

上海台重力固体潮观测结果 (1978年4月—8月)的调和分析*

吴庆鹏 于淑筠
(北京大学地球物理系)

周家庆
(上海市地震局)

摘要

上海重力固体潮台站位于 $\varphi = 31^\circ 1'$, $\lambda = 121^\circ 2'$, 利用安装在山洞内的 GS-15 NO. 227 重力仪进行观测。山洞内年平均温度为 18.8°C , 年温差为 0.3°C 。重力仪的记录格值为 2.99 微伽/毫米。利用勒卡拉兹方法和维涅第科夫方法对 1978 年 4 月—8 月共 142 日的连续观测结果进行了调和分析。勒卡拉兹调和分析方法所得结果是: $\delta(M_2) = 1.142$, $\delta(K_1) = 1.164$, $\delta(O_1) = 1.192$, $\delta(O_1) - \delta(K_1) = 0.028$ 。维涅第科夫调和分析方法所得结果是: $\delta(M_2) = 1.142$, $\delta(K_1) = 1.166$, $\delta(O_1) = 1.189$, $\delta(O_1) - \delta(K_1) = 0.023$ 。

此外,在北京大学 DJS-18 电子计算机上对勒卡拉兹调和分析方法和维涅第科夫调和分析方法进行了精度检验。检验结果是:

1) 勒卡拉兹方法对 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 和 O_1 五个主要波群来说,确定 δ 的精度约为 1%,确定相位差的精度约为 1° 。

2) 维涅第科夫方法的精度与资料长度有关。一般说来,资料越长,精度越高。当资料长度取为 90 天时,对 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 、 O_1 五个波群来说,确定 δ 的精度约为 1%,确定相位差的精度为 0.5° 。

一、重力固体潮

刚体地球的重力固体潮可以分解成振幅不同、周期不同的谐波。周期在 12 小时左右的谐波称为半日波,周期在 24 小时左右的称为日波。根据起潮力位的杜德森 (Doodson) 展开,振幅超过 0.2 微伽的重力固体潮的半日波有 27 个,日波有 52 个。日波和半日波的振幅 A_n 决定于观测点的纬度 φ ,而它们在某一时间 t 的位相 σ_n 则决定于观测点的经度 λ 。

在 27 个半日波和 52 个日波中振幅较大的有 M_2 波、 S_2 波、 N_2 波、和 K_1 波、 O_1 波,它们的振幅 A_n 、角速度 ω_n 和周期 T_n 如表 1 所示。

中国境内的重力固体潮主要潮汐分波 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 和 O_1 的理论振幅等值线图如

* 1979 年 1 月 13 日收到。

表 1

名 称	振幅 A_n (微伽)	角速度 ω_n (度/小时)	周 期 T_n
M_2	$75.0 \cos^2 \varphi$	28.98	12 时 25 分
S_2	$35.0 \cos^2 \varphi$	30.00	12
N_2	$14.4 \cos^2 \varphi$	28.44	12 39
K_1	$43.8 \sin 2\varphi$	15.04	23 56
O_1	$31.1 \sin 2\varphi$	13.94	25 49

图 1 所示,

这样, 在刚体地球地面上任一点的重力固体潮主要分波的振幅 $(A_n)_{\text{理论}}$ 及其在某一瞬间 t 的位相 $(\sigma_n)_{\text{理论}}$ 可以计算出来. 同时, 对重力固体潮观测结果进行调和分析, 可以求出实际地球重力固体潮在地面上任一点的主要分波的振幅 $(A_n)_{\text{观测}}$ 和在 t 时位相 $(\sigma_n)_{\text{观测}}$, 因而有

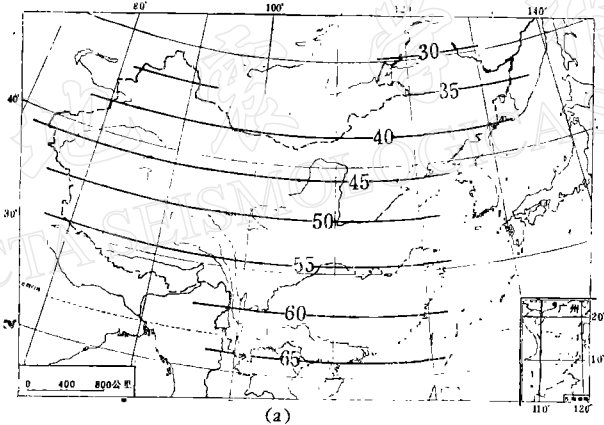


图 1(a) M_2 波重力固体潮理论振幅等值线图

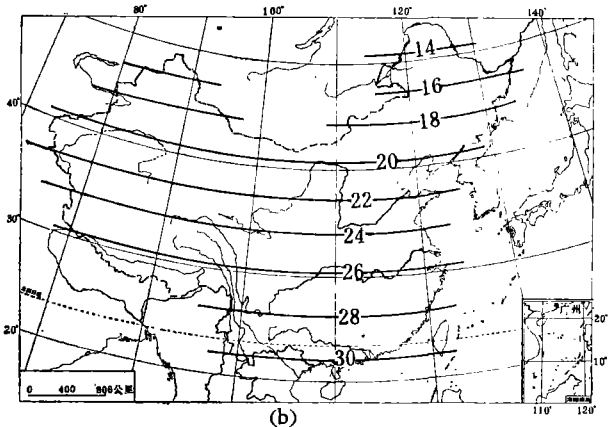
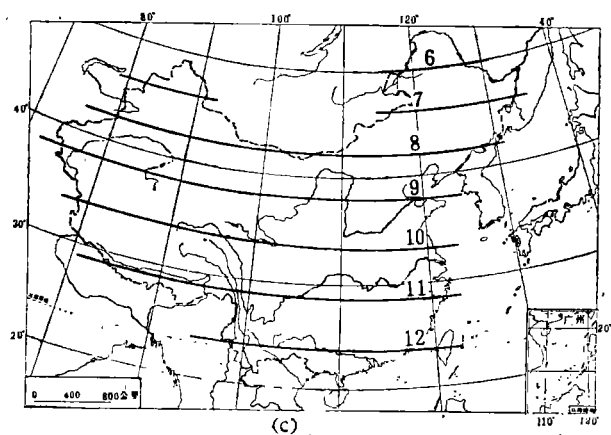
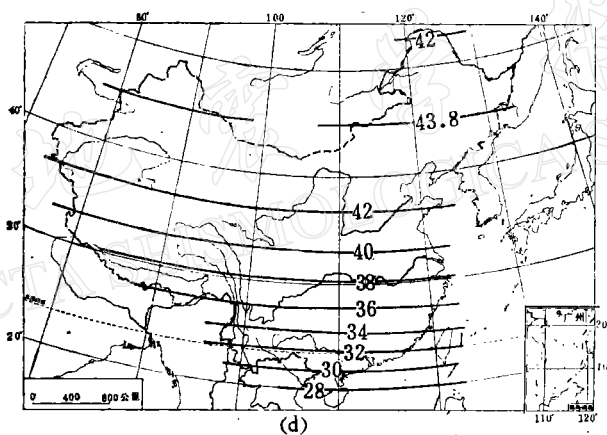
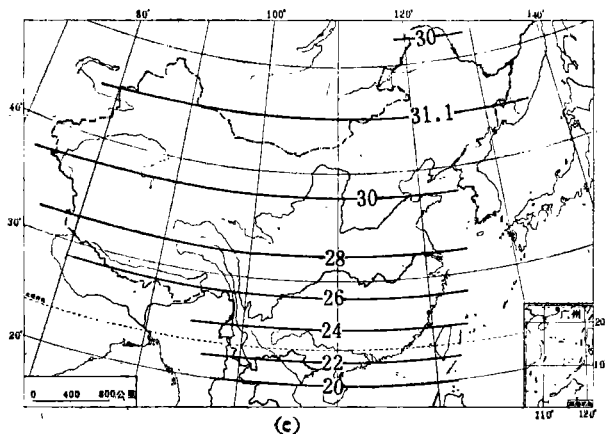


图 1(b) S_2 波重力固体潮理论振幅等值线图

图 1(c) N_2 波重力固体潮理论振幅等值线图图 1(d) K_1 波重力固体潮理论振幅等值线图图 1(e) O_1 波重力固体潮理论振幅等值线图

$$\delta = \frac{(A_n)_{\text{观测}}}{(A_n)_{\text{理论}}}$$

$$\Delta\sigma = (\sigma_n)_{\text{观测}} - (\sigma_n)_{\text{理论}}$$

δ 称为重力潮汐因子, $\Delta\sigma$ 称为位相差.

近二十年来, 由于仪器观测精度的日益提高, 并且在数据处理方面采用了电子计算机, 固体潮的研究, 特别是重力固体潮的研究获得了迅速的发展. 实践表明, 重力潮汐因子 δ 和位相差 $\Delta\sigma$ 在空间和时间上都有变化. 它们在空间上的变化主要受海潮影响, 同时与地壳、上地幔结构有关, 它们在时间上的变化可能与地壳的构造活动有关. 因而观测、研究重力固体潮潮汐因子 δ 和位相差 $\Delta\sigma$ 的时空变化规律对研究海潮与固体潮的相互关系, 地壳和上地幔构造以及地壳的构造运动都具有十分重要的意义.

二、重力固体潮观测结果的调和分析方法

目前主要采用的调和分析方法有勒卡拉兹 (Lecolazet) 方法和维涅第科夫 (Venedikov) 方法. 我们在北京大学计算中心 DJS-18 计算机上对上述两种方法的精度进行了检验. 检验结果分述如下:

1. 勒卡拉兹调和分析方法

勒卡拉兹调和分析方法只考虑振幅大于 0.2 微伽的 27 个半日波和 52 个日波. 他根据坐标组合理论, 利用日波和半日波的角频率不同, 对连续 715 个整点观测值在间隔 21 小时的点上进行不同的日组合, 得出半日波系列和日波系列, 从观测值中将 27 个半日波与 52 个日波分开. 然后对半日波系列和日波系列进行月组合, 对组合结果再解线性方程组, 从 27 个半日波和 52 个日波中求出 5 个主要半日波波群 M_2 、 S_2 、 N_2 、 L_2 、 $2N_2$ 和 5 个主要日波波群 K_1 、 O_1 、 Q_1 、 M_1 、 J_1 在观测中心点的潮汐因子 δ 和位相差 $\Delta\sigma$.

我们首先用郎曼 (Longman) 公式计算出 $\varphi = 40.^\circ 1$, $\lambda = 116.^\circ 1$ 点上的自 1977 年 1 月 1 日起共 210 天的重力固体潮整点值, 然后利用勒卡拉兹方法对计算结果进行调和分析. 每次将调和分析的中心点平移一日, 共得出 180 组结果. 180 组结果中各个分波群的潮汐因子 δ 和位相差 $\Delta\sigma$ 的最大值和最小值及变化范围和平均值如表 2 所示

表 2-1 勒卡拉兹方法检验结果 (日波)

日 波	K_1		O_1		Q_1		M_1		J_1	
	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
最大值	1.012	0.8	1.019	0.4	1.080	4.3	1.146	37.3	1.187	90.7
最小值	0.998	0.0	0.992	-0.8	0.950	-3.7	0.770	-18.6	0.612	-59.7
变化幅度	0.014	0.8	0.027	1.2	0.130	8.0	0.376	65.9	0.579	160.4
平均值	1.003	0.2	1.003	-0.2	0.986	0.0	0.995	2.7	0.990	-0.4

从表 2 中可以看出, 勒卡拉兹方法对 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 、 O_1 这五个振幅较大的分波群来说, 确定潮汐因子 δ 的精度约为 1%, 位相差 $\Delta\sigma$ 的精度约为 1° , 因为其他五个波群的振

表 2-2 勒卡拉兹方法检验结果(半日波)

半日波	M_2		S_2		N_2		L_2		$2N_2$	
	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
最大值	1.006	0°6	1.012	0°8	1.061	4°0	1.214	15°0	1.460	27°7
最小值	1.000	0°0	0.996	-0.1	0.961	-2.0	0.864	-3.9	0.795	-80.7
变化幅度	0.006	0.6	0.016	0.9	0.100	6.0	0.150	18.9	0.665	108.4
平均值	1.004	0.3	1.004	0.3	0.993	-0.9	0.998	1.0	0.858	1.7

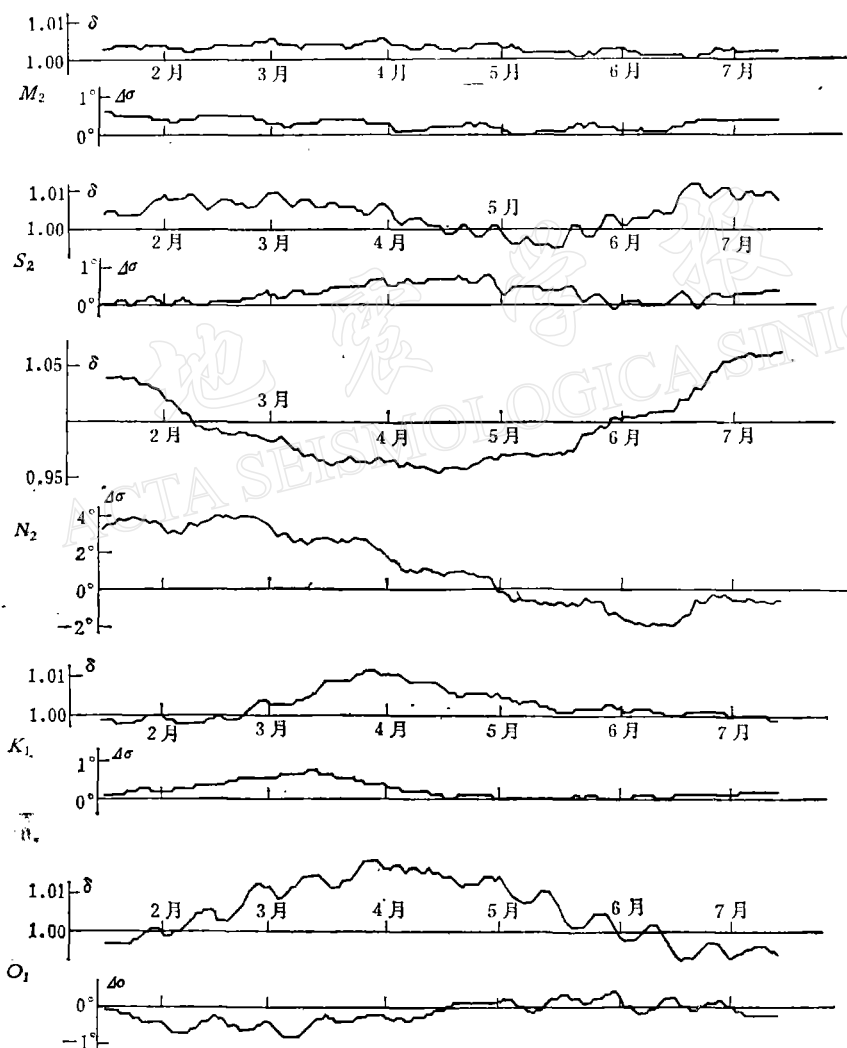


图 2 勒卡拉兹方法检验结果

幅较小,勒卡拉兹方法分析的结果精度较低。

同时,对 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 、 O_1 五个波群来说,勒卡拉兹方法给出的中心点的潮汐因子 δ 和位相差 $\Delta\sigma$ 与时间有关,它们与时间的关系如图 2 所示。

2. 维涅第科夫方法

和勒卡拉兹方法一样,维涅第科夫方法只考虑振幅超过 0.2 微伽的 27 个半日波和 52 个日波. 此方法对资料长度没有限制,只要求 48 小时内观测资料连续,而每 48 小时之间的数据可以间断. 维涅第科夫根据半日波和日波的角频率不同,对连续 48 小时的数据进行不同的滤波,将 27 个半日波和 52 个日波分开. 每连续 48 小时观测数据经滤波后提供两个方程,一个与 27 个半日波有关,另外一个与 52 个日波有关. 维涅第科夫将角频率接近的波合并成一个波群,并假定每个波群内的各组分波潮汐因子和位相差相同. 他将 27 个半日波合并成 5 个波群,将 52 个日波合并成 6 个波群. 若资料长度为 n 个 48 小时,则给出 $2n$ 个方程,未知数为 $2p$ 个(半日波的 $p=5$, 日波的 $p=6$). 若 $n>p$, 用最小二乘法解线性方程组,分别求出 5 个半日波波群和 6 个日波波群的潮汐因子 δ 和位相差 $\Delta\sigma$.

表 3-1 维涅第科夫方法检验结果(日波)

资料 长度	变化范围 及平均值	$Q_1(1-11)$		$O_1(12-21)$		$M_1(22-29)$		$K_1(30-40)$		$J_1(41-45)$		$OO_1(46-52)$	
		δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
30 天 180 组 结果	最大值	1.052	2.4	1.019	0.1	1.213	14.8	1.012	0.6	1.065	7.5	1.426	15.9
	最小值	0.937	-5.4	0.994	-0.9	0.971	9.0	0.997	-0.2	0.937	-0.2	0.865	-11.4
	变化幅度	0.115	7.8	0.025	1.0	0.242	5.8	0.015	0.8	0.128	7.7	0.561	27.3
	平均值	0.984	-1.7	1.007	-0.5	1.068	12.2	1.003	0.1	0.995	3.9	1.037	4.0
90 天 180 组 结果	最大值	1.026	0.8	1.015	-0.1	1.170	14.8	1.007	0.2	1.035	6.4	1.146	11.8
	最小值	0.952	-4.4	0.999	-0.8	0.998	10.6	0.999	-0.1	0.962	1.9	0.902	-6.9
	变化幅度	0.074	5.2	0.016	0.7	0.172	4.2	0.008	0.3	0.073	4.5	0.244	18.7
	平均值	0.983	-2.0	1.006	-0.4	1.073	12.7	1.002	0.0	0.992	4.0	0.993	3.8
180 天 180 组 结果	最大值	0.988	-1.0	1.007	0.2	1.102	14.5	1.003	0.1	1.002	4.9	0.985	58
	最小值	0.972	-2.4	1.005	-0.5	1.042	12.1	1.001	-0.1	0.979	2.5	0.934	2.6
	变化幅度	0.016	1.4	0.002	0.7	0.060	2.4	0.002	0.2	0.023	2.4	0.051	3.2
	平均值	0.979	-1.8	1.006	-0.2	1.074	13.3	1.002	0.0	0.989	3.7	0.961	4.0

表 3-2 维涅第科夫方法检验结果(半日波)

资料 长度	变化范围 及平均值	$2N_2(1-5)$		$N_2(6-9)$		$M_2(10-14)$		$L_2(15-19)$		$S_2(20-27)$	
		δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
30 天 180 组 结果	最大值	0.873	25.6	1.055	4.3	1.006	0.3	1.173	12.4	1.012	0.4
	最小值	0.370	-55.4	0.951	-2.6	1.000	-0.3	0.915	-2.3	0.995	-0.5
	变化幅度	0.503	81.0	0.104	6.9	0.006	0.6	0.258	14.7	0.017	0.9
	平均值	0.800	-3.1	0.988	0.7	1.003	0.0	0.997	5.0	1.004	0.0
90 天 180 组 结果	最大值	0.847	15.3	1.048	3.1	1.005	0.4	1.048	9.2	1.009	0.2
	最小值	0.572	-12.1	0.958	-1.6	1.001	-0.2	0.937	-0.4	0.999	-0.2
	变化幅度	0.275	27.4	0.090	4.7	0.004	0.6	0.111	9.6	0.010	0.4
	平均值	0.790	0.3	0.992	0.5	1.003	0.0	0.984	5.4	1.004	0.0
180 天 180 组 结果	最大值	0.837	4.0	1.005	1.4	1.003	0.4	0.996	6.3	1.005	0.2
	最小值	0.772	-1.1	0.979	0.2	1.002	-0.1	0.962	2.7	1.003	0.0
	变化幅度	0.065	5.1	0.026	1.6	0.001	0.5	0.034	9.0	0.002	0.2
	平均值	0.807	1.6	0.994	0.7	1.003	0.2	0.980	4.9	1.004	0.1

为了检验维涅第科夫方法的精度, 我们用郎曼公式计算出 $\varphi = 40.1^\circ$, $\lambda = 116.1^\circ$ 点上的自 1977 年 1 月 1 日起的重力固体潮整点值, 然后用维涅第科夫方法对计算结果进行调和分析。资料长度分别取为 1 个月、3 个月和半年, 起始点每次向后平移 24 小时, 对上述三个不同的资料长度各得 180 组分析结果。所得结果如表 3 所示。

从表 3 可以看出, 维涅第科夫方法的精度与资料长度有关。一般来说, 资料越长, 精度越高。当资料长度取为 90 天时, M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 、 O_1 潮汐因子 δ 的精度为 1%, 位相差 $\Delta\sigma$ 的精度约为 0.5° , 且 δ 与 $\Delta\sigma$ 不随时间波动。

三、上海 1978 年 4 至 8 月共计 142 日重力固体潮观测结果的调和分析

上海重力固体潮台站位于 $\varphi = 31.1^\circ$, $\lambda = 121.2^\circ$ 。阿斯卡尼亚 GS-15 No. 227 重力仪安置在山洞内的混凝土墩子上。混凝土墩子离洞口约 100 米, 洞顶岩石厚度约 30 米。为了防止潮湿的影响, 重力仪密封在有机玻璃罩内。洞内平均温度为 18.8°C , 年温差为 0.3°C 。记录室位于山洞外, 离重力仪约 200 米。

曾于 1977 年 12 月 18 日和 1978 年 10 月 23 日利用磁标定装置对重力仪的记录格值两次进行标定。磁标定常数为 320.8 微伽/毫米。磁标定结果如表 4 所示。

表 4-1 1977 年 12 月 18 日磁标定结果

时 间	输入电流 (微安)	读 数 n (毫米)	读数差 Δn (毫米)	固体潮改正 (微伽)	Δg (微伽)	$C = \Delta g / \Delta n$ 微伽/毫米
08 ^h	-500	36.9				
09 ^h	+500	152.3	115.4	+18.5	339.3	2.962
10 ^h	-500	51.1	101.2	-20.1	299.3	2.958
11 ^h	+500	165.8	114.7	+17.5	338.3	2.949
12 ^h	-500	62.0	103.8	-10.7	310.1	2.994
13 ^h	+500	169.8	107.8	+1.2	322.0	2.987
14 ^h	-500	57.9	111.9	+9.5	330.3	2.952
15 ^h	+500	155.3	97.4	-18.8	302.0	3.101
16 ^h	-500	57.3	118.0	+24.6	345.4	2.927

注: $C = 2.979 \pm 0.019$ 微伽/毫米

表 4-2 1978 年 10 月 23 日磁标定结果

时 间	输入电流 (微安)	读 数 n (毫米)	读数差 Δn (毫米)	固体潮改正 (微伽)	Δg (微伽)	$C = \Delta g / \Delta n$ 微伽/毫米
17 ^h	-500	41.3				
18 ^h	+500	147.2	105.9	-1.5	319.3	3.015
19 ^h	-500	40.6	106.6	-0.5	320.3	3.005
20 ^h	+500	147.8	107.2	+1.5	322.3	3.007
21 ^h	-500	42.1	105.7	-1.0	319.8	3.025
22 ^h	+500	148.6	106.5	-1.0	319.8	3.003
23 ^h	-500	40.7	107.9	+3.2	324.0	3.003

注: $C = 3.010 \pm 0.004$ 微伽/毫米

表 5 勒卡拉兹方法分析结果

日 期 年.月.日	M_2		S_2		N_2		K_1		O_1	
	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
1978.4.17	1.154	-0.2	1.154	2.0	1.242	0.2	1.148	0.6	1.167	-1.4
18	1.152	0.1	1.180	0.8	1.196	-0.6	1.152	0.7	1.131	0.8
19	1.163	-0.1	1.170	1.1	1.239	2.6	1.186	0.7	1.174	0.9
20	1.153	0.6	1.156	2.3	1.206	-2.7	1.173	1.0	1.195	-0.6
21	1.171	0.3	1.156	1.0	1.190	1.8	1.155	1.0	1.143	-0.1
22	1.158	0.8	1.152	2.8	1.210	-0.2	1.175	1.1	1.156	1.9
23	1.161	1.1	1.156	2.5	1.106	-0.5	1.178	0.4	1.209	1.2
24	1.156	0.3	1.130	1.8	1.201	1.9	1.147	0.9	1.175	-0.8
25	1.153	0.8	1.154	1.6	1.141	1.3	1.148	0.7	1.152	0.5
26	1.167	0.6	1.135	2.4	1.194	-0.2	1.171	0.8	1.183	2.0
27	1.157	0.7	1.149	2.5	1.208	-1.1	1.165	2.2	1.192	1.1
28	1.155	1.1	1.150	2.5	1.155	-1.6	1.166	2.0	1.179	0.5
29	1.157	0.9	1.160	2.1	1.208	-1.6	1.173	1.2	1.181	1.6
30	1.154	1.1	1.154	2.6	1.191	-1.4	1.175	1.3	1.192	1.4
5.1	1.152	1.2	1.158	2.0	1.196	-1.7	1.169	2.2	1.195	0.4
2	1.146	1.0	1.158	2.1	1.220	-2.3	1.172	1.4	1.180	1.0
3	1.154	1.3	1.164	2.0	1.205	-1.6	1.169	1.2	1.202	0.8
4	1.148	1.0	1.163	2.4	1.227	-1.6	1.167	1.7	1.189	1.2
5	1.151	1.2	1.159	2.1	1.171	-0.7	1.168	1.6	1.186	1.1
6	1.152	1.0	1.165	1.9	1.226	-1.7	1.166	1.3	1.193	1.1
7	1.150	1.1	1.165	2.7	1.217	-1.4	1.172	1.5	1.196	1.4
8	1.147	1.2	1.161	2.0	1.208	-0.4	1.176	1.8	1.191	0.7
9	1.143	0.9	1.159	2.2	1.179	3.2	1.173	1.2	1.185	0.7
10	1.146	1.0	1.153	1.2	1.185	-2.5	1.173	1.0	1.193	0.8
11	1.143	0.5	1.144	1.8	1.184	-3.8	1.176	1.4	1.184	0.2
12	1.145	0.5	1.133	1.4	1.172	-4.0	1.181	1.2	1.189	0.0
13	1.145	0.3	1.135	1.6	1.167	-4.3	1.171	0.7	1.190	-0.6
14	1.150	0.2	1.132	1.6	1.198	-5.4	1.171	0.9	1.180	0.1
15	1.146	0.4	1.130	1.4	1.176	-4.1	1.178	1.1	1.198	0.2
16	1.146	0.2	1.139	1.5	1.196	-4.9	1.176	0.3	1.206	-0.2
17	1.147	0.1	1.131	1.9	1.163	-4.2	1.164	0.2	1.197	0.2
18	1.150	0.2	1.130	1.5	1.179	-3.5	1.174	0.8	1.203	0.4
19	1.149	0.4	1.133	1.4	1.167	-4.5	1.176	0.6	1.206	0.3
20	1.145	0.2	1.129	1.4	1.179	-4.0	1.166	0.2	1.206	0.1
21	1.150	0.2	1.131	1.0	1.203	-5.1	1.170	0.6	1.190	0.6
22	1.146	0.4	1.126	1.1	1.186	-4.2	1.177	0.4	1.197	1.0
23	1.146	0.3	1.128	1.0	1.206	-4.5	1.171	0.0	1.197	0.5
24	1.144	0.1	1.119	0.6	1.186	3.5	1.163	0.2	1.189	0.5
25	1.146	0.2	1.117	0.5	1.193	-3.2	1.170	0.1	1.189	0.4
26	1.147	0.0	1.111	-0.2	1.191	-3.3	1.171	-0.4	1.190	0.2
27	1.145	0.2	1.113	0.5	1.179	-3.5	1.165	-0.4	1.200	-0.1
28	1.151	-0.1	1.098	-0.2	1.186	-3.3	1.167	0.1	1.185	0.1
29	1.145	0.1	1.101	0.2	1.181	-3.1	1.173	-0.3	1.204	0.4
30	1.150	0.0	1.113	-0.1	1.175	-2.5	1.167	-0.6	1.209	-0.1
31	1.143	-0.1	1.100	0.5	1.186	-2.5	1.162	0.0	1.193	-0.2

续表

日 期 年·月·日	M_2		S_2		N_2		K_1		O_1	
	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
6. 1	1.146	0.1	1.108	0.3	1.163	-3.0	1.171	0.1	1.193	0.1
2	1.142	-0.1	1.106	-0.3	1.182	-1.8	1.172	-0.5	1.211	0.1
3	1.144	0.1	1.104	0.5	1.168	2.0	1.161	-0.3	1.206	-0.4
4	1.145	-0.1	1.101	-0.8	1.176	-0.6	1.163	0.2	1.185	0.5
5	1.141	0.2	1.097	0.0	1.170	-2.1	1.172	-0.2	1.210	0.3
6	1.143	0.1	1.111	-0.5	1.167	-1.0	1.166	-0.4	1.227	0.0
7	1.138	0.1	1.093	0.9	1.200	0.2	1.164	0.3	1.208	0.0
8	1.145	0.3	1.105	0.7	1.165	-0.3	1.170	0.5	1.195	0.7
9	1.135	0.2	1.089	0.9	1.179	0.0	1.168	0.0	1.211	1.0
10	1.146	0.5	1.127	1.5	1.164	0.9	1.162	0.0	1.213	-0.2
11	1.137	-0.1	1.092	0.6	1.203	0.3	1.168	0.4	1.187	1.0
12	1.147	0.4	1.091	0.8	1.199	0.9	1.182	0.5	1.204	1.9
13	1.151	-0.2	1.091	-0.3	1.210	1.2	1.179	0.1	1.206	1.3
14	1.138	0.0	1.074	1.1	1.203	-0.8	1.166	-0.1	1.208	0.4
15	1.160	0.4	1.105	-0.2	1.252	2.3	1.167	0.3	1.202	1.8
16	1.141	-0.4	1.066	1.7	1.211	-1.6	1.185	0.4	1.220	1.8
17	1.155	0.4	1.106	-0.1	1.211	2.9	1.168	-0.3	1.207	1.0
18	1.146	-0.4	1.078	0.8	1.241	-0.9	1.159	0.2	1.220	1.5
19	1.153	0.6	1.075	1.4	1.197	0.3	1.171	0.8	1.229	1.9
20	1.159	0.3	1.072	1.2	1.217	0.1	1.171	0.6	1.228	1.9
21	1.139	0.8	1.043	3.7	1.164	-3.4	1.156	0.6	1.226	2.0
22	1.161	1.2	1.082	3.4	1.210	-0.9	1.161	1.2	1.233	3.3
23	1.137	0.6	1.035	5.9	1.188	6.3	1.183	1.4	1.216	3.6
24	1.156	1.6	1.072	4.6	1.188	-2.0	1.164	0.8	1.207	3.1
25	1.141	0.8	1.044	6.0	1.210	5.2	1.154	1.3	1.215	2.9
26	1.143	1.5	1.059	5.7	1.185	-3.6	1.163	1.6	1.210	3.1
27	1.152	1.0	1.070	4.5	1.246	-3.7	1.166	1.3	1.192	2.7
28	1.134	1.4	1.047	5.5	1.202	-5.3	1.155	0.9	1.202	2.5
29	1.156	1.9	1.099	4.0	1.232	-1.3	1.157	1.3	1.221	3.3
30	1.129	1.0	1.045	5.0	1.210	-5.3	1.168	1.7	1.202	2.0
7. 1	1.152	2.0	1.099	4.2	1.219	-2.3	1.157	1.0	1.185	2.6
2	1.137	1.1	1.060	4.8	1.226	-4.6	1.156	1.1	1.224	3.0
3	1.138	2.1	1.068	4.5	1.198	-2.4	1.155	1.4	1.208	2.7
4	1.144	1.5	1.069	3.9	1.259	-1.9	1.160	1.2	1.186	2.4
5	1.125	1.9	1.035	4.2	1.201	-3.8	1.150	1.0	1.190	3.5
6	1.145	2.3	1.067	3.8	1.221	0.2	1.148	1.4	1.237	3.9
7	1.122	1.6	1.016	5.5	1.189	-2.5	1.159	1.6	1.179	2.5
8	1.135	2.8	1.072	4.4	1.200	0.4	1.150	1.2	1.176	4.5
9	1.129	1.9	1.044	6.4	1.188	-1.8	1.147	1.4	1.216	3.6
10	1.126	2.6	1.064	6.1	1.141	1.1	1.143	1.4	1.199	2.7
11	1.129	2.7	1.072	6.4	1.155	-0.5	1.144	1.3	1.174	2.7
12	1.118	2.9	1.077	6.3	1.153	-0.9	1.149	1.7	1.174	3.4
13	1.122	2.7	1.086	6.9	1.116	-1.1	1.151	1.5	1.201	3.2
14	1.120	2.6	1.078	6.2	1.126	-0.9	1.147	1.2	1.180	2.0
15	1.123	2.9	1.079	6.7	1.119	1.4	1.151	1.4	1.154	3.1

续表

日 期 年·月·日	M_2		S_2		N_2		K_1		O_1	
	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
16	1.121	2.6	1.080	6.6	1.158	-0.5	1.156	1.5	1.185	2.9
17	1.117	2.6	1.077	6.5	1.124	0.3	1.150	1.2	1.178	2.0
18	1.120	2.4	1.088	6.3	1.135	0.1	1.150	1.0	1.163	2.1
19	1.115	2.4	1.089	5.0	1.173	0.5	1.158	1.2	1.163	2.2
20	1.119	1.9	1.103	5.0	1.159	1.4	1.155	0.7	1.184	1.9
21	1.120	1.7	1.100	3.9	1.165	2.1	1.146	0.7	1.174	1.3
22	1.125	2.0	1.105	4.6	1.147	1.7	1.154	1.0	1.170	2.6
23	1.128	1.8	1.115	4.5	1.170	0.9	1.159	1.0	1.184	2.2
24	1.125	2.2	1.115	4.3	1.150	0.9	1.158	0.9	1.175	2.9
25	1.129	2.0	1.124	4.5	1.151	0.8	1.163	0.8	1.167	3.2
26	1.129	2.4	1.130	3.7	1.161	0.2	1.170	0.9	1.177	2.1
27	1.127	2.3	1.130	4.4	1.162	0.5	1.163	0.7	1.171	2.5
28	1.128	2.3	1.130	3.8	1.174	-0.1	1.161	0.9	1.164	2.7
29	1.130	2.5	1.123	3.5	1.182	0.3	1.162	1.2	1.173	2.5
30	1.131	2.3	1.128	3.6	1.179	-0.4	1.164	1.0	1.182	2.0
31	1.128	2.6	1.120	3.4	1.181	-0.2	1.164	1.0	1.176	2.6
8. 1	1.133	2.3	1.119	3.7	1.183	-0.6	1.163	1.1	1.181	2.6
2	1.131	2.7	1.123	3.6	1.193	0.3	1.167	1.2	1.189	2.1
3	1.133	2.7	1.114	4.5	1.193	0.4	1.163	0.9	1.183	2.2
4	1.132	2.6	1.122	4.1	1.208	0.2	1.158	1.2	1.174	3.0
5	1.135	2.7	1.115	4.3	1.213	0.7	1.159	1.4	1.179	2.6
6	1.136	2.4	1.127	4.1	1.217	0.3	1.156	1.2	1.172	2.2
7	1.134	2.7	1.123	3.9	1.220	0.0	1.157	1.3	1.165	3.1
平 均 值	1.142	1.1	1.110	2.7	1.188	1.4	1.164	0.8	1.192	1.5
均方根误差	± 0.001	± 0.1	± 0.003	± 0.2	± 0.003	± 0.2	± 0.001	± 0.1	± 0.002	± 0.1

在将近一年的时间内,记录格值变化很小。我们选取了自 1978 年 4 月 2 日至 8 月 21 日共计 142 日的连续观测结果。此段时间内的记录格值取为 2.99 微伽/毫米。首先用别尔采夫方法计算出零点飘移值,对消除零点飘移的观测结果用勒卡拉兹方法进行调和和分析。分析中心点每次向后平移一日,共得 143 组分析结果。主要潮汐波 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 、 O_1 的结果如表 5 所示。

对此时间间隔的观测结果同样用维涅第科夫方法进行了调和和分析,分析结果如表 6 所示。

表 6-1 维涅第科夫方法分析结果(日波)

$Q_1(1-11)$		$O_1(12-21)$		$M_1(22-29)$		$K_1(30-40)$		$J_1(41-45)$		$OO_1(46-52)$	
δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
1.163	2.5	1.189	1.2	1.627	-6.2	1.166	0.7	1.143	-8.4	0.916	0.5
± 0.044	± 2.2	± 0.009	± 0.4	± 0.148	± 5.2	± 0.005	± 0.2	± 0.109	± 5.5	± 0.402	25.2

表 6-2 维涅第科夫方法分析结果 (半日波)

$2N_2(1-5)$		$N_2(6-9)$		$M_2(10-14)$		$L_2(15-19)$		$S_2(20-27)$	
δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
1.280	-3.4	1.190	1.2	1.142	0.8	1.232	11.1	1.132	2.4
± 0.118	± 5.3	± 0.024	± 0.1	± 0.005	± 0.2	± 0.103	± 4.8	± 0.011	± 0.5

四、结 论

1. 勒卡拉兹方法和维涅第科夫方法对主要潮汐波 M_2 、 S_2 、 N_2 、 K_1 和 O_1 来说, 给出的结果比较接近。其结果如表 7 所示。

表 7 勒卡拉兹方法和维涅第科夫方法分析结果的比较

分析 方法	M_2		S_2		N_2		K_1		O_1	
	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$	δ	$\Delta\sigma$
勒卡拉兹	1.142	1.1	1.110	2.7	1.188	1.4	1.164	0.8	1.192	1.5
	± 0.001	± 0.1	± 0.003	± 0.2	± 0.003	± 0.2	± 0.001	± 0.1	± 0.002	± 0.1
维涅第科夫	1.142	0.8	1.132	2.4	1.190	-1.2	1.166	0.7	1.189	1.2
	± 0.005	± 0.2	± 0.011	± 0.5	± 0.024	± 0.1	± 0.005	± 0.2	± 0.009	± 0.4

2. 勒卡拉兹方法给出的上海 O_1 波的潮汐因子 $\delta(O_1)$ 与 K_1 波的潮汐因子 $\delta(K_1)$ 的差为

$$\delta(O_1) - \delta(K_1) = 0.028$$

而维涅第科夫方法给出的 $\delta(O_1) - \delta(K_1)$ 为

$$\delta(O_1) - \delta(K_1) = 0.023$$

所有计算工作是在北京大学计算中心 DJS-18 计算机上完成的。在工作过程中得到国家地震局地球物理研究所刘克人同志的支持和帮助, 在此一并致谢。

参 考 文 献

- [1] I. M. Longman, Formulas for computing the tidal accelerations due to the Moon and the Sun, *J. G. R.*, 64, 12, 1959.
- [2] Henry N. Pollack, Longman tidal formulas: resolution of horizontal components, *J. G. R.*, 78, 14, 1973.
- [3] P. Melchior, J. T. Kuo and B. Ducarme, Earth tide gravity maps for western europe, *Physics of the earth and planetary interiors*, 13, 3, 1976.
- [4] P. Melchior, The tides of the planet earth 1978.

HARMONIC ANALYSIS OF THE GRAVITY TIDAL DATA OBSERVED AT THE SHANGHAI STATION FROM APRIL TO AUGUST, 1978

WU QING-PENG YU SHU-JUN

(Geophysical Department, Peking University)

ZHOU JIA-QING

(Seismological Bureau of Shanghai)

Abstract

The shanghai gravity tidal station is located at $\varphi=31.1^{\circ}\text{N}$, $\lambda=112^{\circ}.2\text{E}$, using a gravimeter type GS-15 No. 227 installed in a tunnel. The annual mean temperature in the tunnel is 18.8°C , the annual deviation of which is 0.3°C . The scale value of the gravimeter is $2.99 \mu\text{gal/mm}$. The data continuously observed from April to August in 1978 (142 days) were analysed by both the methods of Lecolazet and Venedikov. The results of analysis by the method of Lecolazet are as follows: $\delta(M_2) = 1.142$, $\delta(K_1) = 1.164$, $\delta(O_1) = 1.192$, $\delta(O_1) - \delta(K_1) = 0.028$, while that by the method of Venedikov are: $\delta(M_2) = 1.142$, $\delta(K_1) = 1.166$, $\delta(O_1) = 1.189$, $\delta(O_1) - \delta(K_1) = 0.023$.

Besides, the accuracy of methods of Lecolazet and Venedikov were tested on the electronic computer DJS-18 of the Peking university. The test results are as follows:

(1) For method of Lecolazet, the accuracy of determination of gravimetric factor δ of the main waves M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 , is about 1%, while the accuracy of determination of the phase difference of the same main wave is about 1° .

(2) For method of Venedikov, the accuracy of analysis depends on the length of the observational data, in general the longer the data, the more accurate the result. When the length of the data is 90 days, the accuracy of determination of the gravimetric factor δ of the main waves M_2 , S_2 , N_2 , K_1 , O_1 is about 1% the accuracy of determination of phase difference of the same main wave is about 0.5° .