影响我国冬季温度的若干气候因子

李勇[1,2] 陆日宇[2*] 何金海[1]

1 南京信息工程大学大气科学系，南京 210044
2 中国科学院大气物理研究所，北京 100029

摘 要 综合分析了西伯利亚高压、北极涛动、ENSO 和西太平洋遥相关型(WP)在年际和年代际时间尺度上对中国冬季温度的影响，结果表明在年际尺度上，WP 和西伯利亚高压都对温度有显著影响，WP 的影响主要存在于中国东部从东北南部至广东沿海一带大陆边缘区，而西伯利亚高压的影响范围则大得多，几乎涵盖了除黄河长江上游部分地区外的整个中国。在年代际尺度上，北极涛动和 ENSO 都与东亚冬季风有关联，北极涛动比 ENSO 的影响范围大，除长江上游沿江地区外的其他地区基本上都是关联区，ENSO 与温度的关联区位于 35°N 以北的整个北方及长江中下游地区。

关键词 冬季温度 西伯利亚高压 西太平洋遥相关型 北极涛动 ENSO
文章编号 1006－9895（2007）03－0505－10 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Several Climate Factors Influencing the Winter Temperature over China

LI Yong[1,2], LU Ri-Yu[2], and HE Jin-Hai[1]

1 *Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing* 210044
2 *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100029

Abstract Recently, many studies have described the relationship between winter temperature in China and some climate systems including the Siberian high (SH), the Arctic Oscillation (AO), ENSO and the western Pacific teleconnection pattern (WP). For example, during the past 100 years the winter temperature in China has been closely related to the intensity of SH which may be possibly influenced by global warming. The winter temperature in China also changes in phase with AO which is an important mode in boreal winter. In addition, ENSO exhibits the greatest influence on the interannual variability of the global climate. Li et al (2007) also pointed out that temperature in the east of the marginal areas in China is well associated with WP.

In these studies, however, only one single factor instead of the joint effects of two or more is usually considered. Many meteorological variables are in fact influenced by many factors at the same time and the true relationship cannot be indicated when only considering the simple correlation coefficient between two variables. Until now, the relationship of many factors and their effects on temperature are still unknown. Therefore, it is necessary for us to do some researches on temperature by using the partial correlation coefficient.

It is assumed that there are three random variables X_1, X_2 and X_3, which submit Gaussian distribution. The variable X_2 and X_3 are related to X_1. According to statistic theory, the partial correlation coefficient $\rho_{12.3}$ is the correlation coefficient between X_1 and X_2 when X_3 is constant, which means that the influence of X_3 has to be eliminated when the relationship between X_1 and X_2 is considered. In addition, the variations on the interannual and inter-

收稿日期 2005－11－22，2006－04－11 收修定稿
资助项目 国家自然科学基金资助项目 40475025
作者简介 李勇，男，1980 年出生，硕士，主要从事季风及气候动力学研究。E-mail：sxly99@163.com
* 通讯作者 E-mail：lr@mail.iap.ac.cn

decadal timescales are considered separately in this study. After subtracting by 9-year running mean, which is regarded as the interdecadal components, the remains are referred to as the interannual components.

In this paper, the effects of SH, AO, ENSO and WP on the winter temperature in China on the interannual and interdecadal timescales are investigated by using the partial correlation analysis. The results show that the western Pacific teleconnection pattern and the Siberian high have significant influence on winter temperature in China on the interannual timescale. The western Pacific teleconnection pattern mainly influences the east of marginal areas from the south of Northeast China to coastal cities in Guangdong Province. The region associated with the Siberian high covers almost the entire China except for the upper reaches of the Yangtze River and the Huanghe River, which is larger than that associated with the western Pacific teleconnection pattern. However, the temperature is strongly affected by AO and ENSO on the interdecadal timescale. The area under the impact of ENSO includes North China and the mid- and lower reaches of the Yangtze River. Compared with ENSO, AO affects larger areas including the entire mainland except for some regions in the upper reach of the Yangtze River.

Key words winter temperature, Siberian high, the western Pacific teleconnection pattern, Arctic Oscillation, ENSO

1 引言

近一段时间，许多研究工作都涉及到了冬季温度的问题，这一方面是由于冬季是全球增暖最明显的时期，研究冬季温度变化有助于理解气候增暖本质，另一方面，冬季严重的灾害性气候主要与温度有关，温度的变化与人们的生活息息相关。

西伯利亚高压（SH）是影响中国冬季气候的一个重要因子，与东亚冬季风的强度密切相关，当它发展并向东南方向移动时，总是伴随着冷空气的爆发，造成中国许多地方的低温天气。朱乾根等[2]分析了近110年北半球冬季6个大气活动中心与中国气候的关系，指出西伯利亚高压强度与中国冬季温度存在明显负相关。用西伯利亚高压异常能较好地解释近几十年来中国冬季气温变化特征[3]。

自从北极涛动（AO）的概念被提出以来，有关它与冬季温度的关系也得到了广泛关注。琚建华等[4]的研究表明，北极涛动持续增强的趋势是东亚北部地区冬季增暖的重要原因之一。龚道溢等[5, 6]指出当冬季北极涛动指数偏强时，我国大部分地区气温偏高，北极涛动和西伯利亚高压对我国温度都存在影响，但北极涛动对亚洲大陆温度贡献高于西伯利亚高压的贡献。

低纬度地区的海表温度异常经常引起大气环流的异常，东亚冬季风是冬季大气环流的重要成员，异常强（弱）的东亚冬季风能激发产生赤道西太平洋的西（东）风异常，而异常的赤道纬向风对ENSO的发生有重要作用[7]。东亚冬季风的年际变化与热带太平洋海表温度有关，当赤道东太平洋出现海温正异常时，东亚冬季风通常很弱，相反，当赤道东太平洋海温负异常时，冬季风则较强[8~10]。El Niño（La Niña）发生的当年冬季，亚洲冬季风往往偏弱（偏强），但弱（强）冬季风年并不一定出现El Niño（La Niña）[11, 12]。陈佩燕等[13]指出冬季不同海区与我国东部温度相关性不同，我国温度与赤道中东太平洋有正的相关关系，但这种关系并不强，大部分地区不能通过显著性检验。由于冬季风密切联系着我国冬季的温度，所以赤道东太平洋海温的变化可能与我国温度存在某种联系。

西北太平洋上空的西太平洋遥相关型（WP）与东亚冬季风存在显著相关，它的异常将对我国冬季的温度产生影响。高WP指数年我国大范围地区温度偏高，特别是我国东部、南部沿海及西南等大陆边缘区域更为显著，低指数年上述地区温度显著偏低[1]。

总之，针对我国冬季温度的研究虽然已有很多，但整体来看还存在一些不足：（1）偏重某环流系统（因子）的分析。由于各系统（因子）之间可能存在着某种程度的联系，因此，如果单纯取其中一个研究其与冬季风的关系可能是不全面的；（2）偏重某个时间尺度的分析。各因子在不同尺度上对温度的影响可能存在显著差异。本文的目的是利用观测资料同时分析多个因子在不同时间尺度情况下对我国冬季温度的影响。

2 资料和方法

2.1 使用的资料

（1）英国东安吉利亚大学气候研究室（Climat-

ic Research Unit of East Anglia University）的北半球月海平面气压资料（5°×10°）。

（2）NCEP/NCAR 再分析资料的全球 2.5°×2.5° 网格点 500 hPa 高度场。

（3）Climate Diagnostics Center 的 NOAA Extended Reconstructed SST（2°×2°）逐月资料。

（4）中国 160 站温度资料。

以上资料均取 1951～2000 年。

2.2 指数定义和分析方法

2.1.1 各指数的计算

根据文献[14]的方法，东亚冬季风强度指数（I_w）定义为 20°N～50°N（7 个纬带）的 110°E 与 160°E 的季标准化海平面气压差的和，即

$$I_w = \sum_{j=1}^{7}(p_{1,j}^{*} - p_{2,j}^{*}),$$

式中，p^* 为标准化海平面气压，$j=1, 2, \cdots, 7$（7 个纬带），下标 1、2 表示 110°E、160°E，所得序列再进行一次标准化处理。

武炳义等[15]指出，由于表面系统受到其他因素干扰较大，所以计算北极涛动指数时用了对流层中层 500 hPa 高度场不低于 5200 gpm 的空间格点数作为指标，这样计算有如下好处：以前的北极涛动指数多采用海平面气压场计算，但其易受海陆边界的影响，在对流层中层计算可以避免这一问题。另外，根据 Wallace[16]的观点，北极涛动的形成反映了涡旋与气流纬向对称分量的相互作用。因此，用对流层中层高度场计算更合理。

WP 指数采用 Wallace 等[17]指出的冬季北半球 500 hPa 高度场上 WP 中心计算，即 $I_{wp}=[Z^*(30°N, 155°E)-Z^*(60°N, 155°E)]/2$，其中 Z^* 表示经过标准化处理的 500 hPa 高度场。计算所得指数再进行一次标准化，得出标准化的 I_{wp} 时间序列。ENSO 指数取 Niño3 区（5°S～5°N，150°W～90°W）的海表温度异常。

按照以上方法计算所得的各指数通过 9 年滑动平均进行滤波处理，将低频部分作为年代际信号，用未滤波序列减去低频信号后得到的高频信号作为年际信号。由于时间序列有自相关性，年代际尺度上有效样本数将少于实际样本数，因而，本文在年代际尺度上反映的信息仅仅表明各因子与温度的一种可能存在的联系。

2.1.2 偏相关系数

为了尽可能真实地反映各因子与冬季风之间的关系，本文采用计算偏相关系数的方法。理论上，偏相关是指在 P 个正态随机变量中，求其中两个变量之间的线性关系（其他变量保持常值）。例如，假设有三个变量（$P=3$）X_1、X_2、X_3，X_1 与 X_2 之间的偏相关系数 $\rho_{12.3}$ 就是指当 X_3 保持常值时，X_1 与 X_2 之间的简单相关系数。我们可以认为 $\rho_{12.3}$ 是排除 X_3 的影响后 X_1 与 X_2 之间的相关系数。

$$\rho_{12.3} = \frac{\gamma_{12} - \gamma_{13}\gamma_{23}}{\sqrt{(1-\gamma_{13}^2)(1-\gamma_{23}^2)}},$$

其中，γ_{12}、γ_{13} 及 γ_{23} 分别表示 X_1 与 X_2、X_1 与 X_3、X_2 与 X_3 之间的单相关系数。同理，当同时考虑四个变量（$P=4$）X_1、X_2、X_3、X_4 时，我们可以同时排除其中两个变量计算其余两个变量的偏相关系数。如考虑同时排除 X_3 和 X_4 后，X_1 与 X_2 之间的二阶偏相关系数计算公式为

$$\rho_{12.34} = \frac{\rho_{12.3} - \rho_{14.3}\rho_{24.3}}{\sqrt{(1-\rho_{14.3}^2)(1-\rho_{24.3}^2)}}.$$

3 结果分析

3.1 各因子与冬季风的关系

由于不同因子对冬季风有不同的影响，因此，我们计算了 WP、北极涛动、西伯利亚高压及赤道中东太平洋海温指数与冬季风指数的相关系数和偏相关系数（如表 1）。WP 与冬季风在年际尺度上有显著相关，相关系数通过了 99%的显著性水平，并且这种相关性不会受到其他几个因子的影响，在排除其他因子的情况下，WP 指数与冬季风指数之间的偏相关系数仍然远远大于 99%的显著性水平，即 WP 与东亚冬季风年际尺度上的相关关系是较为稳定的。年代际时间尺度上这种相关就弱一些。我们比较一下相关系数与偏相关系数发现，WP 与冬季风之间的相关关系与北极涛动有密切联系，在排除了北极涛动的影响后，WP 指数与冬季风指数的偏相关系数明显减小，说明 WP 与东亚冬季风在年代际尺度上的关系是较弱的。

北极涛动与冬季风的关系主要体现在年代际时间尺度上，并且这种关系相当稳定，排除其他因子时偏相关系数与相关系数相比几乎没有大的变化。在年际时间尺度上，北极涛动指数与冬季风指数的相关系数虽然能够通过 95%的显著性水平，但是如

表1 各指数与冬季风指数的相关及偏相关系数（括号中表示年代际尺度）

Table 1 Correlation and partial correlation coefficients between various indices and winter monsoon index (interdecadal timescale in bracket)

气候因子 Climate factor	相关 Correlation	偏相关 Partial correlation
WP	−0.60 (−0.39)	−0.55 (−0.23), −0.55 (−0.35), −0.53 (−0.40)
AO	−0.30 (−0.67)	−0.15 (−0.62), −0.27 (−0.67), −0.05 (−0.62)
SH	0.67 (0.33)	0.66 (0.26), 0.63 (0.28), 0.64 (−0.04)
ENSO	−0.34 (−0.34)	−0.03 (−0.36), −0.31 (−0.33), −0.29 (−0.27)

注：WP与冬季风的3个偏相关系数分别是排除AO、SH和ENSO后的。同理，AO对应排除的是SH、ENSO和WP；SH对应排除ENSO、WP和AO；ENSO对应排除WP、AO和SH。

Note: The three partial correlation coefficients between WP (the western Pacific teleconnection pattern) and winter monsoon are those excluding AO (the Arctic Oscillation), SH (the Siberian high) and ENSO, respectively. Similarly, those between AO and winter monsoon are excluding SH, ENSO, and WP, respectively; those between SH and winter monsoon are excluding ENSO, WP and AO, respectively; those between ENSO and winter monsoon are excluding WP, AO and SH, respectively.

果排除了WP或西伯利亚高压的影响后，偏相关系数不能通过显著性检验，说明年际尺度上北极涛动与冬季风无显著相关，它们之间的相关关系与WP或西伯利亚高压有关，北极涛动有可能通过WP或西伯利亚高压的影响间接地与冬季风有关联。

西伯利亚高压与冬季风在年际时间尺度上存在显著相关，相关系数通过99%显著性水平，并且不受WP、北极涛动及ENSO等因子的影响，在分别排除这三个因子后计算的偏相关系数仍然可以通过99%显著性水平。在年代际时间尺度上，从偏相关系数来看，当排除北极涛动的影响后，西伯利亚高压与冬季风没有相关性。所以，西伯利亚高压与东亚冬季风仅在年际尺度上存在显著相关，在年代际尺度上所表现出来的相关性主要是由于北极涛动的影响造成的。

ENSO与冬季风在两个时间尺度上的相关系数均为−0.34。但在年际尺度上的相关与WP有密切关系，如果排除WP的影响，ENSO指数与冬季风指数的偏相关系数几乎为零，说明两者在这一尺度实际上没有相关性。年代际尺度上，在分别排除北极涛动、WP和西伯利亚高压后，偏相关系数并没有明显变化，说明ENSO确实与冬季风存在相关。

3.2 各因子与我国冬季温度偏相关系数的空间分布

以上我们分析了几个因子与我国冬季风的关系，接下来给出上述各因子与我国冬季160站温度偏相关系数的空间分布，以便更清楚地认识这些因子对我国冬季温度的影响。

图1是WP指数与我国冬季温度的偏相关分布。在年际尺度上，当排除其他因子的影响时，WP与我国温度相关显著区域主要位于我国东部沿海一带的大陆边缘区。这是由于该区域正好位于WP低纬度异常中心的西边，当WP呈现南正北负（北正南负）异常时，东部沿岸产生偏南（北）风异常，从而减弱（加强）来自欧亚大陆高纬度的偏北风，因此中国大陆东部温度偏高（低）。而在年代际尺度上，我们看到无论排除哪个因子几乎都没有显著区，说明在这个尺度上WP与温度没有明显的相关关系。与冬季温度相比，WP在50年当中的年代际变化并不明显，这可能是两者在年代际尺度上没有显著相关的其中一个原因。

北极涛动与温度的关系在两个时间尺度上存在明显差异（如图2）。在年际尺度上，除了北方个别站点外，大部分地区没有显著相关区域，这一结论与文献[6]的结论一致。相反，在年代际尺度上无论排除哪个因子，全国大部分地区都为显著正相关区。这可能是由于当北极涛动处于正异常时，北极以及欧亚大陆大部分地区气压明显偏低，东亚东部经向偏北大风偏弱，来自高纬度的冷平流较弱，造成我国近地面温度偏高。因此，年代际尺度上，如果北极涛动处在正异常时期，我国大部分地区温度偏高。

我们计算了ENSO指数与我国冬季温度的相关系数（图略）。结果表明：两者之间有正相关关系，但几乎没有通过95%统计信度的显著区域，这说明ENSO对我国冬季温度的影响并不显著。由图3也可发现，年际尺度上ENSO与除我国东北外

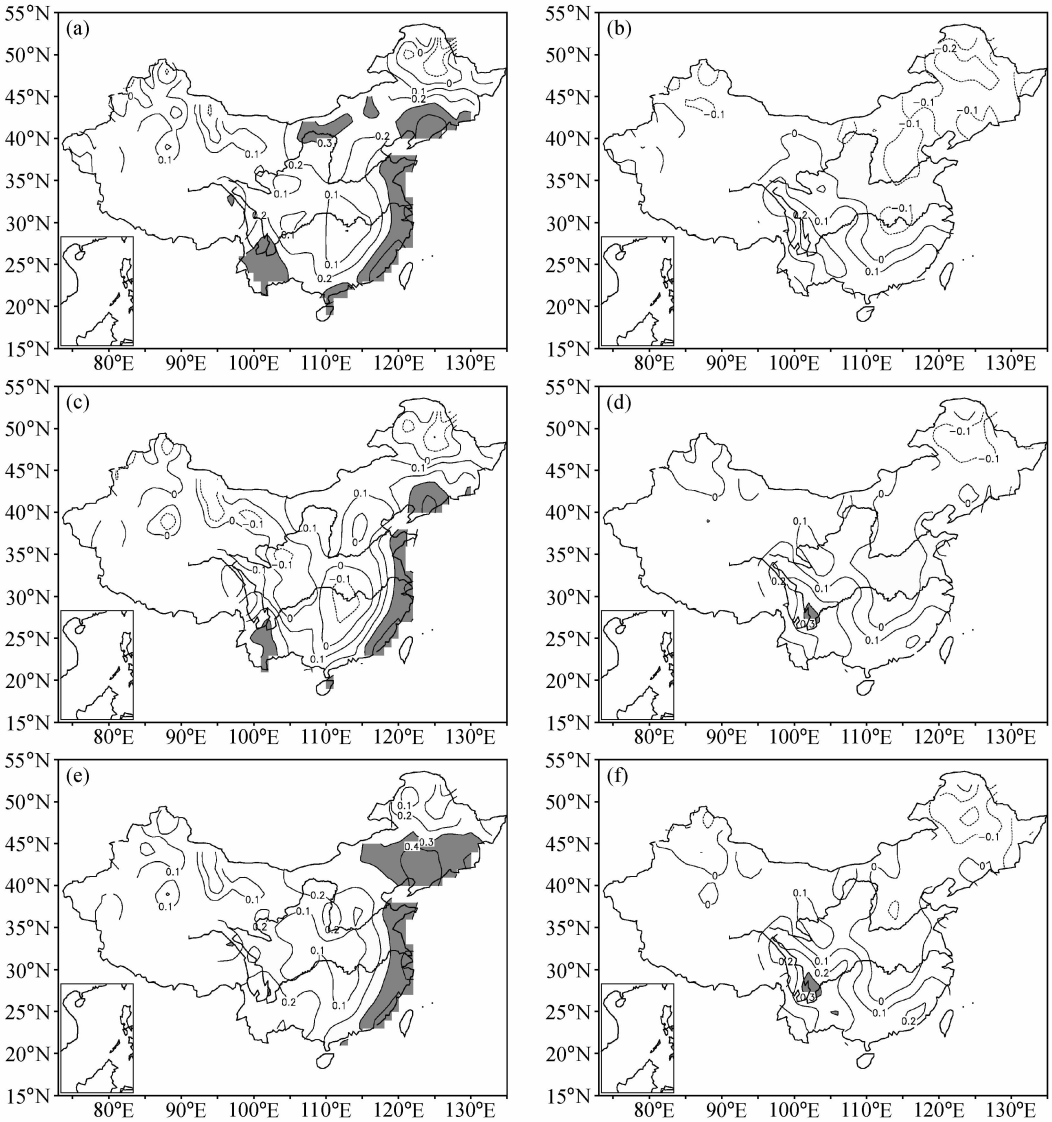

图 1　WP 指数与温度的年际（a、c、e）和年代际（b、d、f）偏相关系数：（a、b）排除北极涛动的影响；（c、d）排除西伯利亚高压的影响；（e、f）排除 ENSO 的影响

Fig. 1　Partial correlation coefficients between WP index and temperature in China (a, c, e: interannual; b, d, f: interdecadal): (a, b) The influence of the Arctic Oscillation is excluded; (c, d) the influence of the Siberian high is excluded; (e, f) the influence of ENSO is excluded

的大部分地区有正相关关系，但是没有达到显著性水平；在年代际尺度上则不同，存在稳定的大范围显著相关区。从图 3 中可以看到，无论排除其他哪个因子，偏相关系数图上没有明显差异，这一方面说明海温在这一尺度上对温度有影响，同时也说明这种影响具有一定独立性。

图 4 是西伯利亚高压与我国冬季温度的偏相关系数分布，从图中可知，无论排除其他哪个因子，西伯利亚高压与温度在年际尺度上具有显著正相关关系，表明西伯利亚高压确实影响我国冬季温度。这与 WP 对温度的影响不同，尽管 WP 指数与冬季风在年际尺度上也具有非常好的相关，但其对温度的影响作用只在大陆边缘区显著。西伯利亚高压大范围影响我国冬季温度，可能是由于它的强弱决定了东亚地区的经向风异常，从而造成异常的冷温度平流，影响近地面温度。

从年代际尺度来看，排除不同因子后得到的相关分布有明显差异，这一点与前面几个因子的分析不同。如果仅排除 WP 的影响，似乎与年际的情况差别不大，排除 ENSO 时显著相关区域减少了，当

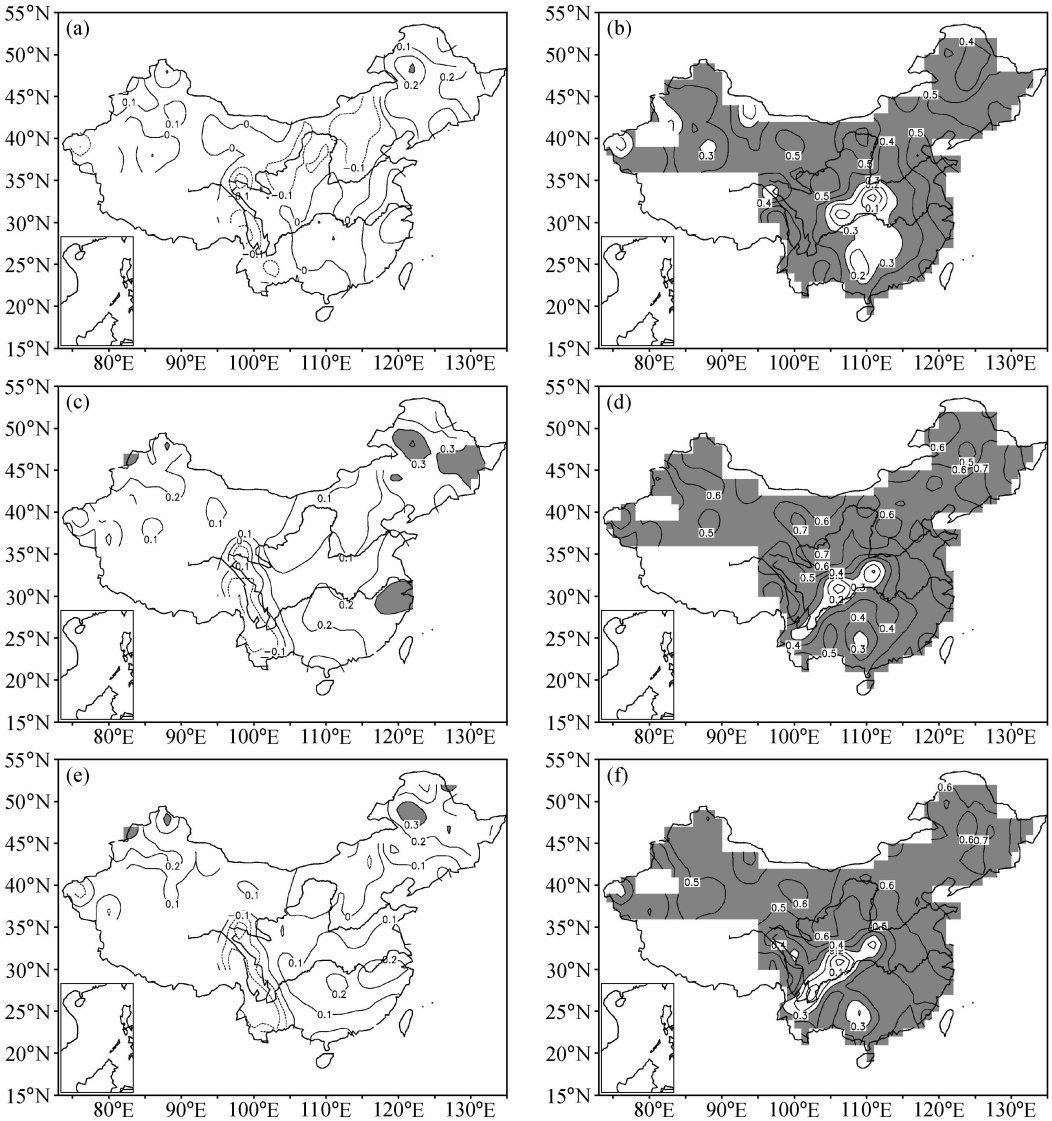

图 2 北极涛动指数与温度的年际（a、c、e）和年代际（b、d、f）偏相关系数：（a、b）排除西伯利亚高压的影响；（c、d）排除 ENSO 的影响；（e、f）排除 WP 的影响

Fig. 2 Partial correlation coefficients between the Arctic Oscillation index and temperature in China (a, c, e: interannual; b, d, f: interdecadal): (a, b) The influence of the Siberian high is excluded; (c, d) the influence of ENSO is excluded; (e, f) the influence of WP teleconnection is excluded

排除北极涛动的影响后显著相关区域明显减少，特别是我国东部地区。从前面的分析可知，西伯利亚高压在这一尺度上与冬季风相关系数较小，排除北极涛动后的偏相关系数仅为－0.04，表明在这个尺度上，北极涛动的影响至关重要。我们同时排除北极涛动和 ENSO 的影响，计算了西伯利亚高压与温度的二阶偏相关系数（图 5）。在这种情况下，偏相关系数较大区域呈现离散式分布，几乎没有大片连续的大值区，说明西伯利亚高压在年代际尺度上并不能像在年际尺度上那样大范围影响温度。

3.3 不同站点各因子重要性

由于不同因子对冬季各站温度的贡献不同，因此，我们利用多元回归方法将各因子对温度的贡献从大到小排序，目的在于分析这些因子在不同站点的重要程度。图 6 为年际时间尺度上各因子对温度的影响，从图中可见，西伯利亚高压对于全国大部分站点的贡献都是第一位的，对福建沿海及长江上游地区的部分站点，西伯利亚高压的贡献是第二位的（图 6a）。图 6b 说明从我国东北南部经山东半岛到南方沿海及长江上游一带站点大陆边缘区，WP

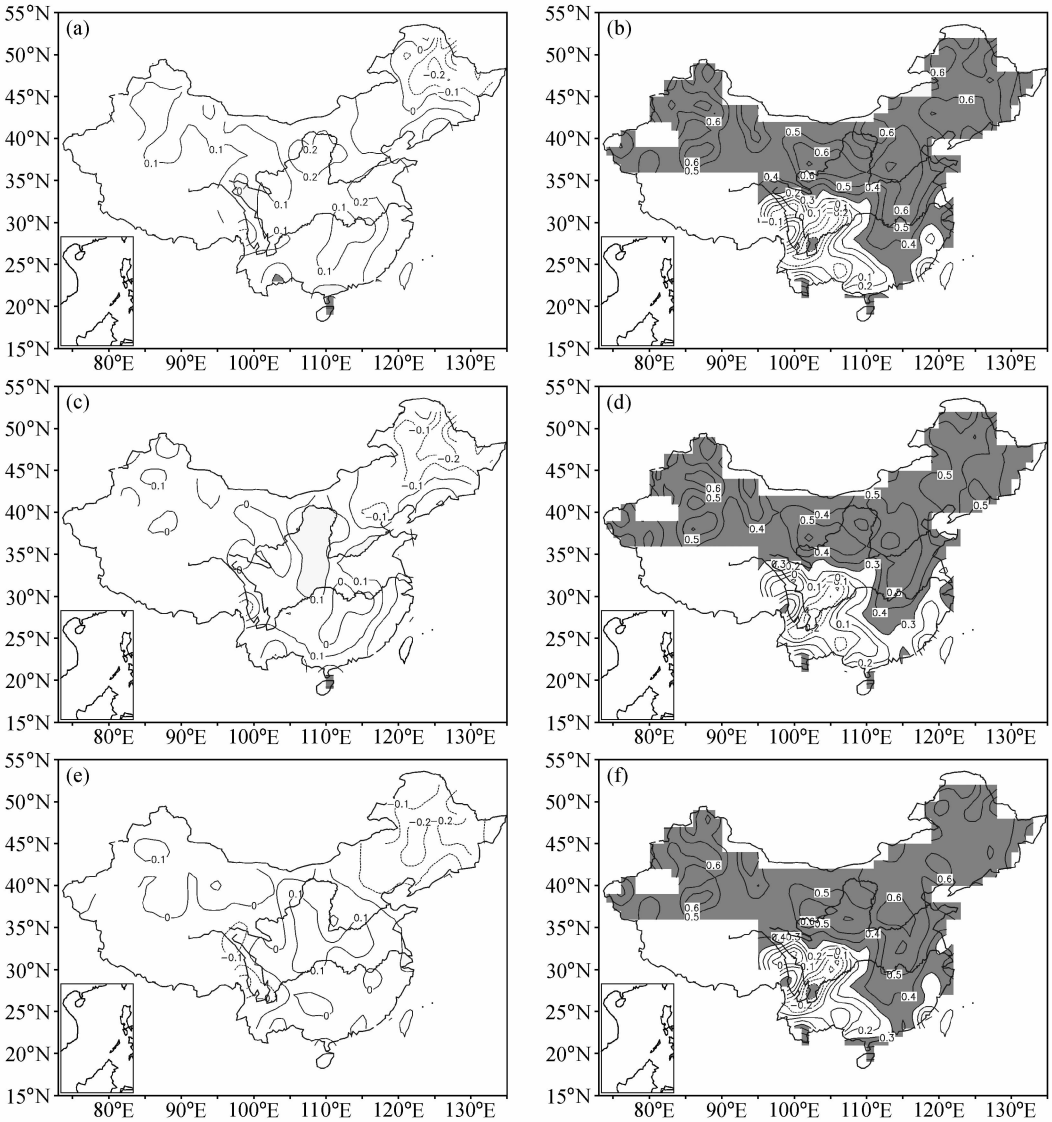

图 3　ENSO 指数与温度的年际（a、c、e）和年代际（b、d、f）偏相关系数：（a、b）排除北极涛动的影响；（c、d）排除西伯利亚高压的影响；（e、f）排除 WP 的影响

Fig. 3　Partial correlation coefficients between the ENSO index and temperature in China (a, c, e: interannual; b, d, f: interdecadal): (a, b) The influence of the Arctic Oscillation is excluded; (c, d) the influence of the Siberian high is excluded; (e, f) the influence of WP teleconnection is excluded

的贡献很重要，需要指出的是，新疆地区个别站点也达到了显著性水平，但该地区距离 WP 异常中心较远，且偏相关图上并未显示出西北地区的温度与 WP 有关，这说明西北地区可能主要还是受到西伯利亚高压的影响。北极涛动和 ENSO 对全国大部分站点的贡献都不显著（图 6c、d），这也进一步验证了我们前面的结论。因此，我国冬季温度在年际尺度上主要与西伯利亚高压及 WP 有关，与北极涛动和 ENSO 的关系不大。

在年代际尺度上，西伯利亚高压和 WP 的贡献并不占重要地位（图 7a、b）。相反，北极涛动和 ENSO 的影响则重要得多。北极涛动对全国大部分站点的贡献最大，对西北和长江黄河中游流域站点的贡献排在第二位（图 7c）。而 ENSO 对温度的贡献在长江黄河中游及西北地区最大，其他东部地区的贡献仅次于西伯利亚高压（图 7d）。因此，在年代际时间尺度上，北极涛动和 ENSO 对我国大部分站点温度有重要影响。

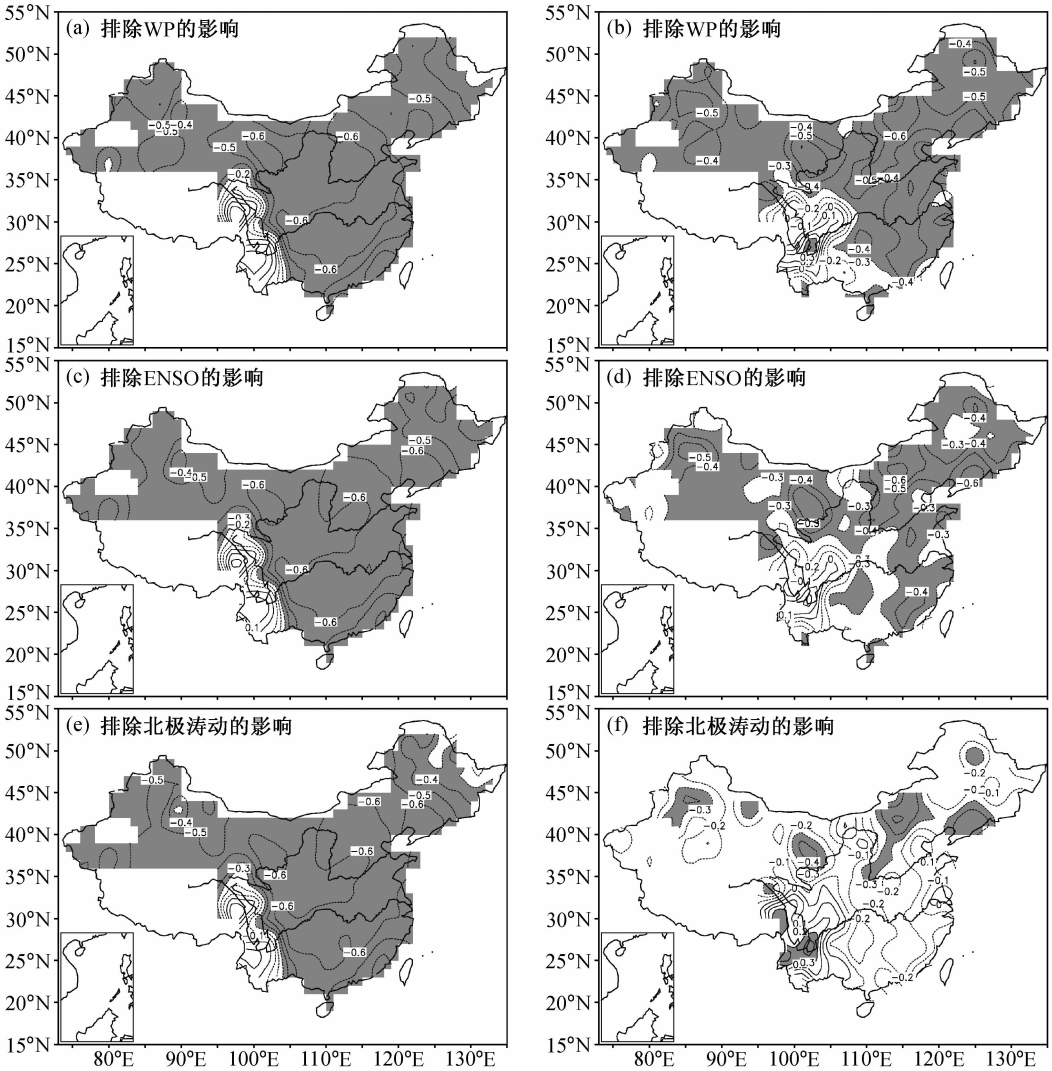

图 4 西伯利亚高压指数与温度的年际（a、c、e）和年代际（b、d、f）偏相关系数

Fig. 4 Partial correlation coefficients between SH index and temperature in China (a, c, e: interannual; b, d, f: interdecadal)

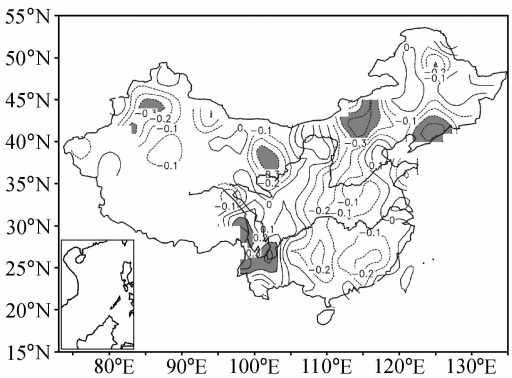

图 5 年代际尺度排除北极涛动和 ENSO 后西伯利亚高压与温度的二阶偏相关系数

Fig. 5 Second-order interdecadal partial correlation coefficient between SH index and temperature when AO and ENSO are excluded

4 结论

本文采用计算偏相关系数的方法，研究了若干典型环流和海温因子对我国冬季温度的影响，通过对比分析，表明这些因子在年际和年代际时间尺度上对我国冬季气温的影响不同。具体结论如下：

（1）WP 和西伯利亚高压在年际尺度上有独立性，它们都与东亚冬季风有显著相关性，并且这种相关不受其他几个因子的影响。从它们对我国冬季温度影响的空间分布来看，WP 的影响主要存在于我国东部从东北南部至广东沿海一带大陆边缘区，而西伯利亚高压的影响范围则大得多，几乎涵盖了除黄河长江上游部分地区外的整个中国。

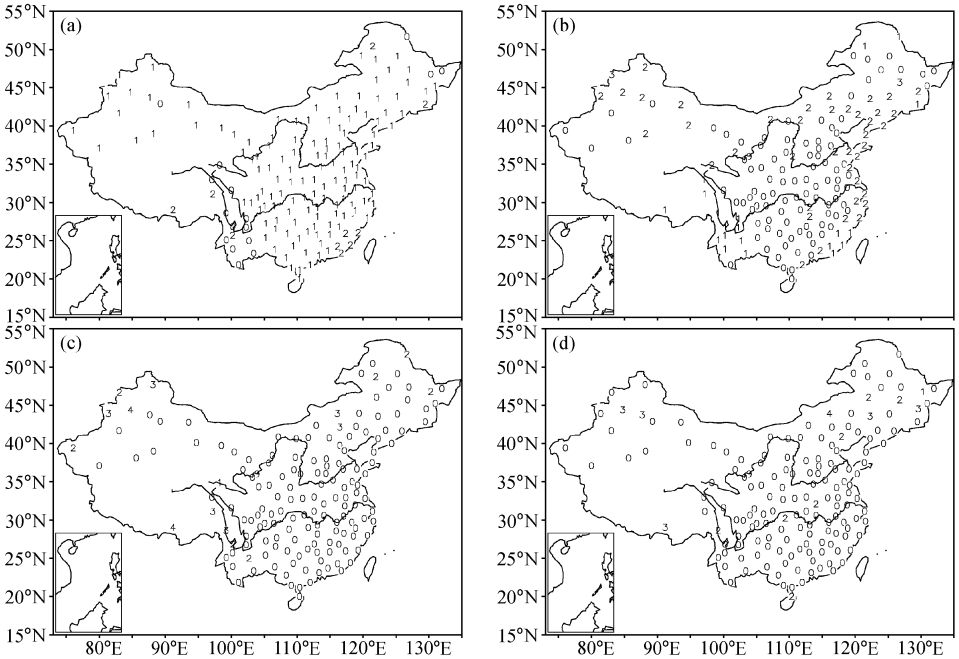

图 6　年际尺度各因子对温度贡献的大小：(a) 西伯利亚高压；(b) WP；(c) 北极涛动；(d) ENSO。数字 1、2、3 和 4 表示贡献从大到小，数字 0 表示未通过检验

Fig. 6　Contribution of factors to temperature on the interannual timescale：(a) The Siberian high；(b) WP teleconnection；(c) the Arctic Oscillation；(d) ENSO. The contribution magnitudes from large to small are indicated by 1，2，3 and 4 respectively，and number 0 denotes not passing the significance test

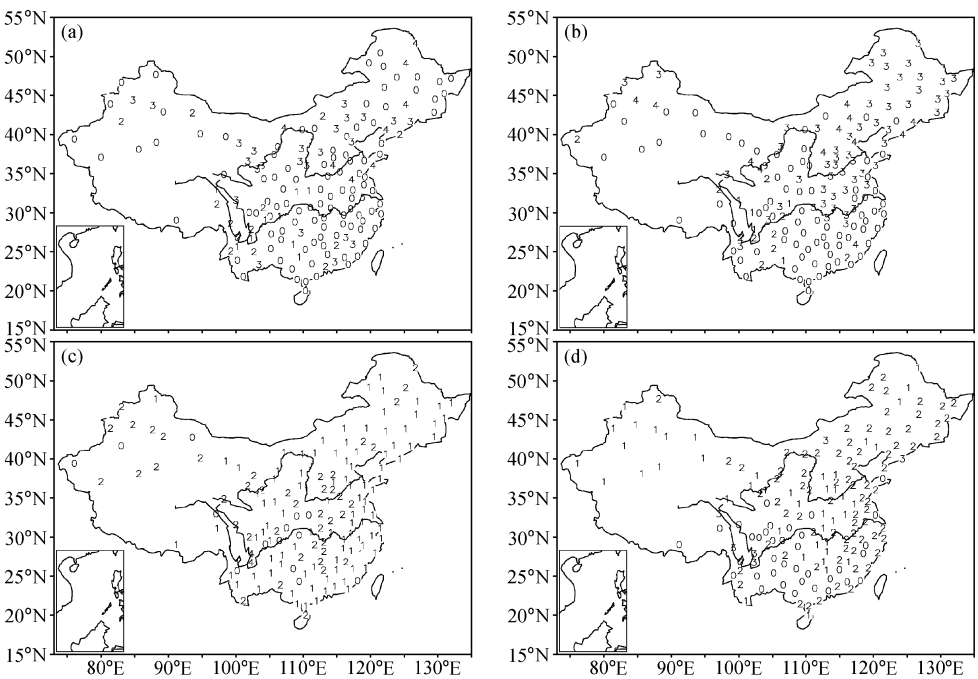

图 7　同图 6，但为年代际尺度

Fig. 7　As in Fig. 6，but for the interdecadal timescale

(2) 北极涛动与 ENSO 在年代际尺度上也有独立性，它们都与东亚冬季风的年代际变化有关联，且这种联系不受其他几个因子的影响。从空间分布来看，北极涛动比 ENSO 的影响范围大，除长江上游沿江地区外的其他地区均有关联，而 ENSO 与温度的关联区则位于 35°N 以北的整个北方及长江中

下游地区。

从本文的研究结果看，影响我国冬季温度年际变化的主要因子（WP和西伯利亚高压）都是大气环流因子，而这些因子受海温强迫的信号比较弱，这就说明对我国冬季温度的季度预测将是相当困难的。此外，尽管东亚冬季风的年代际变化与ENSO有关，但它更明显地受北极涛动的影响，而目前尚未发现北极涛动受海温强迫的明显证据。因而，无论是在年际还是年代际时间尺度上，东亚冬季风季度预测水平的提高都将是一个艰巨的任务。

致谢 两位审稿人对本文提出了宝贵的修改意见，李颖、林中达对本文的初稿提出了很好的修改建议，在此表示感谢。

参考文献（References）

[1] 李勇，何金海，姜爱军，等. 冬季西太平洋遥相关型的环流结构特征及其与我国冬季气候的关系. 气象科学，2007（录用待刊）
Li Yong, He Jinhai, Jiang Aijun, et al. Circulation structure features of western Pacific teleconnection pattern in winter and their relation with China's climate in winter. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2007 (accepted)

[2] 朱乾根，施能，吴朝珲，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
Zhu Qian'gen, Shi Neng, Wu Zhaohui, et al. The long-term change of atmospheric active centers in northern winter and its correlation with China climate in the last 100 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1997, **55** (6): 750～758

[3] 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**：125～133
Gong Daoyi, Wang Shaowu. Long-term variability of the Siberian high and the possible connection to global warming. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1999, **54**: 125～133

[4] 琚建华，任菊章，吕俊梅. 北极涛动年代际变化对东亚北部冬季气温增暖的影响. 高原气象，2004，**23**（4）：429～434
Ju Jianhua, Ren Juzhang, Lü Junmei. Effect of interdecadal variation of Arctic Oscillation on winter temperature increasing in north of East Asian. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2004, **23** (4): 429～434

[5] 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**（1）：8～14
Gong Daoyi, Zhu Jinhong, Wang Shaowu. The influence of Siberian high on large-scale climate over continental Asia. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (1): 8～14

[6] 龚道溢，王绍武. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响. 地理学报，2003，**58**（4）：559～568
Gong Daoyi, Wang Shaowu. Influence of Arctic Oscillation on winter climate over China. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2003, **58** (4): 559～568

[7] 普业，裴顺强，李崇银，等. 异常东亚冬季风对赤道西太平洋纬向风异常的影响. 大气科学，2006，**30**（1）：69～79
Pu Ye, Pei Shunqiang, Li Chongyin, et al. Influence of anomalous East Asian winter monsoon on zonal wind anomalies over the equatorial western Pacific. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (1): 69～79

[8] 李崇银，穆明权. 异常东亚冬季风激发ENSO的数值模拟研究. 大气科学，1998，**22**（4）：481～490
Li Chongyin, Mu Mingquan. Numerical simulations of anomalous winter monsoon in East Asia exciting ENSO. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1998, **22** (4): 481～490

[9] Chen Wen, Graf Hans-F, Huang Ronghui. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**: 48～60

[10] 穆明权. 东亚冬季风异常与ENSO循环关系的进一步研究. 气候与环境研究，2001，**6**（3）：273～285
Mu Mingquan. A further research on cyclic relationship between anomalous East Asian winter monsoon and ENSO. *Climatic Environ. Res.* (in Chinese), 2001, **6** (3): 273～285

[11] 穆明权，李崇银. 东亚冬季风年际变化的ENSO信息. Ⅰ观测资料分析. 大气科学，1999，**23**（3）：276～285
Mu Mingquan, Li Chongyin. ENSO signal in the interannual variability of East Asian winter monsoon. Part Ⅰ: Observed data analyses. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (3): 276～285

[12] Jhun J G, Lee E J. A new East Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon. *J. Climate*, 2004, **17** (4): 711～726

[13] 陈佩燕，倪允琪，殷永红. 近50年来全球海温异常对我国东部地区冬季温度异常影响的诊断研究. 热带气象学报，2001，**17**（4）：371～380
Chen Peiyan, Ni Yunqi, Yin Yonghong. Diagnostic study on the the impact of global sea surface temperature anomalies on the winter temperature anomalies in eastern China in the last 50 years. *J. Trop. Meteor.* (in Chinese), 2001, **17**: 371～380

[14] Shi Neng, Zhu Qian'gen. An abrupt change in the intensity of East Asia summer monsoon index and its relationship with temperature and precipitation over East China. *Int. J. Climate*, 1996, **17** (7): 757～764

[15] Wu Bingyi, Wang Jia. Possible impacts of winter Arctic Oscillation on Siberian high, the East Asian winter monsoon and sea-ice extent. *Adv. Atmos. Sci.*, 2002, **19** (2): 297～320

[16] Wallace J M. North Atlantic Oscillation/annular mode: Two paradigms-one phenomenon. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2000, **126** (564): 791～805

[17] Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109** (4): 784～812