

地下水动态的最大熵谱分析

张素欣 王吉易 郑云贞

(河北省地震局, 石家庄 050021)

摘要 利用最大熵谱方法, 对我省及邻区几个井孔的地下水动态多年观测资料进行了熵谱分析。结果显示, 地下水动态变化除了1年及1年以内的短周期成分外, 还存在着3年和10年左右的卓越周期成分。对这一周期结构的认识, 有助于正确识别地震的中短期异常信息。

主题词: 地下水动态; 最大熵谱分析; 周期变化

0 引言

频谱特征是地震和一切地球物理信息的基本特征之一, 国内外学者对地震序列的频谱特征做过大量深入的研究(郑治真, 1979; 李文英, 1989; 朱岳清, 1985, 等), 证实地震序列存在着可重复的有序性。谱分析方法在地下流体学科中早有应用(史勇等, 1993; 蔡作馨, 1983, 等)。但这些研究主要侧重于研究日值或瞬时值序列中所包含的短周期成分, 主要从正常动态角度, 研究地下流体的年变化, 潮汐效应等, 周期畸变与地震的关系。作者在文献[1]中, 研究了水氡的多点差分异常群体的周期特征及其与地震的关系。

本次研究采用最大熵谱的计算分析方法, 对我省及邻区几个井孔的地下水位的多年观测资料进行了熵谱分析, 从多年的地下水位观测资料中, 分析所包含的各种周期成分。结果显示, 地下水动态变化除了1年及1年以内的短周期成分外, 还存在着3年和10年等左右的主要周期成分, 这是与水文地质科学中水动力学规律相吻合的^[2]。

1 最大熵谱方法要点

1967年J. P. Burg提出了把信息论中最大熵谱技术应用于时间序列的功率谱估计称为最大熵谱方法。所谓熵是随机过程单位时间(或自变量单位间距)的平均信息, 而平稳过程的熵取极大时的功率谱; 最大熵谱优于通常的谱分析方法, 其分辨率是一般谱分析方法的4倍, 尤其对短期资料的谱分析可以得到更好的估计结果。

设有等时间间隔 Δt 的地下水资料 $X_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$, 其平均值 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, 则新序列 $X_i = x_i - \bar{x}$ 。采用一阶正向预测误差和反向预测误差之和达极小的原理确定 $a(1, 1)$ 。

$$a(1,1) = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} x_i x_{i+1}}{\sum_{i=1}^{n-1} (x_i^2 + x_{i+1}^2)}$$

采用二阶正向预测误差和反向预测误差之和达极小的原理确定 $a(2,2)$ 。应用平稳自回归递推公式有：

$$a(1,2) = a(1,1)(1 - a(2,2))$$

一般地，对于 $1 \leq m \leq n-1$ 有：

$$a(m+1, m+1) = \frac{\sum_{i=1}^{n-m-1} (x_i - \sum_{j=1}^m a(j, m) x_{i+j}) (x_{i+m+1} - \sum_{j=1}^m a(j, m) x_{i+m+1-j})}{\sum_{i=1}^{n-m-1} [(x_i - \sum_{j=1}^m a(j, m) x_{i+j})^2 + (x_{i+m+1} - \sum_{j=1}^m a(j, m) x_{i+m+1-j})^2]}$$

而 $a(j, m+1) = a(j, m) - a(m+1, m+1)a(m+1-j, m)$ ($j = 1, 2, 3 \dots m$)

其中 m 为阶数，代表预测误差的最佳过滤系数， m 的选择是至关重要的。用赤池最终预报误差(FPE) 准则来确定 m_0 ，即：

$$(FPE)_m = \frac{(1 + \frac{k}{n})}{(1 - \frac{k}{n})} \sigma^2 = \frac{n+m}{n-m} \sigma^2$$

式中 $(\frac{n+m}{n-m})$ 的值随 m 的增大而增大，参数估计的方差 σ^2 随 m 的增大而减小，故 $(FPE)_m$ 将在某个 $m = m_0$ 处达到最小值，此 m_0 就是预测误差滤波器的最佳阶数。

$$\text{其中 } \sigma_m^2 = R(0) - \sum_{i=1}^k a(j, m) R(j)$$

$$\text{而 } R(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-j} x_i x_{i+j} \quad (j = 0, 1, 2 \dots m)$$

$$R(0) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$$

$$R(1) = a(1,1)R(0)$$

对于 $1 \leq m \leq n-2$ 有：

$$R(m+1) = a(m+1, m+1) [R(0) - \sum_{j=1}^m a(j, m) R(j) + \sum_{j=1}^m a(j, m) R(m+1-j)]$$

m_0 确定后，最大熵谱为：

$$P(j) = \frac{\sigma_{m_0}^2 \Delta t}{\left| 1 - \sum_{j=1}^{m_0} a(j, m_0) e^{-2\pi i j \Delta t} \right|^2}$$

最大熵谱特别适用于对短资料作谱分析^[3]，所谓短资料是相对于所分析周期而言的。通常的谱分析是假定采样序列以外的数据是零序列或周期序列，因而，如果资料较短，则结果频谱的误差就大，尤其是低频部分更显得与实际情况不一致。而最大熵谱却是按信息论中最大熵原理将数据合理地向外延拓，因而通常资料长度仅及所分析周期长度的 1/3

至 1/2 时,峰值频率的偏离仍有 5%至 10%的误差。

2 地下水多年动态的最大熵谱分析

考虑井孔观测资料的连续性,用于计算分析的多年连续的地下水位资料,有唐山地区的芦台农场、滦南、唐山矿,天津的双桥、辛庄,北京的大灰厂等 6 个井的资料,资料最长 26 年。图 1 是河北及邻区几个井孔的地下水位月均值图,从图 1 可看出,水位动态随时间的变化是不均匀的。图 2 为由地下水位年均值序列计算的最大熵谱曲线。地下水动态变化规律从长时间的变化来看,可视为具有一定规律的随机过程。从图 2 可以看出:芦台井水位,熵谱峰值时间为 10 年、6 年和 2 年;大灰厂井水位,熵谱峰值时间为 18 年、10 年、7 年、4 年;滦南井水位,熵谱峰值时间为 8 年、3 年;唐山井水位,熵谱峰值时间为 8 年;双桥井水位,熵谱峰值时间为 9 年;辛庄井的谱分析结果则没有最大峰值,这可能和周围环境因素的变化联系密切。分析计算结果得出,地下水位存在着 10 年左右的卓越周期。从图 3 各井水位的年均值可看出,从 1984 年到 1994 年的 10 年周期是明显的,由于唐山地震前各井的水位资料较短,10 年的周期成分显示不出来。

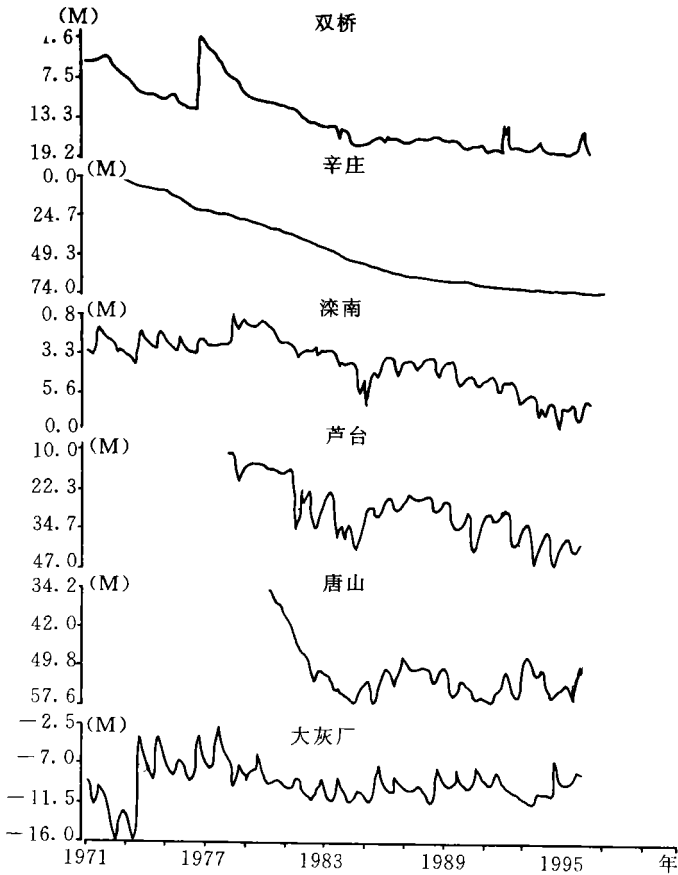


图 1 地下水动态月均值图

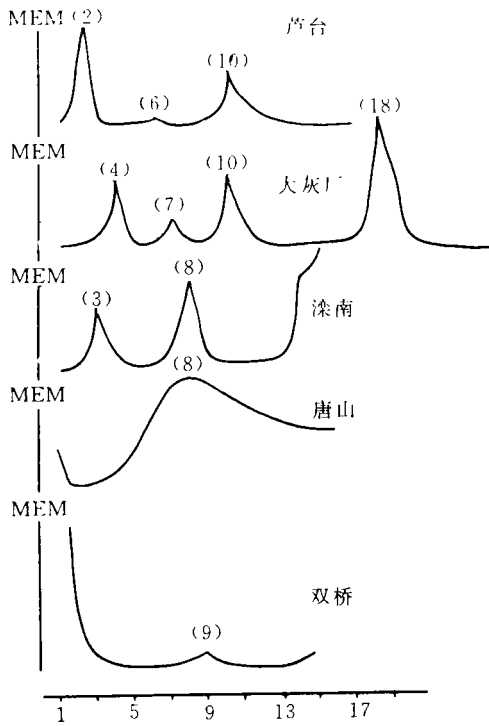


图2 地下水动态年均值图

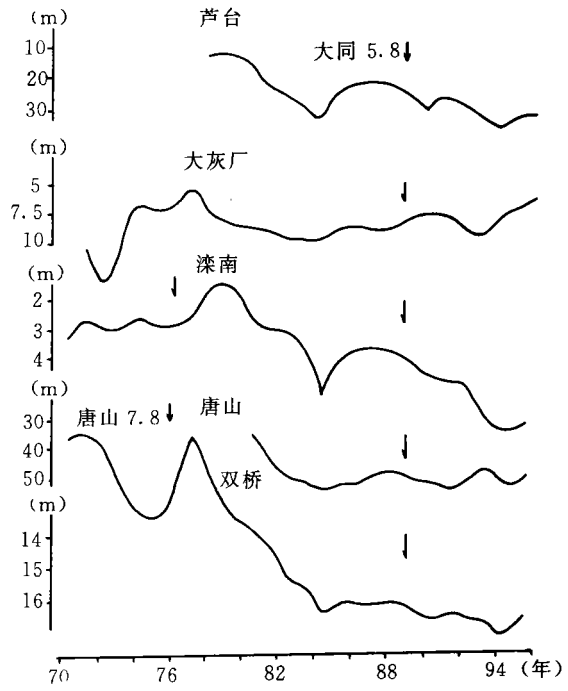


图3 地下水动态最大熵谱曲线图

3 地下水周期变化与地震关系的初析

地下水动态的变化是非稳态的,但从多年的较大空间区域的井水位总体变化看,地下水位仍然可视为平稳随机过程。对于一定区域的多年地下水动态作最大熵谱分析,得出确定的周期结构,然后结合震例分析,从而推估下一次地震事件可能出现的地点和时间。

朱岳清、邢如英等(1994),以本世纪以来全球、亚欧大陆与中国地震年能量和年频度为采样序列,作最大熵谱分析,得出了 60—64、43、32、32.3、14.2、12.8、10.7、9.1 年等 8 个长周期和 7、5、3.7、2.5 年等长周期。分析该结果与地下水动态变化最大熵谱分析的结果得到,地震活动的某些周期成分与地下水动态的周期差不多吻合。图 3 为水位年均值图,即过滤掉了 1 年以内的周期变化。从图 3 可以看出地下水的 10 年和 3 年左右的周期较明显,仅从 10 年左右的周期而言,图 3 显示出 1994 年、1984 年左右为 10 年周期的转折点,强地震一般发生在 10 年周期变化由低水位转向高水位的前半段,或者由高水位向低水位转变的时段,强震前一般有 1~2 年的水位畸变前兆。如果按照 10 年的周期推算,唐山地震前的 1975、1976 年地下水位应处于低水位向高水位逐步回升阶段,实际情况是区域范围内的水位不但没回升,而且是相对下降。同样,1989 年大同 6.1 级地震前,按照 10 年周期分析,区域范围内的水位还没到下降时段,就不同程度地出现了下降。

4 结 语

从上面的分析结果来看,地下水位的变化存在着明显的 10 年左右和 3 年左右的周期成分,是和大气环境因素密切相关的。地下水和周围的岩石介质相互作用,表现出的周期畸变,可反应地壳应力的变化。根据确定的周期结构,以及与震例的对应关系,可推估下一次地震事件可能出现的地点和时间。至于预报地震三要素的指标,有待进一步的研究。

(1997 年 9 月 1 日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 张素欣,王吉易,等.水氧群体异常频次序列的周期分析.地震,1996,(2):177~182
- 2 M. E. 阿利托夫斯基,А. А. 康若波梁采夫.地下水动态研究方法指南.1956,北京:地质出版社.
- 3 朱岳清,邢如英.信息论最大熵谱方法的优良特性及其应用研究的新进展.地震,1985,(4):49~55
- 4 李文英.河北省北部地区地震时间序列的最大熵谱分析.华北地震科学,1989,7(1):58~64

THE LARGEST ENTROPY SPECTRUM ANALYSIS OF GROUNDWATER DYNAMIC STATE

Zhang Suxin Wang Jiyi Zheng Yunzhen

(Seismological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang, 050021)

Abstract

In this paper, using the largest entropy spectrum method, the entropy spectrum analysis is made for the observational data of groundwater dynamic state of many years in several wells in Hebei Province and its neighbouring area. The result shows that the variation of groundwater dynamic state, besides one year and less than one year short period component, showed about three years and ten years predominant period component. This understanding on the period structure can help to correctly recognize the midterm seismic anomalous information.

Subject words: groundwater dynamic state; largest entropy spectrum analysis; period variation