

# 地倾斜地震前兆异常的概率综合

王宝坤 付 萌

(河北省地震局, 石家庄 050021)

**摘 要** 对河北省及邻近地区 9 个地倾斜台站 12 年的观测资料用调和分析法和周期滤波法进行全程处理, 用统一的标准提取异常信息, 在此基础上计算出各个单台的对应地震的概率增益, 再进行单台综合和多台综合。结果表明, 概率综合曲线上升超 0.05, 转折之后半年内有  $M_s \geq 4.8$  级地震发生。

**主题词:** 地倾斜; 地震前兆; 地震概率; 周期变化

## 1 资料及处理方法介绍

本文对河北省所有形变台站资料数据库进行了全面系统的清理, 改正了许多错误数据, 录入了漏缺数据, 保证资料连续可靠。易县台资料时段较短, 且信度稍差, 故未参与计算。

对数据的处理方法为调和分析法、周期滤波法。

### 1.1 调和分析法

关于调和分析的理论已经很成熟, 计算方法亦有很多人研究, 本报告不再对调和分析的方法进行研究。我们使用的是张雁宾研制的计算软件。采用其中 M2 波的  $\gamma$  因子。

地倾斜的潮汐因子  $\gamma$  值变化所反应的是地壳介质的物性变化。当介质的本构关系处于线性状态时,  $\gamma$  值应该是一个不变的量, 由于观测资料和计算的误差,  $\gamma$  值可能在一个不太大的数值范围内变化。如果介质处于非线性状态, 则  $\gamma$  值将偏离原来的稳定范围, 而发生较大的变化。博蒙特等指出, 一个具有震前扩容的地区, 地球固体潮水平分量 (倾斜和应变) 会发生显著变化。根据他们的计算, 同一扩容体存在的情况下, 若能引起 13% 的  $V_p/V_s$  的变化, 则地倾斜固体潮振幅因子  $\gamma$  值的变化可达 60%<sup>[1]</sup>。

### 1.2 周期滤波法

由于大气因素的变化, 包括气温、气压、降水等引起的年变化是地倾斜观测最常见的干扰因素。周期滤波主要是为了消除或减小这类干扰。首先使用年变正常的几年资料建模, 求出正常的零漂速率和周期参数。计算公式如下:

$$v = [Y(N) - Y(0)] / N$$

$$Y'(t)= Y(t)- Vt$$

用一阶简谐周期函数

$$Y(t)= x_1+ x_2 \sin(wt+ x_3)$$

其中  $x_1$   $x_2$   $x_3$  为待定系数,  $w= 2\pi /T$ ,  $T$ 为计算的时间总长,  $t$ 为时间。以离差平方和

$$h(t)= \sum_{i=1}^n [Y'(t)- \bar{Y}(t)]^2$$

为目标函数,通过最小二乘法求出正常状态下的周期参数  $x_1$   $x_2$  和  $x_3$  然后从原始资料中减去此周期变化<sup>[2]</sup>。

此方法所用资料为地倾斜的五日均值。

2 异常信息提取

在经过上述两种方法处理之后,绘制全时程曲线。

固体潮振幅因子  $\gamma$  值的异常标准是连续 2个以上计算点 (2个月)变化大于 10% (个别特殊情况大于 4%) ,或者波动幅度大于 10%。图 1是调和分析的典型震例。

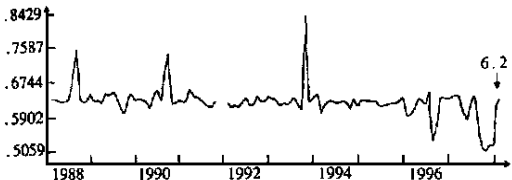


图 1a 张家口水管 NS向调和分析曲线

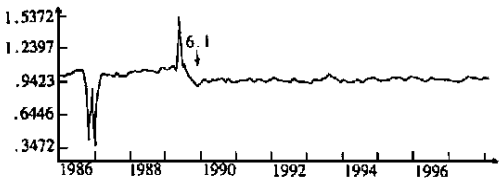


图 1b 赤城水平摆 NS向调和分析曲线

周期滤波提取异常信息的标准是连续 6个计算点 (30天)超过 2倍均方差,且变化大于 100ms 图 2是用此方法提取的部分典型震例。

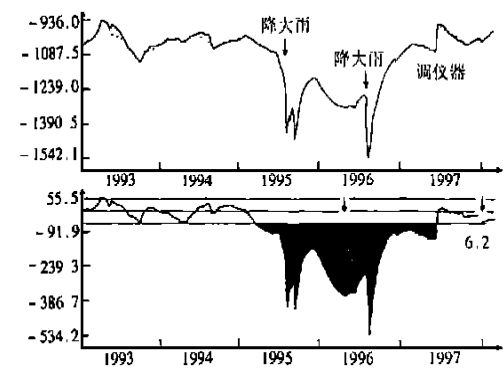


图 2a 张家口水管 NS向周期滤波曲线

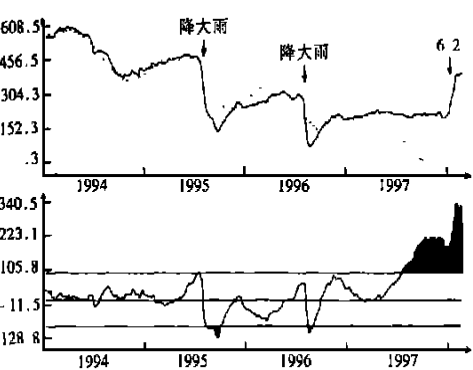


图 2b 张家口水管 EW向周期滤波曲线

对于达到异常标准的变化,检查变化的原因。如果有明显的降雨、调仪器、仪器故障或外界干扰,则不作异常看待。对于个别台站干扰大、数据变化无规律,则不作统计。或者对仪器工作不正常的时段不作统计,以保证统计结果的真实性

异常与地震对应关系的统计按以下标准:

异常结束后到地震发生的时间不超过异常持续时间长度,对应地震的距离为

|              |                             |
|--------------|-----------------------------|
| $M_s4.5-4.9$ | $\Delta \leq 50\text{k m}$  |
| $M_s5.0-5.4$ | $\Delta \leq 100\text{k m}$ |
| $M_s5.5-5.9$ | $\Delta \leq 200\text{k m}$ |
| $M_s6.0-6.5$ | $\Delta \leq 300\text{k m}$ |

3 单台概率增益计算

Keiiti Aki在《前兆现象的概率综合》一文中提出:“单个前兆的概率增益等于该前兆预报成功率除以前兆时间”<sup>〔3〕</sup>。在本文中,设  $p_i$  为第  $i$  个单台异常的预报成功率,即  $p_i = \frac{n_i}{N_i}$  其中  $n_i$  为单台异常对应本区 5 级以上地震次数,  $N_i$  为该台异常总数。根据 Aki 的定义,单台前兆概率增益为  $S = \frac{P_i}{T_i}$ ,其中  $T_i$  为该单台异常时间总长。根据此式可得到单台概率增益。

| 表 1 |     | 单台概率增益计算表    |      |           |        |
|-----|-----|--------------|------|-----------|--------|
| 序号  | 台 站 | 对应 5级以上地震异常数 | 异常总数 | 异常时间总长(月) | 概率增益   |
| 1   | 张家口 | 7            | 10   | 147       | 0.0048 |
| 2   | 怀 来 | 8            | 14   | 196       | 0.0029 |
| 3   | 赤 城 | 4            | 8    | 64        | 0.0078 |
| 4   | 阳 原 | 7            | 9    | 108       | 0.0072 |
| 5   | 承 德 | 3            | 7    | 58        | 0.0074 |
| 6   | 宽 城 | 5            | 6    | 106       | 0.0079 |
| 7   | 丰 宁 | 4            | 4    | 61        | 0.0164 |
| 8   | 涉 县 | 0            | 3    | 78        | 0      |
| 9   | 太 原 | 5            | 11   | 140       | 0.0032 |

4 概率增益的综合

由于各台站是彼此独立的,调和分析及周期滤波两种方法也是独立的,根据概率的可列可加原则<sup>〔4〕</sup>,可用下式计算概率增益的综合:

$$P = 1 - \prod_{i=1}^{i=j} h_i t_i$$

其中,  $j$  同一时间异常台站总数;  $h_i = 1 - s_i$ ,  $s_i$  为单台概率增益;  $t_i$  计算的时间单元  
首先对各单台的两种方法进行综合  
然后进行多台概率综合计算。表 2 是多台综合计算结果。  
将以上计算结果绘图,得到如下概率综合曲线。由图可见,当综合概率增益值趋势上升超过 0.05,转折之后半年之内可能发生  $M_s \geq 4.8$  级地震。对应效果很好(图 3)

| 表 2  | 多台概率综合表 (1986年— 1998年 ) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|------|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 月    | 1                       | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     |
| 1986 | 0.0029                  | 0.0029 | 0.0029 | 0.0029 | 0.0029 | 0.0101 | 0.0101 | 0.0101 | 0.0298 | 0.0274 | 0.0246 | 0.0246 |
| 1987 | 0.0274                  | 0.0274 | 0.0302 | 0.0226 | 0.0226 | 0.0369 | 0.0322 | 0.0322 | 0.0469 | 0.0474 | 0.0492 | 0.0492 |
| 1988 | 0.0224                  | 0.0301 | 0.0225 | 0.0254 | 0.0254 | 0.0254 | 0.0324 | 0.0324 | 0.0324 | 0.0365 | 0.0365 | 0.0337 |
| 1989 | 0.0368                  | 0.0396 | 0.0424 | 0.0424 | 0.0554 | 0.0554 | 0.0486 | 0.0550 | 0.0482 | 0.0452 | 0.0520 | 0.0378 |
| 1990 | 0.0378                  | 0.0378 | 0.0306 | 0.0352 | 0.0352 | 0.0352 | 0.0277 | 0.0277 | 0.0282 | 0.0282 | 0.0310 | 0.0400 |
| 1991 | 0.0557                  | 0.0530 | 0.0600 | 0.0600 | 0.0443 | 0.0372 | 0.0372 | 0.0372 | 0.0434 | 0.0406 | 0.0406 | 0.0303 |
| 1992 | 0.0196                  | 0.0196 | 0.0196 | 0.0196 | 0.0196 | 0.0196 | 0.0196 | 0.0164 | 0.0164 | 0.0164 | 0      | 0      |
| 1993 | 0.0136                  | 0.0212 | 0.0288 | 0.0288 | 0.0288 | 0.0288 | 0.0288 | 0.0112 | 0.0136 | 0.0136 | 0.0136 | 0.0136 |
| 1994 | 0.0136                  | 0.0207 | 0.0236 | 0.0236 | 0.0236 | 0.0236 | 0.0242 | 0.0242 | 0.0242 | 0.0242 | 0.0242 | 0.0214 |
| 1995 | 0.0218                  | 0.0266 | 0.0266 | 0.0234 | 0.0386 | 0.0417 | 0.0417 | 0.0417 | 0.0417 | 0.0386 | 0.0414 | 0.0414 |
| 1996 | 0.0356                  | 0.0356 | 0.0356 | 0.0356 | 0.0356 | 0.0356 | 0.0544 | 0.0544 | 0.0574 | 0.0574 | 0.0574 | 0.0699 |
| 1997 | 0.0858                  | 0.0900 | 0.1036 | 0.1079 | 0.1176 | 0.1176 | 0.1219 | 0.1176 | 0.1176 | 0.1148 | 0.0964 | 0.0937 |
| 1998 | 0.0872                  | 0.0754 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |

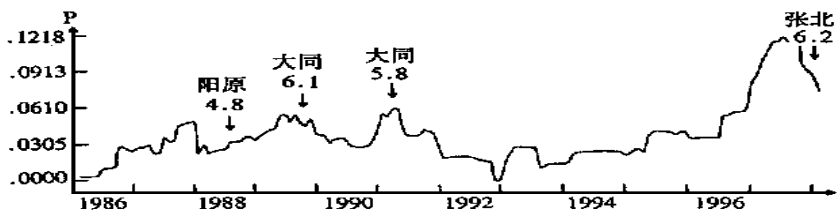


图 3 概率综合曲线

## 5 结 论

- (1)本文所采用的资料长度长达 12年,可以认为计算结果具有较好的代表性;
- (2)当概率综合曲线趋势性上升超过 0.05,转折后半年之内,往往有  $M_s \geq 4.8$ 地震发生;
- (3)发震时间与概率综合异常对应很好,震级与概率综合值对应关系不明显;
- (4)概率综合曲线的几次异常很好地对应了 1988年 7月 23日阳原  $M_s4.8$ 级地震、1989年 10月 19日大同  $M_s6.1$ 级地震、1991年 3月 26日大同  $M_s5.8$ 级地震、1998年 1月 10日张北  $M_s6.2$ 级地震;
- (5)本文的意义在于把不同量纲的异常统一了起来,对于地震预报三要素中的时间预报具有参考价值

## 参 考 文 献

1 吴翼麟. 倾斜固体潮振幅因子  $\gamma$  值动态变化的物理意义. 地壳形变与地震, 2, 1985.  
2 陈绍绪, 等. 华北地区地倾斜中短期地震前兆识别及预报方法研究. 地壳形变与地震, 19, 4, 1999.  
3 Keiti Aki, A Probabilistic Synthesis of Precursory Phenomena,《 Earthquake Prediction》, 4, 566~ 573.

## 4 结 语

建立地震实时防灾系统是城市煤气管网防震减灾的重要措施。提高系统的实时性、可靠性、实用性,实现小型化、轻量化,进一步降低成本是今后研究的重要方向。

## 参 考 文 献

- 1 高田至郎著.ライフライン地震工学.东京:共立出版株式会社,1991. 23
- 2 日经アーキテクチエア编.阪神大震災の教训.东京:日经 BP社,1995. 198
- 3 清水善久.东京ガスーリアルタイム地震防災.防災システム.,1998, 21(1): 13- 19
- 4 清水善久,等.都市ガス施設における地震时被害推断システム.参见: (日本)第 1回都市直下地震灾害论文集,1996. 299

## INTRODUCTION ON THE REAL TIME SHOCKPROOF SYSTEM OF THE GAS PIPELINE NETWORK IN TOKYO OF JAPAN

Su Youpo Liu Ruixing Yang Junjun

(Studying Center for Engineering Seismics of Hebei Province, Tangshan 063009)

### Abstract

Taking the Tokyo Gao Company as example, we introduced the real time shockproof system of high, medium and low pressure gas pipeline and some other systems, such as earthquake automatical blocking up system, earthquake warning system, radio remote monitoring and operation system, remote gas leak monitoring system.

**Subject words** Japan; earthquake disaster; earthquake proof and disaster reduction of city

(上接第 43页)

- 4 浙江大学数学系.概率论与数理统计.北京:人民教育出版社,1979.

## THE PROBABILISTIC SYNTHESIS OF SEISMIC PRECURSORY ANOMALIES FOR GROUND TILT

Wang Baokun Fu Meng

(Seismological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang 050021)

### Abstract

Over 12 years ground tilt data observed in the 9 seismostation in Hebei province and its adjacent area are processed with the methods of harmonic analysis and periodical filtering. We first extract anomalies with the uniform standard, then calculate the probability's increasing for each seismostation corresponding to earthquakes, at the end we make one station synthesis and mulit-station synthesis. The results show that when the probability synthesis curve exceeds 0.05, an  $M \geq 4.8$  earthquake will occur in half a year.

**Subject words** ground tilt; seismic precursor; seismic probability; periodical variation