

赵巧莲, 李崇银, 谭言科. 2011. 亚太地区冬季海平面气压异常的偶极型结构及其与海温的关系 [J]. 气候与环境研究, 16 (5): 551–564.
Zhao Qiaolian, Li Chongyin, Tan Yanke. 2011. The dipole mode of Asia–Pacific sea level pressure anomalies in winter and its relation to SST [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 16 (5): 551–564.

亚太地区冬季海平面气压异常的偶极型结构 及其与海温的关系

赵巧莲¹ 李崇银^{1,2} 谭言科¹

¹ 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

² 中国科学院大气物理研究所 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

摘 要 利用全球月平均海平面气压资料以及海表温度资料, 采用旋转经验正交函数分解 (REOF)、Morlet 小波分析、相关分析及合成分析等方法研究了亚洲—太平洋地区 (20°N~70°N, 40°E~120°W) 冬季海平面气压异常的空间结构与时间演变特征, 并进一步分析了该地区冬季海平面气压异常与全球海温异常的关系。结果表明: 亚太地区冬季海平面气压场异常既存在近乎纬向的偶极型 (反位相) 分布, 也存在明显的经向的偶极型 (反位相) 分布。冬季海平面气压变化最显著的区域主要有 4 个, 分别位于亚洲东北部地区 (60°N~70°N, 110°E~150°E)、北太平洋副热带地区 (25°N~35°N, 150°E~170°W)、我国西北部地区 (35°N~45°N, 85°E~110°E) 及阿留申群岛一带 (50°N~60°N, 170°E~165°W)。亚洲东北部地区与北太平洋副热带地区之间, 以及我国西北部地区与阿留申群岛地区之间分别存在显著的负相关, 即冬季海平面气压异常存在一个经向的偶极子振荡和一个纬向的偶极子振荡。两个偶极子存在明显的年际变化, 变化特征都具有显著的 3~4 年周期; 而纬向偶极子指数还有 16 年左右周期的年代际变化。

偶极子指数与海温异常 (SSTA) 的相关系数分析, 以及对应强正 (负) 偶极子指数所作的合成 SSTA 分析一致表明, 太平洋和印度洋的 SSTA 对亚太地区冬季海平面气压的异常有重要影响, 不同的海温异常型将导致不同型的海平面气压场偶极子振荡模的出现。冬季北太平洋的 SSTA 从赤道东太平洋到堪察加半岛南有“一、+、一、+”式 (“+、一、+、一”式) 波列状分布特征, 以及在西北太平洋近岸海区均为负 (正) 海温异常, 将有利于亚太地区冬季海平面气压场出现经向型振荡的正 (负) 位相模。冬季北太平洋 40°N 附近 (北太平洋西风漂流区) 的明显 SSTA 负 (正) 异常, 以及热带太平洋—印度洋海温异常联合模的正 (负) 特征, 有利于亚太地区冬季海平面气压场出现纬向型振荡的正 (负) 位相模。

关键词 海平面气压 偶极子 REOF 展开 小波分析 海温异常

文章编号 1006-9585 (2011) 05-0551-14 **中图分类号** P46 **文献标识码** A

The Dipole Mode of Asia–Pacific Sea Level Pressure Anomalies in Winter and Its Relation to SST

ZHAO Qiaolian¹, LI Chongyin^{1,2}, and TAN Yanke¹

¹ Institute of Meteorology, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

² State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,

收稿日期 2009-12-03 收到, 2011-03-20 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展计划项目 2007CB411805

作者简介 赵巧莲, 女, 1985 年出生, 硕士, 主要从事亚太地区中高纬大气环流特征与东亚夏季风的关系研究。E-mail: zhql0203@163.com

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract The anomaly mode of the Asia - Pacific ($20^{\circ}\text{N} - 70^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ}\text{E} - 120^{\circ}\text{W}$) sea level pressure in winter is studied, using the methods of rotated empirical orthogonal function decomposition (REOF), Morlet wavelet analysis, correlation analysis, and synthesis analysis on the global monthly-average Sea Level Pressure (SLP) and Sea Surface Temperature (SST). Then the relationship between SLP anomaly (SLPA) and SST anomaly (SSTA) is studied. The results show: The Asia - Pacific winter SLP has a nearly-zonal dipole (anti-phase) distribution, as well as an obvious meridional dipole (anti-phase) distribution. The most significant anomalies of winter SLP are in the four areas which locate in Northeast Asia ($60^{\circ}\text{N} - 70^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E} - 150^{\circ}\text{E}$), subtropical North Pacific ($25^{\circ}\text{N} - 35^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\text{E} - 170^{\circ}\text{W}$), northwest of China ($35^{\circ}\text{N} - 45^{\circ}\text{N}$, $85^{\circ}\text{E} - 110^{\circ}\text{E}$), and the Aleutian Islands ($50^{\circ}\text{N} - 60^{\circ}\text{N}$, $170^{\circ}\text{E} - 165^{\circ}\text{W}$). There is a significant negative correlation of SLP between Northeast Asia and the subtropical North Pacific, as well as Northwest China and the Aleutian Islands, which shows the existence of meridional dipole oscillation and zonal dipole oscillation. Two dipoles obviously change at interannual scale with a period of 3 - 4 a, while zonal dipole index has a cycle of 16 a or so at interdecadal scale in addition.

The correlation coefficient analysis between dipole indices and SSTA, and the synthesis analysis of the SSTA corresponding to the strong positive (negative) years of dipoles all indicate that the SSTA of Pacific and Indian Ocean both have important impacts on the Asia - Pacific SLPA in winter. Different types of SSTA will lead to different types of SLP dipole oscillation modes. When the North Pacific SSTA in winter takes on the character of “- , + , - , +” (“+ , - , + , -”) wave-like distribution from the equatorial eastern Pacific Ocean to the Kamchatka peninsula, and negative (positive) SSTA are found in the Northwest Pacific coast, then the positive (negative) phase mode of meridional oscillation will be conducted in the winter Asia - Pacific SLP field. On the other side, significantly negative (positive) anomalies taking place in the vicinity of the North Pacific 40°N (North Pacific westerly drift region) in winter, and the positive (negative) characters of the tropical Pacific - Indian Ocean temperature anomaly mode, are conducive to the positive (negative) phase mode of zonal oscillation in the winter Asia - Pacific SLP field.

Key words sea level pressure, dipole, REOF, wavelet analysis, SST anomaly

1 引言

表征北半球低层大气环流特征的海平面气压的变化形势对区域气候的影响一直受到人们的重视。20 世纪 30 年代 Walker and Bliss (1932) 以统计方法确定了全球大气三大涛动 [南方涛动 (SO)、北太平洋涛动 (NPO) 和北大西洋涛动 (NAO)], 这也是海平面气压场上最主要的 3 个遥相关型, 其大范围的特定模态与某些区域的气候存在着显著的关系 (钱维宏和刘大庆, 2003; Zhang and Mann, 2005; 魏凤英等, 2006)。施能等 (2000a) 研究了近 100 年的北半球海平面气压场的气候平均态、气候变率特征及时间演变规律, 指出冬季海平面气压的基本态标准差的高值区在北太平洋的阿留申低压区、冰岛低压区的西北部及西伯利亚高压区。北半球冬季海平面气压场的时空结构与北半球冬季气温的关系也十分密切。

任菊章等 (2003) 指出, 北太平洋海平面气压与陆地海平面气压的反向分布可能对亚洲冬季气温的年际变化有影响; 施能等 (2000b) 的研究也表明了近百年北半球冬季大尺度海平面气压场表现为 4 个基本模态, 反映北半球阿留申低压强度的冬季海平面气压距平场的第二特征模态在年际、年代际变化关系上与北半球的平均气温关系是非常密切的。

占地球表面积三分之二以上的海洋不仅是驱动大气运动能量的直接供应者和调节器, 而且还是大气中水汽的主要源地, 海洋的热力和动力特性又使它对大气变化具有独特的“记忆功能”和“低通滤波”作用。因此, 海温异常一直被认为是引起环流和气候异常的一个重要因素, 它在全球气候变化中扮演着一个非常重要的角色, 越来越引起人们的高度重视。早在 20 世纪 50、60 年代, Namias (1963) 和 Bjerknes (1996) 就提出北太平洋的海温异常对大气环流异常的维持和加强的反馈作用, 并把海温异常的研究引入到热带海洋,

提出热带海温与全球大气环流和气候变化的遥相关概念, 逐步使热带海洋大气相互作用的研究成为近代大气科学的一个重要研究领域。此后, 海气相互作用的研究取得了迅速进展, 世界气候研究计划(WCRP)在1995年推出的气候变动及可预报性(CLIVAR)研究计划中将海洋置于一个举足轻重的位置(World Climate Research Program, 1995), 现在海气相互作用已经成为气候动力学研究的热门课题(叶笃正等, 1991)。20世纪90年代以来, 太平洋年代际振荡及其同中国气候变化的研究取得了很大的进展, 揭示出海温的年代际变化对气候年代际变化有重要的直接影响, 还为气候年际变化提供一个背景态, 进而对年际变率具有重要的调制作用(Li and Xian, 2003; 朱益民和杨修群, 2003)。

亚洲大陆与北太平洋的热力对比(差异)被认为是形成东亚冬季风的根本原因。而西伯利亚高压和阿留申低压是其表现在气压场上的基本形态, 东亚冬季风的指数也常用两个系统的气压差来定义(裴顺强和李崇银, 2007)。赵平和张人禾(2006)分析讨论了东亚—太平洋地面气压的偶极子(APD)的形态, 并指出该偶极子实际上是一种东亚副热带季风模。但西伯利亚高压和阿留申低压无论在位置及形态上都有相当大的变化, 它们所产生的气候影响也就很不一样。到底亚太地区的冬季海平面气压异常有几个基本模态, 有什么形势特征和变化规律, 仍然是不完全清楚的问题。本文在前人的基础上, 试图用较长时间的

资料和旋转经验正交函数分解(REOF)分析方法, 对亚太地区的冬季海平面气压场异常的基本模态进行进一步的分析研究, 并探讨它们与海温异常的关系, 从而加深对大气环流尤其是东亚冬季风变化和异常的认识。

2 资料简介

本文采用Hadley气候中心的全球月平均海平面气压(Sea Level Pressure, SLP)资料, 所用资料的时间长度为1850年1月至2004年12月, 共有154个冬季(12月至次年的2月), 空间分辨率为 $5^\circ(\text{纬度}) \times 5^\circ(\text{经度})$ 。所用海温资料为NOAA/ERSST(Extended Reconstructed Sea Surface Temperature)的逐月再分析海温资料, 时间长度为1854年1月至2008年3月, 资料覆盖($88^\circ\text{S} \sim 88^\circ\text{N}$, $180^\circ\text{E} \sim 180^\circ\text{W}$)的全球海洋, 分辨率为 $2^\circ(\text{纬度}) \times 2^\circ(\text{经度})$ 。计算偶极子与海温的关系时, 选取了二者的共同时段1854年1月至2004年12月。选取亚洲—太平洋区域($20^\circ\text{N} \sim 70^\circ\text{N}$, $40^\circ\text{E} \sim 120^\circ\text{W}$)作为分析和讨论对象。文中采用通用惯例, 夏季取为6~8月, 秋季取为9~11月, 冬季取为12月至次年2月。

3 亚太地区冬季海平面气压场的气候平均态

图1是亚太地区冬季海平面气压场的多年平

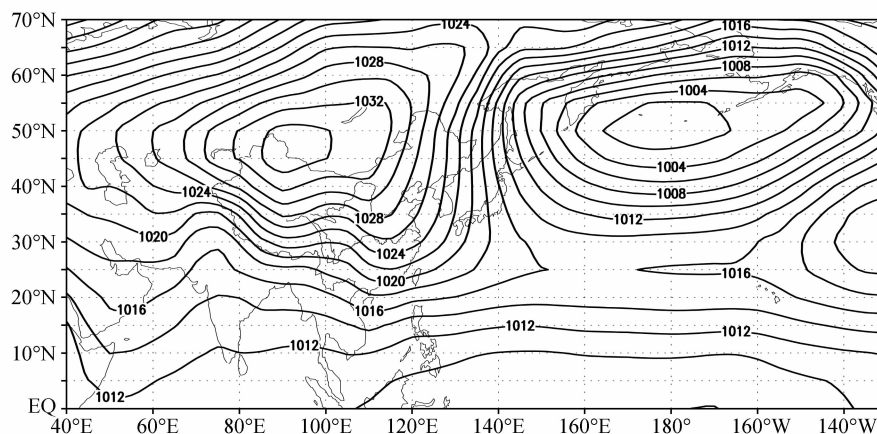


图1 1850~2003年亚太地区冬季海平面气压的气候平均场(单位: hPa)

Fig. 1 The climate distribution of winter SLP (hPa) in Asia-Pacific from 1850 to 2003

均图。从图中可以看到亚太地区冬季海平面气压场有两个主要的系统,分别为西伯利亚—蒙古冷高压和阿留申低压,高值中心分别位于我国新疆西北部与蒙古国交界之处(47.5°N , 90°E),中心附近闭合等压线达到了 1034 hPa,低值中心位于北太平洋海域(50°N , 175°E),中心附近闭合等压线为 1002 hPa。由图 1 还可以看到,由蒙古高压中心附近往东亚地区伸展出一个强大的高压脊,它是冬季寒潮影响我国的重要控制系统。西伯利亚—蒙古高压和阿留申低压的稳定存在使得东亚和西北太平洋地区有极强的东西气压梯度,这正是东亚冬季风在全球最强和最典型的根本原因。要认识和预测东亚和北太平洋地区的天气气候及其变化,必须研究这对准稳定性系统的特征及其变化。

由图 1 给出的海平面气压场的多年平均形势可以看到,西伯利亚—蒙古高压和阿留申低压两个半永久性系统表现的十分清楚。但对于气候变化来讲,最重要的是系统的变化而不是平均状态。因此,我们下面将对亚太地区冬季海平面气压场变化和异常形态进行分析研究。

4 亚太地区冬季海平面气压异常场的时空结构分析

对亚太地区冬季海平面气压距平场进行经验正交函数分解(EOF)分析可以得到两个主要模态的空间分布(图略),第一空间型态主要表现为纬向分布,反映了地球表面太阳辐射能量分布的南北差异特征;但低纬度地区与高纬度地区符号相反,表明冬季 SLP 南北变化具有相反的位相。第二空间模态主要反映的是东西向差异,两个极值中心分别位于蒙古西南侧和阿留申东南侧;此模态在东部海洋和西部大陆有明显的正负差异,主要反映了海陆热力差异的影响。由于这方面的研究前人已经做了很多,这里就不再赘述了。

上述 EOF 分析表明,亚太地区冬季海平面气压异常场既存在纬向的反位相分布,也存在明显的经向的反位相分布。为进一步突出亚太地区冬季海平面气压变化的气候地域特征,对前 12 个主成分及相应的载荷向量进行旋转,其方差贡献率已达 90%以上,可以认为它们基本上反映了亚太

地区海平面气压场变化的空间差异。图 2 给出的是 REOF 分析的前 5 个空间模态(魏凤英, 2007),从图中可以看出,每一个空间模态均有一个异常显著的大值中心,中心绝对值均超过了 0.9,这说明它们对各自所在区域的局地方差的贡献率已达到了 81%以上。前 5 个模态的方差贡献率分别为 13.74%、11.30%、14.69%、12.17%、10.47%,可以看到各个模态对总方差的贡献大小相当,那这几个区域之间的联系又是怎样的呢?根据 REOF 方法应用于地域分区的工作原理及第二至第五旋转模态的高载荷分布(等值线绝对值 >0.6),我们将第二至第五模态的高载荷量投影到同一张图上,得到该地区冬季海平面气压变化的 4 个主要分区,如图 3 所示。由于第一模态高载荷分布位于欧洲地区,故本文在讨论亚太地区的气候特征时不予考虑。可以看到,高载荷区覆盖了亚太地区的绝大部分区域,且相邻区域没有重叠。其中 I 区位于亚洲东北部地区($60^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$),II 区位于北太平洋副热带地区($25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$),III 区位于我国西北部地区($35^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $85^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$),IV 区位于阿留申群岛附近($50^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $170^{\circ}\text{E}\sim 165^{\circ}\text{W}$)。对比冬季多年平均的海平面气压场(图 1)可以发现,上述的 I 区和 III 区分别位于西伯利亚—蒙古冷高压的两个高压脊上,IV 区位于阿留申低压稍偏东北的位置,而 II 区则位于西伯利亚—蒙古冷高压、副热带高压、阿留申低压以及赤道低压所构成的鞍部。

Rogers (1981) 及后来李崇银 (2000) 都指出,北太平洋地区气压的南北向跷跷板现象(即 NPO),反映了热带和副热带太平洋地区的气压偏高(低)时,东西伯利亚到加拿大一带地区的气压往往偏低(高)。与已有研究结果相比较,由图 3 可以看到, I 区与 II 区, IV 区与 II 区所反映的反相关特征在一定程度上与 NPO 相似,但也存在区别, NPO 所对应的在高纬度的显著异常区位于 IV 区和 I 区以南的地带。本文的分析结果给出了 4 个主要异常区域,它一方面可以反映 NPO 的特征,另一方面又能反映东亚和北太平洋地区气压变化的东西向跷跷板现象。可以认为, REOF 分析结果在显示局地的相关结构方面要更为细致一些。

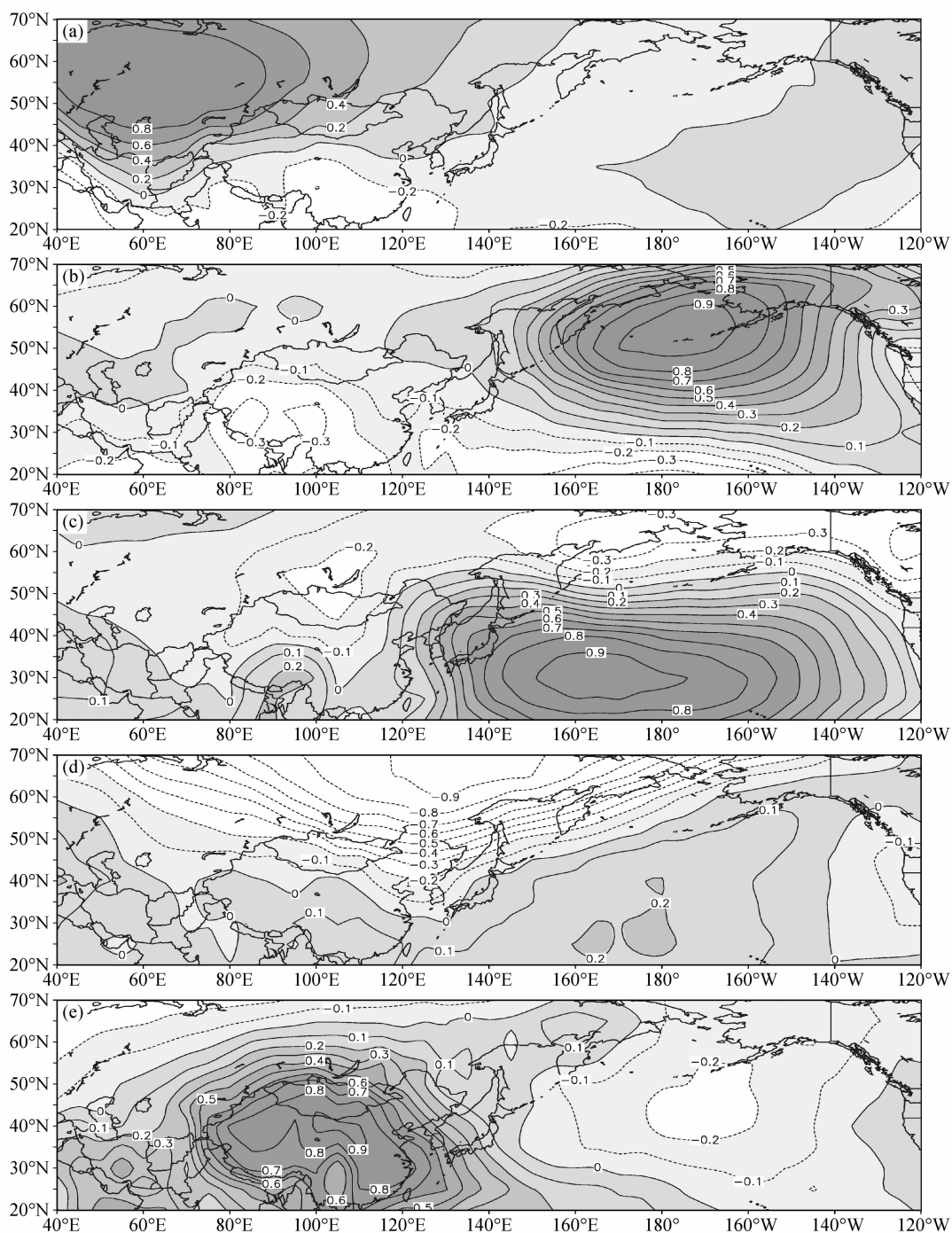


图 2 REOF 前 5 个空间模式：(a) 第一模式；(b) 第二模式；(c) 第三模式；(d) 第四模式；(e) 第五模式

Fig. 2 The first five REOF spacial modes: (a) The first; (b) the second; (c) the third; (d) the forth; (e) the fifth

5 亚太地区冬季海平面气压异常场的偶极型振荡

为了更好的研究本文所划分的 4 个区域海平

面气压变化之间的相关性，我们将包含中心值在内的各个区域平均后的标准化冬季海平面气压异常 (SLPA) 作为表征该区域物理性质的气候指数，依次表示为： I_1 、 I_2 、 I_3 和 I_4 。各个区域指数间的相关关系如表 1 所示。

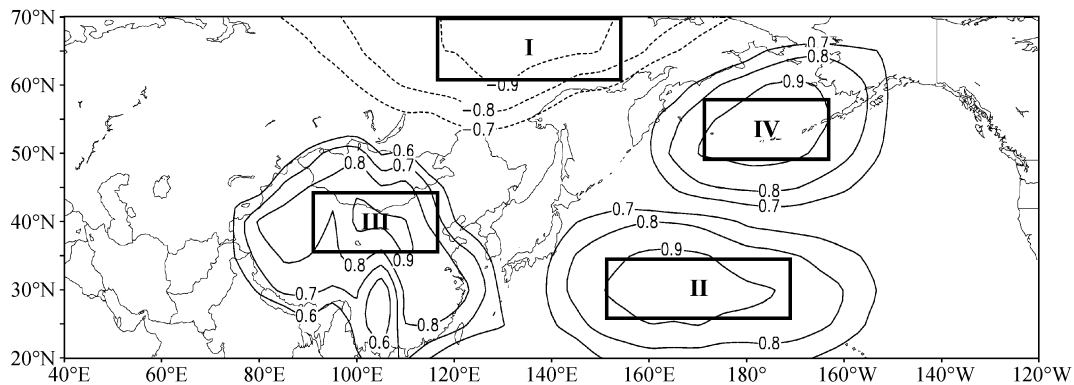


图3 亚太地区冬季海平面气压异常场 (SLPA) 的地域相关分布

Fig. 3 The regional correlation of the winter SLP anomalies in Asia-Pacific

表1 各个区域指数的相关关系

Table 1 The correlation between different regional indices

	I_1	I_2	I_3	I_4
I_1	1	-0.36*	0.03	-0.005
I_2		1	-0.16	-0.03
I_3			1	-0.39*
I_4				1

* 表示通过 95% 信度检验。

从表1可以看到, 指数 I_1 和 I_2 的相关系数, 以及 I_3 和 I_4 的相关系数分别达到了 -0.36 和 -0.39, 均通过了 95% 的信度检验。这说明了区域 I 和区域 II, 以及区域 III 和区域 IV 之间分别存在一个反位相的振荡关系, 我们把它们分别称之为经向偶极子和纬向偶极子。相关分析的结果表明了西伯利亚—蒙古冷高压的南半部相对于北半部来说, 与阿留申低压的关系更为密切; 二者之间的气压梯度是构成冬季各种天气气候的主要因素。而另一方面西伯利亚—蒙古冷高压的北半部与西太平洋副热带有更为密切的关系, 它们构成了南北向跷跷板式变化。为进一步研究这两个偶极子的性质, 参照已有研究工作我们定义了两个偶极子指数 (何卷雄等, 2005; 李建平和曾庆存, 2005), 其表达式如下:

$$MEI = \frac{(I_1 - I_2) - \overline{(I_1 - I_2)}}{\sigma},$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(I_1 - I_2)_i - \overline{(I_1 - I_2)}]^2,$$

$$ZOI = \frac{(I_3 - I_4) - \overline{(I_3 - I_4)}}{\sigma},$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(I_3 - I_4)_i - \overline{(I_3 - I_4)}]^2,$$

其中, N 为序列长度, ZOI 和 MEI 分别表示纬向偶极子指数和经向偶极子指数。图4是两个偶极子指数在 154 年里随时间的变化曲线, 其中, 细实线为逐年演变曲线, 代表指数的年际变化特征, 从中能够看出两个指数有明显的年际变化; 粗实线为 5 年滑动平均曲线, 可以看出 1850~1900 年 MEI 指数有减弱的趋势, 1900 年以后指数变化趋于稳定, 但是总趋势是略有下降。而 ZOI 指数在 1850~1900 年以负值为主, 1900 年以后指数变化在稳定中增强, 即总趋势是上升的。这分别反映了亚太地区冬季海平面气压异常场的经向振荡和纬向振荡的时间变化特征。

为了进一步讨论这两个偶极型振荡指数的周期变化特征, 对两个偶极子指数进行 Morlet 小波分析。图5给出的是全局功率谱, 其中的虚线为 90% 的信度曲线; 图6给出的是小波功率谱, 图中的阴影区为通过 90% 信度检验的区域。小波分析结果表明, 两个偶极子指数存在明显的多时间尺度的变化特征。由全局功率谱 (图5) 可以看出, MEI 指数的 3~4 年周期以及 5~6 年周期较为显著, 而 ZOI 指数的 3~4 年周期也非常显著。由小波功率谱图 (图6) 也可以看出, MEI 指数在 1900 年以前的周期变化不显著, 1900 年以后逐渐开始呈现较显著的 3~8 年的年际变化。 ZOI 指数则刚好相反, 在 1900 年以前呈现非常显著的 3~4 年周期, 但是 1900 年以后, 周期变化减弱, 到 1940 年左右又开始再次呈现 2~4 年的周期特征; 同时, ZOI 指数还存在一个 16 年左右的年代

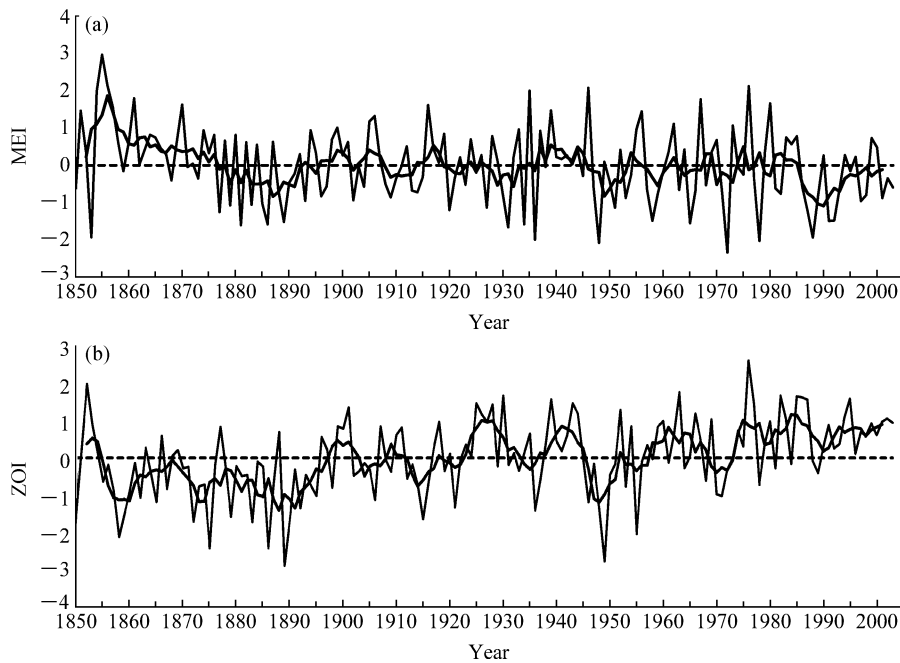


图4 1850~2003年 (a) 经向偶极子指数 (MEI) 和 (b) 纬向偶极子指数 (ZOI) 的演变 (细实线) 及 5 年滑动平均 (粗实线)

Fig. 4 The annual variations (thin line) of (a) meridional index (MEI) and (b) zonal index (ZOI) and their 5-year moving average (thick line) from 1850 to 2003

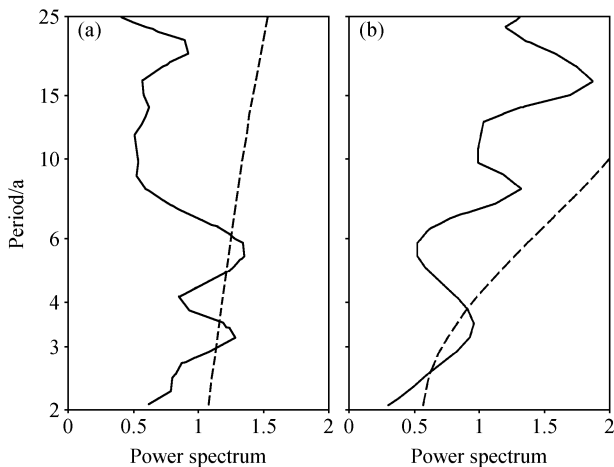


图5 (a) MEI 和 (b) ZOI 的全局功率谱

Fig. 5 The global wavelet spectrum of (a) MEI and (b) ZOI

际变化周期。总的来说,两个偶极子指数存在的相同年际变化周期为 3~4 年。

上述谱分析表明,MEI 指数主要存在 3~6 年周期的年际变化,而 ZOI 指数除存在 3~4 年周期的年际变化外,也有 16 年左右周期的年代际变化。这里的年际变化可能与热带太平洋的海温异常 (ENSO) 有关,而年代际变化可能主要受北太平洋海温异常 (PDO) 的影响。

6 偶极子与海温的关系

6.1 偶极子与海温的季节相关性分析

为了搞清上述偶极型振荡与海温异常的关系,我们首先进行了偶极子指数与全球海表温度异常 (SSTA) 的相关性分析。图 7 分别给出了 MEI 指数与当年夏季、秋季以及冬季全球 SSTA 的相关系数分布。本文中我们主要关注的是北太平洋和印度洋海温异常的作用。在冬季的同时相关图上 (图 7c) 可以看到,MEI 与北太平洋高纬度海区的 SSTA 呈明显正相关,与赤道中东太平洋的 SSTA 呈负相关;而在它们之间存在着一个正相关带和一个负相关带。也就是说 MEI 与太平洋 SSTA 的相关系数有从赤道东太平洋到堪察加半岛的正负相间的“一、+、一、+”式波列状分布特征。同时,在西北太平洋近岸区域还有一个明显的负相关带存在。图 7b 和图 7a 分别是同年秋季和夏季的海温与冬季 MEI 的相关系数分布情况,与图 7c 相比较我们可以进一步知道 MEI 与 SSTA 的持续性相关情况。图 7b 和图 7a 的共同特征是在热带中东太平洋有负相关区,并在北太平洋中纬度

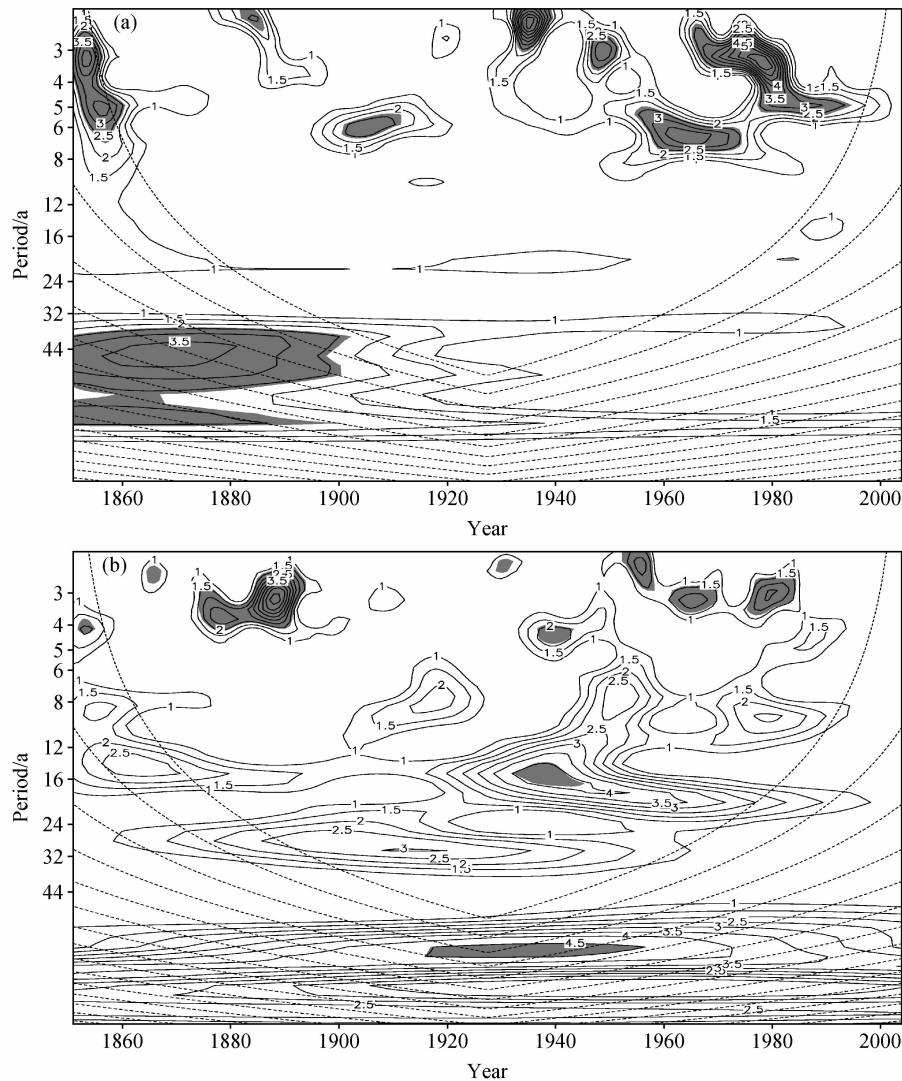


图 6 (a) MEI 和 (b) ZOI 的小波功率谱, 阴影区为通过 90% 信度检验的区域

Fig. 6 The wavelet power spectrum of (a) MEI and (b) ZOI, the shadings indicate 90% confidence level

存在较明显的正相关区。上述结果表明, 热带中东太平洋和北太平洋中纬度的海温异常与冬季的 MEI 有持续相关特征。在一定意义上这说明热带中东太平洋的海温负 (正) 异常和北太平洋中纬度的海温正 (负) 异常对冬季亚太地区海平面气压的经向型偶极模正 (负) 位相的出现有重要的影响。而北太平洋高纬度的正 (负) SSTA 及西北太平洋近岸区域的负 (正) SSTA 也对冬季亚太地区海平面气压的经向型偶极模正 (负) 位相的出现有一定的影响。

另外, 从图 7 还可以看到, 夏季在南太平洋 30°N 附近有明显的正相关中心, 而随着时间变化, 这个正相关中心开始向西北方向移动, 到冬

季已越过赤道而位于西北太平洋。相关系数的这种模态同 ENSO 模及 PDO 模的西传特征相当类似。说明本文的径向模与太平洋海温模 (尤其是其西部) 有密切的关系。最强相关中心的移动表明, 不只是西太平洋海温在同期有明显影响, 南太平洋海温在半年前就存在对东亚气压场径向模的影响。图 7 还表明, 在西北太平洋近岸海区的相关系数有从夏季为弱负相关到冬季为强负相关的转变。这在较大程度上反映了海气相互作用的季节变化特征。因为该海区的海温除海洋过程外, 大气的季节变化对其存在不同的反馈特征。当然上述讨论还只是初步的认识, 有待深入的研究和数值模拟的进一步讨论。

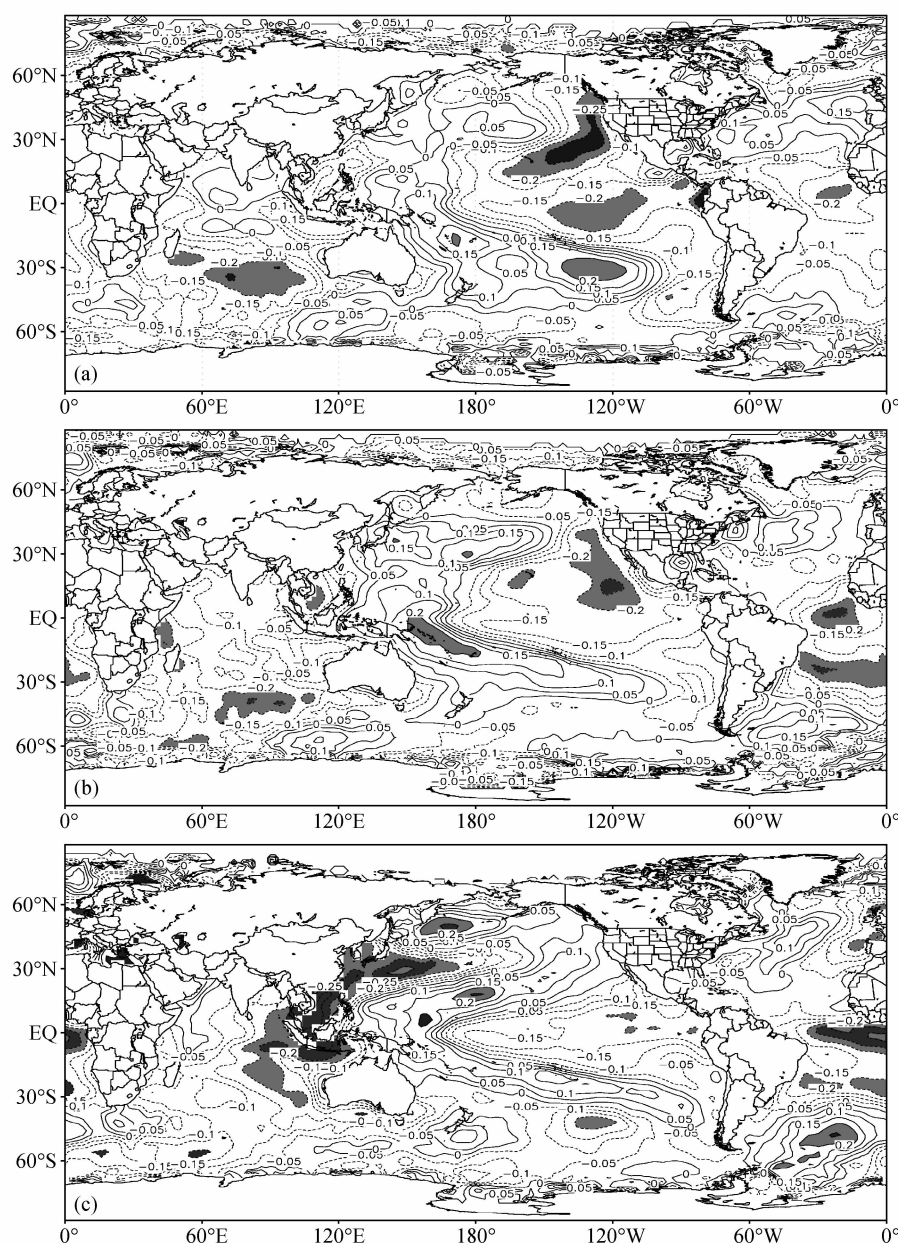


图7 冬季 MEI 指数与同年 (a) 夏季、(b) 秋季及 (c) 冬季 SSTA 的相关分布图, 阴影区为通过 95% 信度检验的区域

Fig. 7 Correlation between the MEI in winter and SSTA in (a) summer, (b) autumn, and (c) winter of the same year, the shadings indicate 95% confidence level

类似地, 图 8 分别给出了 ZOI 与同年夏季、秋季以及冬季全球 SSTA 的相关系数分布。从冬季的同时相关图上 (图 8c) 可以看到, 最为突出的特点是在热带东太平洋有最强的正相关区, 在热带西印度洋有次强正相关区; 而在北太平洋 40°N 附近 (北太平洋西风漂流区) 有明显负相关区, 在大暖池区有弱负相关区存在。图 8b 和图 8a 分别是同年秋季和夏季的海温与冬季 ZOI 的相关系

数分布情况, 与图 8c 相比较我们可以进一步知道 ZOI 与 SSTA 的持续性相关情况。由图 8b 和图 8a 可以看到它们与图 8c 大体一致的分布特征, 只是在北太平洋 40°N 附近 (北太平洋西风漂流区) 的负相关区比较弱, 表明热带太平洋和热带印度洋的 SSTA 与 ZOI 存在持续性相关。值得一提的是, 上面指出的热带东太平洋、热带西印度洋和大暖池区的相关系数的分布形势与据建华等

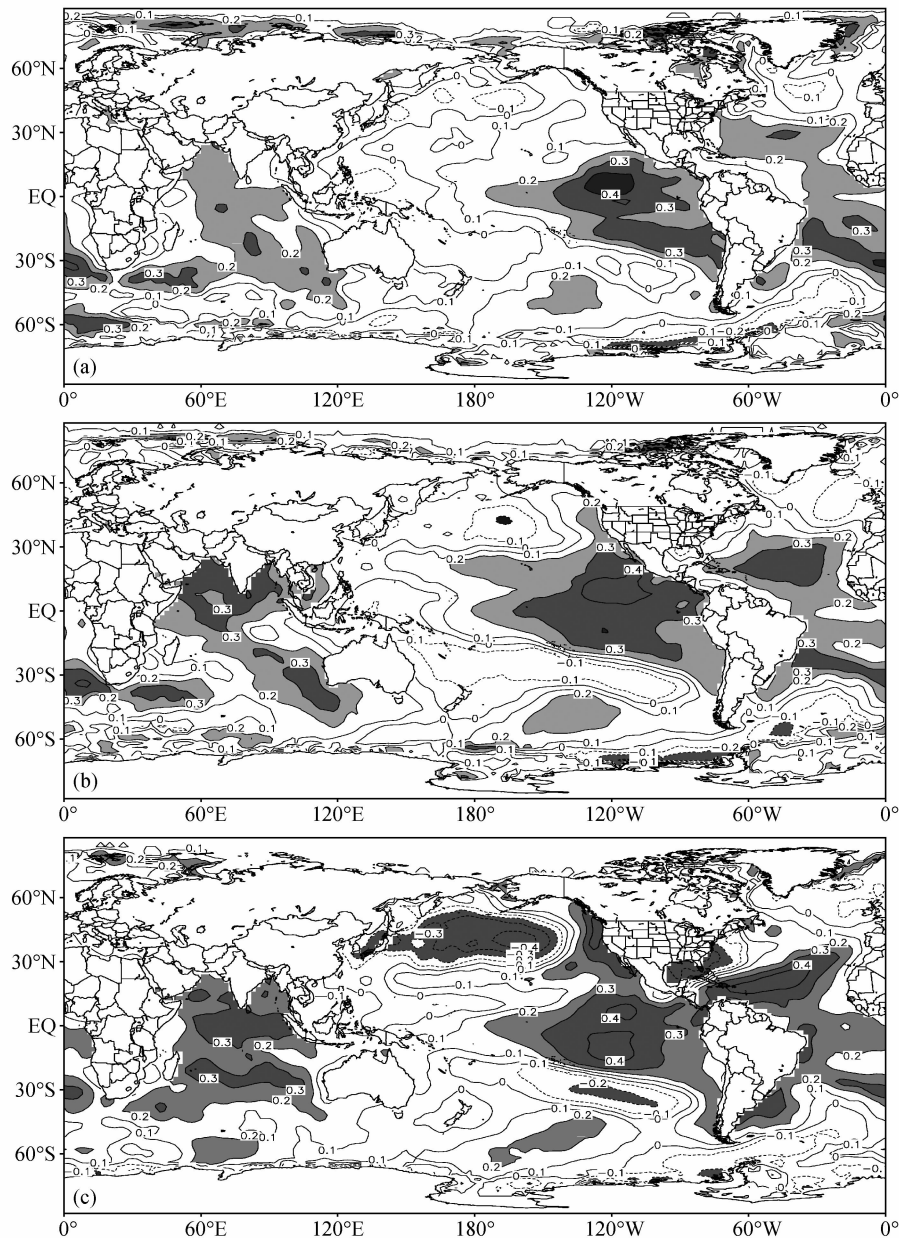


图8 同图7, 但为 ZOI 指数与 SSTA 的相关分布图

Fig. 8 Same as Fig. 7, but for the correlation between the ZOI and SSTA

(2004)、杨辉和李崇银(2005)提出的“热带太平洋—印度洋海温异常联合模”十分类似。这些结果表明,正(负)位相的热带太平洋—印度洋海温异常联合模对冬季亚太地区海平面气压的纬向型偶极模正(负)位相的出现有重要的影响。而秋、冬季北太平洋 40°N 附近(北太平洋西风漂流区)的负(正)SSTA也对冬季亚太地区海平面气压的纬向型偶极模正(负)位相的出现有重要的影响。

6.2 偶极子异常年份的冬季海温特征

为了进一步检验两个偶极子指数与冬季海表温度异常的关系,我们根据MEI和ZOI的年际变化情况,选取一个标准差作为区分异常年与正常年的标准,大于一个标准差的年份定为正、负异常指数年。然后,分别对应MEI和ZOI的正、负异常年,就1854~2003年的冬季海温异常分别进行了合成分析,计算得到了指数正、负异常年份的冬季海温异常形势及其差异(图9和图10)。

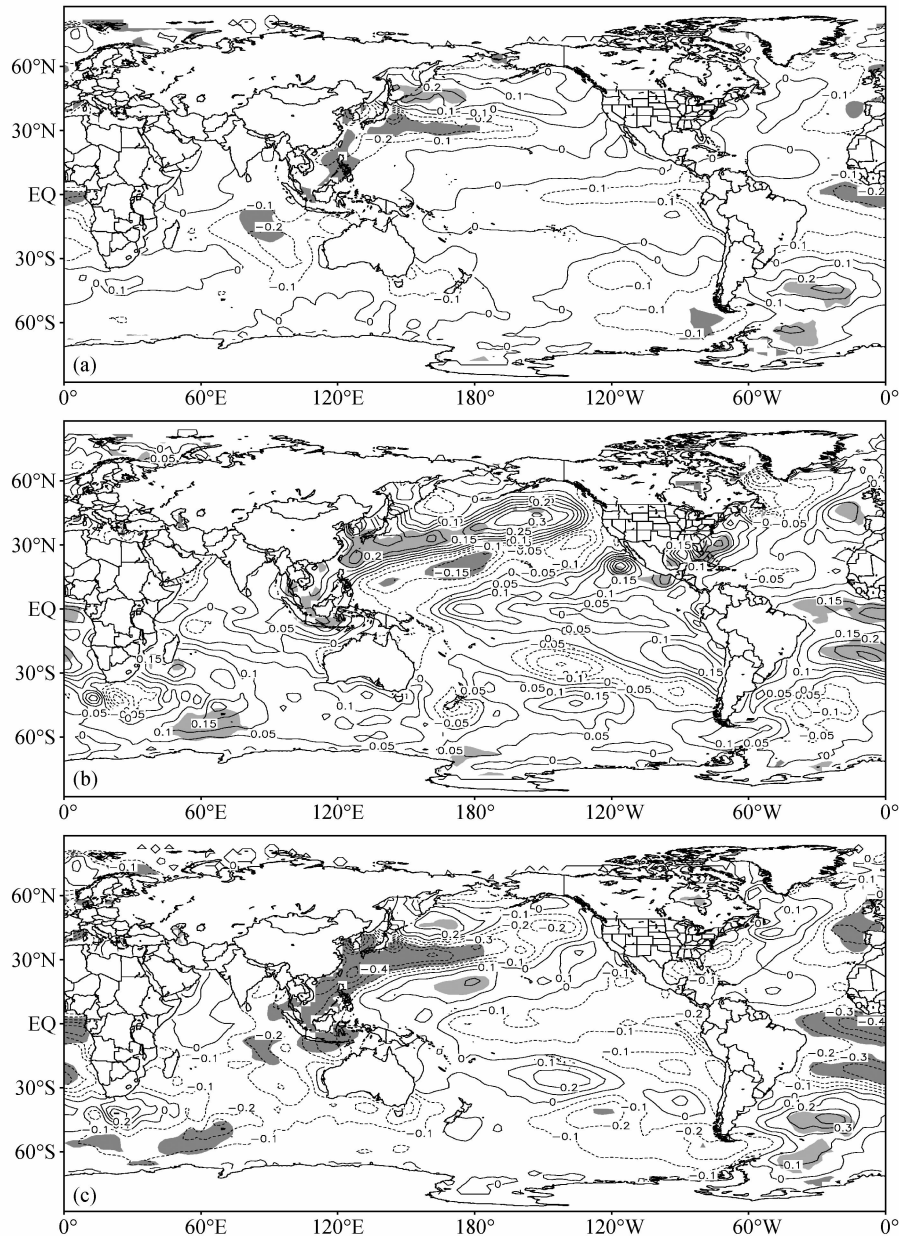


图9 强 MEI (a) 正异常年和 (b) 负异常年的冬季海温异常场及 (c) 其差异 (单位: $^{\circ}\text{C}$), 阴影区为通过 95% 信度检验的区域

Fig. 9 Composite SSTA ($^{\circ}\text{C}$) in winter corresponding to the strong (a) positive years and (b) negative years for MEI, and (c) their difference, the shadings indicate 95% confidence level

图 9a 表明, 对应于强的正 MEI 年, 冬季北太平洋的 SSTA 从赤道东太平洋到堪察加半岛南也有“一、+、一、+”式的波列状分布特征; 而在西北太平洋近岸海区均为负海温异常。其分布特征与前面讨论的相关系数的分布特征大体相似, 只是正负 SSTA 带的形状更趋于东西向特征。对应于强的负 MEI 年 (图 9b), 冬季北太平洋的 SSTA 从赤道东太平洋到堪察加半岛南同样有波

列状分布特征, 但符号相反为“+、-、+、-”形式; 而在西北太平洋近岸海区均为正海温异常。其分布特征与前面讨论的相关系数的分布特征大体相似。与图 9a 相比较, 图 9b 的 SSTA 在数值上要大的多, 在一定程度上说明强的负 MEI 年与海温异常的关系更为显著。

对应强 ZOI 正指数年 (图 10a) 和强 ZOI 负指数年 (图 10b), 北太平洋和印度洋的 SSTA 分

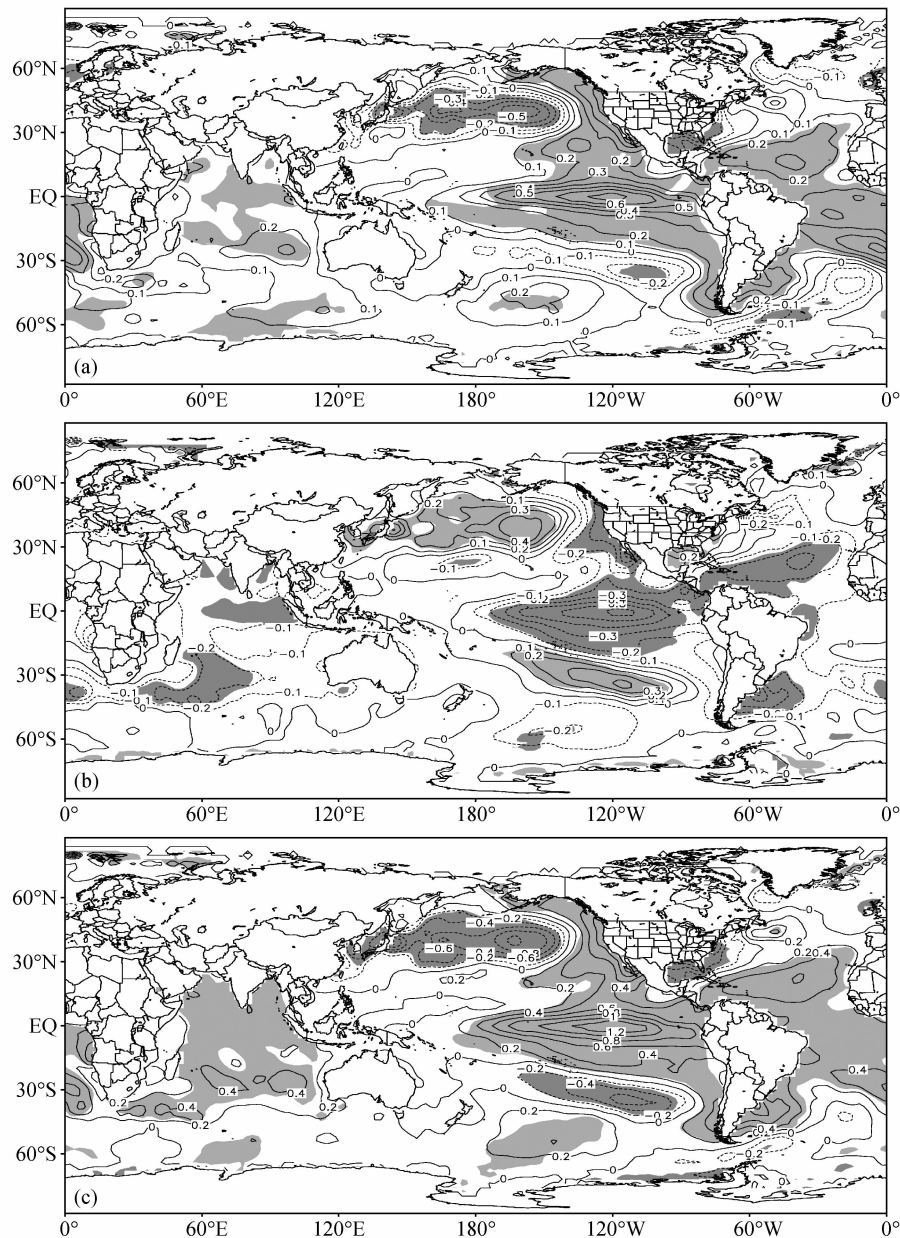


图 10 同图 9，但为强 ZOI 正、负异常年冬季海温异常场
Fig. 10 Same as Fig. 9, but for ZOI

布有基本一致的特征，只是其符号相反。在强 ZOI 正指数年，冬季北太平洋 40°N 附近（北太平洋西风漂流区）有明显 SSTa 负异常，热带太平洋—印度洋海温异常联合模为正异常模。在强 ZOI 负指数年，冬季北太平洋 40°N 附近（北太平洋西风漂流区）有明显 SSTa 正异常，热带太平洋—印度洋海温异常联合模为负异常模。

上述合成分析结果也表明太平洋和印度洋的 SSTa 对亚太地区冬季海平面气压的异常有重要

影响，不同的海温异常型将导致不同型的海平面气压场偶极子振荡模的出现。

7 结论与讨论

本文通过对较长时间海平面气压场和海温场的资料分析，采用旋转经验正交函数分解（RE-OF）、Morlet 小波分析、相关分析以及合成分析的方法研究了亚太地区冬季海平面气压场异常的

空间结构与时间演变特征, 并进一步讨论了该地区冬季海平面气压场变化与全球海温异常的关系。其主要结果可以归纳如下:

(1) 亚太地区冬季海平面气压异常既存在近乎纬向的偶极型(反位相)分布, 也存在明显的经向的偶极型(反位相)分布。与海平面气压平均场主要为两个半永久性系统(西伯利亚—蒙古高压和阿留申低压)不同, 冬季海平面气压的变化存在 4 个最显著主要区域, 分别位于亚洲东北部地区($60^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$)、北太平洋副热带地区($25^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$)、我国西北部地区($35^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $85^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$)和阿留申群岛一带($50^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $170^{\circ}\text{E}\sim 165^{\circ}\text{W}$)。

(2) 在 4 个主要变化区域中, 亚洲东北部地区与北太平洋副热带地区之间, 以及我国西北部地区与阿留申群岛地区之间分别存在显著的负相关, 即存在一个经向的偶极子振荡型和一个纬向的偶极子振荡型结构。它们可以反映冬季海平面气压变化的基本模态, 也可以视为影响天气气候异常的气压变化关键区和关键型。

(3) 两个偶极子振荡都具有明显的年际变化特征, 都存在着 3~4 年周期的年际变化。而纬向偶极子指数还有 16 年左右周期的年代际变化。

(4) 偶极子指数与 SSTA 的相关系数分析, 以及对应强正(负)偶极子指数所作的合成 SSTA 分析都一致地表明, 太平洋和印度洋的 SSTA 对亚太地区冬季海平面气压的异常有重要影响, 不同的海温异常型将导致不同型的海平面气压场偶极子振荡模的出现。

(5) 冬季北太平洋的 SSTA 从赤道东太平洋到堪察加半岛南有“一、十、一、十”式(“十、一、十、一”式)波列状分布特征, 以及在西北太平洋近岸海区均为负(正)海温异常, 将有利于亚太地区冬季海平面气压场出现经向型振荡的正(负)位相模。

(6) 冬季北太平洋 40°N 附近(北太平洋西风漂流区)的明显 SSTA 负(正)异常, 以及“热带太平洋—印度洋海温异常联合模”的正(负)特征, 将有利于亚太地区冬季海平面气压场出现纬向型振荡的正(负)位相模。

本文从长时间历史资料的分析得到了亚太地区冬季海平面气压场变化的基本特征和模态, 也

提到几个关键区的气压变化可能对天气气候异常有重要影响, 也初步探讨了北太平洋和印度洋海温异常对冬季海平面气压场振荡型模态形成的可能影响。进一步, 我们还将深入分析海温的影响过程及机理问题, 并做相应的数值模式研究, 加深对相关问题的认识。

参考文献 (References)

- Bjerknes J A. 1996. Possible response of the atmospheric Hadley circulation to equatorial anomalies of the ocean temperature [J]. *Tellus*, 18 (4): 820-829.
- 何卷雄, 张东凌, 曾庆存. 2005. 季风指数及其年际变 I. 环流强度指数 [J]. *气候与环境研究*, 10 (3): 323-340. He Juanxiong, Zhang Dongling, Zeng Qingcun. 2005. The monsoon indices and the inter-annual variations Part I: Circulation intensity indices [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (3): 323-340.
- 据建华, 陈琳玲, 李崇银. 2004. 太平洋—印度洋海温异常模态及其指数定义的初步研究 [J]. *热带气象学报*, 20 (6): 617-624. Ju Jianhua, Chen Linling, Li Chongyin. 2004. The preliminary research of Pacific-India Ocean sea surface temperature anomaly mode and the definition of its index [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 20 (6): 617-624.
- 李崇银. 2000. 气候动力学引论 [M]. 北京: 气象出版社, 515pp. Li Chongyin. 2000. Introduction of Climate Dynamics [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 515pp.
- Li C Y, Xian P. 2003. Atmospheric anomalies related to inter-decadal variability of SST in the North Pacific [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 20: 859-874.
- 李建平, 曾庆存. 2005. 一个新的季风指数及其年际变化和与雨量的关系 [J]. *气候与环境研究*, 10 (3): 351-364. Li Jianping, Zeng Qingcun. 2005. A new monsoon index, its interannual variability and relation with monsoon precipitation [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (3): 351-363.
- Namias J. 1963. Large-scale interaction over the North Pacific from summer (1962) through the subsequent winter [J]. *J. Geophys. Res.*, 68 (22): 6171-6186.
- 裴顺强, 李崇银. 2007. 东亚冬季风及其影响的进一步研究 I——东亚冬季风及其异常的特征 [J]. *气候与环境研究*, 12 (2): 124-129. Pei Shunqiang, Li Chongyin. 2007. A further study on the East Asian winter monsoon and its influences. Part I: Features of variation and anomaly [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 12 (2): 124-129.
- 钱维宏, 刘大庆. 2003. 中国北方百年四季降水形势与海平面气压形势 [J]. *地理学报*, 58 (增刊): 49-60. Qian Weihong, Liu Daqing. 2003. Relationships between four seasonal rainfall variability in northern China and SLP anomalies for the last century

- [J]. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 58 (suppl.): 49 - 60.
- 任菊章, 琚建华, 赵刚. 2003. 亚洲冬季地表气温与北半球海平面气压场的关系 [J]. *气候与环境研究*, 8 (4): 436 - 451. Ren Juzhang, Ju Jianhua, Zhao Gang. 2003. Relation between the winter surface air temperature fields in Asia and the Northern Hemisphere sea level pressure [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 8 (4): 436 - 442.
- Rogers G T. 1981. The North Pacific oscillation [J]. *J. Climate*, 11: 68 - 83.
- 施能, 邓自旺, 湛芸. 2000a. 近百年北半球冬季海平面气压场与冬季气温的多时间尺度相关 [J]. *南京气象学院学报*, 12 (4): 519 - 524. Shi Neng, Deng Ziwang, Cheng Yun. 2000a. On space/time structure of the 1884 - 1994 sea level pressure related to northern winter temperature at multi-time scales [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 12 (4): 519 - 524.
- 施能, 邓自旺, 潘蔚娟, 等. 2000b. 北半球冬季海平面气压场的气候基本态与气候变率特征及其影响的初步研究 [J]. *大气科学*, 24 (6): 795 - 803. Shi neng, Deng Ziwang, Pan Weijuan, et al. 2000b. A preliminary study of the northern winter SLP climate base state and its climate variability and effects [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 24 (6): 795 - 803.
- 魏凤英, 宋巧云, 韩雪. 2006. 近百年北半球海平面气压分部结构及其对长江中下游梅雨异常的影响 [J]. *自然科学进展*, 16 (2): 215 - 222. Wei Fengying, Song Qiaoyun, Han Xue. 2006. The distribution of sea level pressure for a hundred years and its influence on the Meiyu in mid and low reaches of the Yangtze River [J]. *Nature Science Development* (in Chinese), 16 (2): 215 - 222.
- 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 117 - 124. Wei Fengying. 2007. *The Technology of Statistical Diagnoses and Forecast in Modern Climate* [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 117 - 124.
- Walker G T, Bliss E W. 1932. World weather [J]. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4 (1): 53 - 84.
- World Climate Research Program. 1995. A study of climate variability and predictability [R]. WCRP - CLIVAR WCRP No. 69, WMO/TD No. 690.
- 杨辉, 李崇银. 2005. 热带太平洋—印度洋海温异常综合模对南亚高压的影响 [J]. *大气科学*, 29: 99 - 110. Yang Hui, Li Chongyin. 2005. The influence of anomalous sea surface temperature combined mode in the tropical Pacific-Indian Ocean on the South-Asian high [J]. *Chinese Atmospheric Sciences* (in Chinese), 29: 99 - 110.
- 叶笃正, 曾庆存, 郭格福. 1991. 当代气候研究 [M]. 北京: 气象出版社, 119 - 120. Ye Duzheng, Zeng Qingcun, Guo Gefu. 1991. *Modern Climate Research* [M] (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 119 - 120.
- 赵平, 张人禾. 2006. 东亚—北太平洋偶极型气压场及其与东亚季风年际变化的关系 [J]. *大气科学*, 30 (2): 308 - 315. Zhao Ping and Zhang Renhe. 2006. Relationship of interannual variation between an eastern Asia - Pacific dipole pressure pattern and eastern Asian monsoon [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 30 (2): 308 - 315.
- 朱益民, 杨修群. 2003. 太平洋年代际振荡同中国气候变率的联系 [J]. *气象学报*, 61 (6): 641 - 654. Zhu Yimin, Yang Xiuqun. 2003. Relationships between Pacific Decadal Oscillation (PDO) and climate variabilities in China [J] (in Chinese). *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 61 (6): 641 - 654.
- Zhang Z, Mann M E. 2005. Coupled patterns of spatial and temporal variability in Northern Hemisphere sea level pressure and continuous U. S. drought [J]. *J. Geophys. Res.*, 110, D03108, doi:10.1029/2004JD004896.