

# 基于全球超导重力仪观测资料考虑液核近周日共振效应的固体潮实验模型

孙和平<sup>①</sup> 徐建桥<sup>①</sup> B. Ducarme<sup>②</sup>

①中国科学院测量与地球物理研究所动力大地测量学重点实验室, 武汉 430077; ②Royal Observatory of Belgium, B-1180, Brussels, Belgium. E-mail: heping@asch.whigg.ac.cn

**摘要** 基于全球地球动力学合作观测网络 20 个台站 28 个系列的高精度每分钟高密度采样超导重力仪观测数据, 精密测定了地球液核近周日共振参数(包括共振周期, 共振强度和品质因子), 研究了共振周期与理论值间的差异, 用重力手段证明了真实地球液核动力学扁率要比流体静力平衡假设下获得的动力学扁率大约 5% 的重要结论. 构制了考虑液核共振效应的重力固体潮汐实验模型, 3 个实验模型间的差异小于 0.1%, 与目前广泛使用的 Dehant(1999)和 Mathews(2001)理论模型间的最大差异仅为 0.4%, 可为全球固体潮、大地测量研究和空间技术等提供最新的重力潮汐实测参考模型.

**关键词** 地球液核近周日共振 全球超导重力仪观测 液核动力学扁率 固体潮实验模型

研究表明由于地球核幔边界的地形起伏效应, 固态地幔和液态地核在空间运动的旋转瞬轴不重合, 从而产生一个逆向自由核章动(FCN)本征模. 在地固参考系中表现为地球近周日自由摆动(NDFW)现象<sup>[1,2]</sup>. 由于 FCN 的存在, 重力固体潮周日频段内的 P1, K1,  $\psi_1$  和  $\phi_1$  波的振幅将出现共振放大. 近年来国内外同行在理论模拟和实验观测方面做了许多有益的工作<sup>[2-4]</sup>. 基于给定的地球模型, Wahr 等人<sup>[5]</sup>和 Mathews<sup>[6]</sup>通过对地球角动量方程的数值积分, 获得 FCN 共振周期的范围从 455.8 到 467.4 恒星日(sd)不等. 然而近年来用地表重力和章动潮汐观测获得的 FCN 共振周期与理论值间的差异高达 30 sd, 况且在不同地区利用不同观测手段获得的 FCN 共振参数(包括共振周期, 共振强度,  $Q$  值)间的差异也很大. 因此有必要利用同一方法和全球分布的高精度超导重力仪观测对 FCN 现象作较系统深入的研究. 本项工作基于国际地球潮汐中心收集到的全球地球动力学合作观测与研究网络(GGP)超导重力仪观测资料, 先实施大气干扰改正, 然后精密测定地球潮汐常数(包括振幅因子和相位滞后). 利用最新的多种海潮模型实施海洋负荷效应改正, 研究 FCN 共振现象, 精密测定 FCN 共振参数. 最后构制考虑液核共振效应的重力潮汐实测模型, 旨在为全球高精度固体潮研究, 大地测量, 地球物理和空间技术等提供最新的参考模型.

## 1 数据准备

国际地球动力学合作观测与研究项目始于 1997

年, GGP 组织规定使用统一的由美国生产的 GWR 超导重力仪, 安装统一的数据采集设备, 使用统一的中央传感器和低通滤波器. 对获得的观测数据使用相同的国际标准数据处理方法<sup>[7,8]</sup>. 本项工作首次在国际上系统使用了 GGP 网络 20 个台站 28 个系列超导重力仪高精度和高密度采样的观测数据, 表 1 给出了不同台站观测周期和长度情况. 由表 1 可知所用观测资料的总长度为 806673.36 小时(合约 92.1 年). 将捷克 Pecny 台站的弹簧型重力仪观测列入本研究的主要考虑是其地域的重要性和该台站低噪音和高质量数据<sup>[9]</sup>. 对原始观测实施仔细的预处理, 将观测残差和台站气压信号作回归处理, 获得大气重力导纳值(表 1), 用此导纳值从原始潮汐重力记录中扣除气压效应<sup>[10]</sup>. 为了不同台站观测数据质量的评估和比较, 表 1 还给出了潮汐数据分析结果的标准差, 标准差越低说明台站背景噪音越小, 观测资料质量越高.

在数据处理中, 首先在潮汐记录中扣除理论模拟信号获得观测残差系列, 利用 Tsoft 软件的可视界面删除残差系列中的尖峰、脉冲、地震信号和阶跃等干扰成份<sup>[11]</sup>. 基于同一台站潮汐重力模拟信号对由于供电或仪器故障造成的短时间数据缺失进行填补. 最后利用消除-恢复法获得经消除各种干扰后的潮汐观测, 经滤波处理后得到每小时观测值<sup>[10,12]</sup>. 由于各台站观测数据长度均超过 1 年, 因此在周日波频段内可精确分离包括反映地球液核共振效应的  $\psi_1$  和  $\phi_1$  波等小波在内的 13 个潮汐分量.

表 1 全球超导重力仪观测周期情况、大气重力导纳值和潮汐分析标准差<sup>a)</sup>

	台站名	观测周期(年-月-日 ~ 年-月-日)	观测长度/d	大气重力导纳值/m·s <sup>-2</sup> ·hPa <sup>-1</sup>	标准差/m·s <sup>-2</sup>
1	Bandung/印度尼西亚	1997-12-19 ~ 1999-12-31	419.458	(-3.52388±0.24265) × 10 <sup>-9</sup>	7.450 × 10 <sup>-9</sup>
2	Brussels/比利时	1982-04-21 ~ 2000-08-21	6660.500	(-3.46703±0.00487) × 10 <sup>-9</sup>	1.743 × 10 <sup>-9</sup>
3	Boulder/美国	1998-01-10 ~ 2001-05-31	1225.500	(-3.56787±0.01739) × 10 <sup>-9</sup>	2.469 × 10 <sup>-9</sup>
4	Brasimone/意大利	1992-08-01 ~ 2000-02-01	1427.500	(-3.01877±0.03039) × 10 <sup>-9</sup>	2.954 × 10 <sup>-9</sup>
5	Cantley/加拿大	1989-11-07 ~ 1999-09-30	2386.583	(-3.29287±0.00579) × 10 <sup>-9</sup>	1.443 × 10 <sup>-9</sup>
6	Canberra/澳大利亚	1997-07-01 ~ 1999-12-31	890.083	(-3.39208±0.01031) × 10 <sup>-9</sup>	0.776 × 10 <sup>-9</sup>
7	Esashi/日本	1997-07-01 ~ 1999-12-31	875.125	(-3.54941±0.01087) × 10 <sup>-9</sup>	1.286 × 10 <sup>-9</sup>
8	Kyoto/日本	1997-07-01 ~ 1999-12-31	686.208	(-3.18324±0.03823) × 10 <sup>-9</sup>	3.323 × 10 <sup>-9</sup>
9	Matsushiro/日本	1997-05-01 ~ 1999-12-31	880.542	(-4.64847±0.00847) × 10 <sup>-9</sup>	0.954 × 10 <sup>-9</sup>
10	Membach/比利时	1995-08-04 ~ 2000-05-31	1727.958	(-3.28637±0.00591) × 10 <sup>-9</sup>	1.007 × 10 <sup>-9</sup>
11	Metsahovi/芬兰	1994-08-11 ~ 2000-06-30	1614.292	(-3.65359±0.00698) × 10 <sup>-9</sup>	1.299 × 10 <sup>-9</sup>
12	Moxa/德国/lo	2000-01-01 ~ 2001-08-31	579.167	(-3.30067±0.00645) × 10 <sup>-9</sup>	0.536 × 10 <sup>-9</sup>
13	Moxa/德国/up	2000-01-01 ~ 2001-08-31	580.500	(-3.34005±0.00767) × 10 <sup>-9</sup>	0.638 × 10 <sup>-9</sup>
14	Moxa/德国/all	2000-01-01 ~ 2001-08-31	1159.667	(-3.32027±0.00502) × 10 <sup>-9</sup>	0.590 × 10 <sup>-9</sup>
15	Pecny/捷克	1997-10-31 ~ 1999-01-03	412.167	(-4.89444±0.01312) × 10 <sup>-9</sup>	0.887 × 10 <sup>-9</sup>
16	Potsdam/德国	1992-06-30 ~ 1998-10-08	2250.083	(-3.31310±0.00420) × 10 <sup>-9</sup>	0.855 × 10 <sup>-9</sup>
17	Strasbourg/法国/od	1987-07-11 ~ 1996-06-25	3272.042	(-3.12839±0.00991) × 10 <sup>-9</sup>	2.265 × 10 <sup>-9</sup>
18	Strasbourg/法国/nw	1997-03-01 ~ 1999-07-31	816.708	(-3.39355±0.00740) × 10 <sup>-9</sup>	0.797 × 10 <sup>-9</sup>
19	Sutherland/南非/lo	2000-03-27 ~ 2001-08-01	492.375	(-2.86645±0.01679) × 10 <sup>-9</sup>	0.656 × 10 <sup>-9</sup>
20	Sutherland/南非/up	2000-09-30 ~ 2001-08-01	305.208	(-2.71681±0.02272) × 10 <sup>-9</sup>	0.678 × 10 <sup>-9</sup>
21	Sutherland/南非/all	2000-03-27 ~ 2001-08-01	797.583	(-2.81170±0.01360) × 10 <sup>-9</sup>	0.671 × 10 <sup>-9</sup>
22	Syowa/南极	1997-07-01 ~ 1998-12-31	548.333	(-4.11511±0.00934) × 10 <sup>-9</sup>	1.103 × 10 <sup>-9</sup>
23	Vienna/澳大利亚	1997-07-01 ~ 1999-06-30	729.333	(-3.46701±0.00710) × 10 <sup>-9</sup>	0.662 × 10 <sup>-9</sup>
24	Wetzell/德国/od	1996-07-28 ~ 1998-09-23	726.042	(-3.37353±0.03087) × 10 <sup>-9</sup>	2.639 × 10 <sup>-9</sup>
25	Wetzell/德国/lo	1998-11-04 ~ 2001-08-31	290.750	(-3.43418±0.00997) × 10 <sup>-9</sup>	0.544 × 10 <sup>-9</sup>
26	Wetzell/德国/up	1998-11-04 ~ 2001-08-31	290.792	(-3.24539±0.01346) × 10 <sup>-9</sup>	0.734 × 10 <sup>-9</sup>
27	Wetzell/德国/all	1998-11-04 ~ 2001-08-31	581.500	(-3.33987±0.00865) × 10 <sup>-9</sup>	0.667 × 10 <sup>-9</sup>
28	Wuhan/中国	1997-12-20 ~ 2000-08-31	985.333	(-3.23704±0.01066) × 10 <sup>-9</sup>	0.750 × 10 <sup>-9</sup>

a) 除捷克的 Pecny 台站使用的是弹簧型重力仪外其他所有台站均为超导重力仪。德国 Moxa, Wetzell 和南非 Sutherland 3 个台站为双球型超导重力仪, lo 表示由下球观测, up 表示上球观测数据, all 表示经处理后获得的上球和下球观测数据的平均值; od 为该台站老的观测系列, nw 为该台站新的观测系列

海洋潮汐信号是固体潮观测的重要干扰源之一, 研究表明海潮对重力场观测的影响可分成 3 部分, 即海潮质量变化的直接效应, 质量负荷作用下弹性地球的形变效应和由于形变使地球内部质量重新分布而产生的附加效应<sup>[13]</sup>。用于负荷改正的全球海潮模型包括 Schwiderski 全球海潮模型和近期内利用 Topex/Poseidon 卫星测高数据和有限元技术发展起来的全球海潮模型, 包括 CSR3.0(Eanes), FES95.2(Grenoble), TPXO2(Egbert), CSR4.0(Eanes), ORI96(Matsumoto) 全球海潮模型<sup>1)</sup>和中国近海区域海潮模型<sup>[14]</sup>。基于地球模型 Green 函数和 Agnew 海潮负荷计算方法计算了 8 个主要潮波海潮对重力场观测的影响(Q1, O1, P1, K1, N2, M2, S2 和 K2 潮波)<sup>[12,15]</sup>, 采用插值方法获得了周日频段内的σ1, ρ1, NO1, π1, ψ1, φ1, θ1, J1 和 OO1 等 9 个小型潮波的负荷效应<sup>[16]</sup>。在插值过程中考虑了海洋潮汐的共振现象<sup>[5]</sup>。研究表明无论对主

波还是小波, 海潮负荷改正的效果均十分明显<sup>[9,14]</sup>。

## 2 计算技术

研究表明, 在周日频段内随频率σ变化的复理论振幅因子可由下式求得<sup>[1,2]</sup>

$$\delta_{th}(\sigma) = \delta_0 + \frac{\bar{A}}{\sigma - \bar{\sigma}_{FCN}}, \quad (1)$$

式中

$$\delta_0 = 1 + h_0 - \frac{3}{2}k_0, \quad (2)$$

$$\bar{A} = -(A/A_m) \left( h_1 - \frac{3}{2}k_1 \right) (\alpha - q_0 h^c / 2) \Omega,$$

δ<sub>0</sub>是由经典勒夫数 h<sub>0</sub>和 k<sub>0</sub>组合获得的理论振幅因子, 它不受 FCN 共振影响, h<sub>1</sub>和 k<sub>1</sub>为内部压力 Love 数, h<sup>c</sup>是长期 Love 数, A 和 A<sub>m</sub>分别为整个地球和地幔的赤道转动惯量, α为地球的动力学椭率, q<sub>0</sub>为赤道离心

1) IERS Standards, IERS technical note, Observatoire de Paris, 1992(13): 1~20

力与重力之比,  $\Omega$  为地球自转恒星频率.  $\bar{A}$  为依赖于地球形状和地幔介质流变特征的复共振强度,  $\bar{\sigma}_{FCN}$  为复本征频率. 记

$$\bar{A} = A_r + iA_i, \quad \bar{\sigma}_{FCN} = \sigma_r + i\sigma_i, \quad (3)$$

可得到 FCN 的本征周期为  $T_{FCN} = \Omega / (\sigma_r + \Omega)$  和品质因子为  $Q = \sigma_r / (2\sigma_i)$ .

考虑到 O1 波的观测精度高, 频率与 FCN 的本征频率相差甚远, 受共振影响很小(仅在  $10^{-4}$  量级), 可将其作为参考值. 为了减少台站观测资料的系统偏差和局部环境干扰对拟合参数的影响<sup>[2,4]</sup>, 根据给定的理论潮汐振幅因子, 在方程(1)的两边同时减去 O1 波的潮汐信号, 得到计算 FCN 共振参数的拟合模型如下:

$$\delta(\sigma, j) - \delta(O1, j) = \frac{A_r + iA_i}{\sigma - (\sigma_r + i\sigma_i)} - \frac{A_r + iA_i}{\sigma(O1) - (\sigma_r + i\sigma_i)}, \quad (4)$$

式中  $j$  表示台站序号. 求解上述方程组获得复共振强度和复本征频率的实部和虚部, 进而求得地球液核的共振周期、共振强度和品质因子.

### 3 数值结果及其讨论

为了能顾及不同地区海潮特征和消除其他地方性影响, 对利用 6 种不同的全球海潮模型得到的负荷效应实施平均处理, 对周日波频段内几个潮汐波观测结果(O1, P1, K1,  $\psi$ 1 和  $\phi$ 1 波)实施海潮负荷改正. 为能精密检测 FCN 共振效应, 将 GGP 网络中所有 20 个台站 22 个观测系列结果进行叠积处理, 获得了共振周期  $T_{FCN}$ . 具体分 3 种情况: (1) 考虑到印度尼西亚 Bandung 和日本 Kyoto 台站的背景噪声较大, 除这两个台站外获得的共振周期  $T_{FCN}$  为 429.9 (427.2, 432.7) sd; (2) 叠积所有 22 个观测系列数据(双球型超导重力仪采用经处理后的平均观测结果, Strasbourg 和 Wettzell 台站采用老的和新的两个观测系列), 但考虑删除某些台站某些受搅较大的潮波结果, 例 K1(Syowa), O1(Syowa, Wettzell), P1(Syowa),  $\psi$ 1(Bandung, Brasimone, Kyoto, Matsushiro, Pecny, Sutherland),  $\phi$ 1(Brasimone, Boulder, Kyoto), 获得的共振周期  $T_{FCN}$  为 429.1 (428.0, 430.3) sd 和(3)与上类同, 考虑用理论振幅实施相关潮波标准差的归一化处理以提高信噪比, 获得的共振周期  $T_{FCN}$  为 429.7 (426.8, 432.6) sd.

上述数值结果说明, 由全球超导重力仪观测得到液核共振周期  $T_{FCN}$  与 Dehant<sup>[17]</sup>理论计算结果

(429.5 sd) 和 Mathews<sup>[6]</sup>利用 VLBI 观测同时考虑核幔边界电磁耦合效应获得的液核共振周期(430.04 sd) 十分接近, 最大差异仅为 0.4%. 但与早期用地表重力潮汐观测结果有一些差异<sup>[1-4]</sup>. 但必须指出的是所有地表实验观测获得的  $T_{FCN}$  远小于由 Wahr 等人<sup>[5]</sup>理论计算结果, 差异高达 30 sd, 因此有必要深入探讨这一差异的可能原因.

实际上, 早期研究表明 FCN 共振参数很大程度上依赖于地球的结构及其物理和力学特性. 具有固体弹性地幔, 液态外核和固态内核的地球模型的 FCN 共振频率  $\sigma_{FCN} (= 1/T_{FCN})$  的解析表达式为<sup>[6]</sup>

$$\sigma_{FCN} = - \left[ 1 + \frac{A - A_I}{A_m} (e_f - \beta) \right] \Omega, \quad (5)$$

式中  $e_f$  是地球液核的动力学椭率, 数量级为  $10^{-3}$ ;  $\beta$  是描述弹性地幔形变的小参量, 数量级为  $6.27 \times 10^{-4}$ ,  $A, A_m, A_I$  为地球、地幔和地球内核的赤道转动惯量, 其中  $A_I$  仅为  $A$  的万分之几. 早期理论研究表明在流体静力平衡条件假设下, 不同理论地球模型获得的 FCN 本征周期期间的差异仅为几天. 目前的重力潮汐观测振幅因子和理论值间的差异小于 0.4%, 这说明现有的地球形变理论可很好地近似真实地球形变特征. 由公式(5)可知, 只要知道了高精度的 FCN 共振频率, 就可由此计算液态地核的动力学椭率  $e_f$ . 数值结果证实了测定的 FCN 共振周期比理论模型值约小 30 sd 合理解释是真实液核动力学椭率比流体静力平衡假设下的液核动力学椭率约大 5% 的量级.

基于上述 3 种情况获得的  $T_{FCN}$  和公式(1), 我们构制了考虑液核 FCN 共振效应的 SXD1, SXD2 和 SXD3 固体潮实验模型(表 2). 数值结果说明 3 组实验模型振幅因子间的差异小于 0.1% (表 2 和图 1). 图 2 给出了本文 3 组实验模型与 Mathews<sup>[6]</sup>基于 VLBI 数据获得的理论模型间的比较, 结果说明两者差异最大的地方发生在 FCN 共振频率附近, 其值为 0.56% (SXD1), 0.25% (SXD2) 和 0.33% (SXD3). 为方便比较, 表 2 中还列出了目前国际上广泛使用的 Dehant 等人<sup>[17]</sup>给出的标准 DDW 理论潮汐模型. 数值结果说明本文构制的 3 组重力潮汐实验模型与 DDW 和 Mathews 理论模型值十分接近. 考虑到 SXD2 与 Mathews 的理论模型间的差异最小, 证明该模型略优于其他两个模型, 同时也显示了删除某些台站某些受干扰潮波后的效果.

表 2 本文构制的 SXD 重力固体潮实验模型与现有理论模型间的比较<sup>a)</sup>

幅度数	频率/(°)·h <sup>-1</sup>	波名	DDW1	DDW2	MATH	SXD1	SXD2	SXD3
1-4 0 3 0 0	115.855	12.30991148	308	1.15254	1.15400	1.15473	1.15474	1.15474
1-4 2 1 0 0	117.655	12.38276513	SGQ1	1.15256	1.15402	1.15403	1.15473	1.15473
1-3 0 1 0 0	125.655	12.84964437	noname	1.15269	1.15415	1.15468	1.15468	1.15468
1-3 0 2-1 0	125.745	12.85207978	2Q1x	1.15269	1.15415	1.15468	1.15468	1.15468
1-3 0 2 0 0	125.755	12.85428619	2Q1	1.15269	1.15415	1.15409	1.15468	1.15468
1-3 2 0-1 0	127.545	12.92493343	SG1x	1.15271	1.15417	1.15467	1.15467	1.15467
1-3 2 0 0 0	127.555	12.92713984	SIG1	1.15271	1.15417	1.15410	1.15467	1.15467
1-2 0 0-1 0	135.545	13.39181267	noname	1.15279	1.15425	1.15459	1.15459	1.15459
1-2 0 0 0 0	135.555	13.39401908	noname	1.15279	1.15425	1.15458	1.15459	1.15459
1-2 0 1-1 0	135.645	13.39645449	Q1x	1.15279	1.15425	1.15410	1.15458	1.15459
1-2 0 1 0 0	135.655	13.39866089	Q1	1.15280	1.15425	1.15410	1.15458	1.15459
1-2 2-1 0 0	137.455	13.47151455	RHO1	1.15280	1.15426	1.15410	1.15457	1.15457
1-1 0 0-1 0	145.545	13.94082919	O1x	1.15279	1.15424	1.15401	1.15440	1.15440
1-1 0 0 0 0	145.555	13.94303560	O1	1.15279	1.15424	1.15401	1.15440	1.15440
1-1 0 1 0 0	135.655	13.94767741	noname	1.15279	1.15424	1.15440	1.15440	1.15440
1-1 0 2 0 0	145.755	13.95231923	2NO1	1.15279	1.15424	1.15440	1.15440	1.15440
1-1 2 0 0 0	147.555	14.02517288	TAU1	1.15278	1.15422	1.15397	1.15436	1.15436
1 0-2 1 0 0	153.655	14.41455665	NTAU	1.15252	1.15396	1.15366	1.15400	1.15399
1 0 0-1-1 0	155.445	14.48520390	LK1x	1.15242	1.15386	1.15388	1.15387	1.15387
1 0 0-1 0 0	155.455	14.48741031	LK1	1.15242	1.15385	1.15354	1.15388	1.15387
1 0 0 0-1 0	155.545	14.48984571	noname	1.15242	1.15385	1.15387	1.15387	1.15386
1 0 0 0 0 0	155.555	14.49205212	noname	1.15241	1.15385	1.15387	1.15386	1.15386
1 0 0 0 1 0	155.565	14.49425853	noname	1.15241	1.15384	1.15386	1.15386	1.15386
1 0 0 1 0 0	155.655	14.49669393	NO1	1.15240	1.15384	1.15351	1.15386	1.15385
1 0 0 1 1 0	155.665	14.49890034	NO1x	1.15240	1.15383	1.15351	1.15386	1.15385
1 0 2-1 0 0	157.455	14.56954759	CH11	1.15226	1.15369	1.15336	1.15370	1.15369
1 1-3 0 0 1	162.556	14.91786468	PI1	1.14933	1.15072	1.15043	1.15091	1.15087
1 1-2 0-1 0	163.545	14.95672495	P1x	1.14788	1.14927	1.14903	1.14959	1.14953
1 1-2 0 0 0	163.555	14.95893136	P1	1.14777	1.14916	1.14892	1.14949	1.14942
1 1-1 0 0 1	164.556	15.00000196	S1	1.14446	1.14589	1.14578	1.14654	1.14643
1 1 0-1 0 0	165.455	15.03642683	noname	1.13543	1.13728	1.13879	1.13860	1.13858
1 1 0 0-1 0	165.545	15.03886223	K1x-	1.13416	1.13610	1.13610	1.13773	1.13753
1 1 0 0 0 0	165.555	15.04106864	K1	1.13284	1.13489	1.13494	1.13664	1.13643
1 1 0 0 1 0	165.565	15.04327505	K1x+	1.13133	1.13352	1.13361	1.13541	1.13516
1 1 1 0 0-1	166.554	15.08213532	PS11	1.23736	1.26978	1.26548	1.25993	1.26302
1 1 2 0 0 0	167.555	15.12320592	PH11	1.16776	1.17029	1.16932	1.16856	1.16878
1 2-2 1 0 0	173.655	15.51258969	TET1	1.15551	1.15703	1.15641	1.15643	1.15646
1 2 0-1 0 0	175.455	15.58544335	J1	1.15531	1.15682	1.15619	1.15622	1.15625
1 2 0-1 1 0	175.465	15.58764975	J1x	1.15530	1.15682	1.15618	1.15622	1.15624
1 2 0 0 0 0	175.555	15.59008516	noname	1.15530	1.15681	1.15621	1.15621	1.15624
1 2 0 0 1 0	175.565	15.59229157	noname	1.15529	1.15681	1.15621	1.15621	1.15623
1 3-2 0 0 0	183.555	16.05696440	SO1	1.15482	1.15631	1.15559	1.15562	1.15564
1 3 0-2 0 0	185.355	16.12981805	2J1	1.15479	1.15628	1.15557	1.15559	1.15559
1 3 0-1 0 0	185.455	16.13445987	noname	1.15479	1.15628	1.15557	1.15559	1.15559
1 3 0 0 0 0	185.555	16.13910168	OO1	1.15479	1.15628	1.15555	1.15557	1.15559
1 3 0 0 1 0	185.565	16.14130809	OO1x	1.15479	1.15628	1.15555	1.15557	1.15558
1 4 0-1 0 0	195.455	16.68347639	NU1	1.15474	1.15623	1.15538	1.15536	1.15538
1 4 0-1 1 0	195.465	16.68568279	NU1x	1.15474	1.15623	1.15536	1.15536	1.15538

a) DDW1: Dehant 等人<sup>[17]</sup>流体静力平衡状态下的理论地球潮汐模型 (1999); DDW2: Dehant 等人<sup>[17]</sup>非流体静力平衡状态下的理论地球潮汐模型<sup>1</sup>; MATH: Mathews<sup>[6]</sup>考虑 VLBI 观测数据获得的理论地球潮汐模型(2001); SXD1: 本文孙和平-徐建桥-Ducarme 实验地球潮汐模型 1; SXD2: 本文孙和平-徐建桥-Ducarme 实验地球潮汐模型 2; SXD3: 本文孙和平-徐建桥-Ducarme 实验地球潮汐模型 3

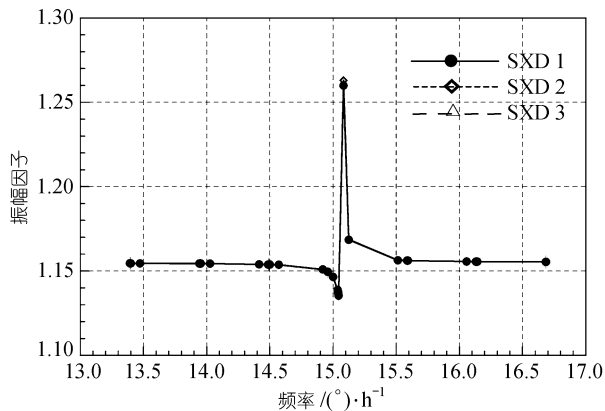


图1 3组SXD重力固体潮实验模型振幅因子间的比较

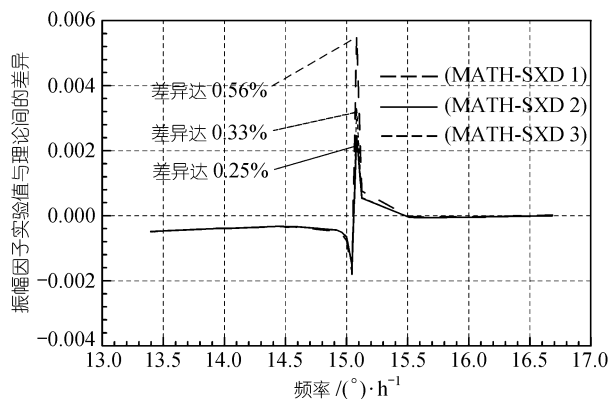


图2 重力固体潮实验模型与Mathews理论值间的差异

### 参 考 文 献

- 1 Herring T A, Gwinn C R, Shapiro I I. Geodesy by radio interferometry: Studies of the forced nutations of the earth I. data analysis. *Journal of Geophysical Research*, 1986, 91(B5): 4745-4754
- 2 Defraigne P, Dehant V, Hinderer J. Stacking gravity tide measurements and nutation observations in order to determine the complex eigenfrequency of nearly diurnal free wobble. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99 (B5): 9203-9213
- 3 Sato T. Fluid core resonance measured by quartz tube extensometers at the Esashi Earth tide station. In: Kakkuri J. ed. *Proc 11th Int Sympos. Earth Tides*. Stuttgart: Schweizerbart'sche verlagsbuchhandlung, 1991. 573-582
- 4 徐建桥, 孙和平, 罗少聪. 利用国际超导重力仪观测资料研究地球自由核章动. *中国科学, D辑*, 2001, 31(9): 719-726
- 5 Wahr J M, Sasao T. A diurnal resonance in the ocean tide and in the Earth's load response duo to the resonant free core nutation. *Geophys J R Astr Soc*, 1981, 64: 747-765
- 6 Mathews P M. Love numbers and gravimetric factor for diurnal tides. *Journal of the Geodetic Society of Japan*, 2001, 47(1): 231-236
- 7 Crossley D J, Hinderer J. Global geodynamics project-GGP: status report 1994. In: Poitevin C, ed. *Proc Workshop on Non-tidal Gravity Changes*. Luxembourg: Conseil de L'Europe Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 1995, 11: 244-269
- 8 Wenzel H G. The nanogal software: Data processing package eterna 3.3. *Bulletin D'informations de Marées Terrestres*, 1996, 124: 9425-9439
- 9 Ducarme B, Sun H P, Xu J Q. New investigation of tidal gravity results from the GGP network. *Bulletin D'informations de Marées Terrestres*, 2002, 136: 10761-10775
- 10 Sun H P, Takemoto S, Hsu H T, et al. Precise tidal gravity recorded with superconducting gravimeters at stations Wuhan/China and Kyoto/Japan. *Journal of Geodesy*, 2001, 74: 720-729
- 11 Vauterin P. Tsoft: Graphical and interactive software for the analysis of Earth tide data. In: Paquet P, Ducarme B, eds. *Proc 13th Int Sympos. Earth Tides*. Brussels: Observatoire Royal de Belgique, Série Géophysique, 1998. 481-486
- 12 陈晓东, 孙和平. 一种新的重力潮汐数据预处理和分析方法. *大地测量与地球动力学*, 2002, 22(3): 83-87
- 13 Sun H P. Comprehensive researches for the effect of the ocean loading on gravity observations in the Western Pacific Area. *Bulletin D'informations de Marées Terrestres*, 1992, 113: 8271-8292
- 14 Sun H P, Xu H T, Jentzsch G, et al. Tidal gravity observations obtained with a superconducting gravimeter at Wuhan/China and its application to geodynamics. *Journal of Geodynamics*, 2002, 33(1-2): 187-198
- 15 Agnew D C. A program for computing ocean-tide loading. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(B3): 5109-5110
- 16 Sun H P, Xu J Q, Ducarme B. Experimental Earth tidal models of the core resonance obtained by stacking tidal gravity observations from GGP stations. *Bulletin D'informations de Marées Terrestres*, 2002, 136: 10729-10733
- 17 Dehant V, Defraigne P, Wahr J. Tides for a convective Earth. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104(B1): 1035-1058

(2002-07-18 收稿, 2003-01-22 收修改稿)

### 4 结论

基于本文得到的数值结果和上述讨论, 说明全球分布的高精度潮汐重力观测数据是精密测定地球 FCN 共振参数的重要保证. 本文探讨了 FCN 共振周期比理论模型值小约 30 sd 的合理解释, 用重力手段获得了真实的液核动力学椭率比流体静力平衡假设下的理论值大约 5% 的量级的重要结论. 本文在考虑液核共振效应后构制的地球潮汐实验模型与理论模型结果十分吻合, 可为全球固体潮、大地测量研究和空间技术等提供最新的重力潮汐实测模型.

**致谢** GGP 项目主席 Crossley 和各台站观测人员为获得高精度观测数据付出了辛勤劳动, 周江存参加了海潮负荷计算, 比利时皇家天文台 GGP 数据中心 Hendrickx 先生和 Vandercoilden 女士参加了数据分析, 值此深表谢意. 本工作受国家杰出青年科学基金(批准号: 49925411)、国家自然科学基金(批准号: 40174022)和中国科学院知识创新工程项目(批准号: KZCX3-CW-131)资助.