

豫01井地下水位模糊分维值的变化与地震的关系

郭德科¹, 吴学瑜¹, 赵欣荣²

(1. 濮阳市地震台, 河南 濮阳 457000; 2. 范县地震办公室, 河南 范县 457500)

摘要: 采用了模糊集理论与分形理论相结合的模糊分维方法, 计算了河南范县豫01井水位动态的模糊分维值, 并分析了与1981年河北宁晋 $M_s5.8$ 、1983年山东菏泽 $M_s5.9$ 、1985年河北任县 $M_s5.0$ 地震的关系. 结果显示, 模糊分维值在这3次地震前都明显地出现了小于0.75的降维低值异常特征. 且震级越大, 震中距越小, 异常时间越长; 反之则相反.

关键词: 模糊分维; 水位异常; 豫01井

中图分类号: P315.72⁺³ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)02-0174-04

0 引言

地下水动态的观测值是地壳和观测系统多种因素作用下的综合物理量, 包含了地震和非地震因素导致的多种周期或非周期成分干扰的综合值. 由于很难分解和得到各种因素的量度值并用常规的方法将其排除, 提取地震异常信息就比较困难. 也就是说, 地震信息和非地震信息的界线是模糊的, 因此可以采用模糊数学的方法进行处理分析.

自相似现象是自然界中的一种普遍现象. 分数维是描述自相似现象复杂程度的一个重要参数. 一般情况下地下水位动态观测值应该是各种非地震因素的综合物理量, 其自相似性是较稳定的, 也就是应该有相对稳定的维数. 在地震前观测环境发生非正常变化时, 观测值的自相似性必然改变, 反映为维数的降低.

基于上述思路, 本文利用模糊分维这一新方法处理了豫01井建站以来的地下水位观测资料. 发现地下水位模糊分维值在无中强地震发生时段未小于0.75, 相对稳定; 而在1981年河北宁晋 $M_s5.8$ 、1983年山东菏泽 $M_s5.9$ 和1985年河北任县 $M_s5.0$ 地震前都明显地出现了小于0.75的降维低值异常特征.

1 豫01井的概况

豫01井系石油勘探井, 1979年底建点并投入观测. 该井位于河南省范县颜村铺乡榆林头村东百米处(北纬 $35^{\circ}52'$, 东经 $115^{\circ}30'$), 四周为广阔的黄河冲积平原区. 古生代基岩埋深1 010 m, 第四系沉积厚度大于250 m. 构造上处于华北断陷区南部, NNE向兰聊断裂带中

段与近 EW 向汶泗断裂交汇处附近, 属鲁西隆起西部边缘地带(图 1)。

该井深 2 267.03 m, 套管下入深度为 1 032.32 m, 直接座落于古生代奥陶纪灰岩上。采用水泥固井, 止水条件好。观测层段为 1 030.0 ~ 1 977.0 m, 为露孔, 系岩溶裂隙承压水, 具有含水层厚度大、裂隙发育、承压性能好、封闭性强的特点。

1979 年 12 月豫 01 井正式投入观测, 1982 年开始用 SW-40 型水位仪, 观测精度为毫米级。其水位埋深 3 ~ 4 m。近 20 年的观测资料表明, 豫 01 井水位微动态可显示地球固体潮、气压波动; 可记录地震波。水位年动态受降雨影响不明显, 是一口灵敏度和精度较高的水动态观测井。该井观测条件稳定, 观测资料可信度高。

2 地下水水位模糊分维值的计算方法

模糊分维计算方法是把模糊集理论与分形理论相结合, 用从隶属度之和($\sum \mu_j$)代替清晰维计算公式中的吸引子积分关联函数(γ), 从而求得相应的模糊容量维。

2.1 计算模糊从属函数值(μ_j)

大量的观测资料表明, 地震异常大都取决于地震前兆随时间变化速率的大小。对于地下水水位动态观测值变化曲线 $\gamma(t)$, 定义如下形式的异常从属函数:

$$\mu_j = [1 + \frac{\alpha}{|K_j| |r_j|}]^{-1} \tag{1}$$

式中: $|K_j|$ 是曲线斜率的绝对值, 主要反映地下水水位动态观测值的变化速率; $|r_j|$ 是对应的相关系数绝对值, 反映了观测值内在质量的好坏。α 是经验常数, 选取原则是使有震样本属于异常的最小从属度大于无震样本属于异常的最大从属度。

$|K_j|$ 和 $|r_j|$ 利用连续 5 个观测值及其相应的时间序号作一元线性回归分析求得

$$K_j = \frac{\sum T_i \sum y_i - n \sum T_i y_i}{(\sum T_i)^2 - n \sum T_i^2} \tag{2}$$

$$r_j = \frac{\sum T_i y_i - (\sum T_i \sum y_i) / n}{\{[\sum T_i^2 - (\sum T_i)^2 / n] * [\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2 / n]\}^{1/2}} \tag{3}$$

n 为一元回归分析时样本数, 一般取 $n = 5$ 。 T_i 为相应的时间序号, y_i 为前兆观测值。

2.2 计算模糊分维

求得前兆观测值的 μ_j 值之后, 即可计算地下水水位动态观测值的模糊异常从属函数的时间 D_0 分维值。计算公式如下:

$$D_0 = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln(\sum \mu_j)}{\ln(1/\epsilon_i)} \tag{4}$$

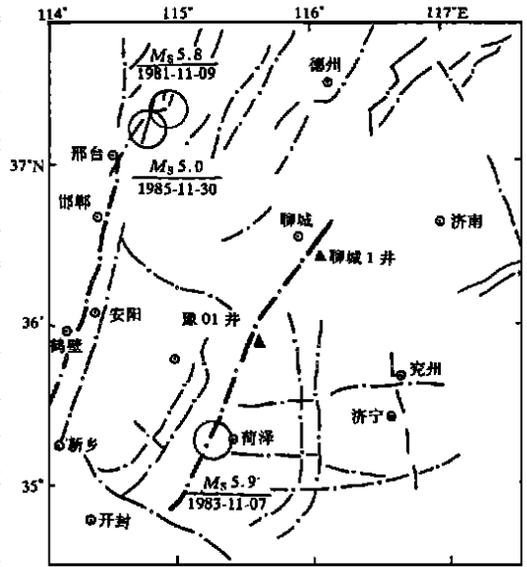


图 1 河南豫 01 井位置图

Fig. 1 The position of Yu-01 well in Henan province.

式中: ϵ_i 取 1, 2, 3, 4, 6, 12; μ_j 分别取该时间段内的最大值.

把 2 个月的 12 个地下水动态五日均值的异常从属函数 μ 值作为一个时间段, 依次用新标度 $12/\epsilon$ ($\epsilon = 1, 2, 3, 4, 6, 12$) 分别量取该时段内的最大 μ 值, 即: $c_i = \sum_1^{12/\epsilon} \mu_j$; 当 $\epsilon = 12$ 时, $c_6 = \mu_{j_{\max}}$. 利用最小二乘法求曲线的斜率值 D_0 . 一个月一滑动, 便得到一条 D_0 值的时间序列曲线:

$$\ln(c) = \ln\left(\sum \mu_j\right) = -D_0 \ln \epsilon + b \quad (5)$$

3 豫 01 井地下水水位模糊分维值的计算结果

利用上述方法, 计算了 1981~1999 年豫 01 井地下水位的模糊分维值(图 2). 距豫 01 井 200 km 范围内, 自 1981 年至今, 豫鲁冀交界区共发生了 3 次 $M_s 5.0$ 以上地震, 即 1981 年 11 月 9 日河北宁晋 $M_s 5.8$ 地震(震中距约 190 km), 1983 年 11 月 7 日山东菏泽 $M_s 5.9$ 地震(震中距约 80 km) 和 1985 年 11 月 30 日河北任县 $M_s 5.0$ 地震(震中距约 150 km).

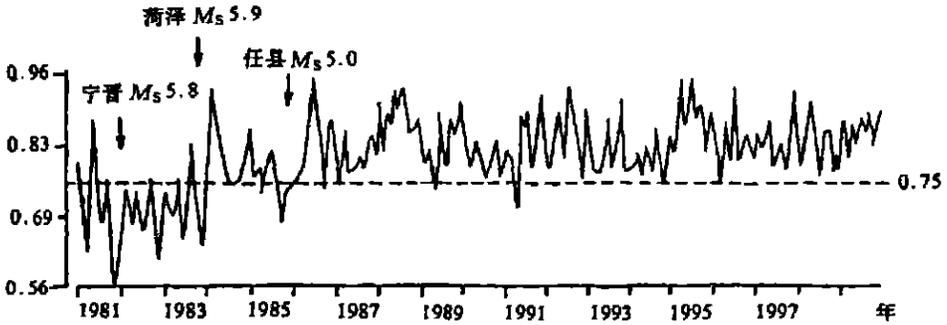


图 2 河南豫 01 井水位模糊分维值曲线

Fig. 2 The water level fuzzy fractal curve of Yu-01 well, Henan province.

从图 2 可以看出, 自 1981 年观测以来, 豫 01 井地下水水位模糊分维值在 1981 年 3 月降维低于 0.75, 4 月为 0.62, 5 月恢复, 6、7 两月高值达 0.85, 8 月又开始降维, 一直到 11 月宁晋发生 $M_s 5.8$ 地震降至最低(0.56). 震后两个月逐渐恢复, 接近 0.75. 这说明宁晋 $M_s 5.8$ 地震震前、震时、震后改变了观测值时序的自相似结构的变化, 反映了维数降低, 且震时模糊分维值变化最大. 1982 年 2 月至 1983 年 8 月模糊分维值一直持续低于 0.75, 在 0.60~0.75 之间波动. 1983 年 9 月回升到 0.8, 10 月又突降, 到 11 月菏泽发生 $M_s 5.9$ 地震降为 0.64, 1984 年 2 月恢复到 0.75 以上. 异常持续时间达二十个月, 震前存在升降维的起伏现象. 1984 年 2 月至 1985 年 8 月未存在模糊分维值小于 0.75. 1985 年 9 月出现了小于 0.75 的降维, 一直到 11 月任县 $M_s 5.0$ 地震的发生, 降为 0.68, 震后两月恢复正常. 1986 年 3 月至今, 豫 01 井地下水水位模糊分维值仅在 1991 年 3 月单点小于 0.75, 其它时间都在 0.75~1 之间变化, 此时间段内未发生 $M_s 5.0$ 以上地震.

由以上分析可见, 豫 01 井地下水水位模糊分维值 3 次中强地震震前、震时、震后短时间内都存在明显的低值降维过程. 在无中强地震发生时段系统介质相对比较均匀, 其结构自相似性是比较稳定的, 反映为模糊分维数也相对稳定, 其值在高值内波动. 在中强地震孕育过程中, 构造应力不断积累达到一定程度, 使得系统内介质受到扰动, 观测环境受到物理或化学因素变化的影响, 其观测值结构自相似性必然改变, 其模糊分维值反映为降维低值. 地震时, 震源周围介质处

于较杂乱的状态, 观测值结构自相似性变化最大, 其模糊分维值最低. 震后, 短时间内系统介质受外界各种物理或化学因素的影响越来越小, 由震时的极不稳定慢慢恢复到稳定状, 其自相似性也逐渐相对越来越稳定, 观测值的模糊分维值由低值转向高值.

通过研究发现, 豫 01 井地下水位模糊分维值与中强地震有如下关系: 一是中强地震前都存在明显降维异常过程, 并且中强地震发生的地点离观测站越近, 降维异常的时间越长; 发生地震的震级越大, 降维异常过程越长. 二是模糊分维值降到低于 0.75 为发震异常警戒线. 地震发生在低值的低谷附近. 震后短时间内模糊分维值恢复到 0.75 以上.

4 结语

(1) 模糊分维和模糊自相似在中强震震前出现了低值, 说明无论从无序还是从有序来分析前兆观测值, 在地震前都呈现出自相似的降低. 也就是说, 在地应力作用下, 这些观测值在震前改变了它们原有的结构关系. 模糊分维值反映了地震前兆时序观测资料的结构变化特征, 具有一定的物理意义.

(2) 豫 01 井地下水位模糊分维值在 1981 年河北宁晋 $M_s5.8$ 、1983 年山东菏泽 $M_s5.9$ 和 1985 年河北任县 $M_s5.0$ 地震震前、震时、震后都明显地出现了小于 0.75 的降维低值异常变化, 这可能反映了系统在孕震、发震、震后恢复过程中的降维有序变化过程.

(3) 本文的方法不限于处理地下水位观测资料, 也可以处理各种地震前兆手段的观测资料, 它给出了一种无量纲的描述孕震信息的定量化指标, 为研究分析地震孕育发生过程提供了新方法.

[参考文献]

- [1] 冯德益, 等. 模糊数学方法与应用[M]. 北京: 地震出版社, 1993.
- [2] 冯德益, 林命周, 等. 模糊地震学[M]. 北京: 地震出版社, 1992.
- [3] 张昭栋. 1983 年菏泽 5.9 级地震与深井水位的变化[J]. 地震研究, 1990, 13(1): 70—80
- [4] 吴景云, 冯运才, 张冠峰, 等. 菏泽 5.9 级地震前后豫 49 井的水位变化特征[J]. 地震, 1984, (3): 16—19.

RELATIONSHIP BETWEEN VARIATION OF THE FUZZY FRACTAL VALUE OF THE UNDERGROUND WATER LEVEL IN YU-01 WELL AND EARTHQUAKE

GUO De-ke¹, WU Xue-yu¹, ZHAO Xin-rong²

(1. *Puyang City Seismic Station, Puyang 457000, China;*

2. *Fanxian County Seismic Office, Fanxian 457000, China*)

Abstract: Adopting the fuzzy fractal method which combines fuzzy set theory and fractal theory, the fuzzy fractal values of dynamic water-level in yu-01 well, Fanxian county, Henan Province, are calculated, and the relationship between the fuzzy fractal value and three earthquakes (Ningjin $M_s5.8$ in 1981, Heze $M_s5.9$ in 1983, and Renxian $M_s5.0$ in 1985) is analysed. The result shows an abnormal characteristic that the fuzzy fractal value fell down to less than 0.75 apparently before three earthquakes, and the larger the degree of earthquake is and the smaller the epicentral distance is, the longer the time of abnormal characteristic last.

Key words: Fuzzy fractal; Water-level abnormality; Yu-01 well