

# SSY-Ⅱ石英伸缩仪与 SS-Y 伸缩仪的对比分析\*

姜振海, 史小平

(甘肃省地震局, 兰州 730000)

**摘要:** 兰州十里店地震台于 1985 年安装了 1 台 SSY-Ⅱ石英伸缩仪, 于 2006 年又安装了 1 台 SS-Y 伸缩仪。对这两套仪器的主要构造部件——基线、换能系统、标定系统进行了对比分析, 并从产出资料的趋势变化、调和分析、干扰、地震事件等方面进行了对比分析, 总结了这两套仪器各自的优缺点。

**关键词:** SSY-Ⅱ石英伸缩仪; SS-Y 伸缩仪; 基线; 换能器; 标定; 调和分析; 干扰

**中图分类号:** P315.62

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2010)01-0063-05

## 0 引言

伸缩仪是精密测量地壳岩体两点间水平距离相对变化的仪器。它适用于观测地壳应变和固体潮水平分量的连续变化, 为研究地震孕育过程中水平应变的变化规律提供基础数据, 也为地球弹性研究提供重要数据。

1985 年, 兰州十里店地震台安装了一台 SSY-Ⅱ型石英伸缩仪 (以下简称 SSY-Ⅱ), 1986 年正式投入观测。1986 年以来, 该仪器在全国观测资料评比中共获得 12 次前三名, 获得国家地震局科技进步奖 1 项, 获得中国地震局防震减灾优秀成果奖 1 项。

2006 年 10 月, 十里店地震台又安装了一台 SS-Y 型伸缩仪 (以下简称 SS-Y), 2008 年 1 月正式投入观测。

现在, 十里店地震台同时运行着 SSY-Ⅱ 和 SS-Y 两套洞体应变仪。

## 1 伸缩仪的基本原理

伸缩仪主要用于洞体应变固体潮及地震前兆地应变的监测与研究, 也可用于大型精密工程、大型建筑、大坝等的应变测量。地应变测量是测量地壳表面两点间的基线长度的相对变化量, 即

$$\varepsilon = \frac{L' - L}{L} = \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

式中,  $L$  为原地壳表面两点间的距离, 亦称基线

长;  $L'$  为变化后地壳表面两点间的距离;  $\Delta L$  为地面两点的变化量;  $\varepsilon$  为单位长度的相对变化量, 即应变。根据约定, 压缩为负、伸张为正, 即:  $\varepsilon < 0$  表示压缩;  $\varepsilon > 0$  表示伸张。

基线长度不变, 传感器间距的变化就是 A、B 两点的变化, 如图 1 所示。

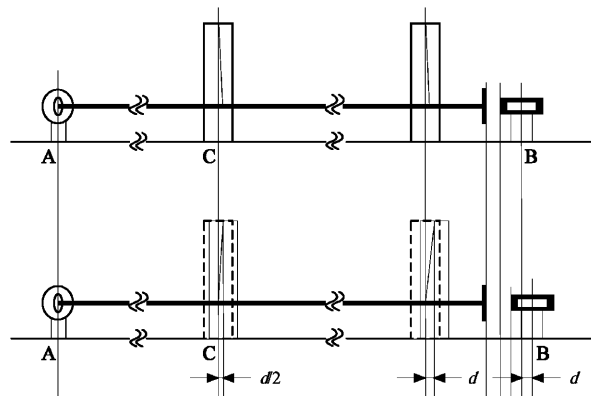


图 1 伸缩仪测量原理示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the extensometer

## 2 SSY-Ⅱ与 SS-Y 主要部件的对比

伸缩仪由基线、换能系统、电路系统、标定系统和记录系统组成。其中基线、换能系统、标定系统是直接影响观测精度的主要部件, 笔者首先对这三个部件进行分析。

### 2.1 基线

SSY-Ⅱ的基线是石英管。熔融石英 ( $\text{SiO}_2$ ) 的

\* 收稿日期: 2009-09-20.

基金项目: “十五” 甘肃省数字地震观测网络前兆分项 (J102) 资助.

膨胀系数小于  $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 。硅砂在  $2\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$  温度下熔化,石英结晶构造被破坏,冷却后就得到玻璃状物质,各向同性。石英管在很宽的温度范围 ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 1\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) 内具有很小的热温度系数。

SS-Y 的基线是含铌特种因瓦棒,其膨胀系数比石英还要小。SS-Y 的基线长度在  $10\text{ m}$  以内就能记录到明显的应变固体潮。

2.2 换能系统

SSY-II使用日本 SONY 公司生产的磁传感器,它由发磁体、检测头及检测器 3 部分组成。发磁体是永久磁铁,检测头有两组线圈,振荡器产生激励脉冲提供给检测头。当发磁体与检测头产生相对位移时,检测头中的两组线圈的磁场强度发生变化,得到直流电压输出。磁传感器原理如图 2a 所示。

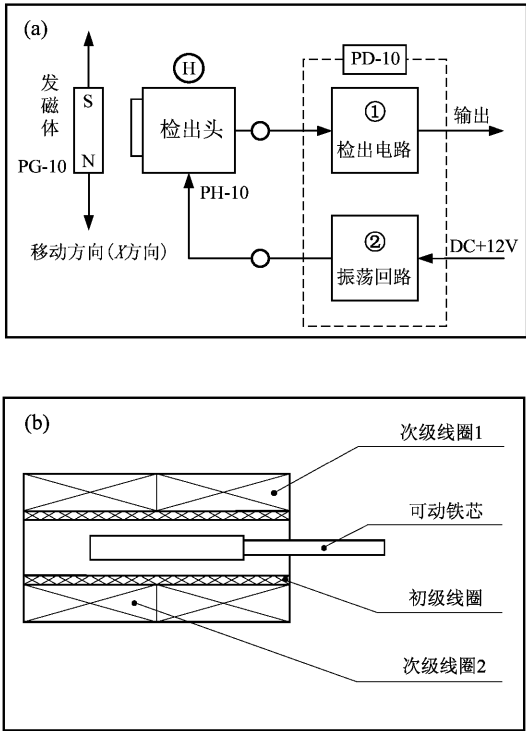


图 2 磁传感器原理图 (a) 和差动变压器结构原理图 (b)  
Fig. 2 Schematic diagrams of magnetic sensor (a) and differential transformer's structure (b)

SS-Y 的换能系统主要由高精度电涡流位移传感器和差动变压器位移传感器组成。高精度电涡流位移传感器由前置器和带电缆的探头两部分组成。高灵敏度差动变压器是新近研制的,由可动铁芯、线圈和前置电路组成。差动变压器实质上就是铁芯可动的变压器,其结构原理如图 2b 所示。

表 1 SSY-II 与 SS-Y 的换能系统主要技术指标对比		
Tab. 1 Contrast of the main technical indexes of transducer systems of SSY-II and SS-Y extensometers		
技术指标	SSY-II	SS-Y
分辨率	0.01 mm	优于 0.01 mm
量程	250 $\mu\text{m}$	> 100 $\mu\text{m}$
非线性度	$\leq \pm 0.1\%$	$\leq 1\%$

2.3 标定系统

SSY-II 采用的是胀盒法对仪器进行格值标定。胀盒标定系统包括胀盒、水银杯、尼龙管、立杆、水银等。具体原理为胀盒内装有密度大的水银液体,当液面的高度发生变化时,胀盒壁所受的压力也相应变化。在弹性范围内胀盒壁的变化应为线性的,此变化可作为人为附加已知位移,以确定被测物理量与观测系统输出量间的比值。

SSY-II 的格值计算公式为

$$\eta = 0.004000 \frac{A\Delta HK}{\Delta UL} \times 10^{-6} \text{ (1/mm)}. \quad (2)$$

式中,  $A$  为记录量程;  $\Delta H$  为水银杯升降量;  $K$  为胀盒常数;  $\Delta U$  为水银杯升降  $1\,000\text{ mm}$  时整机输出变化值;  $L$  为石英基线长度。

SS-Y 的检定器依据斜楔块原理产生微位移。步进电机转动,带动弹性连轴使测微头随之转动,从而使斜楔块产生  $X$  方向位移,进而使滑块产生  $Y$  方向微位移。探头座与滑块连接,因而步进电机转动时,使传感器的探头产生一定的微位移量,从而达到检定目的。

SS-Y 的检定公式为

$$\eta' = \frac{\Delta l}{\Delta U \cdot L} \times 10^{-6} \text{ (1/mV)}. \quad (3)$$

式中,  $\Delta l$  为检定器位移常数,单位为  $\mu\text{m}$ ,其值由厂家提供;  $L$  为基线长度,单位为  $\text{m}$ ;  $\Delta \bar{U}$  为电压差的绝对值均值,单位为  $\text{mV}$ 。

3 资料分析

十里店地震台是国家基本台,隶属甘肃省地震局。现在,台站同时运行着 SSY-II 和 SS-Y 两套洞体应变仪器。仪器的具体布设如图 3 所示。SSY-II 的基线, NS 为  $44.70\text{ m}$ , EW 为  $44.70\text{ m}$ ; SS-Y 的基线, NS 为  $13.54\text{ m}$ , EW 为  $13.26\text{ m}$ 。

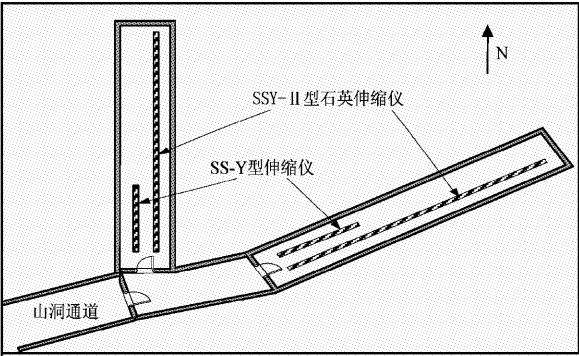


图 3 SSY-Ⅱ 石英伸缩仪和 SS-Y 伸缩仪布设图  
Fig. 3 Layout of SSY-II and SS-Y extensometers

3.1 趋势变化

由于 2007 年 12 月 SS-Y 的数采器寄往武汉维修，至 2008 年 1 月 10 日恢复工作，故本文选用的资料是从 2008 年 1 月 10 日至 2008 年 12 月 31 日。  
由图 4 可以看出，2008 年两套仪器的 NS 和 EW 分量的年变化趋势均是向负漂移。SSY-Ⅱ 的 NS 分量的年漂移量为  $-2\,769.3 \times 10^{-10}$ ，EW 分量

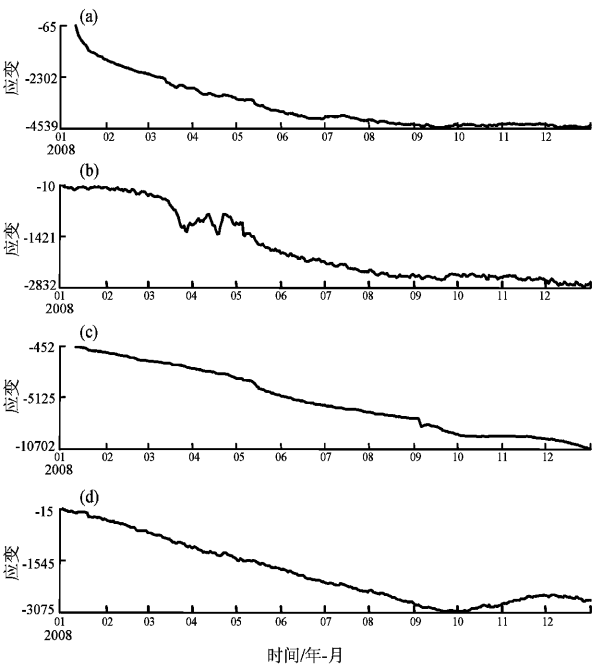


图 4 SSY-Ⅱ 型石英伸缩仪和 SS-Y 型伸缩仪  
2008 年日均值曲线对比图  
(a) SS-Y 仪 NS 分量；(b) SSY-Ⅱ 仪 NS 分量；  
(c) SS-Y 仪 EW 分量；(d) SSY-Ⅱ 仪 EW 分量  
Fig. 4 Contrast of the curves of daily mean value of  
SSY-Ⅱ and SS-Y extensometers in 2008  
(a) NS component of SS-Y ; (b) NS component of SSY-Ⅱ;  
(c) EW component of SS-Y ; (d) EW component of SSY-Ⅱ

为  $-2\,730.0 \times 10^{-10}$ ；SS-Y 的 NS 分量的年漂移量为  $-4\,297.4 \times 10^{-10}$ ，EW 分量为  $-10\,684.6 \times 10^{-10}$ 。2008 年 3 月到 4 月期间，两套仪器的变化趋势基本相同，只是变化幅度不太一致。2008 年 12 月，变化趋势基本吻合。

3.2 调和分析

我们对 2008 年 SSY-Ⅱ 和 SS-Y 的观测资料进行调和分析，获得了两台仪器的潮汐参数——潮汐因子和相位滞后（表 2）。  
从表 2 可以看出，SS-Y 观测到的潮汐振幅是 SSY-Ⅱ 的近 2 倍，说明 SS-Y 记录固体潮的能力比 SSY-Ⅱ 强。

从绝对误差可以看出，SSY-Ⅱ 的观测精度明显优于 SS-Y。  
从相对误差上看，SSY-Ⅱ 和 SS-Y 的相对误差相差不大，SSY-Ⅱ 的 EW 分量的精度较好，SS-Y 的 NS 分量的精度较好。

从相位滞后来看，SS-Y 的观测相位与其理论相位相差较大，而 SSY-Ⅱ 的观测相位与其理论相位相接近。SS-Y 从 2008 年 3 月起相位滞后出现了明显的变化，4~12 月相位误差变稳定，但是与理论相位相差更大了。造成这一现象的原因有待进一步研究。

从相位误差上看，SSY-Ⅱ 和 SS-Y 相差不大，SSY-Ⅱ 的 EW 分量较好，SS-Y 的 NS 分量较好。

3.3 干扰分析

2008 年 9 月 4~6 日工作人员在台站山洞架设实验仪器时，对 SSY-Ⅱ 和 SS-Y 产生了一定的干扰（图 5）。由图 5 可知：SS-Y 受到的干扰明显大于 SSY-Ⅱ，最大干扰出现在 5 日 11 时 04 分，幅度为 598.1，是日均值的 0.14%，并对曲线的变化趋势产生了较大的影响。9 月 4 日 11 时 43 分 EW 分量形成了幅度达 1 018.7 的台阶；SSY-Ⅱ 的最大干扰于 5 日的 12 时 01 分出现在 NS 分量，干扰幅度为 327.6，是日均值的 0.13%，对曲线的变化趋势无较大影响。

3.4 地震事件

2008 年，SSY-Ⅱ 共记录到 22 次地震，SS-Y 共记录到 28 次地震，比 SSY-Ⅱ 多 6 个，SSY-Ⅱ 记录到的地震 SS-Y 都已记录到，并且 SS-Y 记录到的地震振幅比 SSY-Ⅱ 要大，例如：2008 年 5 月 12 日汶川 8.0 级地震时，SS-Y 的 EW 分量的振幅达 400，NS 振幅达 394，而 SSY-Ⅱ 的 EW 分量振幅只有 74，NS 分量振幅是 256（图 6）。这说明 SSY-Ⅱ 的抗干扰能力优于 SS-Y。

表 2 SSY-II 与 SS-Y 调和结果的对比表

Tab. 2 Contrast of the results from the harmonic analysis of the recordings of SSY-II and SS-Y extensometers

月份			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	均值
潮汐因子	NS	SSY-II	0.294 4	0.295 4	缺数	缺数	0.283 2	0.294 1	0.277 8	0.278 2	0.278 8	0.282 3	0.283 3	0.280 9	0.284 8
		SS-Y	0.521 3	0.529 5	0.517 8	0.516 3	0.505 7	0.536 5	0.511 6	0.515 5	0.515 3	0.525 8	0.518 6	0.512 7	0.518 9
	EW	SSY-II	0.316 8	0.317 0	0.307 1	0.314 9	0.309 1	0.327 0	0.307 0	0.311 5	0.312 3	0.311 5	0.316 6	0.312 6	0.313 6
		SS-Y	0.467 5	0.474 8	0.465 2	0.452 5	0.449 8	0.480 1	0.463 9	0.457 3	0.447 0	0.472 2	0.451 0	0.455 6	0.461 4
绝对误差	NS	SSY-II	0.005 5	0.005 4	缺数	缺数	0.007 6	0.007 1	0.006 8	0.008 5	0.006 0	0.004 5	0.003 7	0.003 2	0.005 8
		SS-Y	0.014 8	0.006 5	0.010 4	0.006 0	0.008 9	0.007 8	0.007 4	0.006 4	0.007 7	0.008 6	0.007 0	0.006 9	0.008 2
	EW	SSY-II	0.004 9	0.005 6	0.004 8	0.005 4	0.007 4	0.009 2	0.006 3	0.007 0	0.006 1	0.004 3	0.004 2	0.004 0	0.005 8
		SS-Y	0.017 4	0.011 6	0.012 7	0.009 4	0.012 2	0.011 9	0.011 7	0.010 5	0.009 1	0.010 4	0.008 9	0.010 2	0.011 3
相对误差	NS	SSY-II	0.018 6	0.018 1	缺数	缺数	0.026 8	0.024 1	0.024 6	0.030 6	0.021 5	0.015 8	0.013 1	0.011 3	0.020 5
		SS-Y	0.028 4	0.012 2	0.020 0	0.011 6	0.017 5	0.014 5	0.014 4	0.012 5	0.015 0	0.016 4	0.013 5	0.013 5	0.015 8
	EW	SSY-II	0.015 4	0.017 7	0.015 5	0.017 2	0.024 0	0.028 2	0.020 5	0.022 5	0.019 4	0.013 9	0.013 4	0.012 7	0.018 4
		SS-Y	0.037 2	0.024 5	0.027 4	0.020 7	0.027 2	0.024 8	0.025 2	0.023 0	0.020 5	0.021 9	0.019 8	0.022 3	0.024 5
相位滞后	NS	SSY-II	-0.602 3	-0.301 7	缺数	缺数	-0.006 2	-0.255 5	0.920 0	-0.936 8	0.919 2	-0.394 2	0.785 1	0.551 4	0.067 9
		SS-Y	2.119 6	3.847 6	-22.175 7	-69.046 1	-69.040 0	-66.610 8	-69.892 7	-68.614 2	-67.096 4	-70.270 8	-67.728 0	-68.672 1	-52.765 0
	EW	SSY-II	2.785 9	4.526 9	4.382 8	5.433 8	6.081 0	3.949 5	4.622 9	3.232 4	4.958 9	3.885 1	4.799 6	4.994 4	4.471 1
		SS-Y	-24.784 6	-19.742 4	-48.444 7	85.985 9	83.362 3	87.678 0	82.956 3	84.811 7	87.152 6	83.307 3	86.240 2	85.663 7	56.182 2
相位误差	NS	SSY-II	1.065 6	1.038 0	缺数	缺数	1.535 9	1.378 8	1.410 9	1.754 9	1.229 8	0.906 0	0.750 9	0.649 0	1.172 0
		SS-Y	1.627 4	0.698 1	1.145 9	0.666 5	1.005 0	0.831 1	0.823 3	0.716 4	0.860 7	0.941 4	0.771 8	0.773 9	0.905 1
	EW	SSY-II	0.880 7	1.012 8	0.889 9	0.983 9	1.378 0	1.614 5	1.172 9	1.289 6	1.112 2	0.794 8	0.765 4	0.726 4	1.051 8
		SS-Y	2.132 2	1.402 8	1.567 4	1.187 9	1.557 2	1.421 0	1.442 3	1.316 1	1.171 9	1.255 9	1.132 4	1.277 2	1.405 4

注: SSY-II 仪 NS 分量的放大盒在 3、4 月份多次发生故障, 缺数较多, 无法进行调和分析。

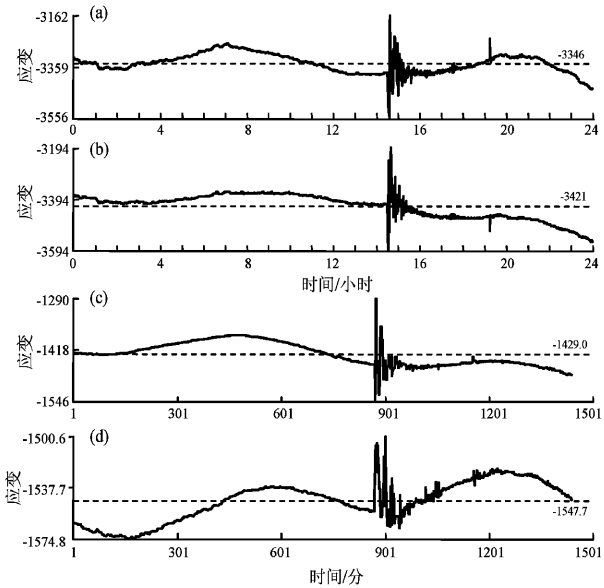
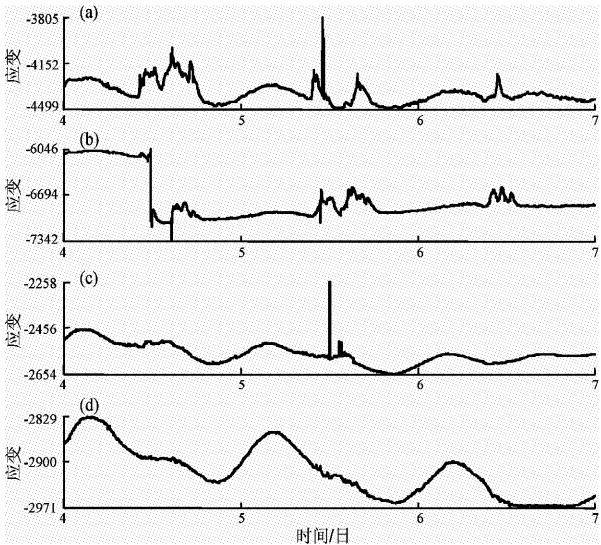


图 5 SSY-II 型石英伸缩仪和 SS-Y 型伸缩仪  
2008 年 9 月 4~6 日日均值曲线对比  
(a) SS-Y 仪 NS 分量; (b) SS-Y 仪 EW 分量;  
(c) SSY-II 仪 NS 分量; (d) SSY-II 仪 EW 分量  
Fig. 5 Contrast of the curves of daily mean value of  
SSY-II and SS-Y extensometers in September 4-6, 2008  
(a) NS component of SS-Y; (b) EW component of SS-Y;  
(c) NS component of SSY-II; (d) EW component of SSY-II

图 6 2008 年 5 月 12 日 SSY-II 石英伸缩仪和  
SS-Y 伸缩仪分钟值曲线图  
(a) SS-Y 仪 NS 分量; (b) SS-Y 仪 EW 分量;  
(c) SSY-II 仪 NS 分量; (d) SSY-II 仪 EW 分量  
Fig. 6 Minute-value curves of SSY-II and SS-Y  
extensometers on May 12, 2008  
(a) NS component of SS-Y; (b) EW component of SS-Y;  
(c) NS component of SSY-II; (d) EW component of SSY-II

## 4 结论

### 4.1 SSY- II 的优、缺点

#### (1) 优点

① SSY- II 的基线石英管的稳定性极好, 这与 SSY- II 运行时间较长有一定关系。仪器抗干扰能力强, 在同等条件下, SSY- II 的抗干扰能力强于 SS-Y。

② SSY- II 的观测精度优于 SS-Y。

#### (2) 缺点

① SSY- II 的基线石英管易破裂。不论是在运输、安装, 还是在后期的维护上, 石英管的破裂现象一直是制约石英管基线推广的主要因素。

② SSY- II 使用的磁传感器由于发磁体和检测头之间的间距不同, 其灵敏度也不同, 在仪器运行当中, 发磁体和检测头之间的间距易发生微小的变化, 从而造成仪器格值的变化。

③ SSY- II 的标定系统使用水银胀盒, 导致山洞受到水银的污染; 标定仪器时, 必须有人在仪器旁边手动升降水银杯, 这容易对仪器产生人为影响。

### 4.2 SS-Y 的优、缺点

#### (1) 优点

① SS-Y 的基线是因瓦棒, 在不大于 10 m 时, 就能记录到明显的应变固体潮汐, 而且在运输、安装、维护等方面极为简便。

② SS-Y 的换能器采用了高精度的电涡流或差动变压器位移传感器, 其输出只与被测位移方向

的位移量有关, 而与另外两个方向的位移无关, 从而提高了仪器格值的稳定性。

③ SS-Y 的标定系统是依据斜楔块原理产生微位移来进行标定的, 具有远程遥控标定的功能, 避免了人为的进洞干扰和水银的污染问题。

#### (2) 缺点

① SS-Y 的抗干扰能力较弱, 易受到空气流动和人为进洞的干扰。

② 标定仪器时, SS-Y 的标定系统有标定不到位的情况发生, 需要再次标定。

## 参考文献:

- 国家地震局科技监测司. 1995. 地震地形变观测技术[M]. 北京:地震出版社.
- 李杰, 刘敏, 邹钟毅, 等. 2003. 数字化钻孔体应变干扰机理及异常分析[J]. 地震研究, 26(3): 23-31.
- 吕宠吾, 杨江. 2009. 差分式伸缩仪[J]. 大地测量与地球动力学, 29(3): 145-151.
- 吕宠吾, 孙亚强, 杜为民, 等. 2001. SS-Y 型短基线伸缩仪及其校准装置[J]. 地壳形变与地震, 21(3): 82-88.
- 王梅, 毛玉华, 孔向阳, 等. 2005. 数字化体应变观测资料的调和分析[J]. 地震研究, 28(1): 26-29.
- 吴庆鹏. 1997. 重力学与固体潮[M]. 北京:地震出版社.
- 熊先保, 黄晓华, 牛其寿, 等. 2006. 固体潮观测数据预处理中的常用方法及计算机实现[J]. 地震地磁观测与研究, 27(4): 100-103.
- 徐春阳, 杨江, 杜为民, 等. 2007. 差分式伸缩仪实验结果分析[J]. 大地测量与地球动力学, 27(增刊1): 136-138.
- 张国安, 徐菊生, 王秀君. 2004. 固体潮观测与研究的国际动态与进展[J]. 地震研究, 27(1): 105-108.
- 中国地震局监测预报司. 2008. 地形变测量[M]. 北京:地震出版社.

## Comparative Analysis of the SSY- II Quartz Extensometer and the SS-Y Extensometer

JIANG Zhen-hai, SHI Xiao-ping

(Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

## Abstract

An SSY- II quartz extensometer was installed in 1985 at Shilidian station in Lanzhou, Gansu Province and an SSY-Y extensometer was installed again in 2006. In this paper, the contrastive analysis was made to the main parts of the two sets of instruments, such as the base line, the transducer system, the calibration system, the trend variation of the output data, the harmonic analysis, the interference and the seismic event. Also, the advantages and disadvantages of each instrument were pointed out.

**Key words:** SSY- II quartz extensometer; SS-Y extensometer; baseline; transducer system; calibration system; harmonic analysis; interference