

# 甘肃定点形变台观测精度 与监测能力的评定\*

刘光远 刘旭 王增甲\*\* 李绍业

(国家地震局兰州地震研究所)

## 摘 要

本文系统地研究了甘肃省定点形变台网状况、台址条件及有关情况。用年零漂、年变幅值、频数分布、噪声水平、周期性干扰因素、潮汐精度等定量指标对观测精度进行了评定,提出了存在差异的原因及改善措施。本文还对高台台及兰州台的观测资料进行了分析,讨论了其预报指标与监控能力。

**关键词:** 定点形变; 观测精度; 监测能力

## 一、甘肃定点形变台网状况

目前,甘肃省有9个定点形变台。其中专业台3个,地方台站2个。企业自办台站4个。这些台站大部分位于兰州市及其附近的白银市,形成了以兰州为中心的地壳形变连续观测台网。甘肃地壳形变连续观测台网的台址条件及有关情况如表1所示。其中高台台、兰州台及安宁台台基岩性好,弹性模量大。白银公司台、肃南台台基岩性差。兰州台及兰州市安宁地震台覆盖层厚度超过《地倾斜台站观测规范》要求。

## 二、甘肃省地壳形变连续观测台网观测精度

### 1. 年零漂与年变幅值

表2列出了几个台站的年零漂与年变幅值。

由表2可以看出年零漂和年变幅值差异较大。与观测仪器类型、墩基岩性、洞室进深及覆盖层厚度有关。

### 2. 频数分布与噪声水平 $M_1$ (契氏拟合精度)

甘肃地壳形变连续观测台近几年概率达95%的频数分布如表3所示。图1是几个台观测资料的一阶差分相对频数直方图。

由表3可以看出,兰州台、兰州市安宁地震台、宕昌台的FSQ型浮子式倾斜仪的工作状况及环境条件均较好,而高台台仪器工作状况及环境条件差。

\* 甘肃省自然科学基金资助课题  
\*\* 兰州铁道学院

表1 甘肃地壳形变连续观测台网台址条件及有关情况

序号	台站	台基 岩性	进深(cm) 复盖(cm)	仪器墩	洞室温度		仪器设备	备注
					日变幅	年变幅		
1	高台	花岗岩	$\frac{12}{3}$	混凝土	0.1	5.4	JB(金属水平摆)	区域台 1972年开始观测
2	兰州	黑云母 角闪片岩	$\frac{160}{40}$	大理岩 岩墩	<0.01	0.14	FSQ(自记长水管) SSY-I(石英伸编仪) TCM-1(精密测温仪) SQ-70B(石英水平摆)	基本台 1987年开始 观测
3	兰州市 安宁地 震台	黑云母角 闪片岩	$\frac{250}{70}$	大理岩 岩墩	<0.01	0.4	FSQ	地方台 1989年下半年 开始观测
4	宕昌	板岩	$\frac{40}{27}$	大理岩 岩墩	<0.01	<0.5	FSQ	地方台 1990年7月开始观测
5	西北铜 加工厂	变质片岩	$\frac{150}{29}$	大理岩 岩墩	<0.01	0.2	FSQ	企业台1990年 下半年开始观测
6	白银 公司台	第三系 红砂岩	$\frac{90}{30}$	混凝土	0.1	0.5	JB\目视长水管	企业台 1988年开始观测 1984年开始观测
7	肃南	新第三系 泥岩	$\frac{110}{30}$	混凝土	0.01	<1.0	JB	区域台1990年 下半年开始观测

1987至1990年4年,高台台的观测资料精度不高(图1a);兰州台FSQ自记长水管倾斜仪的观测资料是稳定的(图1b)。1987—1989年白银公司目视长水管倾斜仪观测资料状况不佳(图1c)。1987—1989年白银公司金属水平摆倾斜仪资料较稳定(图1d)。

$M_1$ 是反映观测资料长期稳定性的定量指标<sup>1)</sup>。它与台站管理和台址条件有关。以各台仪器EW、NS两分量一年尺度的相对噪声水平的平均值作为评判资料长期稳定性的依据。各台噪声水平如表4所示。

从表4可以看出兰州台观测资料精度高。高台台观测资料的噪声水平有逐年降低的趋势,说明只要加强管理,其观测资料可望达到II类水平。

### 3. 周期性干扰因素

甘肃地壳形变连续观测台网各台的主要周期性干扰因素是零频、单峰型年变、峰谷型年变及半年左右的周期性变化。图2为各台主要周期性干扰频谱示意图,其中C为拟合系数。

图2显示,上述干扰因素对高台台JB倾斜仪观测资料均有明显的影响(图2a)。兰州台FSQ水管倾斜仪观测资料中显示的干扰因素,只有仪器的零频干扰一项。

1)周景明等,1985年度倾斜仪观测资料质量评比相对噪声水平计算结果及其分析,形变台站通讯, No. 2, 1987.

表2 甘肃地壳形变连续观测台年零漂及年变幅值表

台站	仪器类型	年零漂		年变幅值		资料年、月份
		EW	NS	EW	NS	
高台	JB	-5.075'	4.066'	7.274'	8.670'	87.1-12
		-4.746'	1.208'	7.532'	6.475'	88.1-12
		-6.384'	1.444'	8.575'	8.050'	89.1-12
		-2.884'	0.174'	5.848'	5.904'	90.1-12
兰州	FSQ	-0.04'	-0.5'	0.137'	0.267'	87.1-12
		-0.04'	-0.27'	0.085'	0.358'	88.1-12
		0.08'	-0.03'	0.081'	0.069'	89.1-12
		0.03'	0.17'	0.037'	0.059'	90.1-12
	SSY-Ⅱ	$-1.5 \times 10^{-6}$	$-5.7 \times 10^{-6}$	$14954 \times 10^{-10}$	$33817 \times 10^{-10}$	87.1-12
		$-1.0 \times 10^{-6}$	$-7.0 \times 10^{-6}$	$6654 \times 10^{-10}$	$31191 \times 10^{-10}$	88.1-12
		$-0.5 \times 10^{-6}$	$-7.6 \times 10^{-6}$	$4975 \times 10^{-10}$	$66699 \times 10^{-10}$	89.1-12
		$-0.4 \times 10^{-6}$	$-4.0 \times 10^{-6}$	$4227 \times 10^{-10}$	$42135 \times 10^{-10}$	90.1-12
SQ-70B	2.5'	0.6'	2.534'	0.630'	90.4-12	
兰州市安宁地震台	FSQ	-0.065'	/	-0.065'	/	89.7-12
		-0.030'	/	-0.066'	/	90.1-12
白银公司台	JB	-0.190"	0.248"	0.214"	0.557"	87.1-12
		-0.021"	0.180"	0.213"	0.188"	88.1-12
		-0.099"	0.592"	0.321"	0.592"	89.1-12
	目视长水管	3.380"	1.293"	6.368"	2.463"	88.1-12
宕昌	FSQ	0.160"	0.699"	0.168"	0.699"	90.7-12
		0.018"	1.07"	0.238"	1.07"	91.1-9

以上事实说明,台址环境及仪器观测条件对观测资料的影响很大。由于高台台观测洞室进深浅,覆盖层薄,干扰因素多且明显。反之,如兰州台干扰因素就很少。

#### 4. 潮汐因子 $\gamma$ 与潮汐精度 $Mr(M_2)$

兰州台、兰州市安宁地震台、宕昌台能清晰地记录到固体潮。其振幅因子与精度如表5所示。

由表5可以看出,兰州台FSQ、SSY-Ⅱ仪器观测的振幅因子及其中误差是好的。说明其观测精度高。宕昌台东西分量观测精度接近于兰州台,因此该分量观测资料可望在地震预报中应用。

综上所述,在甘肃省定点形变台网中,兰州台观测资料质量高,宕昌台FSQ倾斜仪EW

分量观测资料的精度接近于兰州台,高台台观测资料的噪声水平有逐年降低的趋势,加强管理,可达Ⅱ类水平。

表3 甘肃地壳形变连续观测台网日差值频数区间分布表

台站及仪器	区段号	区段值	EW								NS							
			1987年		1988年		1989年		1990年		1987年		1988年		1989年		1990年	
			频数	相对频数	频数	相对频数	频数	相对频数	频数	相对频数	频数	相对频数	频数	相对频数	频数	相对频数		
高台 JB	1	0~0.01"	70	0.19	40	0.11	25	0.07	44	0.12	51	0.14	66	0.18	32	0.09	32	0.09
	2	0.01~0.03"	126	0.35	150	0.42	74	0.20	61	0.17	101	0.28	140	0.39	72	0.20	63	0.17
	3	0.03~0.05"	85	0.23	95	0.27	113	0.31	127	0.35	89	0.24	53	0.15	98	0.26	52	0.14
	4	0.05~0.07"	42	0.12	38	0.11	94	0.26	87	0.24	50	0.14	64	0.17	76	0.21	87	0.24
	5	0.07~0.09"	20	0.05	21	0.06	34	0.09	26	0.07	35	0.10	25	0.07	32	0.09	58	0.16
	6	0.09~0.11"									22	0.06			30	0.08	53	0.15
兰州 FSQ	1	0~0.01"	347	1.0	365	1.0	364	1.0	364	1.0	334	0.98	365	1.0	364	1.0	330	1.0
安宁台 FSQ	1	0~0.01"					182	1.0	361	0.99								
白银公司台 JB	1	0~0.01"	355	0.97	352	0.96	317	0.92			345	0.95	363	0.99	337	0.97		
	2	0.01~0.03"					19	0.05										
宕昌 FSQ	1	0~0.01"	按 90.7.1~91.6.30 统计				355	1.0	按 90.7.1~91.6.30 统计				341	0.96				

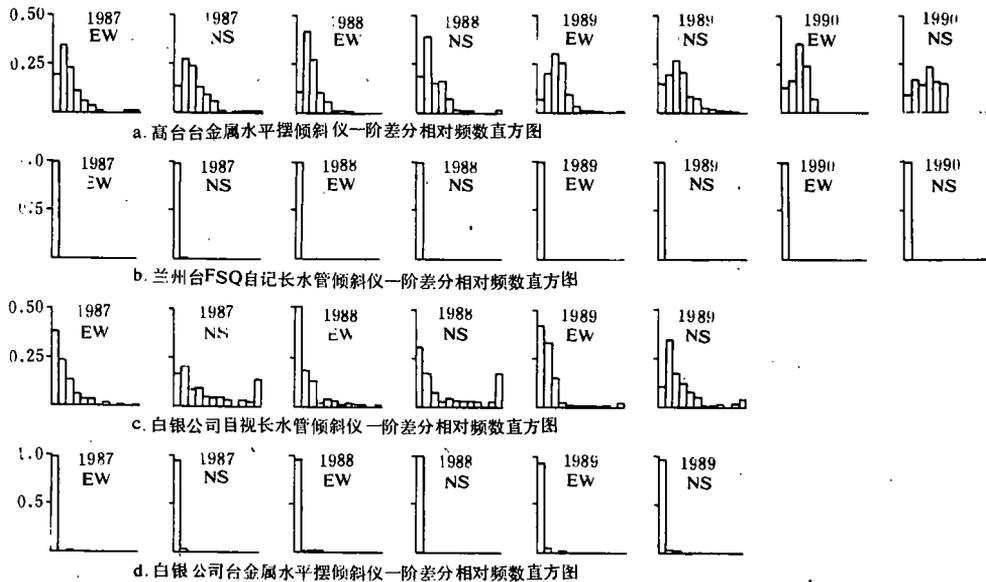


图1 几个台站观测资料的一阶差分相对频数直方图

Fig. 1 First order difference versus frequency distribution observed at some stations

表4 甘肃地壳形变连续观测台拟合精度表

台站	仪器类型	资料时段	M <sub>i</sub>			备注
			EW	NS	$\frac{(EW+NS)}{2}$	
高台	JB	1987.1—12	0.0641	0.0505	0.0573	类外
		1988.1—12	0.0399	0.0534	0.0466	Ⅱ类
		1989.1—12	0.0299	0.0422	0.0360	Ⅱ类
		1990.1—12	0.0302	0.0330	0.0316	Ⅱ类
兰州	FSQ	1987.1—12	0.0007	0.0034	0.002	I类,全国评比第一名
		1988.1—12	0.0007	0.0025	0.0016	I类,全国评比第一名
		1989.1—12	0.0007	0.0013	0.001	I类,全国评比第一名
		1990.1—12	0.0007	0.0034	0.002	I类,全国评比第一名
	SQ-70B	1990.4—12	0.0092	0.0074	0.0083	I类
白银公司台	JB	1987.1—12	0.0181	0.0342	0.0261	Ⅱ类
		1988.1—12	0.0050	0.0035	0.0042	I类
		1989.1—12	0.0947	0.0043	0.0495	Ⅲ类
	目视长水管	1987.1—12	0.1091	0.0716	0.0903	类外
		1988.1—12	0.0903	0.0894	0.0898	类外
		1989.1—12	0.1301	0.0373	0.0857	类外
安宁地震台	FSQ	1989.1—12	0.0008	/	/	I类
		1990.1—12	0.0017	/	/	I类
宕昌	FSQ	1990.7—12	0.0008	0.005	0.0029	I类

兰州市安宁地震台、西北铜加工厂台台址覆盖层厚、观测洞室进深大,安装有高精度的FSQ倾斜仪,只要加强管理,提高观测人员素质,这两个台站可以发挥应有的作用。

### 三、地震前后甘肃定点形变异常变化及预报指标讨论

由于目前分析预报工作主要使用了高台台及兰州台的数据,因此,本文仅以上述两个台的数据为例,进行分析。

#### 1. 高台台

多年来高台台倾斜仪东西分量的观测数据显示了明显的年变化。一般是自每年年初起向西倾斜,一般到6月下旬达最低值,倾斜量约6—8",7月份转平,8—11月下旬改向东倾斜,幅度一般为2—4"。11月下旬转向西倾斜(图3)。若出现违反年变规律的变化,即形变方向异常,则往往对应5级左右地震。如图3所示,1987年9月上旬,形变方向出现向东倾斜的异常变化,在张掖发生4.6级地震。同年12月在向西倾斜的背景上出现了向东倾

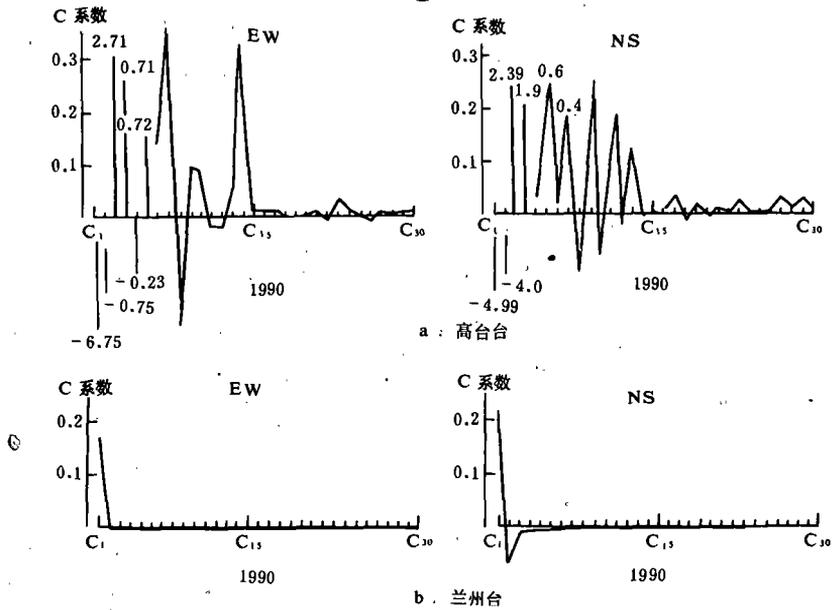


图2 高台台JB仪及兰州台FSQ倾斜仪周期性干扰频谱示意图  
 Fig. 2 Sketch of periodic interference frequency spectrum of JB tiltmeter in Gaotai station and FSQ tiltmeter in Lanzhou station

表5 甘肃地壳形变连续观测台潮汐因子与潮汐精度表

台站	仪器	资料 年(月份)	M <sub>t</sub> (M <sub>2</sub> )	
			EW	NS
兰州*	FSQ	1987	0.6568±0.0012	0.6082±0.0024
		1988	0.6582±0.0012	0.6033±0.0021
		1989	0.6668±0.0014	0.5873±0.0024
		1990	0.6594±0.0009	0.5688±0.0034
	SSY-Ⅱ	1987	0.4383±0.0024	0.4801±0.0020
		1988	0.4275±0.0025	0.3183±0.0050
		1989	0.3722±0.0017	0.4069±0.0086
		1990	0.3612±0.0018	0.4217±0.0019
SQ-70B	88.3—12	0.6911±0.0072	0.6628±0.0066	
	90.4—12	0.6979±0.0048	0.6996±0.0069	
安宁 地震台	FSQ	89.7—12	0.5626±0.0032	仪器故障
		1990	0.5278±0.0100	
宕昌	FSQ	90.7—12	0.6832±0.0014	0.4420±0.0105

\*兰州地震研究所唐九安同志提供

的反向异常变化,对应了天祝 4.1 及灵武 5.4 级地震。1988 年 12 月,在向西倾的背景上出现了往东倾的异常变化,对应了临泽 5.1 级地震。1990 年 3 月在向西倾的趋势背景上,出现了向东倾的异常变化,在倾斜量达最大值的时段,共和发生了 7.0 级地震。

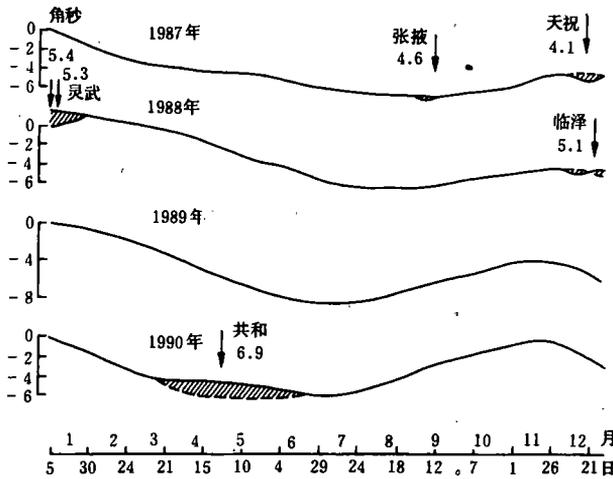


图 3 高台台 JB 倾斜仪东西分量  
五日均值曲线图

Fig. 3 Five day average value curve of EW component observed by JB tiltmeter in Gaotai station

高台台南北分量年变形态一般为 1—3 月往南倾斜,幅度约 4—6", 4、5 月份转平, 6—11 月下旬转向北倾斜,幅度约 6—8", 11 月下旬至 12 月底向南倾斜,如图 4 所示。1987 年 12 月该分量观测资料打破 3 年变规律,改向北倾斜,对应了天祝 4.1 级地震及 1988 年 1 月灵武 5.3 及 5.4 级地震。1988 年年底又大幅度向北倾斜,显示了明显的异常,可能与肃南 5.7 及临泽 5.1 级地震有关。

图 5 给出了高台台 1986 年 1 月至 1991 年 9 月月均值矢量图。从图中可以明显看出高台台的矢量年变规律是年初向西南方向倾斜,后转向西北,再转向东北倾斜。1986 年上半年该台倾斜矢量往西南方向倾斜幅度异常的小,

且大幅度往北倾,此异常可能是同年 8 月 26 日门源 6.4 级地震的反映。

图 6 给出了 1986 年 1 月至 1991 年 9 月高台台 JB 仪东西分量—阶差分曲线图。从图 6a 上可以看出,1986 年年中曲线出现突变异常,超过二倍均方差,对应了同年 8 月 26 日门源 6.4 级地震。1987 年及 1988 年年底分别出现超过二倍均方差的异常,可能与灵武 5.3 级及 5.4 级地震和肃南 5.7 级地震、临泽 5.1 级地震有关。

### 2. 兰州台

兰州台水管倾斜仪置于深山洞中,受热形变影响小,其测值年变幅度小。其东西分量年变形态特征是,1—4 月往东倾斜,幅度一般是 0.02—0.06";然后转向西倾斜,此段时间约 5—9 月,幅度较小,近于平缓;10—12 月转向东倾斜。幅度约 0.02",如图 7 所示。南北分量年变规律不明显。1987—1988 年观测资料显示方向向南,倾斜幅度逐年减小,1989 年 11 月出现向北倾斜的异常变化,这可能是景泰 6.2 级地震的影响。如图 8 所示。

兰州台水管倾斜仪记录的矢量图显示,1987 年、1988 年变化较为规则,倾斜方向大体上是年初为东南方向,之后转向西南倾斜,如图 9 所示。从 1989 年开始有异常显示,1990 年异常十分明显,改变了往东南倾斜的正常年变而转为向西北倾斜,显然是景泰 6.2 级地

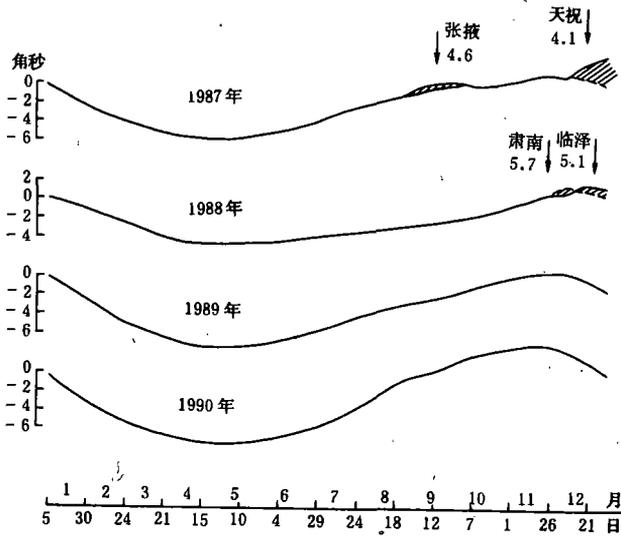


图 4 高台台 JB 倾斜仪南北分量五日均值曲线图

Fig. 4 Five day average value curve of NS component observed by JB tiltmeter in Gaotai station

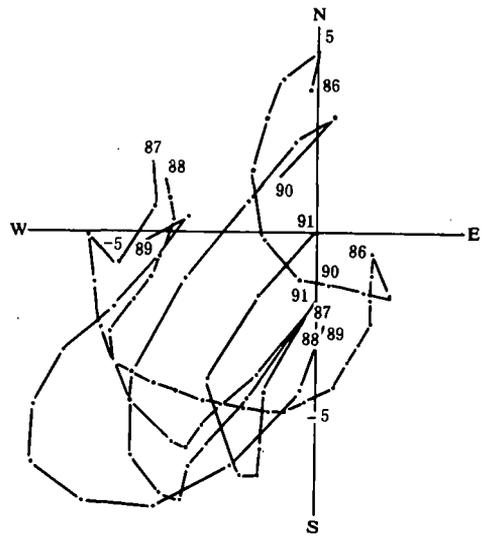
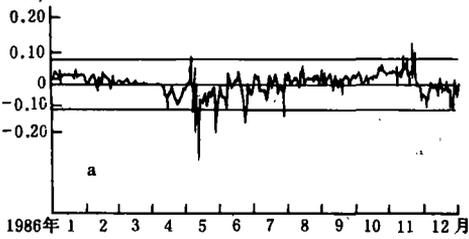
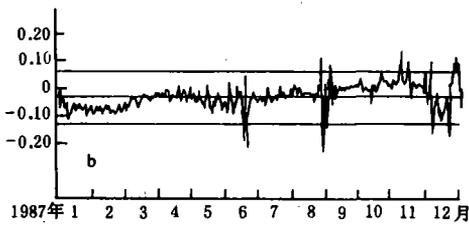


图 5 高台台地倾斜矢量月均值图

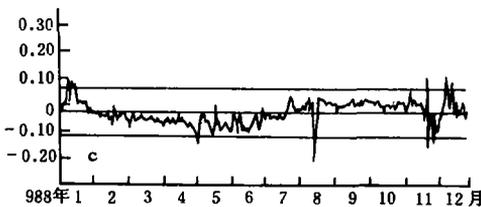
Fig. 5 Monthly average vectors of tilt in Gaotai station



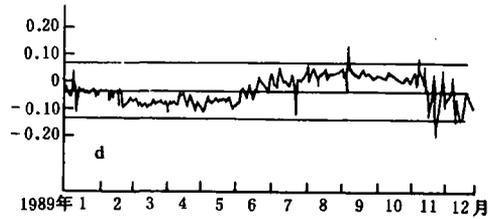
1986年 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12月



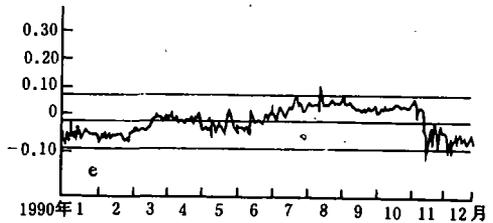
1987年 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12月



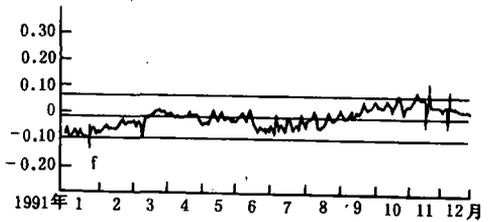
1988年 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12月



1989年 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12月



1990年 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12月



1991年 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12月

图 6 高台台 JB 仪东西分量一阶差分曲线图(1986 年 1 月—1991 年 9 月)

Fig. 6 First order difference curve of EW component observed by JB tiltmeter in Gaotai station

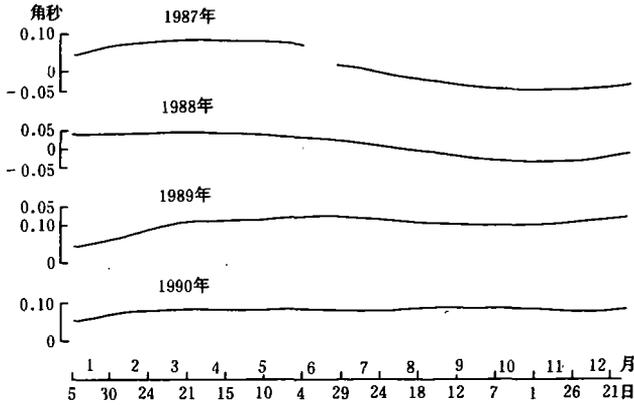


图7 兰州台FSQ倾斜仪东西分量五日均值曲线图  
 Fig. 7 Five-day average value of EW component observed by FSQ tiltmeter in Lanzhou station

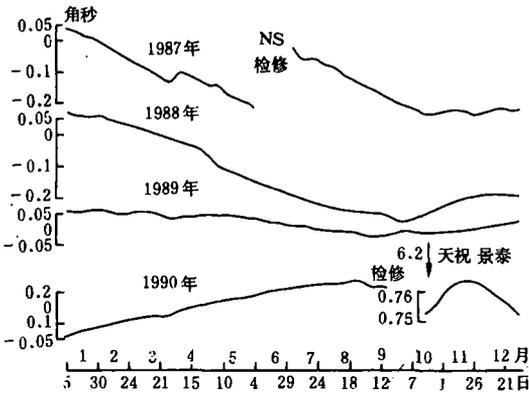


图8 兰州台FSQ倾斜仪南北分量五日均值曲线图  
 Fig. 8 Five-day average value of NS component observed by FSQ tiltmeter in Lanzhou station

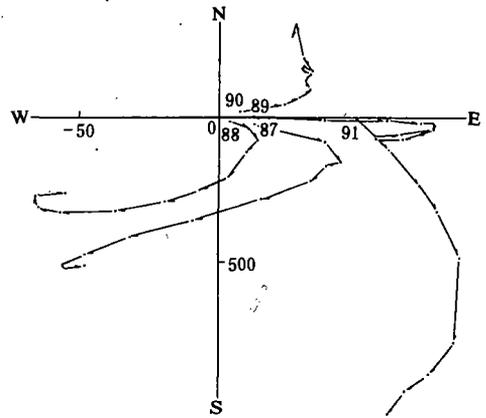


图9 兰州台FSQ倾斜仪月均值矢量图(1987年1月—1991年9月)  
 Fig. 9 Monthly average vectors of tilt in Lanzhou station

震的前兆。

根据上述分析,可以对甘肃定点形变异常指标概括如下:

(1)在掌握年变规律的基础上,参考以往震例,根据异常形态识别前兆现象。对于有长期观测资料的台站,可根据单分量或矢量曲线的正常背景判别倾斜的速率变化、不稳态段及反向变化,据此可作出中短期及临震预报。

一般地倾斜单分量的一阶差分曲线的异常,以超过二倍均方差为判别标准。

当某一地区潮汐因子系统偏离该地区的本底值时,可视作异常。

形变方向、形变速率及潮汐因子异常往往是配套的。因此判别异常时可通过多种方法综合考虑。

兰州台及宕昌台洞室深、覆盖层厚、观测精度高,其监测范围的半径可按文献〔3〕给出的经验公式  $\lg D_i = 0.303(M_i + 1.6)$  计算。对于5级地震监测范围半径为100km、6级地震为200km、7级地震为400km。

高台台的监测能力低于兰州台,该台对6级以上地震有一定的监测能力,如在门源6.4及共和6.9级地震前均有异常反映。

(本文1991年4月17日收到)

### 参考文献

- 〔1〕吴翼麟,地形变台站资料中干扰因素的频谱分析,地壳形变与地震 Vol. 2, No. 3, 1982.
- 〔2〕国家地震局科技监测司,地震监测与预报方法清理攻关成果汇编(重力、地倾斜、地应力分册),地震出版社, 1989.
- 〔3〕吴翼麟等,定点形变方法多指标判别地震异常的追踪分析,地壳形变与地震, Vol. 11, No. 1, 1991.

## EVALUATION OF OBSERVATION PRECISION AND MONITORING ABILITY OF FIXED DEFORMATION STATIONS IN GANSU PROVINCE

Liu Guangyuan, Liu Xu, Wang Zengjia, Li Shaoye

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

### Abstract

This paper systematically analyses the state, site condition and other situation of fixed deformation station network in Gansu Province. The observation precision is evaluated by some quantitative indices, and the difference causes and improving measures are presented. The data observed at Gao-tai and Lanzhou stations are analysed. And anomalous indices in the data and monitoring ability to mid-strong earthquake of the two stations are also discussed.