

极移半年振荡的年际变化与北大西洋涛动*

闫昊明 钟敏 朱耀仲 雷小平**

中国科学院测量与地球物理研究所, 动力大地测量学开放研究实验室, 武汉 430077

摘要 北大西洋涛动(NAO)是全球三大气象涛动之一, 它是海气相互作用的产物. 采用标准化的北大西洋涛动指数(NAOI)来表示NAO的强度. 由观测极移参数反演得到极移激发函数, 对此进行小波振幅谱分析, 从而获得极移激发函数半年振荡的时频变化. 研究表明, 极移激发函数半年振荡沿东经90°方向分量的振幅年际变化与NAO年际变化呈明显相关, 并且主要是大气和海洋角动量变化共同激发的结果.

关键词 极移 极移激发函数 北大西洋涛动 年际时间尺度

地球瞬时轴相对于地球本体的运动, 简称为极移. 它主要包括周期14个月的Chandler摆动与周期12个月及6个月的季节振荡. 极移季节振荡主要受大气、海洋和地表水质量重新分布的影响, 其季节变化明显, 反映了大气、海洋和地表水等赤道角动量变化对极移的综合影响, 进而可以在某种程度上呈现全球尺度的气候异常. 近20年来, 由于观测技术的进步, 对极移的测定精度已经达到亚厘米级. 因此, 极移运动已成为对诸如大气、海洋、陆地水循环进行约束的客观标准之一.

热带太平洋区域的El Niño和南方涛动合称为ENSO, 是迄今发现的与全球气候年际变化有关且最为显著的一种短气候年际尺度准周期振荡. El Niño是指赤道东太平洋秘鲁和厄瓜多尔海岸附近大范围海水增暖现象, 南方涛动是指东南热带太平洋(南太平洋高压)与澳大利亚-印尼区域(印尼低压)之间海面气压振动, 通常用南方涛动指数(SOI)表示, 定义为Darwin和Tahiti之间的海面气压差. 迄今许多研究表明, 地球自转年际和亚季节尺度日长变化与ENSO现象高度关联^[1~4]. 北大西洋涛动(NAO)是指南北气压差; 低压区域在冰岛附近, 高压区域在亚赤道的Azores; 气压的变化会引起欧洲、北美和北非的降雨和冬季气温变化; 而且, 当冰岛的气

压低于正常气压时, Azores的气压高于正常气压, 相反亦然^[5]. NAO的主要影响区域是北大西洋相邻地区, 对海洋和陆地气候系统有较大的影响, 因此近年来受到关注. 由于地球自转变化与NAO的相关程度低于日长年际和亚季节尺度变化与ENSO现象之间的相关性, 国内外鲜见该方面的研究结果. Zhou等讨论了极移激发函数年际变化与NAO年际变化的关系^[6]. Chao等探讨了极移激发函数的年际变化与SOI及NAO年际变化的关系^[7], 表明NAO与极移激发函数在年际尺度上存在相关. 本文主要讨论极移激发函数半年振荡与NAO年际变化的关系.

1 数据及分析方法

极移的两个分量可以用复数形式表示为 $m = m_1 + im_2$, 这里 m_1 和 m_2 分别是沿格林威治子午线和90°E方向的分量. 极移动力学方程为

$$m + i \frac{m}{\sigma_0} = \psi, \quad (1)$$

式中 ψ 为极移激发函数, $\psi = \psi_1 + i\psi_2$, $\sigma_0 = 2\pi\left(1 - \frac{i}{2Q}\right)/T_0$ 是Chandler圆频率, T_0 是Chan-

2001-04-12 收稿, 2001-06-11 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 49904002)及国家攀登项目(970231003)资助

E-mail: yhm@asch.whigg.ac.cn

** 动力大地测量学开放研究实验室客座研究人员

Q 为品质因子。

为探讨 NAO 与极移激发函数半年振荡的关系, 需要把观测极移 m 转换成极移激发函数 ψ 。观测极移数据采用 COMB99 序列^[8], 并用 Wilson 公式 4a 进行反演^[9]。为提取 ψ_1 和 ψ_2 半年振荡的瞬时振幅, 我们对极移激发函数作小波振幅谱分析^[3]。

对 $\forall f \in L^2(R)$, $\psi(t)$ 为一连续小波, 取 Morlet 小波作为基本小波, 即

$$\psi(t) = e^{-t^2/2} \cdot e^{i\omega_0 t}, \quad (2)$$

$$\text{令 } \overline{W}_\psi f(a, b) = \frac{1}{aC_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

则称 $|\overline{W}_\psi f(a, b)|$ 为信号 $f(t)$ 的小波振幅谱, 式中 $C_\psi = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) \cos \omega_0 t dt$ 。于是可以获得极移半年振荡的时频变化特征。结果显示, 由于大气、海洋的影响, 极移激发函数半年振荡的振幅没有周年振幅稳定, 且其周期也随时间作微小的变化。

采用北大西洋涛动指数 (NAOI) 表示 NAO 变化的强度。标准化的 NAOI 与海表温度、海平面气压和中对流层地势高度场等气象因素有关。本文采用 Vondark 滤波方法^[10], 滤波因子取为 10^{-13} 和 10^{-16} , 提取 NAOI 的年际尺度变化。

2 结果分析

极移激发函数半年振荡的振幅变化 $x_1(t)$ 和 NAOI 年际变化 $x_2(t)$ 的时间域上的相关性可用时滞互相关函数 $\rho(\tau)$ 来度量^[7]

$$\rho(\tau) = \frac{\sigma_{12}}{\sqrt{\sigma_{11}\sigma_{22}}}, \quad (3)$$

式中 σ_{12} 是相位延迟的互协方差函数, σ_{11} 和 σ_{22} 分别是 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 的方差。 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 在频率域上的相关性可以用复相关谱 $R(f)$ 来表示

$$R(f) = \frac{S_{12}(f)}{\sqrt{S_{11}(f)S_{22}(f)}}, \quad (4)$$

式中 f 为频率, $S_{12}(f)$ 是 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 的互功率谱, $S_{11}(f)$ 和 $S_{22}(f)$ 分别是 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 的自功率谱。定义平方相干谱和相位相干谱分为 $\gamma^2(f)$ 和 $\varphi(f)$:

$$\gamma^2(f) = |R(f)|^2, \quad \varphi(f) = \arg[R(f)].$$

功率谱可以通过快速 Fourier 变换来计算, 并采用 Monte Carlo 方法对 $\gamma^2(f)$ 给出 95% 显著水平上的门限值。

图 1 给出了 1963 年到 1997 年极移激发函数 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化与 NAOI 的年际变化。可以发现, ψ_2 分量半年振荡的振幅变化与 NAOI 年际变化具有明显的相关性, 且比 NAOI 年际变化超前。为进一步分析两者的关系, 对两者年际变化在时间域内进行了相关分析, 从中可以清楚的看出两者在 0.6a 的相位差处相关性达到最大值 0.53。为了确定相关系数的统计显著性, 我们采用数值 Monte Carlo 方法计算的相关系数检验表^[11], 得出相应的相关系数在 95% 的置信水平上的临界值 (图 2 中虚线所示)。在图 2 中, 相关系数超过了 95% 置信水平。同时研究结果还表明, 极移激发函数 ψ_1 分量半年振荡的振幅变化与 NAOI 年际变化无明显相关 (图略)。

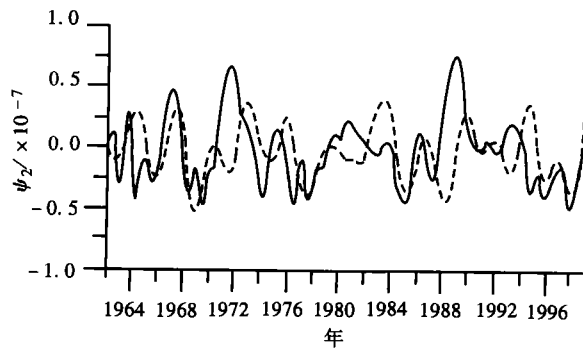


图 1 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化 (实线) 和 NAOI 年际变化 (虚线)

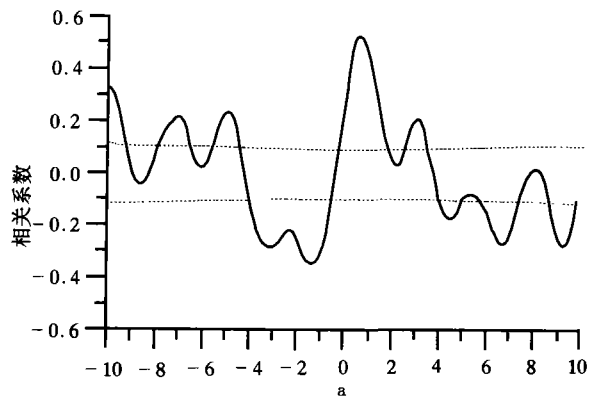


图 2 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化和 NAOI 的相关系数 (虚线为 95% 置信水平)

为讨论大气、海洋对这一相关性的贡献,我们对美国国家环境预测中心(NCEP)再分析数据的大气角动量激发函数和 Ponte 采用海洋模型所给出的海洋角动量与极移激发函数的 ψ_2 分量进行对比分析(图3)^[12].从图3中可以清晰的看出,大气激发函数和极移激发函数 ψ_2 分量的半年振荡振幅变化存在比较大的相位差距,但大气角动量加上海洋角动量后,相位符合的非常好.这说明,海洋角动量对这一相关性起了很重要的作用.但两者的振幅还存在差距,说明还有其他因素影响,如地表水的影响.由于海洋角动量数据的时间跨度限制,只能分析1985~1996年的极移激发函数半年振荡. NAO的气压振荡中心分布在20°W附近^[7],从 ψ_1 和 ψ_2 的海水质量重新分布权函数($\sin(\phi)\cos(\phi)\exp(i\lambda)$)来看,0°经圈附近的海水质量分布变化对 ψ_1 的激发要大于对 ψ_2 的激发.然而从洋流影响的权函数($\exp(i\lambda)$)来看,0°经圈附近南北方向的洋流变化对 ψ_2 的激发要强于对 ψ_1 的激发.

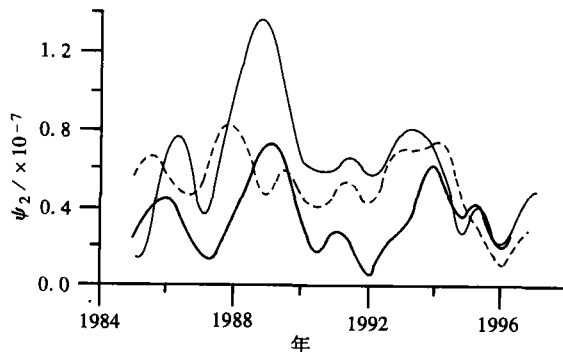


图3 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化(细实线)以及大气激发(虚线)和大气海洋综合激发(粗实线)

在频率域内,应用快速 Fourier 变换,可以计算出极移激发函数 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化与 NAOI 年际变化的平方相干谱 $\gamma^2(f)$ (图4)和相位相干谱 $\varphi(f)$ (图略).图4包含了丰富的频率信息.首先,极移激发函数 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化与 NAOI 在年际尺度上(5~7 a)远远超过了95%置信水平的门限值,这与图3的结果相同,表明两者存在年际变化,且年际变化包含了主要的能量.说明 NAO 调幅了极移激发函数 ψ_2 分量半年振荡.其次,还有一个频率为2~3 a的准周期变化,它也超过了95%置信水平的门限值,图3中也显示了这一次强能量变化,反映出极移运动包含丰富的大气、海洋变化信息.通过频率域的分析,表明在年际尺度上

极移激发函数 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化与 NAOI 年际变化相关良好,进一步证明了我们在时间域内的分析结果.

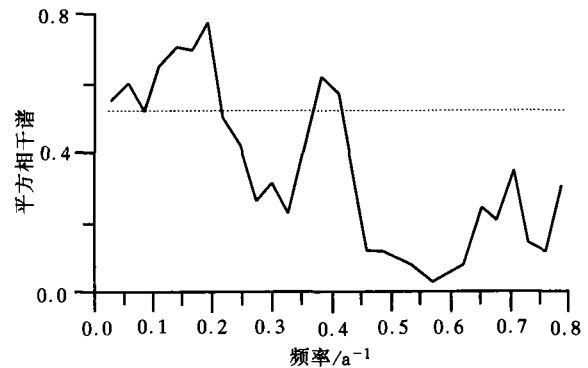


图4 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化与 NAOI 的年际变化复相关谱(虚线为95%置信水平)

3 结论

通过时间域、频率域内的相关分析和大气、海洋角动量对极移激发函数 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化影响的分析,我们可以看到,极移激发函数 ψ_2 分量半年振荡的振幅变化与 NAO 年际变化之间存在明显的相关.这种相关主要是大气、海洋角动量共同激发的结果,而且大气激发不能单独解释此相关性.同时说明地球自转这一不同时间尺度上的相互关联可为大气海洋变化的相关研究提供新思路.

致谢 感谢美国国家宇航局喷气实验室 Gross 博士提供 Comb99 极移资料,美国商业部大气环境研究所 Ponte 博士提供海洋角动量资料和美国国家环境预测中心(NCEP)提供大气角动量资料.

参 考 文 献

- 1 Dickey J O, et al. Angular momentum exchange among the solid earth, atmosphere and oceans: A case study of the 1982~1983 El Niño event. *J Geophys R*, 1994, 99: 23921
- 2 钟 敏, 等. 日长亚季节变化的振幅调制与厄尔尼诺现象. *天文学报*, 1999, 40: 101
- 3 闫昊明, 等. 日长季节振荡的振幅变化与南方涛动现象. *测绘学报*, 2000, 29 (增刊): 103
- 4 周永宏, 等. 地球自转运动与大气、海洋活动. *科学通报*, 2000, 45: 2588
- 5 Uppenbrink J. The North Atlantic Oscillation. *Science*, 1999, 283: 948
- 6 Zhou Y H, et al. Interannual polar motion with relation to the North Atlantic Oscillation. *Global and Planetary Change*, 1998, 18: 79

- 7 Chao B F, et al. Meteorological excitation of interannual polar motion by the North Atlantic Oscillation. *J Geodyn*, 1999, 27: 61
- 8 Gross R S. Combinations of Earth-orientation measurements: SPACE97, COMB97, and POLE97. *J Geod*, 2000, 73: 627
- 9 Wilson C R. Discrete polar motion equations. *Geophys J R Astr Soc*, 1985, 80: 551
- 10 丁月蓉, 等. 天文测量数据的处理方法. 南京: 南京大学出版社, 1990. 59
- 11 周永宏, 等. 相关系数检验表的新算法. 上海天文台年刊, 1997, 18: 18
- 12 Ponte R M. Role of ocean currents and bottom pressure variability on seasonal polar motion. *J Geophys R*, 1999, 104: 23393
-

(上接 100 页)

魏炳波等在该领域的主要研究成果:

1 成功研制了单轴声悬浮装置. 魏炳波教授与高建荣、曹崇德、解文军等研制的“单轴装置”由一个凹球面反射端和一个频率为 16.7 kHz 发射器组成, 结构简单、应用简便. 最近, 解文军和魏炳波在《应用物理快报》上发表文章, 证明了只要精心设计反射端形状则可以大幅度提高超声悬浮能力. 由于成功地提高了单轴声悬浮装置的悬浮力和悬浮稳定性, 从而悬浮起高密度(18.9 g/cm^3)的金属钨饼. 该装置已获国家发明专利 2 项.

2 建立了理论模型, 完成了相应的实验, 为了解释优化设计参数与最终实现大悬浮力和高稳定性之间的关系, 他们建立了一个详细的理论模型. 其理论分析与实验结果非常一致. 他们计算出当发射端与反射端距离为大约 2 个波长时, 将出现 4 个声场势阱, 中间两个为对称轴上的两个点, 而靠近发射端和反射端的势阱呈环形, 很好地解释了具体的实验现象.

3 提供了一种模拟微重力状态的实验方法. 他们对单轴声悬浮研究的进展是: 在提高声悬浮稳定性和过程可预见性同时, 有效地增大了悬浮力. 其意义在于为研究和制备新材料提供了一种模拟微重力状态的实验方法, 其成本将比空间实验低得多.

(供稿: 靳达申)