

## 地球自转减慢与厄·尼诺现象的形成\*

任振球 张素琴

(国家气象局气象科学研究所)

### 提 要

著名的厄·尼诺现象的成因,目前尚无一致的结论。本文得到,地球自转大幅度持续减慢与厄·尼诺现象的发生,两者有相当一致的同步演变关系。并且,后者比前者平均滞后14天,南方涛动也比地球自转减慢滞后。表明地球自转急剧减慢很可能是形成厄·尼诺现象的一个重要原因。文中还从固体地球、大气、海洋三者总角动量守恒的假定出发,讨论了地球自转减慢影响赤道洋流、信风减弱的量级及其形成厄·尼诺的物理途径。

### 一、引 言

众多的研究表明,著名的厄·尼诺现象——东太平洋赤道附近海温异常增暖,对全球尺度的大气环流和许多地区的气候异常,有着重要的影响。通常,在南美洲西海岸附近的低纬度海区,由于涌升流的存在,使下层冷水上翻,这一海区经常维持一个冷水区。在厄·尼诺年份,冷水上翻减弱,海表温度发生异常增暖,这种海温增暖,一般首先开始于秘鲁—厄瓜多尔沿海,然后向西传播至 $180^\circ$ 日界线附近,使整个东太平洋赤道附近的广大洋面,形成一个异常增暖区。这个大范围海表温度的异常增暖,与沃克环流和南方涛动的减弱,南美洲许多国家、澳大利亚、印尼和美国等许多地区的气候反常,以及西北太平洋副高活动,都有着十分密切的联系。北半球西风带以及我国一些地区的旱涝、东北夏季低温等,也与厄·尼诺现象存在着遥相关关系。

关于形成厄·尼诺现象的原因,目前尚缺乏一致的结论。Wyrтки<sup>[1]</sup>认为,前期西太平洋赤道东风带的持续增强造成西太平洋聚集暖水,以及随后东南信风崩溃,产生开尔文波向东传播,而形成东太平洋的厄·尼诺现象。E. M. Rasmusson 和 T. H. Carpenter<sup>[2]</sup>利用合成分析得到,在厄·尼诺的先兆期,东南太平洋高压迅速减弱,智利沿海出现一个西北风距平(通常为东南信风)和小范围海温正距平。陈烈庭<sup>[3]</sup>用相关场分析得到,东南和东北太平洋两个副热带高压的迅速减弱有同步现象,均与东太平洋赤道附近大范围海温增暖有高相关,前者比后者分别超前2—3个月和2个月。认为这两个高压的减弱可分别引起东南信风和东北信风的减弱,导致赤道洋流和秘鲁冷洋流、加利福尼亚冷洋流以及赤道东部冷水上翻的减弱,从而使赤道地区海温升高。

我们考虑,海洋和大气都是地球整体的组成部分,它们都是发生在地球表面的地球物理现象。本文试图从更大的空间尺度,即地球的转动状态,着重探讨地球自转速率变化对厄·尼诺现象发生的可能影响。

\* 本文于1985年1月24日收到,1985年8月21日收到修改稿。

本文分析的地球自转资料,选取五十年代以后,用原子钟观测的  $UT_1$  系统相对变化值 ( $\Delta\omega/\omega_0$ )。此前的地球自转资料精度较差,难以用它进行成因分析。考虑到地球自转速率存在着长期减慢,不宜做距平处理,并且地球自转季节变化的振幅,在年际之间也有较大差别,故本文未采用距平分析和滤波方法。为了尽可能保留地球自转年际之间的真实变化,使其物理意义更为明确,又能基本消除一年之内的周期成份,因而本文采用地球自转的变量进行分析。一是地球自转年均值的年际变量,另一是地球自转月均值的相邻年的同月变量。

本文的海表温度资料,选取  $80^\circ-180^\circ W, 5^\circ S-5^\circ N$  共 61 个网格点的月距平的平均值<sup>[4,5]</sup>。在分析时,为了与地球自转资料处理保持一致,也用其相邻年的同月变量表示。

## 二、地球自转年变量和厄·尼诺年

图 1 是地球自转的年变量与厄·尼诺发生年的位相。图中曲线为地球自转相对变化 ( $\Delta\omega/\omega_0$ ) 的年均值的相邻年变量,用  $UT_1$  的年均值当年减去前一年得到,单位为  $10^{-10}$ 。▲为厄·尼诺发生之年。由图可见,从 1956 年以来,共发生六次强厄·尼诺年,1957,1965,1969,1972,1976 和 1982—1983 年。另外,1963 年出现一次弱厄·尼诺年。其中,四次强厄·尼诺年(1957,1969,1972,1976)均发生在地球自转减慢的谷年,一次强厄·尼诺年(1965)和一次弱厄·尼诺年(1963)分别发生在地球自转大幅度减慢的谷年的前后一年。最近这次强厄·尼诺年,也发生在地球自转减慢的谷年至其前一年(1983 年 9 月以后,地球自转已迅速加快)。这表明,所有厄·尼诺年都是发生在地球自转年变量迅速减慢的谷年或其附近。

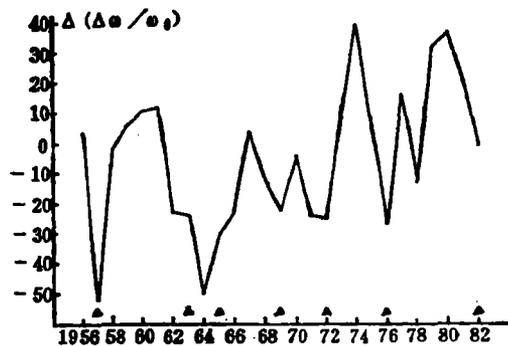


图 1 地球自转年变量与厄·尼诺年

从图 1 中地球自转年变量减慢的数值来看,六次厄·尼诺年(1957,1963,1969,1972,1976,1982—1983)的发生,都同时满足,地球自转年变量的减慢速率(从峰年起算)持续两年,且其数值达  $-21 \times 10^{-10}$  相对变化以上。如果满足这两个条件发生了一次厄·尼诺年以后的一年,地球自转年变量的减慢速率继续较大,则相隔一年后又将发生厄·尼诺年(1965)。反之,不满足上述条件时,均不出现厄·尼诺年。由此表明,厄·尼诺现象的

发生,与地球自转速率的年变量持续、迅速减慢,有着较好的关系。

## 三、地球自转月变量与东太平洋赤道海温异常增暖

为了判别地球自转速率变化与厄·尼诺现象之间是否存在因果关系,我们进一步分析地球自转的月变量与东太平洋赤道附近海温的关系。图 2 中,地球自转的月变量,为相邻年同月的  $UT_1$  月均值的差值。相应地,海温也用相邻年同月海温月距平的差值。斜线区分别为海温迅速增暖发生强厄·尼诺现象和地球自转急速减慢的时段。由图 2 可见,地球自转和海温两者的演变有如下特点:(1) 地球自转减慢与海温增暖呈一致的同步发展。历次强厄·尼诺的海温增暖时段,都发生在地球自转月变量大幅度持续减慢的时候。反之,

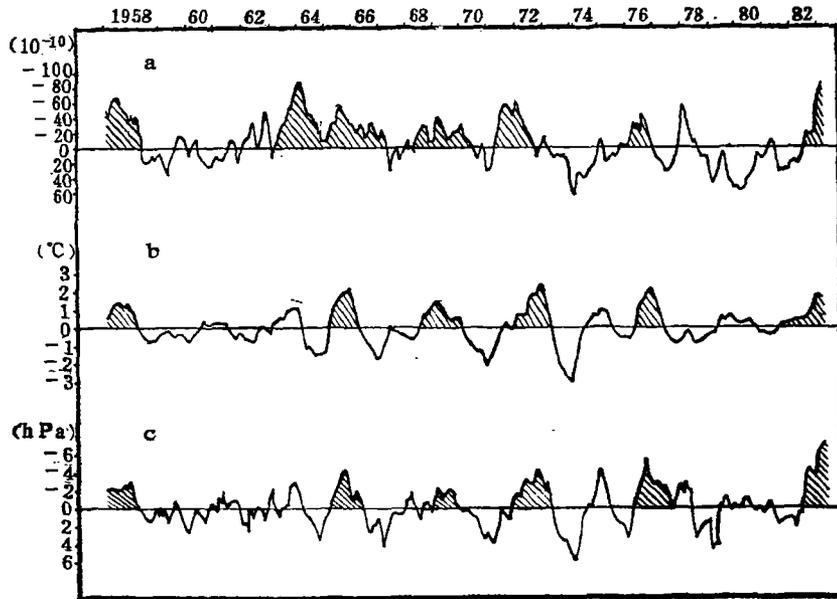


图 2 地球自转(a)、东太平洋赤道海温(b)、南方涛动(c)月变量

凡地球自转月变量大幅度持续减慢的时段,除 1964 年外,也都发生了厄·尼诺现象。(2) 海温增暖的峰值,出现在地球自转谷值之后的有四次(1957,1965,1972,1976),同时出现的一次(1969),海温超前的仅一次(1982—1983)。(3) 海温开始增暖的时间,较地球自转开始减慢落后的也有四次(1957,1969,1972,1976),同时出现的两次(1965,1982—1983),没有海温超前现象。这就是说,厄·尼诺年海温的迅速增暖,绝大多数发生在地球自转月变量的急剧持续减慢之后或同时。我们又计算它们的功率谱和交叉谱,得到海温的主周期为 3.3 年。在这个周期上,海温与地球自转的凝聚谱为 0.78,信度达 0.01,海温比自转后延 14 天,南方涛动也比地球自转后延 7 天(见表 1)。这一定量计算的结果,与上述定性分析结论是一致的。由此表明,地球自转的大幅度持续减慢有可能是形成厄·尼诺现象的一个重要因子。

#### 四、极移振幅与厄·尼诺

我们又分析地极移动的年平均振幅<sup>1)</sup>与厄·尼诺现象的关系,极移用 ILS 系统的资料。

1) 采用中国科学院北京天文台李启斌的极移振幅计算方法:

(1) 对每个极坐标( $X_i, Y_i$ )求其相应的平极( $\bar{X}, \bar{Y}$ )

$$\begin{cases} \bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i \\ \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum Y_i \end{cases}$$

上式中  $n$  为所取每年极坐标的个数。

(2) 对每个极坐标( $X_i, Y_i$ )求其到相应平极( $\bar{X}, \bar{Y}$ )的距离  $\rho_i$ ,

$$\rho_i = \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2}$$

(3) 求每年的极移振幅  $\bar{\rho}$

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i$$

表 1 地球自转与海温、南方涛动的交叉谱分析

	海 温			南 方 涛 动		
	周期(a)	凝聚谱	后延(d)	周期(a)	凝聚谱	后延(d)
地球自转	3.3	0.78	14	3.3	0.64	7

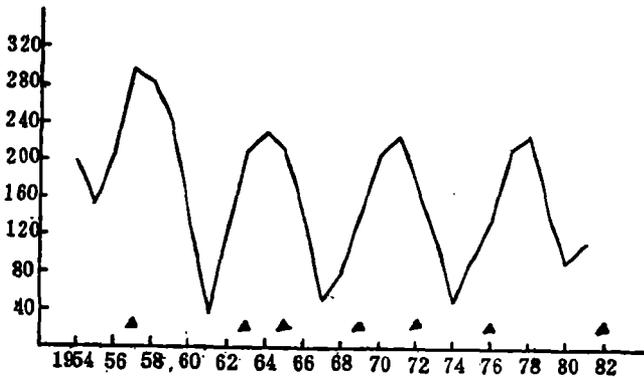


图 3 极移年平均振幅与厄·尼诺年

由图 3 可见, 极移的年平均振幅有相当稳定的 6—7 年周期, 在极移年平均振幅谷年的后两年, 都发生了厄·尼诺现象 (1957, 1963, 1969, 1976, 1982—1983)。另外, 在极移年平均振幅峰值的后一年, 1965 年和 1972 年也发生了厄·尼诺现象。这表明极移振幅与厄·尼诺现象也有一定关系。由于极移振幅 6—7 年的周期相当稳

定, 极移年平均振幅的谷年后两年都发生了厄·尼诺现象, 这一点可以作为预测厄·尼诺现象可能发生的信息之一。

## 五、讨 论

地球自转理论认为<sup>[6]</sup>, 地球自转的周年项和半年项的变化, 是由于大气相对西风角动量的变化所引起。我们认为, 在大气、海洋和地球自转的相互关系中, 就 3—4 年这个周期来说, 地球自转变化的原因可能仍在于全球大气角动量的变化(这有待证明); 另一方面, 地球自转的变化对于大气、海洋也有一定的反作用, 它主要发生在低纬度地区。本文上述分析得到的地球自转急剧减慢引起厄·尼诺现象这一事实, 正是反映了这种反作用。对于后一问题的物理联系, 下面我们从数量级上作一讨论。

一些文献<sup>[7]</sup> 将地球和大气视作一个封闭系统。我们进一步推广将地球、大气、海洋三者近似地视为一个封闭系统。从角动量守恒原理出发, 有

$$J = J_E + J_a + J_0 \quad (1)$$

式中  $J_E, J_a, J_0$  和  $J$  分别为固体地球、大气、海水和整个地球系统的角动量。(1)式可变换为

$$J = I_E \omega_E + I_a \omega_a + I_0 \omega_0$$

式中  $I_E, I_a, I_0$  和  $\omega_E, \omega_a, \omega_0$  分别为固体地球、大气、海水的转动惯量和角速度。对  $J$  进行微分, 则

$$\begin{aligned} \Delta J &= \omega_E \Delta I_E + I_E \Delta \omega_E + \omega_a \Delta I_a + I_a \Delta \omega_a + \omega_0 \Delta I_0 + I_0 \Delta \omega_0 \\ &= 0 \end{aligned}$$

文献<sup>[7]</sup>已证明,  $\omega_a \Delta I_a$  为小量可略去。在 3—5 年时间尺度内,  $\omega_E \Delta I_E \neq 0$ , 且  $\omega_0 \Delta I_0$

类似于  $\omega_a \Delta I_a$  也为小量可略去。经整理后,得

$$\Delta \omega_E = -\frac{I_0}{I_E} \Delta \omega_0 - \frac{I_a}{I_E} \Delta \omega_a \quad (2)$$

取  $I_E = 8.04 \times 10^{44} \text{g} \cdot \text{cm}^2 [8]$ ,  $I_a = 1.413 \times 10^{39} \text{g} \cdot \text{cm}^2 [8]$ ,  $I_0 = 2.94 \times 10^{41} \text{g} \cdot \text{cm}^2 [1]$ , 代入 (2) 式得

$$\Delta \omega_E = -3.658 \times 10^{-4} \Delta \omega_0 - 1.757 \times 10^{-6} \Delta \omega_a \quad (3)$$

(3) 式表明, 地球自转速度变化的效应, 可使大气纬向风速变化或洋流纬向速度变化, 分别放大 6 和 4 个量级, 方向相反。

我们利用 (3) 式, 讨论地球自转速率变化影响海水、大气纬向速度变化的量级及其与厄·尼诺现象的关系。

在厄·尼诺年, 地球自转平均减慢的相对变化为

$$\frac{\Delta \omega}{\omega_0} = 38.6 \times 10^{-10}$$

即相当于

$$\Delta \omega_E = 0.2856 \times 10^{-12} \text{rad/s} \quad (4)$$

切向加速度的普遍公式有

$$a = R \Delta \omega \quad (5)$$

以 (4) 式代入 (3)、(5) 式, 得到赤道地区的海水或大气可获得的相对速度, 分别为 0.51 cm/s 和 1.04 m/s。

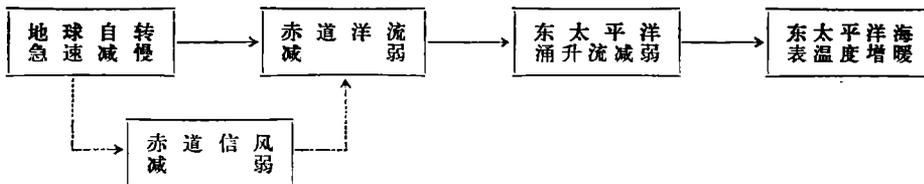
地球自转时所产生的地表线速度, 以赤道为最大 (465.1 m/s), 并随纬度的增加而减小, 至极点为零。由地球自转速率变化引起的海水和大气的相对速度变化也是如此。再由公式

$$\Delta V_\varphi = \Delta V \times \cos \varphi \quad (6)$$

可计算得在厄·尼诺年由于地球自转减慢使各纬圈海水或大气获得的相对速度 ( $\Delta V_0$ ,  $\Delta V_a$ ) 如表 2 所示。

表 2 中可见, 在厄·尼诺年, 由于地球自转减慢, 在  $\pm 10^\circ$  的低纬地区, 海水均可获得 0.5 cm/s 的向东相对速度, 或者大气可获得 1 m/s 的向东相对速度。由于这一相对速度系作用于全球低纬地区整层海水或整层大气的平均值, 并且低纬度海水得到的向东相对速度, 已达全球海洋的平均流速 2 cm/s 的 1/4, 故其效应是不小的。

由此我们认为, 地球自转变化对大气、海洋的作用, 主要发生在低纬度地区。地球自转减慢引起厄·尼诺现象的物理途径如框图所示。



1) 海水转动惯量系由  $I = \frac{1}{2} m R^2$  求得。式中取  $R = 6.369 \times 10^8 \text{cm}$  (地球平均半径减去海洋平均深度的中值), 海水总质量  $m = 1.45 \times 10^{24} \text{g} [9]$ 。

表 2 各纬圈海水、大气由地球自转减慢  
可获得的相对速度

纬 度	$\Delta V_o(\text{cm/s})$	$\Delta V_a(\text{m/s})$
0°	0.5105	1.0367
10°	0.5027	1.0209
20°	0.4797	0.9741
30°	0.4421	0.8978
40°	0.3910	0.7941
50°	0.3281	0.6663
60°	0.2552	0.5183
70°	0.1746	0.3545
80°	0.0886	0.1800
90°	0.0	0.0

就是说,地球自转大幅度持续减慢,使赤道附近海水或大气获得较多的向东角动量,引起赤道洋流减弱(或引起赤道信风减弱而使赤道洋流减弱),导致东太平洋涌升流(与美洲西海岸地形有关的补偿离岸风海水质量亏损而形成的冷水上翻)得以减弱,从而造成这个地区大范围海表温度异常增暖的厄·尼诺现象。大西洋东部等赤道附近涌升流区海温增暖与东太平洋厄·尼诺现象具有同步现象<sup>[9]</sup>,进一步表明此种地球自转减慢效应的全球性。

致谢:北京天文台张国栋、李致森、韩延本,对本文提出宝贵意见,并提供地球自转和极移资料,气象科学研究院陈新强协助功率谱计算,毕慕莹提供部分海温资料,作者表示诚挚的谢意。

### 参 考 文 献

- [1] Wyrski, K., The Southern Oscillation, ocean-atmosphere interaction and El Niño, *Mar. Tech. Soc. J.*, **16**, 1, 3-10, 1982.
- [2] Rasmusson, E. M., & T. H. Carpenter, Variation in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño, *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 5, 1982.
- [3] 陈烈庭, 太平洋海气相互作用的时空变化, *气象学报*, Vol. 41, No. 3, 1983.
- [4] 中国科学院地理研究所、上海中心气象台, 北太平洋逐月平均海面水温资料, 海洋出版社, 1979.
- [5] NOAA. NWS. Oceanographic Monthly Summary, 1981-1983.
- [6] 芒克, W. H., & G. J. F. 麦克唐纳, 地球自转, 132-145, 科学出版社, 1976.
- [7] 彭公炳、陆巍, 大气环流演变与地球转动不均匀性, *中国科学*, 第 9 期, 1126-1136, 1982.
- [8] 艾伦, C. W., 物理量和天体物理量, 140, 151, 上海人民出版社, 1976.
- [9] 王绍武、赵宗慈, 厄尼诺、南方涛动与瓦克环流, *气象科技*, 第 2 期, 20-28, 1984.

## DECREASE OF EARTH ROTATION AND EL NINO EVENTS

Ren Zhenqiu Zhang Suqin

(Academy of Meteorological Science, State Meteorological Administration, Beijing)

### Abstract

In this work, it is demonstrated that since 1956 all the El Nino events occurred during the large-amplitude and continuous decrease of the earth rotation speed with an average lagging of 14 days. It may suggest that decrease of earth rotation speed probably has an important effect on the occurrence of an El Nino event. Its influence on the order of magnitudes of the weakening of equatorial ocean current velocity and the physical process of the formation of an El Nino event are also discussed.