

岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前 武都、天水钻孔应变异常变化分析

蒲小武¹, 高原¹, 苏永刚¹, 武银², 许可娟¹

(1. 甘肃省地震局陇南中心地震台, 甘肃 陇南 746000; 2. 甘肃省地震局天水中心地震台, 甘肃 天水 746000)

摘要:2013 年 7 月 22 日岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前 2~3 月内, 武都、天水应变资料出现了不同程度的异常变化, 其中两台的 NW 道异常都非常显著, 与 2003 年、2004 年 2 次岷县地震前武都应变出现的异常很相似, 都有 β_1 、 β_2 、 γ_1 三阶段前兆异常特征。

关键词: 岷县、漳县 $M_s6.6$ 地震; 钻孔应变; 背景特征; 前兆异常

中图分类号: P315.72

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2013)增刊-0102-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2013.增刊.0102

Relation of the Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ Earthquake to Abnormal Changes of Borehole Strain in Wudu and Tianshui

PU Xiao-wu¹, GAO Yuan¹, SU Yong-gang¹, WU Ying², XU Ke-juan

(1. Longnan Center Seismic Station, Longnan Gansu 746000, China;

2. Tianshui Center Seismic Station, Tianshui Gansu 746000, China)

Abstract: Wudu and Tianshui strain stations have monitored the stress and strain near fractures and tectonic belts in southeastern Gansu since a few decades ago. As an effective observation method of earthquake precursors, it is of extremely vital significance and before many earthquakes it responded really well. The borehole strain gauge of pressure vessel style used in Wudu and Tianshui is the latest generation of strain gauge. In two or three months before the Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ earthquake, the strain data in Wudu and Tianshui had shown varying degrees of abnormal changes. The NW orientation of two strain gauges appeared extremely obvious anomaly, which was similar to that in Wudu before two earthquakes which occurred in Min county in 20003 and 2004. They showed the same characteristics of precursory anomalies in three stages of β_1 , β_2 and γ_1 .

Key words: Minxian—Zhangxian $M_s6.6$ earthquake; borehole strain; background characteristics; precursory anomaly

0 引言

钻孔应变观测是非常有效的地震前兆项目, 可以与测震、GPS 等大地测量方法相提并论^[1], 美国启动的“板块边界观测(PB0)”项目中, 钻孔应变受到前所未有的重视。笔者对 2012 年以来甘东南区域的临夏、平凉、天水、武都钻孔应变资料的分析

后发现, 距离岷县漳县 6.6 级地震最近的天水、武都钻孔应变资料在地震前出现了明显的异常变化。武都应变台在监测甘东南区域的地震具有一定的优势, 至今已多次记录到很好的震例^[2-4], 并根据资料出现的异常变化, 多次成功预报了附近区域的几次地震。

1 武都、天水应变台基本情况及与岷县地震震中构造部位的关系

(1) 武都应变台基本情况

武都应变台坐落于甘肃省陇南市武都区两水镇前村,位于迭部—白龙江断裂带附近,处在多组构造交汇、复合部位。

武都应变台 1992—2008 年观测仪器为地壳所

研制的 RZB—II 型高精度应变仪,2008 年 5 月初由于仪器故障停测。2011 年重打新应变观测井,孔深 110 m。2012 年架设 RZB—3 型分量式钻孔应变仪。探头位于 91.5 m 处。探头内元件方向为:1 号传感器为正 EW 方向,2~4 号传感器依次顺时针相差 45°排列。本文中称为 EW 道、NW 道、NS 道、NE 道。

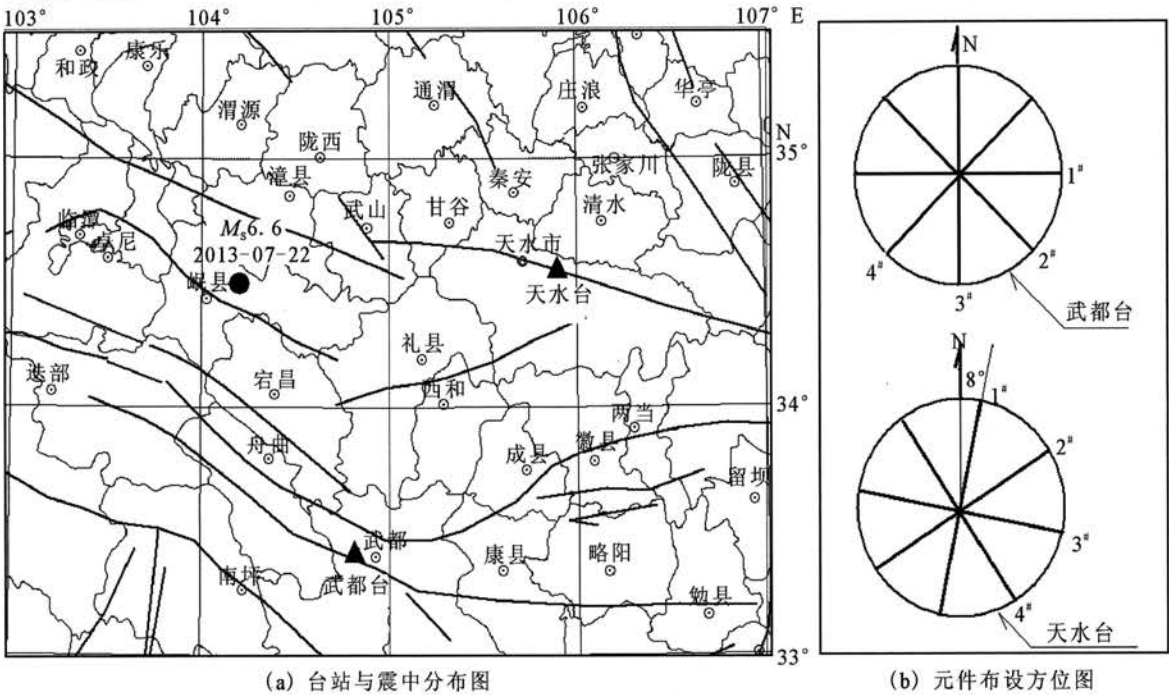


图 1 台站、震中分布及应变元件布设方位图
Fig.1 Distribution of stations and epicenters and layout of strain components

(2) 天水应变台基本情况

天水应变台位于甘肃省天水市北道区何家村,台站地处秦岭纬向构造带中段附近,新华夏系最西的沉降带。

天水应变台原先安装的是 YZ—1 型压磁式应力仪,后由于仪器故障停测。2011 年打了应变孔,孔深 105 m;2012 年 2 月安装了 RZB—3 型分量式钻孔应变仪,钻孔应变探头位于 104 m 处。应变仪各分量元件安装后方位为 1 号元件为 $N8^{\circ}E$ 道,其余各元件依次相差 45°顺时针排列,分别为 $N53^{\circ}E$ 道、 $N83^{\circ}W$ 道、 $N37^{\circ}W$ 道。本文中 1 至 4 号元件依次简称为 NS 道、NE 道、EW 道、NW 道。

(3) 地震震中与两应变台在构造部位上的关系

武都、天水应变台与岷县漳县地震的震中都位于南北地震带中北段,同处于甘东南区域。三地分别分布在 NWW 向的迭部—白龙江断裂带、西秦岭北缘断裂带、临潭—宕昌断裂带上或附近,两台站所处构造带与震中所处构造毗邻,距离震中分别为

133 km、155 km。

相关研究表明,甘东南地区既受到区域构造背景应力的作用,又受到局部构造带的制约,是两者共同作用的结果^[5]。由此可见岷县、武都、天水同处于统一的区域应力场中,但由于局部构造带的制约,应力、应变会存在差异性。

2 两台干扰因素及固体潮汐变化

2.1 干扰因素分析

2.1.1 武都台

钻孔应变干扰因素主要有气温、气压、水位等^[6],由于武都、天水台钻孔应变探头都处于 90 m 以下的深部,在恒温层以下,气温变化对探头所处位置岩体的温度影响很小,可以忽略气温引起的干扰。

气压年变化大致在 20~30 hPa 之间,由于上部岩石的支撑,随着深度的增加,气压变化对岩石应变影响减弱。

武都应变台处于白龙江河谷地带,年水位变化

达 2~3 m,水位是最主要干扰因素,这对于资料的分析应用造成了很多困扰。根据一种物理机制清楚的方法,应变测值中的水位干扰可有效剔除^[6]。方法如下:

由胡克定律及水中压强公式联立方程可得如下公式:

$$\Delta\epsilon = \frac{\rho g \Delta H}{E}$$
(1)

式中: $\Delta\epsilon$ 是应变变化; ρ 是水密度; g 是重力加速度; ΔH 是水位变化量; E 是杨氏模量。

对于一个特定的地点, ρ, g, E 都是一个特定的常数,式(1)可简化如下:

$$\Delta\epsilon = K \Delta H$$
(2)

通过式(2)可知,只要我们在水位剧烈变化时段,求出相应的应变变化,就可求出 K 值。再由实测水位值和 K 值对实测应变值进行校正,公式如下:

$$\epsilon_{校} = \epsilon_{实} + K H_{水}$$
(3)

其中 $\epsilon_{校}$ 是经过水位校正后的应变值; $\epsilon_{实}$ 是实测应变值; K 是应变响应灵敏度系数; $H_{水}$ 实测水位值。

研究选取了 2013 年 5—6 月间水位剧烈波动段,求取 K 值(表 1)。

表 1 钻孔应变四道元件应变的水位响应系数 K

	一号元件 (应变量 / m)	二号元件 (应变量 / m)	三号元件 (应变量 / m)	四号元件 (应变量 / m)
K	31	55	290	37

通过式(3)对武都 2013 年 1 月至 7 月的应变资料进行了处理,以便于更好地分析岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前的应变变化特征。

2.1.2 天水台

天水应变台和武都台同样会受到气温、气压、水位波动变化影响。由于天水应变台没有可靠的水位资料,对于水位变化造成的干扰没法定性分析,更无法定量剔除。但水位对应变的干扰有其特点,就是水位大幅度上升变化一般在 5—10 月间,如水位上升就会造成四道元件同时受压,表现在曲线图上则造成曲线呈下降变化^[7],水位下降则相反。

2.2 固体潮汐变化

2.2.1 武都台

武都台 EW、NW、NS、NE 向四道元件都能记录到应变固体潮的变化。其中 EW、NW、NS 道记录到的固体潮图像清晰、形态完整,潮汐因子 2013 年上半年均值在 0.6 以上(表 2),NE 道记录的固体潮效果不是很理想,曲线畸变较多,潮汐因子很小。

表 2 武都、天水应变固体潮 M_2 波潮汐因子

时段	武都台				天水台			
	EW 道	NW 道	NS 道	NE 道	EW 道	NW 道	NS 道	NE 道
上半年均值	0.928 1	0.962 8	0.661 5	0.098 58	0.146 5	0.215 6	0.062 3	0.154 5

2.2.2 天水台

天水台四道元件都能记录到应变固体潮,其中 EW、NW、NE 道记录到的应变固体潮图像清晰、形态完整,潮汐因子较大;而 NS 道记录效果较差,潮汐因子很小(表 2)。

3 2003 年、2004 年两次岷县地震前武都应变的前兆异常特征

2003 年 11 月 13 日发生了岷县 $M_s5.2$,这次地震发生在 NWW 向的临潭—宕昌断裂带上,2004 年 9 月 7 日基本于原地又发生了 $M_s5.0$ 地震。这两次地震距离武都应变台约 140 km,武都应变 EW 道、NW 道对这 2 次地震均有很好的前兆异常反应,有明显的 $\beta_1, \beta_2, \gamma_1$ 三阶段变化特征^[8]。

3.1 岷县 $M_s5.2$ 地震

武都台 NW 道:2003 年 1—3 月曲线正常上升变化(图 2);4 月初出现转折下降,异常开始出现;5 月至 7 月出现了大幅度波动变化,8 月出现了快速

下降变化,10 月初降到一个低值后有快速回升,11 月 13 日发震。总体异常变化特征为:转折(受压)—波动(张压交替)—压—张—发震(图 2(a))。

EW 道:EW 道、NW 道曲线变化形态基本相似,异常变化特征为:波动—压—张—发震(图 2(b))。

3.2 岷县 $M_s5.0$ 地震

武都台 NW 道:2004 年 1 月正常上升,2 月初出现转折快速下降,3 月至 5 月出现了张压波动变化,6 月又出现快速下降只至发生地震。总体变化特征为:转折(受压)—波动(张压交替)—压—发震(图 2(a))。

EW 道:该道应变资料变化与 NW 道变化非常相似,变化特征基本一致(图 2(b))。

4 岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前武都、天水应变前兆异常变化

4.1 应变资料的背景变化特征

为了更好的对比分析四道元件数据资料的变化,对所采用的数据进行了初值归零。

初、7 月初至下旬,都出现了反弓型弧形弯曲变化,此阶段水位出现了快速上升又下降的正弓型变化,应变的这种变化是由水位变化引起(图 3)。

武都台四道应变资料在 2013 年 5 月底至 6 月

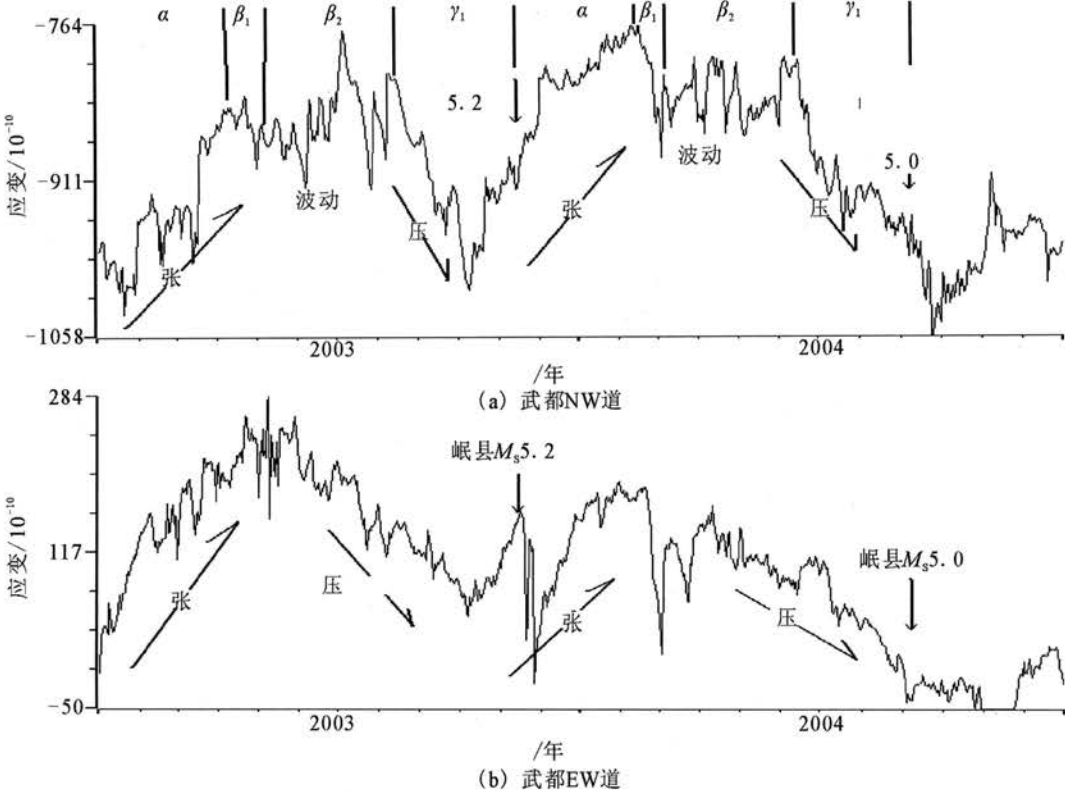


图 2 2013—2014 年武都应变日均值图

Fig. 2 The daily mean value of strain at Wudu from 2013 to 2014

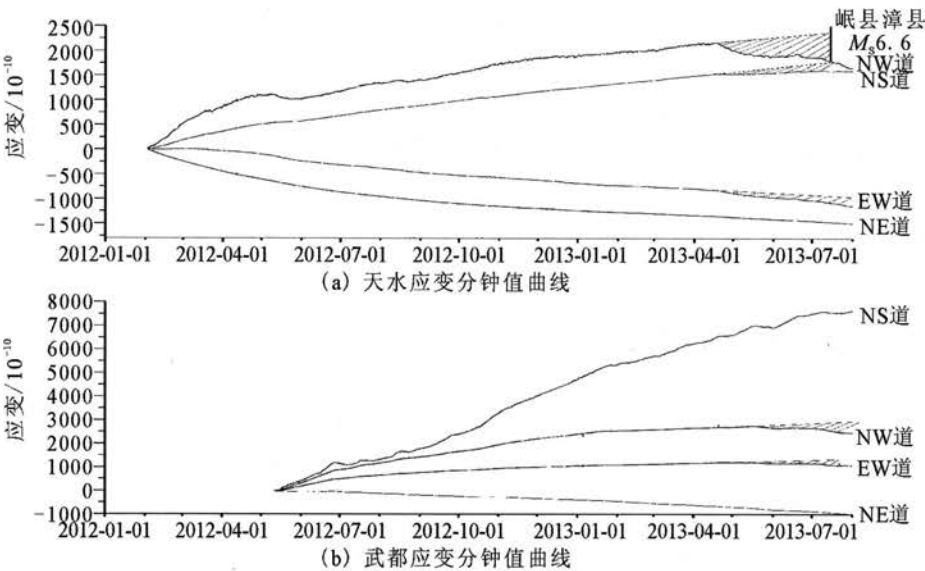


图 3 2012—2013 年武都、天水应变分钟值曲线图

Fig. 3 Minute value curves of strain at Wudu and Tianshu from 2012 to 2013

4.1.1 武都台

NS 道:2012 年 5 月重新架设仪器后产生数据以来,总体以快速上升变化为主,累积变化量达到 $8\,000\times10^{-10}$ 应变量,表明该方向受到了持续的张

应力作用(图 3),岷县漳县 $M_s6.6$ 地震前后无明显异常变化。

NW 道:2012 年 5 月至 2013 年 1 月以较快的速度上升变化,2 月份起速度有所减缓,但还是以上

升变化为主,截止 5 月 23 日,总体变化特征为上升型,表明该方向受到持续的张应力作用。5 月下旬在此前上升变化的背景上出现了快速下降变化,由张转压,出现了异常。

EW 道:自 2012 年 5 月 11 日至 2013 年 4 月 29 日以稳定的速率上升为主要特征,近一年时段内受持续张应力作用,4 月 30 日在上升的背景趋势上出现了转折性快速下降变化,由张转压,出现异常。

NE 道:自 2012 年 5 月以来,基本以稳定的速率下降,该方向一直在受到压应力的作用,岷县漳县 $M_s 6.6$ 地震前后无异常变化。

4.1.2 天水台

NW 道:2012 年 2 月至 2013 年 4 月 18 日,总体以快速上升变化为主,表明该方向受到持续张应力作用;4 月 19 日出现转折性下降异常变化(图 4)。

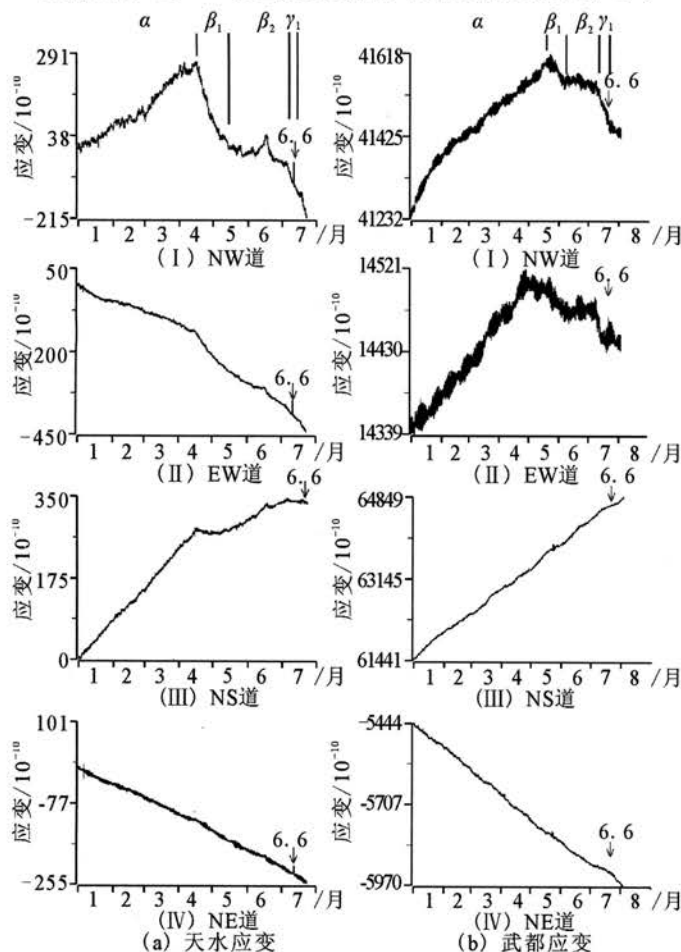


图 4 2013 年武都、天水应变整点值曲线图
(武都剔除水位干扰)

Fig. 4 Hour value curves of strain at Wudu and Tianshu in 2013 (water level interference was eliminated at Wudu)

NS 道:自 2012 年 2 月至 2013 年 4 月 18 日,以稳定的速率上升,表明该方向持续受张;4 月 19

日出现了速率改变,和 NW 道出现的变化时间上同步。

EW 道:自 2012 年 2 月至 2013 年 4 月 18 日,以稳定的速率下降;4 月 19 日出现速率改变。

NE 道:自 2012 年 2 月以来,以下降变化为主,表明该方向受到持续压应力作用,地震前后无异常变化。

4.2 短临异常变化特征

为了更好分析武都台出现的异常变化,对 2013 年的数据进行了水位干扰剔除处理。

天水台由于没有水位资料没有进行水位干扰剔除。

4.2.1 武都台

NW 道:2013 年 5 月 23 日之前以正常速率上升;24 日出现了转折下降变化,表明该方向受力由张转压,这种变化持续至 6 月 3 日,累积下降了 55×10^{-10} 应变量;6 月 4 日至 7 月 9 日出现小幅张压交替型波动变化,持续时间一个多月;7 月 10 日至地震发生前后,出现了快速的下降变化,累积变化了 90×10^{-10} ,表明此时段发震断裂带已经出现了预滑动,进入临震异常阶段。NW 道出现的变化形态和 2003 年岷县 $M_s 5.2$ 地震很相似,和 2004 年的岷县 $M_s 5.0$ 地震基本一致,符合 β_1 、 β_2 、 γ_1 三阶段变化特征。

EW 道:2013 年 4 月 29 日之前以正常速率上升,4 月 30 日出现转折下降并持续至 6 月 7 日,表明该方向受力由张转压,异常出现,此时段的变化符合 β_1 阶段的变化特征;6 月 8 日至 7 月 9 日,以波动变化为主,符合 β_2 阶段的变化特征;7 月 10 日出现了快速下降变化,和 NW 道的变化同步,表明发震断层开始出现预滑动,7 月 21 日由压转张,22 日发生地震。

4.2.2 天水台

NW 道:2013 年 4 月 19 日起出现了转折性快速下降,明显偏离原变化状态,该方向力学性质由张转压,并且压应力持续增强。5 月 16 后出现了张压交替的波动型变化,持续了 50 多天后,7 月 9 日又出现快速下降,22 日发生地震。该道的变化特征和 β_1 、 β_2 、 γ_1 三阶段的特点很吻合(图 4)。

NS 道:2013 年 4 月 19 日出现了轻微下降变化,变化幅度很小,4 月 30 日后转折波动上升,曲线图上的斜率明显改变。

EW 道:2013 年 4 月 19 日后,下降速度改变,曲线图可以看到斜率明显改变,和 NW 道、NS 道的

变化完全同步。

5 结论和讨论

岷县漳县 $M_s6.6$ 级地震前武都、天水应变资料都出现了不同程度的异常变化;其中武都台 NW 道、EW 道,天水台 NW 道、NS 道、EW 道出现了异常变化;两台的 NW 道都有明显的 β_1 、 β_2 、 γ_1 三阶段异常变化特征,2003 年、2004 年的岷县地震前武都应变资料也有相似的变化特征。

两台的 NE 道从产出数据以来都以基本稳定的速率在下降,表明两台 NE 都受到持续压应力作用,地震前都没有出现异常变化。

参考文献

- [1] 邱泽华,石耀霖. 国际钻孔应变观测的发展现状[J]. 地震学报,2004,26(增刊):162-168.
- [2] 高原,苏永刚,康好林,等. 甘肃省民乐 6.1 级与岷县 5.2 级地震前武都形变资料的变化及临震预测[J]. 西北地震学报,2005,27(suppl):95-99.
- [3] 高原,蒲小武,陈彦平,等. 昆仑山口西 8.1 级地震与甘川应变变化的关系[J]. 西北地震学报,2003,25(1):39-43.
- [4] 张辉,王熠熙,冯建刚. 甘东南地区地壳介质各向异性特征[J]. 西北地震学报,2011,33(2),111-116.
- [5] 卢双苓,于庆民,曲保安,等. 山东数字化钻孔体应变观测的干扰异常研究[J]. 西北地震学报,2010,32(2):186-190.
- [6] 郑江蓉,徐徐,王俊,江昊琳. 六合体应变干扰因素与地震短临异常特征研究[J]. 西北地震学报,2011,33(1):84-90.
- [7] 蒲小武,王康,梅东林,等. 武都四分量钻孔应变水位干扰因素剔除及可靠性分析[J]. 地震地磁观测与研究,(待刊).
- [8] 中国地震局监测预报司. 地形变测量(第一版)[M]. 北京:地震出版社,2008.