

# 昆仑山口西 8.1 级地震前青海省 形变、地热前兆特征研究

张晓清<sup>1,2</sup>, 马文静<sup>2</sup>

(中国科技大学研究生院, 安徽 合肥 230001; 2. 青海省地震局, 青海 西宁 810001)

**摘要:** 通过对青海省地倾斜、地应力、深井地温三种前兆观测资料的分析与研究, 得到昆仑山口西 8.1 级地震前的强震远场前兆的一些特征, 并与近场前兆异常特征进行了比较, 结果对强震短期预报有意义.

**关键词:** 昆仑山口西 8.1 级地震; 形变; 地热; 前兆异常

**中图分类号:** P315.72    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-0844(2003)01-0064-06

## 0 前言

2001年11月14日昆仑山口西发生了8.1级地震,震中位于东昆仑断裂西段的布喀达板峰附近.余震从主震开始自西向东分布,其分布长度为400km左右.发震构造为东昆仑断裂带的西段,走向近东西.断裂带东段则向南东方向延伸.在此次8.1级地震前,青海省内有2个形变台、1个地温前兆台记录到了前兆异常,分别为乐都地倾斜台、平安深井地温台和德令哈地应力台,都分布在震中的北东方向,距震中约590~1010km,各台站参数见表1;地震和观测台站分布见图1.

## 1 前兆异常分析

表1 台站参数表

台站	经度	纬度	震中距/km	主震方位
乐都台	102.40°	36.60°	1010	北东 85°
平安台	102.10°	36.40°	960	东南 3.5°
德令哈台	97.30°	37.40°	590	东南 5.0°

### 1.1 乐都地倾斜形态

昆仑山口西 8.1 级地震之前,乐都地倾斜观测资料出现了 1998 年投入观测以来的最大年变幅度(图 2). EW、NS 两分向的变化幅度

大于 2000 年 9 月 12 日兴海 6.6 级地震前的变化幅度.其中 EW 向的平均值在 2001 年比 2000 年高 3.86 角秒,2000 年 12 月出现加速东倾至 2001 年 4 月 3 日达到最大值 16.16 角秒,之后西倾,于 9 月初西倾的速度减慢直至震前 11 月 12 日出现一明显的转折,于 11 月 14 日发生 8.1 级地震(图 2a);NS 向的平均值 2001 年比 2000 年高 1.61 角秒,从 2000 年 11 月下旬开始出现一加速北倾的过程,之后于 4 月下旬转为南倾,南倾速率变小,于 11 月 9 日出现北倾转折,随后发生 8.1 级地震(图 2c);从斜率图来看 EW 向在震前 10 个月开始出现异常过程,从 2000 年 12 月开始其斜率值出现较大变化,处于不稳定阶段;NS 向斜率值也在震前 10 个月有较大幅度的变化.东西向变化幅度高出南北向近一个数量级,表明在 8.1 级地震的异常过程中受东西走向构造影响比较大,这与野外实地考察的主破裂带为东西走向的走滑断裂的结果一致.

收稿日期: 2002-09-25

基金项目: 中国地震局“十五”重点科技攻关项目《青藏高原北部地区强地震短期前兆特征及其预测方法研究》(2001BA601B01-03-02)资助.

作者简介: 张晓清(1965-),男(汉族),湖北孝感人,高级工程师,目前从事地震形变研究.

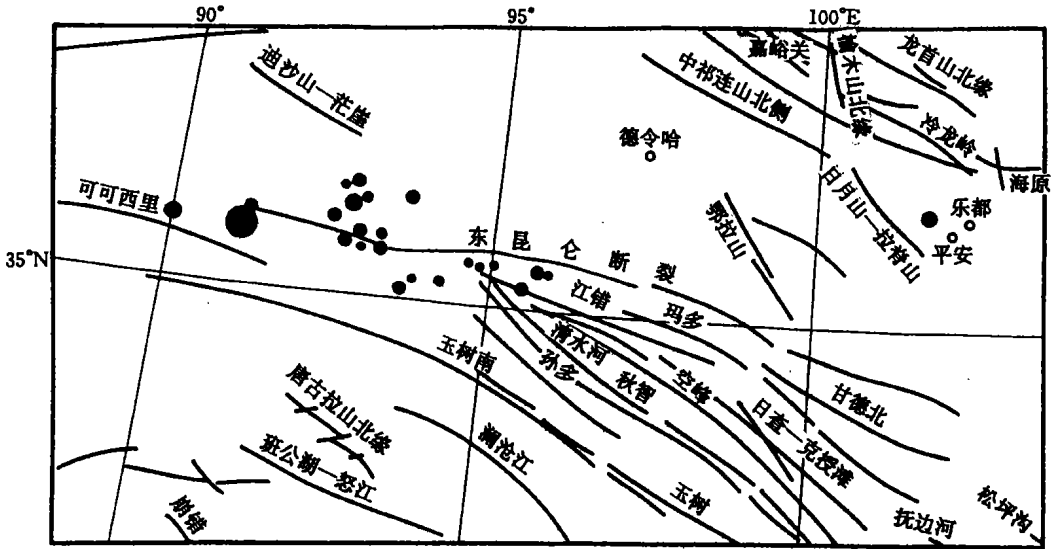
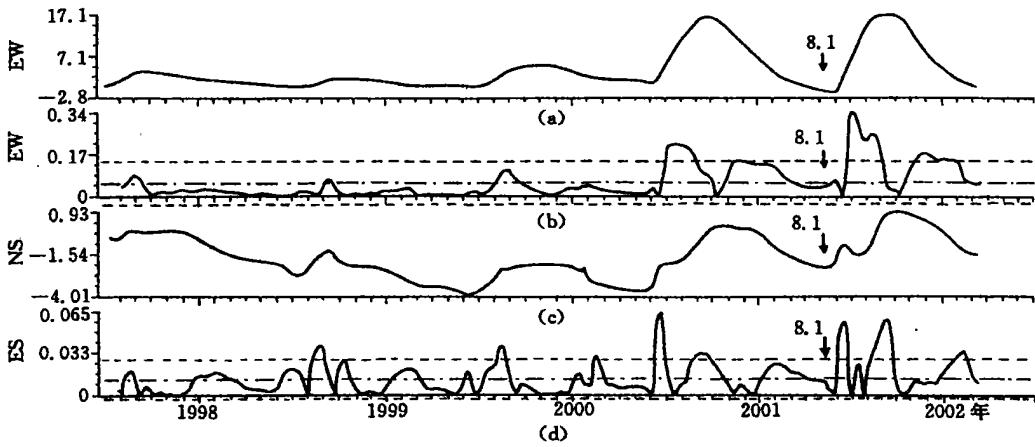


图 1 昆仑山口西 8.1 级地震、构造及观测台站分布图

Fig. 1 Distribution of west to Kunlun Mountain Pass  $M_s$  8.1 earthquake, tectonics and the observation stations.



(a) 东西向; (b) 东西向斜率; (c) 南北向; (d) 南北向斜率

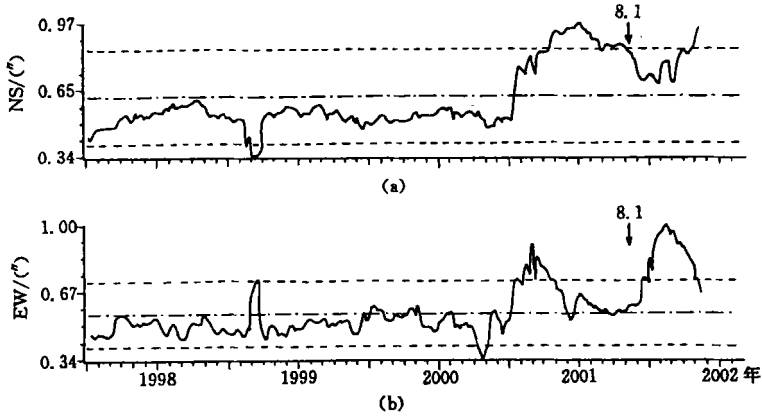
图 2 乐都地倾斜日均值和斜率曲线

Fig. 2 Daily mean value of ground tilt and slope curve in Ledu station.

### 1.2 乐都地倾斜 $M_2$ 波潮汐因子

使用  $M_2$  波的  $\gamma$  值作为指标, 采用两日(48 小时)调和分析方法对倾斜固体潮资料进行潮汐变化分析<sup>[3]</sup>. 图 3 为乐都地倾斜两个分量潮汐因子  $\gamma$  值变化曲线. 以 2 倍均方差和潮汐因子  $\gamma$  值的相对变化超过 5%<sup>[1]</sup> 为判定标准. 由图 3 可以看到在 8.1 级地震前 10 个月, 两测向的潮汐因子  $\gamma$  值均开始增大. 东西向于 4 月上旬超出 2.0 倍均方差, 进入中短期异常, 6 月 30 日达到最大, 而后开始回返, 在回返到均方线附近时发生 8.1 级地震, 其相对变化幅度最大达到 58% (图 3a); 南北分量于 3 月上旬超出 2.0 倍均方差, 随后于 6 月上旬回返至均值线, 之后从 6 月上旬至 7 月上旬又出现一个异常变化过程, 8.1 级地震前, 该分量潮汐因子  $\gamma$  值的相对变化幅度最大达到 30% (图 3b).

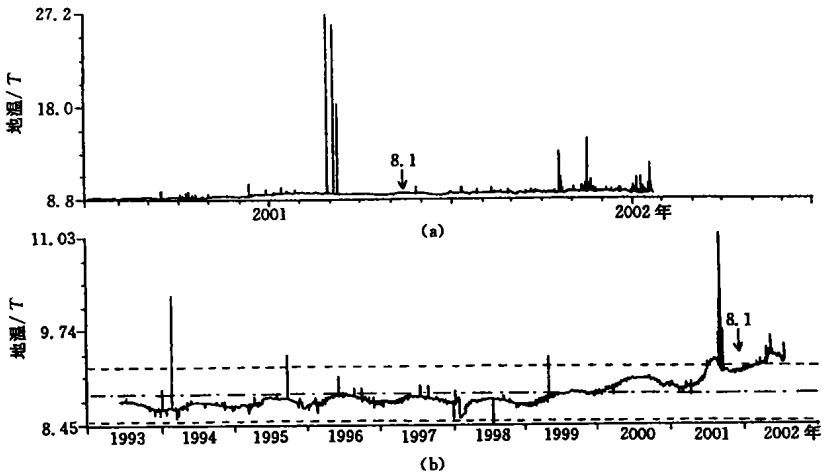
### 1.3 平安深井地温



(a) 东西分量; (b) 南北分量

图3 乐都地倾斜 $M_2$ 潮汐因子曲线Fig. 3 Curve of  $M_2$  tide factor of ground tilt in Ledu station.

8.1级地震前2个半月,该台测值曾出现六次单点高值突跳,分别为8月29日16时 $27.2^{\circ}\text{C}$ ,22时 $13.1^{\circ}\text{C}$ ,9月4日14时 $26^{\circ}\text{C}$ 、15时 $20.4^{\circ}\text{C}$ 、16时 $25.5^{\circ}\text{C}$ ,9月8日23时 $18.1^{\circ}\text{C}$ 。随后持续了两个月的平静,11月14日发生8.1级主震(图4a)。自1999年8月开始,日均值出现破年变,之后开始持续上升,但仍保持年变形态;从2001年1月又出现了新的变化,在继续上升的过程中其年形态消失,而且在震前2个半月有大幅度的单值突跳(图4b)。另外,与1994年共和强余震时连续变化的高值突跳不同,此次前兆变化是以单值突跳为主。



(a) 整点值; (b) 日均值

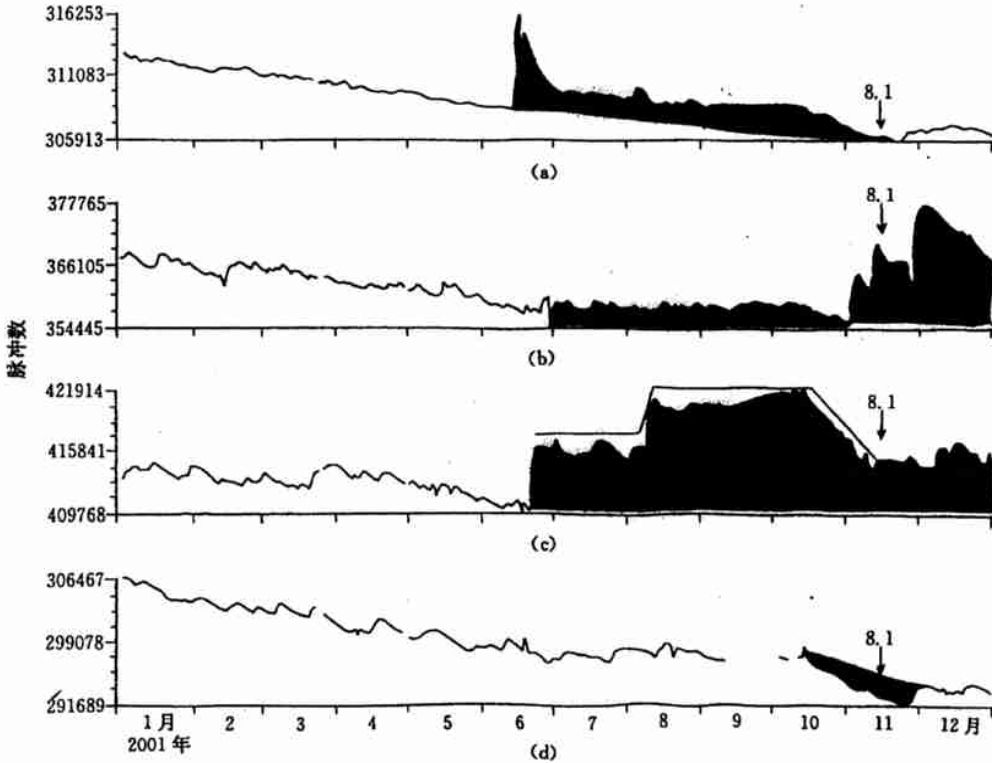
图4 平安深井地温曲线

Fig. 4 Curve of geotemperature in deep well in Pingan station.

#### 1.4 德令哈地应力

德令哈地应力观测点共有4个元件,其分布方向为:1号元件东西向;2号元件北东向;3号元件南北向;4号元件北西向。这4个方向的元件在8.1级地震前均出现了不同程度的前兆异常。1号元件在2001年6月15~18日出现高值突跳,改变了原来变化趋势;应力性质由原来的压性变为张性<sup>[3]</sup>,数据增大2.6%,随后逐步回返,压性逐步增强,这一过程一直持续到10月14日,在震前1个月内应力压性进一步增强,其

数据下降了 1 % (图 5a)。2 号元件从 2001 年 6 月下旬开始由原来的下降趋势 (压性<sup>[2]</sup>) 转平, 10 月 30 日出现短临性质的突跳, 11 月 13 日突跳达到震前最高值, 8.1 级地震前最大异常变化达到 4.5 %, 14 日略有回返时发生 8.1 级地震 (图 5b), 该元件异常过程目前尚未结束。3 号元件也于 2001 年 6 月下旬出现了两个台阶似的上升过程, 震前最大变化幅度为 2.9 %, 在达到最大值后的下降过程中发生 8.1 级地震 (图 5c)。4 号元件从 10 月 13 日出现下降, 应力压性有明显加速过程, 其变化最大幅度为 2 %, 在下降的过程中发生 8.1 级地震, 目前该元件的异常过程已结束 (图 5d)。该台 4 个元件震前均出现异常, 其中 1、2、3 号元件出现 5 个月左右的短期异常和不同程度的短临异常 (1 个月左右), 特别是 2 号元件在震前 15 天出现明显的高值突跳。



(a) 1 号元件; (b) 2 号元件; (c) 3 号元件; (d) 4 号元件

图 5 德令哈地应力日均值曲线

Fig. 5 Curve of daily mean value of ground stress in Delinsha station.

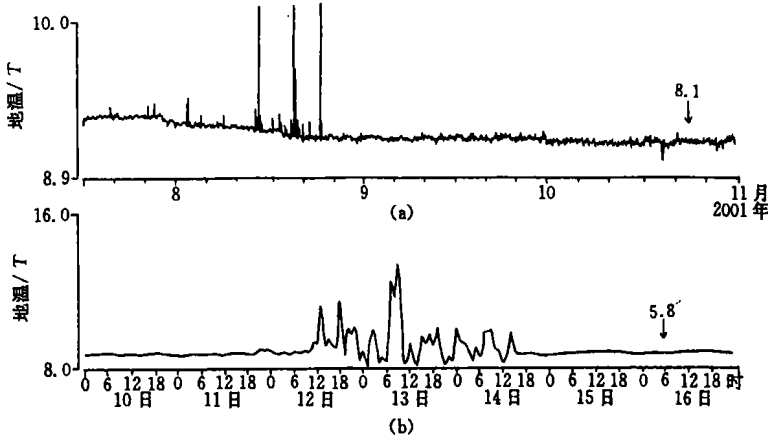
## 2 讨论

2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 8.1 级地震是 1951 年当雄 8.0 级地震以来最大的内陆地震。本次地震发生在青藏高原北部, 震中附近的地区是青藏高原受印度板块挤压与新疆亚板块碰撞的衔接部位附近, 这一地区的活动构造及应力场分布十分复杂。

### 2.1 平安深井地温的远场与近场异常的差异

平安深井地温于 1994 年 2 月 16 日共和 5.8 级地震前 5 天, 即 2 月 11 日出现大幅度突跳, 最大值为 2 月 13 日 09 时的 13.3 °C, 高出背景值 4.63 °C。随后于 2 月 14 日 15 时恢复正常, 两天后发生共和 5.8 级地震 (图 6b)。而此次昆仑山口西 8.1 级地震前的 8 月 29 日、9 月 4 日、9 月 8 日分别出现了大幅度的高值异常, 最大值为 27.2 °C, 恢复正常后两个半月发生主震 (图 6a)。具体差异表现在: (1) 共和 5.8 级地震的异常高值幅度比 8.1 级地震的小; (2) 共和 5.8 级地震的异常为临震异常, 而 8.1 级地震的异常介于短期和临

震异常之间; (3)前者异常为连续变化, 后者以单点突跳为主. 这些变化从机理上目前尚无较好的解释, 有待于做进一步的研究. 两次地震的震中距分别为 100 km 和 960 km, 这与程立德先生所说的地震前兆近场与远场所呈现的特征十分接近<sup>①</sup>.



(a) 昆仑山口西 8.1 级地震; (b) 共和 5.8 级地震

图 6 平安深井地温整点值

Fig. 6 Curve of hourly value of geotemperature in deep well in Pingan station.

### 2.2 乐都地倾斜对未来地震方向的指示意义

在此次 8.1 级地震前乐都地倾斜 EW 向在 2001 年 1~3 月的整体变化速率为 5.4 角秒/月, 而在 2000 年 1~4 月则为 1.3 角秒/月; EW 分量的年变幅度变化很大, 在整个 2001 年比 NS 向测值大一个数量级; 在矢量图中 EW 向占主要成份, 震前以 EW 方向的变化为主(图 7). 其倾斜矢量在 8.1 级主震发生前所指的方向是震中. 但该观测点距震中远, 观测的是属于远场地震前兆信息, 在地震预报中对具体的发震时间、地点的判定存在一定的困难.

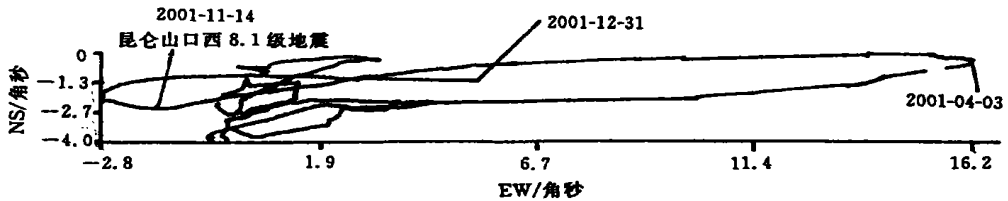


图 7 乐都地倾斜矢量图

Fig. 7 Vector of ground tilt in Ledu station.

### 2.3 德令哈地应力观测反映的应力状态

德令哈地应力 2 号元件在 8.1 级地震前 15 天出现高值突跳(图 4b), 由于该台距震中 590 km, 属近场区域, 因此观测到应力短临异常.

### 2.4 乐都地倾斜 M<sub>2</sub> 波 γ 值的变化

经计算, 乐都台 M<sub>2</sub> 波的两个测向的 γ 值在震前均有较大相对变化; 东西分量为 58 %; 南北分量为 30 %. 这种变化显示出了震前应力积累已达到了一定程度, 或介质强度可能发生了变化, 这种变化对强震有较好的预示作用.

① 中国地震局监测司. 地震分预报技术骨干培训教材(上册). 2000. 372—373.

### 3 结语

对于昆仑山口西 8.1 级地震而言青海省大部分前兆台站处在前兆远场区内, 但出现了明显的前兆异常. 此外四川、云南和甘肃的前兆台站观测手段均有不同程度的变化, 这其中平安地温震前的大幅度单值突跳, 乐都地倾斜表现出的巨变异常都是值得重视的现象, 在今后地震预报中应进一步研究地震远场与近场异常的关系, 以及各种前兆信息与地震之间关系.

#### [参考文献]

- [1] 张惠英, 熊维棣. 永胜倾斜水管仪观测资料的调和分析及其在鹤庆地震前的变化特征[J]. 地震研究, 1987, 10(2): 211—216.
- [2] 张道仪, 延军, 张培耀, 等. 地震前地应力短临异常初探[J]. 地震, 1990, (1): 43—49.
- [3] 蒋骏, 李盛乐, 张雁宾, 等. 地震前兆信息处理与软件系统[M]. 北京: 地震出版社, 2000.
- [4] 任金卫, 汪一鹏, 吴章明. 青藏高原北部库玛断裂东西大滩全新世地震形变带及其位移和速率[J]. 地震地质, 1993, 15(3): 285—288.

### STUDY ON THE PRECURSOR OF DEFORMATION AND GEOTEMPERATURE IN QINGHAI PROVINCE BEFORE WEST TO KUNLUN MOUNTAIN PASS $M_s$ 8.1 EARTHQUAKE

ZHANG Xiao-qing<sup>1,2</sup>, MA Wen-jing<sup>2</sup>

(1. *University of Science and Technology of China, Hefei 230001, China;*

*2. Seismological Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, China*)

**Abstract:** The precursor data of ground tilt, stress and geotemperature in deep well before west to Kunlun Mountain Pass  $M_s$  8.1 earthquake from some stations in Qinghai province are analysed, and some precursor features in long-range station are obtained and compared with the one in near-field station. The result is helpful to short-term prediction of strong earthquake.

**Key words:** West to Kunlun Mountain Pass  $M_s$ 8.1 Earthquake; Deformation; Geotemperature; Precursory anomaly