

参 考 文 献

- 1 Li Z X, Zhang L, Powell C M. South China in Rodinia: Part of the missing link between Australia-East Antarctic and Laurentia. *Geology*, 1995, 23: 407 ~ 410
- 2 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? *Earth planet Sci Lett*, 1999, 173: 171 ~ 181
- 3 张宗清, 张国伟, 付国民, 等. 秦岭变质地层年龄及其构造意义. *中国科学, D辑*, 1996, 26(2): 216 ~ 222
- 4 严 正. 陕西省花岗岩. 西安: 西安交通大学出版社, 1985
- 5 张宗清, 刘敦一, 付国民. 北秦岭变质地层同位素年代研究. 北京: 地质出版社, 1994
- 6 Harrison T M, Duncan I, McDougall I. Diffusion of ^{40}Ar in biotite: Temperature, pressure and compositional effects. *Geochim Cosmochim Acta*, 1985, 49: 2461 ~ 2468
- 7 Chavagnac V, Jahn B M. Coesite-bearing eclogites from the Bixiling Complex, Dabie Mountains, China: Sm-Nd ages, geochemical characteristics and tectonic implications. *Chem Geol*, 1996, 133: 29 ~ 51

(2000-05-29 收稿, 2000-07-11 收修改稿)

El Niño 事件的前兆现象在日长和海平面观测中的反映

郑大伟^{①②} 丁晓利^② 周永宏^① 陈永奇^② 李志林^② 廖新浩^①

(^①中国科学院上海天文台, 上海 200030; 中国科学院国家天文观测中心, 北京 100012; ^②香港理工大学
土地测量及地理资讯学系, 香港)

摘要 利用 1962 年以来的日长变化、东太平洋海面水温以及香港验潮站的海平面资料, 分析和揭示即将来临的 El Niño 事件的前兆现象在日长和海平面变化观测中的反映. 研究表明, 随着 1998 年初夏开始的强 La Niña 事件的结束, 又一次新的 El Niño 事件正在孕育过程中, 预计它的形成期将在 2000 年底前开始, 并可能在 2001 年底前后达到盛期.

关键词 日长变化 海平面变化 El Niño 事件

自 1982~1983 年的强 El Niño 事件的信号在空间大地测量技术测定表征地球自转速率的日长变化(ΔLOD)中被检测到以来^[1], 地球自转与 El Niño 事件关系的研究受到国内外地球动力学领域科学家的重视, 开展了许多有科学和应用意义的研究工作^[2~9]. 研究表明, 地球自转与 El Niño 事件的关系可通过年际时间尺度上大气、海洋与固体地球自转之间的动力学过程来描述. 在 El Niño 事件时期, 太平洋赤道带向西信风和热带表层洋流出现异常, 东太平洋海平面上升, 这导致大气和海洋角动量的增加. 它们与固体地球自转进行角动量的交换以及总角动量的守恒, 使地球自转速率减慢(日长增长). 而在 La Niña 事件时期, 赤道带向西信风和热带表层洋流加强, 西太平洋海平面上升, 大气和海洋角动量的减少使地球自转速率加快(日长减小).

本文将采用国际地球自转服务(IERS, 法国巴黎)、美国国家环境预测中心(NCEP)提供的 1962 年以来的日长序列、东太平洋海面水温(SST)序列以及香港验潮站的海平面变化(SLC)资料, 分析和揭示即将来临的 El Niño 事件的前兆现象在日长和海平面变化观测中的反映, 并对

新的 El Niño 事件的发生作出初步的估计。

1 观测资料的处理

本文采用 IERS 综合近代空间大地测量和光学观测而得到的 1962 年 1 月~2000 年 4 月 1 d 间隔的、具有较高精度和系统稳定性的“EOP97C04”日长资料^[10]。日长资料中 35 d 以下的带谱潮汐效应可根据 Yoder 等人的理论公式^[11]进行改正,并相对于同一时期的大气角动量,应用多级滤波(multi-stage filter, MSF)方法^[12]对日长序列进行滤波,以消除地球核幔耦合引起日长的“10 a 尺度”起伏效应。滤波后的序列按月进行简单平均得到日长的月平均序列,并用 Householder 变换的最小二乘法消除线性项和季节性变化后,得到称为日长“年际变化”的残差序列绘于图 1(a)中。此外,我们还对日长的残差序列再用 MSF 方法进行滤波,以消除 2 a 以下的日长高频变化。这样,实际得到的是带通滤波后的日长年际变化序列,绘于图 1(b)中。图 1(c)显示表征 El Niño 事件的东太平洋赤道带区域(Niño 3 + 4 区)海表面温度的年际变化,它是对 NCEP 所提供的该区域 1962 年 1 月~2000 年 4 月的海表面温度月平均资料,用 Householder 变换的最小二乘法消除线性项和季节性变化后求得的。

将图 1(a)~(c)相比较,可以发现 1960 年以来所发生的 11 次 El Niño 事件,在日长年际序列中有相当好的对应关系。当东太平洋赤道带海温上升时(El Niño 事件形成时期),年际日长增长(地球自转速率减慢),而海温下降时(La Niña 事件的形成时期),年际日长减小(地球自转速率

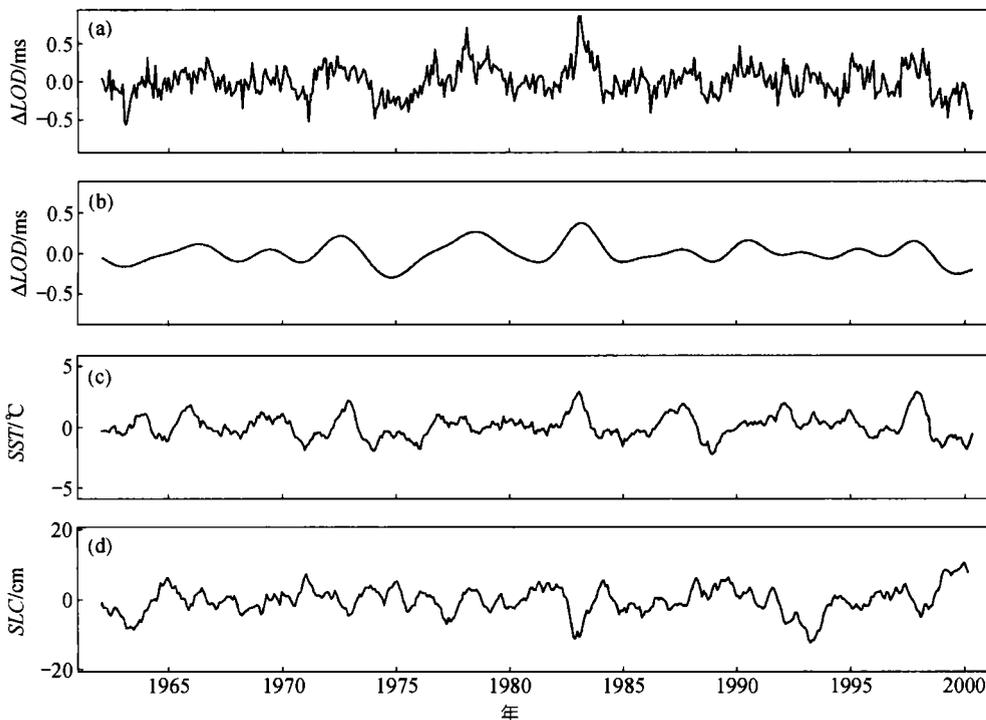


图 1 最小二乘法求得的日长年际变化序列(a),带通(2~10 a)滤波求得的日长年际变化序列(b),东太平洋赤道带海表面水温年际变化序列(c)和香港地区海平面年际变化序列(d)

加快),也就是说,每次 El Niño 事件都是发生在年际日长由减小变为增长之后. 这里还需指出的是,带通滤波后的日长年际变化(图 1(b)),在 1999 年 8 月出现了新的极小值,它揭示着 1998 年初夏开始的强 La Niña 事件已经结束,又一次新的 El Niño 事件正在孕育过程中.

位于中国南方和靠近热带西太平洋边缘的香港验潮站的海平面资料具有较好的连续性和稳定性. 丁晓利等人¹⁾曾用 1954 年以来的香港验潮站资料研究了该地区的海平面变化与南方涛动的关系. 图 1(d)提供了 1962 年以来的香港地区海平面的年际变化,它是由月平均资料用最小二乘法消除线性、季节性和 18.6 a 潮汐项后的残差序列,再通过半年的移动平均求得的. 若将香港地区海平面的年际变化与图 1(c)中的东太平洋赤道带海温相比较,可以发现它们之间呈现较好的反相关关系. 当 El Niño 事件发生时,香港地区年际海平面下降,而在 La Niña 事件发生时,年际海平面上升. 它们的这种反相关关系主要是由于伴随 El Niño 和 La Niña 事件出现在东、西太平洋间海表面气压和风场变化的影响^[13,14]. 在此,值得注意的是,从 1998 年初夏开始、持续近两年的强 La Niña 事件,使香港地区年际海平面在 1999 年底上升 10 cm 后,已开始呈现下降的趋势. 这也为新的 El Niño 事件处于孕育过程中的判断提供了又一个依据.

2 新 El Niño 事件的预估计

为了对正在来临的新的 El Niño 事件进行预估计,分别对显示于图 1(a)和(d)的日长和海平面年际序列与图 1(c)的海温序列作时间域的互相关函数和频率域的平方相干谱分析. 两个时间序列的时滞相关函数 $\rho(\tau)$ 和平方相干谱 $\gamma^2(f)$ 可分别由下式进行估计^[15]:

$$\rho(\tau) = \frac{\sigma_{12}(\tau)}{\sqrt{\sigma_{11}\sigma_{22}}}, \quad (1)$$

$$\gamma^2(f) = |R(f)|^2, \quad (2)$$

$$R(f) = \frac{S_{12}(f)}{\sqrt{S_{11}(f)S_{22}(f)}}. \quad (3)$$

(1)式中 σ_{12} 是相位延迟 τ 的互协方差函数, σ_{11} 和 σ_{22} 分别是两个时间序列的方差. (2)和(3)式中 f 是频率, S_{12} 是两个时间序列的互功率谱, S_{11} 和 S_{22} 分别是每个时间序列的自功率谱. 本研究在计算功率谱的 Fourier 变换时采用了多窗口谱技术^[16]. 日长和香港地区海平面年际序列与海温序列的互相关函数和平方相干谱估计结果分别显示于图 2 中.

从显示于图 2(c)和(d)的平方相干谱估计结果可见,日长和香港地区海平面变化分别主要在 0.21~0.39 和 0.26~0.47 r/a 的年际频带上与东太平洋赤道带的海温变化具有较强的相干性,且大多数频率点的相干谱估计超过了 95% 的显著水平^[17]. 从图 2(a)和(b)显示的时间域的互相关估计可知,东太平洋海温变化与日长年际变化具有正相关性,而与香港海平面的年际变化却呈现负相关. 它们在海温超前一个月处有最大的相关估计值(分别为 0.52 和 -0.50),在统计检验上它们已明显地超过了 95% 的显著水平^[18].

1) Ding X L, Zheng D W, Chen Y Q, et al. Sea level change in Hong Kong from tide gauge measurements of 1954~1999. Journal of Geodesy (待发表)

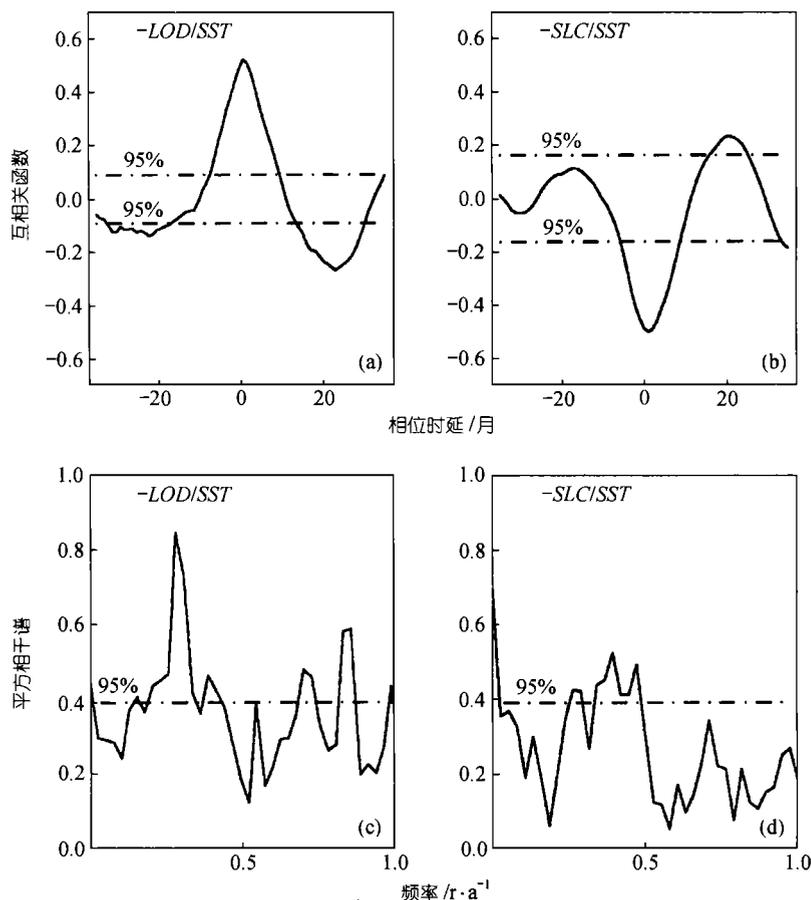


图 2 1962 年 1 月~1999 年 12 月期间日长和香港地区海平面年际变化分别与东太平洋赤道带海表面海温在时间域的互相关函数((a)和(b))和频率域的平方相干谱((c)和(d))的估计结果
 图中的虚线为估计值显著性检验的门限值

在此, 值得指出的是, 我们若仔细观察图 2(a)中的互相关估计曲线可以发现, 在年际日长超前 23 个月处有一个 -0.14 , 并超过 95%显著水平检验的负相关的最大估计值. 从文献[15]研究结果可知, 伴随着 El Niño 和 La Niña 事件的热带太平洋大气和海洋的东、西向运动引起地球自转速率的年际变化, 而地球自转年际速率的变化又会反作用于海洋, 影响洋流的纬向运动, 并对 El Niño 事件的形成时期产生一定的影响. 热带海洋、大气与地球自转相互作用的研究结果已被卫星测高技术监测 1997~1998 年 El Niño 事件的发生和发展过程的观测事实所证实^[19]. 这样, 就可以利用天文和空间大地测量技术观测得到的日长资料, 计算和监视日长年际变化极小值的出现, 并根据年际日长 23 个月的相位超前, 对新的 El Niño 事件进行预估计.

综上所述, 利用 1962 年以来的天体测量和空间大地测量观测资料所归算的日长年际变化在 1999 年 8 月出现了新的极小值, 它表明 1998 年初夏开始、持续近两年的强 La Niña 事件已经结束, 又一次新的 El Niño 事件正在孕育的过程中. 我国南方香港地区海平面年际变化的近

期观测数据也为此提供了依据。根据以前地球自转与热带海洋、大气相互作用的研究结果及本文的时滞相关估计, 预计新的 El Niño 事件的形成期(年际海温持续为正值)将会在 2000 年底前出现, 并可能在 2001 年的冬季达到盛期。它将是 21 世纪的第 1 次 El Niño 事件。

本文所分析和揭示的仅是即将来临的 El Niño 事件的前兆现象在天文和大地测量观测资料中的反映及其预估计的初步分析。它可以为气象和海洋部门监测和预报 El Niño 事件提供参考信息。

致谢 感谢国际地球自转服务机构的 Gambis 博士, 美国国家大气和环境研究中心的 Salstein 博士, 香港天文台的黄金铺先生提供本研究数据以及香港理工大学土地测量及地理资讯学系邝美娟为本工作收集了有关资料。本工作为国家攀登计划(批准号: 972231003)、国家自然科学基金(批准号: 14833030, 49634140)和中国科学院(批准号: KJ951-1-304)资助项目, 香港理工大学土地测量及地理资讯学系也对此项目的研究提供了资助(G.34.37.YC42)。

参 考 文 献

- 1 Carter W E, Robertson D S, Petley J E, et al. Variations in the rotation of the Earth. *Science*, 1984, 224: 957~961
- 2 Eubanks T M, Steppe J A, Dickey J O. *Earth Rotation: Solved and Unsolved Problems*. Boston: D Reidel Publishing Company, 1986. 163~186
- 3 Chao B F. Length-of-day variations caused by El Niño-Southern Oscillation and Quasi-Biennial Oscillation. *Science*, 1989, 243: 923~925
- 4 郑大伟, 罗时芳, 宋国玄. 地球自转年际变化, El Niño 事件和大气角动量. *中国科学, B 辑*, 1989, 32(7): 729~736
- 5 Zheng D W, Song G X, Luo S F. El Niño prediction. *Nature*, 1990, 348: 119
- 6 Dickey J O, Marcus S L, Hide R. Global propagation of interannual fluctuations in atmospheric angular momentum. *Nature*, 1992, 357: 484~488
- 7 Gambis D. Wavelet transform analysis of the length of the day and the El Niño/Southern Oscillation variations at intraseasonal and interannual time scales. *Ann Geophys*, 1992, 10: 429~437
- 8 Salstein D A, Kann D M, Miller A J, et al. The sub-bureau for atmospheric angular momentum of the interannual earth rotation service: a meteorological data center with geodetic applications. *Bull Am Meteorol Soc*, 1993, 74: 67~80
- 9 钱维宏, 丑纪范. 地气角动量交换与 ENSO 循环. *中国科学, D 辑*, 1996, 26(1): 80~86
- 10 Gambis D. *IERS Annual Report for 1997*. Paris: IERS, 1998
- 11 Yoder C F, Williams J G, Parkes M E. Tidal variations of Earth rotation. *J Geophys Res*, 1981, 86: 881~891
- 12 郑大伟, 董大南. 用多级滤波器实现极移资料的窄带滤波. *天文学报*, 1981, 27: 368~376
- 13 Wyrski K. Water displaced in the Pacific and the genesis of El Niño cycles. *J Geophys Res*, 1985, 90: 7129
- 14 郑大伟, 陈 刚. 赤道带海洋活动与日长变化的关系. *中国科学, A 辑*, 1994, 24(4): 341~347
- 15 Jenkins G, Watts D. *Spectrum Analysis and Its Applications*. San Francisco: Holden-Day, 1968
- 16 Thomson D. Spectrum estimation and harmonic analysis. *IEEE Proc*, 1982, 70: 1055~1096
- 17 Chao B F. Correlation of interannual length-of-day variation with El Niño/southern oscillation. *J Geophys Res*, 1988, 93: 7709~7715
- 18 周永宏, 郑大伟. 相关估计显著水平的 Monte Carlo 模拟检验. *测绘学报*, 1999, 22: 313~318
- 19 董晓军, 黄 城, 郑大伟, 等. 利用 TOPEX 卫星测高技术监测 1997 年度 El Niño 过程. *科学通报*, 1998, 43: 2062~2065

(2000-07-18 收稿, 2000-09-10 收修改稿)