

泰安台 YRY-2 钻孔应变仪线差应变潮汐参数及其稳定性研究

唐九安¹, 刘厚明², 豆跃华¹

(1. 中国地震局兰州地震研究所, 甘肃 兰州 730000;

2. 山东省地震局泰安地震台, 山东 泰安 271000)

摘要:介绍了泰安地震台 YRY-2 钻孔应变仪 1991~1996 年观测数据的调和分析结果. 分析了潮汐参数的动态特征及其稳定性, 并将有关结果与洞体水平线应变仪的(伸缩仪)观测结果进行了对比分析. 泰安地震台 YRY-2 钻孔应变仪 NS 分量 M_2 波月潮汐因子的离散中误差为 3.3 %, NE 分量为 3.6 %, 相位滞后的月离散误差小于 2° . 该指标与最好的洞室仪器 SSY-II 的结果相当.

关键词: 山东; 应变仪; 线差应变; 潮汐参数; 离散中误差

中图分类号: P315.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2001)02-0112-05

0 引言

固体潮汐形变观测是监测连续性地壳微形变变化的主要方法.“八五”期间及其以前的较长一段时间内, 中国在这个领域内的观测是以洞室类仪器为主体, 其中大部分台站是利用原有的山洞经改扩建而成的. 随着地震和地球动力学研究工作的深入发展, 现有的潮汐形变台站密度远不能满足需要. 洞室型台站虽然管理和维修方便, 但它的缺点一是开挖山洞的费用昂贵, 二是仪器受地形影响和地面干扰严重. 所以在发展洞室型仪器的同时, 中国学者也开展了井下仪器的研制和安装技术等方面的研究. 目前钻孔型台站在数量上已具备了相当的规模, 但在资料的使用方面, 与洞室类台站还有较大的差距. 多数台站只有零星的观测结果报导, 少数台站虽然具有较长时间的观测资料, 但很少有人对它们的潮汐响应函数及其长期稳定性进行系统、深入的研究, 从而使得人们对它们的整体现状不是很了解. 为此, 对过去积累的资料进行系统分析和科学总结是很有必要的.

80 年代中后期, 在华北等地区的 8 个台站安装了 10 套由池顺良研制的 YRY-2 型钻孔应变仪^[1], 探头安装深度 20~40 m 不等, 各台都记录到了清晰的固体潮^[2], 其中在泰安台不仅取得了长期连续观测数据, 且测量结果的内符合精度也较高. 但关于该台观测的潮汐响应函数的动态特征及其长期稳定性, 尚未有人作过深入的研究. 本文对该台 1991~1996 年的连续时值观测数据进行了系统分析.

收稿日期: 2000-07-25

基金项目: 地震科学联合基金资助项目(100125); 中国地震局兰州地震研究所论著编号: LC2001012.

作者简介: 唐九安(1942-), 男(汉族), 四川万源人, 研究员, 现从事地震监测工作.

1 数据计算与结果

泰安台位于 117.12°E, 36.25°N, 海拔高度 200 m. 该台 YRY-2 型钻孔应变仪输出 NS—EW 和 NE—SW 2 组差应变测量数据, 为了叙述方便, 以下将前者简称为 NS 分量, 后者简称为 NE 分量.

为了计算观测数据的潮汐响应函数, 需要计算地表钻孔差应变固体潮理论值. 根据钻孔应变潮汐理论, 在地表附近 2 个水平正交方向 ($\alpha_2 = \alpha_1 \pm 90^\circ$) 的钻孔差应变固体潮理论值 E_α 的计算公式为^[2]:

$$\begin{aligned} E_\alpha &= E_{\alpha_1} - E_{\alpha_2} \\ &= 4/(1 + \nu) \times [\cos(2\alpha) \times (E_{\varphi\varphi} - E_{\lambda\lambda}) - \sin(2\alpha) \times E_{\varphi\lambda}] \end{aligned} \tag{1}$$

式中: ν 取 0.25. 该式表明, 差应变潮汐理论值的计算方法与水平线应变理论值的计算方法相同, 其差别仅方位角系数和乘系数不同而已.

选用该仪器 1991~1996 年的完整观测资料, 2 个分量数据长度共计 144 个月, 其中绝大部分数据为磁盘数据, 共 122 个月, 占 84.7%; 少部分为报表数据, 共 22 个月, 占 15.3%. 数据序列中有零星的间断. 经统计 NS 分量缺数率为 0.21%, NE 分量为 0.22%. 所有数据均为电测量. 为了将电测量数据换算为以应变量为单位的数据, 将其全程 M_2 波潮汐因子归一化, 由此所得全程数据的换算比值对 NS 分量为 $1.94 \times 10^{-9}/\text{字}$, NE 分量为 $2.46 \times 10^{-9}/\text{字}$ (实际给出的 2 道平均格值对 NS 分量约为 $2.5 \times 10^{-9}/\text{字}$, NE 分量为 $6.0 \times 10^{-9}/\text{字}$). 用维氏方法对时值数据作调和分析计算, 所得月序列调和分析结果见图 1, 年序列调和分析结果见表 1, 全序列调和分析结果见表 2 和表 3.

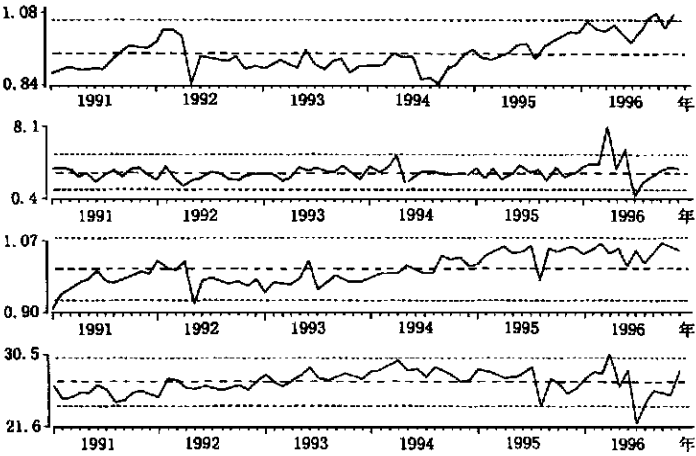


图 1 泰安台差应变 M_2 波月序列潮汐参数曲线

Fig. 1 Curves of tidal parameter of M_2 wave by the month of data by the YRY-2 meter of Taian station, Shandong province.

表 1 泰安台差应变 M_2 波年序列潮汐参数

时期	NS—EW			NE—SW		
	<i>N</i>	α	$\Delta\Phi/^\circ$	<i>N</i>	α	$\Delta\Phi/^\circ$
1991-01-01~1991-12-30	180	0.983 9±0.003 2	3.14±0.19	182	0.970 2±0.004 4	25.60±0.26
1991-12-31~1992-12-30	182	0.997 4±0.003 4	2.63±0.20	183	0.980 8±0.004 3	26.33±0.25
1992-12-31~1993-12-31	180	0.979 1±0.002 4	3.07±0.14	182	0.972 7±0.003 2	27.49±0.19
1994-01-01~1994-12-30	182	0.975 7±0.002 9	3.22±0.17	182	1.003 3±0.003 4	28.26±0.20
1994-12-31~1995-12-31	183	1.009 0±0.002 7	3.13±0.16	182	1.034 3±0.007 7	27.21±0.42
1996-01-01~1996-12-31	183	1.050 1±0.004 4	3.65±0.24	179	1.039 2±0.005 5	26.53±0.31
总和	1 090	—	—	1 091	—	—
平均	—	0.999 2±0.003 2	3.14±0.18	—	1.000 1±0.004 7	26.90±0.27
均方差	—	0.027 9±0.000 7	0.32±0.03	—	0.030 7±0.001 7	0.94±0.09

表 2 泰安台 1991~1996 年差应变 NS- EW 分量全序列潮汐参数

波群	潮汐因子	相位滞后	主波振幅
O ₁ -063-088, 26	0. 343 1±0. 010 5	164. 345 8±1. 755 4	2. 758 8±0. 029 0
S ₁ -121-123, 03	60. 555 7±1. 250 5	222. 706 5±1. 184 9	5. 374 1±6. 720 2
K ₁ -124-134, 11	0. 065 6±0. 007 2	158. 050 7±6. 277 2	0. 742 4±0. 005 3
PS ₁ -135-136-2	6. 895 2±0. 877 0	244. 896 6±7. 287 4	0. 620 7±0. 544 4
M ₂ -261-286, 26	0. 999 9±0. 001 5	3. 161 9±0. 088 7	27. 407 0±0. 042 4
S ₂ -301-309, 09	1. 060 1±0. 003 3	3. 540 2±0. 180 7	13. 518 1±0. 044 5
K ₂ -310-347, 38	0. 991 0±0. 013 5	2. 355 1±0. 779 5	3. 438 3±0. 046 4
M ₃ -348-363, 16	0. 984 2±0. 117 6	354. 071 3±6. 845 8	0. 149 0±0. 017 5

* $N=1\ 090$, $\mu_1=11.46$, $\mu_2=6.20$, $\mu_3=2.59$

表 3 泰安台 1991~1996 年差应变 NE- SW 分量全序列潮汐参数

波群	潮汐因子	相位滞后	主波振幅
O ₁ -063-088, 26	0. 421 2±0. 006 7	347. 525 5±0. 907 8	5. 753 0±0. 038 4
S ₁ -121-123, 03	51. 586 4±0. 802 7	178. 084 7±0. 875 5	7. 776 2±6. 241 7
K ₁ -124-134, 11	0. 597 4±0. 004 6	1. 266 1±0. 438 2	11. 475 3±0. 052 4
PS ₁ -135-136-2	1. 340 9±0. 557 4	310. 477 9±23. 817 1	0. 205 0±0. 114 3
M ₂ -261-286, 26	1. 000 7±0. 002 2	26. 921 3±0. 127 4	23. 981 9±0. 053 4
S ₂ -301-309, 09	1. 166 7±0. 004 8	11. 687 7±0. 232 4	13. 009 1±0. 062 5
K ₂ -310-347, 38	1. 009 8±0. 019 3	14. 316 2±1. 097 7	3. 063 4±0. 059 3
M ₃ -348-363, 16	0. 868 9±0. 236 0	13. 130 8±15. 566 1	0. 115 0±0. 027 1

* $N=1\ 091$, $\mu_1=12.38$, $\mu_2=7.79$, $\mu_3=4.55$

2 潮汐参数的稳定性及其与伸缩仪观测结果的对比

分析潮汐参数的稳定性通常用 M₂ 波潮汐参数的逐月计算结果. 该台 1991~1996 年 2 个分量均获得 72 个月结果和 6 个年度结果, 它们的统计结果分别列于表 4 和表 5. 表中的离差即为中误差, 又称之为离散中误差, 它们反映了各月(年)测值相对于平均值的离散程度. 为了与伸缩仪结果对比, 各表中同时列出了南北地震带 6 个台站伸缩仪的相应结果^①.

表 4 泰安台差应变月序列 M₂ 波潮汐参数的统计结果

仪器	分量	N	潮汐因子与离差	百分比离差	相位滞后与离差	百分比离差
YRY-2	NS- EW	72	1. 000 0±0. 032 8	3. 28	3. 17±0. 93	29. 3
	NS- EW	72	1. 001 2±0. 036 2	3. 62	26. 93±1. 49	5. 5
伸缩仪	兰州 NS	85	0. 389 5±0. 050 9	13. 07	- 0. 35±1. 48	—
	兰州 EW	138	0. 348 2±0. 039 0	11. 20	3. 79±1. 07	—
	姑咱 NS	36	1. 085 9±0. 099 4	9. 15	1. 13±0. 69	—
	姑咱 EW	36	1. 345 9±0. 089 1	6. 62	- 6. 06±0. 84	—
	攀钢 NS	120	0. 440 4±0. 009 9	2. 25	- 3. 93±0. 99	—
	攀钢 EW	120	0. 266 8±0. 023 2	8. 70	15. 52±3. 02 *	—
	云龙 NS	43	0. 627 6±0. 027 8	4. 43	3. 56±2. 33	—
	云龙 EW	44	1. 465 6±0. 073 5	5. 02	- 3. 03±1. 50	—
	楚雄 NS	48	0. 675 2±0. 013 2	1. 95	- 0. 80±0. 56	—
	楚雄 EW	48	0. 418 4±0. 012 7	3. 04	- 14. 25±11. 58 *	—
	弥渡 NS	48	0. 827 1±0. 025 5	3. 08	0. 85±1. 60	—
	平均值	—	—	6. 21	- 3. 14±2. 33(1. 41)	—

① 唐九安, 等. 南北地震带固体潮观测结果与地震前兆探索研究. 1999.

表 5 泰安台差应变年序列 M_2 波潮汐参数的统计结果

仪器	分量	N	潮汐因子与离差	百分比离差	相位滞后与离差	百分比离差
YRY-2	NS-EW	6	$0.999\,2\pm0.027\,9$	2.79	3.14 ± 0.32	10.2
	NS-EW	6	$1.000\,1\pm0.030\,7$	3.07	26.90 ± 0.94	3.5
伸缩仪	兰州 NS	8	$0.394\,5\pm0.047\,3$	11.99	-0.38 ± 0.64	—
	兰州 EW	12	$0.351\,8\pm0.039\,4$	11.20	3.81 ± 0.34	—
	姑咱 NS	3	$1.087\,4\pm0.070\,6$	6.49	1.12 ± 0.31	—
	姑咱 EW	3	$1.345\,7\pm0.084\,7$	6.29	-6.07 ± 0.46	—
	攀钢 NS	10	$0.440\,2\pm0.003\,8$	0.86	-3.92 ± 0.37	—
	攀钢 EW	10	$0.266\,4\pm0.009\,6$	3.60	15.51 ± 0.95	—
	云龙 NS	4	$0.631\,9\pm0.030\,6$	4.84	3.69 ± 0.58	—
	云龙 EW	4	$1.466\,0\pm0.046\,2$	3.15	-3.07 ± 0.61	—
	楚雄 NS	4	$0.675\,1\pm0.004\,3$	0.64	-0.78 ± 0.29	—
	楚雄 EW	4	$0.416\,9\pm0.007\,1$	1.70	$14.29\pm12.24^*$	—
	弥渡 NS	4	$0.826\,4\pm0.009\,8$	1.19	0.87 ± 0.73	—
	平均值	—	—	4.72	$-3.14\pm1.59(0.53)$	—

表 4 和表 5 中, 部分伸缩仪相位滞后离散误差均值给出了 2 个数, 第 1 个数为所有测值的均值, 第 2 个数即括号内的数为舍弃注有“*”号数后的均值. 根据表中的结果看, 其后者更能代表伸缩仪观测结果的真实情况.

表 4 表明, 该仪器月潮汐因子的百分比离散中误差为 3 %~4 %, 明显低于伸缩仪的平均水平(6.21 %), 其相位滞后的离散误差为 1°左右, 与伸缩仪离散误差均值(1.41°)大致相当. 表 5 表明, 该仪器年度潮汐因子的百分比离散中误差为 3 %左右, 明显低于伸缩仪的平均水平(4.72 %), 其相位滞后的离散误差小于 1°, 与伸缩仪离散误差均值(0.53°)也大致相当.

通过以上分析可以认为, 泰安台 YRY-2 钻孔应变仪测量的潮汐参数的动态稳定性与目前在台站运行最好的伸缩仪测量结果相当.

3 潮汐因子的离心畸变现象

为了比较周日潮和半日潮潮汐参数的差异, 表 6 给出了 O_1 、 K_1 和 M_2 3 个主波群潮汐参数的全序列调和分析结果, 在表中也同时给出了伸缩仪的有关结果.

表 6 周日潮与半日潮潮汐参数的差异对比

	分量	α_{O_1}	α_{K_1}	α_{M_2}	$\Delta\Phi_{O_1}$	Φ_{K_1}	Φ_{M_2}
YRY-2	泰安 NS	0.343 1	0.065 6	0.999 9	164.35	158.05	3.16
	泰安 EW	0.421 2	0.597 4	1.000 7	347.52	1.27	26.92
伸缩仪	兰州 SSY-NS	0.418 6	0.299 8	0.389 7	2.09	3.48	-0.39
	兰州 SSY-EW	0.367 0	0.283 7	0.346 8	-12.55	-9.34	3.81
	姑咱 SSY-NS	1.140 3	0.685 6	1.089 2	-8.07	-11.86	1.08
	姑咱 SSY-EW	1.106 7	0.805 7	1.346 0	-3.62	-2.76	-6.07
	攀钢 SSY-NS	0.443 3	0.297 9	0.440 1	3.30	16.39	-3.92
	攀钢 SSY-EW	0.371 8	0.285 1	0.266 4	0.33	6.94	-15.50
	云龙 SSY-NS	0.642 4	0.384 2	0.626 9	-19.30	-26.44	3.70
	云龙 SSY-EW	1.375 7	1.001 0	1.466 1	-6.12	-5.99	-3.08
	楚雄 SSY-NS	0.823 5	0.530 3	0.675 1	-7.75	-12.11	-0.78
	楚雄 SSY-EW	0.386 4	0.311 7	0.410 2	-10.37	-2.46	-14.13
	弥渡 SSY-NS	0.923 6	0.563 5	0.826 7	-6.33	1.65	0.89

由表6可以看出, YRY-2型钻孔差应变仪的测量结果与伸缩仪测量结果有一个明显的差别, 就是YRY-2仪测得的周日波潮汐因子明显小于半日波的潮汐因子. 如NS分量 α_{O_1} 仅为 α_{M_2} 的1/3左右, 而 α_{K_1} 仅为 α_{M_2} 的6.6%; 又如EW分量 α_{O_1} 仅为 α_{M_2} 的42%左右, 而 α_{K_1} 也仅为 α_{M_2} 的60%左右. 周日潮汐因子与半日潮汐因子之间的这种明显差异可称为潮汐因子的离心畸变现象.

4 结语

(1) 泰安台YRY-2型钻孔差应变仪1991~1996年的潮汐响应函数较稳定, 2个分量 M_2 波潮汐因子的月离散误差小于4%, 相位滞后的月离散误差小于 2° . 由于采用同一比例系数将观测电压量换算为应变变量, 本文给出的结果不仅反映了观测结果的稳定性, 也反映了仪器本身的稳定性. 由此可以认为, YRY-2仪的测量精度及其稳定性与目前国内最好的伸缩仪相当.

(2) 泰安台YRY-2仪测量的潮汐因子存在明显的离心畸变现象, 这种现象的机理及其在钻孔应变中是否具有普遍性等问题尚待进一步深入研究.

(3) 从资料的长度看, 与较好的观测时间较长(10余年)的洞室仪器相比仍显得短一些, 但是利用6年资料的分析结果完全能够对YRY-2型仪器的稳定性作出评价. 本文给出了该仪器6年的观测资料的分析结果, 以便同行对该仪器的整体观测情况有一个初步的了解. 同时希望有更多的同行对钻孔仪器观测资料进行广泛深入的研究.

[参考文献]

- [1] 池顺良. 压容式钻孔应变仪的初步试验结果[J]. 地震学报, 1982, 4(1): 98—103.
- [2] 顾梦林, 骆鸣津, 睢建设. 上海佘山压容式钻孔应变仪观测资料的调和分析[J]. 地震学报, 1986, 8(2): 197—210.

A STUDY ON TIDAL PARAMETERS AND ITS STABILITY FOR THE YRY-2 METER OF TAIAN STATION

TANG Jiu-an¹, LIU Hou-ming², DOU Yao-hua¹

(1. Lanzhou Institute of Seismology, CSB, Lanzhou 730000, China;

2. Taian Seismic Station, SBS, Taian 271000, China)

Abstract: The harmonic analysis results of data by the YRY-2 bore hole earth strain meter of Taian seismic station from 1991 to 1996 are introduced. The dynamic characteristics and stability of the tidal parameters for the meter are analysed. A comparison between the results of the YRY-2 meter and SSY-II quartz tube extensometer is made. The discrete error mean square of NS channel of the YRY-2 meter is 3.3%, that of NE channel of the meter is 3.6%, and monthly discrete error of phase lag is less than 2.0° . It shows the observation precision of the YRY-2 meter of the station is analogous to the best SSY-II quartz tube extensometer.

Key words: Shandong; Strainmeter; Linear difference strain; Tidal parameter; Discrete error mean square