

# 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

范雪芳<sup>1</sup>, 王吉易<sup>2</sup>, 张淑亮<sup>1</sup>, 马朝晖<sup>1</sup>

(1. 山西省地震局, 山西太原 030021; 2. 河北省地震局, 河北石家庄 050021)

**摘要:** 收集观测连续、动态稳定的井(泉)的水位、水氡观测资料, 选择适合中期和中短期的异常提取方法, 对大同 6.1 和张北 6.2 级地震前的水位、水氡异常进行分析, 依据统计资料给出了山西及其邻区强震地下流体中期和中短期发震时间预测的指标与方法。

**关键词:** 山西; 地下流体; 前兆异常; 中期; 中短期; 地震预测

**中图分类号:** P315.72<sup>+</sup>3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-0844(2007)02-0177-06

## Study on the Intermediate-term and Intermediate-short-term Forecast Method for Strong Earthquake from Underground Liquid in Shanxi Province and Its Adjacent Regions

FAN Xue-fang<sup>1</sup>, WANG Ji-yi<sup>2</sup>, ZHANG Shu-liang<sup>1</sup>, MA Zhao-hui<sup>1</sup>

(1. Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030021, China;

2. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, China)

**Abstract:** In this paper, the observation data of groundwater levels in well/spring and water radon with continuous and stable observation in Shanxi province and its adjacent regions are collected. The special method for extracting intermediate-term and intermediate-short-term anomalies was chosen and used to analyse the anomalies of groundwater level and water radon before Datong M6.1 and Zhangbei M6.2 earthquakes. Based on the statistical data, the index and method for intermediate-term and intermediate-short-term strong earthquake forecast judging by the precursor anomalies in underground liquid in this area are suggested.

**Key words:** Shanxi province; Underground liquid; Precursor anomaly; Intermediate-term; Intermediate-short-term; Earthquake prediction

### 0 引言

地震预测是世界性的科学难题, 目前正处在艰难探索的阶段, 地下流体学科也不例外。1966 年邢台地震以后我国开展了利用地下流体预报地震的探索; 在 20 世纪 70 年代初期已开始研究地下流体地震分析预报方法。历经近四十年的努力, 提出了多种多样的利用地下流体异常预测地震的方法。

山西及其邻区的地震地下流体观测已有 30 多年历史。观测资料和预报实践表明, 该区地下流体

手段对强震有着良好的异常反应, 并对 1998 年张北地震做过一定程度的预报。但过去对的流体震例资料, 特别是对近 20 年的资料尚未做系统的总结。本文以 6 级以上强震为预测目标, 选用效果良好的分析方法, 系统提取出水位、水氡的全部异常变化, 分析前兆异常特征及其与地震关系; 以前兆异常特征为依据, 建立适用于区域特色的预测地下流体中期和中短期的预测方法。

收稿日期: 2006-06-09

基金项目: 山西省地震局基金制项目(SBK-0410)

作者简介: 范雪芳(1963-), 女(汉族), 山西万荣人, 高级工程师, 主要从事地震分析预报和研究工作。

## 1 观测资料的收集

其相邻的内蒙古、河北及北京地区。观测点分布和资料情况见表 1。

收集观测资料连续、可靠、动态稳定的井(泉)水位、水氡观测资料。资料收集范围是山西中北部及

表 1 山西省及邻近地区地下流体观测井(泉)情况表

测项	省市	井泉名称	井(泉)点位置 经度/° 纬度/°	使用资料时间	井深/m	地下水岩性	含水层类型	
水	山西	静乐井	112.04 38.36	1983-01—2005-12	362.92	O <sub>2</sub> 灰岩	裂隙承压水	
		朔州井	112.53 39.33	1987-07—2005-10	708.46	O <sub>2</sub> 灰岩、白云岩	岩溶水	
		介休井	111.90 37.02	1983-01—2005-10	315.00	N·P 砂砾岩、砂岩	承压水	
		太原井	112.44 37.71	1983-01—2005-10	765.78	O <sub>2</sub> 灰岩	岩溶水	
		孝义井	111.77 37.15	1985-01—2005-09	502.93	P <sub>2</sub> 砂岩、页岩	承压水	
	位	玉田井	17.75 39.83	1981-01—2004-09	456.40	O <sub>2</sub> 灰岩	承压水	
		河北	唐山矿井	118.18 39.62	1983-01—2005-09	286.7	O <sub>2</sub> 灰岩	承压水
		丰南井	118.12 39.60	1983-01—2004-09	706.7	O <sub>2</sub> 灰岩	承压水	
		内蒙	三号地井	113.08 40.90	1993-01—2005-09	165.1	N <sub>2</sub> 玄武岩	混合水
		兴和井	113.78 40.82	1988-07—2005-09	149.4	砂岩	混合水	
水	北京	丰镇井	113.08 40.22	1992-01—2005-10	98.88	砂岩	混合水	
		大灰厂井	116.12 39.85	1989-01—2005-12	99.9	Z 灰岩	混合水	
	山西	定襄泉	113.00 38.42	1983-01—2005-10	泉	O 灰岩	混合水	
		奇村井	112.62 38.56	1990-01—2005-10	50.26	Q <sub>4</sub> 细砂	混合水	
	氡	河北	文安井	116.45 38.86	1993-01—2005-09	400.2	Q 中粗砂	承压水
			怀来 3 井	115.50 40.30	1993-01—2005-10	288.4	Ar 片麻岩	自流热水
			怀来 4 井	115.50 40.30	1993-01—2005-10	500.54	Ar 片麻岩	自流热水
		矾山泉	115.41 40.25	1984-10—2005-10	泉	Q 砂、砾石	自流	
		万全井	114.75 40.93	1983-01—2003-07	217.3	J 火山岩	承压自流	
		芦台井	117.20 39.32	1992-01—2005-10	280.0	Q 砂层	自流冷水	

## 2 异常提取方法

采用刘耀炜编写的“Shepwin<sup>①</sup>”软件所提供的各种数据处理方法,对所收集的地下流体资料进行分析处理。通过分析对比,同时也经在 2004—2006 年度地震趋势判断中的试用,我们选用了以下异常提取方法。

### 2.1 中期异常的提取

大量震例资料表明水位、水氡的趋势性上升为强震的中期异常。采用从属函数法来提取中期异常。首先求月均值的 23 点滑动平均值,其计算式为<sup>[1]</sup>

$$M_i^{23} = \bar{X}_i^{23} = \frac{1}{23} \sum_{k=0}^{22} X_{i-k} \quad (1)$$

式中  $M_i^{23}$  和  $\bar{X}_i^{23}$  均为 23 点滑动平均值;  $X_i$  为月均值。

计算水位、水氡异常变化上升段的从属函数  $\mu$  值,拟合窗口长度  $m=9$ ,其计算式为

$$\mu_i = \left[ 1 + \frac{\alpha}{|K_i| |r_i|} \right]^{-1} \quad (2)$$

式中  $|K_i|$  为滑动拟合曲线斜率的绝对值,主要反映参量的速率变化;  $|r_i|$  拟合曲线相关系数的绝对值,主要反映数据线性变化的相关程度;  $\alpha$  是经验常数,

是通过学习样本而定的。具体做法是通过震例总结获得  $\alpha$  值,在尔后的实际预测时依然采用该  $\alpha$  值,实践表明这种办法是可行的。

异常判别指标取  $\mu \geq 0.5$ 。

### 2.2 中短期异常的提取

水氡、水位观测值在出现中期异常后,再由上升转为下降,其下降变化则为中短期异常。采用以下两种方法来提取中短期异常。

(1) 剩余曲线法:求月均值的 11 点滑动平均值,将该值置于右端点,其计算式为

$$M_i^{11} = \bar{X}_i^{11} = \frac{1}{11} \sum_{k=0}^{10} X_{i-k} \quad (3)$$

式中  $M_i^{11}$  和  $\bar{X}_i^{11}$  均为 11 点滑动平均值;  $X_i$  为月均值。

求 5 点平均剩余值  $\bar{M}_i$ , 将  $\bar{M}_i$  值置放于右端点。其计算式为

$$\bar{M}_i = M_i^{11} - \frac{1}{5} \sum_{k=-2}^2 M_{i+k}^{11} \quad (4)$$

如果剩余值等于或大于正的 2 倍均方差,即  $\bar{M} \geq$

① 刘耀炜,杜建国,等.地下水化学参量中短期异常识别、标志体系及预报方法研究.兰州地震研究所,1990.

2.0σ,则为异常。

(2) 从属函数法:计算月均值的 11 点滑动平均值。求滑动值曲线的下降段的从属函数 μ 值,拟合窗口长度 m=5,其计算式为

$$\mu_i = \left[ 1 + \frac{\alpha}{|k_i| |r_i|} \right]^{-1} \quad (5)$$

异常判别指标为 μ ≥ 0.5。

要指出的是,只有那些在中期异常结束后出现的剩余曲线或从属函数中短期异常,才是强震的中短期前兆。

### 3 水氡、水位异常变化分析

山西静乐井水位的异常变化如图 2。从图中可见,1989 年 10 月 19 日大同 6.1 级和 1998 年 1 月

10 日张北 6.2 级地震前该井都出现从属函数中期异常变化,其时间分别为 1986 年 11 月—1990 年 11 月和 1994 年 12 月—1998 年 4 月(图 1(a))。大同 6.1 级和张北 6.2 级地震前静乐井水位在中期异常的背景上分别于 1989 年 7—10 月和 1997 年 8—10 月出现剩余曲线中短期前兆异常变化(图 1(b))。在张北 6.2 级地震前于 1997 年 12 月出现从属函数短期异常(图 1(b))。

以 1989 年大同 6.1 级和 1998 年张北 6.2 级地震为研究的目标地震,在所处理的 20 个测点中,计有 13 个水点测项在地震前出现了从属函数中期异常(图 2)。表明从属函数法的效果较好。前兆异常的特征列于表 2。

表 2 水氡、水位从属函数中期异常特征参数统计表

测项	省市	水点	异常时间		超前/月	最大异常值	经验常数	对应地震	备注	
			开始	结束						
水 位	山西	静乐井	1988-11	1990-11	11	0.89	0.01	大同		
			1994-12	1998-04	40	0.92				张北
		朔州井	1996-12	1998-01	13	0.03	0.68	张北		
		太原井	1997-09	1998-01	4	0.01	0.67	张北		
	水		玉田井	1986-02	1988-01	44	0.63	0.05	大同	
				1995-05	1997-10	32	0.72			
		唐 山 矿 井	1986-02	1988-01	44	0.71	0.10	大同	1993 年干扰	
			1993-02	1994-02	—	0.78				干扰
			1996-05	1999-03	20	0.81				张北
			1986-04	1988-05	42	0.82				大同
	河北	丰南井	1993-06	1993-09	—	0.61	0.10	—		
			1996-04	1999-02	21	0.80				张北
		崇礼井	1987-12	1989-08	22	0.75	0.01	大同	—	
1991-04			1994-08	—	0.85					
1995-11	1997-09	26	0.91	张北						
内蒙 古		三号地井	1996-07	1998-06	18	0.74	0.05	张北		
			1996-04	1998-01	21	0.66	0.04	张北		
北京		大灰厂井	1991-07	1992-08	—	0.54	0.04	—		
			1996-02	1996-07	23	0.69				张北
水	山西	定襄泉	1989-01	1990-12	23	0.78	0.20	大同		
			1996-04	1998-02	22	0.72				张北
		奇村井	1996-08	1998-03	17	0.63	0.05	张北		
氡	河北	矾山泉	1988-08	1989-03	14	0.70	0.05	大同	—	
			1991-10	1993-05	—	0.72				
			1995-12	1996-04	25	0.59				张北

在出现中期异常的背景上采用五点剩余曲线和从属函数法提取中短期异常,定襄泉水氡、静乐井水位和大灰厂井水位等在大同地震和张北地震前异常反映较好(图 3)。

### 4 中期和中短期发震时间预测方法

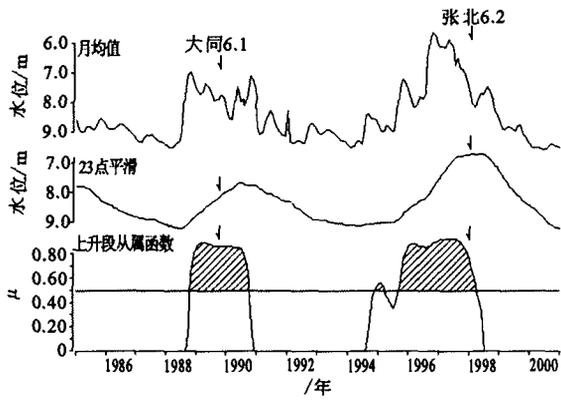
#### 4.1 发震时间预测参考指标

预测指标的拟定必需有大量的统计样本,但是

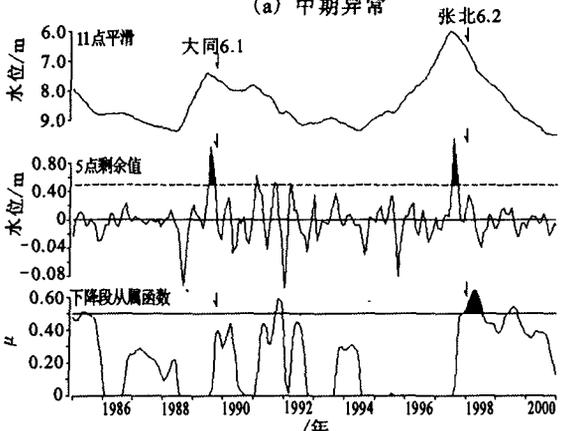
华北地区 1900 年以来强震发生有着十年左右的周期性,这就意味着积累大量震例需要数百年。为满足地震预报的迫切要求,我们依据有限震例给出一些只具参考意义的指标。

依据表 3 给出的水氡、水位从属函数中期异常的超前时间,并参考刘喜兰等<sup>②</sup>同类研究的结果,拟

② 刘喜兰,金艳,李君英,等.华北地区地下流体短期异常判定和预测指标的研究.天津市地震局,2003



(a) 中期异常



(b) 中短期异常

图1 静乐井水位中期和中短期异常变化曲线图  
Fig. 1 Intermediate-term and intermediate-short-term anomaly variation of groundwater level in Jingle well.

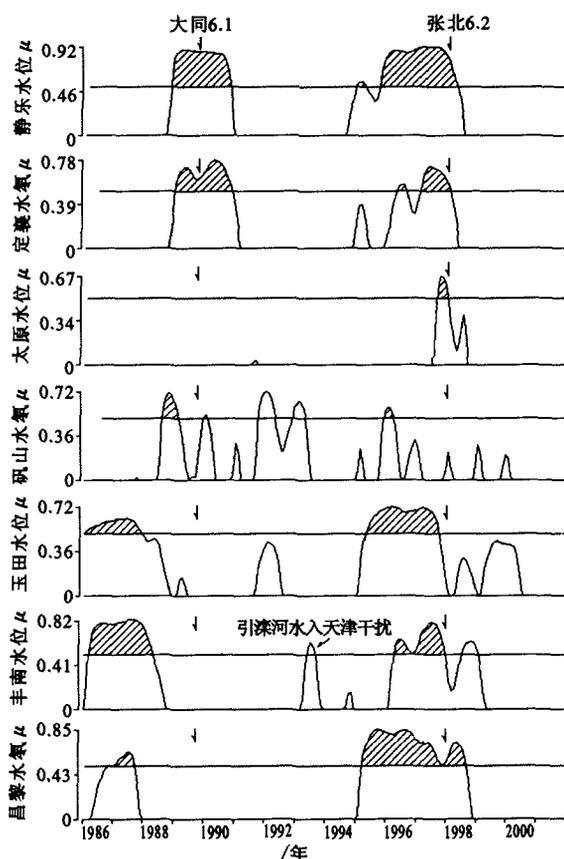
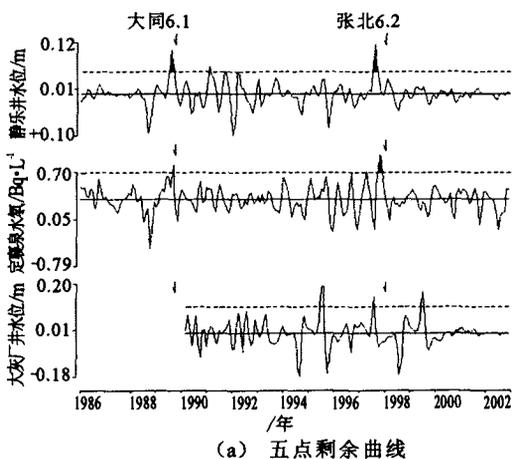
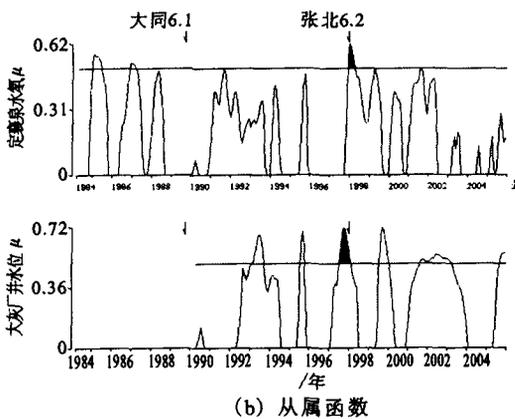


图2 山西及其邻区部分地下流体从属函数中期异常变化曲线图  
Fig. 2 Intermediate-term anomaly variation of the hypotaxis function for underground fluid in Shanxi province and its neighbor regions.



(a) 五点剩余曲线



(b) 从属函数

图3 中短期异常变化曲线图  
Fig. 3 Some intermediate-short-term anomaly curves.

定出山西及其邻区强震的中期和中短期发震时间的预测指标(表3)。表3中列出的中期预测的最大和最小超前时间即为表中由实际资料统计得到的超前时间。

4.2 发震时间的预测

中期或中短期的预测都可以按照下面介绍的方法进行。

(1) 单点单项预测发震时间的计算

表 3 山西及其邻区水位、水氡中期和中短期时间预测参考指标表

预测尺度	预测方法	异常判定指标 $j$	预测的最小超前	预测的最大超前
			时间 $\Delta T^1$ /月	时间 $\Delta T^2$ /月
中期	从属函数	$\mu \geq 0.5$	4	44
中短期	剩余曲线	$\bar{M} \geq 2.0 \sigma$	3	13
	从属函数	$\mu \geq 0.5$	3	13

当第 ( $i=1, 2, 3, \dots$ ) 个水点测项达到异常判定指标  $j$  时,即可从表 2 查出所预测的最小和最大超前时间  $\Delta T$ ,并由下式计算出发震时间<sup>[2]</sup>:

$$\begin{cases} T_{j,i}^1 = t_{j,i} + \Delta T_{j,i}^1 \\ T_{j,i}^2 = t_{j,i} + \Delta T_{j,i}^2 \end{cases} \quad (6)$$

式中  $T_{j,i}^1$  和  $T_{j,i}^2$  分别为单点单项预测的发震开始与终止时间; $t_{j,i}$  为达到指标  $j$  的时间; $\Delta T_{j,i}^1$  和  $\Delta T_{j,i}^2$  分别为预测的最小和最大的超前时间。

(2) 多点的综合发震时间的计算

首先计算出各单点单项预测的发震时间,按照集合运算法则算出综合预测的发震时间。其计算式为

$$\begin{cases} T^1 = \max(T_1^1, T_2^1, \dots, T_m^1) \\ T^2 = \min(T_1^2, T_2^2, \dots, T_m^2) \end{cases} \quad (7)$$

式中  $T^1$  和  $T^2$  分别为多点项预测的发震开始和终止时间; $T_1^1, T_2^1, \dots, T_m^1$  分别为第 1, 2,  $\dots, m$  个水点测项所预测的发震开始时间; $T_1^2, T_2^2, \dots, T_m^2$  分别为第 1, 2,  $\dots, m$  个水点测项所预测的发震终止时间。

4.3 发震时间检验性预测

前述可知,1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震前静乐井水位出现了中期和中短期异常变化(图 1)。

(1) 中期预测

水位从属函数中期异常的开始时间为 1994 年 12 月,查表 2 得到的预测超前时间为 4 至 44 个月,按照式(6)计算发震日期为 1995 年 4 月至 1998 年 8 月(图 4(a))。

(2) 中短期预测

水位剩余曲线短期异常的开始时间为 1997 年 8 月,查表 2 得到的预测超前时间为 2 至 13 个月,按照式(6)计算发震日期是 1997 年 10 月至 1998 年 9 月(图 4(b))。在预测期的第 4 个月发生张北地震。

5 主要认识

通过对山西及其邻区强震中期和中短期异常特征及预测方法的研究,得到以下认识:

(1) 前兆异常形态的特点:中期异常形态是水

位、水氡出现趋势性上升高值变化,如定襄泉水氡、大灰厂井水位等异常;中短期异常则为高值转折变化,即在趋势上升至高值后,水位、水氡出现下降、转平或略为回升等变化,地震一般在高值或转折变化后发生。

(2) 中期异常提取方法和预测指标:通过观测资料的分析,认为对于山西及其邻区可以采用从属函数法提取中期异常。中期预测的最小超前时间为 4 个月,最大超前时间为 44 个月。

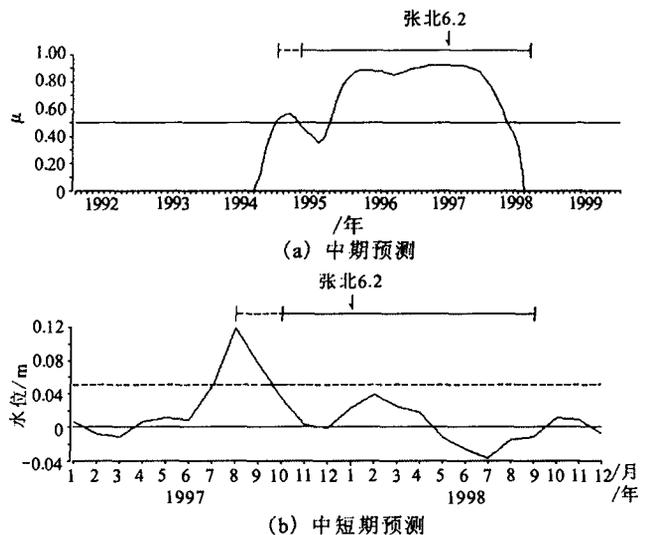


图 4 1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震静乐井水位中期和中短期检验性预测图

Fig. 4 Verifying prediction for intermediate-term and intermediate-short-term groundwater level in Jingle well before Jan. 10, 1998 Zhangbei M6.2 earthquake.

(3) 中短期异常提取方法和预测指标:可以采用剩余曲线和从属函数法提取中短期异常。其预测的最小超前时间为 3 个月,最大超前时间为 13 个月。

本着“边研究、边应用”的精神,上述预测方法和指标已在年、半年会商中使用。在 2004—2006 年度地震趋势研究报告中提出了比较符合实际的中期和中短期预测意见。

- [1] 范雪芳,张淑亮,王吉易. 地下流体中期和中短期前兆异常的四  
种判定方法[J]. 地震, 2002, 22(4): 136-139.
- [2] 范雪芳,张淑亮,王吉易. 水氧滑动变化率法对发震时间的预  
测[J]. 山西地震, 2006, (1): 22-28.
- [3] 耿杰,张昭东,魏焕,等. 山东及邻区中强震前地下流体异常烟  
花特征及检验性预测[J]. 华南地震, 2000, 20(2): 27-31.
- [4] 王吉易,宋贯一,曹志成,等. 地下水诱发的浅层前兆异常及其  
机理与有关的地震预报问题(1)[J]. 华北地震科学, 2002, 20  
(2): 28-41.
- [5] 王吉易,宋贯一,曹志成,等. 地下水诱发的浅层前兆异常及其  
机理与有关的地震预报问题(2)[J]. 华北地震科学, 2002, 20  
(3): 1-13.
- [6] 王吉易,宋贯一,曹志成,等. 地下水诱发的浅层前兆异常及其  
机理与有关的地震预报问题(3)[J]. 华北地震科学, 2003, 21  
(1): 1-10.

\*\*\*\*\*  
(上接 176 页)

#### 4 讨论与结论

通过对大甸子井水位和气压的相关性分析,得到了该井气压系数的背景值为 3.8643 mm/hPa。在气压和降雨等因素的共同影响下,其气压系数的动态变化呈较规律的正值—负值—正值的年变特征。在内蒙古东部地区几次中强地震前气压系数异常特征比较明显,异常形态主要以短期的高、低值异常为主。震前区域应力应变的调整很有可能使井区一定范围内含水层的孔隙度、固体骨架和水的体压缩系数、井孔与含水层之间水流运动条件等发生了变化,因此在内蒙古东部地区几次中强地震前,该井气压系数表现出的短期高、低值变化,一定程度上反映了震前前兆异常的变化特点。

#### [参考文献]

- [1] 国家地震局科技监测司. 地震地下水手册[M]. U 北京:地震出版社, 1995.
- [2] 张国民,刘蒲雄,黄德瑜,等. 地震预报引论[M]. 北京:科学出版社, 2001.
- [3] 张韶栋,郑金涵,张广诚. 水井含水层系统的潮汐响应函数[J]. 西北地震学报. 1995. 17(3): 66-71.
- [4] 张昭栋,郑金涵,冯初刚. 井水位的固体潮效应和气压效应与含水层参数间的定量关系[J]. 西北地震学报, 1989. 11(3): 47-52.
- [5] 陆明勇,牛安福,鲁德顺,等. 地壳形变与地下水动态异常特征研究进展[J]. 西北地震学报. 2005, 27(1): 89-95.
- [6] 陆明勇,牛安福,白长清,等. 地壳形变短临异常与地下水位短临异常关系及识别方法的初步研究[J]. 地震研究, 2006; 29(1): 13-20.
- [7] 车用太,刘五洲,鱼金子,等. 井水位对地壳应力—应变响应灵敏度的研究[J]. 地震. 2003, 23(3): 113-120.