

1998 年 1 月 10 日张北-尚义 6.2 级地震前 昌平地震台应变资料的异常变化分析^{*}

王 勇, 刘福生, 张国红, 张学政
(中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要: 分析了昌平地震台体应变、线应变及差应变等观测资料在 1998 年 1 月 10 日张北-尚义 6.2 级地震前的异常变化. 结果表明: 该次地震前昌平台的应变观测资料出现了明显的趋势异常; 体应变的异常时间与震级有较好的相关性; 差应变资料显示了短临异常; 由线应变资料计算的主应变方向在地震前逐渐向震中偏转; M₂ 波潮汐因子也出现了明显的异常变化.

主题词: 体应变; 应变分析; 趋势异常; 临震异常; 潮汐因子; 主应变方向; 张北-尚义地震
中图分类号: P315.72 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(1999)03-0274-06

1 昌平地震台概况及应变资料预处理

昌平地震台位于阴山巨型纬向构造带的南侧, NE 向的南口-山前活动断裂和 NW 向的南口-孙河活动断裂交汇部位东侧 7.5 km 处. 因此, 该台所处位置属于应变灵敏区. 张北-尚义地震震中位于昌平台 NW 方向, 与该台处于同一 NW 向构造体系内, 距该台 180 km.

昌平台配有 TJ-1A 型体积式应变仪、YRY-2 型压容差应变仪和 RDJ-1 型多路压容应变仪. 3 类仪器分辨率均为 $10^{-10}\epsilon$, 能清晰地记录到应变固体潮, 其量程指标可达 $10^{-4}\epsilon$. 此外, 该台还配有分辨率为 0.0001°C 的 SZW 型地热测量仪、分辨率为 1 mm 的水位测量仪和分辨率为 10 Pa 的气压自动测量仪. 以上各类观测均实现每分钟采集一次数据, 其测量数据可传输到 20 km 以外的地壳应力研究所内, 根据不同的需要, 利用计算机进行处理. 在该台, 从测量到数据处理全部自动进行, 不存在人为干扰. 各手段的基本情况如表 1 所示.

表 1 昌平地震台各观测手段概况

仪器	探头埋深/m	井孔岩性	开始观测日期
TJ-1A 型体积式应变仪	58	白云质灰岩	1989-07-01
YRY-2 型压容差应变仪	48.80	白云质灰岩	1989-07-01
RDJ-1 型多路压容仪	127.50	白云质灰岩	1997-01-01
SZW 型地热仪	101	白云质灰岩	1996-01-01
水位仪	水下 5 m	白云质灰岩	1989-07-01
日记气压计	观测室	—	1989-07-01

收稿日期: 1999-01-20
^{*} 中国地震局地壳应力研究所论著编号: 1999B0003.
作者简介: 王勇(1946—), 男, 副研究员, 主要从事地应力预报地震的研究工作.

对电源故障、雷击或仪器检修等原因造成的数据不连续或断数,采用有关规定进行拼接,并用拉格郎日插值法进行适当的补数,使所有观测数据连续。

2 张北-尚义 6.2 级地震前昌平台应变资料异常分析

2.1 趋势异常分析

2.1.1 体应变异常

有关研究表明,在体应变观测中主要的影响因素是气压和水位的变化^[1]。为此,对原始资料作了以下处理:

(1) 对观测资料取日均值,以消除应变固体潮的影响。

(2) 对体应变日均值资料用别尔采夫滤波法消除趋势项。

(3) 用回归分析方法排除或消除气压、水位的影响。

用上述方法对体应变资料进行处理后,所得结果见图 1。

由图 1 可见,该台体应变资料在首都圈内发生的 4.9 级以上地震前和在该台周围 500 km 范围内发生的 6 级以上地震前均有明显的趋势异常反映。

张北-尚义地震前,从 1996 年 12 月开始应变曲线上升,显示了压应变的积累。到 1997 年 9 月曲线上升至最高点,表明应变积累达最大,幅度达 4.2×10^{-7} 。9 月以后应变开始释放,曲线下降,直到 1998 年 1 月 10 日地震发生。异常时间达 13 个月。1998 年 6 月应变曲线又再度回升,9 月上升到最高点,幅度达 4.7×10^{-7} ,然后快速下降,至 1999 年 2 月降至最低点。在曲线开始回返过程中于 3 月 11 日发生了尚义 5.6 级地震。异常时间达 9 个月。

根据图 1 统计了异常持续时间与震级的关系,得出如下关系式:

$$M_s = 2.663 + 1.275 \ln t \quad (R = 0.938, 2s = 0.1) \tag{1}$$

式中: t 为异常持续时间,以月为单位。

2.1.2 差应变异常

图 2 为昌平台 YRY-2 型压容应变仪观测资料的日均值曲线。从图中可以看出,NS 向和 NE 向记录从 1997 年 6 月 20 日至 12 月中旬偏离了正常年变,显示了明显的异常。NS 向异常幅度最大达 3.5×10^{-7} ,NE 向异常幅度最大达 1.5×10^{-7} 。NS 向记录显示的是 EW 向压缩。

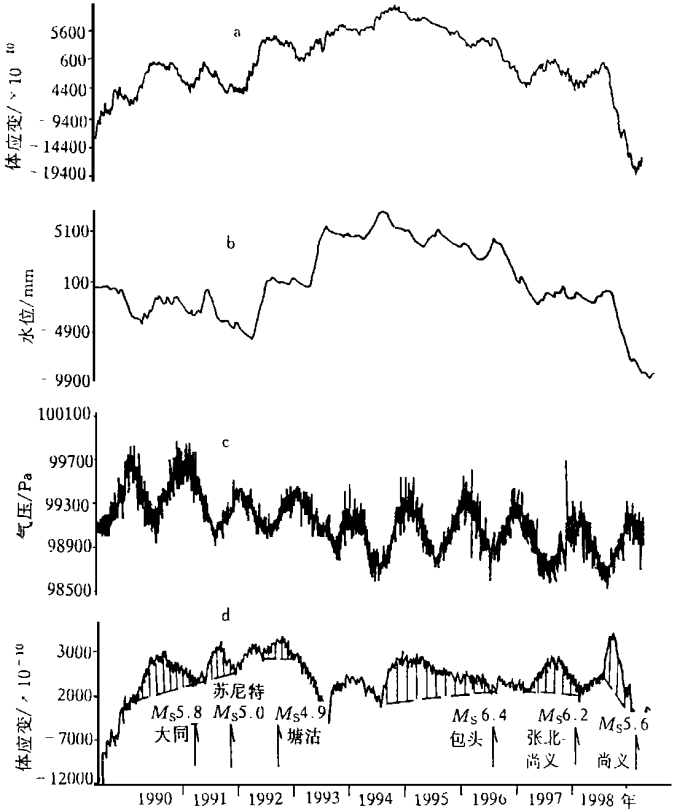


图 1 昌平地震台体应变趋势异常

Fig. 1 Trend anomalies of body strain observed by Changping station.
a 体应变测量值; b 水位测量值; c 气压测量值; d 经水位、气压校正后的体应变

NS 向拉张;NE 向记录显示 NW 向压缩,NE 向拉张.2 个方向显示的受力方向的综合结果为 NWW 向压缩,NNE 向拉张,而张北-尚义地震震中正处在昌平台的 NWW 方向.

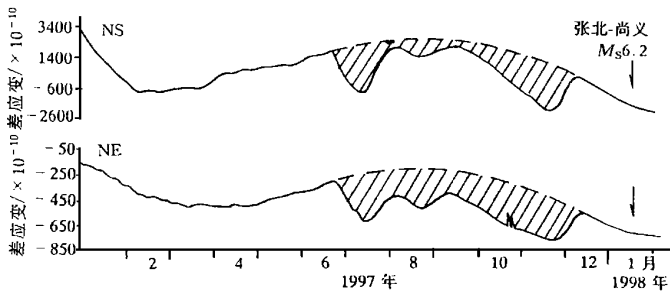


图 2 昌平台 YRY-2 型压容应变仪观测资料日均值
(1997 年~1998 年 1 月)

Fig. 2 Daily mean values of piezocapacitance strain from 1997 to Jan. 1998 observed by YRY-2 strainmeter at Changping station.

2.1.3 线应变异常

图 3 为昌平台多路压容应变日均值曲线.由图 3 可以清楚地看出,张北-尚义地震前,从 1997 年 3 月开始 NS 向和 N45°E 元件日均值曲线上 升,显示了沿这 2 个方向地壳发生张性应变.5~6 月 曲线上升到最高值,然后下降.与之对应的 EW 向和 N45°W 元件日均值曲线则从 1997 年 3 月开始下降, 显示了沿这 2 个方向地壳受压发生应变.6~7 月曲 线下下降到最低点,然后回升.从 4 个方向元件的变 化特征分析,主压应变方向应为 NW 向.

图 4 为 N45°E 元件去倾斜后的日均值资料.由 图 4 可见,张北-尚义 6.2 级和 5.6 级地震前日均值 曲线均出现了上升和下降的过程.6.2 级地震前曲线 从 1997 年 1 月起上升,至 6 月底达到最高点,幅度达 6.5×10^{-7} ,随后下降,1998 年 3 月底下降到最低点. 异常持续时间为 14 个月.5.6 级地震前曲线从 1998 年 3 月开始上升,8 月上升至最高点,幅度达 5.8×10^{-7} ,1999 年 3 月下降到最低点.异常持续时间为 12.5 个月.2 次异常的幅度及持续时间与震级的大 小成正比.可以认为,多路压容应变资料反映了张北- 尚义 2 次中强地震前的震源应力场的变化.

2.1.4 主应变方向变化

计算主应变方向的公式^[1]为

$$\theta_1 = 1/2 \operatorname{tg}^{-1} \left\{ \left[(M_1 B_3 + M_3 B_1) A_2 - M_2 (A_1 B_3 + A_3 B_1) \right] / (M_1 A_3 - M_3 A_1) B_2 \right\} \quad (2)$$

式中: A_1 、 A_2 、 A_3 和 B_1 、 B_2 、 B_3 分别为 1 号、2 号和 3 号元件的面应变灵敏度系数和差应变灵敏度 系数; M_1 、 M_2 和 M_3 分别为 1 号、2 号和 3 号元件在 t_1 和 t_2 时刻记录的差值.

图 5 为按式(2)计算出的 1997 年 4 月 1 日到 1998 年 1 月 31 日的主应变方向变化曲线.

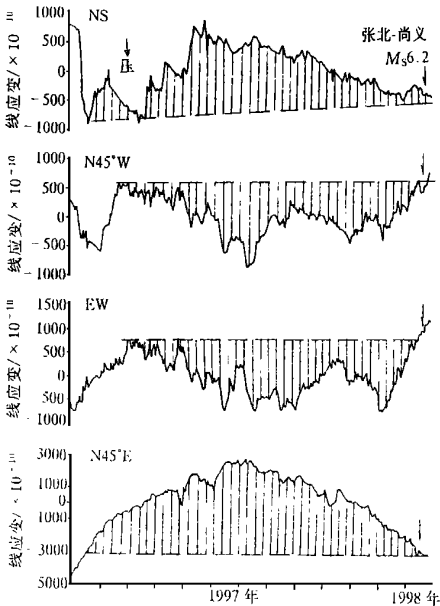


图 3 昌平台多路压容应变日均值曲线

Fig. 3 Daily mean values of multi-channel piezocapacitance strain observed by RDJ-1 strainmeter at Changping station.

由图可见,张北-尚义 6.2 级地震前昌平台观测的主应变方向由 $N5.6^{\circ}W$ 逐渐转为 $N55.3^{\circ}W$, 与实际震中位置偏差为 10° .

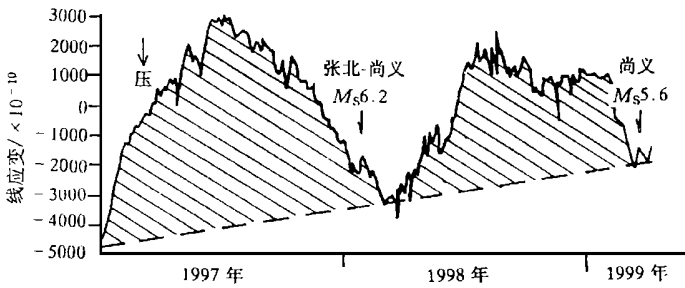


图 4 昌平台 $N45^{\circ}E$ 元件压容应变日均值曲线

Fig. 4 Daily mean values of multi-channel piezocapacitance strain data of the $N45^{\circ}E$ element at Changping station.

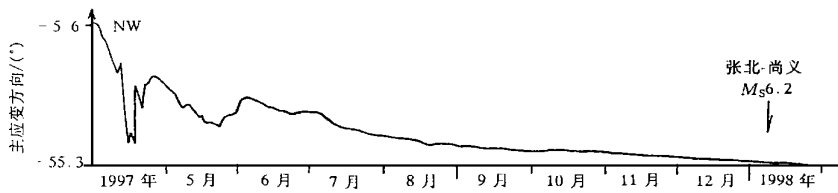


图 5 张北-尚义 6.2 级地震前由 RDJ-1 型应变仪观测的压容应变资料计算的主应变方向

Fig. 5 Orientation of principle strain calculated from multi-channel piezocapacitance strain data observed by RDJ-1 strainmeter before the Zhangbei-Shangyi $M_{\text{S}}6.2$ earthquake, 1998.

图 6 为 1998 年 5 月 1 日至 1999 年 3 月 31 日昌平台主应变方向变化曲线.从图 6 可以看出,1999 年 3 月尚义 5.6 级地震前主应变方向由 $N2^{\circ}E$ 逐渐转为 NW 方向,在地震时为 $N72^{\circ}W$,与实际震中位置偏差为 7° .

在张北-尚义 6.2 级和 5.6 级地震前,用多路压容应变资料计算出的主应变方向均存在向震中逐渐偏转的现象.地震时主应变方向与震中位置偏差分别为 10° 和 7° .这也证明了多路压容应变资料的异常变化是与震源应力场的变化有关的.

2.2 临震异常

张北-尚义 6.2 级地震前 5~11 天,NE 和 NS 二个元件的差应变观测资料出现应变固体潮畸变,其形态多表现为同步反向变化,见图 7.

1999 年 3 月 11 日尚义 5.6 级地震前 5 天,NE 和 NS 向差应变资料整点值曲线呈现明显的反向异常变化,其幅度可达 $10^{-8}\epsilon$,见图 8.

事实表明,这种震前几天内出现的差应变资料的异常变化可能是临震异常.



图 6 1999 年 3 月尚义 5.6 级地震前由 RDJ-1 型应变仪观测资料计算的主应变方向

Fig. 6 Orientation of principle strain calculated from multi-channel piezocapacitance strain data observed by RDJ-1 strainmeter before the Shangyi $M_{\text{S}}5.6$ earthquake, 1999.

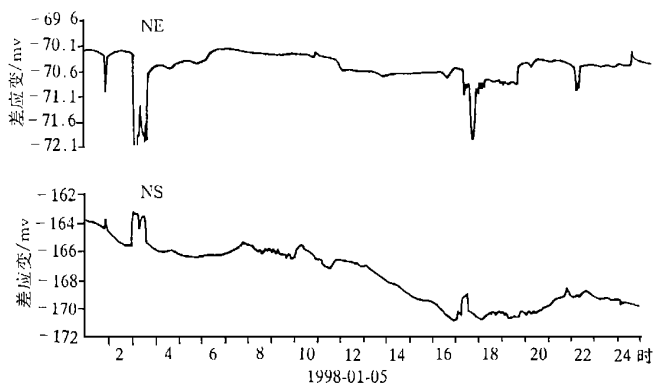


图 7 张北-尚义 6.2 级地震前 YRY-2 型压容应变仪观测资料的临震异常

Fig. 7 Imminent anomalies of piezocapacitance strain data observed by YRY-2 strainmeter of Changping station before the Zhangbei-Shangyi $M_s6.2$ earthquake.

2.3 M_2 波潮汐因子异常变化

实验和研究表明:当震源孕育到一定阶段后,孕震区的微裂隙会出现扩展、串通,介质性质发生变化,固体潮会相应发生畸变,在一定范围内波动的潮汐因子可能会出现偏离基值的异常变化.找出这些变化和地震之间的关系是地震预报的方法之一[2].

对昌平平台应变资料先用别尔采夫滤波法消除因漂移引起的线性趋势项,然后再用线性相关的方法消除气压和水位的影响,最后用维涅第科夫调合分析法对剩下的体应变固体潮资料进行处理,作出 M_2 波潮汐因子变化曲线,见图 9.

从 1994 年 8 月至 1999 年 3 月,距昌平平台 200 km 范围内仅发生 5.5 级以上地震 2 次,即 1998 年 1 月 10 日张北-尚义 6.2 级和 1999 年 3 月 11 日尚

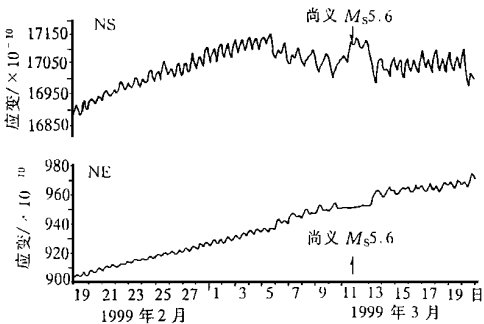


图 8 尚义 5.6 级地震前 YRY-2 型压容应变仪观测资料的临震异常

Fig. 8 Imminent anomalies of piezocapacitance strain data observed by YRY-2 strainmeter of Changping station before the Shangyi $M_s5.6$ earthquake.

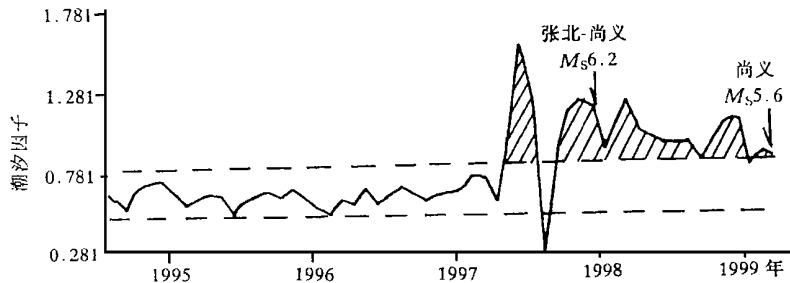


图 9 昌平平台体应变潮汐因子变化曲线

Fig. 9 Change of tide factor of body strain at Changping station.

义 5.6 级地震. 从图 9 中可以清楚地看出, 1994 年 8 月至 1997 年 5 月没有 $M_s5.5$ 以上地震, M_2 波潮汐因子在 0.528 42 至 0.775 84 之间波动. 因此, 可以将这个幅度视为正常变化幅度. 从 1997 年 6 月起 M_2 波潮汐因子突升至 1.518 1, 1997 年 7 月开始下降, 至 9 月下降至最低点 0.281, 从 10 月开始又继续回升, 1998 年 12 月达到次高点 1.270 68 后, 于 1998 年 1 月 10 日发生了 6.2 级地震. 异常持续了 7 个月. 6.2 级地震后, M_2 波潮汐因子并没有恢复正常, 而是在 1.270 68 和 0.899 55 之间波动, 但是波峰有逐渐降低的趋势. 1999 年 3 月 11 日 5.6 级地震后 M_2 波潮汐因子才恢复正常. 5.6 级地震是 6.2 级地震的强余震, 2 次地震应视为同一次地震事件, M_2 波潮汐因子在 6.2 级地震后一直居高不下, 5.6 级地震发生后才恢复正常是可以理解的.

3

, 1998 年 1 月 10 日张北- 6.2 级和 1999 年 3 月 11 日 5.6 级地震前昌平台应变资料的趋势异常反映是明显的, YRY-2 型压容应变仪的观测资料还出现了明显的临震异常. 2 次地震前该台 M_2 波潮汐因子也发生了异常变化.

,
[]

- [1] . [M] . : , 1995.
- [2] , . [J] . , 1994, 16(2): 50 ~ 56.

ANALYSIS ON ANOMALIES OF STRAIN DATA OBSERVED AT CHANGPING
SEISMIC STATION PRIOR TO THE ZHANGBEI-SHANGYI $M_s6.2$
EARTHQUAKE ON JAN. 10, 1998

WANG Yong, LIU Fu-sheng, ZHANG Guo-hong, ZHANG Xue-zheng
(*Institute of Crust Dynamics, CSB, Beijing 100085, China*)

Abstract

The anomalous changes in data of borehole strain measurement at Changping station before the Zhangbei-Shangyi $M_s6.2$ earthquake on Jan. 10, 1998 are analysed. The results show that trend anomalies in the data before the earthquake are obvious. Continuous time of the anomalies of body strain has a good relation to the magnitude. The short-term and imminent anomalies in differential strain data have arisen. Orientation of principle strain calculated from linear strain data turned gradually towards the epicenter before the earthquake. The relationship between the anomalous changes of tide factor in body strain data and the earthquake is studied.

Key words: Body strain; Strain analysis; Trend anomaly; Short-impending anomaly; Tidal factor; Orientation of principle strain; Zhangbei-Shangyi earthquake