

地球自转年际变化、El Niño 事件和大气角动量

郑大伟 罗时芳 宋国玄

(中国科学院上海天文台)

摘 要

本文采用多级数字滤波技术,分析了25年(1962—1986年)的地球自转日长变化 ΔLOD 资料,结果表明在地球自转的长期起伏过程中,伴随着时间尺度为几年的非准周期性的年际波动,它使日长产生 0.3×10^{-8} 量级的相对变化。

通过年际日长变化时间序列与表征 El Niño 事件的东太平洋赤道带海温资料比较,发现地球自转年际速率的减慢和加快,与赤道海温的增暖和减暖现象存在着很好的一致性。

根据较强的日长年际变化和赤道海温最大增暖现象,文中还分析了用全球带风资料所归算的大气角动量(AAM),发现其年际变化超前2—3个月。由此认为,地球自转的年际变化和 El Niño 事件,可能是固体地球和海洋各自对大气环流变异的响应。

上述分析表明,利用天文常规观测所测定的 UT_1 资料,归算和监视 ΔLOD 序列的极小值,可以对 El Niño 事件作出预测期约为1年的长期预报。

自1982年底,东太平洋赤道带区域海水异常增暖的一次强 El Niño 事件发生后,地球自转变化与 El Niño 现象之间的关系逐步受到人们的重视^[1-4]。但是,地球自转变化是受多种物理因素的制约,只有合理地从地球自转变化中分离掉其它物理因素的影响,才能正确地揭示和研究地球自转变化与 El Niño 现象的关系,这是本文的主要目的。

El Niño 事件表征着赤道大范围的大气和海洋之间能量的交换^[5],而大气中能量的变化与地球自转变化有密切联系。为此,本文还探讨了地球自转变化、El Niño 事件与大气环流的相互关系,还分析了用全球天文观测的地球自转资料预测 El Niño 事件的可能性。

一、日长变化和 El Niño 事件

地球自转轴向速率变化常用日长的变化表示,可由下式简单描述,

$$\frac{\Delta LOD}{86400^s} \approx \frac{-\Delta \omega}{\omega_0}, \quad (1)$$

式中 ΔLOD 为日长的变化量, ω_0 为地球平均自转角速度, 通常取值 $72.921 \mu\text{rad/s}$, $\Delta\omega$ 为自转角速度的变化量. 由上式可见, 地球自转速率变化与日长变化成反向关系.

日长变化 ΔLOD 量可从全球天文观测精确测定的世界时 UT_1 与稳定的原子时 AT (或协调时 UTC) 之差求得, 即

$$\Delta LOD(t) = \frac{(UT_1 - AT)(t) - (UT_1 - AT)(t + \Delta t)}{\Delta t}, \quad (2)$$

式中 Δt 为相邻两次 UT_1 测定值的时间间隔.

根据现代的研究, 日长的主要变化及其物理机制可概括于表 1 中.

表 1 日长变化及其机制

时间尺度	主要物理机制
长期缓慢变化	潮汐摩擦引起地球自转长期减速 ^[6]
长周期变化(大于 10 年)	主要与太阳、行星运动有关 ^[7]
10 年起伏	主要与地球内部核幔间的耦合效应有关 ^[8]
两年准周期变化	大气的两年振荡作用 ^[9]
周年和半年变化	大气周年作用, 太阳、月亮的半年潮汐效应 ^[9]
短周期变化(小于半年)	主要是大气的高频效应, 月亮的短周期潮汐波动 ^[8,9]

El Niño 事件的基本特征表现为: 先是南美太平洋沿岸(主要是厄瓜多尔和秘鲁)的海水温度出现异常增暖, 然后向西传播直到扩展至整个中、东太平洋^[10], 其活动期约为 18 个月左右. 对于 El Niño 现象的成因, 迄今论述不一, 尚待深入研究^[3,11,12].

根据东太平洋赤道带海水表面温度变化资料(见图 2 下部), 近 25 年来出现过 6 次 El Niño 事件, 其中 1972 年和 1982 年底的两次最强. 每两次 El Niño 事件的时间间隔约在 2—7 年之间, 均出现在几年时间跨度内. 从表 1 可知, 这种几年时间尺度的地球自转变化正是以前较少关注的研究课题. 这就促使我们去研究日长的年际变化, 寻求地球自转变化与 El Niño 现象的联系.

二、日长的年际变化

从 BIH 年报上, 我们得到了按 IAU 1980 章动序列归算的 1978—1986 年的 UT_1 —UTC 资料^[13]. 李正心曾按 MERIT 规范重新发表了 1962—1982 年的地球自转参数^[14]. 我们按 (2) 式求得两种资料的日长变化 ΔLOD 序列, 并根据 Yoder 等人提出的理论公式, 改正了所有的带谐潮汐效应^[9]. 通过对两种资料的分析比较发现, 李正心的资料相对于 BIH 系统仅需作 $+0.1244\text{ms}$ 的系统平移, 这样就可组成 1962.0—1987.0 年期间每五天间隔的 ΔLOD 序列, 并相对于 IAU 1980 章动系统. 对该序列资料以每 30 天间隔平均, 作为我们分析地球自转年际变化的基本资料序列, 见图 1(a).

如何从 ΔLOD 序列中合理地消除表 1 中所包括的地球自转变化, 是该文资料分析的一个重要问题.

众所周知, 常用的最小二乘法 and Fourier 分析所求得的仅是资料序列时间跨度内的一种平均估计, 相关分析方法也是资料样本的一种期望估计, 这些方法都不是瞬时估计. 若采用这些方法, 必然会影响我们所要研究的年际变化的瞬时讯号量. 最近, 郑大伟和董大南提出了多

级数字滤波技术^[4],这种滤波技术不但具有无相位畸变的优点,其频率响应函数还具有截断频带很窄的特性.因此它比一般常用的数据处理方法能更好地分离资料序列中不同频带的瞬时讯号.

我们用多级滤波技术将 30 天间隔的 ΔLOD 序列中两年以下的周期分量(图 1(b))滤掉,图 1(c) 是滤波后所保留两年以上的日长变化.从图 1 中可见,这种滤波方法使 ΔLOD 序列中高频变化在各个时刻的瞬时讯号量得到真正的分离.由图 1(c) 中实线表明,在地球自转缓慢的长期起伏中,还伴随着几年时间尺度的微弱年际波动,这种年际波动是非准周期性的.

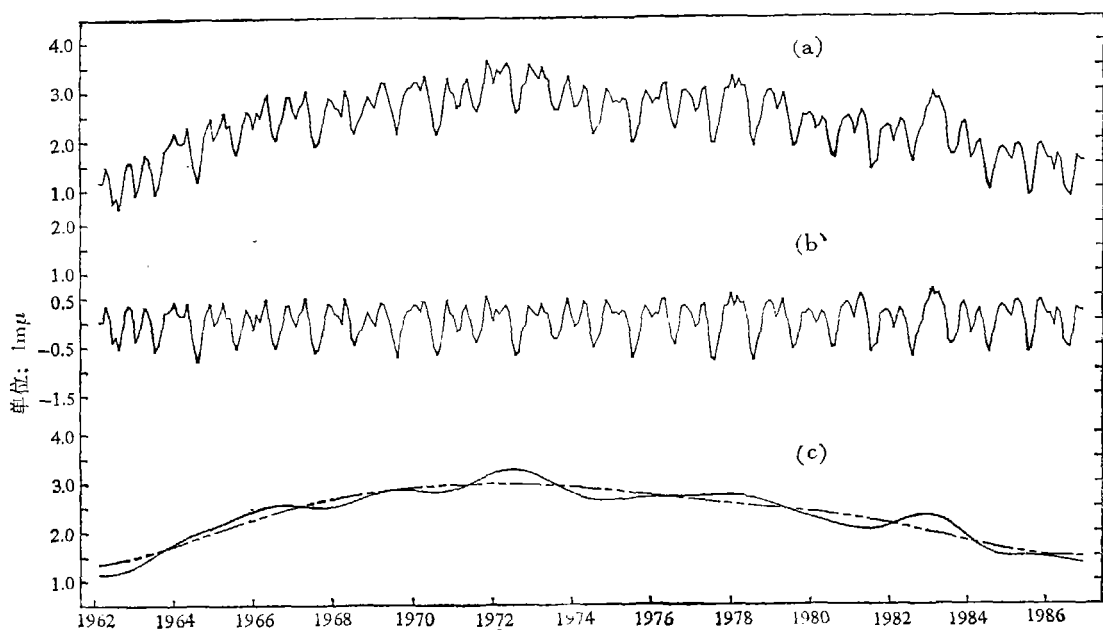


图 1 以 30 天为间隔的 ΔLOD 序列中不同频带的变化
(a) 资料序列, (b) 两年以下的高频变化, (c) 两年以上的高频变化

为了研究地球自转的年际变化与 El Niño 事件的关系,我们又将 ΔLOD 序列 10 年以上的长期起伏滤掉(见图 1(c) 中虚线),得到 ΔLOD 的年际变化时间序列,绘于图 2 中.图 2(b) 给出的是表征着 El Niño 现象的东太平洋赤道带 ($180^\circ-80^\circ\text{W}, 5^\circ\text{S}-5^\circ\text{N}$) 海水温度的月距平曲线.

观察图 2 可以发现,地球自转的年际变化与东太平洋赤道带海温的变化存在着相当好的一致性.在赤道带海温增暖时期(称为 El Niño 形成时期),年际地球自转速率减慢.在赤道带海温减暖时期(称为非 El Niño 时期),年际地球自转速率加快.也就是说,每次 El Niño 事件都出现在地球自转年际变化由加速变为减慢之后.

图 2 还表明, ΔLOD 年际变化的幅值与 El Niño 事件的强弱也存在着一一定的对应关系.自 1962 年以来,最强两次海温最大增暖的 El Niño 事件是发生在 1972 年和 1982—1983 年间,在 ΔLOD 中也反映出较大的年际变化.在这两段时期,日长增长近 0.3ms ,日长的相对变化为 3.4×10^{-9} ,相对于地球自转的速率变化 $\Delta\omega$ 为 $-2.5 \times 10^{-7} \mu\text{rad/s}$.

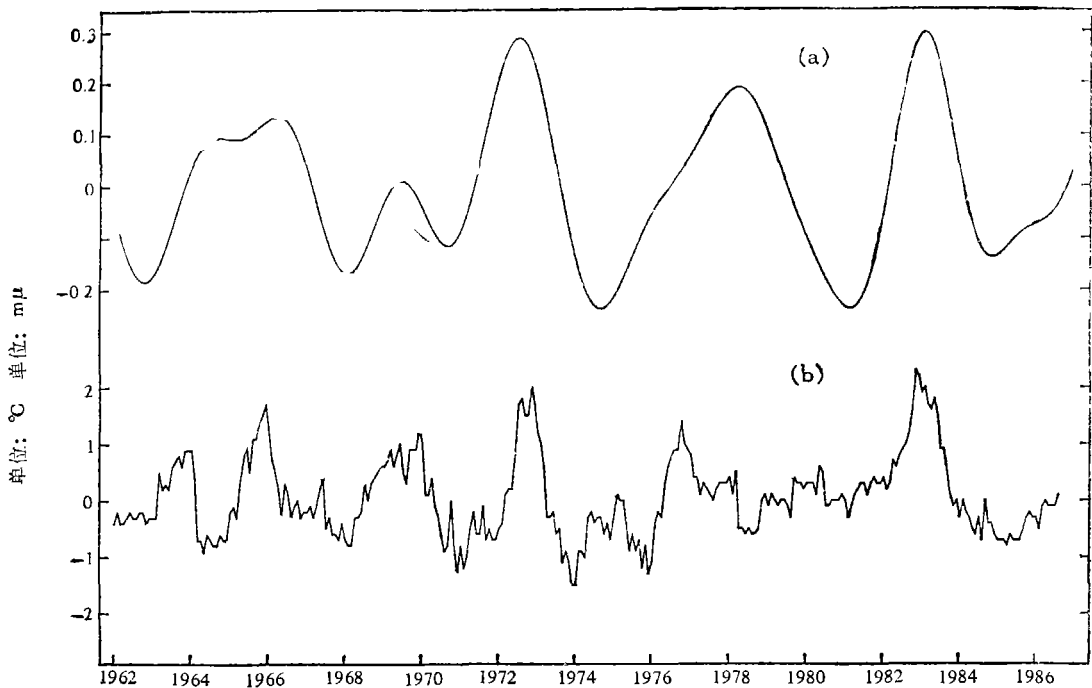


图 2 (a) ΔLOD 的年际变化和 (b) 东太平洋赤道带海水表面温度的变化

三、大气环流的年际变化

我们采用美国国家气象中心 (NMC) 的全球带风气象资料所归算的大气角动量 (AAM), 并归算到地球自转的日长变化上^[16]。按上节采用的滤波方法和处理过程, 求得大气角动量的年际变化时间序列。由于 AAM 资料开始于 1976 年下半年, 因此, 我们仅能与 ΔLOD 资料中 1982—1983 年间那次较强的年际变化进行比较。这段时期 AAM 和 ΔLOD 的年际变化绘于图 3 中。

由图 3 可见, AAM 的年际变化与 ΔLOD 的年际变化规律基本一致, 而且 AAM 的年际变化略有超前。这个结果表明, 大气环流对于地球自转速率变化的贡献, 不仅作用于两年以下的时间尺度, 对于两年以上的年际尺度也有约 50% 的贡献。对于 ΔLOD 年际变化的剩余部分, 我们认为可能是来自海洋活动对地球的作用^[17]。

近年来, 气象研究表明, 作为热带大气环流年际变化最重要特征的南方涛动 (SO) 与 El Niño 事件存在着密切的相关性^[12,17], 故亦称为 ENSO 事件。他们的文章还认为 El Niño 事件的发生是海洋对大气环流变化的响应^[12]。因此, 我们将表征 El Niño 现象的东太平洋赤道带海温资料作同样的带通滤波处理, 并将 AAM 和 ΔLOD 年际变化序列以及滤波后的赤道海温序列, 在 1980—1986 年期间的三个极值点所对应的时间列于表 2 中。

由表 2 可见, 若与 ΔLOD 序列和赤道海温序列相比较, 在每个极值时刻上, AAM 序列的年际变化都存在相位超前现象, 平均约超前 2—3 个月。根据我们的分析结果可得出下述解释, 大气环流的变化可能是引起地球自转年际变化和产生 El Niño 现象的主要原因。也就是

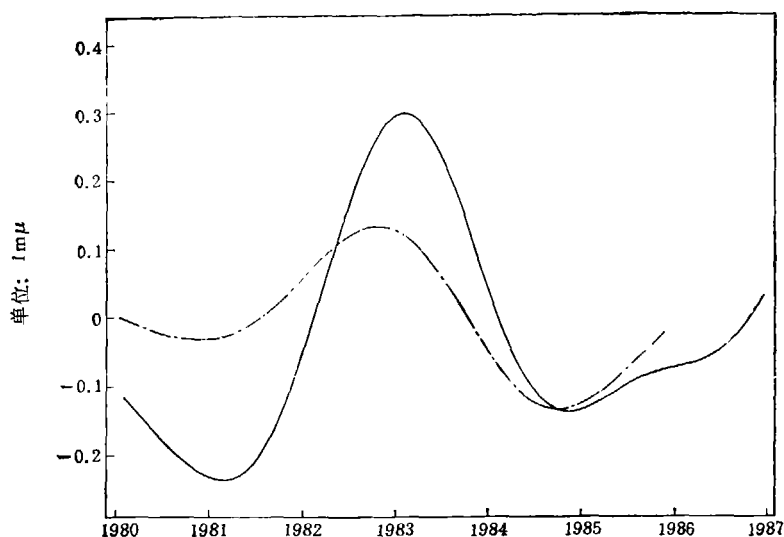


图 3 1982—1983 年间 ΔLOD 序列(实线)和 AAM 序列的年际变化(虚线)

说,地球自转年际变化和 El Niño 现象是固体地球和海洋各自对大气环流变异的响应。

表 2 1980—1986 年期间 AAM, ΔLOD 和赤道海温年际变化极值时间

年际变化序列	最小极值	最大极值	最小极值
AAM 序列	1980 年 11 月	1982 年 11 月	1984 年 9 月
ΔLOD 序列	1981 年 2 月	1983 年 2 月	1984 年 11 月
赤道海温序列	1981 年 3 月	1982 年 12 月	1984 年 11 月

四、 ΔLOD 资料预测 El Niño 事件的可能性

在 El Niño 事件时期,全球出现大范围的灾害性气候,给人类社会造成巨大损失。为此,我们将探讨用 ΔLOD 资料预测 El Niño 事件的可能性。从该文上述分析可知,每次 El Niño 事件总是出现在地球自转年际变化从加速变为减慢之后。这样,我们就可以根据 ΔLOD 年际变化时间序列的极小值时刻来预测 El Niño 事件。

由于 1963 年和 1965 年两次 El Niño 事件的海温最大增暖时间间隔(见图 2),靠近我们所采用的滤波器的截断频带,因此,我们只能根据滤波后赤道海温在 1969, 1972, 1976 和 1982 年的四次最大增暖,与 ΔLOD 年际变化序列在 1968, 1970, 1974 和 1981 年的 4 次极小值的时间差,估计得到 ΔLOD 资料对于 El Niño 事件盛期的可预测期为 $22(\pm 4)$ 个月。根据这个预测期可以推断,1986 年开始的 El Niño 事件的盛期已基本结束。

由于 $UT_1 - UT_0$ (或 $UT_1 - AT$) 资料可以及时地从各种天文观测(如光学观测、VLBI, SLR 和 LLR 等空间技术观测)得到,因而归算和监视 ΔLOD 的年际变化,预测 El Niño 事件是可行的。考虑到资料收集和处理过程的时延,实际应用时的预测期约为 1 年左右,这对气象预报来说,仍属长期预报。

用赤道海温资料来直接预测 El Niño 事件是一种十分有效的手段。从图 2 的海温变化

可见,在 1975 年和 1980 年间出现不太强的海温增暖现象,它们并不构成 El Niño 事件,这将产生海温预测的不确定性。若参考 ΔLOD 年际变化所作的长期预报,必然会增强对 El Niño 事件预测的可靠性。

五、结 论

通过分析地球自转日长变化、东太平洋赤道带海水表面温度变化、以及大气角动量的资料,我们可得到下述结论:

1. 地球自转变化中存在着时间尺度为几年的非准周期性的年际波动,它伴随于地球自转的长期起伏的过程中。它使日长的相对变化可达 3.4×10^{-9} ,即使地球自转速率发生在 $2.5 \times 10^{-7} \mu\text{rad/s}$ 的变化。

2. 地球自转的年际波动与表征 El Niño 事件的东太平洋赤道带海温变化有相当好的一致性。赤道海温增暖,地球自转年际速率减慢,海温减暖,年际速率加快。也就是说,每次 El Niño 事件都是出现在地球自转年际变化由加速变为减速之后。

3. 大气环流(主要是热带环流)的变异,很可能同时是地球自转年际变化和 El Niño 事件的一种主要激发源。另一个因素可能是洋流的异常活动。

4. 利用天文观测的 UT_1 资料,及时归算和监视 ΔLOD 年际变化时间序列的极小值,可以对 El Niño 事件进行长期预测。

本文所采用的赤道海温资料由中央气象局任振球同志提供,大气角动量资料是由美国国家大地测量局 Dr. F. W. Fallon 提供,作者表示诚挚的谢意。作者还对南京大学大气科学系么枕生、黄士松教授、包澄渊副教授、上海台风研究所金汉良所长,以及江苏省气象局徐群同志等十分有益的讨论和支持表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Rosen, R. D., Salstein, D. A., Eubanks, T. M., Dickey, J. O. and Steppe, J. A., *Science*, **225**(1984), 411.
- [2] Chao, B. F., *Geophys. Research Letters*, **11**(1984), 541.
- [3] 任振球、张素琴,科学通报, **30**(1985), 6: 444.
- [4] Carter, W. E. et al., *Science*, **224**(1984), 957.
- [5] Wyrтки, K., *J. Geophys. Res.*, **90**(1985), 7129.
- [6] Lambeck, K., *The Earth's Variable Rotation*, Cambridge University Press, New York, 1980.
- [7] 羅時芳等,天文学报, **15**(1974), 79.
- [8] Feissel, M., Rosen, R. D. and Salstein, D. A., *Annual Report*, Bureau International de l'Heure, 1981.
- [9] Yoder, C. F., Williams, J. G. and Parke, M. E., *J. Geophys. Res.*, **86**(1981), 881.
- [10] Rasmusson, E. M. and Carpenter, T. H., *Mon. Wea. Rev.*, **110**(1982), 354.
- [11] 陈烈庭,气象学报, **41**(1983), 3.
- [12] Wyrтки, K., *Jour. Phys. Oceanography*, **5**(1975), 572.
- [13] BIH Ann. Rep. for 1982—1985 and Circular D for 1986.
- [14] 李正心,地球自转参数的重新归算,上海科学技术出版社,1986,68.
- [15] 郑大伟、董大南,天文学报, **27**(1986), 368.
- [16] Rosen, R. D. and Salstein, D. A., *J. Geophys. Res.*, **88**(1983), 5451.
- [17] Wyrтки, K., *Marine Techn. Soc. J.*, **16**(1982), 3.