

文章编号: 1000-0585(1999)01-0031-08

# 大气环流因子对北半球气温 变化影响的研究

龚道溢, 王绍武

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

**摘要:** 首先分析了北大西洋涛动 (NAO)、北太平洋涛动 (NPO) 和南方涛动 (SO) 对北半球气温影响的空间分布特征。冬季大气涛动对温度方差贡献主要是在低纬和中高纬大陆地区及北太平洋部分区域, 40°N 以北大部分陆地总的贡献率达 30% 以上, 热带 3/4 地区也在 30% 以上。近百年气温和大气涛动关系表明, 三个涛动对北半球冬季、夏季和年平均气温的变化贡献分别达 31.8%、2.6% 和 12.8%, 也是以冬季影响最大。用大气涛动可以解释近 20 多年来气温上升的很大一部分方差, 这说明可能在原有气温上升的趋势上, 由于叠加了近期大气环流引起的气温变化, 所以才形成了 70 年代末以来的加速变暖现象。

**关键词:** 大气环流; 气温; 北半球

**中图分类号:** P467 **文献标识码:** A

## 1 前言

最近一个世纪以来, 全球气候有增暖的趋势, 尤其是 70 年代末期到现在, 全球变暖有加速增强的迹象<sup>[1]</sup>。全球变暖一个很显著的特点是区域的不一致性, 有些地方温度上升, 而有些地方则下降。这种变化表现出一定的内在结构, 而这种结构与大气环流的变化是密切相关的, 因此要更好地理解全球变暖现象, 必须要了解大气环流与气候变化的关系, 尤其是近地面大气环流因为对区域气候要素的变化有直接和重要的影响。基于海平面气压分析而定义的大气涛动, 可以很好地反映近地面大尺度大气环流的本质特征, 是表征对流层下部大气环流的基本指标之一。许多研究指出大气涛动对全球气候变化有着重要作用: Hurrell 和 van Loon<sup>[2]</sup>和 Hurrell<sup>[3]</sup>指出最近北大西洋海表温度 (SST) 的变冷及欧亚大陆的变暖, 几乎全可由北大西洋涛动的变化解释, 而北半球中高纬地区年平均气温的年际变率的近三分之一也可由北大西洋涛动的变化得到解释; Yulaeva 和 Wallace<sup>[4]</sup>发现全球低纬和中高纬对流层温度都与 ENSO (El Niño/Southern Oscillation) 有很好的对应关系, 只是气温响应时间比 ENSO 约落后 3 个月, 而且低纬响应幅度大, 中高纬响应幅度小。Wallace 等<sup>[5,6]</sup>认

收稿日期: 1998-02-16; 修订日期: 1998-11-30

基金项目: 国家自然科学基金资助重点项目“二十世纪中国与全球气候变率研究”(49635190) 成果。

作者简介: 龚道溢 (1969-), 男, 1992 年于湖南师范大学获学士学位, 1995 年于北京师范大学获自然地理学硕士学位, 1997 年于北京大学获气候学博士学位。现为北京大学博士后。主要从事气候学方面的研究。发表论文 30 余篇。

为 IPCC 所评估的最近的加速增暖部分几乎全都是由 EN SO 和北大西洋涛动的年代际变化分量所造成的, 因此加速增暖必然不能持久。如果 EN SO 和北大西洋涛动的位相在下一个年代反过来, 即使目前中等强度的全球增暖趋势都将被抵消, 高纬大陆冬季气温将下降。不仅北半球, 最近的工作也表明南半球中高纬地区的气温变化与南极涛动有密切的关系<sup>[7]</sup>。

本文将对影响北半球的三个大气涛动 (即北大西洋涛动 (NAO)、北太平洋涛动 (NPO) 和南方涛动 (SO)) 对北半球气温变化影响的区域差异, 以及在近百年气温变化中大气涛动的作用进行分析。

## 2 方法

一个特定地区气温的变化可能同时与多个大气涛动有关, 而各个不同的涛动影响区域气温的方式和途径又不相同。因此, 既要研究各个大气涛动总的影响效果, 又有必要研究各个大气涛动的独立贡献。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气温变化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。如果同时考虑多个大气涛动, 用合成图方法将是一件十分烦琐的事情, 而且, 也并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三个大气涛动对北半球平均气温的影响。

对于某一格点, 有标准化序列  $Y_i$  (代表气温),  $X_{1i}$  (NAO I),  $X_{2i}$  (NPO I),  $X_{3i}$  (SO I), 根据多元回归理论建立多元线性回归方程:

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

式中  $i$  为时间长度,  $i = 1, \dots, n$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  和  $b_3$  为回归系数。可以证明:

$$c^2 = b_1 r_1 + b_2 r_2 + b_3 r_3$$

$r_1$ ,  $r_2$  和  $r_3$  分别为气温与 NAO I, NPO I 和 SO I 的相关系数,  $c$  为复相关系数。此式左端代表三个大气涛动对此格点气温方差的总贡献, 右端第一到第三项分别为 NAO、NPO 和 SO 对此格点气温方差的解释率, 此法消除了它们之间对气温可能存在的共同影响, 是各个涛动对气温方差的独立贡献。

## 3 大气环流对对流层下部气温的影响

本节分析所用资料都使用再分析资料 (NCEP NCAR CDA S-1), 包括月平均海平面气压 (MSLP), 1 000 hPa 高度和 500 hPa 高度, 都取 10 经度  $\times$  5 纬度格式。时间从 1974 年 1 月到 1996 年 12 月。再分析资料为全球气候变化的研究提供一套较为可靠、系统和完整的资料, 目前“再分析”资料已经得到普遍的认可和广泛的应用<sup>[8]</sup>。

北大西洋涛动指数 (NAO I) 和北太平洋涛动指数 (NPO I) 都按季节不同, 根据再分析的 MSLP, 选择气压变化方差最大的中心, 使用相应两个中心附近多个格点平均海平面气压的差来定义。

南方涛动指数 (SO I) 为美国气候预测中心 (Climate Prediction Center, 即 CPC) 每月

在“气候预测公报”上公布的数据。

由于气压场和高度场的空间连续性好, 利用 500 hPa~ 1 000 hPa 的厚度来代表对流层下部的平均气温, 可以弥补地面站点气温受局地因素影响过大, 以及海洋上资料不足等不利因素, 对较大尺度范围和对流层下部整体的气温变化代表性更合理。

所以, 首先分别计算三个大气涛动指数与各格点 500 hPa~ 1 000 hPa 厚度的相关, 再利用多元回归方法计算各格点 500 hPa~ 1 000 hPa 厚度变化方差中各个大气涛动的独立贡献。由于NAO 和NPO 的定义中使用的格点位置是随大气活动中心的变化在冬半年和夏半年有差别, 所以这里也分别对冬季和夏季进行分析。冬季, 当NAO 强时, 加拿大东北及格陵兰地区气温将下降, 而从美国中部向东到东欧及西伯利亚广大地区气温都将上升, 而北非也将下降。这种相关分布型与NAO 对温度方差的独立贡献分布是一致的, 这说明这些地区温度的上升或下降的环流因子中主要是受NAO 的影响。

冬季NPO 和SOI 同 500 hPa~ 1 000 hPa 厚度的相关分布特征很相似, 太平洋-北美区主要的相关高值中心位置比较一致, 且都呈PNA 型, 而在热带印度洋及非洲也是相关高值区; 二者与温度关系所不同的是各自相关中心的符号相反。这说明NPO 和SOI 并不是完全独立的, 二者之间存在一定的负相关。但是, 从它们各自对温度的独立贡献来看, 二者影响的区域相差很大。从图 1 中可以很清楚看出, NPO 主要的贡献区在北美西部及北太平洋; 而SOI 的贡献则主要在 20°N 以南的低纬区, 见图 1。

夏季情况则与冬季有很大不同。三个涛动对温度的贡献的区域性更加明显, NAO 主要对北美和西欧、北非的个别地区; NPO 主要对北太平洋和北美个别地区; SOI 主要对太平洋热带地区的温度产生影响。从空间尺度看, NAO 和NPO 大大小于冬季。不过SOI 的贡献分布型及范围则大致与冬季相似。

三个大气涛动的总贡献, 冬季高值区主要集中在低纬地区、中高纬大陆及北太平洋部分区域, 40°N 以北大部分大陆地区总解释率都在 30% 以上, 20°N 以南近 3/4 地区解释率也都在 30% 以上。夏季除热带太平洋区域有较高解释率外, 大气涛动对热带外地区温度方差的解释率都很低, 仅仅有分散的个别区域如北美东北等解释率较高, 有 30% 左右, 见图 2。

因此, 从半球大尺度来看, 大气涛动对北半球对流层下层气温的影响, 主要在冬季低纬和中高纬的大陆。夏季仅仅是对热带太平洋地区有一定影响。

## 4 大气环流对地面气温长期变化的影响

上节分析表明大气涛动对北半球气温的影响有明显的地区差异, 对近百年来北半球平均气温的变化又有多大贡献呢?

研究这个问题首先需要长的气温和涛动指数序列。美国国家气候数据中心全球气候实验室与环境研究实验室气候分析中心, 利用全球历史气候网(GHCN) 站点资料<sup>[9]</sup>, 联合整理了全球格点气温资料, 格式为 5 经度×5 纬度, 时间从 1851 年 1 月到 1993 年 12 月<sup>[10]</sup>。因此, 由这套资料计算得到近百年北半球及各纬圈平均气温序列, 涛动指数包括 1873 年以来的NAOI 和NPOI, 及文献<sup>[11]</sup>的SOI 序列。

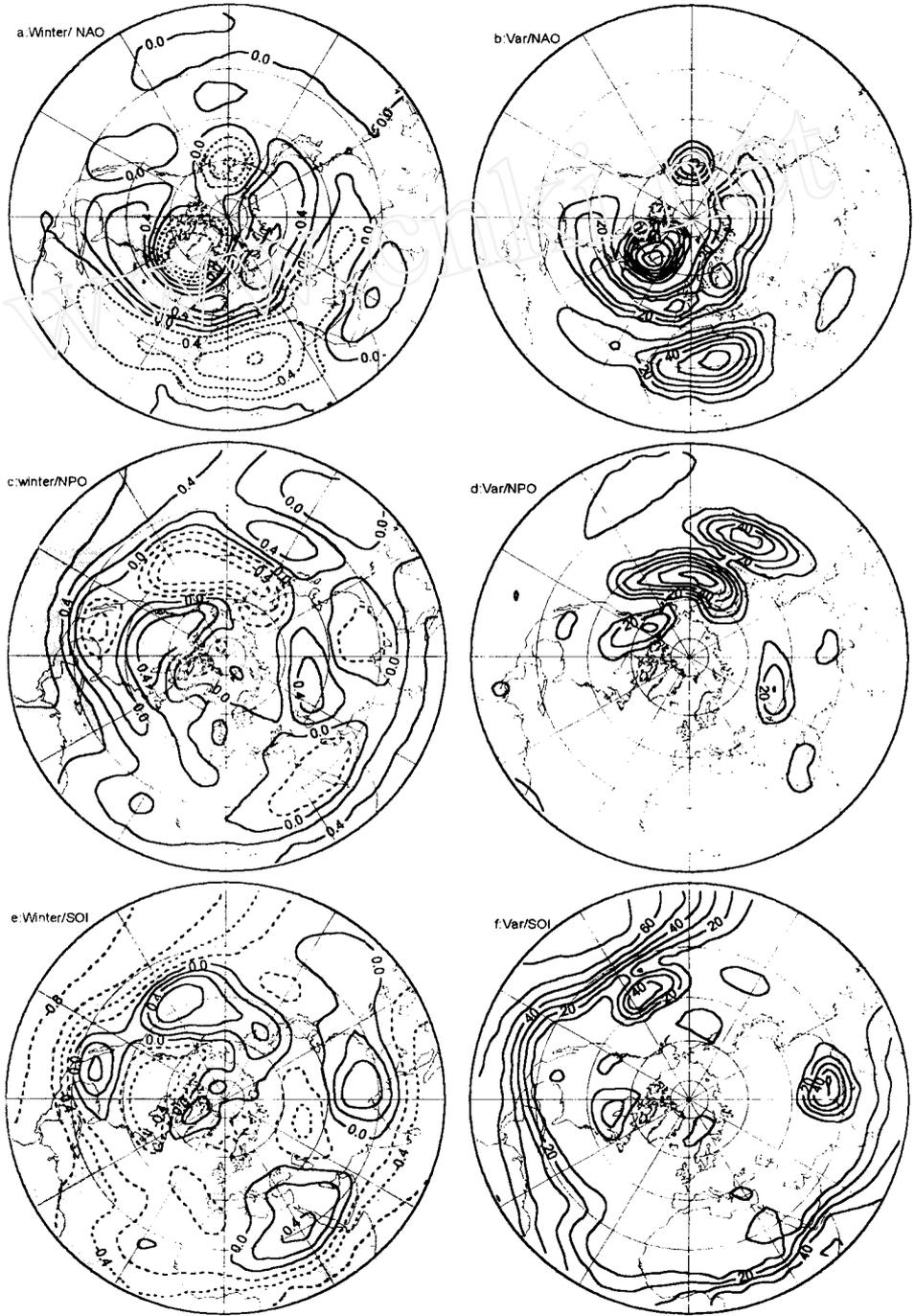


图 1 冬季北半球 500 hPa~ 1 000 hPa 厚度场与 (a) NAO I, (c) NPO I 和 (e) SO I 的相关系数, 以及 (b) NAO I, (d) NPO I 和 (f) SO I 分别对厚度场方差的独立贡献百分率 (a, c 中大于 0.4, e 中 小于 -0.4 的区域阴影标识; 负值用虚线表示)

Fig. 1 Correlation coefficients between winter 500 hPa~ 1 000 hPa heights and (a) NAO I, (c) NPO I and (e) SO I variance explained by (b) NAO I, (d) NPO I and (f) SO I also contoured in percentage

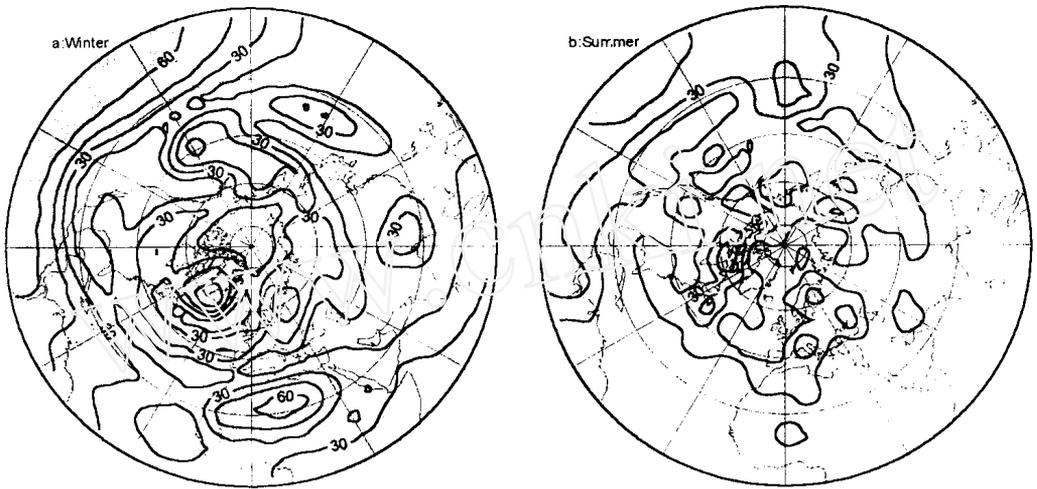


图 2 NAO I, NPO I 和 SO I 对 500 hPa~1000 hPa 厚度场的总方差贡献百分率 (a: 冬季, b: 夏季)

Fig. 2 Total variance explained by NAO I, NPO I and SO I for northern hemispheric 500 hPa~1000 hPa heights (a: winter, b: summer)

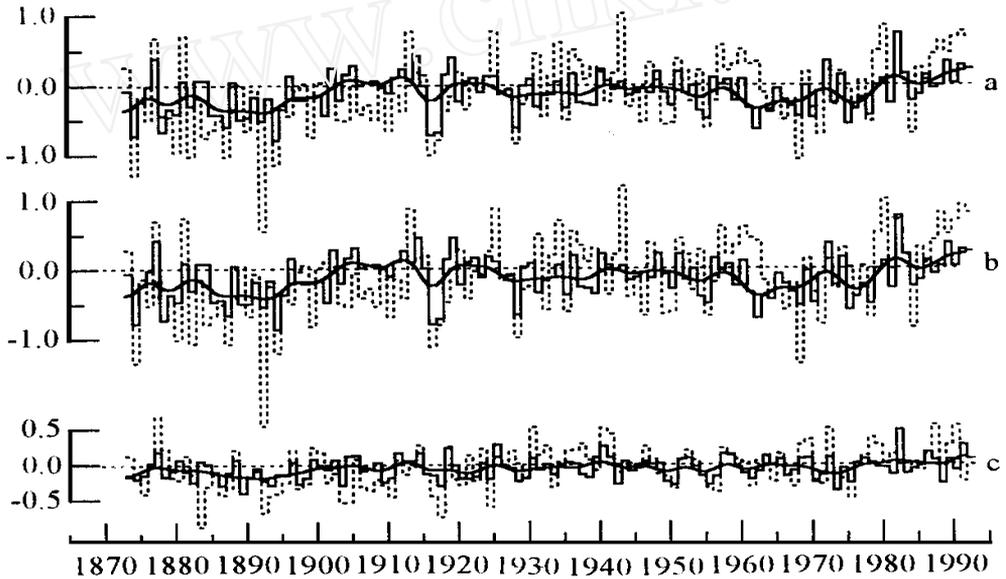
对北半球平均气温及大气涛动指数进行多元回归分析, 结果表明季节间也有很大不同。对气温方差的贡献主要是在冬季。三个大气涛动可以解释近百年来北半球冬季平均气温变化方差的 31.8%, 其中 NAO I 和 SO I 贡献最大, 分别占 16.1% 和 14.5%; 而年平均气温则只能解释 12.8%; 夏季仅为 2.6%, 见表 1。当然, 如上节分析的结果一样, SO I 对热带地区的突出贡献在近百年的长序列中也表现得很清楚, SO I 对 0~20°N 冬季、夏季及年平均气温方差的贡献率分别为 25.2%、11.8% 和 28.4%, 说明 SO I 对热带地区气温的影响在全年都是比较显著和稳定的。不仅如此, SO I 对热带外区域气温的影响也是不容忽视的, 如冬季可解释 20°N~90°N 平均气温方差的 12.0%, 占 3 个大气涛动总解释率的 39.6%。

表 1 大气涛动对北半球气温的贡献 (1873 年~1993 年)

Tab. 1 Variance contribution of atmospheric oscillations to the northern hemispheric air temperature (1873~1993)

区 域	季 节	对气温方差贡献率 (%)			合计
		NAO I	NPO I	SO I	
0~20°N	冬季	0.3	3.2	25.2	28.7
	夏季	1.7	0.1	11.8	13.6
	年	1.2	0.2	28.4	29.8
20°N~90°N	冬季	17.0	1.3	12.0	30.3
	夏季	2.9	0.0	1.2	4.1
	年	6.1	0.3	4.6	11.0
0~90°N	冬季	16.1	1.2	14.5	31.8
	夏季	2.3	0.0	0.3	2.6
	年	5.5	0.5	6.8	12.8

因大气涛动对冬季气温的贡献最显著, 所以用三个大气涛动对  $0\sim 20^{\circ}\text{N}$ 、 $20^{\circ}\text{N}\sim 90^{\circ}\text{N}$  及  $0\sim 90^{\circ}\text{N}$  的平均气温进行拟合, 见图 3, 观测气温近百年气温的上升趋势明显, 北半球平均上升率为  $0.40 / 100$  年, 而拟合的气温上升趋势仅仅为  $0.14 / 100$  年。而且, 观测气温从 19 世纪末期到 20 世纪 50 年代及 20 世纪 70 年代以来都是持续的增温趋势, 1960 年代略有下降, 而拟合的气温, 1920 年代的升温并不明显, 从 20 世纪初到 1960 年代还有较弱的下降趋势。这说明, 近百年来气温的上升趋势还受其它的一些因素的影响。



虚线为观测气温, 实线为拟合值, 光滑曲线为拟合气温的低通滤波值

图 3 大气涛动对  $0\sim 90^{\circ}\text{N}$  (a)、 $20\sim 90^{\circ}\text{N}$  (b) 和  $0\sim 20^{\circ}\text{N}$  (c) 冬季平均气温的拟合

Fig. 3 Simulated winter temperature of (a)  $0\sim 90^{\circ}\text{N}$ , (b)  $20\sim 90^{\circ}\text{N}$  and (c)  $0\sim 20^{\circ}\text{N}$  by atmospheric oscillations (The dashed lines are observations, the bold lines are simulations and smoothed using Gaussian filter)

其次, 可以看出, 大气涛动拟合的气温虽然也存在年代际的变化, 但与观测值比较有些时期解释率还较低, 说明虽然大气涛动的年代际变化对气温有一定的贡献, 但并不能对气温的年代际变化有很高的贡献率, 而三个大气涛动对北半球冬季平均气温变化的总贡献有 31.8%, 这主要是年际时间尺度上的贡献。

此外, 从 70 年代后期以来, 全球气温有加速变暖的趋势, 而用大气涛动的确能解释很大一部分的气温上升, 特别是在北半球, 这在图中很明显, 这可能说明全球气温在原有的上升趋势之上, 叠加了近期由于大气涛动年代际变化造成的气温上升, 所以才形成自 70 年代以来加速变暖的现象, 因为 80 年代 SOI 持续低值, 必然伴随低纬地区气温的偏高, 而 80 年代冬季 NAOI 和 NPOI 则持续偏高, 由上节分析可知, 这都会使中高纬大陆大面积地区气温增加。不过, 1995/1996 年冬季 NAOI 和 NPOI 都由正位相反转到负的位相, 有迹象显示可能这两个涛动的另一个年代际尺度的负位相时期即将开始<sup>[12]</sup>, 那么, 果真如此的话, 至少今后一段时期内全球增暖的趋势将会有所减缓。

## 5 讨论

本文初步分析了大气涛动对气温变化的可能影响, 不过大气环流影响气温的方式可能是多样的, 季节性的大气活动中心如西伯利亚高压、印度低压等对广大区域的气候有重要的影响<sup>[13~15]</sup>, 如果除大气涛动外还同时考虑到这些大气活动中心的作用, 那么大气环流对气温变化的方差贡献还可能进一步提高。

当然, 一方面中高纬地区大气涛动的强弱对应高低指数环流形式, 即纬向性或经向性环流盛行, 造成不同纬度间热量的交换, 还可以使热量在海洋与大陆间重新分配, 从而对气温产生影响<sup>[16]</sup>。另一方面, 大气涛动与气温间可能存在更为复杂的非线性作用和反馈过程, 因为大气涛动可以造成海陆间热力梯度性质发生变化, 海陆间热力对比的变化必然会引起大气活动中心强度和位置的改变<sup>[17]</sup>, 从而又对大气环流产生反馈。分析中仅用线性多元回归分析方法, 用线性的统计方法无法全面反映这种非线性的动力过程, 所以, 大气涛动与气温变化间可能存在的动力联系机制还需更深入的研究。

### 参考文献:

- [1] IPCC Climate Change 1995: the science of climate change Houghton J T, Meira Filho F GT, Callander B A, Maskell K (eds). Cambridge Univ. Press, Cambridge, U. K., 1996
- [2] Hurrell J W, H van Loon Decadal changes in the circulation of the Northern Hemisphere: relation to surface temperature Proceedings of the 20th annual climate diagnostics workshop. Seattle, Washington, U. S. A., 1995, 292~ 295
- [3] Hurrell J W. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere. *Geophys. Res. Lett.*, 1996, **23**(6) 665~ 668
- [4] Yalaeva E, Wallace J M. The signature of ENSO in global temperature and precipitation fields derived from the microwave sounding unit. *J. Climate*, 1994, **7** 1719~ 1736
- [5] Wallace J M, Zhang Y, Renwick J A. Dynamical contribution to hemispheric temperature trends. *Science*, 1995, **270** 780~ 783
- [6] Wallace J M, Zhang Y, Bajuk L. Interpretation of interdecadal trends in Northern Hemisphere surface air temperature. *J. Climate*, 1996, **9** 249~ 259
- [7] 龚道溢, 王绍武 南极涛动. 科学通报, 1998, **43**(3) 296~ 301
- [8] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R et al. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1996, **77** 437~ 471.
- [9] Vose R S, Schmoyer R L, Steurer P M et al. The Global Historical Climatology Network: long-term monthly temperature, precipitation, sea level pressure, and station pressure data. ORNL/CDIAC-53, NDP-041. Carbon Dioxide Analysis Center, 1992. 100
- [10] Baker C B, Eischeid J E, Karl T R et al. The quality control of long-term climatological data using objective data analysis. Preprints of AMS ninth conference on applied climatology, Dallas, TX, 15- 20 January, 1995
- [11] 王绍武 气候系统引论. 北京: 气象出版社, 1994. 90~ 93
- [12] Jones P D, Jonsson T, Wheeler D. Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and south-west Iceland. *Int. J. Climatol.*, 1997, **17** 1433~ 1450
- [13] 王绍武 东亚大气活动中心的多年变化与我国的气候振动. 气象学报, 1962, **32**(1) 19~ 36
- [14] 朱乾根, 施能, 吴朝晖等. 近百年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与中国气候变化的关系. 气象学报, 1997, **55**(6) 750~ 758

- [15] 龚道溢, 王绍武 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究 地理学报, 1999, 54(2): 125~ 133
- [16] Wallace J. Observed climatic variability: spatial structure. In Decadal climate variability. Anderson D L T, Wilbrand J (eds). Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996. 31~ 81.
- [17] Rossby C G. Relation between variations in the intensity of zonal circulation of the atmosphere and the displacement of the semipermanent centers of action. *J. Marine Res.*, 1939, 2. 38~ 55.

## Influence of atmospheric oscillations on northern hemispheric temperature

GONG Dao-yi, WANG Shao-wu

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Global warming has become a major scientific and political issue during the past 2 decades. Evidences show that the change of surface temperature is not uniform. The temperature is increased dramatically over northern continents in middle and high latitudes, but dropped obviously in northern Atlantic and northern Pacific. So the variation of temperature demonstrate some inherent structure. Atmospheric circulation is the most dominant factor controlling the surface climate changes.

Atmospheric oscillations play an important role in the general atmospheric circulation, and affect regional or planetary scale climatic anomaly. Variance contribution of three atmospheric oscillations, say NAO (North Atlantic Oscillation), NPO (North Pacific Oscillation) and SO (Southern Oscillation), to north hemispheric temperature is investigated. Multivariate linear regression analysis show that the contribution is much higher in the tropic region, middle and high latitude continent and north western Pacific. Three atmospheric oscillations account for above 30% temperature variance over continent of north 40°N, and most part of the tropic in winter.

During the past century, the contribution of atmospheric oscillations to northern hemispheric surface air temperature is also significant. From 1873 to 1993, temperature variance of the north hemisphere explained by the atmospheric oscillations is about 31.8%, 2.6% and 12.8% for winter, summer and annual respectively. During the last 2 decades the NAO index is increasing impressing, and the El Niño events occur with a much high frequency. Most part of the warming trend after the mid-1970s may be related to the decadal changes of NAO, NPO and SO.

**Key words:** atmospheric oscillations; temperature; northern hemisphere