

DOI: 10.13512/j.hndz.2014.01.018

马陵山地震台水管倾斜仪观测质量评价

赵小贺¹, 刘莉², 李琦¹, 袁斌³, 公续升¹

(1. 马陵山地震台, 山东 郯城 276114; 2. 临沂市地震局, 山东 临沂 276000; 3. 相公庄地震台, 山东 临沂 276025)

摘要: 对马陵山台水管倾斜仪 2007~2011 年观测资料进行了质量评价, 结果表明: ① 观测资料连续, 仪器工作稳定, 年零漂和年变幅小, 符合形变观测规范要求。② 各主波潮汐参数稳定, 观测精度 $m\gamma$ 2007~2010 年连续 4 年均在 0.004 5 左右, 远小于 0.02, 噪声水平 $M_1 < 0.02''$, 达到并超过了中国地震局形变优秀台站的标准。

关键词: 水管倾斜仪; 观测质量; 潮汐参数; 精度

中图分类号: P315.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8662 (2014) 01-0113-04

Assessment on the Observation Quality with Water Tube Meter in Malingshan Seismic Station

ZHAO Xiaohe¹, LIU Li², LI Qi¹, YUAN Bin³, GONG Xusheng¹

(1. *Malingshan Seismic Station, Earthquake Administration of Shandong Province, Tancheng 276114, China;*
2. *Earthquake Administration of Linyi city, Linyi 276000, China;* 3. *Xianggongzhuang Seismic Station,*
Earthquake Administration of Shandong Province, Linyi 276025, China)

Abstract: Observational data during 2007–2011 with water tube meter at Malingshan seismic station is assessed in quality. The results show that: observational data are continuous; the conditions of instrument are stable; annual zero drift and change amplitude are small; they can meet the specification for deformation observation; primary wave tidal parameters is stable, observation accuracy ($m\gamma$) is about 0.004 5 from 2007 to 2010, which is less than 0.02; noise level (M_1) is less than 0.02 angle seconds, which met or surpassed the standard of outstanding deformation stations of China Earthquake Administration.

Keywords: Water Tube meter; Quality of observation; Tidal parameters; Accuracy

收稿日期: 2013-03-08

作者简介: 赵小贺, 男, 1976 年生, 工程师, 主要从事地震前兆观测工作。

E-mail: 1322538376@qq.com.

0 引言

地壳形变观测包括 GPS、大面积水准、断层形变和地倾斜等观测,它旨在测定地壳表面点位之间相对位置的变化,以及反映地壳岩石物性变化的潮汐因子(γ, δ, α)、相位滞后等,以获取地壳形变的信息。除应用于地震预测预报研究外,还可为地球物理学、地球动力学、天文学等相关学科提供服务^[1]。观测数据质量的好坏直接制约着地震预报水平,影响观测数据质量的因素除台址条件、观测环境、仪器设备等基本原因,以及气象、仪器故障等影响因素外,还与数据处理水平、仪器维护管理等有关。许多人员都对仪器资料的质量情况进行过认真的分析,取得了许多研究成果^[2,3]。本文对马陵山台 DSQ 型水管倾斜仪 2007~2011 年仪器运行情况进行分析,从连续率、漂移量、潮汐参数等方面对观测资料进行评价,为今后的资料使用和异常判定提供科学参考依据。

1 台站及水管倾斜仪的基本情况

郯城马陵山地震台(以下简称马陵山台)地处沂沭断裂带南段,跨安丘-莒县断裂,北距 1668 年郯城-莒县 8.5 级地震震中约 18 km。台基为破碎白垩系红色砂岩,岩层倾向东南,倾角 $60^\circ \sim 70^\circ$ 。台站坐落在马陵山主峰西坡,远离居民点,周围是荒山、农田,无大型工矿企业,周围无干扰,观测环境优越。台站用战备山洞作为观测山洞,山洞进深 1 700 m,整体为钢筋混凝土结构,洞顶覆盖约 70 m,洞内年平均温度为 16.5°C 左右,年温差小于 0.03°C ,相对湿度保持在 80% 左右。DSQ 型水管倾斜仪放置在战备山洞内,1998 年将模拟仪器 FSQ 型水管倾斜仪改造为 DSQ 型数字水管倾斜仪,2011 年 4 月又升级为“十五”方式记录,仪器进深 500 m,顶部覆盖层 60 m,设两个方向,NS 向基线长 29.22 m,EW 向长 18.20 m,仪器自 1998 年改造以来,运行基本正常,为地震监测与预报提供了丰富的前兆信息。

2 观测资料质量评价

根据“地倾斜观测资料质量年度评比评分细则”中技术指标要求,地倾斜观测资料的精度指标主要有两项内容:M2 波潮汐因子均方差 $m\gamma$ 和相对噪声水平 M_1 。本文对马陵山台 2007~2011 年水

管倾斜仪观测数据进行全面分析整理,计算出资料的连续率、年零漂、年变幅、噪声水平和半日波 M2 波潮汐因子 γ 、潮汐因子均方差 err 、潮汐相位滞后 $\Delta\varphi$ 等潮汐参数,参照地壳形变学科组拟定的有关技术指标,对计算出的结果进行评价。

2.1 连续性

地倾斜观测的一大特点就是连续观测,它弥补了常规大地测量干扰因素多、资料不连续的不足,尤其是对一些有特殊价值的短临震兆信息的提取,全靠连续记录来实现,因此资料的连续率的高低是评价观测资料质量的指标之一。

资料的缺记率 N 用下列公式计算:

$$N = \frac{n}{24 \times 365} \quad (1)$$

式中 n 为缺记时数,资料连续率 $= 1 - N$ 。通过计算,马陵山台水管倾斜仪各年的连续率 2007 年最低,2008~2009 接近 100%,2010~2011 年稍低(见表 1)。

2.2 年零漂、年变幅

表 1 2007~2011 年水管倾斜仪连续率(%)

Table 1 The continuous rate of the water tube tiltmeters during 2007 to 2011(%)

方向	年 份				
	2007	2008	2009	2010	2011
EW	87.12	99.95	99.97	96.79	98.02
NS	87.12	100	100	100	99.83

年零漂是用来衡量观测仪器及墩基稳定程度或地壳继承性新构造运动的指标^[1]。仪器零漂主要受仪器本身的漂移、地球内部密度变化和外界干扰(包括温度、气压、电压等变化)等方面的影响,其计算方法有日均值法和潮汐法。日均值法就是将该年度 12 月 31 日的日均值减去当年 1 月 1 日的日均值,即为该年度年零漂值(有正、负之分),单位为("),取至 $1 \times 10^{-3''}$;潮汐值法是用 12 月 31 日 23 点整点值减去同年 1 月 1 日零点值。本文采用日均值法计算水管倾斜仪的漂移量,计算结果见表 2。从表 2 来看,马陵山台水管倾斜仪各年的漂移量均小于规范要求的漂移量小于 $0.005''/\text{d}$ 的指标,但 2007 年漂移量和 2011 年 NS 向漂移量较往年偏大,分析发现 2007 年 8 月 8 日数据采集器光隔副测被雷击坏、10 日数据采集器主板被雷击坏,重新安装后导致仪器漂移量加大。2011 年 NS

向仪器漂移量大主要是因为 12 月 21 日 03 时 49 分不明原因造成数据出现很大变化, 由原来的 $-96.14\times10^{-3}''$ 变为 $591.80\times10^{-3}''$ 造成。

年变幅是用来检视洞室地形条件下, 热弹形变大小的倾斜变化值, 其计算方法为在每分量全年 8760 整点值(查固体潮月报表)中, 找出本年度

正、负最大值, 后将两者绝对值相加, 即为年变幅值。从表 2 的计算结果来看, 2011 年的年变幅较大, 主要是由于 4 月仪器升级后数据不稳定造成, 另外, NS 向 12 月 21 日 03 时 49 分不明原因造成的数据变化也导致年变幅增大。

2.3 潮汐分析

表 2 2007~2011 年水管倾斜仪年零漂和年变幅($\times10^{-3}''$)

Table 2 Annual zero drift and annual amplitude variation of the water tube tiltmeters during 2007 to 2011($\times10^{-3}''$)

年 份	连续率/%	年漂移		年变幅	
		EW	NS	EW	NS
2007	87.12	-386.5	49.8	493.0	313.8
2008	99.98	-194.1	-53.7	371.6	342.5
2009	99.98	-155.9	-79.4	258.0	220.4
2010	98.40	-212.8	117.8	255.0	200.5
2010	98.92	-142.9	573.7	747.7	703.9

2.3.1 调和分析

M2 波潮汐因子均方差 $m\gamma$ 是衡量地倾斜观测资料精度的一项重要指标。对马陵山台水管倾斜仪 2007~2011 年观测资料整点值重做处理, 并参照观测日志进行逐年分析, 通过计算, 精确得出各年的整点值数据, 应用 Venedikow 调和分析方法

对倾斜潮汐观测资料整点值进行调和分析, 计算出各分量的主波日波 O1 波和半日波 M2 波潮汐因子 γ 、潮汐因子均方差 err 、潮汐相位滞后 $\Delta\varphi$ 等潮汐参数(见表 3)。

从表 3 可看出, 2007~2010 年, 各年潮汐参数比较稳定。O1 波潮汐因子 EW 向在 0.90~0.93 之

表 3 2007~2011 年水管倾斜仪月潮汐参数平均值^①

Table 3 The average value of monthly tidal parameters of the water tube tiltmeters during 2007 to 2011

年份	EW 向				NS 向				$m\gamma$
	γ_{O1} err	A_{O1} err	γ_{M2} err	$\Delta\varphi_{M2}$	γ_{O1} err	A_{O1} err	γ_{M2} err	$\Delta\varphi_{M2}$	
2007	0.9275	4.00	0.7624	36.57	0.8367	2.32	0.9749	51.04	0.0044
	0.0337	9.52	0.0045		0.0253	7.17	0.0049		
2008	0.9143	3.88	0.7685	36.71	0.8363	2.28	0.9462	51.55	0.0046
	0.0330	9.66	0.0058		0.0289	7.01	0.0051		
2009	0.9143	3.76	0.7641	37.07	0.8454	2.22	0.9669	52.03	0.0044
	0.0330	9.70	0.0051		0.0222	7.24	0.0037		
2010	0.9038	3.53	0.7663	37.14	0.8311	2.07	0.9647	52.17	0.0045
	0.0484	9.42	0.0050		0.0329	7.31	0.0054		
2011	1.0505	3.85	0.8893	36.87	0.8206	1.95	0.9347	51.67	0.0057
	0.0567	11.36	0.0061		0.0396	6.88	0.0069		

注: $m\gamma$ 为潮汐因子均方差, 为 EW 分量 γ 因子均方差较小的 8 个月与 NS 分量 γ 因子均方差较小的 6 个月加权平均值。

间, NS 向在 0.83~0.85 之间; M2 波潮汐因子 EW 向在 0.76~0.77 之间, 十分稳定, NS 向在 0.94~

0.98 之间。O1 波振幅 EW 向在 3.5~4.0、NS 向在 2.0~2.4 之间, M2 波振幅 EW 向在 9.4~9.7, NS 向

① 中国地震局地壳变形学科技术协调组. 形变学科通讯, 2012

在 7.0~7.4 之间, 均比较稳定^[4]。2011 年的潮汐参数变化较大, 主要是因为 2011 年 4 月升级为“十五”仪器 DSQ 型水管倾斜仪, 安装后仪器不稳定造成。M2 波相位滞后 EW 向在 36°~37°, NS 向在 51°~52°之间, 变化稳定但偏差太大, 可能主要与仪器的定向有关, 具体原因有待进一步分析。

M2 波潮汐因子均方差 $m\gamma$ 都小于 0.02, 达到中国地震局优秀台站标准, 2011 年精度稍低, 主要是因为 2011 年仪器升级, 工作时间较短, 仪器不够稳定。与全国优秀台站相比, 还有很大差距, 根据 2011 年《形变学科通讯》公布的均方差计算结果, 十堰、麻城精度高达 0.0017。另外, 马陵山台地处郧庐大断裂, 台基破碎, 地下岩石为红砂岩, 降雨很快渗透到地下, 也影响仪器观测精度。

2.3.2 噪声水平 M_1

噪声水平 M_1 是用来判断观测资料长期稳定性的一项定量指标。 M_1 是用契比雪夫多项式与一个年度观测资料的五日均值作 30 阶拟合而得。

公式为:

$$F(X) = \frac{1}{2} C_0 + \sum_{n=1}^m C_n T_n(X) \quad (1)$$

式(1)中:

$$T_n(X) = \cos(n \arccos X), (n=0, 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式(2)称为契比雪夫多项式^[3]。马陵山台水管倾斜仪长周期拟合相对噪声水平计算结果见表 4。

表 4 2007~2011 年水管倾斜仪噪声水平 M_1 (单位: ")
Table 4 Noise level M_1 of the water tube tiltmeters during 2007 to 2011(units: ")

年份	NS	EW	M1
2007	0.003 1	0.001 7	0.002 4
2008	0.003 6	0.003 6	0.003 6
2009	0.001 8	0.002 4	0.002 1
2010	0.003 2	0.005 7	0.004 4
2011	0.004 6	0.015 0	0.009 6

由表 4 可见, 马陵山台 2007~2011 年的相对噪声水平 M_1 在 0.001"~0.006"之间, 均小于优秀台站要求的噪声水平要小于 0.02"的指标。2011 年相对噪声水平较大, 主要是由于 2011 年仪器升级后工作还没稳定造成。

3 结论

(1) 通过对马陵山台水管倾斜仪 2007~2011

年的资料计算分析得出: 除 2007 年因数据采集器光隔副测及主板被雷击坏, 导致连续率较低外, 其漂移量、连续率、年变幅等质量指标均符合形变观测规范要求。

(2) 仪器工作基本稳定, 各年潮汐参数比较稳定。M2 波潮汐因子 EW 向在 0.76~0.77 之间, 十分稳定, NS 向在 0.94~0.98 之间。2011 年的潮汐参数变化较大, 主要是因为 2011 年 4 月升级为“十五”仪器 DSQ 型水管倾斜仪, 安装后仪器不稳定造成。M2 波的相位滞后, 变化稳定但偏差太大, 可能主要与仪器的定向有关, 具体原因有待进一步分析。

(3) 表征固体潮内在质量的 M2 波潮汐因子均方差 $m\gamma$ 在 2007~2010 年连续 4 年均 0.004 5 左右, 远远小于 0.02, 噪声水平 $M_1 < 0.02$ ", 达到并超过了中国地震局形变优秀台站的标准。

参考文献:

- [1] 中国地震局监测预报司. 地形变测量[M]. 北京: 地震出版社, 2008.
- [2] 冯建琴, 沈晓松, 董甲弟, 等. 山西数字化水管倾斜仪观测资料质量分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2011, 32 (3): 102-103.
- [3] 卢双苓, 于庆民, 郝军丽, 等. 形变仪器影响观测质量因素[J]. 地震地磁观测与研究, 2012, 33 (5/6): 261-266.
- [4] 杨又陵, 唐九安. 乌什地震台倾斜固体潮观测与震兆异常[J]. 西北地震学报, 2009, 31 (3): 243-245.