

文章编号 1000-0534(2000)04-0427-08

大气涛动对全球低层大气环流的贡献

龚道溢* 王绍武

(北京大学地球物理系 北京 100871)

摘 要 人们通常用海平面气压场的状况来反映低层大气环流的状态,而全球海平面气压场的变化最突出的特征表现为大气涛动的形式,即北大西洋涛动、北太平洋涛动、南方涛动和南极涛动。这四个大气涛动控制的区域范围大体覆盖了全球,能解释全球低层大气环流方差的38.6%(6~8月)到45.9%(12~2月)。而各个涛动的独立贡献有显著的区域性。仅仅用四个大气涛动不能完全代表低层大气环流的结构。对于东亚、北美大陆等地区的气候,其它因子如一些季节性的大气活动中心和季风等可能更为重要。

关键词 SLP场 大气涛动

中图分类号 P433 **文献标识码** A

1 引 言

低层大气环流是直接控制和影响近地面天气、气候变化的主要因子之一,要更好地理解气候变率及其区域特点,首先必须要了解全球低层大气环流变化的特征。从20世纪二三十年代 Walker 提出北大西洋涛动(NAO)、北太平洋涛动(NPO)和南方涛动(SO)^[1],到近来提出的南半球中高纬地区的南极涛动(AO)^[2],极大地丰富了人们对全球大尺度大气环流的认识。人们定义了各个大气涛动的定量指标,以此表征某一区域的大气环流状况,并建立了这些涛动指标与区域气候变化的定量或定性的关系。虽然从覆盖的区域来看,这四个大气涛动占了全球面积的很大一部分,它们究竟在多大程度上解释了全球近地面的大气环流呢?以往的研究多侧重某一个涛动,本文将在全球范围同时考虑四个大气涛动,利用多元统计方法,分析各个大气涛动对全球海平面气压场的独立贡献特征,以及它们总的方差贡献。重点分析冬季(12~2月)和夏季(6~8月)两个季节。

文中使用的全球海平面气压资料是 NCEP/NCAR 再分析海平面气压^[3],本文分析只使用其中 $5^\circ \times 10^\circ \text{lon./lat.}$ 格点上的气压资料(原始资料为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 格式),时间从 1958 年 1 月到 1998 年 2 月。

收稿日期:1999-05-20; 改回日期:1999-07-22

本研究得到攻关项目“96-908-01-01”及国家自然科学基金“49635190”资助

第一作者简介:龚道溢,男,1969年1月出生,博士,主要从事全球变化、大气环流变率及气候变化影响的研究

* 现在工作地址:北京师范大学环境变化与自然灾害重点实验室,北京,邮编:100875

2 大气环流指标

目前,北大西洋涛动指数(NAOI)和北太平洋涛动指数(NPOI)的定义方式有多种。如 Rogers^[4]用亚速尔群岛的 Ponta Delgada 和冰岛北部的 Akureyri 气压的标准化差值代表冬季 NAOI; Moses 等^[5]用的是 Ponta Delgada 与冰岛西部的 Stykkisholmur 的气压差; Hurrell^[6]用葡萄牙的里斯本与 Stykkisholmur 的气压差,定义 12~3 月 NAOI; 最近 Jones 等^[7]则采用直布罗陀和冰岛西南的 Reykjavik 两站气压差定义各个月份的 NAOI。

从形式上看,各种涛动指数多用单站或单个格点的海平面气压(SLP)差,这种定义意义明确,序列变化敏感,但最大的问题是代表站的位置是固定的,并不能反映大气活动中心随季节的变化,而且单站 SLP 资料容易受测站位置、观测仪器和观测方法变化等因素的影响,造成资料本身的不连续性,而且有时也不能排除局地小尺度及高频扰动。

因此,本文使用的 NAOI 和 NPOI 都是对夏季和冬季分别定义,而且用多个格点的平均值以提高其代表性。具体做法是先对海平面气压进行面积加权处理($\times \cos \varphi$),再对 1961~1990 年求距平,然后分别对北太平洋地区(130°E~130°W, 0°~90°N)和北大西洋地区(70°W~30°E, 0°~90°N)做经验正交函数 EOF 分析。夏季北太平洋地区 EOF2 解释方差为 14.9%,北大西洋地区 EOF2 解释方差为 17.1%,这两个模态分别是 NPO 和 NAO,通过 North 准则检验,都是显著的。冬季北太平洋地区 EOF1 解释方差为 47.0%,北大西洋地区 EOF1 解释方差达 48.1%,这两个模态分别是 NPO 和 NAO。相关分析进一步证明,这些涛动中心是有很好的代表性和物理意义的。图 1 是冬季和夏季两个地区的

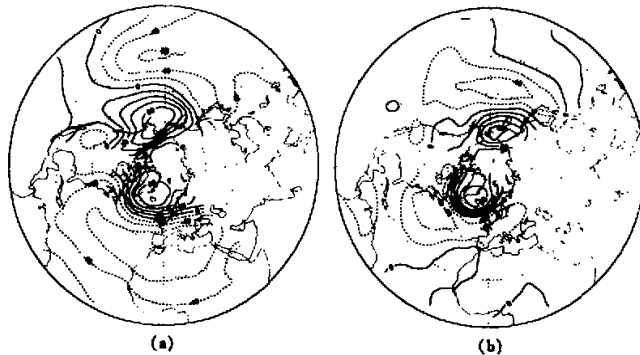


图 1 北太平洋和北大西洋地区海平面气压的相关系数分布
(a) 冬季, (b) 夏季。北大西洋地区与 65°N, 10°~30°W 三个格点平均气压间的相关, 北太平洋地区夏季和冬季分别与 65°N, 160°E~180°以及 60°N, 180°~160°W 三个格点平均气压间的相关, 图中相关系数都已乘 100

Fig. 1 Correlation coefficients between the sea level pressures for (a) winter and (b) summer over the northern Pacific and Atlantic sector. In the northern Atlantic sector, the correlation to the sea level pressure averaged over 65°N, 10°~30°W are computed at all grids for both the winter and summer, but in the northern Pacific, the different regions are chosen in summer (65°N, 160°E~180°) and winter(60°N, 180°~160°W) for calculating the correlation coefficients. Values have multiplied by 100

各格点气压与高纬中心 3 个格点平均气压的相关系数分布。利用这些中心的气压差分别定义 NAOI 和 NPOI。具体如下:

$$\text{夏季: NAOI} = P_{(45^{\circ}\text{N}, 40^{\circ}-60^{\circ}\text{W})}^* - P_{(65^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}-30^{\circ}\text{W})}^*; \text{NPOI} = P_{(35^{\circ}\text{N}, 160^{\circ}\text{E}-180^{\circ})}^* - P_{(60^{\circ}\text{N}, 160^{\circ}\text{E}-180^{\circ})}^*$$

$$\text{冬季: NAOI} = P_{(35^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}\text{W}-10^{\circ}\text{E})}^* - P_{(65^{\circ}\text{N}, 10^{\circ}-30^{\circ}\text{W})}^*; \text{NPOI} = P_{(20^{\circ}\text{N}, 180^{\circ}-160^{\circ}\text{W})}^* - P_{(60^{\circ}\text{N}, 180^{\circ}-160^{\circ}\text{W})}^*$$

上式中 P 表示海平面气压, * 表示标准化。

南方涛动指数(SOI)和南极涛动指数(AOI)的定义比较统一。SOI 用 Tahiti 和 Darwin 站的气压差代表, 这里使用气候预测中心(CPC)“气候诊断公报”所发布的 SOI 序列资料。AOI 定义为 40°S 和 65°S 纬圈平均海平面气压距平的差^[2]。

3 方 法

虽然四个大气涛动是相互独立的, 但其影响都具有很大尺度。因此, 一个特定地区近地面大气环流(以 SLP 代表)的变化可能同时受多个大气涛动的影响, 而各个不同的涛动影响区域环流的方式和途径又不相同。因此有必要研究各个大气涛动对 SLP 的独立影响。以往的研究多是利用合成图方法来同时讨论多个涛动的可能影响, 即通过对比不同涛动在极端情况下环流异常区的范围和强度, 以此来发现受不同涛动影响的共同响应和不同响应区域, 而且到目前大都是同时讨论两个涛动间的影响^[8,9]。如果同时考虑四个大气涛动, 用合成图方法将是一件十分烦琐的事情, 而且, 也不能保证将各个涛动的影响相互区分开。这里我们用多元线性回归分析方法同时考虑四个大气涛动对全球大气环流及区域气候的影响。

对于某一格点, 有标准化序列 Y_i (代表 SLP)、 X_{1i} (NAOI)、 X_{2i} (NPOI)、 X_{3i} (SOI)、 X_{4i} (AOI), 根据多元回归理论建立多元线性回归方程:

$$\hat{Y}_i = b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + b_3 X_{3i} + b_4 X_{4i},$$

式中 $i=1, \dots, n$, $n=40$ a, $b_1 \dots b_4$ 为回归系数。

$$\hat{Y}_i Y_i = b_1 X_{1i} Y_i + b_2 X_{2i} Y_i + b_3 X_{3i} Y_i + b_4 X_{4i} Y_i,$$

$$\text{则 } \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i Y_i = b_1 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{1i} Y_i + b_2 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{2i} Y_i + b_3 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{3i} Y_i + b_4 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{4i} Y_i,$$

$$\sum_{i=1}^n \hat{Y}_i Y_i = b_1 r_1 + b_2 r_2 + b_3 r_3 + b_4 r_4, \quad (1)$$

式中 r_1 、 r_2 、 r_3 和 r_4 分别为 SLP 与 NAOI、NPOI、SOI 和 AOI 的相关系数。

因为由

$$Y_i = \hat{Y}_i + \epsilon_i,$$

$$\frac{1}{n} \frac{1}{\sigma_Y} \sum_{i=1}^n Y_i \hat{Y}_i \sigma_Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i \hat{Y}_i,$$

可得

$$\sigma_Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i \hat{Y}_i, \quad (2)$$

(2)式中 σ_Y 为标准差, c 为复相关系数。

由(1)、(2)式得

$$c\sigma_Y = b_1r_1 + b_2r_2 + b_3r_3 + b_4r_4, \quad (3)$$

又因为

$$1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\hat{Y}_i - \bar{Y}}{\sigma_Y} \frac{\hat{Y}_i - \bar{Y}}{\sigma_Y} = \frac{1}{n} \frac{1}{\sigma_Y^2} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i \hat{Y}_i,$$

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{Y}_i \hat{Y}_i = \sigma_Y^2, \quad (4)$$

所以由(2)、(4)式得

$$c = \sigma_Y, \quad (5)$$

则由(3)、(5)式得

$$c^2 = b_1r_1 + b_2r_2 + b_3r_3 + b_4r_4. \quad (6)$$

(6)式左端代表四个大气涛动对此格点 SLP 方差的总贡献, 右端第一到第四项分别为 NAO、NPO、SO 和 AO 对此格点 SLP 方差的解释率, 此法消除了它们之间对 SLP 可能存在的共同影响, 是各个涛动对 SLP 方差的独立贡献。

4 大气涛动与对流层大气环流

图2和图4中 a、b、c 和 d 分别是 NAO、NPO、SO 和 AO 对 SLP 方差解释百分率的空间分布。冬季和夏季各个涛动对 SLP 场方差的贡献率高值中心都位于各个大气涛动的中心地区, 从涛动中心往外则贡献率逐步降低, 因此从贡献率分布上看, 体现的仍然是大气涛动的型式。所以, 各个大气涛动对 SLP 变化的影响也主要集中在涛动相关中心及附近地区, 即 NAO 的主要贡献区在北大西洋及邻近的北美大陆、西北非洲、西欧和格陵兰等地区, 对于 $90^\circ\text{W} - 30^\circ\text{E}$, 10°N 以北区域平均, NAO 可解释 SLP 方差冬季和夏季分别为 38.8% 和 19.4%。NPO 的主要贡献区域包括以阿留申群岛为中心的北太平洋及相邻陆地和 $130^\circ\text{E} - 150^\circ\text{W}$ 的北太平洋中低洋面。SO 的主要贡献区范围比较大, 贡献率大于或等

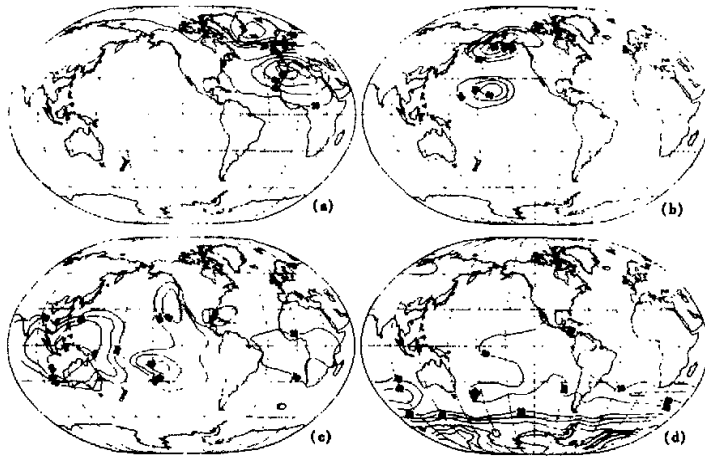


图2 12-2月各个大气涛动对 SLP 方差的独立贡献百分率

(a) NAO, (b) NPO, (c) SO, (d) AO

Fig. 2 Variance percentage explained by (a) NAO, (b) NPO, (c) SO and (d) AO in December - February

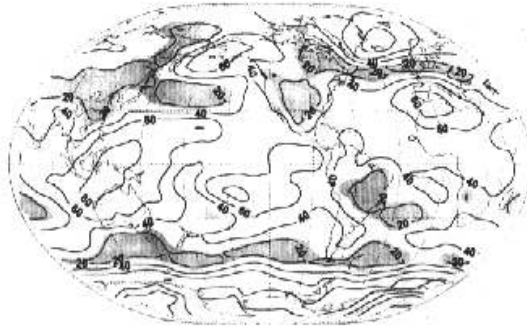


图3 12~2月四个大气涛动对 SLP 方差的总贡献百分率
(低于 25% 的地区用阴影标出)

Fig. 3 Variance percentage explained by all four atmospheric oscillations in December ~ February. Values below 25% are shaded

于 20% 的区域占据了南北纬 30° 之间的大部分区域, SO 对印度洋和太平洋 30° ~ 30°N 区域的平均解释率冬季和夏季分别达到了 31.7% 和 22.5%。AO 的贡献主要在南半球中、高纬地区, 30° ~ 90°S 平均解释率冬季和夏季分别为 35.5% 和 40.9%。可见, 考虑到 AO 后, 的确极大地改善了对南半球大气环流的描述能力。

表 1 大气涛动对各纬圈 SLP 的平均贡献率(%, 按面积加权平均)
Table 1 Zonally mean variance percentage explained by the atmospheric oscillations
(area weighted, in %)

月份	90° ~ 60°N	55° ~ 30°N	25°N ~ 0°	0° ~ 25°S	30° ~ 55°S	60° ~ 90°S	北半球	南半球	全球
12~2月	43.3	30.8	52.3	49.6	31.8	62.1	43.9	49.1	45.9
6~8月	29.3	32.4	38.9	43.9	23.4	60.5	34.1	44.1	38.6

四个大气涛动对 SLP 场的总解释率在各地也是很不一样的, 见图 3 和图 5。全球大部分地区 SLP 方差的总解释率都超过 20%, 不过高值中心仍然位于各个大气涛动的中心区域。这四个大气涛动控制的区域范围大体覆盖了全球, 根据表 1 能解释全球低层大气环流方差的 38.6% (6~8 月) 到 45.9% (12~2 月)。从纬圈平均来看, 冬季和夏季南北半球热带地区和南半球高纬地区解释率都很高, 说明南方涛动和南极涛动信号强且季节变化也很稳定。而中纬度地区及 6~8 月的北半球高纬度地区方差解释率比较低。这在图 3 和图 5 中很清楚, 图中复相关系数小于 0.5 的地区都用阴影标出, 12~2 月的几个低值中心包括亚洲大陆的东部、北美大陆东部、南美东部及两个半球的中纬海洋地区。6~8 月的几个低值中心则包括亚欧大陆的高纬地区、北美沿岸地区、南美东部及相邻大西洋和南半球中纬海洋地区。Rogers^[4] 在分析 NAO 和 SO 对北半球大气环流影响的工作中也发现在整个北半球, 西伯利亚和北美许多地区的气压和高度场的变化与 NAO 和 SO 的关系最差, 几乎没有什么联系, 这也与本文分析结果相符。为什么这些地区 SLP 场的解释率很低呢? 大致可以分 3 种情况: 一类是大气涛动的波节地区, 这些地区因为正好处于

大气驻波的波节, 气压与涛动指数的相关系数在 0 附近, 所以用涛动指数来解释气压的方差就很低; 二类地区是亚欧大陆、北美大陆、南美大陆中高纬大陆地区, 这些地区季节性的大气活动中心(如西伯利亚高压、北美高压)对大气环流的影响具有更重要的意义; 三类地区是北美大陆沿岸及海洋、南美大陆东部沿岸及相邻大洋等地区, 这些地区正好是大陆与海洋的交界地带, 海洋与陆地的热力梯度最大, 即受海陆季风影响最显著。

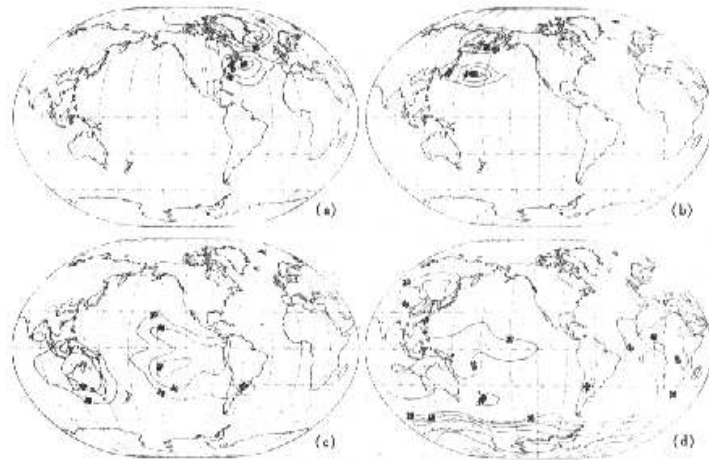


图 4 6-8 月各个大气涛动对 SLP 方差的独立贡献百分率

(a) NAO, (b) NPO, (c) SO, (d) AO

Fig. 4 Variance percentage explained by (a) NAO, (b) NPO, (c) SO and (d) AO in June ~ August



图 5 6-8 月四个大气涛动对 SLP 方差的总贡献百分率

(低于 25% 的地区用阴影标出)

Fig. 5 Variance percentage explained by all four atmospheric oscillations in June ~ August. Values below 25% are shaded

对流层高空大气环流的大尺度特征是遥相关, 有代表性的是冬季北半球 500 hPa 高度场上的 5 种遥相关型, 即东大西洋型(EA), 西大西洋型(WA), 西太平洋型(WP), 太

平洋—北美型和欧亚型(EU)^[9]。除欧亚型外,另外4个遥相关型的位置都分别大致与NAO和NPO有关联,冬季NAO与WA相关达到了-0.60,NPO与PNA和WP的相关分别达0.67和-0.60,这说明NAO和NPO与其上空的大气遥相关有密切联系。AO与南半球500 hPa高度场的相关也显示出AO的结构在高空同样存在,这可能与大气的正压性有关。EU没有与之对应的遥相关型,SO在低纬度高空也没有。另外,PNA与WP不仅与NPO关系密切,它们与SO的相关同样也很显著,SO与二者的相关系数分别为-0.49和0.49,而且南半球高空对SO的响应同样存在类似PNA的结构^[10,11],冬季和夏季都存在。另外一方面,大气涛动与之对应遥相关的关系随季节有很大差别,有些遥相关在夏季非常弱,或者不存在,而近地面的大气涛动并没有产生相应同等程度的变化。

因此,大气涛动虽然与高空遥相关有密切联系,但是二者还是有很大差别的。前者受近地面诸多因素的影响,更多地反映了下垫面的热力状况,而高空遥相关则更多地体现了自由大气的动力特征。

5 结论与讨论

因此,对全球低层大气环流来说,虽然四个大气涛动能解释大约百分之四十的方差,是最主要的环流系统。但仅仅考虑这四个因子是不完整的,对于东亚地区、北美大陆等地区的气候,一些其它系统如季节性的大气活动中心、季风等可能更为重要,需要更多地予以注意和研究。此外,大气涛动对低层大气环流方差解释率低的地区在两个半球中纬都呈带状分布,大致与对流层高空西风急流区的分布相对应,全球低层大气环流受高空环流影响方式及程度如何,还需要更深入的研究。

参考文献

- 1 Montgomery R B. Report on the work of G. T. Walker[J]. *Mon Wea Rev*, 1940, 39(Suppl): 1-22
- 2 龚道溢,王绍武. 南极涛动[J]. *科学通报*, 1998, 43(3): 296-301
- 3 Kalnay E, M Kanamitsu, R Kistler et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77: 437-471
- 4 Rogers J C. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere[J]. *Mon Wea Rev*, 1984, 112: 1999-2015
- 5 Moes T, G N Kiladis, H F Diaz et al. Characteristic and frequency of reversals in mean sea level pressure in the North Atlantic sector and their relationship to long-term temperature trends[J]. *J Climatol*, 1987, 7: 13-30
- 6 Hurrell J W. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation[J]. *Science*, 1995, 269: 676-679
- 7 Jones P D, T Jonsson, D Wheeler. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland[J]. *Int J Climatol*, 1997, 17: 1433-1450
- 8 Barnston A, G Y He. Impacts of the NAO on U.S. and Canadian surface climate, implications for seasonal prediction[C]. In proceedings of the 21st annual climate diagnostics and prediction workshop. Alabama, U S A, 1996, 34-37
- 9 Wallace J M, D S Gutzler. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter[J]. *Mon Wea Rev*, 1981, 109: 784-812
- 10 Karoly D J. Southern hemispheric circulation features associated with El Niño-Southern Oscillation events[J]. *J Climate*, 1989, 2: 1239-1252
- 11 龚道溢,王绍武. 南北半球副热带高压对赤道东太平洋海温变化的响应[J]. *海洋学报*, 1998, 20(5): 44-54

CONTRIBUTION OF THE ATMOSPHERIC OSCILLATIONS TO THE GLOBAL SURFACE PRESSURE SYSTEM

GONG Dao-yi WANG Shao-wu

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The features of near surface atmospheric circulation are usually analyzed based on the sea level pressure fields. The prominent patterns of the sea level pressure appear as the atmospheric oscillations. There are four major oscillations in global near surface atmosphere, they are North Atlantic Oscillation (NAO), North Pacific Oscillation (NPO), Southern Oscillation (SO) and Antarctic Oscillation (AO). The contribution of four atmospheric oscillations to the global monthly mean sea level pressure variance is studied, and it is found that the ratio percent of variance explained by four oscillations is different for various areas. More variance is accounted for over the lower zonal belts than over higher latitudes, and more variance is explained over Southern Hemisphere than that in Northern Hemisphere. In boreal summer (June, July and August), the variance of global sea level pressure explained by the four oscillations is 38.6%, in boreal winter is 45.9%. In some areas, such as eastern Asia, there are gaps of explanation of pressure. For these regions, other factors play more important role in the climate change, the atmospheric circulation systems such as the seasonal atmospheric centers of action and monsoon should be paid more attention.

Key words SLP field Atmospheric oscillation