

兰州倾斜固体潮潮汐参数的观测研究

唐九安 杨嘉文 周志宇 常千军 强科瑜 白亚平

彭伟荣 曹文祥

(国家地震局兰州地震研究所)

摘 要

本文介绍了兰州形变台FSQ—水管倾斜仪1987—1989年期间观测资料的调和分析结果,讨论了潮汐因子的重复性及其对非潮汐变化的监测能力,分析了气象因素对周日波的影响,并将实测潮汐因子与G—B地球模型理论值进行了比较。

一、引 言

地形变是地震最直接的伴随现象,这已为无数形变测量结果所证实。由于大地测量的观测周期和测量精度有限,对短临预报来说,就显得有点力不从心。高精度的潮汐形变仪器的直接测量精度比大地测量仪器要高几个数量级,加之定点连续观测的有利条件,这就为形变方法捕捉地震的短临前兆信息提供了可能性。

七十年代以来,潮汐形变仪器及其台站在我国发展很快^[1],但由于当时客观条件的限制,大多数仪器都安置在浅山洞或地下室工作,其环境干扰背景远大于前兆信息。因此,七十年代尽管我国强震较多,可多数仪器都未能获得令人信服的短临前兆信息,从而使我们丢失了很多短临预报探索的宝贵机会。

八十年代以来,我国地震预报事业逐步向纵深发展,一批高质量的潮汐形变台站陆续取代了低质量台站,潮汐形变仪器的测量精度和稳定性也进一步提高。安置于深山洞的FSQ型水管倾斜仪^[2]和SSY—Ⅰ型石英伸缩仪^[3]就是其中的代表,它们的直接测量精度和稳定性都达到或接近国际先进水平。因此,这两类仪器在地震的短临预测预报中有可能发挥重要作用。

兰州形变台于1986年同步安装了FSQ—型水管倾斜仪和SSY—Ⅰ型石英伸缩仪。从1987年1月1日起到1989年12月31日止,两套仪器均已取得了三年观测资料。三年中资料基本连续,质量稳定。因此,系统地分析研究这些资料,无疑有助于利用该台的观测资料捕捉兰州及其邻近地区未来的强震信息。本文先将水管倾斜仪年度调和分析结果介绍给读者,伸缩仪结果将在另文介绍。

1) 侯珍清、王多杰,兰州安宁形变台台址地质调查报告。

2) 唐九安,固体潮资料处理及程序,1989。

二、概 况

兰州形变台位于兰州市安宁区十里店里城沟于家山麓。观测室地理坐标 $L = 103^{\circ}45'10''$ E、 $\phi = 36^{\circ}05'58''$ N。海拔高程1590m。观测室距黄河北岸约1.5km。

观测场地用未竣工的人防坑道改建而成,改建工作于1983年开始,1985年竣工。坑道总长294m,进深160m,总面积804m²(其中新建197m²),用石块砌壁,用钢筋混凝土拱顶。

仪器设置两个方向,NS分量基线长为44.70m,方位角为 $358^{\circ}18'.6$;EW分量基线长为44.74m,方位角为 $65^{\circ}12'.8$ 。各墩座选用大理石嵌砌于基岩上,中间墩则用混凝土浇灌而成。台基位于皋兰群结晶片岩之上,岩石比较坚硬完整,主要由黑云母石英片岩及混合花岗片麻岩、黑云母角闪片麻岩所构成¹⁾。仪器室年温变化小于 0.1°C ,湿度100%,洞顶最小覆盖层厚度大于40m。仪器从1987年1月1日正式工作以后到1989年12月31日的三年中,除因检修仪器短时间有被迫停记外,工作一直连续稳定。表1列出了三年中缺记的时段或计算中舍数的日期。

表1 缺记时段或计算中舍数的日期

分量	时间	缺记时段或舍数日期	实用资料天数
NS	1987	6月2日~30日	336
	1988	5月6~7日,7月17~18日,8月8~9日	358
	1989	1月21日~22日,8月2~8日,8月8~9日	356
		8月2~8日	
EW	1987	6月2~30日	336
	1988	12月20~21日	364
	1989	无缺记和舍数	364

三、潮汐参数计算结果及分析讨论

潮汐参数的年度调和和分析结果见表2和表3。所有结果均在IBM—286机上用FORTRAN—77语言计算程序完成²⁾。

1. 潮汐因子稳定性和监测能力

由表2、表3结果可以看出,由FSQ—型水管倾斜仪测得的兰州地区的倾斜固体潮汐因子具有很高的内符合精度和好的年度重复性。三年中 r_{M2} 的中误差对NS分量分别为:0.0024、0.0021和0.0024,对EW分量分别为:0.0012、0.0012和0.0014。 r_{M2} 各年间的极差对NS分量为0.0209,对EW分量为0.0100,相应的相对变化值分别为3.5%和1.5%。由此可以认为,该台FSQ—型水管倾斜仪对 r_{M2} 年度变化的监测能力优于4%,这一指标可以作为今后利用该仪器 r_{M2} 年变化预测地震的参考值。

2. 气象因素对周日波的影响

表 2

FSQ—NS年度调和结果

时间	波群单位权中 误差 $\times 10^{-3}$	波名	潮汐因子	相位滞后($^{\circ}$)	主波最大振幅 $\times 10^{-8}$
1987	2.09	Q_1 1~62	0.8584 ± 0.0919	-11.37 ± 6.14	0.34 ± 0.03
		O_1 63~88	0.8266 0.0152	-6.81 1.05	1.69 0.03
		P_1 111~120	0.7681 0.0386	9.46 2.88	0.73 0.33
		S_1 121~123	30.2743 2.4315	60.96 4.55	0.68 1.66
		K_1 124~143	0.7379 0.0115	-7.31 0.89	2.12 0.02
	0.98	N_2 237~260	0.6063 0.0130	0.16 1.22	0.87 0.01
		M_2 261~286	0.6082 0.0024	0.91 0.23	4.56 0.01
		S_2 301~309	0.6335 0.0048	-7.53 0.44	2.21 0.01
		K_2 310~347	0.5624 0.0135	-2.01 1.37	0.53 0.01
	0.47	M_3 348~363	0.7818 0.0734	0.97 5.38	0.09 0.01
1988	1.96	Q_1	0.8361 0.0750	-12.99 5.14	0.33 0.02
		O_1	0.8066 0.0140	-9.11 0.99	1.65 0.32
		P_1	0.6489 0.0351	3.26 3.10	0.62 0.02
		S_1	25.5578 2.1812	34.41 4.93	0.58 1.26
		K_1	0.7869 0.0104	-5.77 0.76	2.26 0.02
	0.98	N_2	0.5928 0.0111	-0.21 1.08	0.85 0.01
		M_2	0.6033 0.0021	0.49 0.20	4.52 0.01
		S_2	0.6355 0.0043	-5.21 0.89	2.22 0.01
		K_2	0.5928 0.0119	1.00 1.15	0.50 0.01
	0.50	M_3	0.7296 0.0757	11.25 5.94	0.09 0.01
1989	1.66	Q_1	0.7805 ± 0.0584	-6.17 ± 4.29	0.31 ± 0.02
		O_1	0.7947 0.0121	-0.860 0.88	1.62 0.02
		P_1	0.7761 0.0299	-1.65 2.20	0.74 0.02
		S_1	22.6796 1.8439	32.37 4.70	0.51 0.94
		K_1	0.7557 0.0089	-5.48 0.68	2.17 0.02
	1.01	N_2	0.5747 0.0124	-0.34 1.23	0.83 0.01
		M_2	0.5873 0.0024	0.73 0.23	4.40 0.01
		S_2	0.6025 0.0049	-2.67 0.47	2.10 0.01
		K_2	0.5463 0.0139	-0.16 1.46	0.52 0.01
	0.50	M_3	0.7607 0.0759	-0.49 5.70	0.09 0.01

表 2、表 3 均列出了 S_1 波群的调和结果，该波群主波序号 122，角速度为 $15^{\circ}/\text{小时}$ 。该波的理论最大振幅对 NS 分量约为 0.02×10^{-8} ，对 EW 分量约为 0.04×10^{-8} 。从表中结果看，两分量对 r_{s1} 的求解都较成功，所得 r_{s1} 对 NS 分量界于 23—30 之间，对 EW 分量介于 17—20 之间，其均值分别为 26.17 和 18.33，对地倾斜影响值约 $0.6—0.8 \times 10^{-8}$ 。

计算中，如将 S_1 波群与 K_1 波群加在一起解算，其日波群的单位权中误差和潮汐参数将与表 2、表 3 中的结果有明显差别。表 4 给出了对比计算结果，其中 I 为表 2、表 3（即分离 S_1 波群）之结果，II 为不分离 S_1 波群之结果。

表 4 结果表明，周日波的调和计算当顾及 S_1 波群时，不仅单位权中误差明显减小，而且潮汐因子也有明显变化。这说明气象因素对水管倾斜仪观测的周日波倾斜固体潮的影响是不可忽视的。

表 3

FSQ—EW年度调和结果

时间	波群单位权中 误差 $\times 10^{-3}$	波名	潮汐因子	相位滞后 ($^{\circ}$)	主波最大振幅 $\times 10^{-3}$
1987	1.60	Q ₁	0.6633 $\pm$ 0.0356	2.12 $\pm$ 3.07	0.46 $\pm$ 0.02
		O ₁	0.6482 0.0067	5.40 0.59	2.33 0.02
		P ₁	0.7244 0.0169	10.08 1.33	1.21 0.02
		S ₁	23.4050 1.0634	17.76 2.94	0.81 0.86
		K ₁	0.7150 0.0050	5.84 0.40	3.61 0.02
	0.76	N ₂	0.6510 0.0065	2.99 0.58	1.50 0.01
		M ₂	0.6568 0.0012	1.90 0.10	7.89 0.01
		S ₂	0.6203 0.0024	9.80 0.22	3.47 0.01
		K ₂	0.6512 0.0065	2.82 0.57	0.99 0.01
	0.51	M ₃	0.7724 0.0502	-4.70 3.72	0.15 0.01
	1.24	Q ₁	0.6703 $\pm$ 0.0252	3.50 $\pm$ 2.15	0.46 $\pm$ 0.01
		O ₁	0.6447 0.0050	4.77 0.44	2.31 0.01
		P ₁	0.6865 0.0125	8.87 1.05	1.15 0.01
		S ₁	16.8945 0.7840	32.96 2.64	0.67 0.52
		K ₁	0.7206 0.0037	6.09 0.29	3.64 0.01
1988	0.88	N ₂	0.6566 0.0064	2.65 0.56	1.51 0.01
		M ₂	0.6582 0.0012	1.50 0.11	7.91 0.01
		S ₂	0.6318 0.0025	7.46 0.22	3.53 0.01
		K ₂	0.6399 0.0069	1.25 0.62	0.97 0.01
	0.47	M ₃	0.7870 0.0445	-5.57 3.24	0.15 0.01
	1.16	Q ₁	0.5641 0.0231	2.12 2.35	0.39 2.01
		O ₁	0.6527 0.0047	4.73 0.42	2.34 0.01
		P ₁	0.6543 0.0117	8.02 1.02	1.09 0.01
		S ₁	17.6780 0.7295	27.16 2.34	0.70 0.51
		K ₁	0.7246 0.0035	6.35 0.28	3.66 0.01
1989	0.98	N ₂	0.6673 0.0071	1.43 0.61	1.54 0.01
		M ₂	0.6668 0.0014	0.96 0.12	8.01 0.01
		S ₂	0.6504 0.0029	5.91 0.26	3.64 0.01
		K ₂	0.6873 0.0083	4.07 0.69	1.05 0.01
	0.40	M ₃	0.7786 0.0375	-1.26 2.77	0.15 0.01

表 4 气象对周日波单位权中误差和潮汐因子影响对比计算结果 ($\mu_1: \times 10^{-3}$)

分量	年度	I			I		
		μ_1	γ_{01}	γ_{K1}	μ_1	γ_{01}	γ_{K1}
NS	1987	2.09	0.8266	0.7379	2.55	0.8277	0.7399
	1988	1.96	0.8366	0.7869	2.16	0.7972	0.7700
	1989	1.66	0.7947	0.7557	2.01	0.7936	0.7555
EW	1987	1.60	0.6482	0.7150	2.30	0.6470	0.7220
	1988	1.24	0.6447	0.7206	1.85	0.6438	0.7213
	1989	1.16	0.6527	0.7246	1.84	0.6539	0.7256

3. 潮汐因子与弹性地球模型

对于弹性地球有

$$r_n = 1 + k_n - h_n.$$

将用G—B地球模型(A)得到的勒夫数 $h_2 = 0.6114$ 、 $h_3 = 0.2913$ 、 $k_2 = 0.0832$ 、 $k_3 = 0.015^{[4]}$ 代入上式得:

$$r_2 = 0.6936, \quad r_3 = 0.8051.$$

由表2、表3给出的几个主波潮汐因子的均值见表5。

表5 兰州 γ 因子(1987~1989)均值

分量	O_1	K_1	N_2	M_2	S_2	M_3
NS	0.8093	1.7632	0.5913	0.5996	0.6238	0.7574
EW	1.6485	0.7201	0.6583	1.6006	0.6342	0.7793

由表5结果看, NS向的实测 r 值, 周日波比理论值大, 而半日波比理论值小, EW分量 r_{K_1} 比理论值大, 而 r_{O_1} 和半日波比理论值小, 1/3日波均比理论值小。引起这些差别的原因是什么, 这些差别与兰州地区当前的地质构造活动有何关系, 在未来的地震预测中有何实际意义等都是有待深入研究的课题。

(本文1990年3月21日收到)

参 考 文 献

- [1] 吴翼鹏, 固体潮水平分量的国内外研究, 地壳形变与地震, Vol. 8, No. 2, 1982.
- [2] 聂磊等, FSQ型浮子水管倾斜仪的设计与研制, 地壳形变与地震, Vol. 5, No. 1, 1984.
- [3] 蔡惟鑫等, SSY—I型石英伸缩仪的研制与试验, 地壳形变与地震, Vol. 6, No. 1, 1985.
- [4] 郝钦文等, 固体潮汐与引潮常数, 中国地震, Vol. 1, No. 2, 1986.

OBSERVATION AND STUDY ON TIDAL PARAMETERS OF TILT EARTH
TIDE OF LANZHOU (1987~1989)

Tang Jiu'an, Yang Jiawen, Zhou Zhiyu, Chang Qianjun, Qiang Keyu, Bai Yaping, Peng Weirong, Cao Wenxiang
(Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, Gansu, China)

Abstract

The harmonic analysis results of the data of type-FSQ water-tube tiltmeter observed at Lanzhou deformation station from 1987 to 1989 are introduced. The repeatability of the tide factors and the monitoring ability to the non-tidal variation are discussed. The influence of meteorological factors on diurnal wave is analysed. Finally, a comparison between the observed tide factors and the theoretical values of G-B earth model is made.