科学通报 2008 年 第 53 卷 第 2 期: 247 ~ 250
论 文
《中国科学》杂志社
SCIENCE IN CHINA PRESS

# 北极涛动比南极涛动纬向对称性更好

王会军[①], 孙建奇[①], 苏京志[②]

① 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029;
② 中国气象科学研究院, 北京 100081
E-mail: wanghj@mail.iap.ac.cn

2007-10-12 收稿, 2007-11-22 接受
国家自然科学基金(批准号: 40631005, 40620130113 和 40523001)资助项目

摘要 Fan (2007)最近从年际变化的角度研究了南极涛动的纬向不对称性问题. 利用观测和再分析资料以及海气耦合模式的模拟试验研究了北极涛动的纬向不对称性. 结果表明: 北极涛动同样存在纬向不对称性, 然而, 北极涛动的纬向不对称性显著地弱于南极涛动. 这出乎意料, 因为北半球海陆分布的纬向不对称性远远比南半球大. 进一步的分析表明: 1959~1998 年北极涛动的东西两个半球的分量之间相关系数为 0.54, 远大于南极涛动的东西两个半球分量之间的相关系数(0.23). 研究提出, ENSO 可能是造成南极涛动和北极涛动的纬向不对称性差异的原因. 分析与南方涛动相关联的海平面气压场可以发现: 在北半球中高纬区的纬向不对称性要显著地弱于南半球的情况, 从而导致北极涛动的纬向不对称性要显著小于南极涛动. 利用一个海气耦合模式进行了敏感性试验, 初步研究了热带海气耦合作用对北极涛动纬向不对称性的影响.

关键词
纬向不对称性
北极涛动
南极涛动
南方涛动

学术界近年来对北半球环状模和南半球环状模, 或者称北极涛动(AO)和南极涛动(AAO)给予了很多关注. 其中, 关于AAO的研究主要包括AAO的变异和南极区气候, 中国夏季降水和沙尘天气频率, 西太平洋台风活动, 以及亚洲、非洲、美洲及其他区域气候的联系[1~13]. 关于北极涛动, 人们发现它和北半球的重力位势高度场和温度变化有关联[14,15], 特别地, 北大西洋涛动/北极涛动会影响美国和加拿大气温的平均值、变率以及极端气温[16].

最近, Fan[17]研究了南极涛动的纬向不对称性问题, 并指出: 南极涛动的纬向不对称性和ENSO循环有关, 如果把与ENSO线性相关的部分扣除, 那么AAO的纬向对称性将加强. 该文还指出: 理解南极涛动的纬向不对称性特征对于认识东亚气候变异具有重要意义. 然而, 北极涛动和东亚气候的关系更加密切, 所以, 认识北极涛动的基本物理过程和本质对于探讨东亚气候变异的规律也是重要的课题.

所以, 本文将研究北极涛动的纬向不对称性问题, 讨论的问题主要包括: AO 的纬向不对称性和 AAO 的是否相似, 有什么区别? ENSO 如果对 AO 的纬向不对称性有影响的话, 那么影响如何? 此外, 本文还将结合耦合气候模式的结果进行一些研究和讨论.

## 1 资料

为了便于和文献[17]的结果进行对照, 本文所用的资料同文献[17]的完全一样, 包括: 美国国家环境预报中心和大气科学研究中心的大气再分析资料[18], 英国Hadley气候预测和研究中心的海平面气压(SLP)再分析资料[19], 以及表征ENSO的南方涛动指数(SOI). 这里南方涛动指数定义为标准化的Tahiti岛和Darwin岛站气压差值[20]. 同文献[17]一样, 本文的所有的相关系数均是基于年际变化的分析, 而且是去除了线性趋势后的.

## 2 北极涛动的纬向不对称性及其和南极涛动的区别

首先, 我们来计算 AO 的东半球分量和西半球分

量之间的相关系数 (分别定义为 0°~180°W 和 0°~180°E 平均的 40°N 与 65°N 标准化海平面气压之差, 分别标记为 AOEH 和 AOWH), 结果是, 对 1959~1998 年 1~3 月平均情况的相关系数为 0.54, 这个数值远远大于 AAO 的东、西半球分量之间的相关系数(0.23). 图 1 给出了 AOWH 和在各个经度上计算的局地 AO 值的相关系数的纬向分布, 我们可以把这个图和文献[17]的图 1 相对照.

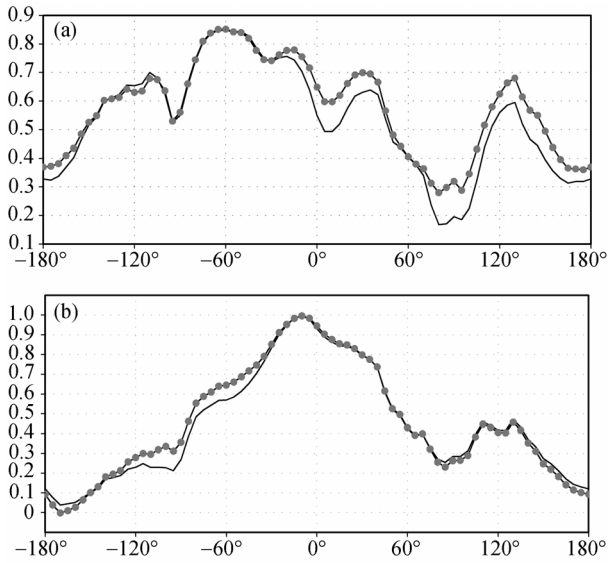


**图 1**

(a) 为 1959~1998 年 1~3 月平均的 AOWH 和各个经度上局地 AO 值的相关系数的纬向分布; (b) 为 1959~1998 年 1~3 月平均的 40°W 的局地 AO 值和各个经度上局地 AO 值的相关系数的纬向分布. 两图中, 纵坐标是相关系数, 横坐标是经度(负值表示南半球); 实线和点线分别是去除与 SOI 线性相关部分之前和之后的结果

图 1 有两个显著特点: 一是图中实线表明 AO 的纬向对称性要强于 AAO 的情况; 二是 ENSO 对于 AAO 的纬向不对称性的影响远大于对 AO 的影响. 对于 AAO 的情形而言, AAOEH 和 AAOWH 的相关系数在去除了 SOI 线性相关部分前后的结果分别为 0.23 和 0.52, 于是可以粗略地认为 SOI 的影响为 0.29 (0.52−0.23). 同样地, 我们得到 SOI 对 AO 的影响为 0.13 (0.67−0.54). 所以, SO 对 AAO 的纬向不对称性的影响要大于它对 AO 的纬向不对称性的影响. 另外, SOI 的线性影响去除前后均是 AO 的纬向对称性要好于 AAO, 这一点似乎有些出乎意料, 因为北半球的海陆分布使得纬向海陆差异大于南半球.

为了进一步分析 AO 的纬向不对称性, 我们又计算了 40°W 上的局地 AO 值和各个经度上的局地 AO 值的相关系数纬向分布(图 1(b)), 尽管和图 1(a)有区别, 但同样显示了 AO 的纬向不对称性特征, 也同样显示了 SO 对 AO 的纬向不对称性有影响, 尽管不是很显著的影响.

那么, 为什么 SO 对 AAO 的影响要大于对 AO 的影响呢? 这里我们分析了 SOI 和 SLP 的相关场(图 2), 分别针对北半球冬季和南半球冬季, 可以发现, 对于南半球(SH)冬季的情形中高纬东、西半球之间的纬向不对称性非常显著(我们可以察看一下 40°和 60°S 这两个典型纬度的分布); 而在北半球(NH)冬季的情形下中高纬的纬向不对称性要大大弱于南半球冬季的情形. 其中的原因也许和与 SO 相连的 Walker 环流的径向位置有关, 事实上, Walker 环流的径向位置更加偏南(在赤道以南), 于是与 Walker 环流相关的 SLP 相关场的分布在南半球冬季很接近南极而北半球冬季的 SLP 相关场分布就不那么接近北极. 所以, SO 对于南半球冬季 AAO 的纬向不对称性的影响就大于其对北半球冬季 AO 的影响.

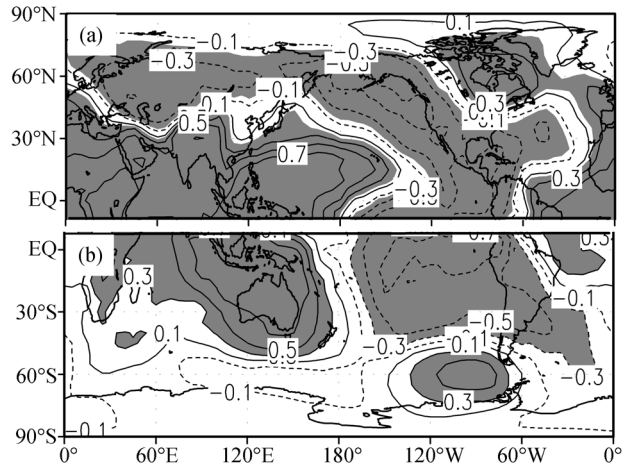


**图 2**

(a) 为 1~3 月平均的 SOI 和 SLP 相关系数在北半球的分布; (b) 为 6~9 月平均的 SOI 和 SLP 相关系数在南半球的分布. 时间为 1959~1998 年, 阴影区为 *t*-检验显著性超过 95%的区域

类似地, SO 与 850 hPa 高度的相关场分布(图 3)也同样有 SO 对于南半球冬季 AAO 的纬向不对称性的影响大于北半球冬季 AO 影响的结果.

## 3 一个耦合气候模式的结果

为了验证从大气再分析资料中所得的结果, 这里再来针对一个海气耦合模式的 300 a气候平均态的积分结果来进行分析验证. 这个模式是挪威卑尔根几个研究机构共同研发的耦合气候模式(BCM)[21].

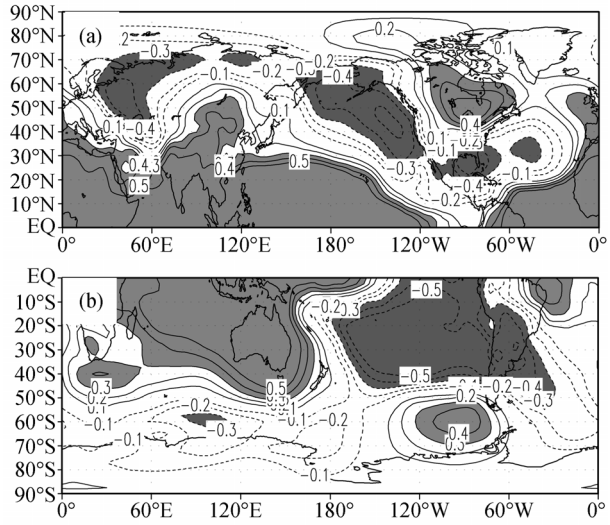


**图 3**

说明同图 2，但为 SOI 和 860 hPa 高度场的相关系数分布

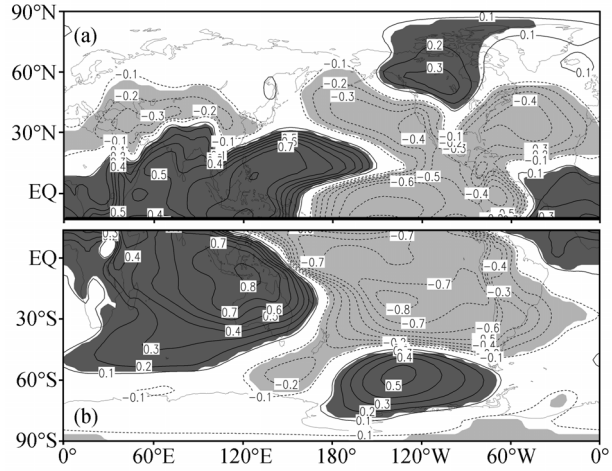


**图 4**

说明同图 2，但为 BCM300 年积分的结果

这个模式在政府间气候变化委员会(IPCC)的气候变化评估，以及各种气候模拟研究中都得到了很好地应用. 这里使用的 300 积分初始化是这样的：其海洋部分积分初始于Levitus等及Levitus和Boyer的一月气候平均温度和盐度分布，而大气部分积分初始于欧洲中期数值预报中心的数值预报结果[21].

首先，我们来计算模式的东、西半球 AO 的相关系数，结果是 0.64. 去除与 SO 线性相关的部分后结果仍然为 0.64，所以，在该模式中北半球冬季 SO 对 AO 的纬向不对称性的影响几乎可以忽略. 我们又分析了模式中 AOWH 和各个经度上的局地 AO 值的相关系数的纬向分布(类似于图 1)，结果表明模式结果和图 1 的观测结果十分吻合.

另外，上面我们讨论过，SO 和 SLP 的相关场分布在南半球比在北半球纬向不对称性更强一些. 这一特征在 BCM 的结果中同样存在(图 4)，模式结果与观测结果十分吻合. 所以，BCM 的模拟结果证实了我们在大气再分析资料中所得到的结论，即 AAO 比 AO 的纬向不对称性更强一些；而且，其原因可能在于 SO 的影响不同. 由于 SO 的径向位置更偏向南半球一侧(中心在赤道以南)，于是 SO 的 SLP 相关场在南半球中高纬的纬向不对称性强于北半球的情形.

## 4 结论

本文在文献[17]研究了南极涛动的纬向不对称性之后研究了北极涛动的纬向不对称性问题，基于对大气再分析资料和一个海气耦合气候模式积分结果的分析研究，得到的结论是：北半球冬季 AO 的纬向不对称性弱于南半球冬季 AAO 的纬向不对称性，而且，其原因可能在于南方涛动 SO 的径向位置更偏向南半球一侧，于是 SO 和 SLP 的相关场分布型在南半球冬季中高纬区纬向不对称性更强一些，而相比之下 SO 和 SLP 的相关场分布型在北半球冬季中高纬区纬向不对称性就弱一些.

## 5 讨论

为了进一步研究这个问题，利用 BCM 进行一个敏感性数值模拟试验，在这个试验中关闭了两个半球 30°以内海气相互作用而允许 30°以外的大气和海洋进行海气相互作用，于是在这个敏感性数值试验中 ENSO 循环被关闭了，这样我们就可以粗略地讨论 ENSO 循环对于北极涛动和南极涛动的影响问题. 我

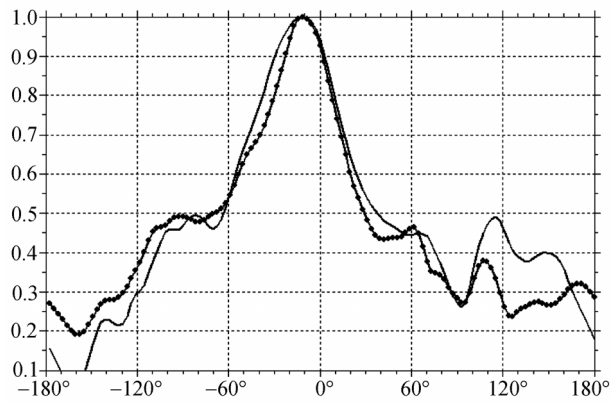


**图 5**

说明同图 1(b)，但为 BCM 模拟试验的结果. 实线是控制试验的结果，点线是敏感性试验(30° 以内海气耦合被关闭的试验)的结果

们分析这个试验 100 a 积分结果中的后 50 a 结果. 图 5 给出了对应于图 1(b)的模式结果, 表明模式结果和观测结果十分吻合, AO 纬向不对称性的特征很相似.

我们还注意到, 图 5 所示的 AO 纬向不对称性受 SO 的影响不显著. 另外, 模式结果也同样是在南半球冬季 AAO 的纬向不对称性强一些, 北半球冬季 AO 的纬向不对称性弱一些. 当然, 不同的模式结果可能有相当的差别, 所以, 进一步的研究工作应该考虑用不同的耦合气候模式进行数值模拟试验来深入研究 AAO 和 AO 纬向不对称性问题, 未来研究还应考虑海陆分布、冰雪覆盖以及海洋环流影响等诸多的因素, 因为这个问题可能会涉及十分深刻和复杂的物理过程.

现在, 回到图 3, 正如上文我们已经指出, SO 和 SLP 的相关场分布型更加偏向南半球一侧, 这可能是造成 AAO 和 AO 纬向不对称性差别的一个重要原因. 这一点也需要在进一步的研究中予以关注.

## 参考文献


1 Gong D Y, Wang S W. Definition of Antarctic Oscillation index. Geophys Res Lett, 1999, 26: 459—462[DOI]

2 Thompson D W J, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation. Part Ⅰ: Month-to-month variability. J Clim, 2000, 13(5): 1000—1016[DOI]

3 Yuan X, Martinson D G. Antarctic sea ice variability and its global connectivity. J Clim, 2000, 13(10): 1697—1717[DOI]

4 Yuan X, Martinson D G. The Antarctic dipole and its predictability. Geophys Res Lett, 2001, 28(18): 3609—3612[DOI]

5 Liu J P, Yuan X, Rind D, et al. Mechanism study of the ENSO and southern high latitude climate teleconnection. Geophys Res Lett, 2002, 29(14): 1679—1682, doi: 10.1029/2002GL015413[DOI]

6 Thompson D W J, Solomon S. Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change. Science, 2002, 296(5569): 895—899[DOI]

7 Kwok R, Comiso J C. Spatial patterns of variability in Antarctic surface temperature: Connections to the Southern Hemisphere Annular Mode and the Southern Oscillation. Geophys Res Lett, 2002, 29(14): 1705, doi: 10.1029/2002GL015415[DOI]

8 高辉, 薛峰, 王会军. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响及预报意义. 科学通报, 2003, 48(增刊Ⅱ): 87—92

9 Silvestri G E, Vera C S. Antarctic Oscillation signal on precipitation anomalies over southeastern South America. Geophys Res Lett, 2003, 30(21), doi: 2115, 10.1029/2003GL018277[DOI]

10 Fan K, Wang H J. Antarctic oscillation and the dust weather frequency in North China. Geophys Res Lett, 2004, 31, L10201, doi:10.1029/2004GL019465[DOI]

11 Reason C J C, Rouault M. Links between the Antarctic Oscillation and winter rainfall over western South Africa. Geophys Res Lett, 2005, 32, L07705, doi: 10.1029/2005GL022419[DOI]

12 Wang H J, Fan K. Central-north China precipitation as reconstructed from the Qing dynasty: Signal of the Antarctic Atmospheric Oscillation. Geophys Res Lett, 2005, 32, L24705, doi: 10.1029/2005GL024562[DOI]

13 王会军, 范可. 西太平洋台风生成频次与南极涛动的关系. 科学通报, 2006, 51(24): 2910—2914

14 Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. Geophys Res Lett, 1998, 25(9): 1297—1300[DOI]

15 Wang D, Wang C, Yang X Y, et al. Winter Northern Hemisphere surface air temperature variability associated with the Arctic Oscillation and North Atlantic Oscillation. Geophys Res Lett, 2005, 32, L16706, doi: 10.1029/2005GL022952[DOI]

16 Wettstein J J, Mearns L O. The influence of the North Atlantic-Arctic Oscillation on mean, variance, and extremes of temperature in the northeastern United States and Canada. J Clim, 2002, 15(24): 3586—3600[DOI]

17 Fan K. Zonal asymmetry of the Antarctic Oscillation. Geophys Res Lett, 2007, 34, L02706, doi: 10.1029/2006GL028045[DOI]

18 Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalyses project. Bull Am Meteorol Soc, 1996, 77(3): 437—471[DOI]

19 Basnett T A, Parker D E. Development of the Global Mean Sea Level Pressure Data Set GMSLP2. Hadley Centre Climate Research Technical Note CRTN ,1997. 79

20 Ropelewski C F, Jones P D. An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. Mon Weather Rev, 1987, 115(9): 2161—2165[DOI]

21 Furevik T, Bentsen M, Drange H, et al. Description and validation of the Bergen Climate Model: ARPEGE coupled with MICOM. Clim Dyn, 2003, 21(1): 27—51[DOI]