

# 亚洲冬季地表气温与北半球海平面 气压场的关系<sup>\*</sup>

任菊章 琚建华 赵 刚

(云南大学东南亚气候与环境研究中心, 昆明 650091)

**摘 要** 利用 NCEP 资料对 1949~1999 年间的的海表气温进行经验正交函数分解 (EOF), 得到的前两个模态均表明, 20 世纪 70 年代中期以后, 在两个模态迭加的情况下, 亚洲大部分区域冬季气温升高, 增暖明显, 发生了显著的年代际变化。奇异值分解 (SVD) 冬季亚洲地表气温和北半球海平面气压场得到的结果说明, 北极涛动对亚洲冬季气温的年代际变化有显著影响, 其次北太平洋海平面气压与陆地海平面气压的反相分布可能对亚洲冬季气温的年际变化有影响。

**关键词:** 地表气温; 海平面气压; 北极涛动; 年代际变化

## 1 引言

20 世纪全球气候变暖, 已经成为大气科学研究的一个热点。在 Jones 等<sup>[1]</sup>给出的全球地表气温距平时间演变图中可以看到, 全球气温有明显的升高, 但在升高的趋势中存在高低起伏的现象, 准 10 年及年代际变化现象比较清楚。在全球气候变暖的过程中, 各地区的气温变化不尽相同, 从 1976 年以来, 北半球中高纬度的大陆地区冬季和春季有强烈的增暖趋势, 而北太平洋中部、北美大陆东北部及格陵兰、南大西洋中纬度地区等则略微变冷<sup>[2]</sup>, 我国四川、贵州等地冬季降温明显<sup>[3]</sup>。造成气温变化的原因是多方面的, 其中作为大气最基本特征的大气环流, 是天气气候形成和演变的基本原因之一, 而且大气环流的年代际形式对一定区域的年代际气候变化有影响<sup>[4]</sup>。其中北大西洋涛动 (NAO) 及北太平洋涛动 (NPO) 等大气环流型的异常与年代际变化和气候跃变之间具有密切的联系<sup>[5]</sup>。NAO 的异常又与北极涛动 (AO) 有着密切的联系, AO 包含了 NAO 的信息<sup>[6]</sup>。Rigor 等人<sup>[7]</sup>的研究认为, AO 在近 20 几年来与阿拉斯加、欧亚大陆以及北冰洋东部地区冬季地表气温的变化有很明显的关系。冬季 AO 与中国北方的气温也有很高的相关, 当 AO 位于高位相时, 中国大部分区域冬季气温偏高。因此, 研究北半球海平面气压场与亚洲冬季地表气温的时空物理图像是十分必要的。丁裕国等<sup>[8]</sup>指出, 奇异值分解 (SVD) 技术在气象场时空分布耦合信号的诊断分析中具有普适性, 在研究两个气象场的时空相关特征气候诊断中有显著效果。

本文利用 SVD 技术, 分析北半球海平面气压场与亚洲地表气温演变的时间变化规

2002-12-13 收到, 2003-03-09 收到再改稿

<sup>\*</sup> 国家重点基础研究发展规划项目“我国重大气候灾害形成机理和预测研究”(G199804900) 资助

律和空间分布特征, 得到海平面气压场与气温场之间相互作用的物理联系, 加深了对亚洲北部地区气温变化的认识。

## 2 方法和资料

我们使用了经验正交函数分解 (EOF) 和奇异值分解 (SVD)。SVD 是一种分析两个要素场之间相关的方法, 即得到两个要素场数对相关空间的分布, 这种空间分布能最大解释要素场的方差。Wallace 等<sup>[9]</sup> 通过 SVD 技术分析了冬季太平洋海表温度与 500 hPa 高度异常的联系。目前, 该方法已广泛应用于两个要素场的气候诊断分析中<sup>[10]</sup>。

本文所用的资料为 NCEP 大气环流再分析资料<sup>[11]</sup>, 包括地表气温 (SAT) 资料、海平面气压 (SLP) 资料。我们重点分析了北半球冬季 (DJF) SLP 的平均场和亚洲冬季 (DJF) SAT 的平均场, 分析时段取为 1948/1949 ~ 1998/1999 年。

## 3 亚洲冬季地表气温特征分析

在全球增暖的情况下, 各地区的气温变化不尽相同。我们用 EOF 分析了亚洲地区 ( $0^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ ,  $60^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$ ) 冬季 SAT 的空间和时间变化特征 (图 1), 由图可以看到 SAT 前两个特征向量场的空间分布特征及其对应的时间序列分布特征。

EOF1 的解释方差为 25%, 其主要空间分布特征表现为: 在亚洲北部中纬度地区和青藏高原附近有小片负值区, 其余大部分地区均为气温正值区。相应的时间序列 PC1 有着显著的年际变化特征和年代际变化特征。在 20 世纪 70 年代末有一个空间分布的转变, 70 年代中期以前基本为负位相, 即大部分地区为负值区, 冬季气温较低, 天气较冷; 以后基本为正位相, 冬季气温较高, 天气较暖。在 90 年代气温虽有下降, 但升高的趋势仍在继续。

EOF2 的解释方差为 20.8%, 其主要空间分布特征表现出南北分布,  $40^{\circ} \text{N}$  以北基本为正值区, 以南基本为负值区。其相应的时间序列 PC2 也有明显的年际变化和年代际变化。从 20 世纪 60 年代到 70 年代中期之间, 空间分布特征基本为负位相; 60 年代以前和 70 年代中期以后基本为正位相; 80 年代中期以后正位相的趋势加强, 并在继续。70 年代中期以后 PC1 与 PC2 均为正位相, 两个模态同位相迭加后, 大部分区域冬季气温明显升高, 鄂霍次克海小片区域以及我国西南地区附近气温有所下降。严中伟<sup>[12]</sup> 在分析近百年全球温度场时也有中国南方降温的现象。

## 4 北半球 SLP 和亚洲冬季 SAT 的 SVD 分析

SVD 是对两个要素场的交叉协方差阵对角化, 并找出两个要素场之间若干对相对应的空间分布场, 其中少数的前几对特征向量场能解释整个要素场的大部分方差。因此, 奇异值分解是研究两个场相互关系的有效方法<sup>[13]</sup>。

用 NCEP 大气环流再分析资料, 对  $20^{\circ} \text{N}$  以北的北半球冬季 SLP 场和亚洲 ( $0^{\circ} \sim 60^{\circ} \text{N}$ ,  $60^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{E}$ ) 冬季 SAT 场进行 SVD 分解, 结果见图 2 和图 3。

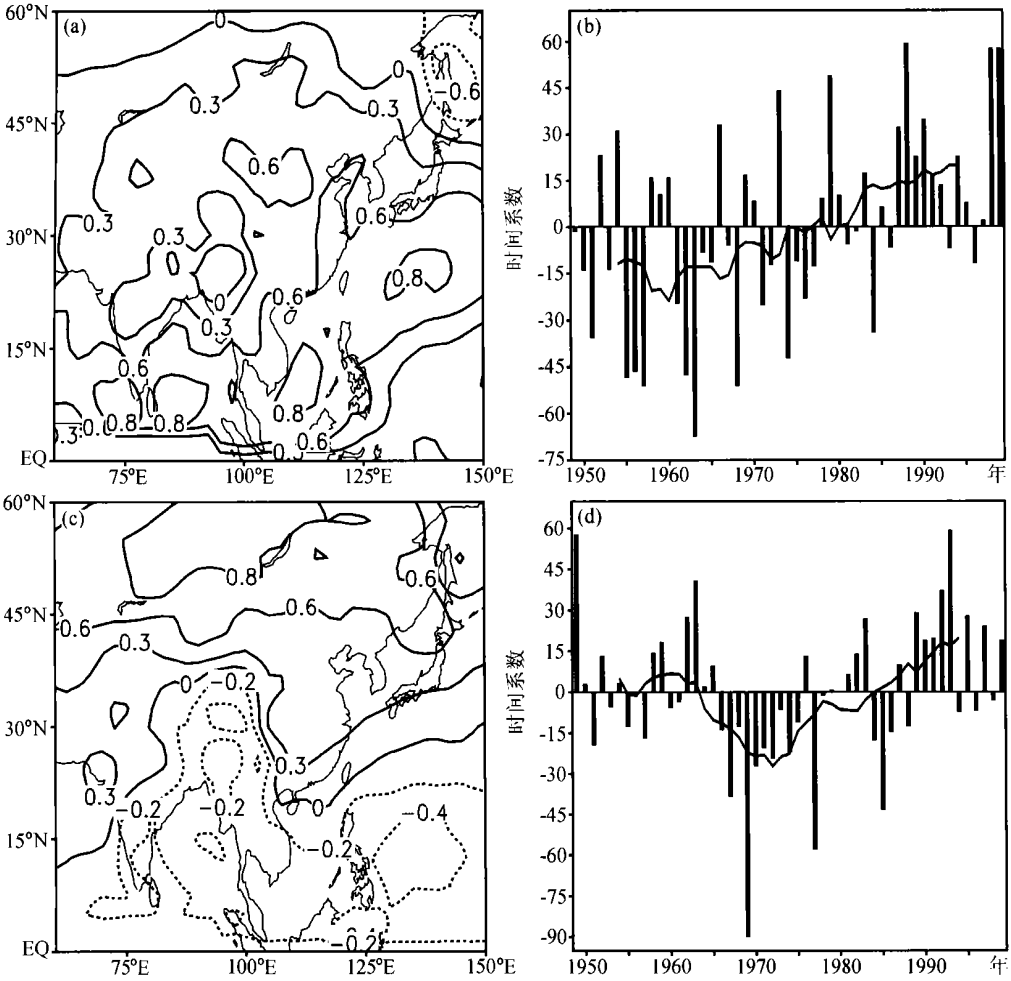


图1 亚洲冬季SAT的EOF1 (25%)、EOF2 (20.8%) 空间分布及其对应的时间变化

(a) EOF1; (b) PC1; (c) EOF2 (d) PC2

直方图是对应空间分布的时间序列, 实线是 11 年滑动平均

从海平面气压场和气温场分解出的前两对空间分布模态 (SVD1、SVD2) 均具有统计意义。SVD 第一模态的解释方差为 59%，北半球海平面气压场的空间分布 (图 2a) 是北极涛动的空间分布特征<sup>[14]</sup>，表现为北极地区是低值中心与围绕它的带状高值区，高低值之间具有偶极型振荡特征。与 SLP 场相对应的亚洲冬季 SAT 场 (图 2b) 的空间分布特征主要表现为，印度、中南半岛、青藏高原以及我国南部地区气温偏低，30°N 和 120°E 附近有小片偏冷区，其偏冷程度不高；其余地区基本偏暖，45°N 以北偏暖程度较高。与前面 EOF 的分析比较，SAT 的 EOF 前两个模态叠加后方差贡献达到 45.8%，而 SVD 分析的第一特征模态 (图 2b) 所显示的增暖区域和降温区域，能够很好的描述前两个 EOF 模态叠加后的主要特征，可见 SVD1 中大气环流的分布型 (北极涛动) 与亚洲 SAT 的分布有密切联系。

第一模态 SLP 和 SAT 空间分布型时间系数 (PC1p 和 PC1t) 之间的相关系数为 0.82，超过了 95% 的显著性检验，说明这对空间分布型有着密切的关系 (图 2c)。

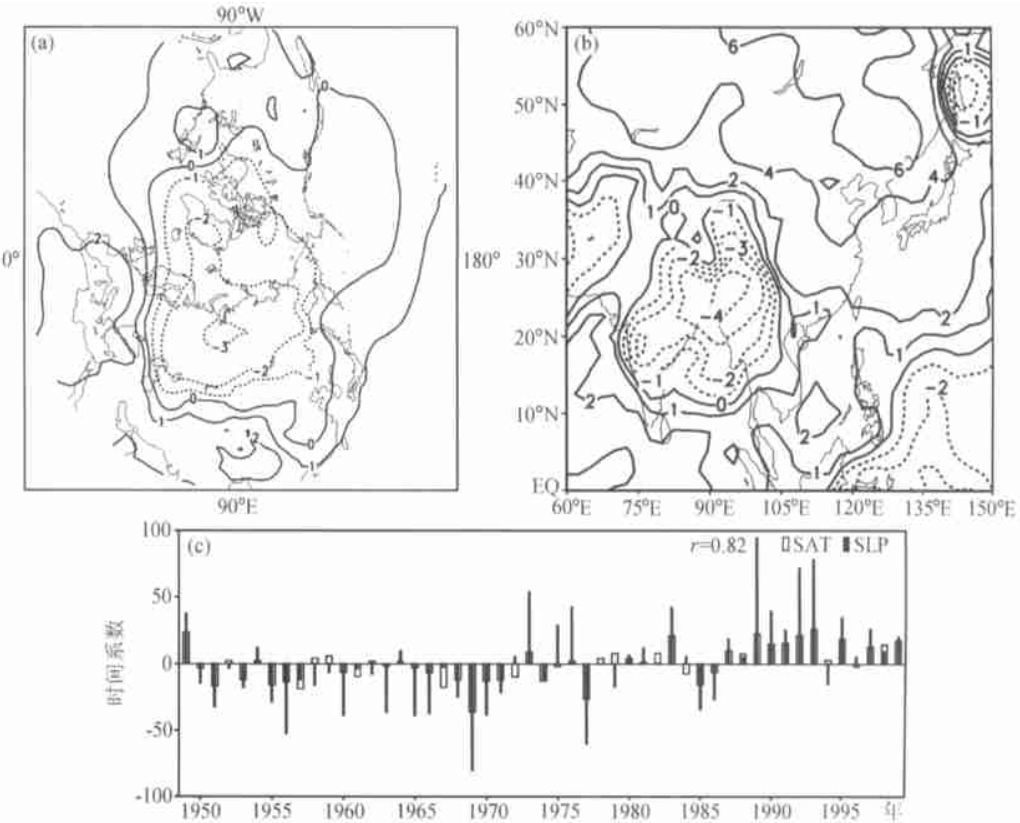


图2 北半球 SLP (a) 与亚洲冬季 SAT (b) 的 SVD 第一模态  
空间变量型及相对应的时间序列 PC1 (c)

PC1<sub>p</sub>的变化特征与冬季 EOF 提取的北极涛动指数的变化特征类似 (图略), 均有从低位相向高位相转变的年代际变化趋势。20 世纪 70 年代中期之前 PC1<sub>p</sub> 与 PC1<sub>t</sub> 均主要为负位相, 70 年代中期之后两者均多为正位相分布。这种空间分布的转化说明在 70 年代中期以后, 北半球 SLP 场主要表现为北极涛动的高位相形式, 尤其在 90 年代为持续正异常。相应的亚洲冬季气温分布主要表现为亚洲北部增暖明显, 且增暖幅度较大, 而我国西南地区降温明显。空间转变的时间段与 EOF 分析的时间段一致, 说明 SVD 第一模态北极涛动对亚洲 SAT 冬季年代际变化有着重要的影响。

SVD 第二模态的解释方差为 19%, 北半球 SLP 的空间分布 (图 3a) 主要表现为北太平洋 SLP 与亚洲陆地 SLP 反相变化的分布特征。与 SLP 场相对应的亚洲冬季 SAT 场 (图 3b) 表现出 45°N 南北温度也是一种反相变化。这对空间分布型时间系数 (PC2<sub>p</sub> 和 PC2<sub>t</sub>) 之间的相关系数为 0.78 (图 3c), 超过了 95% 的显著性检验, 说明它们之间也有着密切的联系。当北太平洋 SLP 下降 (上升), 相应的陆地 SLP 上升 (下降) 时, 亚洲地区 45°N 以北降温 (增暖) 显著, 以南则增暖 (降温) 明显。由于北太平洋低压减弱时, 亚洲大陆冷高也同时减弱, 冷空气和寒潮的强度减弱, 使得亚洲冬季增暖。图 3 中亚洲陆地 SLP 的分布范围包括了西伯利亚高压的活动范围。从我们的 SVD 分析中得到北极涛动对亚洲 SAT 的解释占主要地位 (图 2), 其次是西伯利亚高压对亚洲 SAT 的影响。龚道溢等<sup>[15]</sup> 做拟合分析后也认为冬季对亚洲大陆温度贡献最大

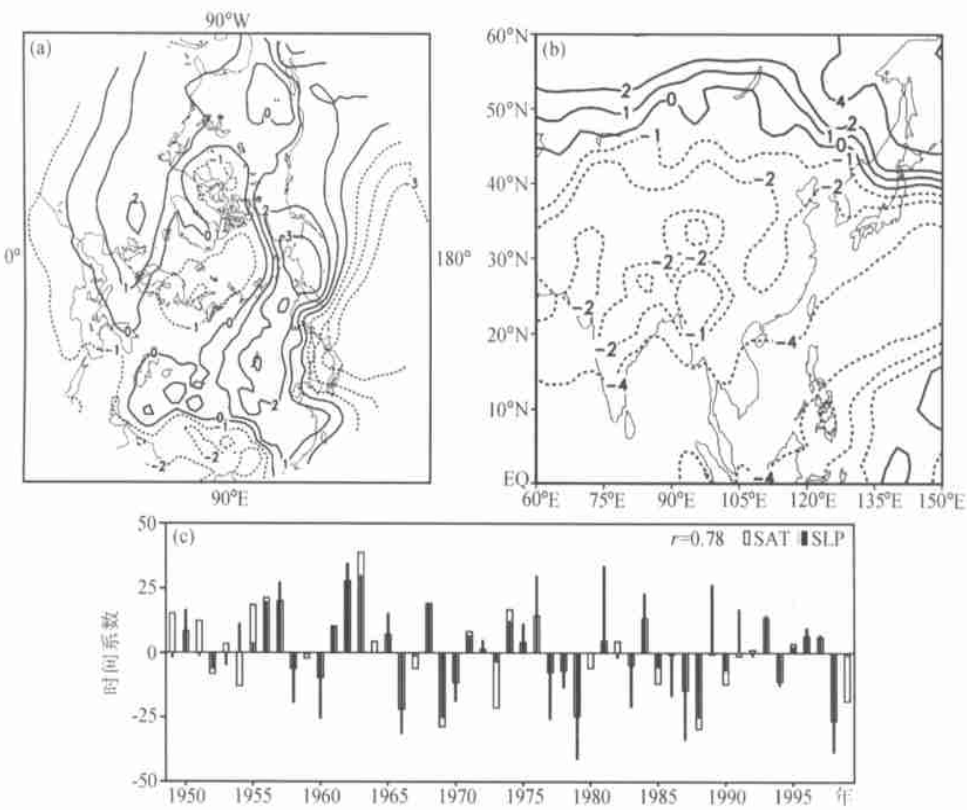


图 3 北半球 SLP (a) 与亚洲冬季 SAT (b) 的 SVD 第二模态空间变量型及  
相对应的时间序列 PC2 (c)

的是北极涛动，其次是西伯利亚高压，我们的分析与其结果一致。与 PC1p 和 PC1t 相比，PC2p 与 PC2t 的年代际变化特征大大减弱，年际变化特征更为明显。70 年代中期以前 PC2p 和 PC2t 多为较强的正位相，表明亚洲大陆 45°N 以南 SAT 偏低；后期 PC2p

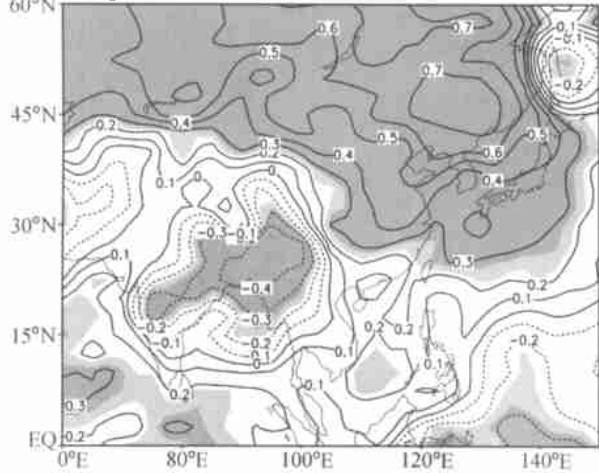


图 4 SVD1 中 PC1p 与亚洲 SAT 的相关区  
深、浅阴影区分别为超过 99% 和 95% 信度检验的高相关区

和 PC2t 多为较强的负位相，表明亚洲大陆偏暖。从 PC2p 和 PC2t 的演变特征推测，这种低层海陆气压场的分布可能对亚洲 SAT 的年际变化有很大的影响。

从 SVD 第一模态的分析结果看，冬季北极涛动与亚洲 SAT 的变化有很密切的联系。那么 PC1p 的变化与亚洲冬季 SAT 原始场之间是否有关系？我们分析了 PC1p 与亚洲冬季 SAT 之间的相关关系（见图 4），可见在亚洲北部（除鄂霍次克海附近小片区域外）基本为正相关区，在青藏高原南部及其邻近低纬地区有一片负

相关区。这与用北极涛动指数与亚洲 SAT 计算的相关特征非常相似(图略)。由此说明 PC1p 表征的北极涛动变化特征对亚洲气温有明显的影响, 尤其是对亚洲北部增暖有显著的影响。

## 5 结论与分析

(1) 分析亚洲冬季 SAT 前两个 EOF 模态的时间序列变化可知, 亚洲冬季 SAT 都在 20 世纪 70 年代中期有位相的转变, 其年代际变化明显。PC1 和 PC2 从 70 年代末开始处于正位相, 两个模态同位相迭加后, 亚洲大部分区域冬季气温升高, 增暖明显。

(2) SLP 与亚洲冬季 SAT 的 SVD1 和 SVD2 及其时间序列分析结果表明, SVD1 的解释方差为 59%, SLP 场表现出北极涛动的形式, PC1p 和 PC1t 两者时间序列的相关系数为 0.82。20 世纪 70 年代中期以后, PC1t 与 PC1p 均由负位相转为正位相, 年代际变化显著。从两者的关系来看, 70 年代中期以后, 北极涛动持续处于正位相, 亚洲北部冬季气温升高, 天气变暖; 印度、中南半岛、青藏高原以及我国南部地区气温降低, 天气变冷。可见北极涛动年代际变化的大气环流背景是亚洲 SAT 年代际变化的主要因素, 尤其对亚洲北部冬季的增暖有明显的影响。SVD2 的解释方差为 19%, PC2t 与 PC2p 间的相关系数为 0.78, 具有明显的年际变化。海平面气压场表现为北太平洋 SLP 与亚洲陆地 SLP 反相变化分布特征, 这可能对亚洲冬季气温年际变化有影响。另外 70 年代中期以后, PC2t 和 PC2p 多为负位相, 即主要为北太平洋低压减弱, 亚洲陆地冷高也相应减弱, 使得亚洲冬季大范围增暖。因此, 在大的环流背景下迭加年际变化可使亚洲冬季气温大范围增暖。

## 参 考 文 献

- 1 Jones, P. D., M. New, D. E. Parker et al., Surface air temperature and its change over the past 150 years, *Rev. Geophys.*, 1999, **37**, 173~199.
- 2 王绍武, 现代气候学研究进展, 北京: 气象出版社, 2001.
- 3 屠其璜、邓自旺、周晓兰, 中国气温异常的区域特征研究, *气象学报*, 2000, **58**, 288~296.
- 4 穆明权、李崇银, 大气环流的年代际变化, *气候与环境研究*, 2000, **5**, 233~241.
- 5 Li Chongyin, and Li Guilong, Variation of the NAO and NPO associated with climate kump in the 1960s, *Chinese Sci. Bull.*, 1999, **44** (2), 1983~1987.
- 6 Wallace J. M., North Atlantic Oscillation/ Annular Mode: two paradigms-one phenomenon, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2000, **126** (564), 791~805.
- 7 Rigor, I. G., R. L. Colony, and S. Martin, Variations in surface air temperature observations in the Arctic, 1979-1997, *J. Climate*, 2000, **13** (5), 896~914.
- 8 丁裕国、江志红, SVD 方法在气象诊断分析中的普适性, *气象学报*, 1995, **54** (3), 365~371.
- 9 Wallace J. M., C. Smith, and C. S. Bretheron, Singular value decomposition of winter time sea surface temperature and 500 hPa height anomalies, *J. Climate*, 1992, **5**, 561~576.
- 10 叶月珍、方之芳, 青藏高原热力状况与四川盆地汛期降水的联系, *高原气象*, 1999, **18** (2), 162~170.
- 11 Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, and W. Collins, The NCEP/NCAR reanalysis project, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**, 437~471.
- 12 严中伟, 近 100 年全球温度场中的年代际振荡, *气候与环境研究*, 1998, **3**, 201~208.

13 谢炯光、秦冰冰、王静源, 奇异值分解方法在季降水预报中的应用, 气象学报, 1997, **55**, 117~123.  
14 Thompson, D. W. J., and J. M. Wallace, The Arctic oscillation signature in the winter time geopotential height and temperature fields, *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25** (9), 1297~1300.  
15 龚道溢、朱锦红、王绍武, 西伯利亚高压对亚洲大陆的气候影响分析, 高原气象, 2002, **21**, 8~14.

Relation between the Winter Surface Air Temperature Fields in Asia and the Northern Hemisphere Sea Level Pressure

Ren Juzhang, Ju Jianhua, and Zhao Gang

(*Research center for South-East Asian Climate and Environment, Kunming 650091*)

**Abstract** Muti-scale winter (December-February) surface air temperature (SAT) variability in Asia and its long-term link to the Northern Hemisphere (NH) sea level pressure (SLP) variability are studied for the period of 1949~1999. Firstly, the dominant spatial and temporal patterns of surface air temperature anomaly are studied by empirical orthogonal function (EOF) analysis. EOF1 and EOF2 show a sudden shift over Asia in the middle 1970s. The mean SAT over Asia was increasing since the 1970s by the superimposed impact of EOF1 and EOF2. Secondly, to understand the long-term SAT variability that is link to NH SLP variability, the singular value decomposition (SVD) analysis for the two fields is carried out. SVD1 exhibits the so-called Arctic Oscillation (AO) winter circulation pattern. This model shows that the interdecadal variability of SAT over Asia can be attributed to NH SLP effects results. SVD2 exhibits the inverse phase between SLP in the northern Pacific and SLP in Asia. This mode shows the main cause of the SAT interannual variability over Asia.

**Key words:** surface air temperature; sea level pressure; arctic oscillation; interdecadal variation