

东亚冬季风对 ENSO 事件的响应特征

何溪澄^{1, 2} 丁一汇³ 何金海⁴

1 广州市气象局, 广州 510080

2 中国气象局广州热带海洋气象研究所, 广州 510080

3 国家气候中心, 北京 100081

4 南京信息工程大学, 南京 210044

摘 要 基于美国 NOAA 在 ENSO 诊断分析中使用的海洋 Niño 指数 (Oceanic Niño Index, 简称 ONI), 将 1950 ~ 2005 年冬季分成强 El Niño、强 La Niña、弱 El Niño、弱 La Niña 和没有发生 ENSO 事件 5 类, 用分类合成方法研究了冬季东亚大气环流对 ENSO 事件的响应。结果表明, 在低纬度, 大气环流对 ENSO 事件的响应具有较明显的准线性特征, 即大气对海洋暖事件与冷事件的响应大致是反位相的, 对弱 ENSO 事件的响应与强 ENSO 事件相似但强度较弱。中高纬度大气环流与 ENSO 事件也有一定的联系, 但同等强度暖事件与冷事件下大气环流距场上的系统分布没有呈现明显的反位相, 表明大气对海温异常的响应是复杂的。强 El Niño 事件时大气的响应信号显著, 主要表现在东亚中高纬西风气流增强, 亚洲北部地区气温偏高, 距平风场上的切变线从长江中下游向东伸展, 菲律宾海距平反气旋西北侧的偏南气流和南支槽前西南气流加强, 其共同作用使南海和中国东南沿海出现显著的偏南风距平; 强 La Niña 事件时, 长江中下游向东伸展的脊线不明显, 中国南方至南海处于偏北风距平区, 但通过统计检验的范围减小; 弱 El Niño 事件时, 菲律宾海距平反气旋西北侧的西南气流偏东, 与南支槽前西南气流分开, 使得华南和南海的偏南风距平没有强 El Niño 时显著; 弱 La Niña 事件时, 西风带纬向气流减弱, 亚洲北部地区气温偏低。对 ONI 指数与亚洲北部温度指数 (NTI) 的散点图的分析显示, 9 个强 El Niño 冬季中有 8 年亚洲北部温度距平偏高, 7 个弱 El Niño 冬季中只有 1 年温度偏高; 8 个强 La Niña 冬季有 4 年温度偏低, 12 个弱 La Niña 冬季中有 11 年温度偏低; 亚洲强暖冬和强冷冬的发生与 ENSO 事件的联系不紧密。

关键词 冬季风 ENSO 事件 统计分析

文章编号 1006-9895 (2008) 02-0335-10

中图分类号 P461

文献标识码 A

Response Characteristics of the East Asian Winter Monsoon to ENSO Events

HE Xi-Cheng^{1, 2}, DING Yi-Hui³, and HE Jin-Hai⁴

1 Guangzhou Municipal Meteorological Bureau, Guangzhou 510080

2 Institute of Tropical and Marine Meteorology, China Meteorological Administration, Guangzhou 510080

3 National Climate Center, Beijing 100081

4 Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract The ENSO phenomenon, which is known to be the most prominent signal in air-sea interactions, plays an important role in the interannual variability of East Asian winter monsoon. In this paper, the responses of East Asian winter monsoon to ENSO events are analyzed using the composite method based on the Oceanic Niño Index (ONI) and NCEP/NCAR reanalysis data with classification of the winters from 1950-2005 into 5 categories of strong El Niño, strong La Niña, weak El Niño, weak La Niña and non-ENSO event. The results show that response of the East Asian circulation in low latitudes to ENSO events has quasi-linear characteristics, i. e. response of

the tropical atmosphere to the warm events is reverse to that of cold events, and that to weak ENSO events is similar to strong ENSO events except for weakened intensity. However, distribution of circulation anomalies in middle and high latitudes does not show obvious phase reversal for warm and cold ENSO events, indicating that response of the atmosphere to SST anomaly is complex. The signals of significant response of the extratropical atmosphere to strong El Niño events are represented mainly by enhancement of the westerly flow in middle and high latitudes in East Asia, positive anomalous temperature in northern Asia, eastward extension of anomalous wind shear in the middle and lower reaches of the Yangtze River. The anomalous Philippine Sea anticyclone, working together with intensified trough in south branch of westerlies, is favorable for the southerly flow in the South China Sea and along the south-east coast of China. But, during the strong La Niña events, the ridge in the middle and lower reaches of the Yangtze River is not evident, and the southern part of China and the South China Sea are covered by northerly anomaly, with shrunk area that passes significance test. Under weak El Niño events, the southwesterly flow in the northwest of the anticyclonic anomaly in the Philippine Sea is shifted eastward, and separated with southwesterly flow ahead of the trough in south branch of westerlies, resulting in the southerly anomaly in South China and the South China Sea less notable than that under strong El Niño events. It is very interesting to see anomalous systems in weak La Niña cases to be similar to those with strong El Niño but with inverse phase.

As shown by scattered plots of ONI index and NTI index that represents warmth status in northern Asia, the NTI is positive in 8 out of 9 winters with strong El Niño and 1 out of 7 winters with weak El Niño, and negative in 4 out of 8 winters with strong La Niña and 11 out of 12 winters with weak La Niña, and there is no clear evidence that occurrences of extreme warm and cold winters in Asia are closely linked with ENSO events.

Key words winter monsoon, ENSO events, statistical analysis

1 引言

ENSO 事件作为海洋与大气相互作用中信号最强的现象,对全球大气环流的年际变化和区域季尺度气候特征有明显影响。有研究认为,大气对 ENSO 事件的响应具有明显的线性特征,表现为大气对 El Niño 事件的响应与对 La Niña 事件的响应是反位相的,可用两者的差场来清楚地表征这种响应的主要特征。对这种观点的支持主要来自热带地区的分析,例如,Bradley 等^[1]显示热带地区陆地上的温度和降水在南方涛动的正负位相有相反的反应;Ropelewski 和 Halpert^[2]的分析也得出类似的结果。然而,Hoerling 等^[3]对大气对 ENSO 响应的线性特征提出了质疑,指出由于赤道东、西太平洋的平均海温是不对称的,西太平洋暖池海温稍有上升就会激发较大的对流降水距平和潜热距平,而同样大小的海温正距平在东太平洋冷舌区引起的对流降水较小,因此,全球大气对热带 SST 的响应是内在非线性的。Hoerling 等^[3]对观测资料的分析也证明了在合成的 ENSO 暖事件下的中、东太平洋大气环流距平场与冷事件下的距平场不是反位相的,而是有 35°经度左右的位相漂移。Hannachi^[4]使用英国哈得来中心的大气环流模式和观测的海温资料

模拟了 1948~1993 年的大气环流场,对北太平洋和北美地区冬季 500 hPa 高度场的 EOF 分析发现,La Niña 事件激发的是负太平洋北美型(PNA)遥相关,而 El Niño 事件下大气有两种响应模态,一个是经向伸展的类 PNA 结构并带有北太平洋涛动(NPO)信号,另一个类似于热带北半球型遥相关结构^[5],两者都不是 La Niña 型响应的反位相。

上述研究主要是针对北太平洋和北美地区的。近十年来,科学家们在揭示东亚冬季风条件下海气相互作用的观测事实及机理方面做了不少工作^[6~9],从不同侧面证明了 ENSO 事件是影响东亚冬季风活动的一个重要因子,但这些工作一般都将重点放在对强 El Niño 事件的研究上,对强、弱 ENSO 事件影响的差异缺少分析,对 ENSO 暖事件与冷事件下东亚大气环流距平场上系统的位相和强度差异的研究也不多,有些结论还不一致。例如,穆明权等^[10]利用 40 年的全球月平均资料,讨论了东亚冬季风的年际变化特征,指出 El Niño 冬半年东亚 500 hPa 位势高度为正距平,海平面气压为负距平,东亚冬季风偏弱,La Niña 冬半年东亚环流形势则相反。陈文^[11]通过合成的 El Niño 和 La Niña 年资料的分析,指出 ENSO 事件可以分成四个阶段,在 El Niño 盛期的冬季东亚地区出现异常

的南风, 在衰亡期的夏季华北、东北和江南地区多雨, La Niña 对东亚冬、夏季风的影响与 El Niño 大致相反, 其影响不如 El Niño 显著。张人禾等^[12]在对 1963~1993 年间 8 个 El Niño 事件和 6 个 La Niña 事件的统计分析中发现, 在 El Niño 事件的成熟期, 东亚沿岸的低层有着明显的偏南风距平, 其信度达到 95%, 但在 La Niña 事件的成熟期, 相反的关系没有通过统计检验。

在 ENSO 暖、冷事件影响的差异方面产生上述不同看法的主要原因, 除了分析的物理量场和研究方法有所差异外, 还在于不同作者对 ENSO 暖、冷年定义的标准不一致, 采用的资料长短不相同, 导致统计分析的样本不一样。因此, 本文拟采用目前国际上比较普遍认同的 ENSO 指数和尽可能多的 ENSO 事件样本数, 对 ENSO 暖、冷事件下冬季东亚大气环流系统的特征作一个对比研究, 同时也将历史上的 El Niño (La Niña) 事件分成强、弱两类, 分析在强、弱 ENSO 事件下东亚冬季风环流特征的差异。

2 资料与 ENSO 事件的分类

本文分析研究使用的大气资料是月平均的 NCEP/NCAR 再分析资料^[13], 其水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 距平指相对于 1950~2005 年的长期平均值。文中冬季是指前一年 12 月至当年 2 月。

ENSO 指数采用的是美国 NOAA 气候预测中心在业务上使用的海洋 Niño 指数 (Oceanic Niño Index, 简称 ONI), 它是基于 Niño 3.4 区 ERSST.v2 海温资料^[14]的三个月滑动平均值与其 1971~2000 年长期平均值的距平。ONI 资料详见文献^[15], 而 ERSST.v2 资料可从网址^[16]上下载。

本文中定义冬季前后连续 5 个 $\text{ONI} \geq 0.5$ (≤ -0.5) 的年份为 El Niño (La Niña) 年, 由于 ENSO 事件的成熟期强烈地趋向于在冬季, 选择 El Niño (La Niña) 年中冬季 $\text{ONI} > 1.0$ (< -1.0) 为强 El Niño (La Niña) 年。

根据上述标准, 我们将 1950~2005 年共 56 个冬季分成 5 类。对应强 El Niño 的冬季有 9 年, 分别是 1958、1966、1973、1983、1987、1992、1995、1998 和 2003 年; 强 La Niña 的冬季有 8 年, 分别是 1950、1956、1971、1974、1976、1989、1999 和 2000 年; 弱 El Niño 冬季有 7 年, 分别是 1964、1969、1970、

1977、1978、1988 和 2005 年; 弱 La Niña 冬季有 12 年, 分别是 1951、1955、1957、1962、1965、1968、1972、1975、1984、1985、1996 和 2001 年; 其余的 20 年冬季没有 ENSO 事件发生。

需要说明的是, 本文所述的大气环流对 ENSO 事件的“响应”及其“线性”是沿用文献^[3]中的提法, 是天气学和统计学意义上的表述。本文中的“线性”既表示在同等强度 El Niño 和 La Niña 事件下大气环流距平合成场上系统的位相是大致相反的, 又意味着强 ENSO 事件发生时距平合成场上系统的振幅大于弱 ENSO 事件时。

3 不同类型 ENSO 事件下位势高度场的特征

为了显示不同类型 ENSO 事件下东亚冬季风的特征, 我们首先分类给出了 500 hPa 位势高度场的合成图 (图 1), 合成图中右上方的 SE、SL、WE 和 WL 分别代表强 El Niño、强 La Niña、弱 El Niño 和弱 La Niña 情形, 显著性检验采用文献^[17]中给出的 t 检验方法。从反映强 El Niño 冬季的图 1a 中可见, 东北半球低纬度地区是一致的正距平区, 距平大值区在菲律宾海和南海南部, 表明副热带高压带显著增强, 西北太平洋副高中心位置偏西, 加强了南海北部和中国华南地区的西偏南气流。在中纬度, 从中国西北向东伸至日本岛是另一片正距平区, 大于 20 gpm 的中心在日本海附近, 表明此时东亚大槽明显减弱。而在中、低纬度两片正距平大值区之间, 25°N 附近是一个呈纬向伸展的低槽区, 这种环流场配置十分有利于中国南方地区的降水。与中低纬度的正距平区相反, 55°N 以北的高纬度地区几乎都是负距平, 其中心在 70°N 附近, 中高纬度位势高度距平场的这种经向梯度, 加大了东亚地区与极锋相伴随的西风风速, 减弱了经向风速, 不利于冷空气向南推进。

与强 El Niño 年相比, 强 La Niña 年在低纬度的距平符号明显相反 (图 1b), 是整片的负值区, 但高纬度没有呈现出完全相反的距平分布, 只有正值中心附近的区域通过了 t 检验。中纬度的差异更大, 图 1b 中东亚中纬度地区脊线很弱, 距平等值线也较稀疏, 缺少通过统计检验的明显信号区, 表明东亚冬季风在不同的强 La Niña 年的差异较大。

弱 El Niño 年合成图上 (图 1c), 低纬度是弱的

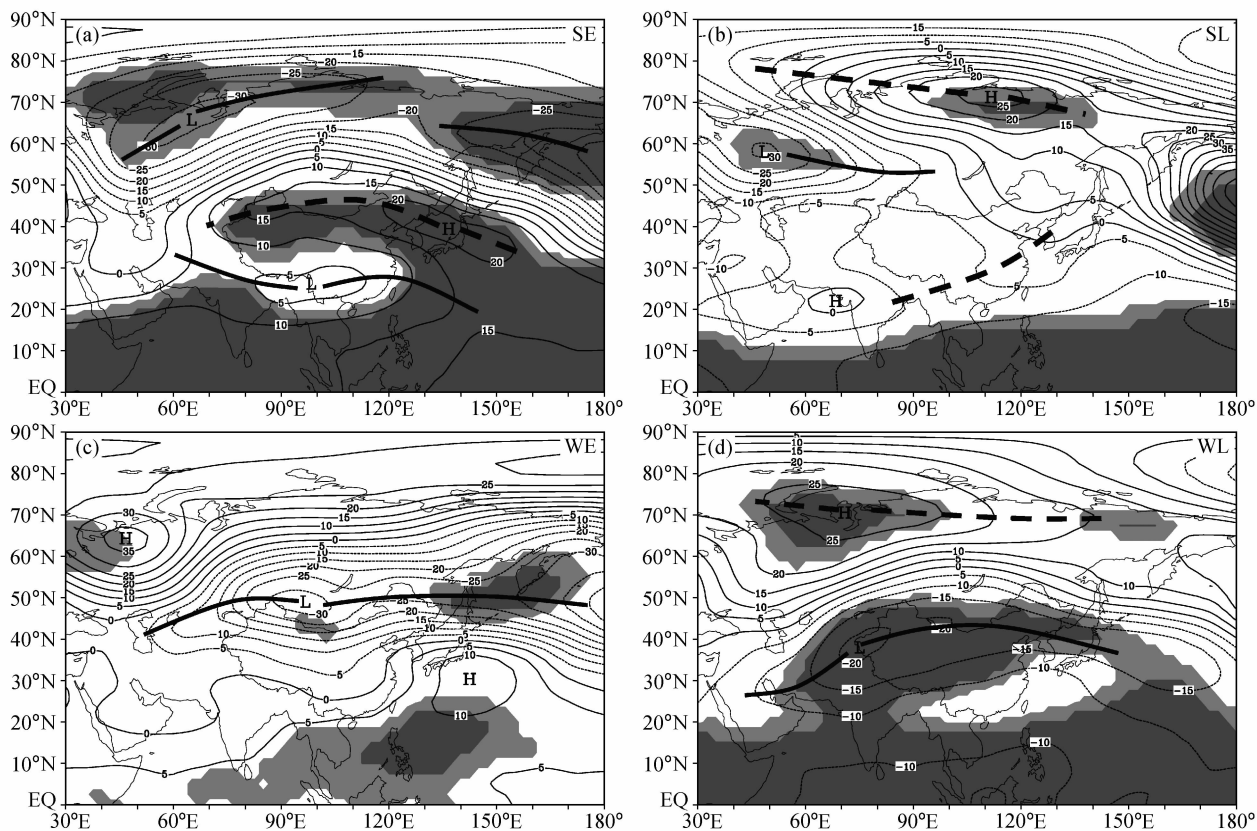


图1 冬季 500 hPa 位势高度距平成图 (单位: gpm): (a) 强 El Niño (SE); (b) 强 La Niña (SL); (c) 弱 El Niño (WE); (d) 弱 La Niña (WL)。深、浅阴影区为通过 95%、90% 信度检验的地区

Fig. 1 The composite of seasonal mean 500-hPa geopotential height anomalies (gpm) in winter: (a) Strong El Niño (SE); (b) strong La Niña (SL); (c) weak El Niño (WE); (d) weak La Niña (WL). The dark (light) shaded areas denote the anomalies are significant at the 95% (90%) confidence level

正距平区, 中纬度是一个负距平带, 与图 1a 的情形差别较大。东亚地区通过统计检验的只有两个区域, 即位于菲律宾海至南海的正距平区和位于鄂霍次克海的负距平区, 这表明, 虽然菲律宾海距平高压在弱 El Niño 事件中也有反映, 但东亚中高纬度环流对弱 El Niño 年的响应不显著。

值得注意的是, 东亚冬季风对弱 La Niña 事件的响应信号比对弱 El Niño 事件的要强。在图 1d 中, 除了低纬度是一致的负距平外, 中国大部分地区均处在小于 -10 gpm 的负距平区, 且能通过 95% 信度的 t 检验。高纬度绝大部分地区是正距平, 距平中心在新地岛附近, 中高纬度北正南负的经向梯度使得西风带纬向气流减弱, 有利于该地区经向风加强。

从上面的分析可以初步看出, 东亚中高纬环流距平在强 (弱) La Niña 事件时并不呈现出与强 (弱) El Niño 时相反的特征。为了便于进一步了解

暖、冷 ENSO 事件的这种特征, 我们分析了强 El Niño 年距平+强 La Niña 年距平场 (简称 SE+SL)。根据统计检验理论, 如果 SE 场与 SL 场是完全相反的, 则 SE 场与负 SL 场没有统计显著性差异, 或者说, 在一定的显著性水平下, SE+SL 场的数值应小于相应的 t 检验阈值。

图 2a 显示的是 SE+SL 场, 图中深、浅阴影区分别表示大于 95% 和 90% 信度 t 检验阈值的区域。在 20°N 以南地区, 不仅 SE 和 SL 场能通过显著性检验, 而且 SE+SL 的数值达不到 t 检验阈值, 表明 SE 和 SL 场上环流系统的位相是大致相反的。但在 30°N 以北地区, SE+SL 的绝对值增大, 特别是西欧和中国东北两处, 虽然在 SE 场上距平值能通过显著性检验, 但由于在 SE 和 SL 场上的距平符号相同, 使得 SE+SL 场上这两处均超过了 t 检验阈值, 说明中高纬度环流对 ENSO 暖冷事件的响应要比低纬度复杂。

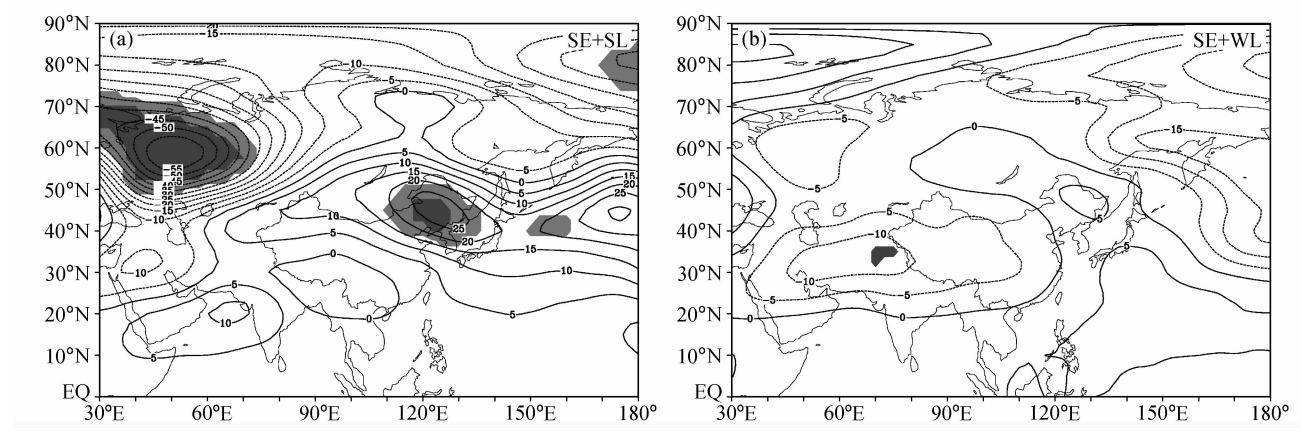


图2 冬季 500 hPa 位势高度距平场 (单位: gpm)。深、浅阴影区分别为大于 95%、90% 信度检验阈值的地区

Fig. 2 The composite of seasonal mean 500-hPa geopotential height anomalies (gpm) in winter. The dark (light) shaded areas denote the anomalies are significant at the 95% (90%) confidence level

作为比较,我们也分析了 SE + WL 场 (图 2b),可以看出,不仅 SE + WL 的数值在东亚较小,而且几乎图中整个区域都小于 t 检验阈值,这表示 SE 与 WL 场上的环流系统在统计上可能是反位相的。

4 不同类型 ENSO 事件下风场的特征

上一节通过合成分析方法揭示了四类 ENSO 事件下东亚 500 hPa 位势高度场的不同响应,本节拟通过对风场的分析,进一步了解东亚大气环流对 ENSO 事件的响应特征。

图 3a 是 1950~2005 年期间 9 个强 El Niño 年 850 hPa 距平风场的合成分析。在这些年份的冬季,海洋性大陆附近海温是负距平,导致该地区对流活动减弱,使得太平洋和印度洋两支 Walker 环流都相应减弱,表现为赤道附近 150°E 以东是西风距平,以西是东风距平。风场上最突出的环流系统是菲律宾海距平反气旋,其两侧的经向风均能通过统计检验,Wang 等^[7]指出它是罗斯贝波对西太平洋受抑制对流加热响应的结果,该反气旋及其向西和向东北方向伸展的脊线表明副热带高压增强。此外,从长江中下游向东伸展是一个距平风场上的切变线,南支槽位于 110°E 附近,南支槽前西南气流与菲律宾海距平反气旋西北侧偏南气流的共同作用,使南海至中国东南沿海出现显著的偏南风距平,信度达 95% 以上。强的偏南风将有助于长江以南地区的冬季降水增多^[18]。从图 3a 中还可以看出,在 45°N 以北是一致的西风距平,表明西风带

纬向风分量增强,东亚偏北季风减弱。

图 3b 显示的是强 La Niña 年的合成距平流场,由图可见 30°N 以南地区的环流形势与图 3a 基本相反。在 La Niña 年,海洋性大陆附近海温是正距平,导致该地区对流活动加强,使得太平洋和印度洋 Walker 环流增强,赤道附近 130°E 以东呈现东风距平,以西呈现西风距平。此外,菲律宾岛附近的距平气旋及其两侧的切变线取代了图 3a 中的菲律宾海距平反气旋和其两侧的脊线,表明强 La Niña 年副热带高压和南支西风气流减弱。然而,与图 3a 相比,图 3b 在 45°N 以北没有出现一致的东风距平,而是呈现一些短波扰动,长江中下游向东伸展的脊线也不明显,中国东南沿海和南海地区处于偏北风距平区,但通过统计检验的范围不大,这些现象都表明中高纬度大气对强 La Niña 年的响应与对强 El Niño 年的响应不是截然相反的,该结果与张人禾等^[12]对中国东南沿海经向风的统计分析结果是相符的。

与强 El Niño 年相比,弱 El Niño 年的合成图上 (图 3c),35°N 以南的环流形势相似,菲律宾海距平反气旋和长江中下游的的切变线位置基本不变,但强度减弱。菲律宾海距平反气旋西北侧自热带向北输送的暖湿气流带偏东,与 105°E 附近南支槽前的西南气流相分离,使华南和南海的偏南风距平没有强 El Niño 时显著。此外,亚洲大陆 45°N 以北地区没有出现西风距平,反而是以东风距平和短波扰动为主,表明西风带对弱 El Niño 事件的响应与强 El Niño 事件时有大的差异。

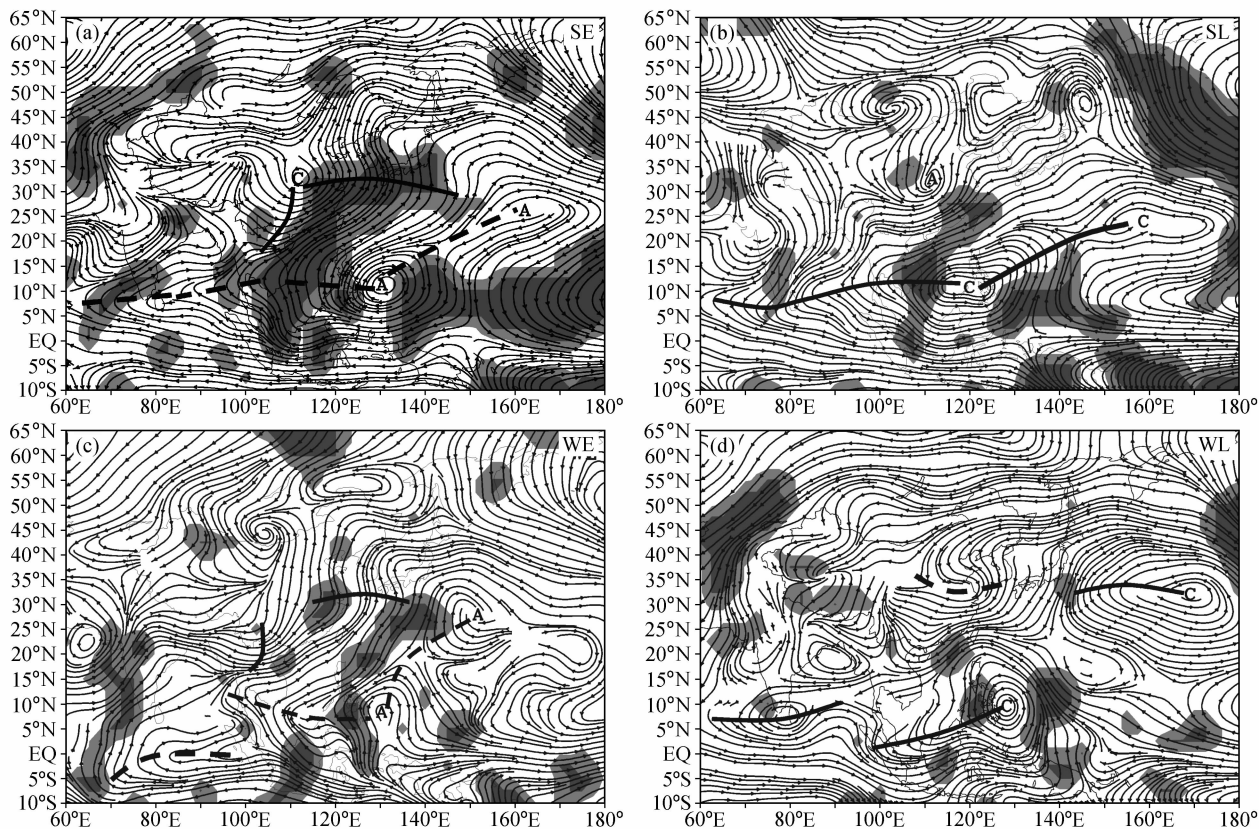


图3 同图1, 但为850 hPa距平风场。深、浅阴影区为经向风分量通过95%、90%信度 t 检验的地区

Fig. 3 Same as in Fig. 1, except for 850-hPa wind anomalies. The heavy (light) shaded areas denote the meridional wind components are significant at the 95% (90%) confidence level

在弱 La Niña 年 (图 3d), 低纬度东西向伸展的切变线断裂, 菲律宾岛附近的闭合环流系统虽然比强 La Niña 时减弱, 但要比弱 El Niño 时明显。从长江中下游伸向日本岛南部是一条脊线, 中国南方地区处在脊线南侧东北偏东气流中, 不利于热带暖湿气流向北输送。此外, 图 3d 中 40°N 以北是一致的东风距平, 表明西风带纬向风分量减弱, 有利于中高纬度经向气流发展。

东亚冬季风对 ENSO 事件响应的复杂特征在纬向平均 ($60^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$) 的纬向风距平场的纬度-高度剖面图上也反映得相当清楚。图 4a 是强 El Niño 年的合成图, 图中从热带到北半球高纬度, 纬向风呈现明显的正负相间的分布, 其中赤道附近中低层是东风距平, 高层是西风距平, 17°N 附近为显著的西风距平, 35°N 附近为东风距平, 60°N 附近又为显著的西风距平, 80°N 附近再次转为东风距平。这说明强 El Niño 事件不仅导致冬季低纬大气环流的异常, 也与具有相当正压垂直结构的东亚中

高纬环流异常有紧密的联系。图 4a 所示的距平分布, 不仅使南支西风带偏强, 也使与极锋相伴随的西风气流明显增强。根据陈海山等^[19]和龚道溢等^[20]的研究结果, 中高纬度 $40^{\circ}\text{N} \sim 60^{\circ}\text{N}$ 间的纬向风强时, 经向风相应减弱, 这使得东亚中纬度地区冬季气温偏高。在强 La Niña 年 (图 4b), 虽然 30°N 以南的低纬度呈现出与强 El Niño 年基本相反分布, 但中高纬度没有呈现出反位相的特征, 并且 $30^{\circ}\text{N} \sim 70^{\circ}\text{N}$ 间通过显著性检验的范围较小。

弱 El Niño 年的合成场 (图 4c) 与强 El Niño 年明显不同, 不仅热带地区的响应减弱, 中高纬度的距平分布形态也有较大改变并且通过统计检验的范围不大, 这说明东亚冬季风对弱 El Niño 事件的响应信号不稳定。

大气对弱 La Niña 事件的响应 (图 4d) 在低纬度有着与强 La Niña 相似但强度减弱的特征, 但在中高纬度却表现得与强 La Niña 时明显不同, 30°N 附近的西风距平和 55°N 附近的东风距平都有较明

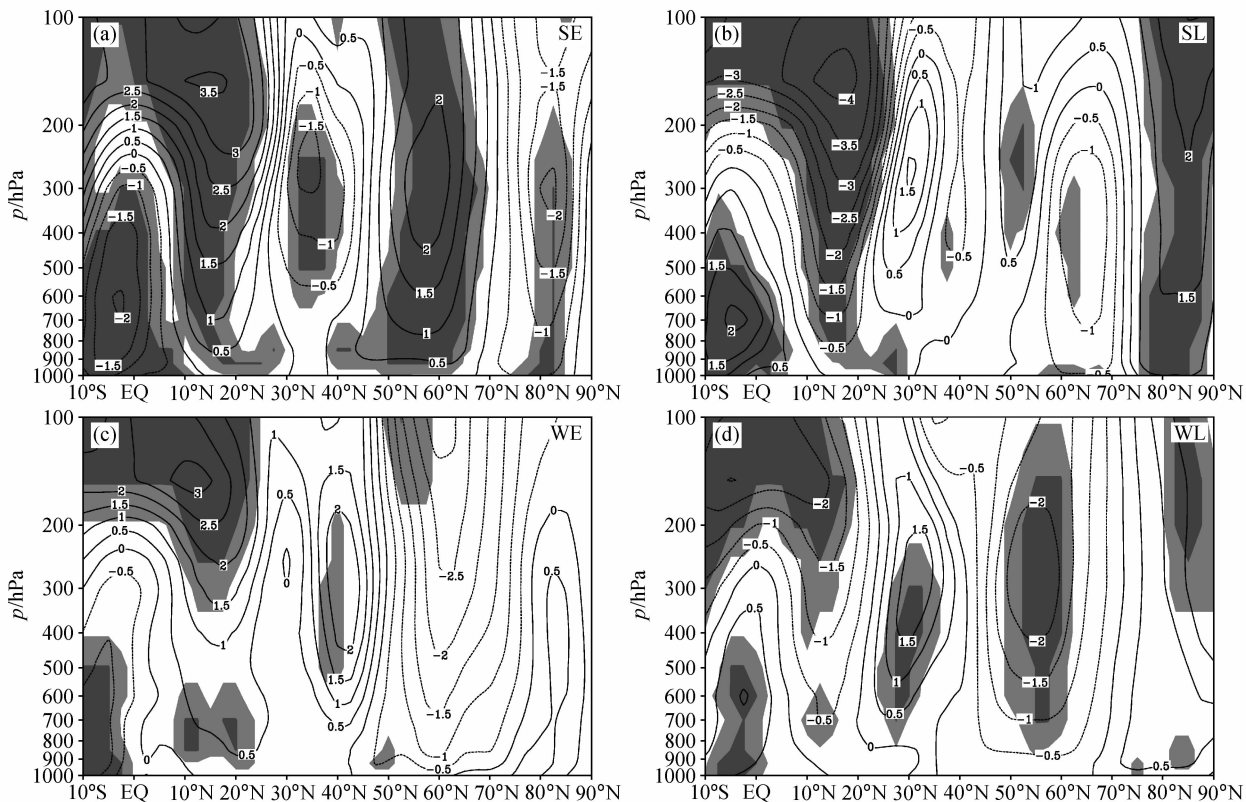


图 4 同图 1, 但为欧亚地区纬向平均 ($60^{\circ}\text{E}\sim120^{\circ}\text{E}$) 的纬向风距平场的纬度-高度剖面 (单位: m/s)
Fig. 4 Same as in Fig. 1, except for height-latitude cross sections of $60^{\circ}\text{E}\sim120^{\circ}\text{E}$ averaged zonal wind anomalies (m/s)

显的统计信度。这种纬向风场的分布使得中高纬度西风气流减弱, 东亚经向风相应增强。

5 不同类型 ENSO 事件下低层温度场的特征

温度距平是冬季气候预测的一个基本要素, 已有的一些统计研究^[21, 22]表明, 中国东部和北部温度在多数 El Niño 年为正距平, 在多数 La Niña 年为负距平, 但这些工作没有进一步研究温度距平与 ENSO 事件强度的关系。本节拟在前节的基础上, 利用温度场资料分析四类 ENSO 事件下东亚温度场的统计特征。

图 5a 是强 El Niño 年冬季 850 hPa 温度距平的合成图, 可见蒙古、中国北方和东亚沿海均为通过统计检验的正距平区, 大于 1°C 的正距平中心在贝加尔湖至中国东北一带, 表明亚洲北部冬季温度在强 El Niño 年偏高的概率很大。然而, 相反的情形并没有在强 La Niña 年出现 (图 5b), 弱 El Niño 年也没有呈现出与强 El Niño 年相似的特征 (图 5c), 但在弱 La Niña 年的合成图上 (图 5d), 亚洲北部

呈现出整片的负距平, 信度达 95% 以上, 小于 -1°C 的负距平区覆盖整个蒙古和中国北方。对比图 5a 与图 5d 还可见, 虽然两者在中高纬度都有较明显的温度距平信号, 但中国东南沿海、南海北部和北印度洋在强 El Niño 事件时有显著的正温度距平区。

为了验证亚洲北部温度距平与 ENSO 指数之间的关系, 我们采用类似于王会军^[23]的做法, 以 850 hPa 的区域 ($30^{\circ}\text{N}\sim60^{\circ}\text{N}$, $70^{\circ}\text{E}\sim140^{\circ}\text{E}$) 平均大气温度距平作为亚洲北部温暖状况的指标, 记为 NTI, 基准为 1950~2005 年共 56 年的平均。ENSO 指数采用的是 ONI 指数, 考虑到 El Niño (La Niña) 事件应满足连续 5 个 $\text{ONI}\geq0.5$ (≤-0.5), 我们将不满足该项要求的 1963、1980 和 1991 年冬季的 ONI 指数从 -0.6 、 0.5 、 0.5 分别调整为 -0.45 、 0.45 、 0.45 。图 6 为显示冬季 ONI 指数与 NTI 指数之间关系的散点图, 图中清楚地显示 9 个强 El Niño 冬季 ($\text{ONI}>1.0$) 中有 8 年亚洲北部温度距平偏高, 其中 6 年距平大于 0.5°C ; 8 个强 La Niña 冬季 ($\text{ONI}<-1.0$) 中有 4 年温度偏低, 4 年

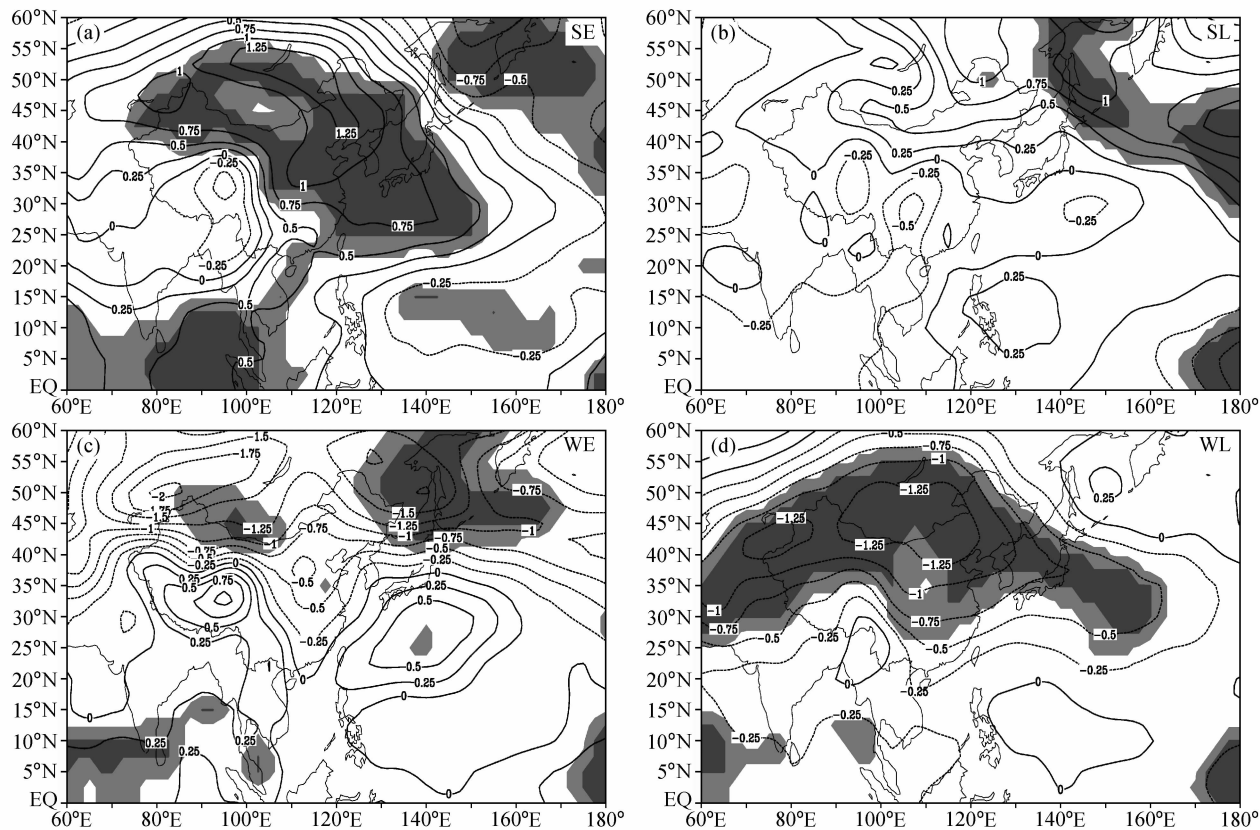


图5 同图1, 但为 850 hPa 温度场 (单位: $^{\circ}\text{C}$)
Fig. 5 Same as in Fig. 1, except for 850-hPa temperature ($^{\circ}\text{C}$)

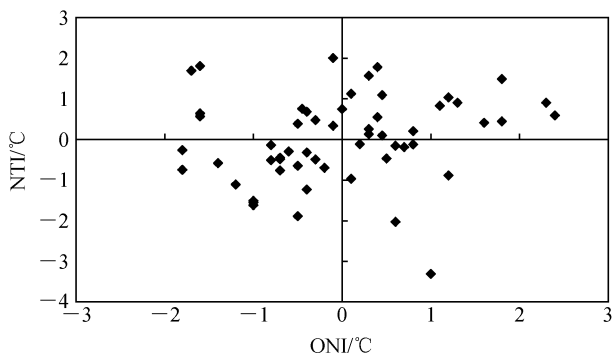


图6 1950~2005 年冬季亚洲北部温度指数 (NTI) 与 ENSO 指数 (ONI) 的散点图
Fig. 6 Scatter diagram of the relationship between the Oceanic Niño Index (ONI) and the North-Asia Temperature Index (NTI) in winter during 1950–2005. The NTI is temperature anomalies for the domain (30°N – 60°N , 70°E – 140°E)

温度偏高; 7 个弱 El Niño 冬季 ($0.5 \leq \text{ONI} \leq 1.0$) 中只有 1 年温度偏高, 另外 6 年中有 4 年距平绝对值小于 0.5°C ; 12 个弱 La Niña 冬季 ($-1.0 \leq \text{ONI} \leq -0.5$) 中有 11 年温度偏低, 其中 7 年距平

绝对值超过 0.5°C 。从图 6 中还可以看出, 强暖冬 ($\text{ONI} \geq 1.5$) 和强冷冬 ($\text{ONI} \leq -1.5$) 与 ENSO 事件的联系并不紧密, 发生在过去 56 年中最强的 5 个暖冬 2002、1999、2004、1989 和 1993 年都不对应着 El Niño 年, 1989 年和 1999 年甚至是强 La Niña 年, 而最强的 6 个冷冬 1969、1977、1957、1951、1985 和 1955 年中排在前十位的也不对应着 La Niña 年, 这表明对于强暖冬和强冷冬尚有其他因子在起重要作用。

6 结论

本文用分类合成分析方法研究了东亚冬季风对不同 ENSO 事件响应的特征, 有如下结论:

(1) 低纬度大气环流对 ENSO 事件的响应具有较明显的准线性特征。在强 El Niño (La Niña) 冬季, 低纬是一致的正 (负) 位势高度距平区, 副热带高压增强 (减弱), 风场上最突出的系统是菲律宾海距平反气旋 (气旋), 对弱 ENSO 事件的响应与对强 ENSO 事件的响应相似, 但强度较弱。

(2) 中高纬度大气环流对 ENSO 事件的响应是复杂的。强 El Niño 事件时大气的响应信号显著, 正位势高度距平区从中国西北向东伸至日本岛, 负距平区则覆盖 55°N 以北的高纬度地区, 45°N 以北是一致的西风距平, 距平风场上的切变线从长江中下游向东伸展, 菲律宾海距平反气旋西北侧的偏南气流和南支槽前西南气流加强, 其共同作用使南海至中国东南沿海出现显著的偏南风距平; 强 La Niña 事件时, 45°N 以北没有出现一致的东风距平, 长江中下游向东伸展的脊线也不明显, 中国东南沿海处于偏北风距平区, 但通过统计检验的范围较小; 弱 El Niño 事件时, 菲律宾海距平反气旋西北侧的西南气流偏东, 与南支槽前西南气流分开, 使得华南和南海的偏南风距平没有强 El Niño 时明显; 弱 La Niña 事件时, 东亚中纬度是通过显著性检验的负位势高度距平区, 中国南方地区处在东北偏东气流中, 不利于热带暖湿气流向北输送。

(3) 在 ENSO 事件的成熟期, 从热带到北半球高纬度, 亚洲纬向距平风场上呈现明显的正负相间的分布。强 El Niño 冬季, 位势高度场的经向梯度加大了东亚地区与极锋相伴随的西风带风速, 减弱了偏北风, 使亚洲北部冬季温度偏高的概率显著增大; 弱 La Niña 冬季, 西风带风速减弱, 亚洲北部地区气温偏低; 弱 El Niño 和强 La Niña 冬季, 低层温度距平合成场上通过统计检验的区域较小。

(4) 对表征 ENSO 状况的 ONI 指数与表征亚洲北部温暖状况的 NTI 指数间的散点图分析表明, 亚洲强暖冬和强冷冬的发生与 ENSO 事件的联系不密切, 可能尚有其他因子在起重要作用。

以上的研究是基于观测资料的分析和从统计关系的角度作解释, 得到的结果是初步的, 一些内在的海气相互作用机制需要依靠数值试验和动力理论开展更深入的研究。此外, 影响东亚冬季风活动的因子除热带海温外, 还有北大西洋涛动、欧亚大陆的积雪和对流层准两年振荡等, 它们对东亚冬季环流年际变化的影响及其与 ENSO 影响的相对重要性也值得深入分析。

参考文献 (References)

[1] Bradley R S, Diaz H F, Kiladis G N, et al. ENSO signal in continental temperature and precipitation records. *Nature*, 1987, **327**: 497~501

[2] Ropelewski C F, Halpert M S. Precipitation patterns associated with the high index phase of the Southern Oscillation. *J. Climate*, 1989, **2**: 268~284

[3] Hoerling M P, Kumar A, Zhong M. El Niño, La Niña, and the nonlinearity of their teleconnections. *J. Climate*, 1997, **10**: 1769~1786

[4] Hannachi A. Toward a nonlinear identification of the atmospheric response to ENSO. *J. Climate*, 2001, **14**: 2138~2149

[5] Trenberth K E, Branstator G W, Karoly D, et al. Progress during TOGA in understanding and modeling global teleconnections associated with tropical sea surface temperatures. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103**: 14291~14324

[6] 布和朝鲁, 纪立人. 东亚冬季风活动异常与热带太平洋海温异常. 科学通报, 1999, **44** (3): 252~259

Bueh Cholaw, Ji Liren. Anomalous activity of East Asian winter monsoon and the tropical Pacific SSTA. *Chinese Sci. Bull.* (in Chinese), 1999, **44** (3): 252~259

[7] Wang B, Wu R, Fu X. Pacific - East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J. Climate*, 2000, **13**: 1517~1536

[8] Wang B, Wu R, Li T. Atmosphere-warm ocean interaction and its impacts on Asian - Australian monsoon variation. *J. Climate*, 2003, **16**: 1195~1211

[9] 黄荣辉, 陈文, 丁一汇, 等. 关于季风动力学以及季风与 ENSO 循环相互作用的研究. 大气科学, 2003, **27** (4): 484~502

Huang Ronghui, Chen Wen, Ding Yihui, et al. Studies on the monsoon dynamics and the interaction between monsoon and ENSO cycle. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2003, **27** (4): 484~502

[10] 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 signals in the interannual variability of East-Asian winter monsoon. Part I: Observed data analyses. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 1999, **23** (3): 276~285

[11] 陈文. El Niño 和 La Niña 事件对东亚冬、夏季风循环的影响. 大气科学, 2002, **26** (5): 595~610

Chen Wen. Impacts of El Niño and La Niña on the cycle of the East Asian winter and summer monsoon. *Chinese J. Atmos. Sci.* (in Chinese), 2002, **26** (5): 595~610

[12] Zhang R, Sumi A, Kimoto M. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the '86/87 and '91/92 events. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1996, **74**: 49~62

[13] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437~471

[14] Smith T M, Reynolds R W. Improved extended reconstruction of SST (1854 - 1997). *J. Climate*, 2004, **17**: 2466~2477

- [15] http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml
- [16] <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data.noaa.ersst.html>
- [17] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999. 31~33
Wei Fengying. *Modern Technology of Climate Statistic Diagnosis and Prediction* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999. 31~33
- [18] 何溪澄, 丁一汇, 何金海, 等. 中国南方地区冬季风降水异常的分析. 气象学报, 2006, **64** (5): 594~604
He Xicheng, Ding Yihui, He Jinhai, et al. An analysis on anomalous precipitation in south China during winter monsoons. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 2006, **64** (5): 594~604
- [19] 陈海山, 孙照勃. 一个反映中国冬季气温异常的指标——东亚区域西风指数. 南京气象学院学报, 2001, **24** (4): 458~466
Chen Haishan, Sun Zhaobo. An index of China winter temperature anomaly: East Asian regional westerly index. *J. Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2001, **24** (4): 458~466
- [20] 龚道溢, 王绍武. 冬季西风环流指数的变率及其与北半球温度变化的关系研究. 热带气象学报, 2002, **18** (2): 104~110
Gong Daoyi, Wang Shaowu. Variability of the winter zonal index and its association with the northern hemispheric temperature changes. *J. Tropical Meteorology* (in Chinese), 2002, **18** (2): 104~110
- [21] 李崇银. 中国东部地区的暖冬与厄尼诺. 科学通报, 1989, **34** (4): 283~286
Li Chongyin. East China warm winter and El Niño. *Chinese Sci. Bull.* (in Chinese), 1989, **34** (4): 283~286
- [22] 陶诗言, 张庆云. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应. 大气科学, 1998, **22** (4): 399~407
Tao Shiyan, Zhang Qingyun. Response of the Asian winter and summer monsoon to ENSO events. *Chinese J. Atmos. Sci.* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1998, **22** (4): 399~407
- [23] 王会军. 2002 年亚洲北部的超强暖冬事件及其超常大气环流. 科学通报, 2003, **48** (7): 734~736
Wang Huijun. The North Asia strong warm winter event in 2002 and its anomalous atmospheric general circulation. *Chinese Sci. Bull.* (in Chinese), 2003, **48** (7): 734~736