

北极涛动和南极涛动的年变化特征

范丽军¹⁾ 李建平²⁾ 韦志刚³⁾ 董文杰¹⁾ Julian Wang⁴⁾

1) (中国科学院大气物理研究所东亚中心, 北京 100029)

2) (中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

3) (中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

4) (Air Resources Laboratory, NOAA, R/ARL, Silver Spring, MD 20910, USA)

摘要 北极涛动 (Arctic Oscillation, 简称 AO) 和南极涛动 (Antarctic Oscillation, 简称 AAO) 分别用于描述北半球和南半球热带外气候变率的主要模态, 它们分别是北半球和南半球中纬度和高纬度之间气压变化的跷跷板结构。作者利用 1958 年 1 月 ~ 1999 年 12 月的 NCEP/NCAR 全球再分析月平均资料、北极涛动指数 I_{AO} 和南极涛动指数 I_{AAO} 来研究 AO 和 AAO 的年变化特征以及 AO 和 AAO 与纬向平均的月平均各要素场的相关系数随纬度和月份的变化规律。

关键词: 北极涛动; 南极涛动; 年变化

1 引言

Thompson 和 Wallace^[1]于 1998 年首次引入北极涛动 (Arctic Oscillation, 简称 AO), 用于描述北半球气候变率的主要模态。他们强调指出, AO 具有高的纬向对称性, 其主要的活动中心位于北极地区, 并认为它是北半球大气环流最基本的结构。Thompson 和 Wallace^[2]又指出: AO 和北大西洋涛动二者在本质上是一致的, 是同一事物在不同侧面的两种表现, 它们实际上反映的是中纬度西风带的强弱。越来越多的证据^[1~5]表明 AO 对北半球气候的变化具有重要而广泛的影响。Thompson 和 Wallace^[2]认为 AO 对北半球的影响与 ENSO (厄尔尼诺—南方涛动) 对北半球的影响具有同等重要性。龚道溢和王绍武^[6]首先对南极涛动 (Antarctic Oscillation, 简称 AAO) 进行研究, 获得了很好的结果。鉴于 AO 和 AAO 在结构上具有很强的相似性^[2], 因此本文对 AO 和 AAO 一起进行研究, 主要目的是研究 AO 和 AAO 的年变化特征, 从而为进一步研究它们的时空变化规律及其与全球气候变化的关系提供一定的参考和依据。

2 资料来源

本文采用的资料是 NCEP/NCAR 全球再分析的月平均资料 (1958 年 1 月 ~ 1999 年

2001-11-05 收到, 2002-04-10 收到再改稿

*国家自然科学基金资助项目 40275025, 中国科学院资源环境领域知识创新工程重要方向项目 ZKCX2-SW-210 和 NOAA Arctic Research Office 共同资助

12月), 网格距是 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 有 144×73 个网格点。本文所使用的北极涛动指数 I_{AO} 和南极涛动指数 I_{AAO} 是由华盛顿大学 David Thompson 博士提供的^[1], 它们分别是对 20°N 以北和 20°S 以南的 NCEP/NCAR 再分析月平均海平面气压 SLP 资料 (1958年1月~1999年12月) 进行 EOF 分解得到的第一特征向量的时间系数。

3 结果与讨论

3.1 纬向平均的月平均 SLP 场各纬度之间最大负相关系数及相应纬度随季节的变化

AO 和 AAO 具有明显的环状结构^[1,2,6], 因此分别计算 1~12 月各月的纬向平均的月平均 SLP 场逐年序列各纬度之间的交叉相关系数 (图略), 并从中找出各半球最高负相关值以及相对应的两个纬度, 然后研究它们随月份的变化, 可以很好地反映出 AO 和 AAO 的强度和涛动中心位置随季节的变化规律。

图 1a 是北半球和南半球纬向平均的月平均海平面气压场 SLP 多年序列各纬度之间的最大负相关系数随月份的变化曲线图, 由图可以看出, 在北半球, 最大负相关系数在 1 月最大 (绝对值大于 0.8), 之后开始减小, 到 6 月达到最小值, 然后又回升, 到 8 月达到一个极大之后, 开始减小, 到 9 月又达到一个极小值, 随后逐渐增加直到下一个 1 月。这说明: 冬季 AO 强度最大, 纬向对称性最好; AO 在北半球夏季也能表现出来, 但是强度比冬季要弱得多; 北半球春、秋季 AO 强度介于冬夏之间。在南半球, 最大负相关系数除了在 3、4、9、10 月较小外, 其他月份几乎相当。由此可见, 冬季和夏季 AAO 强度相当, 强度都很大, 纬向对称性都很高; AAO 强度全年比较稳定, 这可能是由于南半球下垫面分布较均匀的缘故。

图 1b 是北半球纬向平均的月平均 SLP 场各纬度之间最大负相关系数所对应的两个纬度随月份的变化曲线图, 从中可以看出, 在 12 月~4 月相对应的两个中心纬度位置都偏南, 其中高纬度中心的纬度最南可到 60°N , 较低纬度的中心可在 30°N 以南。而 5 月~11 月份两个中心的位置较偏北, 尤其在 6 月~10 月高纬度的中心几乎接近于 90°N 。由此可见 AO 在 12 月~4 月范围广, 位置偏南; 而在 6 月~10 月范围较小, 位置偏北。

对于南半球的情况 (见图 1c), 11 月~4 月两个中心的纬度位置都偏南, 高纬度的中心几乎不变, 在 70°S , 中纬度的中心在 40°S 左右。而 5 月~10 月两个中心的位置较偏北, 一个在 60°S 左右, 另一个在 30°S 左右。由此可见, AAO 在 11 月~4 月范围小, 位置偏南; 而在 5 月~10 月范围广, 位置偏北。

3.2 AO 指数 (I_{AO}) 和 AAO 指数 (I_{AAO}) 标准差随季节的变化

研究 I_{AO} 和 I_{AAO} 标准差的季节变化可以反映出不同季节的 AO 和 AAO 年际变化幅度的大小。图 1d 为 I_{AO} 和 I_{AAO} 的标准差随季节的变化图, 由图可知, 逐月 I_{AO} 年际变化的标准差有很大的季节变化, 冬季大而夏季小。 I_{AO} 的年际变化最大值出现在 1 月份, 最小值出现在 7 月份。而 I_{AAO} 的标准差的季节变化显然比 I_{AO} 的小得多, 其变化相对比较平缓, 其标准差在南半球冬季比在夏季的略大。

3.3 I_{AO} 和 I_{AAO} 与一些纬向平均要素场的相关系数随季节和纬度的变化

3.3.1 月平均 SLP 场和 500 hPa 位势高度场

图 2a 是 I_{AO} 与各月异常的纬向平均的月平均 SLP 场的相关系数随季节和纬度变化

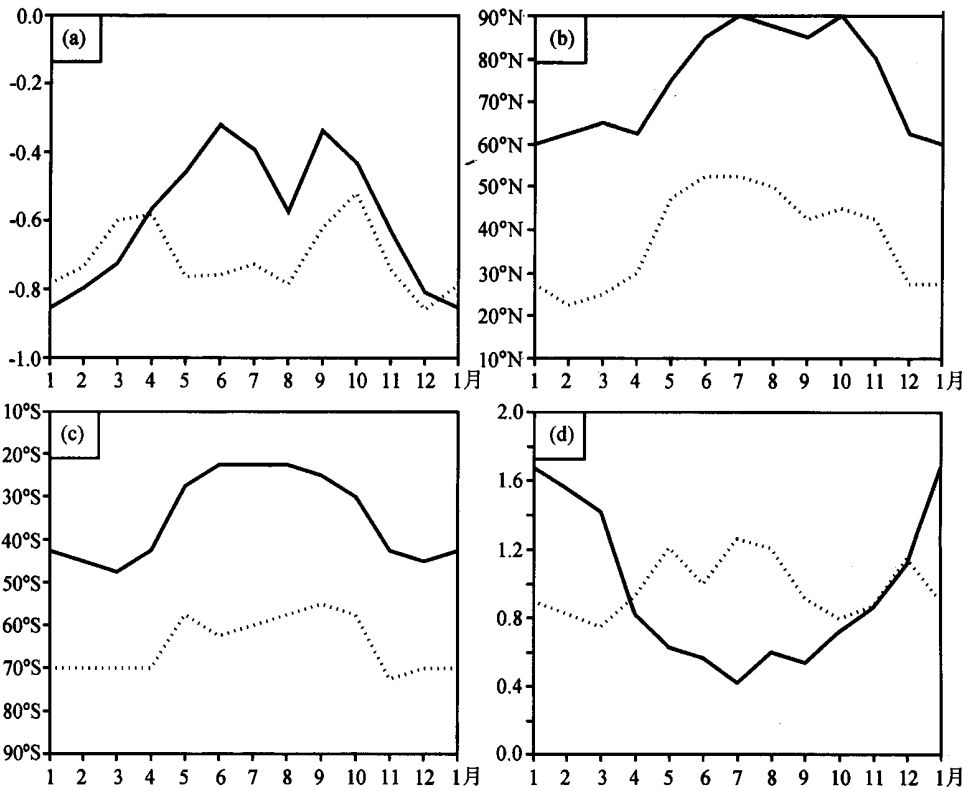


图1 (a) 北半球 (实线) 和南半球 (虚线) 纬向平均的月平均 SLP 场之间求纬向相关所得的最大负相关系数的年变化曲线; (b) 北半球上述最大负相关系数相对应的两个纬度值的年变化曲线 (较高纬度为实线, 较低纬度为虚线); (c) 与 (b) 相似, 但为南半球的情况; (d) I_{AO} (实线) 和 I_{AAO} (虚线) 的标准差的年变化曲线图

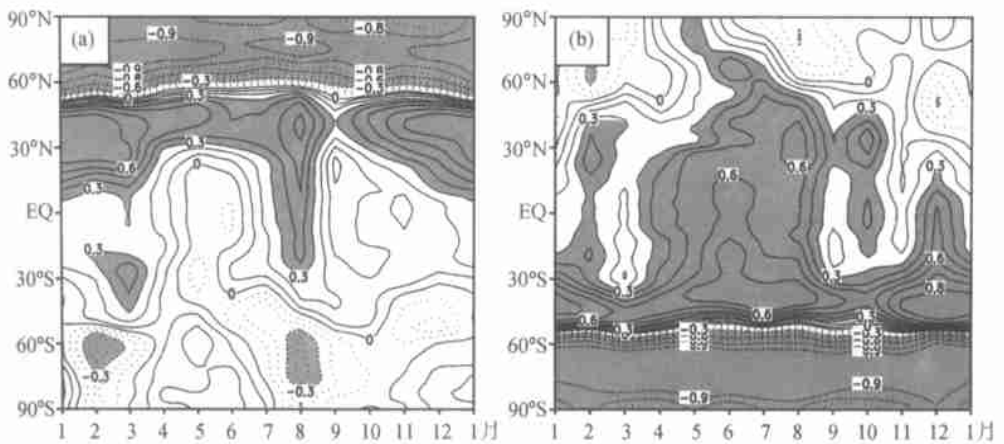


图2 涛动指数与纬向平均的海平面气压场相关系数随季节和纬度的变化曲线图
 阴影区为通过 95% 的置信检验, 实线为正相关, 虚线为负相关. (a) I_{AO} ; (b) I_{AAO}

图, 阴影区为通过了 95% 的置信检验。由图可以看出, 有两条明显的显著正负相关带, 分别位于北半球中、高纬度。从 1 月 ~ 12 月, 显著负相关区所跨越的纬度范围基本相

同,即在 $55 \sim 90^\circ\text{N}$ 之间,最大负相关系数值超过了 0.9,中心位于 75°N 左右。显著正相关区域在北半球冬半年和 8 月范围较大,位于 $10 \sim 50^\circ\text{N}$,在夏半年(除了 8 月)较小,介于 $30 \sim 50^\circ\text{N}$ 。另外,值得注意的是在 9 月正相关阴影区域出现了断裂,这说明 9 月 AO 与中纬度地区 SLP 场的关系不明显。

对于 I_{AAO} 的情形(见图 2b),同样有两条明显的显著正负相关带,但分别位于南半球中、高纬度。1 月~12 月负相关系数通过 95% 置信检验的区域基本相同,位于 $60 \sim 90^\circ\text{S}$,最大负相关系数接近 1.0,中心位于 70°S 左右。与 I_{AO} 的情形类似,显著正相关区域在南半球冬半年较大,在夏半年较小。但与 I_{AO} 所不同的是,在南半球冬半年显著正相关区域的范围明显比夏半年要宽广得多,从 50°S 可以穿过热带地区延伸到 30°N ,甚至在 6 月~8 月可以一直延伸到 60°N 附近,这说明在北半球夏季期间 AAO 与热带及北半球中纬度地区的 SLP 场也有显著的正相关关系。

I_{AO} 和 I_{AAO} 与纬向平均的月平均 500 hPa 位势高度场的相关系数的变化与图 2 类似(图略)。对于 I_{AO} ,最大正负相关出现在北半球冬季,分别位于 45°N 和 75°N 附近,总的来说,显著的正负相关带全年表现比较稳定。对于 I_{AAO} ,从全年看南半球高纬度地区的显著负相关系数分布比较均匀,而显著的正相关系数的分布和 I_{AAO} 与月平均 SLP 场的正相关系数的分布很相似,只是最大正相关系数要大一些。

3.3.2 月平均 500 hPa 为纬向风场

图 3 为 I_{AO} 和 I_{AAO} 与纬向平均的月平均 500 hPa 纬向风场的相关系数随季节和纬度的变化图,由图看出,两半球中高纬度地区有随季节变换分布均匀的显著正负相关带,受径向偶极子的控制,波节在大约 45° 左右。正负显著相关中心在北半球分别位于 55°N 和 35°N 附近,在南半球分别位于 60°S 和 40°S 附近。上述相关分析表明, I_{AO} 和 I_{AAO} 确实反映了两半球中纬度西风带的强弱变化。

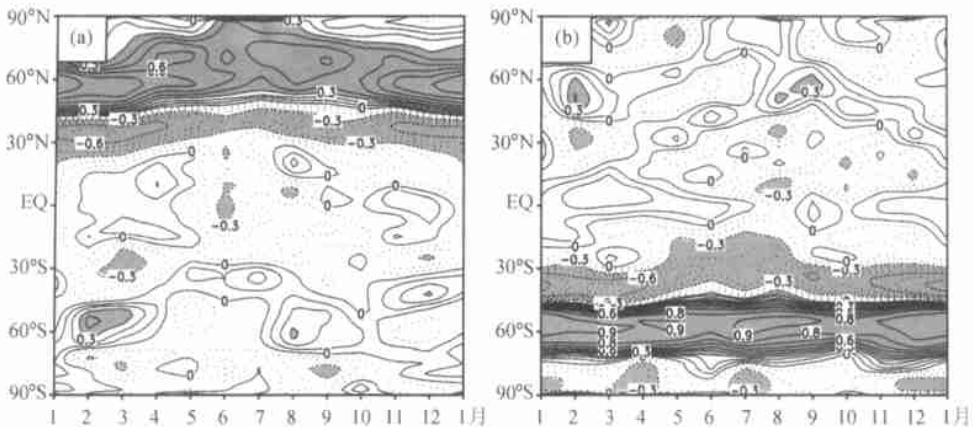


图 3 涛动指数与纬向平均的月平均 500 hPa 为纬向风场的相关系数随季节和纬度的变化图,其余同图 2

3.3.3 月平均 1000 hPa 温度场

图 4 为 I_{AO} 和 I_{AAO} 与纬向平均 1000 hPa 温度场的相关系数随季节和纬度的变化图。从图 4 很明显看出,南、北半球均存在两条显著的正负相关带,分别位于各半球中、高纬度,但纬向对称性没有上述三个场明显。对于 I_{AO} ,最大正负相关系数出现在北半

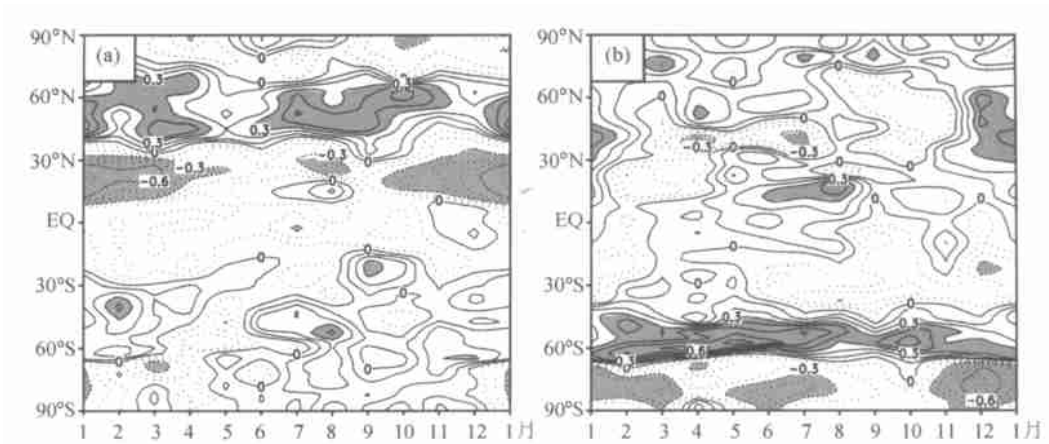


图4 涛动指数与纬向平均 1000 hPa 温度场的相关系数随季节和纬度的变化图, 其余同图 2

球冬季, 分别位于 25°N 和 45°N 附近。显著的正负相关带, 全年变化比较大, 在夏季, 显著的负相关带非常地小。对于 I_{AAO} , 最大正相关系数出现在北半球春季, 位于 60°S 附近。最大负相关系数出现在北半球冬季, 位于 75°S 附近。显著的负相关带全年变化很大, 主要出现在北半球冬季和夏季, 而正相关带在北半球冬季很小, 主要出现在北半球春季。

4 结论

本文的研究表明:

(1) AO 在北半球冬季比较明显, 在夏季也是存在的, 只是强度与冬季相比要弱得多, 而 AAO 在全年都较强, 这表明 AO 的季节变化比 AAO 大。无论是 AO 还是 AAO, 其涛动中心在北半球的冬半年位置都偏南, 在北半球夏半年位置都偏北。涛动中心的这种季节性南北移动似乎与太阳辐射分布的季节变动有关。

(2) AO、AAO 与纬向平均的月平均 SLP 场、500 hPa 位势高度场和纬向风场、以及 1000 hPa 温度场的相关系数分布有一个共同的特点: 在各自半球的中、高纬度均有两条显著正负相关带, 表明 AO 和 AAO 都与各自相应半球的要素场有密切关系, 且在各自半球的冬半年较强。但无论强度还是正负相关带的显著性, 温度场都没有其他三个场明显。

参 考 文 献

- 1 Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25** (9), 1297 ~ 1300.
- 2 Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month to month variability, *J. Climate*, 2000, **13** (5), 1000 ~ 1016.
- 3 Wallace J. M., North Atlantic Oscillation/ Annular mode: tow paradigms-one phenomenon, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2000, **126** (564), 791 ~ 805.

- 4 Clara, D., On the teleconnection of the "Arctic Oscillation", *Geophys. Res. Lett.*, 2000, **27**, 779 ~ 782.
- 5 Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, Annular modes in the extratropical circulation, Part II: Trends, *J. Climate*, 2000, **13** (5), 1018 ~ 1036.
- 6 Gong Daoyi, and Wang Shaowu, Definition of Antarctic Oscillation Index, *Geophys. Res. Lett.*, 1999, **26** (4), 459 ~ 462.

Annual Variations of the Arctic Oscillation and the Antarctic Oscillation

Fan Lijun¹⁾, Li Jianping²⁾, Wei Zhigang³⁾, Dong Wenjie¹⁾, and Julian Wang⁴⁾

- 1) (*Global Change System for Analysis, Research and Training (START), Regional Center for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)
- 2) (*State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)
- 3) (*Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000*)
- 4) (*Air Resources Laboratory, NOAA, R/ARL, Silver Spring, MD 20910, USA*)

Abstract The Arctic Oscillation (AO) is a leading mode of variability of the extratropical Northern Hemisphere, i. e., a seesaw pattern in which atmosphere pressure at polar and middle latitudes fluctuates between positive and negative phase. The Antarctic Oscillation (AAO) is similar to AO, but for the Southern Hemisphere. By use of the NCEP/NCAR January 1958 ~ December 1999 reanalysis data and the AO and AAO indices, some characteristics of annual variations of the Arctic and Antarctic Oscillations are studied, and annual variations of correlation coefficients between some meteorological elementary field and the AO and AAO indices are also investigated

Key words: Arctic Oscillation; Antarctic Oscillation; annual variation