

顾申宜, 张慧. 2011. 水位、水氡小波分析中期异常提取方法. 地震学报, 33(4): 471-482.
Gu Shenyi, Zhang Hui. 2011. Study on extracting medium-term precursory anomalies from water radon and water level observation with wavelet analysis. *Acta Seismologica Sinica*, 33(4): 471-482.

水位、水氡小波分析中期异常提取方法^{*}

顾申宜[†] 张 慧

(中国海口 570203 海南省地震局)

摘要 利用小波分析方法在时间域和频率域都有较高分辨率的特性, 建立了水位、水氡的小波中期异常提取的方法。该体系包括研究(预测)目标地震的确定、井(泉)和测项的初选、小波异常的提取及异常性质的鉴定等7个步骤。采用小波异常提取方法, 研究了华北、四川及邻区、海南多年积累的震例资料, 分析了水位、水氡小波异常与地震活动之间的关系, 给出了上述3个地区中期小波异常的时间分布特征。小波异常的超前时间, 可作为发震时间的预测指标, 为这3个区域的实际震情判定提供依据。

关键词 小波分析 水位 水氡 中期异常 华北 四川及邻区 海南地区

doi: 10.3969/j.issn.0253-3782.2011.04.007

中图分类号: P315.72+3 文献标识码: A

Study on extracting medium-term precursory anomalies from water radon and water level observation with wavelet analysis

Gu Shenyi[†] Zhang Hui

(Earthquake Administration of Hainan Province, Haikou 570203, China)

Abstract: Noticing that the wavelet analysis possesses a characteristic of high resolution in time and frequency domain, this paper develops a method of extracting wavelet medium-term anomaly from water radon and water level observation. The extraction process includes, through research, deciding the objective earthquake expected to be predicted, selecting testing items and observation wells, extracting wavelet anomaly, identifying the property of the precursor anomaly, etc. (seven steps). With the methodology of extraction of wavelet anomaly, we have studied large amount of earthquake materials in North China, Sichuan and its vicinity, and Hainan. After analyzing the relation between the earthquakes and the anomaly of water level and radon, we provided the characteristic time distribution of wavelet anomalies in these three regions. Moreover, the advanced time of the wavelet anomaly can be regarded as an indicator for forecasting an earthquake. This indicator would be helpful in analyzing earthquake situation in practice.

* 基金项目 海南省重点科技计划项目(ZDXM20110073)资助。

收稿日期 2010-07-06 收到初稿, 2010-11-23 决定采用修改稿。

† 通讯作者 e-mail: gsy33@163.com

Key words: wavelet analysis; water level; radon; intermediate-term anomaly; North China; Sichuan and its vicinity; Hainan region

引言

小波分析在地震和石油的物探方面已得到广泛运用；在重力、大面积形变测量和定点形变测量资料、地下水、电磁的地震异常分析研究上，已有一些有益尝试（郑治真等，1996；张永志等，1997；敬少群等，2002；宋治平等，2003）。在地震异常的提取和研究中，该理论有着广阔的应用前景。

在多种天然与人为因素（不包括观测因素）影响下，地下水的物理和化学性质呈现多种周期成分的动态变化。其中某些周期性变化，可与具有一定周期性的构造活动以及地震孕育发生过程产生力学耦合作用，这类地下水的周期性变化，即为可能的地震异常。这就是说，仅是地下水的某些周期成分变化才与地震的孕育和发生有关。而小波变换技术的特点，正好适合从多种周期变化中提取出与地震有关的周期性异常信息。这就是利用小波方法提取地下水异常的原理。

本文拟定了地下水的小波中期异常提取的步骤、判据、方法及规则。运用这一套方法，处理了华北、四川及其邻区和海南地区部分井（泉）的水位和水氡观测资料，给出小波中期异常，并对其特征做了初步分析。

1 小波分析方法介绍

1.1 小波分析理论

小波分析方法（宋超等，2002；裴韬等，2004；张凤君，2007）是一种窗口大小固定但其形状可以改变，时间窗和频率窗也都可改变的时频局域化分析方法，即在低频部分具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率，在高频部分具有较高的时间分辨率和较低的频率分辨率，很适合于探测正常信号中夹带的瞬变反常信号并分析其成分，所以被誉为数学显微镜。

对于任意具有有限能量的信号 $f(t)$ ，其对应的二进制离散小波变换定义为

$$W(j, k) = 2^{-j/2} \int f(t) \Psi^* \left(\frac{t-k}{2^j} \right) dt \quad (1)$$

式中， W 表示连续小波变换； k 是平移因子； j 为小波分解水平； Ψ 是小波基函数， j 值越大时小波变换对应频率越低。

相应的 $f(t)$ 的二进制小波重构方法为

$$f(t) = \sum_k c_{j,k} \varphi_{j,k}(t) + \sum_k \sum_j d_{j,k} \Psi_{j,k}(t) = A_j(t) + \sum_j D_j(t) \quad (2)$$

式中， A_j 和 D_j 是原始信号的近似部分（低频部分）和细节部分（高频部分）； $c_{j,k}$ 和 $d_{j,k}$ 是二进制离散小波变换系数； φ 和 Ψ 是小波基函数。其中，细节部分反映信号在各个尺度上的细节特征，近似部分反映了信号在不同尺度上的趋势特征。

1.2 小波基的选取

选 Daubechies 小波进行分析，大多数观测资料都呈现出规律性较好的年变化动态。本研究采用 db4 小波对数据进行处理，首先考虑到 db4 小波在地球物理学研究范围被广泛采

用; 其次考虑到 db4 小波是紧支撑正交小波, 这可以使 Mallat 算法更快捷。它的光滑性也可以更高精度地模拟和分析信号。db4 小波随着分解层级的增加其正则性也增加, 它抑制了该多项式信号在零阶和一阶的部分信号, 而仅对该信号的二阶部分及噪声进行分解。因此, 分解的细节信号部分 db4 中包含了噪声信号的不规则性, 其余各层细节中的信号周期性随层级的增加而增大。另外也考虑到 db4 小波在时域和频域局部化方面的强劲性。

2 小波中期异常提取方法的拟定

尽管小波分析业已成熟, 但要有效地运用于异常的提取, 还必须考虑到地下水的观测状况、井泉映震能力、异常特征以及小波方法自身的完善性等一系列问题。否则, 不能得到理想结果。

大量的观测资料与研究表明, 震前地下水出现的为期 1 年至几年的中期异常, 具有较好的重现性和普遍性。对于这类异常, 小波定量处理的效果必然良好。故中期异常为本文研究的对象。

为获得成功, 方法本身必须是完善与严格的。完善的异常判定方法, 是一套由多个步骤、判据、方法及规则所组成的方法系统。分析全程的观测资料, 即为方法运用是否严格的标志之一。

地下水小波异常的提取, 包括以下 7 个步骤。如果某一步骤缺失或不当, 都将影响最终结果:

1) 研究(预测)目标地震的确定: 依据小波变化特点及其与地震关系, 以具有一定周期性的显著性地震为研究(预测)目标。

2) 井(泉)和测项的初选原则。① 测试工作符合规范; ② 观测资料的时间较长; ③ 人为干扰小: 无人为干扰引起的台阶状或其它变化。本文中选用的井(泉)和测项资料, 其中相当多地多次出现过地震异常, 且为公认的、经典的异常震例。这在前人文章和专著中多有描绘和论证(车用太等, 2004; 范雪芳等, 2007)。

3) 观测数据的预处理。使用的观测数据, 一律采用月均值。对缺数进行内插, 消除由于标定、调仪器等原因引起的突跳变化, 使观测的数据连续和可靠。

4) db4 小波对应频率段(细节)的确定。对于 db4 小波分析, 可将水位、水氡观测值分解成 8 个细节, 即 8 个不同的频率段。研究表明, 仅仅是某一频率段(细节)与地震的对应关系最为良好; 而不同的地震活动区, 水位、水氡对应地震的频率段(细节)也是不相同的。为确定“对应频率段”, 可以采用分析典型水点测项资料的办法。由于小波异常具有普遍性, 一个典型水点测项的“对应细节”, 与其它水点测项也相同。

5) 小波异常的提取。① 定性方法: 在月均值曲线图上做判定。若出现最低点, 而后出现趋势性上升, 则为中期异常。这称为“最低点判定法”。实际上, 最低点为月均值变化曲线的趋势下降与趋势上升的分界点。② 定量方法: 处理初选出的所有水位和水氡的观测数据, 计算其本区的“对应频率段”的水位或水氡变化值。异常的判定指标: 对于静水位, 若小波分解的水位值 ≤ 0 , 则为异常; 对于动水位和水氡, 若小波分解的值 ≥ 0 , 则为异常。

6) 异常性质的鉴定。并非所提取出的小波异常都是地震异常。异常真伪鉴定的统计性标志有以下 3 个: ① 小波异常变化与人为干扰无关; ② 不同水点测项的小波异常的出现, 在时间上可呼应; ③ 可通过异常信息量的鉴定, 采用许绍燮(1989)提出的 R 值法做鉴定,

即

$$R = \frac{\text{报对地震的次数}}{\text{有震总次数}} - \frac{\text{预报占用的时间}}{\text{预报研究的总时间}}$$

7) 地震异常特征量的统计与研究. 按照水点测项, 对每一组异常的特征及其与地震的对应关系, 逐一做登记. 再按照地震, 做登记. 依据异常特征的统计资料, 归纳总结小波异常的时空强特点及其与地震的关系; 拟定发震时间的预测指标(参考性).

3 小波中期异常实例分析

3.1 华北地区水位、水氡异常

3.1.1 小波异常提取方法

1) 目标地震. 研究(预测)目标地震目录列于表 1. 华北的目标地震发生的间隔为 5—9 年, 小波中期异常的发生周期为 7 年左右, 两者相近; 另外, 在不同时期, 该区地震强度亦不同, 因而目标地震的下限也是变化的.

表 1 华北地区目标地震目录
Table 1 Selected earthquakes in North China and its vicinity

序号	日期	震中位置		M_s	地点
	年-月-日	纬度/°N	经度/°E		
1	1976-07-28	39.40	118.00	7.8	河北唐山
2	1981-11-09	37.40	114.99	5.8	河北隆尧东
3	1989-10-19	39.95	113.91	5.9	山西大同、阳高间
4	1998-01-10	41.10	114.30	6.2	河北张北
5	2006-07-04	38.54	116.30	5.1	河北文安

2) 选用观测资料. 根据初选原则, 选取的观测资料有: 山西定襄泉水氡、山西静乐井水位、北京丰台大灰厂井水位、北京通州井水位、北京通州码头井水位及河北玉田井水位等 6 个井(泉)的观测资料. 本文重点讨论的是小波方法, 故仅选了一小部分资料.

3) db4 小波对应频率段(细节)的确定. db4 小波分析的结果显示, 山西定襄泉水氡月均值可分解出 7 个细节, 不同频率段的变化情况如图 1 所示. 依据小波分析软件(李胜乐编制的 MAPSIS 中相连的 EIS2000 软件的小波分析 MATLAB 的软件包)作计算, 可得到每一细节的变化特点(表 2).

表 2 db4 小波不同频率段(细节)的变化特点
Table 2 Variation characteristic of db4 wavelet at different bands (details)

细节	频率段/月	周期	特性
1	2—4	季节性变化	随机变化序列, 非平稳变化
2	4—8	半年周期	随机变化序列, 非平稳变化
3	8—16	1 年左右周期	非平稳变化
4	16—32	1 年半周期, 年变周期不明显	非平稳变化
5	32—64	4 年左右周期	非平稳变化
6	64—128	7 年左右尺度	平稳性最好
7	128—256		

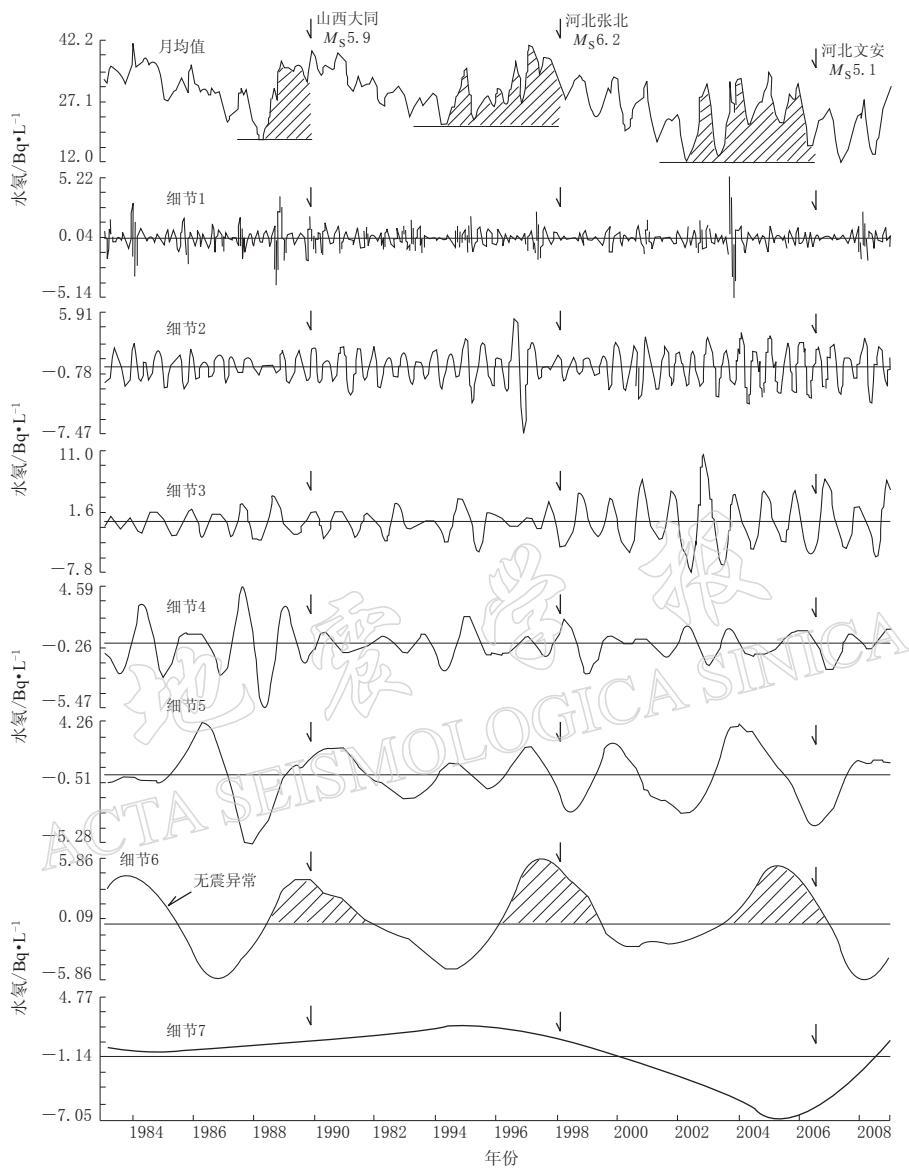


图 1 山西定襄泉水氡月均值曲线分离出的不同频率的变化曲线图

Fig. 1 Variation characteristic of different frequency components extracted from month-average of water radon observation in Dingxiang well in Shanxi

从表 2 可知, 细节 6 信号的平稳性最好, 具有 7 年左右的变化。这与地震活动的时间间隔最为接近。不难看出, 小波细节 6 与地震的对应关系最为良好。1983—2008 年, 定襄泉水氡的小波细节 6 共出现 4 次异常, 其中 3 次分别对应了中强以上地震(图 1)。为此, 在华北地区, 可选择小波细节 6 曲线, 用以提取地下水的异常。

3.1.2 小波异常特点分析

华北部分井(泉)水位、水氡的小波中期异常变化如图 2 所示。从图 2a 可见, 以“最低点判定”法做判定, 1983—2008 年, 定襄泉共出现 3 次水氡原始曲线异常, 分别对应了 1989 年大同 $M_S 5.9$ 、1998 年张北 $M_S 6.2$ 及 2006 年文安 $M_S 5.1$ 地震。在同一时间, 静乐水

位、通州水位、通州码头水位及玉田水位也不同程度地出现了与定襄水氡类似的异常变化。

从图2b可见,定襄泉水氡和静乐井水位出现4次小波中期异常,其中3次分别对应了中强以上地震;通州井水位、通州码头井水位及玉田井水位出现3次小波异常,也分别对应了3次地震(表3)。引人感兴趣的是,在月均值曲线上,很难看出通州码头井水位有何明显的异常变化;而在小波曲线上,则异常清晰可见。

从图2和表3可知,小波中期异常有以下特点:

1) 可对比性。在时间上,定襄泉水氡等5个异常相互呼应。这意味着小波中期异常的出现不是偶然的个别现象。

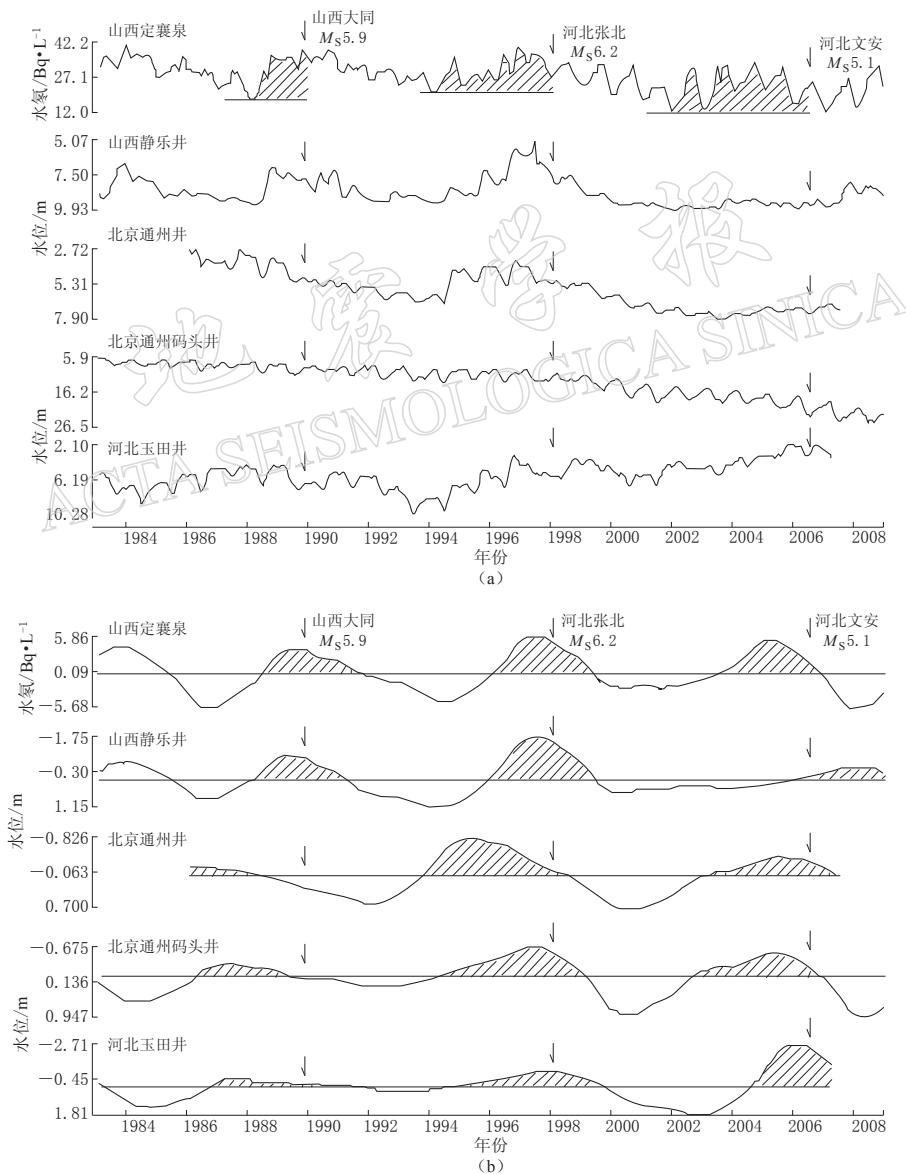


图2 华北地区部分井(泉)水位、水氡月均值(a)和小波(细节6)(b)中期异常变化曲线

Fig. 2 Some curves of medium-term anomaly variation of well water level, water radon month-average value and wavelet in North China region

表 3 华北地区水位、水氡小波中期异常特征统计表

Table 3 Statistics of medium-term anomaly characteristics of water level and water radon wavelet in North China region

水点与测项	超前时间 I		超前时间 II		对应地震
	开始时间	超前/月	峰值时间	超前/月	
山西定襄泉水氡	无资料		1983-09		无地震
	1988-07	15	1989-05	5	1989年10月大同一阳高 $M_{S5.9}$
	1996-02	23	1997-05	8	1998年1月张北 $M_{S6.2}$
	2003-08	35	2005-03	16	2006年7月文安 $M_{S5.1}$
山西静乐井水位	无资料		1983-11		无地震
	1988-03	19	1989-05	5	1989年10月大同一阳高 $M_{S5.9}$
	1996-01	24	1997-05	8	1998年1月张北 $M_{S6.2}$
	2006-03	4	2007-12		2006年7月文安 $M_{S5.1}$
北京丰台 大灰厂井水位	效果不好				1989年10月大同一阳高 $M_{S5.9}$
	效果不好				1998年1月张北 $M_{S6.2}$
	效果不好				2006年7月文安 $M_{S5.1}$
北京通州井水位	数据不全				1989年10月大同一阳高 $M_{S5.9}$
	1993-09	52	1995-06	31	1998年1月张北 $M_{S6.2}$
	2002-12	43	2005-07	12	2006年7月文安 $M_{S5.1}$
北京通州码头井 水位	1986-04	42	1987-06	28	1989年10月大同一阳高 $M_{S5.9}$
	1994-04	45	1997-05	8	1998年1月张北 $M_{S6.2}$
	2002-09	46	2005-05	14	2006年7月文安 $M_{S5.1}$
河北玉田井水位	1986-10	36	1987-10	12	1989年10月大同一阳高 $M_{S5.9}$
	1994-10	39	1997-10	3	1998年1月张北 $M_{S6.2}$
	2004-08	23	2005-12	7	2006年7月文安 $M_{S5.1}$

2) 超前时间. 超前时间 I 为异常开始时间与发震时间之间的时差; 超前时间 II 为异常峰值时间与发震时间之间的时差.

单井(泉)单项的超前时间 I 为 4—46 个月, 平均为 25.0 个月; 超前时间 II 为 5—28 个月, 平均为 16.5 个月.

依据表 3, 可拟定发震时间的参考性预测指标(表 4). 以实际的第 2 个最小超前时间, 为预测的最小超前时间 Δt_1 ; 以实际的最大超前时间, 为预测的最大超前时间 Δt_2 .

表 4 华北地区水位、水氡小波方法中期发震时间参考性预测指标表

Table 4 Referenced indicators for forecasting medium-term occurrence time of earthquakes in North China with water level and radon wavelet method

异常判定指标	预测依据	预测的最小超前时间 Δt_1 /月	预测的最大超前时间 Δt_2 /月	预测时间段数/月
≥ 0	超前时间 I	15	52	37
≥ 0	超前时间 II	5	31	26

1983—2008 年 26 年间, 计算出现 4 次(组)小波异常. 依据超前时间 II, 每组异常预测的时间段为 26 个月, 预测占用时间为 $4 \times 26 = 104$ 个月; 预报研究的总时间为 $26 \times 12 = 312$ 个月. 故预报告时率为 $104 \div 312 = 0.333$. 在 1983—2008 年, 共发生了 3 次中强以上地震(为具有一定周期性的显著地震), 均落在预测期内. 故异常的信息量鉴定 R 值(许绍燮, 1989; 刘耀炜等, 2002)为

$$R = \frac{\text{报对地震的次数}}{\text{有震总次数}} - \frac{\text{预报占用的时间}}{\text{预报研究的总时间}} = \frac{3}{3} - \frac{104}{312} = 0.667$$

单个水点测项的 R 值达到 0.667, 表明是有异常信息的。

在地震监测区, 一般会出现多个小波异常。首先, 依据每一个异常做出相应的发震时间预测; 而后, 通过对多个预测的时间段做“集合运算”(可只考虑最早与最晚(次晚)出现异常的水点测项计算), 得到综合的发震时间。综合的发震时间段则更短。例如, 1998 年 1 月张北 $M_s 6.2$ 级地震前, 计算出现 4 个异常。其中, 北京通州井水位的峰值时间为 1995 年 6 月, 按照表 4 给出的超前时间 II 计算, 预测的发震时间为 1995 年 9 月—1998 年 1 月; 山西静乐井水位的峰值时间为 1997 年 5 月, 所预测发震时间为 1987 年 8 月—1999 年 12 月。依据这两个预测结果, 其综合预测的发震时间为 1997 年 8 月—1998 年 1 月, 预测时间段为 6 个月(图 3)。

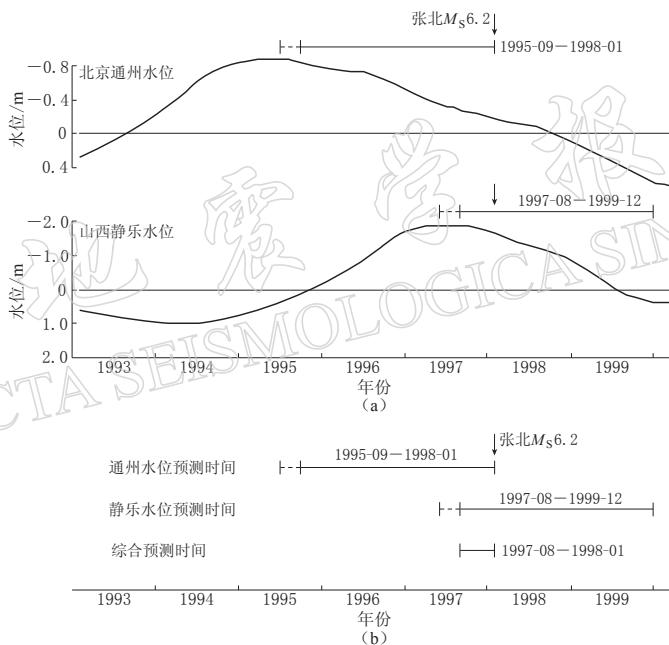


图 3 1998 年 1 月 10 日张北 $M_s 6.2$ 地震发震时间检验性
预测图. (a) 单井单项预测; (b) 综合预测

Fig. 3 A forecast testing to the occurrence time of the 10 Jan 1998 Zhangbei $M_s 6.2$ earthquake. (a) Using a single item of observation at a single well; (b) comprehensive prediction

3.2 四川及其邻区水位、水氡异常

3.2.1 小波异常提取方法

1) 目标地震。在四川及邻区所研究的地震目录列于表 5。如果目标地震的下限取 $M_s 6.5$, 则地震发生的间隔为 4—8 年, 即与小波异常(周期为 4 年左右)有关联。2008 年汶川 $M_s 8.0$ 地震为研究的重点。

2) 选用观测资料。根据初选原则, 选取的资料有: 四川康定姑咱水氡、四川江油川 10 井水位、四川雅安水氡、云南景东水氡和甘肃武都水氡。

3) db4 小波对应频率段(细节)的确定。db4 小波分析结果显示, 四川江油井水位月均值可分解出 7 个细节, 不同频率段的变化情况如图 4 所示。该井的观测资料与地震对应关

表 5 四川及其邻区目标地震目录
Table 5 Selected earthquakes in Sichuan and its vicinity

地震组	序号	日期			M_S	地点
		年-月-日	纬度/°N	经度/°E		
I	1	1989-04-16	29.99	99.23	6.6	四川巴塘东南
	2	1989-04-25	30.05	99.42	6.6	四川巴塘东
	3	1989-09-22	31.58	102.51	6.5	四川小金北
II	4	1995-10-24	25.9	102.2	6.5	云南武定
	5	1996-02-03	27.2	100.3	7.0	云南丽江
III	6	2000-01-15	25.58	101.12	6.5	云南姚安
IV	7	2008-05-12	31.0	103.4	8.0	四川汶川

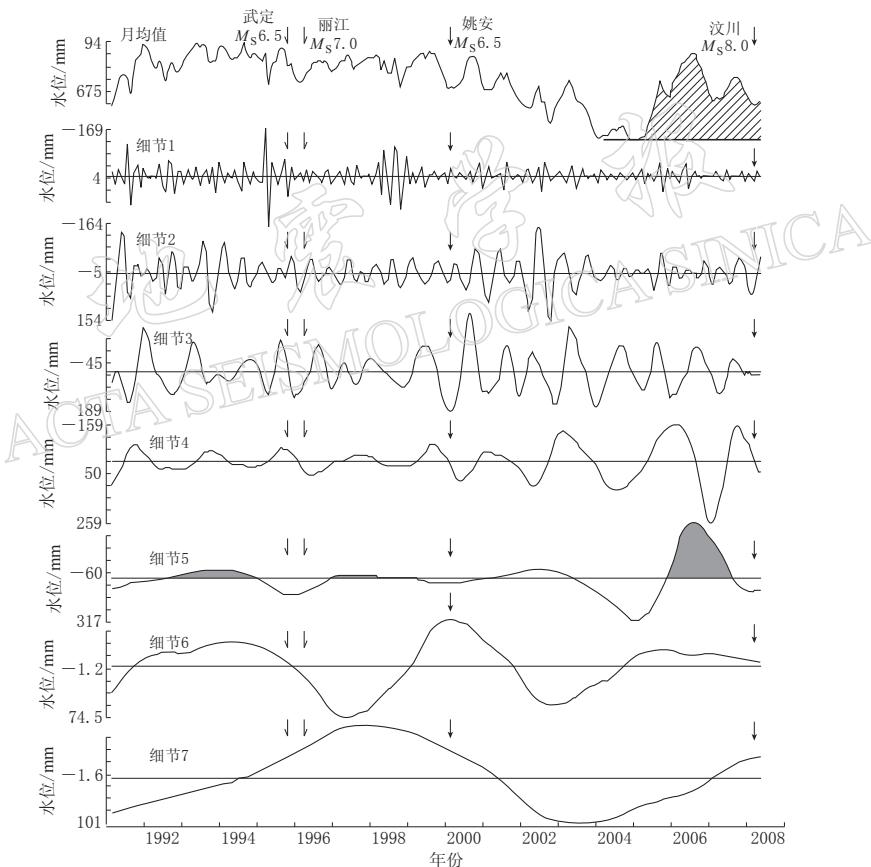


图 4 四川江油井水位月均值曲线分离出的不同频率的动态变化图
Fig. 4 Variation characteristic of different frequency components extracted from month-average well water level observation at Jiangyou well in Sichuan

系良好。

由图 5 可知, 细节 5 平稳性好, 且与原始月均值曲线的呼应性最好。1991—2008 年江油水位细节 5 出现 4 次异常, 其中 3 次对应了强(大)震。故可选择小波细节 5 曲线, 用于地下水异常的提取。

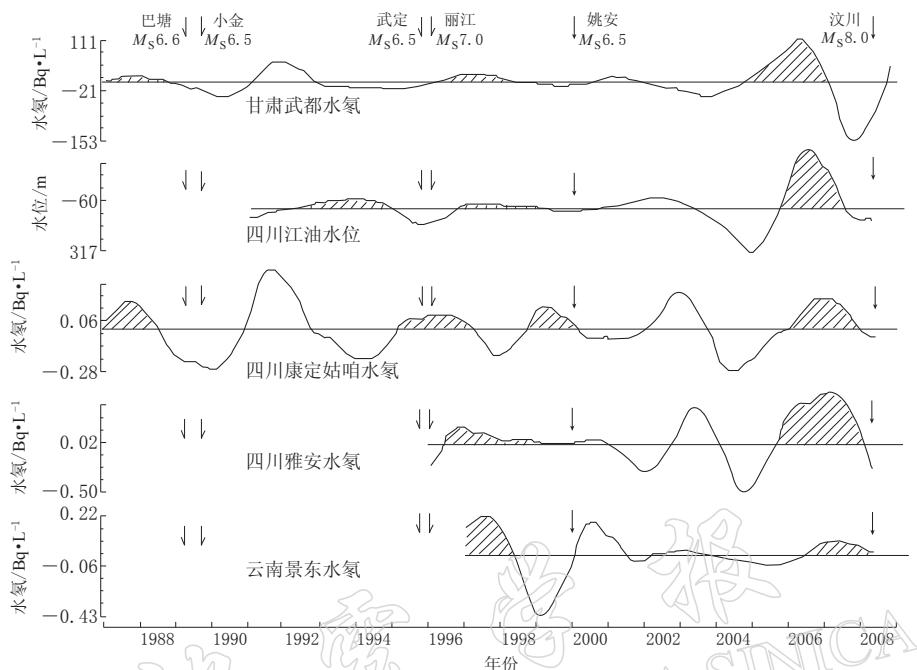


图 5 四川及其邻区部分井(泉)水位、水氢小波(细节 5)中期异常变化曲线图

Fig. 5 Medium-term anomaly variation of well water level, Radon wavelet (detail 5) in Sichuan and its vicinity

3.2.2 小波异常特点分析

四川及邻区水位、水氢的小波中期异常见图 5 所示。由图 5 可知, 1987—2008 年, 四川及邻区小波细节 5 曲线上, 出现了 5 次异常, 其中 3 次分别对应了云南武定 1995 年 $M_s 6.5$ 和 1996 年丽江 $M_s 7.0$, 2000 年云南姚安 $M_s 6.5$, 以及 2008 年四川汶川 $M_s 8.0$ 地震。

单井(泉)单项的小波异常的超前时间 I 为 15—45 个月, 平均为 30.0 个月。超前时间 II 为 2—37 个月, 平均为 19.5 个月。

图 6 为水氢小波合成曲线图。使用资料有康定姑咱水氢、雅安水氢、景东水氢及武都水氢。具体做法是: 计算单点水氢小波值的变化率(归一化), 即每月的小波值减去小波平均值, 再除以平均值; 用小波分析计算出细节 5, 最后求多点多项变化率的平均变化率; 以

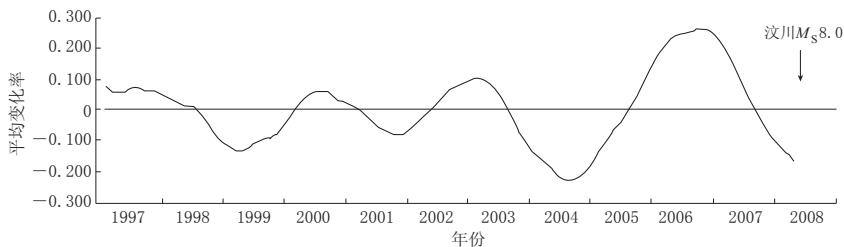


图 6 2008 年 5 月 12 日四川汶川 $M_s 8.0$ 地震前水氢小波合成分析(细节 5)曲线图

Fig. 6 Water radon combined wavelet analysis before the 12 May 2008 Wenchuan $M_s 8.0$ earthquake in Sichuan

平均变化率作图, 即得到合成曲线。从图 6 可见, 2008 年四川汶川 $M_s 8.0$ 地震前, 多井(泉)的小波中期异常是很显著的, 且异常区较大, 较远的台站参与合成也有效果。

3.3 海南地区水位异常

3.3.1 小波异常提取方法

1) 目标地震。本区的地震目录列于表 6。海南为弱震区, 故降低目标地震的震级下限, 取其为 $M_s 4.9$ 。地震的时间间隔为 5—6 年左右, 平均为 5.3 年。

表 6 海南及其邻近地区地震目录表

Table 6 Selected earthquakes in Hainan and its vicinity for study

序号	日期	震中位置		M_s	地点
	年-月-日	纬度/ $^{\circ}$ N	经度/ $^{\circ}$ E		
1	1988-11-10	21.25	108.42	5.0	北部湾
2	1994-12-31	20.50	109.40	6.1	北部湾
3	1999-05-17	18.30	109.5	4.9	海南万宁近海
4	2004-09-17	21.7	111.9	4.9	广东阳江

2) 选用观测资料。取用儋州西流井、海口 ZK26 井、文昌官新井及琼海加积井的水位资料。

3) db4 小波对应频率段(细节)的确定。由上述 4 口井小波分析结果显示, 细节 5 型号的平稳性最好, 与本区历史地震相关性较好。为此, 在海南及邻区选择细节 5 用以提取地下水的异常。

3.3.2 小波异常分析

海南及邻区水位的小波中期异常见图 7 所示。由图 7 可知, 1987—2008 年, 在海南及邻区出现 5 组小波异常。其中 4 次分别对应 1988 年北部湾 $M_s 5.0$, 1994 年北部湾 $M_s 6.0$, 1999 年海南万宁 $M_s 4.9$, 以及 2004 年广东阳江 $M_s 4.9$ 地震; 1 次为虚报。

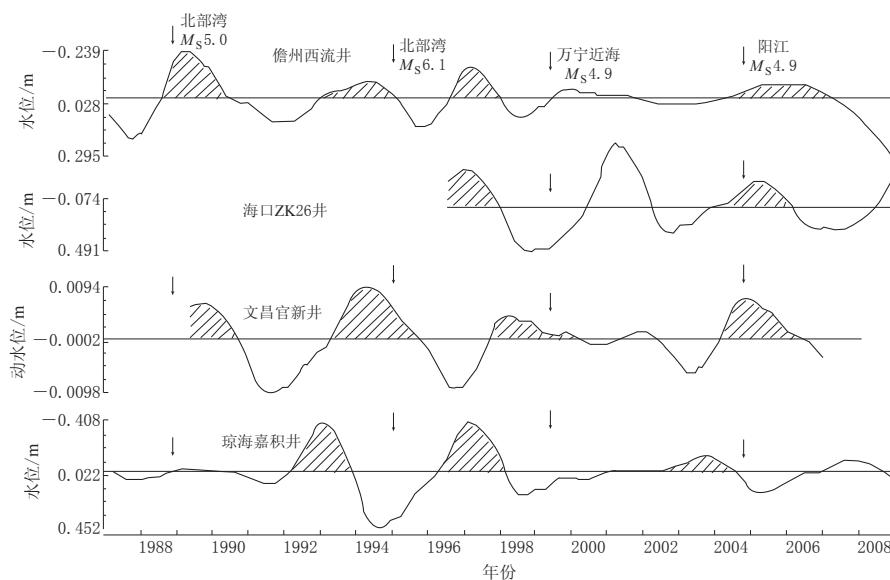


图 7 海南地区水位小波(细节 5)中期异常变化曲线图

Fig. 7 Intermediate-term anomaly variation of water level wavelet in Hainan region

单井(泉)单项的超前时间Ⅰ为2—38个月,平均为20.0个月;超前时间Ⅱ为9—29个月,平均为19.0个月。

4 讨论与结论

1) 小波中期异常提取方法。采用小波分析提取水位、水氡中期异常的方法:①确定好本区研究的目标地震;②对观测数据做预处理,初选井(泉)和测项;③对各观测水井的资料做db4细节分析,选取细节信号最平稳,且与原始月均值形态相近的频率段为异常提取曲线;④依据异常特征统计资料,归纳总结小波异常的特点及其与地震的关系;⑤拟定发震时间的预测指标(参考性)。

2) 水位、水氡小波中期异常提取方法的一般特征。笔者分析了华北、四川及邻区、海南3个地区的水位、水氡观测资料,其小波分析异常具有这样的特征:华北地区选取细节6作为异常提取频率段,四川及邻区和海南则为细节5较好;当静水位细节信号 ≤ 0 时,或者水氡、动水位细节信号明显 ≥ 0 时,测点周围一定范围发生中强以上地震可能性较大。

3) 小波分析的优点与不足。小波变换在水位、水氡数据处理时显示出其优势的一面。因为小波变换可给出不同尺度下信号分解的细节部分,使我们进一步了解数据在不同频率范围内的正常变化背景。根据细节部分了解不同频率范围的变化特点,因此在数据分析时,能以不同尺度的细节部分的正常背景为依据,判断观测数据是否存在异常。

同时也应看到这种方法的复杂性一面,如小波的选取在实际中都含有不小的工作量,如何优化这些工作应是一个逐步完善的过程。为了对资料进行恰当的小波分解,小波基函数和分解尺度需要不断试验和检验才能确定。

4) 小波方法运用的前景。利用基于小波变换的多尺度分析原理能够很简便地将异常观测数据分解成若干不同的频段,对提取中期趋势异常有很好的效果,提高了识别地震信息的能力。小波分析可以成为提取水位、水氡的中期异常的一种有效的新方法。

参 考 文 献

- 车用太,王吉易,李一兵,鱼金子. 2004. 首都圈地下流体监测与地震预测[M]. 北京:气象出版社: 107—128.
- 范雪芳,王吉易,张淑亮,马朝辉. 2007. 山西及其邻区地下流体强震中期和中短期预测时间方法研究[J]. 西北地震学报, 29(2): 177—182.
- 敬少群,王佳卫,童迎世. 2002. 小波变换在少震、弱震区地下水位数据分析中的应用[J]. 华南地震, 22(2): 9—15.
- 刘耀炜,杜建国,王长岭. 2002. 地下水化学参数中短期前兆指标体系及其预报效能评价[M]//罗兰格,韩渭宾,刘耀炜主编. 强地震中短期预报方法及其效能研究. 北京:地震出版社: 180—211.
- 裴韬,周成虎,汪闽. 2004. 用二进小波分析方法对华北地区强震活动期的研究[J]. 地震研究, 27(11): 37—42.
- 宋超,黄民翔,叶剑斌. 2002. 小波分析方法在电力系统短期负荷预测中的应用[J]. 电力系统及其自动化学报, 11(3): 8—12.
- 宋治平,武安绪,王梅,倪友忠,朱家苗,宋先月,周华根,赵镇岭. 2003. 小波分析方法在形变数字化资料处理中的应用[J]. 大地测量与地球动力学, 23(4): 21—27.
- 许绍燮. 1989. 地震预报能力评分[M]//地震学专集. 北京:学术书刊出版社: 586—589.
- 张凤君. 2007. 东北地震区地震趋势的小波分析[J]. 地震研究, 30(2): 137—141.
- 张永志,丁平王,继英梁,梁伟峰,胡亚轩,王文萍. 1997. 河西重力变化的小波分解与地震活动关系的研究[J]. 地壳形变与地震, 17(3): 26—32.
- 郑治真,沈萍,谢水. 1996. 从Gabor变换到小波分析[J]. 中国地震, 12(3): 237—242.