

兰州台倾斜固体潮初步观测结果*

1. 台址及仪器状况

兰州台是甘肃省唯一的(I类)形变综合观测台,架设有国家地震局地震研究所研制的目前国内最先进的FSQ型自记水管倾斜仪。该台位于($L=103^{\circ}.7520$, $\lambda=36^{\circ}.0980$, $H=1550$ 米)兰州市安宁区人防山洞内,洞体进深145米,岩层直立,覆盖层厚29—88米。为了减少气温、气流对仪器的干扰,对洞体进行了改造并安装了9道密封门,仪器主体使用泡沫塑料板整体密封,洞内年温变化小于 0.3°C 。

仪器架设于基岩之上,其两个分向分别为 $A_1=358^{\circ}.277$, $A_2=65^{\circ}.213$,两分量仪器长度均为44.0米。该仪器采用进口的索尼磁传感器作换能装置,使用电子电位差计进行连续记录。仪器整机灵敏度达 1×10^{-9} 以上,重复精度优于1%。

2. 数据与分析结果

自1987年1月1日正式记录到9月30日止,除6月份因仪器检修停记外,其余各月记录均连续,共取得242天的观测资料。潮汐参数的计算采用维涅第科夫调和分析方法,采用Cartwright, E.T.给出的潮汐分波参数计算理论值,其中日波197个,半日波150个,1/3日波16个。在对观测数据进行调和分析之前,使用组合滤波器和拟合法进行了反复检验,确保观测数据准确可靠。表1给出了观测数据拟合检验的单位权中误差的平均值。

表1 1987年1—9月拟合检验单位权中误差平均值(10^{-8} 角秒)

拟合结果 方 向	月 份	一月	二月	三月	四月	五月	七月	八月	九月	平均
$A_1=65.21$		± 0.0009	± 0.0008	± 0.0008	± 0.0007	± 0.0007	± 0.0004	± 0.0006	± 0.0005	± 0.0007
$A_2=258.28$		± 0.0009	± 0.0008	± 0.0009	± 0.0009	± 0.0008	± 0.0007	± 0.0007	± 0.0008	± 0.0008

表2、表3给出了两分量数据的调和分析结果。计算中仅舍去了三月份一天(干扰甚大)的数据。从表中可以看出,倾斜固体潮潮汐因子的中误差是NS向大于EW向,与一般规律相符。

表4把主波(M_2)潮汐因子的精度与国内I类台站中同类仪器的最好观测结果进行了比较(均取八个月的平均值),可以看出,兰州(安宁)台倾斜固体潮观测结果达

* 本文由白亚平执笔。

1) 唐九安, 固体潮理论值计算与调和分析, 1987。

2) 国家地震局地震研究所一室, 1986年度水平摆及自记水管仪资料质量评比台站 γ 因子中误差计算结果与说明, 1987。

表 2

调和结果 (A = 358.28)

波名		项 目	月 份							
		结 果	一 月	二 月	三 月	四 月	五 月	七 月	八 月	九 月
全 日 波	Q ₁	潮汐因子 中误差	1.3225 ±0.2898	0.9436 ±0.3533	0.6141 ±0.6998	1.6270 ±0.7333	0.3574 ±0.6209	0.7208 ±0.1900	0.8535 ±0.3138	1.0547 ±0.2438
		相位滞后 中误差	-9.6526 ±12.5686	-12.1561 ±21.4769	6.1305 ±65.3662	16.0755 ±25.8543	-79.1976 ±99.6631	-34.1463 ±15.1167	-13.2380 ±21.0939	8.3552 ±13.2618
	O ₁	潮汐因子 中误差	0.9197 ±0.0569	0.8501 ±0.0586	0.8624 ±0.0941	0.8648 ±0.0937	0.8222 ±0.0962	0.7837 ±0.0385	0.8421 ±0.0623	0.8159 ±0.0423
		相位滞后 中误差	-0.5359 ±3.5458	-8.4886 ±3.9547	-3.2038 ±6.2617	-11.3708 ±6.2172	-10.5224 ±6.7090	-5.1045 ±2.8206	-3.6944 ±4.2461	-6.6214 ±2.9758
	M ₁	潮汐因子 中误差	0.4205 ±0.5651	0.0607 ±0.5947	1.0042 ±1.0394	1.1709 ±1.0846	0.6598 ±1.0620	0.9090 ±0.3540	1.0906 ±0.5375	0.7621 ±0.3803
		相位滞后 中误差	-26.0187 ±77.0901	-8.4291 ±562.4459	70.0077 ±59.3751	-51.2101 ±53.1345	-84.2388 ±92.3252	-32.6629 ±22.3419	13.1812 ±28.2683	44.8191 ±28.6291
	K ₁	潮汐因子 中误差	0.7645 ±0.0346	0.7357 ±0.0451	0.6715 ±0.0956	0.5335 ±0.0823	0.6350 ±0.0653	0.8010 ±0.0240	0.8278 ±0.0470	0.9949 ±0.0419
		相位滞后 中误差	-9.4550 ±2.5933	-14.9805 ±3.5195	-19.1876 ±8.1674	13.8546 ±8.8503	9.0698 ±5.8961	5.2523 ±1.7218	-1.2325 ±3.2595	-7.5094 ±2.4167
	J ₁	潮汐因子 中误差	1.2702 ±0.9124	2.3174 ±1.1032	2.7202 ±2.2937	3.6476 ±2.5479	0.2634 ±2.0647	0.4580 ±0.5697	0.7420 ±0.9161	1.6286 ±0.6983
		相位滞后 中误差	6.3700 ±41.2037	-5.2050 ±27.3083	48.0491 ±48.3698	-22.9204 ±40.0689	-83.5369 ±449.5941	-11.0945 ±71.3573	2.4944 ±70.8280	13.9261 ±24.5967
半 日 波	00 ₁	潮汐因子 中误差	1.2497 ±1.0540	1.4305 ±0.8585	0.7136 ±1.2484	2.3451 ±1.3317	2.2848 ±1.6203	0.2657 ±0.6777	0.6289 ±0.8924	1.0740 ±0.5343
		相位滞后 中误差	-21.6728 ±48.3805	-68.3439 ±34.4261	43.1561 ±100.3561	61.0057 ±32.6741	-80.6039 ±40.6801	-17.1370 ±146.3209	-59.1761 ±81.3918	-21.7838 ±28.5362
	2N ₂	潮汐因子 中误差	0.6608 ±0.1409	0.6124 ±0.1864	1.5696 ±0.4523	1.1204 ±0.8336	1.1412 ±0.2943	0.6289 ±0.1899	0.6707 ±0.2008	0.5814 ±0.2091
		相位滞后 中误差	-4.9366 ±12.2311	-6.8919 ±17.4632	59.1409 ±16.6368	-31.3682 ±42.6823	-24.3633 ±14.7923	2.0148 ±17.3744	22.9635 ±17.1761	6.8487 ±20.6322
	N ₂	潮汐因子 中误差	0.6319 ±0.0342	0.6039 ±0.0370	0.6221 ±0.0476	0.6757 ±0.0630	0.6398 ±0.0499	0.5916 ±0.0450	0.5688 ±0.0465	0.6345 ±0.0408
		相位滞后 中误差	-1.4343 ±3.1002	-0.2489 ±3.5153	10.6071 ±4.3898	-4.2081 ±5.3440	-8.0006 ±4.4750	-4.3793 ±4.3623	0.2921 ±4.6899	0.7852 ±3.6867
	M ₂	潮汐因子 中误差	0.6142 ±0.0074	0.6091 ±0.0070	0.6228 ±0.0074	0.6171 ±0.0094	0.6267 ±0.0090	0.6039 ±0.0099	0.6052 ±0.0099	0.6017 ±0.0076
		相位滞后 中误差	1.7609 ±0.6877	-0.2358 ±0.6563	-0.1936 ±0.6788	1.1704 ±0.8699	1.4356 ±0.8208	0.0182 ±0.9463	-0.2626 ±0.9351	0.3954 ±0.7203

续表 2

波名	项 目 结 果	月 份	一月	二月	三月	四月	五月	七月	八月	九月
L ₂	潮汐因子		0.5868	0.6990	0.7878	0.8507	0.5681	0.5996	0.4749	0.6021
	中误差		±0.1601	±0.1754	±0.2212	±0.2827	0.2342	±0.2262	±0.2451	±0.2286
	相位滞后		-0.9364	8.8725	-18.0515	-3.3012	-2.5437	25.0653	16.7895	43.2598
	中误差		±15.6505	±14.3901	±16.1090	±19.0603	±23.6420	±21.6377	±29.5975	±21.7742
S ₂ K ₂	潮汐因子		0.6770	0.6390	0.6085	0.5822	0.5806	0.6578	0.6382	0.6407
	中误差		±0.0175	±0.0119	±0.0110	±0.0153	±0.0197	±0.0269	±0.0184	±0.0116
	相位滞后		-9.9192	-7.7406	-10.7174	-14.9875	-14.0211	-3.2001	-0.4100	-1.5877
	中误差		±1.4842	±1.0639	±1.0366	±1.5047	±1.9511	±2.3095	±1.6514	±1.0371

表 3

调和分析结果 (A = 65.21)

波名	项 目 结 果	月 份	一月	二月	三月	四月	五月	七月	八月	九月
全 日 波	Q ₁	潮汐因子	0.6922	0.6082	0.7561	0.5298	0.4965	0.6867	0.6780	0.8787
		中误差	±0.1021	±0.1082	±0.3115	±0.3257	±0.2230	±0.0781	±0.1254	±0.1682
	O ₁	相位滞后	13.3508	-0.5321	-2.3617	25.9766	-8.8674	-5.7227	2.3566	4.0890
		中误差	±8.4606	±10.2079	±23.6292	±35.2593	±25.7336	±6.5279	±10.6100	±10.9805
	M ₁	潮汐因子	0.6579	0.6352	0.6393	0.6480	0.6553	0.6540	0.6220	0.6526
		中误差	±0.0224	±0.0206	±0.0488	±0.0492	±0.0393	±0.0176	±0.0276	±0.0329
	K ₁	相位滞后	5.8331	2.5366	6.1657	7.0347	9.5355	5.0955	7.5563	2.7124
		中误差	±1.9497	±1.8606	±4.3830	±4.3544	±3.4383	±1.5470	±2.5470	±2.8926
	J ₁	潮汐因子	0.5529	1.1094	1.2584	0.2472	0.6643	1.1661	0.9721	0.7760
		中误差	±0.3496	±0.3342	±0.9179	±0.9969	±0.7264	±0.2406	±0.3337	±0.4135
	00 ₁	相位滞后	-9.8082	6.7904	-58.0207	-67.6180	79.4724	-14.8834	-35.3551	-22.8107
		中误差	±36.2705	±17.2815	±41.8378	±231.2903	±62.6769	±11.8381	±19.6893	±30.5651
	J ₂	潮汐因子	0.8098	0.8410	0.8263	0.6869	0.6964	0.6612	0.6087	0.6294
		中误差	±0.0136	±0.0160	±0.0496	±0.0430	±0.0265	±0.0111	±0.0212	±0.0325
	J ₃	相位滞后	9.5324	7.0899	-0.5222	-2.6618	-1.6234	4.5387	7.7692	10.3847
		中误差	±0.9664	±1.0933	±3.4441	±3.5940	±2.1854	±0.9655	±1.9982	±2.9602
	J ₄	潮汐因子	0.5321	0.7530	1.0275	1.0362	0.5963	1.1263	1.0902	0.8031
		中误差	±0.2613	±0.2779	±0.7882	±0.8178	±0.5603	±0.2047	±0.3361	±0.4645
	J ₅	相位滞后	41.7692	25.3243	30.5846	11.4954	12.4025	6.2036	15.8376	-26.8177
		中误差	±28.1700	±21.1732	±44.0014	±45.2724	±53.9254	±10.4269	±18.7150	±33.1792
	J ₆	潮汐因子	1.2137	0.5538	0.5303	0.9826	1.4673	2.2535	0.5319	0.6830
		中误差	±0.4435	±0.3177	±0.6755	±0.7240	±0.6891	±0.3339	±0.4164	±0.4322
	J ₇	相位滞后	34.8343	9.5243	-17.0211	-86.5196	-31.0946	32.9467	-30.8300	9.9972
		中误差	±20.9590	±32.9077	±73.0796	±42.2675	±26.9388	±75.5538	±44.9146	±36.2976

续表 3

名波	项 目 结 果	月 份	一月	二月	三月	四月	五月	七月	八月	九月
半 日 波	2N ₂	潮汐因子 中 误 差	0.6109 ±0.0773	0.5445 ±0.1043	0.4793 ±0.3728	1.4159 ±0.6405	0.0995 ±0.2916	0.5812 ±0.1008	0.4755 ±0.0522	0.5786 ±0.1169
		相位滞后 中 误 差	0.1586 ±7.2611	8.7736 ±10.9919	5.0401 ±44.6219	-9.3178 ±25.9496	10.1459 ±168.0660	3.8455 ±9.9443	-0.2109 ±6.2949	3.4612 ±11.5934
	N ₂	潮汐因子 中 误 差	0.6709 ±0.0188	0.6489 ±0.0211	0.6330 ±0.0434	0.7033 ±0.0456	0.6715 ±0.0469	0.6589 ±0.0237	0.6575 ±0.0121	0.6227 ±0.0233
		相位滞后 中 误 差	1.5430 ±1.6056	3.9100 ±1.3619	9.2381 ±3.9295	7.9592 ±3.7211	3.2975 ±4.0060	1.5819 ±2.0612	3.4271 ±1.0564	2.9477 ±2.1460
	M ₁	潮汐因子 中 误 差	0.6586 ±0.0039	0.6584 ±0.0038	0.6584 ±0.0064	0.6651 ±0.0063	0.6645 ±0.0079	0.6570 ±0.0050	0.6532 ±0.0025	0.6479 ±0.0042
		相位滞后 中 误 差	2.9408 ±0.3396	2.0530 ±0.3307	2.1506 ±0.5582	1.7401 ±0.5423	1.8532 0.6812	2.3248 ±0.4405	1.8368 ±0.2198	2.1098 ±0.3743
	L ₁	潮汐因子 中 误 差	0.7905 ±0.0699	0.7398 ±0.0765	0.5401 ±0.1486	0.6241 ±0.1484	0.8181 ±0.1677	0.6006 ±0.0940	0.6975 ±0.0500	0.5710 ±0.0986
		相位滞后 中 误 差	4.3960 ±5.0742	-2.8901 ±5.9288	14.4434 ±15.7845	-6.6779 ±13.6445	15.0963 ±11.7614	11.1518 ±8.9803	6.0136 ±4.1102	0.7530 ±9.9006
	S ₂ K ₂	潮汐因子 中 误 差	0.5632 ±0.0092	0.6092 ±0.0064	0.6242 ±0.0095	0.6587 ±0.0102	0.6609 ±0.0171	0.5897 ±0.0136	0.6025 ±0.0046	0.6115 ±0.0065
		相位滞后 中 误 差	12.5879 ±0.9374	8.5535 ±0.6039	9.8436 ±0.8742	8.6747 ±0.8862	10.2901 ±1.4858	8.7519 ±1.3112	5.7370 ±0.4410	7.0995 ±0.6081

表 4 $m(\gamma M_2)$ 平均值比较

结 果 台 站	项 目	$m(\gamma M_2)$	$m(\gamma M_2)$
		EW	NS
楚 雄*		±0.0040	±0.0080
长 沙		±0.0060	±0.011
兰 州		±0.0050	±0.0085

到了国内较好水平。取得如上精度的地倾斜观测资料在甘肃省尚属首次。

在观测工作中, 彭伟荣、刘建义等同志给予了协助, 唐九安同志提供计算程序, 协助计算并在写作过程中给予了指导, 在此一并致谢。

(本文1987年12月10日收到)

(国家地震局兰州地震研究所 杨嘉文 白亚平 周志宇 常千军 强科瑜)

参 考 文 献

- [1] 祁钦文等, 固体潮汐与引潮常数, 中国地震, Vol. 2, №2, 1986.
[2] 李平等, 我国首批应变固体潮观测结果, 地壳形变与地震, №2, 1985.
[3] 陈德福等, 倾斜异常图象分类及有关问题的初步分析, 地壳形变与地震, №2, 1985.
[4] 唐九安, 固体潮观测数据的预处理, 西北地震学报, Vol. 3, No. 8, 1981.

PRELIMINARY OBSERVATIONAL RESULTS OF
TILT EARTH TIDE IN LANZHOU
OBSERVATORY

Yang Jiawen, Bai Yaping, Zhou Zhiyu, Chang Qianjun, Qiang Kexu
(The Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB)