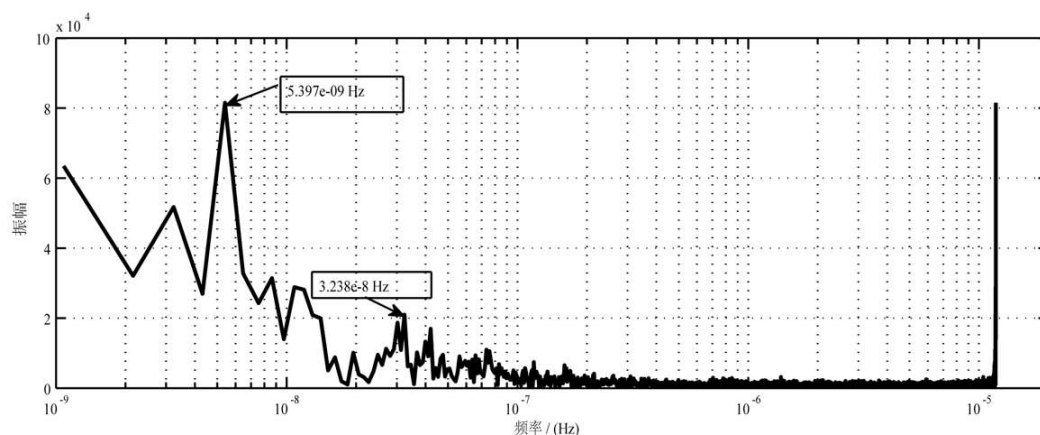


图4 东山湖7号井30年水氡日值频谱

Fig.4 Daily value spectrum of water radon in Dongshanhu No 7 well in the past 30 years

对30年来的水氡日值进行6阶小波分解(图5),除 a_6 为逼近系数外,其余为1~6阶细节,其能量特征与取水点的异常对应。尤其是频率较低的4~6阶,各阶的能量变化与原始曲线走势相似,这可能反映了利用原始曲线或者高阶小波分析来判断地震孕震异常情况时,必须考虑排除取水点

异常导致的长趋势变化。对于低阶的1~3阶,频率较高,显示出的细节与取水点异常不完全一致,可能反映了某些与孕震有关的前兆。因此,可能考虑使用合适高通滤波方法来分析类似的数据。此外,取水点异常也可以考虑使用多点平滑方式处理后再进行小波分析,效果可能会有所改善。

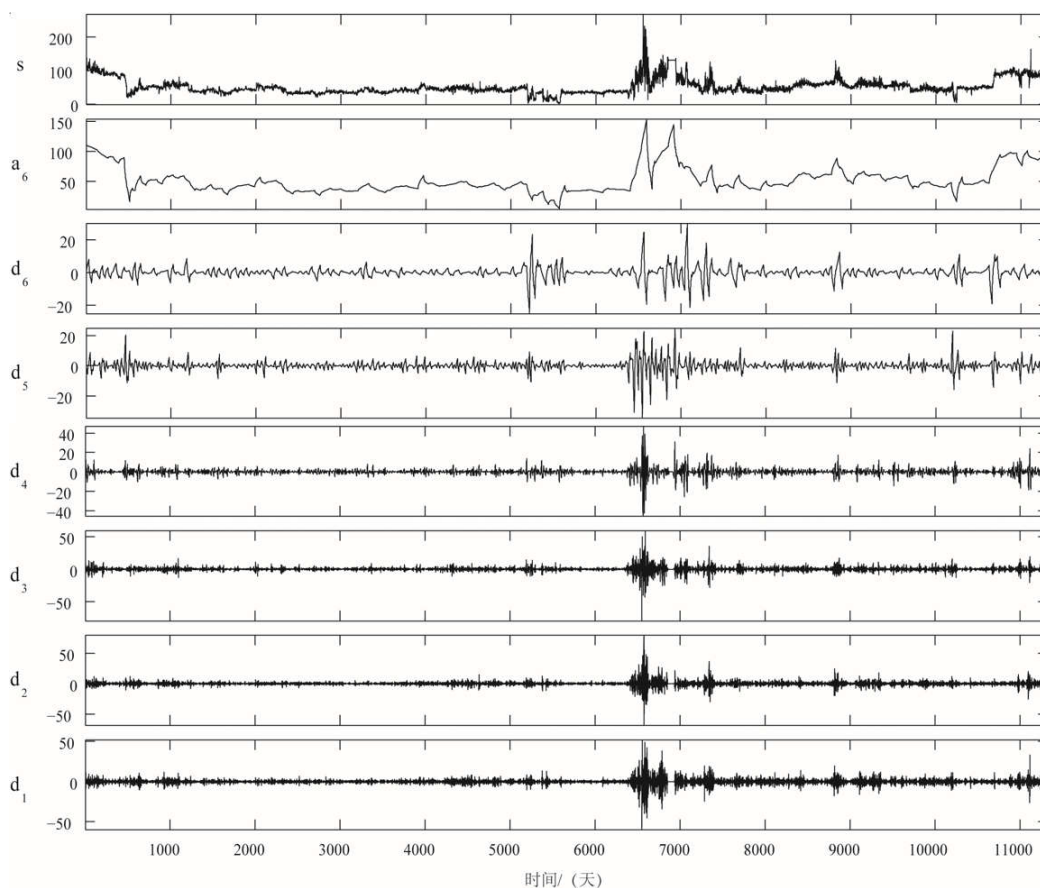


图5 东山湖7号井30年水氡日值6阶小波分解

Fig.5 Six order wavelet decomposition of Dongshanhu No 7 well in the past 30 years

此外,对东山湖7号井30年水氡日值开展小波能谱分析(图6),采样井异常时段的能谱仍显得比正常观测时明显。周期大于64 d的能量占比很大,这一部分也包含了多处的取水点异常信息,但是也可能包含了非取水点异常的细节信息。值

得指出,在16~64 d周期范围内的能谱信息中,大多能谱较高的时段都与取水点异常时段无关,结合上述小波分析的结果,可能更多的孕震前兆信息出现在16~64 d周期范围内。

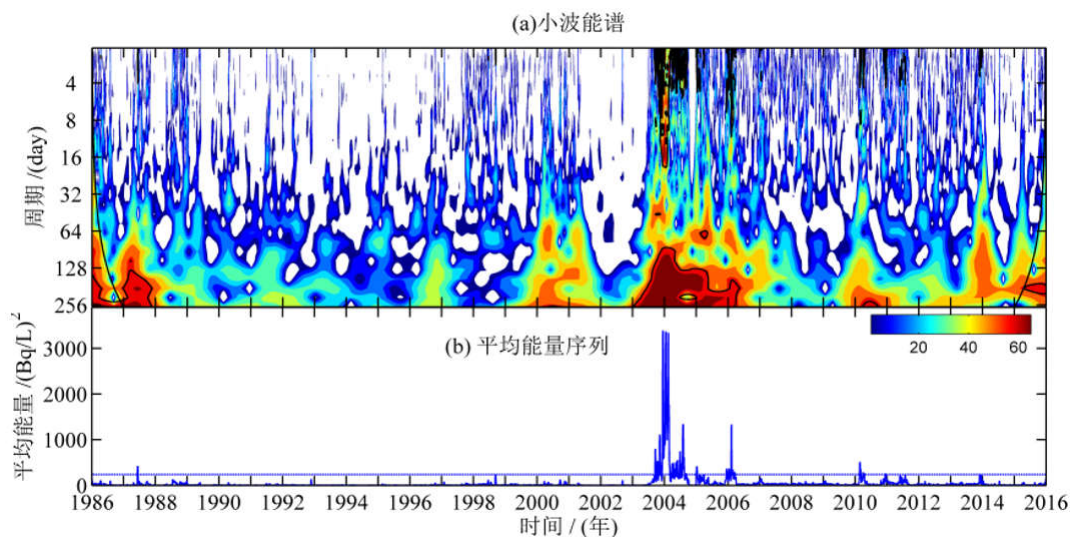


图6 东山湖7号井30年水氡日值小波能谱

Fig.6 Wavelet energy spectrum of Dongshanhu No 7 well in the past 30 years

2.3 水质测项

对东山湖7号井的30年来的水质观测数据如图7所示。除最初开始观测的1986~1987年不稳定以外,分别有L1~L3等3个时段的数据出现较大波动,大都是由于采样井异常导致的,因此可预期的认识都是要尽可能避免使用该段数据作为分析孕震异常的参照,分述如下:

L1: 2000年3月21日地震台采样导水管被当地养殖场在考察水井时弄断,造成采样质量下降。由于几个月来长期干旱,井孔断流,东山湖地区全部水井水位普遍下降,东山湖7号井每年大概只有5个月能取到自流水样,因此水样质量对观测数据造成严重影响。

L2: 水温测值由7月2日恢复,此前水位下降未测量。2003年8月20日导水管破裂,水温测值下降,24日用镀锌管更换已坏铝塑管。10月11日Cl⁻离子突然升高并保持,原因不明。pH于9月27日起下降并保持,原因不明。

L3: 2013年12月1日至2014年1月21日起地下流体观测因观测井水位、流量下降、直至出现间断性断流,引起观测数据大幅度变化,经排查认为该现象原因是由于井孔水流通道堵塞所致,2014年1月21日对采样装置进行改造后,于2014

年1月22日采样恢复正常。

3 结语

限于当前探测技术的水平,人们仅在地壳浅部对以水和气为载体的水文地球化学成分变化与地震的关系进行了探索,以期寻找来自震源的地球化学和前兆信息。地下流体变化作为岩石介质组成部分,水和气作用则是反映岩石受力变形或破裂的载体,在地震孕育过程中岩层中应力的积累应力状态和热动力状态的变化,弹性形变的发展都将导致水和气在岩石中赋存方式、运移情况的变化,原有水-岩体系的动平衡将受到破坏,由此导致岩层中水、气的化学成分和物理性质的变化。

临震前岩石中裂隙的迅速扩展,震时的大破裂,岩层错动可引起不同化学成分的含水层的连通混合,使地下水化学组分发生大幅度变化。在构造断裂带附近,若含水组之间具有水力联系,则深层承压水可携带深部组分沿活动层上涌,与浅层水混合,引起浅层水化学组分的变化。晏锐等^[9]分析了汶川地震周边多个观测点震前数年的水氡趋势变化,在提取波动信息的过程中发现,高频部分包含了大量观测噪声,计算结果稳定性差;随着频率的降低,较多的是趋势性变化的信息。

本文对于东山湖 7 号井的水氢观测结果分析也有类似的现象,即高频异常大多数都可能是噪声,东山湖地区存在的人为开发抽水、台风等天气因素,人为取水及模拟观测操作失误都可能是其产生异常的因素;而长周期的趋势性变化则可能是

季节变化或者气候波动的结果。现阶段对于氢浓度变化对应于地震的发生,绝大多数的依据来自统计结果,根据统计结果再针对性地进行相关的机理讨论,更多地对构造相关性展开分析讨论^[10],这就对原始观测资料的可靠性依赖非常大。

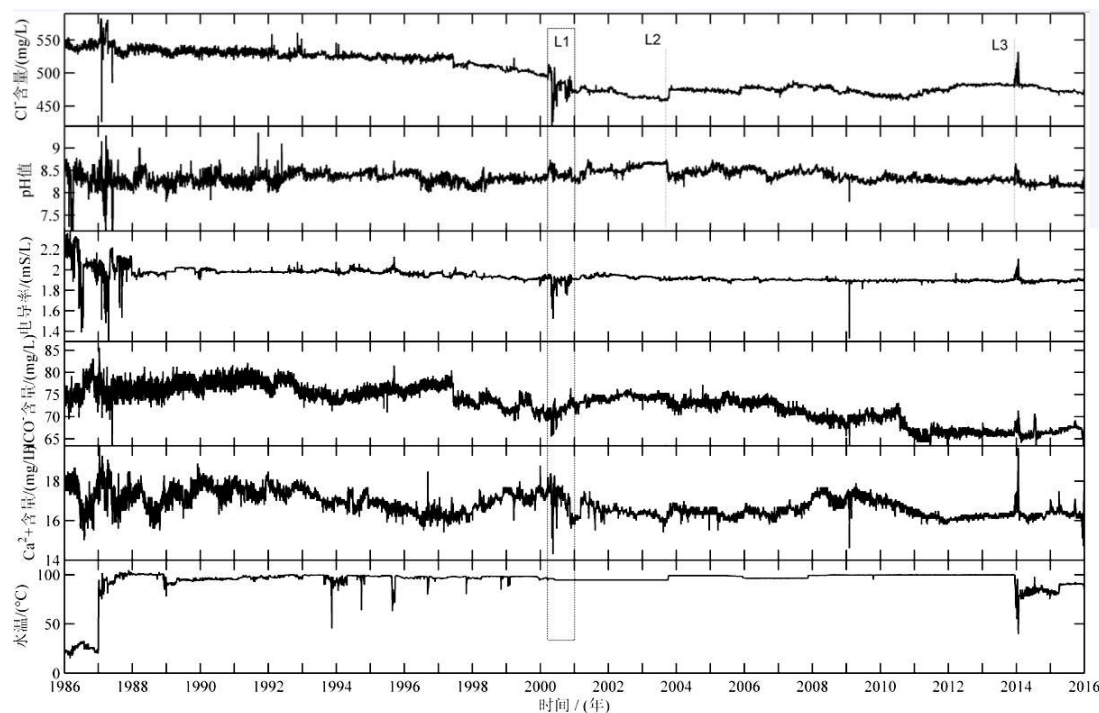


图 7 东山湖 7 号井 30 年水质观测数据

Fig.7 Hydrochemical properties observation data of Dongshanhu No 7 well in the past 30 years

东山湖 7 号井作为这种条件下的观测井,尤其是高温自流井,反映地下流体与岩石应变耦合信息的同时,也可能反映了一些地热方面的信息。因此,对于该井长时间观测资料的梳理显得必要,通过对资料和观测过程的回溯,认识到在进行映震或孕震分析时,这些背景异常的识别和排除十分必要。尤其是时间较久远的观测数据,较年轻的预报分析人员不了解当时的观测条件或观测情况,也缺乏精力去整理回顾当时的观测点异常,所以这种回溯背景分析更是必要的。

本文通过对粤东东山湖 7 号井 30 年的观测数据的回溯性分析,结果认为长趋势的观测不可避免地出现的采样点异常信息,孕震异常分析时必要加以排除,频谱分析是其中一种重要的方式;在 16~64 天周期范围内的能谱信息中,大多能谱较高的时段都与取水点异常时段无关,可能更多的孕震前兆信息出现在该周期范围内。

致谢:感谢 30 年来台站观测人员日复一日地开展水氢、水质各离子的取水和观测工作。

参考文献:

- [1] 刘耀炜,任宏微. 汶川 8.0 级地震氢观测值震后效应特征初步分析[J]. 地震, 2009, 29(1): 121-131.
- [2] 叶秀薇,王莉娅,郑小菁. 粤闽两省地下流体月异常频次叠加分析[J]. 华南地震, 2003, 23(3): 41-48.
- [3] 叶秀薇. 台湾海峡 7.3 级地震前地下流体前兆异常[J]. 华南地震, 1998, 18(3): 35-40.
- [4] 吴泽文,蔡奕群. 潮州台地下水化学异常与地震的对应关系[J]. 华南地震, 2001, 21(1): 38-42.
- [5] 徐起浩,缪维成,张国荣,等. 1999 年 8 月河源新丰江 M_L 4.9 地震[J]. 华南地震, 2000, 20(2): 57-61.
- [6] 徐起浩,左开庭,钟貽军,等. 1999 年 3 月 25 日广东河源 M_L 4.7 地震宏观影响场[J]. 华南地震, 1999, 19(4): 66-71.
- [7] 郑小菁,陈莹,陈晨. 福建地区地下流体异常与中强地震活动关系初探[J]. 华南地震, 2001, 21(2): 36-41.
- [8] 杨马陵,丰晓,万永芳,等. 1999 年河源 2 次 4~5 级地震的中短期前兆异常及其思考 [J]. 华南地震, 2003, 23(3): 16-24.
- [9] 晏锐,蒋长胜,张浪平. 汶川 8.0 级地震前水氢浓度的临界慢化现象研究[J]. 地球物理学报, 2011, 54(7): 1817-1826.
- [10] 任宏微,刘耀炜,马玉川. 汶川 8.0 级地震氢震后效应机理讨论[J]. 中国地震, 2010, 26(1): 73-83.