

新疆竖直摆倾斜仪的观测精度与震兆异常

杨又陵¹, 裴宏达¹, 徐道尊¹, 杜新民²

(1. 新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 新疆维吾尔自治区阿勒泰地区地震局, 新疆 阿勒泰 836500)

摘要: 对竖直摆倾斜仪在新疆近10年的运行情况做系统分析后认为, 该类仪器观测精度较高且功耗小, 管理方便. 其中井下仪器稳定性好, 受干扰小, 性能明显优于峒体仪器. 地震前显示了一定的中短期前兆异常.

关键词: 竖直摆倾斜仪; 新疆; 观测精度; 震兆异常

中图分类号: P315.72⁺⁵ **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)04-0340-06

0 前言

岩石破裂试验和大量震例研究表明, 地震孕育引起的地形变量级一般较小, 且随震中距增大快速衰减. 只有使用高精度、高稳定性的观测仪器, 才能检测到来自地球深部的, 连续缓变的地震地形变信息. 我国的地倾斜观测经历了从金属倾斜仪、石英倾斜仪到水管倾斜仪的阶段, 观测精度和稳定性逐步提高. 但随着经济发展和城市化进程, 环境的干扰日益增强, 严重影响了资料的质量. 为此不少专家提出“深井观测是理想的方法之一”^①, 它能有效的避开地表干扰和温度影响.

河南省地震局研制的 CZB-1 型竖直摆倾斜仪是高精度地倾斜观测仪器, 它利用铅垂摆的原理测定地面的倾斜变化, 直接记录能分辨 10^{-10} m 量级的水平位移^[1]. 仪器采用数字和模拟两种记录方式, 能记录到清晰的固体潮日变, 分析精度与石英倾斜仪相当, 可以用于固体潮水平分量的观测.

1992~2000年新疆境内陆续安装了8台 CZB-1 型竖直摆倾斜仪, 包括井下和峒体式2种类型, 最长的记录已达10年. 对资料的系统分析表明, 该类仪器的稳定性好, 记录的连续率高, 尤其是安装在井下的仪器. 在1996~1998年的新疆境内的多次强震前, 竖直摆倾斜仪观测到一定的异常变化, 对增强新疆的地震监测能力发挥了积极的作用.

1 台站概况

图1为新疆竖直摆倾斜仪分布图. 其中5台为井下倾斜仪, 目前均在井水中观测; 3台为洞体式倾斜仪. 各观测点的基本情况列于表1.

收稿日期: 2001-11-05

作者简介: 杨又陵(1951-), 女(汉族), 江西人, 高级工程师, 主要从事地震前兆资料分析研究.

① 何世海. 地震分析预报技术骨干培训教材(下册). 185.

2 精度评定

地倾斜记录主要由潮汐与非潮汐两部分信息构成. 潮汐信息来自观测点周围的介质和仪器的检测系统对天体潮汐引力的响应; 非潮汐信息主要来自仪器的零漂、观测点周围构造的长期运动、大气干扰以及地震前后局部地形变形的综合效应. 以下利用潮汐分析和契比雪夫多项式拟合残差对资料进行精度评定.

2.1 固体潮调和分析

Venedicov 调和分析的结果列于表 2, 包括 O_1 波和 M_2 波的振幅因子 γ 值和相位滞后 ψ 值. 个别台资料避开了干扰严重的时段, 除缺记外未作其它处理. 由表 2 可见:

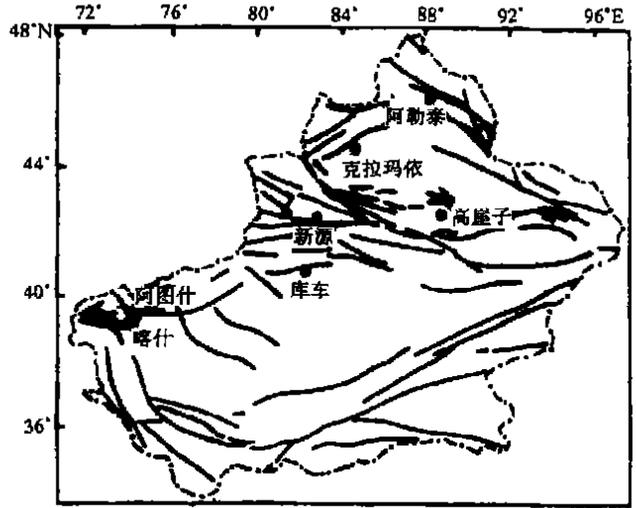


图 1 新疆竖直摆倾斜仪观测点分布图
Fig. 1 Distribution of the vertical pendulum tiltmeters in Xinjiang area.

表 1 新疆竖直摆倾斜仪观测点基本情况表

观测点	位置		台基岩性	观测环境	覆盖 /m	开始观测时间	年变趋势	主要干扰
	纬度	经度						
新疆	43.41°	83.26°	破碎带、角砾岩	深井	66	1992	ES	
阿勒泰	47.86°	88.14°	砂质变质岩	山洞	20	1993	NE	潮湿
阿图什	39.72°	76.16°	砾石层	地下人防工事	20	1994	WS	供电、环境
库车	42.15°	83.10°	第三纪砂岩	深井	40	1995	ES	供电
乌鲁木齐七纺	43.83°	87.65°	砂岩	山洞	15	1995	WS→ES	环境
高崖子	43.52°	88.58°	二迭纪凝灰质砂砾岩	深井	40	1995	NW	农田灌水
喀什	39.52°	75.92°	砂砾松散沉积	深井	96	1998-10	ES	
克拉玛依	45.64°	84.85°	三迭纪砂岩	深井	80	2000-08		试记

表 2 固体潮调和分析结果

台站	时段	EW 分量				NS 分量			
		γ_{O_1} err	ψ_{O_1} /°	γ_{M_2} err	ψ_{M_2} /°	γ_{O_1} err	ψ_{O_1} /°	γ_{M_2} err	ψ_{M_2} /°
新疆	1997-04~12	0.771 7 0.026 5	-22.9	0.831 0 0.004 0	-23.5	2.683 0 0.303 1	75.4	0.597 6 0.007 6	-23.0
	1998-01~12	0.793 9 0.026 7	-25.5	0.840 3 0.003 7	-22.6	3.455 6 0.273 9	82.6	0.656 9 0.007 4	-22.0
高崖子	1997-01~4	0.802 0 0.064 1	8.2	0.639 7 0.009 9	-8.0	2.072 2 0.333 0	-34.2	0.378 9 0.006 8	11.6
	1998-01~4	0.771 9 0.050 7	-2.6	0.629 7 0.009 5	-7.7	1.454 1 0.535 0	-27.7	0.360 9 0.010 6	6.0
阿勒泰	1999-02	-40.746 9 0.038 0	19.2	0.686 4 0.006 9	7.7	2.448 4 0.366 7	-5.8	0.588 5 0.009 6	-11.4
喀什	1999-01~2	0.589 1 0.040 0	-5.7	0.565 1 0.004 4	1.7	0.508 2 0.133 0	-62.4	1.015 1 0.007 0	12.6

(1) EW 向的结果明显优于 NS 向; M_2 波的结果优于 O_1 波的结果; γ_{o_1} 的中误差在百分位, γ_{M_2} 的中误差在千分位; 半日波的观测精度明显高于日波一个数量级; NS 向 γ_{o_1} 普遍大于理论值, 可能反映了中纬度地区 NS 方向日波振幅太小易受干扰的事实。

除新源外其它各台的资料长度取 2~4 个月, 分析精度与长序列的结果相当. 尤其是喀什台仪器仅安装 2 个月, 分析精度与已新源台接近, 说明使用该类仪器进行固体潮观测是可行的。

(2) 文献[2]中指出: 大多数倾斜观测站建在中纬度地带, 摆杆定向不准和摆杆漂移引起的方位误差会导致大的相位差. 由表 2 可以看到, 各台的相位滞后 ψ 值基本稳定, 但 NS 向的 ψ_{o_1} 普遍大于 EW 向的 ψ_{o_1} 值. 高崖子、阿勒泰、喀什 3 个台两分量的 ψ 值相对较接近 0 值, 说明这几台仪器定位较准确。

(3) 新源台仪器在安装时未作定向, 分析的 ψ_{o_2} 介于 $-22.0^\circ \sim -23.5^\circ$ 之间. 比较观测曲线与理论曲线发现存在 1 小时左右的位相差, 推测可能存在 20° 左右的偏差. 表 3 为改变方位角的计算结果. 当 NS 向取 22° 和 23° , 相应的 EW 向取 112° 和 113° 时, γ 值和 ψ 值与处于最稳定的状态. NS 向的 γ_{o_1} 值随 α 值的增大快速减小, 当方位角取 22° 和 23° 时稳定到 $0.6 \sim 0.7$, 与理论值基本吻合; 当 $\alpha \geq 25^\circ$ 时结果又变化较大. 这表明仪器可能存在 22.5° 左右的方位差, 同时也说明 NS 方向日波振幅对方位角的改变很敏感。

表 3 新源台改变方位角的计算结果

α γ	EW 分量				α γ	NS 分量			
	γ_{o_1} er	ψ_{o_1} f	γ_{M_2} err	ψ_{M_2} f		γ_{o_1} er	ψ_{o_1} f	γ_{M_2} err	ψ_{M_2} f
90	0.751 4 0.018 9	-24.4	0.838 7 0.002 6	-23.0	0	3.068 7 0.208 2	79.7	0.629 2 0.005 7	-22.2
95	0.757 7 0.019 1	-24.8	0.840 3 0.002 6	-19.6	5	2.150 7 0.142 0	35.9	0.627 9 0.005 6	-14.9
100	0.766 7 0.019 3	-25.3	0.845 4 0.002 6	-16.2	10	1.393 7 0.091 6	18.5	0.619 4 0.005 5	-7.8
105	0.780 2 0.019 8	-26.0	0.854 3 0.002 6	-12.6	15	0.982 0 0.064 7	9.9	0.610 3 0.005 2	-1.0
110	0.802 1 0.020 3	-26.5	0.866 2 0.002 6	-9.1	20	0.780 6 0.051 1	-5.4	0.593 6 0.005 2	5.6
112	0.813 0 0.020 6	-26.4	0.872 0 0.002 6	-7.6	22	0.717 7 0.046 9	4.1	0.586 8 0.005 1	8.1
113	0.818 9 0.020 7	-26.8	0.875 1 0.002 6	-7.9	23	0.690 1 0.045 1	3.5	0.583 2 0.005 1	9.4
115	0.840 4 0.022 0	-27.2	0.881 5 0.002 7	-5.4	25	0.644 4 0.042 0	3.1	0.575 3 0.005 1	11.8
120	0.873 9 0.023 3	-27.8	0.900 4 0.002 7	-1.7	30	0.548 7 0.035 8	1.5	0.555 6 0.005 0	17.8

(4) 新源台 EW 向的 γ 因子偏大, 采用不同 α 角和不同时段计算的结果均在 $0.77 \sim 0.84$ 之间; 高崖子台 NS 向的 γ_{M_2} 太小, 为 0.37 左右, 分析认为可能与仪器格值常数有关。

2.2 契比雪夫多项式拟合检验

表 4 列出新源台契比雪夫多项式拟合残差, 可以看到历年的值均小于 $0.02''$, 且逐年趋小, 达到了中国地震局地形变观测一类台的标准。

3 震例分析

3.1 新源台

新源台是新疆安装的第一台竖直摆倾斜仪, 深井位于断层的破碎带. 该台观测值无年变, NS 向趋势性下降, EW 向趋势性上升. 在周围发生的多次 $M_s \geq 4.0$ 地震前有一定的异常显示, 主要表现为速率变化. 表 5 列出了 $\Delta \leq 250$ km 范围内地震前的速率异常现象.

表 5 新源台竖直摆倾斜仪震前速率异常情况统计表

序号	时间	震级 / M_s	震中距 / km	异常描述	异常持续时间	异常量级	备注
1	1995-05-02	5.8	125	中短期 1994-11 ~ 1995-03 速率减慢; 短临: 震前 10 天速率突增.	中短期: 5 个月 短临: 10 天	0.62'' (3×10^{-6} rad)	图 2 恢复中发震
2	1995-10-03 1995-10-25 1995-11-01	4.2 4.0 5.0	125 60 250	中短期 5.8 级地震后异常未完全恢复且持续发展; 短临: 9 月份以后速率逐步恢复, 4.2 级地震后恢复到 4 月份以前的水平.	中短期: 5 个月 短临: 35 天	0.25'' (1.2×10^{-6} rad)	图 2
3	1996-01-09	5.2	190				不明显
4	1997-06-04	5.0	75	短临: 1997 年 4 月 5 日 ~ 5 月 10 日 NS 向速率处于停滞, 5 月 11 日后恢复.	50 天	0.20'' (1×10^{-6} rad)	恢复后发震
5	1997-12-20	4.1	80	1997-10-14 ~ 11-20 NS 向速率减小.	36 天	0.1'' (5×10^{-7} rad)	恢复后发震
6	1998-06-07	小震群	50	1998-06-08 ~ 20 NS 向速率减小.	13 天		震群结束恢复

1997 ~ 1998 年伽师强震群活动期间 ($\Delta = 650$ km), 强震前 1 ~ 2 天记录曲线曾出现突然加速、畸变等现象. 最明显为 1998 年 8 月 27 日 6.6 级地震, 8 月 18 ~ 20 日 NS 向突然加速, 3 天变化了 0.1'' (0.5×10^{-7} rad); EW 向出现反向变化, 速率由 0.0150''/d 变为 -0.020''/d, 震后逐步恢复正常.

3.2 阿勒泰台

1996 年 3 月 11 日阿勒泰北 70 km 的友谊峰发生了 M_s 6.1 地震^[3]. 阿勒泰台地倾斜从 1995 年 11 月上旬开始 NS 向南倾速率突然增大; 12 月底出现反向加速变化, 异常幅度达 0.14''; 1996 年 2 月下旬平稳. EW 向 1995 年 12 月和 1996 年 2 月中旬速率变化较大, 差分多处超过 2.5 倍均方差(图 3). 短临异常表现为 1996 年 2 月后, 模拟记录曲线多处畸变并伴有高频扰

表 4 新源台契比雪夫多项式拟合残差('')

时段/年	NS 向	EW 向	均值
1993	0.018	0.011	0.014
1995	0.008	0.020	0.014
1998	0.007	0.011	0.009
1999	0.004	0.005	0.005
2000	0.004	0.005	0.005

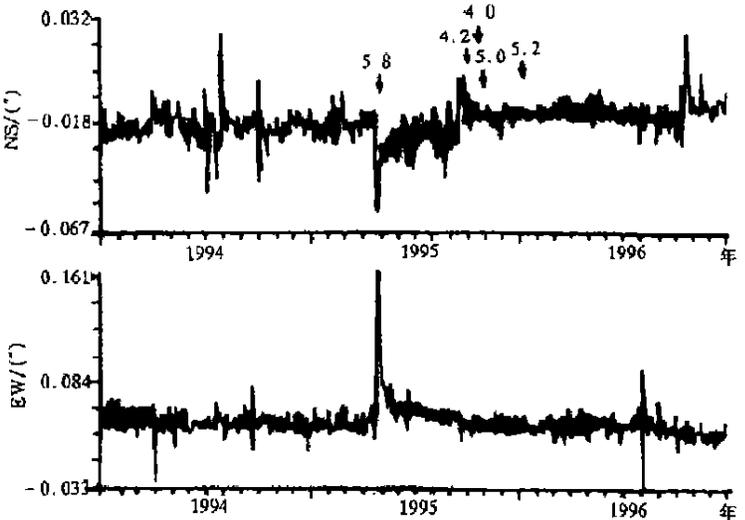


图 2 新源台倾斜仪速率图

Fig. 2 Rate of speed of ground tilt observed with tiltmeter at Xinyuan station.

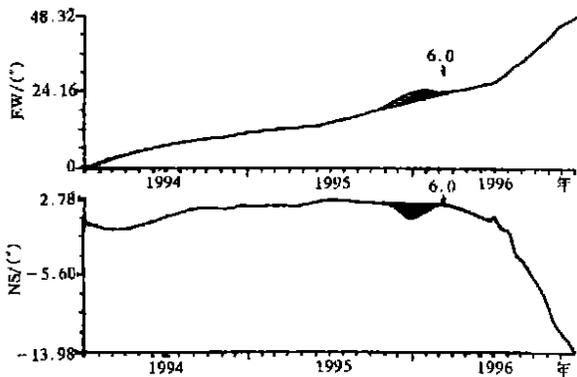


图3 阿勒泰台地倾斜单分量时序曲线
 Fig.3 Curve of time series of single component from tiltmeter at Altai station.

了51天. 临震异常为: 震前5天矢量方向由SW突转NW; NS向的整点值在3月16日和3月17日连续2次小幅度突跳; 震前出现了 $0.37''$ (1.8×10^{-6} rad)的大幅度突跳. 遗憾的是1996年11月~1998年仪器控制机箱的电路出现故障, 影响了正常的观测与研究.

3.4 高崖子台

该台位于地下水位较低的地区, 未作防水处理. 平时井中无水, 每年5~10月周围农田灌水时水位急升, 对观测值产生严重的干扰, 资料无法使用. 但11月至次年4月零漂平稳, 固体潮日变清晰, 长趋势倾向NW.

1997年4月27日距该台20 km处发生了 M_s 3.7地震, 当地震感明显. 8天EW向速率减慢并停滞; NS向速率由 $0.006''/d$ 变为 $-0.0185''/d$.

动, 与1991年2月25日新疆柯坪6.5级地震前乌什台地倾斜记录曲线所出现的异常相同. 本次地震后观测值出现大幅度漂移, 而近场活动趋于平静, 可能属6.1级的震后效应.

3.3 阿图什台

该台在大地构造上位于南天山地震带与西昆仑地震带的交汇部位, 周围地区强震频繁. 在1996年3月19日阿图什 M_s 6.7地震前($\Delta = 110$ km)观测到明显的短临前兆异常^[4]. NS向从1996年1月11日由缓慢下降突然转为上升, 6天变化了 $0.92''$ (4.5×10^{-6} rad); 之后转为加速下降; 震前5天(3月14日)又突然上升(图4). 短期异常持续

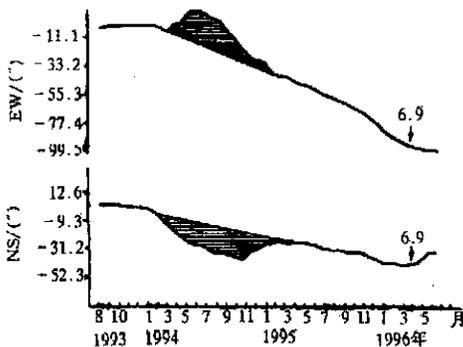


图4 阿图什台倾斜仪时序曲线
 Fig.4 Curve of time series from tiltmeter at Antushi station.

4

(1)

$0.002 \sim 0.004''/mV$.

$10''$

2次零点,

(2)

: γ_{M_2} 值的中误差小于百分之一,

γ

γ

