第 46 卷 第 3 期　　天 文 学 报　　Vol.46 No.3
2005 年 7 月　　ACTA ASTRONOMICA SINICA　　Jul., 2005

对月日潮汐摩擦耗散的估计*

高布锡

(中国科学院测量与地球物理研究所 武汉 430077)

摘要 月日潮汐摩擦和地球惯量矩变化是日长长期变化的主要原因. 在本文中, 利用最新的地球物理和古生物钟数据, 对过去 15 亿年以来的月日潮汐摩擦、地球惯量矩变化和日长长期变化等作了数值对比研究. 由此得到二个重要结论: 一是仅利用地球的自转形变不能解释 J_2 的变化, 这说明地球的重力分异现象至今仍存在着; 其二是在几亿年前的潮汐摩擦比现在大得多, 若取潮汐耗散与距离的立方成反比时, 理论结果与由古生物钟得到的回归年日数和朔望月日数数据较为符合.

关键词 地球自转, 潮汐摩擦, 地球惯量矩变化, 日长变化

中图分类号: P 183; **文献标识码**: A

1 基本假设与公式

影响地球自转速率 ω 长期变化的原因有两个: 其一是月日的潮汐摩擦耗散, 设分别表示为 $\dot{\omega}_{mt}$ 和 $\dot{\omega}_{st}$, 其二是地球的绕极转动惯量变化, 将其表示为 $\dot{\omega}_{nt}$, 因此有:

$$\dot{\omega} = \dot{\omega}_{mt} + \dot{\omega}_{st} + \dot{\omega}_{nt}\,. \tag{1}$$

首先讨论月日的潮汐摩擦耗散问题, 假定地球和月亮的质量在十几亿年以来没有大的变化, 不考虑月亮上的潮汐摩擦, 由于地月系统的角动量守恒, 取黄道作为基本参考面, 有

$$\frac{\mathrm{d}(C\omega_{mt})}{\mathrm{d}t}\cos i = -N\,, \tag{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}(C\omega_{st})}{\mathrm{d}t}\cos i = -N'\,. \tag{3}$$

N 和 N' 分别为月亮和太阳引起的潮汐摩擦力矩, i 是黄赤交角. 设 n, r, m 和 n', r', m' 分别为月亮和太阳的平均运动, 平均距离和质量, f 、 M 分别为万有引力常数和地球质量, 利用开普勒第三定律,

$$n^2 r^3 = f(M+m)\,, \tag{4}$$

$$n'^2 r'^3 = f(M+m+m')\,, \tag{5}$$

2004-06-14 收到原稿, 2004-11-21 收到修改稿

* 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室开放研究基金和自然科学基金 (NSFC40174006) 资助

可推得

$$2n\dot{n}r^3+3n^2r^2\dot{r}=0\,,\qquad \dot{r}=-\frac{2r}{3n}\dot{n}\,. \tag{6}$$

由于月亮绕地球转动的角动量 $G=mrv=mnr^2$, 可得潮汐摩擦力矩 N,

$$N=\frac{\mathrm{d}G}{\mathrm{d}t}=mr^2\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t}+2mnr\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{dt}}=-\frac{1}{3}m\dot{n}r^2\,. \tag{7}$$

又由于, $r=\left[f(M+m)/n^2\right]^{\frac{1}{3}}$, 可推导得月亮引起的潮汐摩擦力矩:

$$N=-\frac{m}{3}[f(M+m)]^{2/3}n^{-4/3}\dot{n}\,. \tag{8}$$

同理有太阳引起的潮汐摩擦力矩,

$$N'=-\frac{M+m}{3}[f(M+m+m')]^{2/3}n'^{-4/3}\dot{n}'\,. \tag{9}$$

令

$$K=\frac{m}{3}[f(M+m)]^{2/3}\,,\qquad K'=\frac{M+m}{3}[f(M+m+m')]^{2/3}\,, \tag{10}$$

代入到 (2) 式，得到基本方程,

$$(\omega_{mt}\dot{C}+C\dot{\omega}_{mt})\cos i=Kn^{-4/3}\dot{n}\,, \tag{11}$$

$$(\omega_{st}\dot{C}+C\dot{\omega}_{st})\cos i=K'n'^{-4/3}\dot{n'}\,, \tag{12}$$

上式给出了地球自转速率变化与月日平均运动变化之间的关系.

2　地球自转速率与日月平均运动变化

为了便于讨论，将 (11) 式写为如下形式:

$$\frac{1}{C}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}(C\omega)=\omega\frac{\dot{C}}{C}+\dot{\omega}_{mt}=\frac{K}{C\cos i}n^{-4/3}\dot{n}\,. \tag{13}$$

现代天文大地测量技术已经准确地给出了各有关参量的数值. 以下将各有关参量数值代入. 取万有引力常数 $f=6.672\times10^{-11}\,\mathrm{m^3kg^{-1}s^{-2}}$, 月地质量比 $\mu=0.012302$, 地心引力常数 $fM=3.986005\times10^{14}\,\mathrm{m^3s^{-2}}$, 地球主惯量矩 $C=8.0438\times10^{37}\,\mathrm{kg\,m^2}$, 日与地月系统质量比 $fm'/f(M+m)=332,946.0$. 地球质量的数值为 $M=\dfrac{fM}{f}=5.97423\times10^{24}\,\mathrm{kg}$. 取 $i=23^\circ\,26'30''$. 将这些数值代入，可得:

$$\frac{K}{C\cos i}=1.799163\times10^{-6}\mathrm{s}^{-4/3},\qquad \frac{K'}{C\cos i}=0.703294\mathrm{s}^{-4/3}\,. \tag{14}$$

由上式可知常数 K' 比 K 的数值几乎大了 6 个数量级，所以日潮对地球公转的影响，即对 n' 的影响非常小，可以将年的长度作为常数. 恒星月的长度为 27.322 平太阳日，

所以月亮的平均运动 $n = 2.661667 \times 10^{-6}\,\mathrm{s}^{-1}$. 恒星年的长度为 365.256363 平太阳日，所以太阳的平均运动 $n' = 1.990987 \times 10^{-7}\,\mathrm{s}^{-1}$. 有 $n^{-4/3} = 2.710993 \times 10^{7}\,\mathrm{s}^{4/3}$, $n'^{-4/3} = 0.860152 \times 10^{9}\,\mathrm{s}^{4/3}$. 地球的平均自转角速度为 $\omega = 7.292115 \times 10^{-5}\,\mathrm{s}^{-1}$, 取恒星日长度为 $23^{\mathrm{h}}56^{\mathrm{m}}4^{\mathrm{s}}.09$ =86164.09 平太阳时秒. 利用如上所给出的数值可以对月日的引潮力位作一估计. Groten 给出 [1]

$$\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}\right)_t = (-6.1 \pm 0.3) \times 10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}\,,$$

$$\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}\right)_{nt} = (+1.6 \pm 0.4) \times 10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}\,,$$

$$\left(\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t}\right) = -25.88 \pm 0.5\mathrm{arc\,sec\,cy}^{-2}\,.$$

$\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}\right)_t$ 是潮汐摩擦对地球自转速率长期减慢的贡献. 由下式可给出日长的变化,

$$\left(\frac{\mathrm{dlod}}{\mathrm{d}t}\right)_t = \frac{-2\pi}{\omega^2}\left[\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}\right]_t\,,$$

将数值代入可求得潮汐摩擦对日长的贡献为 $\left(\frac{\mathrm{dlod}}{\mathrm{d}t}\right)_t = 7.208 \times 10^{-13} = 2.27\,\mathrm{ms/cy}.$

再利用 $\dot{r} = -\frac{2r}{3n}\dot{n}$, 取 $r = 384,400\,\mathrm{km}$, 由 $\left(\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t}\right) = -25.88\mathrm{arc\,sec\,cy}^{-2}$, 可求得地月距离每年约增加 3.83 厘米. 利用 (13) 式，可求出月亮潮汐摩擦使地球自转的减速率 $\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}\right)_{mt} = -6.145 \times 10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}$. 此数值与 Groten 给出的 $\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{dt}\right)_t$ 的数值十分接近，因此月亮引起的潮汐摩擦是地球自转速率长期变慢的主要原因.

以下考虑地球自转形变的影响. 由于 $J_2 = \frac{C-A}{R^2M}$, 故 $\dot{J}_2 = \frac{\dot{C}-\dot{A}}{R^2M}$, 若取地球的迹 $I = \frac{1}{3}(A+B+C)$ =const., 则有 $\dot{A} = -\frac{1}{2}\dot{C}$, 因此 $\dot{J}_2 = \frac{3}{2}\frac{\dot{C}}{R^2M}$. 故 $\frac{\dot{C}}{C} = \frac{2H}{3}\frac{\dot{J}_2}{J_2}$. 取 $J_2 = 1.0826\times 10^{-3}$, $\dot{J}_2 = -2.8 \times 10^{-11}/y$, $H = 1/304.8$(Groten), 则有 $\frac{\dot{C}}{C} = -1.793 \times 10^{-18}s^{-1}$. 从而求得地球主惯量矩变化对地球自转速率长期减慢的贡献为, $\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{nt} = 1.307 \times 10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}$, 这个数值略小于 Groten 所给的数值 $\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{nt} = (+1.6 \pm 0.4) \times 10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}$.

3 对地球惯量矩与 J_2 变化率的讨论

地球的惯量矩是随着地球自转速率变化而不断变化的. 根据观测，地球的形状很接近于流体平衡状态, 因此长期勒夫数很接近流体勒夫数. 设取长期勒夫数 $k_s = 0.9383$, 地球的迹 $I = \frac{1}{3}(C + A + B)$, 有

$$C = I\left(1 + \frac{2}{9}k_s R^5 \frac{\omega^2}{fI}\right)\,. \tag{15}$$

将有关常数数值代入，可求得 $\frac{2}{9}k_sR^5\frac{\omega^2}{fI}=0.7297\times10^{-3}$, 略去高阶项，容易推得，

$$\frac{\dot{C}}{C}=\frac{4}{9}k_sR^5\frac{\omega^2}{fI}\frac{\dot{\omega}}{\omega}. \tag{16}$$

故 $\dot{C}$ 的相对变化率比 $\dot{\omega}$ 的小 3 个数量级．取 $\left(\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}\right)_{mt}=-6.1\times10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}$, 利用 (16) 式可以求得，

$$\frac{\dot{C}}{C}=-1.222\times10^{-20}s^{-1}.$$

与前面利用 $\dot{J}_2$ 求得的结果 $\frac{\dot{C}}{C}=-1.793\times10^{-18}\mathrm{s}^{-1}$ 相比，小了两个数量级．这说明仅靠地球的自转形变不能解释 J_2 的变化．要解释这个差异，只有假定地球的迹 $I=\frac{1}{3}(A+B+C)$ 不再保持等于常数．由 (15) 式，略去高阶项，有

$$\frac{\dot{C}}{C}=\frac{\dot{I}}{I}+\frac{4}{9}k_sR^5\frac{\omega^2}{fI}\frac{\dot{\omega}}{\omega}, \tag{17}$$

因此，两个 $\frac{\dot{C}}{C}$ 之间数值的不符合可用 $\frac{\dot{I}}{I}$ 的变化来解释．这就说明，至今地球的重力分异现象仍存在着，其变化量级约为 $\frac{\dot{I}}{I}=-1.8\times10^{-18}s^{-1}$．地球内部的核心增长 (core accretion), 以及在太阳系中所独有的地球表面上的水气循环，使大量物质不断地被水流或风由高处带到低处，沉积在地面或洋底，都是使 I 逐渐变小的原因．容易证明，若地球表面上的物质只是沿地球表面运动，则 I =const 是成立的．但是若物质运动是沿地球矢径方向的，则地球的迹将不再是常数．不妨假定，重力分异现象所引起的 I 的变化相对于地心是各向同性的，有 $\Delta A=\Delta B=\Delta C$, 因此 I 的变化将不会引起 $\dot{C}-\dot{A}$ 的变化，所以由 $\dot{J}_2$ 所推导出的 $\frac{\dot{C}}{C}=-1.793\times10^{-18}\mathrm{s}^{-1}$ 仍然正确．

有 3 个原因会引起 C 的变化，即

$$\dot{C}=\dot{C}_{mt}+\dot{C}_{st}+\dot{C}_{nt}. \tag{18}$$

$\dot{C}_{mt}$ 是月潮引起的，由于存在地球自转与月亮绕地运动的角动量交换，它与 $\dot{n}$ 有关．$\dot{C}_{st}$ 是日潮引起的，它与 $\dot{n}$ 无关．$\dot{C}_{nt}$ 是由于地球自身原因引起的地球惯量矩变化，它也与 $\dot{n}$ 无关．这 3 个数值都是负值，但是 $\dot{C}_{nt}$ 的绝对值要大得多．看来很难把 $\dot{C}_{st}$ 和 $\dot{C}_{nt}$ 区分开，以下我们将尝试给出日潮的大小．

Groten 已给出 $(\dot{\omega})_t=-6.1\times10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}$ 和 $(\dot{\omega})_{nt}=1.6\times10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}$, 对于 $\dot{\omega}$ 的数值，无论是古天文还是新技术资料的结果，都分歧很大． Morrison 对从公元前 700 年直到 1984 年的各种不同类型天文资料作了分析，给出在公元 1100 年前日长变化速率约为 2.4 ms/cy, 在以后约为 1.4 ms/cy[2]. 对新技术求得的日长变化结果进行分析，采用不同时段会给出不同的结果，这主要是由于核幔耦合、气候和海洋变化等因素的影响，暂时还不能作出准确的修正．我们不妨取一个中间的数值，设 $\frac{\mathrm{dlod}}{\mathrm{d}t}=2.0\,\mathrm{ms/cy}$, 可算出 $\frac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=$

$-5.36\times10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}$, 利用 (1) 式, 可算出日潮耗散的供献约为 $\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}=-0.86\times10^{-22}\mathrm{rads}^{-2}$, 与月潮耗散的供献相比, 似乎偏小了一些.

4 对 N_1, N_2 和 N_3 之间关系的讨论

设用 N_1 、 N_2 分别表示一个回归年中的平太阳日数和朔望月数, 用 N_3 表示一个朔望月中的平太阳日数, 因此有 $N_3=N_1/N_2$. N_1 、 N_2 和 N_3 分别表示了年月日的长度, 它是可以根据珊瑚, 牡蛎和叠层石等古生物化石求得的观测量. 可以认为自古以来回归年的长度是不变的. 因此可给出 N_1 、 N_2 和 N_3 与 ω 和 n 之间的关系. 相对于空间参考系一个回归年中的恒星日数为 N_1+1, 因此它与日长 lod 和 ω 的关系为:

$$\mathrm{lod}=\frac{2\pi}{\omega}=(365.2422\times86400)/(N_1+1)\,.$$

$$N_1=\frac{(365.2411\times86400)\times\omega}{2\pi}-1\,. \tag{19}$$

一个恒星月中的恒星日日数为 N_m, 一年中的恒星月数为 N_2+1, 因此有:

$$N_m=(N_1+1)/(N_2+1)=\omega/n\,. \tag{20}$$

由 (20) 式可得出:

$$N_2=\frac{n(N_1+1)}{\omega}-1,\quad N_3=\frac{N_1}{N_2}\,. \tag{21}$$

利用上式我们可以由 ω, n 的变率估计古代 15 亿年以来 N_1 、 N_2 、 N_3 的变化. 如下分两种情况讨论.

情况 1: 考虑地球绕极惯量的变化, 并假定 $\mathrm{d}\omega/\mathrm{d}t$ 是常数:

设 $\omega=\omega_0+\dot{\omega}(t-t_0)$, $\dot{\omega}_{mt}=-6.1\times10^{-22}\mathrm{s}^{-2}$, $\dot{\omega}_{nt}=1.6\times10^{-22}\mathrm{s}^{-2}$, 因此有 $\dot{\omega}=-4.5\times10^{-22}\mathrm{s}^{-2}$. 设取样间隔为 1000 万年, 因此 $t-t_0=-3.1557\times10^{14}\mathrm{k(s)}$. 计算到 15 亿年前, 以数值代入, 可得,

$$\omega=7.292115\times10^{-5}+1.420065\times10^{-7}k\quad(k=1,2,\cdots\cdots,150)\,. \tag{22}$$

在方程 (11) 中, 只有 ω_{mt} 与 n 有关, 因此

$$\dot{\omega}_{mt}=\frac{K}{C\cos i}n^{-\frac{4}{3}}\dot{n}\,.$$

设 t_0 表示现在, t 表示古代某个地质时代的时间, 两边关于时间 t 积分, 有

$$\omega_{mt}-\omega_0=\frac{3Kn_0^{-\frac{4}{3}}}{C\cos i}n_0\left(1-\left(\frac{n_0}{n}\right)^{\frac{1}{3}}\right)\,. \tag{23}$$

用前面给出的数值代入, 可得:

$$\left(\frac{n_0}{n}\right)^{\frac{1}{3}} - 1 = 0.18723\left(1 - \frac{\omega_{mt}}{\omega_o}\right), \tag{24}$$

由此可求得月亮平均运动 n 的变化,

$$n = \frac{n_0}{(1 - 4.9425 \times 10^{-4}k)^3}. \tag{25}$$

利用 (19) 和 (21) 式，由 ω 和 n 的数值可以求得 N_1 、 N_2 和 N_3 的数值.

情况 2: 考虑地球绕极惯量矩的变化，假定 $\mathrm{d}\omega/dt$ 随地月距离 r 的变化而变化：

在几亿年前，月地距离比现在近得多，因此引潮力位也要大得多. 由于引潮力位与距离的立方成反比，若假定潮汐耗散力矩与潮高成正比，则显然有 $\dfrac{\mathrm{d}(C\omega)}{dt} \propto \dfrac{1}{r^3}$, 利用开普勒第三定律，有 $\dfrac{\mathrm{d}(C\omega)}{\mathrm{d}t} \propto n^2$, 由 (11) 式，可有如下关系式,

$$n^{-\frac{10}{3}}\frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t} = A, \tag{26}$$

这里 A 是常数，可用 $A = n_0^{-\frac{10}{3}}\dot{n}_0$ 求得. 对 (26) 式积分，可求得,

$$\left(\frac{n}{n_0}\right)^{-\frac{7}{3}} = 1 - \frac{7}{3}\frac{\dot{n}_0}{n_0}(t - t_0).$$

以 n_0 和 $\dot{n}$ 的数值代入，并取 $t - t_0 = -3.1557 \times 10^{14}k(s)$, 可得,

$$n = \frac{n_0}{(1 - 3.4841 \times 10^{-3}k)^{\frac{3}{7}}}. \tag{27}$$

利用 (23) 式，已知 n 可求出 ω_{mt} 的数值,

$$\omega_{mt} = \omega_0 + 3.8947 \times 10^{-4}\left(1 - \left(\frac{n_0}{n}\right)^{\frac{1}{3}}\right). \tag{28}$$

再考虑由于地球转动惯量变化和日潮耗散引起的自转速率变化，不妨设 $\dot{\omega}_{nt}$, $\dot{\omega}_{st}$ 为常数，取 $\dot{\omega}_{nt} = 1.6 \times 10^{-22}\mathrm{s}^{-2}$ 和 $\dot{\omega}_{st} = -0.8 \times 10^{-22}s^{-2}$, 利用 $\omega = \omega_{mt} + \omega_{st} + \omega_{nt}$, 从而有,

$$\omega = \omega_{mt} - 2.5246 \times 10^{-8}k. \tag{29}$$

因此给出了过去 15 亿年以来 ω 和 n 的数值，由此可求得 N_1 、 N_2 和 N_3 的数值.

5 讨论与总结

图 1 给出了根据如上两种情况求得的过去 15 亿年以来一年中的平太阳日数的变化.

在图 1 中，两条曲线分别给出了情况 1 和情况 2 的理论结果. 在表 1 中给出了用不同古生物钟样品测定 N_1 的数值，并表示在图 1 中. 由图可见，若假定 $\dfrac{\mathrm{d}\omega}{\mathrm{d}t}$ 是常数，远远不能解释古生物钟给出的结果. 2003 年朱士兴等 [3,4] 根据蓟县燕山山体中采集到的叠

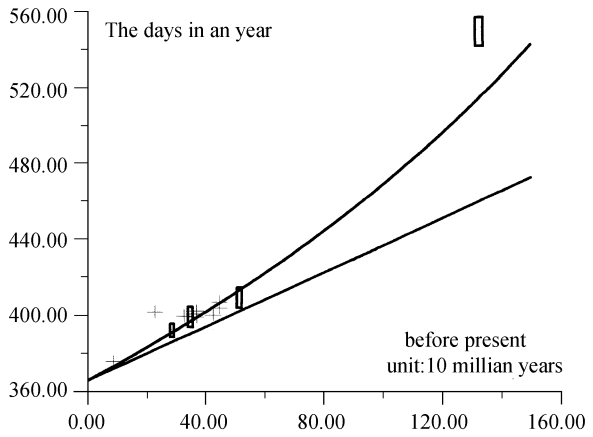

图 1 过去 15 亿年以来一年中平太阳日数的变化

Fig. 1 The variation of mean solar day's number per year in the passed 1500 Ma

层石化石，制成二千多个切片，在显微镜下清楚地发现了约 13 亿年前蓝藻的生长节理. 通过对蓝藻化石的日节理，月节理和年节理的整体测算，他们确定在约 13 亿年前每年有 546 到 588 天，每年有 13 个月到 14 个月，每月有 42 天，每天有 14.91 至 16.05 个小时. 对于如此早期的古生物钟数据本文作者还未查索到其他人的较好的结果.

表 1 利用不同的古生物钟样本对 N_1 的测定结果 [5]

Table 1 The diffrent measure result for N_1 by using diffrent paleontological sample

研究者	历元	地质年代	N_1	样本
Wells(1963)	晚石炭纪	280Ma	385∼390 days	珊瑚
	中泥盆纪	360 Ma	385∼410 days	珊瑚
Wells(1970)	早石炭纪	320 Ma	398 days	珊瑚
	中泥盆纪	370 Ma	398 days	珊瑚
	中志留纪	420 Ma	400 days	珊瑚
	晚奥陶纪	440 Ma	440 days	珊瑚
Mcgugan(1967)	前寒武纪	520 Ma	400∼420 days	叠层石
Vanyo(1985)	寒武纪	850 Ma	$>$ 410 days	叠层石
Scrutton(1970)	中泥盆纪	370 Ma	410 days	珊瑚
Mazullo(1971)	中泥盆纪	370 Ma	401 days	珊瑚
	中志留纪	420 Ma	405 days	珊瑚
Pannella(1972)	晚白垩纪	70 Ma	375 days	牡蛎
	中三叠纪	220 Ma	406 days	牡蛎
朱士兴 (2003)	前寒武纪	1300 Ma	546∼588 days	叠层石

在假定潮汐耗散与地月距离的立方成反比时，由本文的结果能较好地解释古代地球自转速率的变化，但仍不足以解释朱士兴等人的结果. 也可能在潮汐高度比较大时，潮汐耗散并不是与潮高成正比，也许还要大一些.

图 2 是过去 15 亿年以来一个朔望月中平太阳日数的变化. 可以看出仍然是在假定

潮汐耗散与地月距离的立方成反比时，得到的结果与古生物钟的结果更为符合.

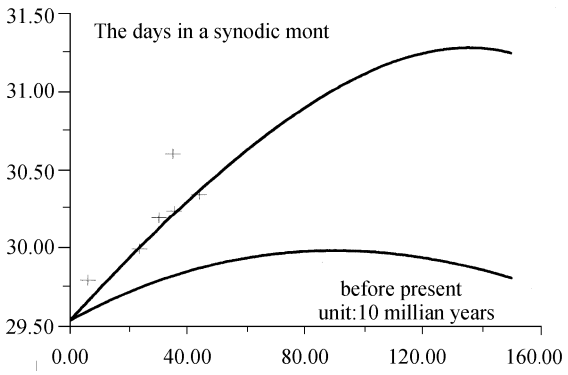

图 2　过去 15 亿年以来一个朔望月中平太阳日数的变化

Fig. 2　The variation of solar day's number per synodic month during the passed 1500 Ma

表 2　利用不同的古生物钟样本对 N_3 的测定结果

Table 2　The diffrent measure result for N_3 by using diffrent paleontological sample

研究者	历元	地质年代	N_3	样本
Pannella(1972)	中第三纪	38 Ma	29.8 days	牡蛎
	晚白垩纪	220 Ma	29.9 days	牡蛎
	晚石炭纪	300 Ma	30.2 days	牡蛎
	晚奥陶纪	445 Ma	30.3 days	牡蛎
Scrutton(1970)	中泥盆纪	370 Ma	30.66 days	珊瑚
Johnson & Nudds(1975)	早石炭纪	330 Ma	30.2 days	珊瑚
朱士兴 (2003)	前寒武纪	1300 Ma	42 days	叠层石

在表 2 中标出了利用不同的古生物钟样本对 N_3 的测定结果. 在图 2 中无法标明朱士兴等 (2003) 的结果. 从理论上来说，一个朔望月中的平太阳日数不可能达到 42 天. 因为在地球自转变快的同时，月亮绕地球的角速度也在变快. 对此 Lambeck(1979) 曾经作过很好的讨论. 不管采用什么样的潮汐耗散模型，N_3 总有一个极值，在情况 2 时，大约是在 13 亿年前达到极值，在一个朔望月中可有 31.3 天左右. Pannella(1972) 和 Mohr(1975) 等人曾研究过叠层石的问题，发现在确定生长带条纹时，出现双峰分布. 若按条纹确定一个朔望月中的日数，也可能是只有 21 天. 我们认为，或者是用叠层石确定 N_3 的方法不可靠，或者是在那时存在特殊的天文或地质事件，使得蓝藻形成的月节理对月周期的反映不敏感. 看来对此尚需要更多的研究工作.

致谢　感谢钟敏研究员对本文提出的中肯意见.

参 考 文 献

1 Useful constants(Groten), http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/, 2004
2 Morrison L V, Stephenson F R. Observations of sucular and decade changes in the Earth's rotation, Earth Rotation: Solved and Unsolved Problems, edited by Anny Cazenave, D. Reidel Publishing Company, 1986. 69
3 朱士兴，黄学光，辛后田. 雾迷山组 (∼1300Ma) 叠层石的生长节律和古地球自转的速率. 中国地质学会 80 周年学术论文集. 北京：地质出版社， 2002. 61
4 朱士兴，黄学光. 微体古生物学报， 2003, 20(1): 23
5 K . 兰伯克著. 李志安等译. 地球自转的变化. 地震出版社， 1988. 329

Estimation of Luni-solar Tidel Dissipation

GAO Bu-xi
(*Institute of Geosesy and Geophysics, Academia sinica, Wuhan* 430077)

Abstract Luni-solar tidel dissipation and the Earth's momentum variation are two main reasons for the long-period variation of length-of-day. By using new geophysical data and the paleontological clocks data, It is estimated and compared luni-solar tidel dissipation, the Earth's momentum variation, the long-period variation of length-of-day and the length of synodic month in the passed 1500 Ma. Accoding to the results, two important conclution are obtained. Firstly, the J_2 variation can not explained only by thr Earth's rotational deformation, which means that the dense materials sank toward the Earth center and the low-density materials rise toward the Earth,s surface are still going on. Secondly, in the paleogeology period, there were more larger lunar tidel dissipation, under a assumption that lunar tidel dissipation is inversely propotional to the cube of the distance from Earth to moon, the theoritical numbers of days in an year and in a synodic month may coinsident very well with that obtained from the paleontological clocks data.

Key words rotation of earth, luni-solar tidel dissipation, long-period variation of length-of-day, the Earth's momentum variation.