

赵巧莲, 李崇银, 李琳. 2013. 东亚经向型气压异常偶极模与冬季北太平洋关键区域海温的关系及其数值模拟试验 [J]. 气候与环境研究, 18 (2): 232–242, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.11170. Zhao Qiaolian, Li Chongyin, Li Lin. 2013. Relationship between the meridional dipole mode of sea level pressure anomalies in Asia–Pacific region and SST anomalies in the northwestern Pacific determined by sensitive experiments with general circulation model [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (2): 232–242.

东亚经向型气压异常偶极模与冬季北太平洋关键区域海温的关系及其数值模拟试验

赵巧莲^{1,2} 李崇银^{1,3} 李琳¹

¹ 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

² 解放军陆军航空兵学院, 北京 101123

³ 中国科学院大气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 进一步从资料分析和大气环流模式的敏感性试验, 对西北太平洋海温异常与亚太中高纬度地区冬季海平面气压异常经向偶极模的关系及影响进行了研究。资料分析表明, 对应冬季亚太地区海平面气压的经向 (ME) 型偶极模, 西北太平洋中高纬度海温异常的影响存在两个重要关键区。尤其是 (40°N~55°N, 150°E~160°W) 海区的海温异常与冬季东亚经向型气压偶极模指数 I_{ME} 有明显正相关, (20°N~35°N, 125°E~170°W) 海区的海温异常与指数 I_{ME} 有明显负相关。而上述两个关键海区的 SSTA 对经向型振荡模的影响, 主要是通过热通量异常的作用。敏感性模拟试验清楚表明, 西北太平洋关键区的海温异常对亚洲—太平洋地区冬季海平面气压场的经向偶极模有一定影响。区域 1 (42°N~62°N, 145°E~165°W) 的负异常相对于其自身的正异常来说, 对亚太地区海平面气压场的负经向偶极模贡献更大, 而区域 2 [(22°N~42°N, 135°E~175°E) 和 (26°N~42°N, 175°E~170°W)] 的正异常相对区域 1 的负异常来说对负经向偶极模的贡献更大一些。但是, 单独区域 1 的负异常海温和单独区域 2 的正异常海温影响下的海平面气压场响应的负经向偶极模都会有不同程度的位置偏移。当存在区域 1 的负异常海温和区域 2 的正异常海温相互匹配的情况下, 亚洲—太平洋地区冬季海平面气压场的负经向偶极模特征更为显著。

关键词 冬季海平面气压异常 经向偶极模 西北太平洋海温异常 大气响应 敏感性试验

文章编号 1006-9585 (2013) 02-0232-11

中图分类号 P461

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2013.11170

Relationship between the Meridional Dipole Mode of Sea Level Pressure Anomalies in Asia–Pacific Region and SST Anomalies in the Northwestern Pacific Determined by Sensitive Experiments with General Circulation Model

ZHAO Qiaolian^{1,2}, LI Chongyin^{1,3}, and LI Lin¹

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

² Army Aviation Institute, Beijing 101123

³ State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract Through data analyses and sensitive experiments with the general circulation model (GCM), the relationship and influence of the sea surface temperature anomalies (SSTA) in the North Pacific on the meridional dipole mode of sea

收稿日期 2011-11-01 收到, 2013-01-25 收到修定稿

项目资助 国家重点基础研究发展计划 2007CB411805

作者简介 赵巧莲, 女, 1985 年出生, 硕士, 助理讲师, 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.

通讯作者 李崇银, E-mail: lcy@lasg.iap.ac.cn

level pressure (SLP) in the Asia-Pacific region are studied in this paper. The data analyses show two critical regions of SSTA in the northwestern Pacific corresponding to the anomalous meridional dipole mode of the SLP in winter in the Asia-Pacific region. In particular, the SSTA in the (40°N–55°N, 150°E–160°W) region shows a positive correlation and that in the (20°N–35°N, 125°E–170°W) region shows a negative correlation to index I_{ME} of the meridional dipole mode of the SLP. The data analyses also show that the impact of SSTA in those two critical regions on the meridional dipole mode of the SLP in the Asia-Pacific region is mainly passed through the effect of heat flux anomalies. The results of sensitive experiments with the GCM show that the SSTA in two critical regions of the Northwestern Pacific play a specific role in exciting the meridional dipole mode of the SLP in winter in the Asia-Pacific region. In region I (42°N–62°N, 145°E–165°E), the negative SSTA is more effective than the positive SSTA in exciting the negative phase of the meridional dipole mode of the SLP; the positive SSTA in region II [(22°N–42°N, 135°E–175°E) and (26°N–42°N, 175°E–170°W)] is more effective than the negative SSTA in region I in exciting the negative phase of the meridional dipole mode of the SLP. However, the position of the excited negative meridional dipole mode of the SLP deviates a certain distance when there is negative SSTA in region I alone or positive SSTA in region II alone. Because the negative SSTA in region I coordinates with the positive SSTA in region II, the excited negative meridional dipole mode of the SLP is remarkable.

Keywords Sea-level pressure anomaly in winter, Meridional dipole mode, Sea surface temperature anomaly in the Northwestern Pacific, Atmospheric response, Sensitive experiment

1 引言

海—气相互作用是气候及气候变化研究的重要内容,而在对海—气相互作用的观测和研究中,人们发现有几个关键海区的海洋热力状况的改变对大气环流及气候异常的影响最为重要,其中一个即为 ENSO 事件发生的热带东太平洋海区。从 20 世纪 80 年代早期开始,越来越多的研究已经证明了 ENSO 现象对于全球气候变化的影响(Rasmusson and Wallace, 1983; 李崇银, 1985; Huang and Wu, 1989),因此 ENSO 也就成为大尺度海—气相互作用和全球气候变化问题研究的中心课题,受到国际科学界的广泛关注。到 20 世纪 90 年代,人们又相继注意到北太平洋的海表温度(SST)异常及其影响,尤其是在年代际时间尺度的变化及影响(Trenberth and Hurrelle, 1994; Mantua et al., 1997; Li, 1998; Li and Xian, 2003)。一些研究的分析还表明,北太平洋 SST 场除了包括对热带太平洋 SST 变化的遥响应之外,相当重要的部分是由该地区的大气环流所驱动的。Peng and Whitaker (1999)就大气对中纬度 SST 异常(SSTA)响应的物理机制研究进展进行了总结,并指出一些海洋关键区的确定需要更为仔细的研究,才能深入全面地搞清海气相互作用的机制。杨英和孙照渤(1995)的研究认为北太平洋海流区为中纬度北太平洋 SST 变化最活跃的海区,他们在研究中讨论了该海区 SST 异常与大气环流的相互关系,并与赤道中东太平洋 SST

异常和大气环流的相互关系进行了对比分析后发现,北太平洋海流区的 SST 异常与北半球大气的重要环流型—太平洋北美型(PNA)存在显著关系。

我国学者也对东亚和北太平洋地区冬季海平面气压(SLP)异常与 ENSO 及北太平洋 SSTA 的关系进行了不少的研究(李崇银和胡季, 1987; 李崇银, 1989; 陶诗言和张庆云, 1998; 王东晓和刘征宇, 2000; Wu and Hsieh, 2004)。李耀辉等(2000)的研究指出,在 El Niño 年海平面气压场的较强异常中心基本分布在较高纬度,如乌拉尔山及以东地区;而欧洲南部低压及阿留申低压等高纬度系统也异常加深;在 La Niña 年则情况基本相反。施能等(2000)的研究还表明近百年北半球冬季大尺度海平面气压场与北半球平均气温有非常密切的关系。任菊章等(2003)的研究指出,北太平洋海平面气压与亚洲大陆上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。咸鹏和李崇银(2003)的研究表明,北太平洋 SST 的变化主要是年代际时间尺度,而对应北太平洋 SST 的主要正、负异常模态,东亚及西北太平洋地区的海平面气压场有近乎相反的异常形势。这不仅说明北太平洋的 SSTA 对东亚 SLP 有明显影响,而且其影响规律也是值得深入研究。也有一些研究工作表明北太平洋西部海区的 SSTA 与亚太地区的大气环流以及我国的天气气候变化有一定的关系或影响(李永康, 1989; 赵永平和 Mcbean, 1995),而且也有用数值模拟试验讨论过其作用呵影响(况雪源等, 2009)。但是,相对来讲我们对与我国大陆临近海区异常的

影响研究及了解可能还不及对 ENSO 影响的研究及了解深入, 需要更多的关注和研究工作。

最近, 我们用旋转经验正交函数分解 (REOF) 方法对亚洲—太平洋区域 ($20^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $40^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{W}$) 的月平均海平面气压异常场进行分析, 发现冬季海平面气压的 REOF 场有 4 个主要分布区域, 如图 1 所示。可以看到, 高载荷区覆盖了亚太地区的绝大部分, 且相邻区域没有重叠。I 区位于亚洲东北部 ($60^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$) 地区, 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 ($35^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $85^{\circ}\text{E}\sim 110^{\circ}\text{E}$) 地区, IV 区位于阿留申群岛附近 ($50^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $170^{\circ}\text{E}\sim 165^{\circ}\text{W}$)。与冬季多年平均的海平面气压场及 500 hPa 位势高度场相对比可以发现, 这里的 I 区、III 区正好分别位于西伯利亚/蒙古冷高压的两个高压脊上, 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, IV 区位于阿留申低压稍偏东北的位置。同大气环流系统的配置特征表明, 它们分别有其物理意义。图 1 给出的 4 个高载荷区, 既在一定程度上反映了北太平洋涛动 (NPO) 的特征, 也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。很显然, REOF 分析结果在显示局地变化的相互关系方面要比 EOF 分析更为细致一些。

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 SLP 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 。从 4 个区域指数所作的相关分析表明, 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 0.05 的显

著性检验。说明了区域 I 和区域 II, 以及区域 III 和区域 IV 之间分别存在一种反位相变化的振荡关系, 我们把它们称之为经向偶极子和纬向偶极子气压振荡型。进一步的初步研究表明, 区域 I 和区域 II 所代表的经向 (ME) 型偶极模与北太平洋 SSTA 存在相对更为紧密地联系。

为了深入揭示冬季北太平洋海温与东亚经向型气压偶极模的关系, 这里我们将通过资料分析和数值模拟试验, 对其作进一步的研究。

2 资料与模式

本文采用英国气象局 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° (纬度) $\times 5^{\circ}$ (经度)。海表面温度资料也为 Hadley 气候预测和研究中心编辑的 1870 年 1 月至 2003 年 12 月全球海冰和海表面温度资料 (GISST2.2), 其分辨率为经纬网格距 1.0° (纬度) $\times 1.0^{\circ}$ (经度)。在分析大气环流形势时, 用了美国的再分析月平均数据资料集 (NCEP/NCAR, 1948~2008 年), 其空间水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^{\circ}$ (经度)。

考虑到模式计算的时间等问题, 本文选用中国科学院大气物理研究所 (IAP) 的第二代格点大气环流模式 (IAP-AGCM.II), 模式水平分辨率仍为 5° (纬度) $\times 4^{\circ}$ (经度), 垂直分为 9 层。该模式已在气候异常、低频振荡、ENSO、季风及古气候的研究中有广泛应用, 虽然分辨率不太高, 却有令人满意的模拟效果 (Liang, 1996; Lin et al., 2003; 郎咸梅和王会军, 2008)。

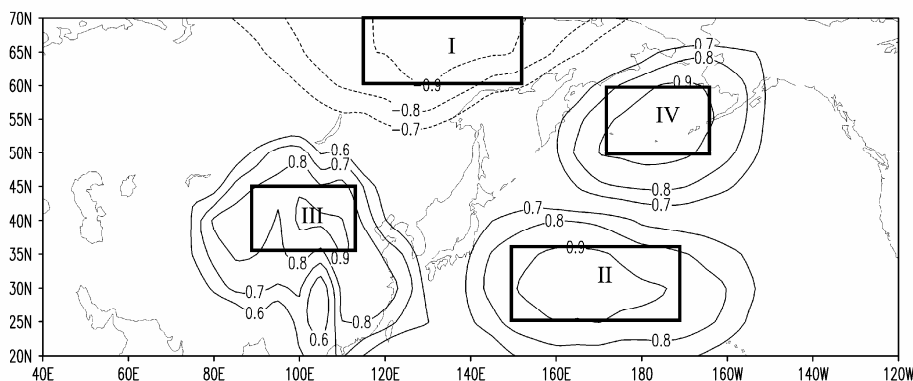


图 1 亚太地区冬季海平面气压异常场 REOF (旋转正交函数分解) 得到的 4 个高载荷区的地域分布

Fig. 1 Distribution of the four REOF high load regions for SLP anomalies over the Asia-Pacific area in winter

3 冬季北太平洋海温与东亚经向型气压偶极模

图 2 给出了冬季东亚经向型气压偶极模指数 (I_{ME}) 与同期冬季全球 SSTa 的相关系数分布。显然, 指数 I_{ME} 与西北太平洋中高纬度海区的 SSTa 有明显的相关, 尤其是在 ($40^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$) 海区有明显正相关, 在 ($20^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$) 海区有明显负相关。这在一定意义上说明西北太平洋中高纬度的海温异常对冬季亚太地区海平面气压的 ME 型偶极模有密切关系。

为进一步检验 ME 型偶极模与冬季海表温度异常的关系, 我们根据指数 I_{ME} 的年际变化情况, 选取一个标准差作为区分异常年的标准, 大于一个标准差的年份定为正、负异常指数年。然后, 分别对 I_{ME}

的正、负异常年的冬季海温异常进行了合成分析, 即得到指数正、负异常年冬季海温的异常形势 (图略)。图 3 给出了在指数 I_{ME} 的正、负异常年冬季海温异常的差值分布形势, 其分布特征在西北太平洋与前面讨论的相关系数的分布特征大体相似。这进一步表明, 上述西北太平洋两个海区的 SSTa 与亚太地区冬季海平面气压的经向偶极模有明显联系。

与大气对海洋的动力强迫不同, 海洋对大气的作用或影响主要是通过热力强迫; 而最为重要的物理过程应该是海—气界面的热交换 (输送)。因此, 为了认识西北太平洋两个关键海区 SSTa 对亚太地区冬季海平面气压异常 ME 型振荡模的影响, 我们分析给出了对应指数 I_{ME} 正异常年的感热通量异常和潜热通量异常的分布特征 (图 4)。由图 4 可以看到, 虽然在北太平洋东部存在感热通量异常和潜热通量异常的负值区, 但北太平洋西部的南北向偶极

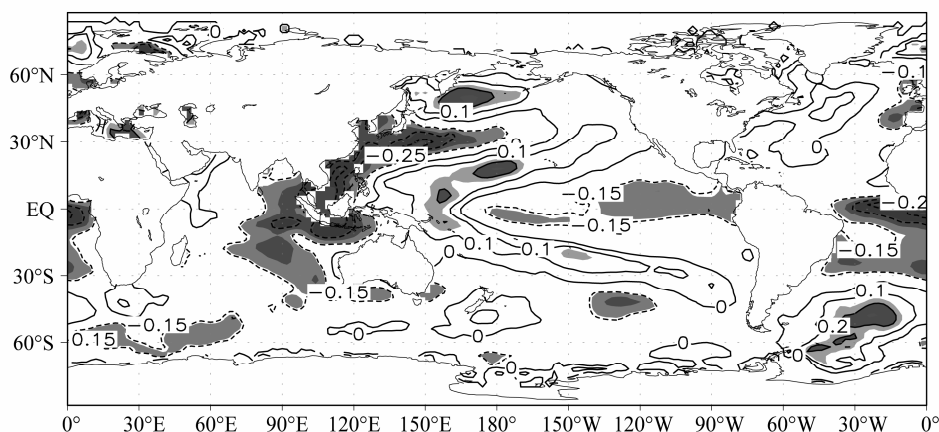


图 2 冬季指数 I_{ME} 与海温异常的相关分布 (阴影区通过 0.05 的显著性检验)

Fig. 2 The correlation of I_{ME} index and SSTa (the shadow indicates significance over 0.05 level)

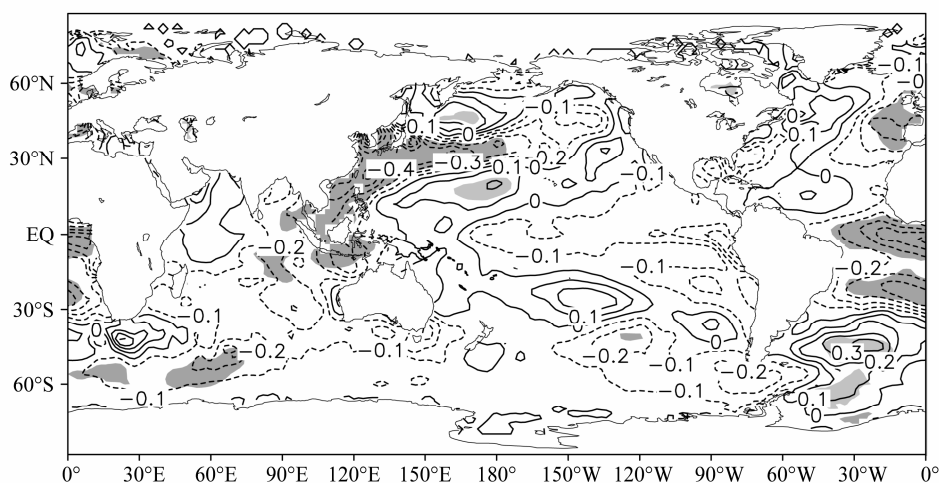


图 3 强 I_{ME} 正、负异常年冬季海温异常场 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 的差异 (阴影区通过 0.05 的显著性检验)

Fig. 3 The differences of SSTa (SST anomalies, units: $^{\circ}\text{C}$) between positive and negative anomalously strong I_{ME} years (the shadow indicates significance over 0.05 level)

型振荡的异常特征更是十分显著,而且它们与上面提到的两个关键海区的位置大体一致。因此可以认为,通过感热通量异常和潜热通量异常,西北太平洋两个关键海区的 SSTA 与亚太地区冬季海平面气压异常 ME 型振荡模存在密切联系;而对于较长时间尺度(季度—年尺度以上)来讲,主要应该是两个关键海区的 SSTA 影响气压场的 ME 模。

图 5 是对应 ME 型振荡的指数 I_{ME} 为正、负异

常年合成的净热通量异常之差的分布,可以看到在西北太平洋海区它与图 4 有类似的分布特征,其大值区与图 3 所示的两个主要海温关键区也相当一致。需要说明,因为我们重点是讨论西北太平洋海温的影响问题,图 4 和图 5 的范围就只是突出了太平洋海区。

从上面的分析结果可以认为,北太平洋两个关键海区的 SSTA 对亚太地区冬季海平面气压异常 ME

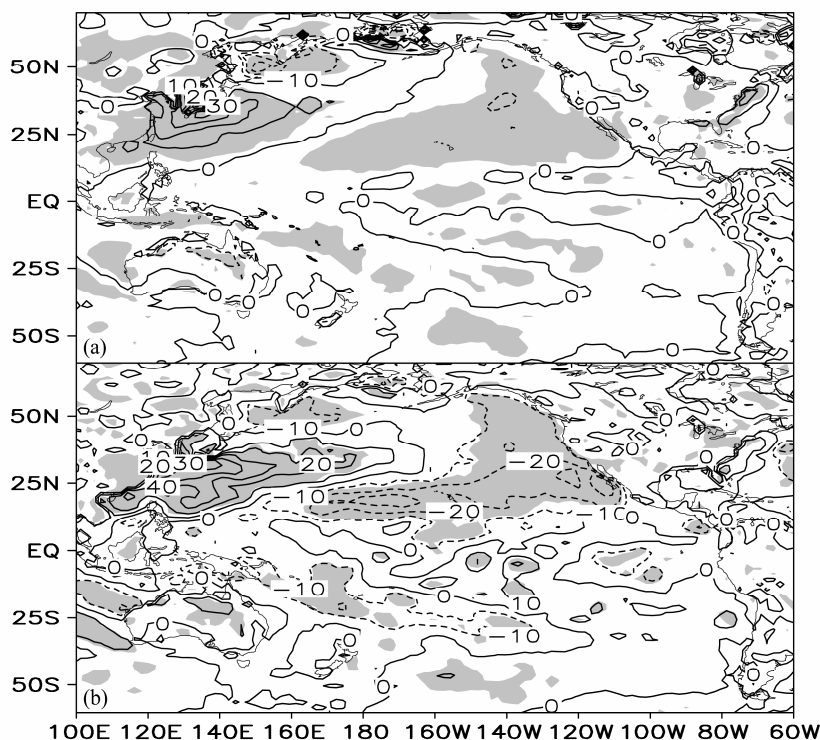


图4 I_{ME} 指数正异常年冬季的 (a) 感热通量异常 (单位: W/m^2) 和 (b) 潜热通量异常 (单位: W/m^2) 特征 (阴影区通过0.05的显著性检验)

Fig. 4 Distributions of the (a) sensible heat flux anomalies (W/m^2) and (b) latent heat flux anomalies (W/m^2) for positive anomaly year of the index I_{ME} (the shadow indicates significance over 0.05 level)

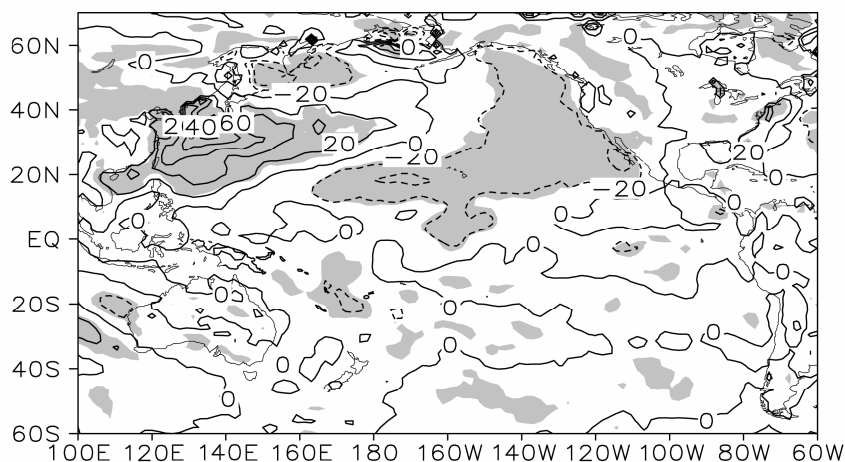


图5 指数 I_{ME} 正、负异常年冬季的净热通量异常的差值 (单位: W/m^2) 分布特征 (阴影区通过0.05的显著性检验)

Fig. 5 Distribution of the net heat flux anomaly differences (W/m^2) between positive and negative anomaly years of the index I_{ME} (the shadow indicates significance over 0.05 level).

型振荡模有明显的影响；而且，尽管是在中高纬度地区，通过热通量异常仍然是 SSTA 影响较长时间尺度海平面气压场和大气环流变化的重要途径之一。

4 数值模拟试验及结果

下面我们将利用 IAP 的 9 层大气环流模式进行大气环流对海温异常响应的敏感性试验，研究北太平洋两个关键海区 SSTA 对海平面气压场异常 ME 模的影响。

4.1 试验方案设计

控制试验：用 40 年气候平均 SST 场作为海温初始场，稳定积分 1 年后的输出场记为控制试验结果（输出 A 场）。模式积分时段为 2001 年 11 月 1 日 00:00（协调世界时，下同）至 2002 年 2 月 28 日 24:00。

异常强迫试验：基于冬季 (DJF) 气候平均 SST 场分别在西北太平洋两个关键海区人为加入的海温异常作为强迫场，其模式积分的输出场记为强迫试验结果（输出 B、C、D 场）。这里关键海区参照图 2 和图 3，分别定义为区域 1 和区域 2（图略），区域 1 为 (42°N~62°N, 145°E~165°W)；区域 2 包括 (22°N~42°N, 135°E~175°E) 和 (26°N~42°N, 175°E~170°W)。在模式积分时段到 2001 年 11 月 1 日分别加入异常强迫海温场，再积分到 2002 年 2 月 28 日 24:00。数值模拟试验方案说明见表 1。

表 1 模拟试验方案说明

Table 1 Numerical simulation schemes

方案名称	积分时段	海平面温度	输出场
控制试验 CT	2001 年 11 月 1 日至 2002 年 2 月 28 日	40 年 SST 气候平均	A
异常试验 M1	2001 年 11 月 1 日至 2002 年 2 月 28 日	区域 1 加正异常 1 °C	MB1
异常试验 M2	2001 年 11 月 1 日至 2002 年 2 月 28 日	区域 1 加负异常 1 °C	MB2
异常试验 M3	2001 年 11 月 1 日至 2002 年 2 月 28 日	区域 2 加负异常 1 °C	MC1
异常试验 M4	2001 年 11 月 1 日至 2002 年 2 月 28 日	区域 2 加正异常 1 °C	MC2
异常试验 M5	2001 年 11 月 1 日至 2002 年 2 月 28 日	区域 1 正异常 1 °C 和区域 2 负 异常 1 °C	MD1
异常试验 M6	2001 年 11 月 1 日至 2002 年 2 月 28 日	区域 1 负异常 1 °C 和区域 2 正 异常 1 °C	MD2

基于一般数值模拟试验的分析方法，用异常海温强迫试验的输出场与控制试验输出场的差值视为大气对异常外源强迫的响应场。因此，MB-A 场为冬季大气对区域 1 海温异常的响应场，MC-A 场为冬季大气对区域 2 海温异常的响应场，MD-A 场为冬季大气对区域 1 和区域 2 海温异常呈现匹配形势时的响应场。这里强迫试验 M1 和 M2，是要对比在区域 1 分别有正、负海温异常时的响应差异；强迫试验 M3 和 M4，是要对比在区域 2 分别有负、正海温异常时的响应差异；强迫试验 M5 和 M6，是要对比在区域 1 有正 SSTA 和区域 2 有负 SSTA 与区域 1 有负 SSTA 和区域 2 有正 SSTA 情况下的大气响应特征。通过上述模拟试验及对比分析，将能基本揭示西北太平洋关键海区的 SSTA 对亚太地区冬季海平面气压异常 ME 型振荡模的影响。

4.2 控制试验 (CT) 结果分析

从冬季气候平均 SST 条件下所模拟的海平面气压场（图 6）来看，模式比较好的模拟了冬季海平面气压场的基本平均气候态。这表现在，北半球冬季几个主要的大气活动中心反映的都比较准确，阿留申低压、西伯利亚—蒙古高压、以及冰岛低压的位置和形态与观测值都比较吻合。只是与观测的气候平均态相比，西伯利亚—蒙古冷高压的强度略小，格陵兰高压也偏弱。在 850 hPa 上日本以东洋面的东亚急流比较好的反映出来，风场走势与实际接近，但强度整体偏强（图略）。在 500 hPa 高度场上（图略），极涡中心在靠近切尔斯基山附近几乎要分裂为两个，东亚大槽、北美大槽以及欧洲大槽的位置与观测较为一致。

4.3 异常强迫试验结果分析

下面我们将讨论异常强迫试验的一些结果，从而进一步确认西北太平洋关键海区的海温异常对冬季亚太地区 ME 型偶极模的影响。

4.3.1 区域 1 海温异常的模拟试验

在我们设计的几组异常强迫试验中，M1 (M2) 异常试验的重要目的是为了验证当区域 1（即堪察加半岛以南洋面）的海温出现正（负）异常时，大气环流的响应情况。图 7 给出的是 M1 (M2) 异常试验分别得到的冬季海平面气压场的响应形势，为了更清楚反映太平洋的情况，我们这里及其后的图只给出了 30°E~60°W 的形势。从图 7 上图可以看到当区域 1 海温有正异常时，海平面气压场的 ME 型模态没有表现出明显的响应，西伯利亚冷高压北

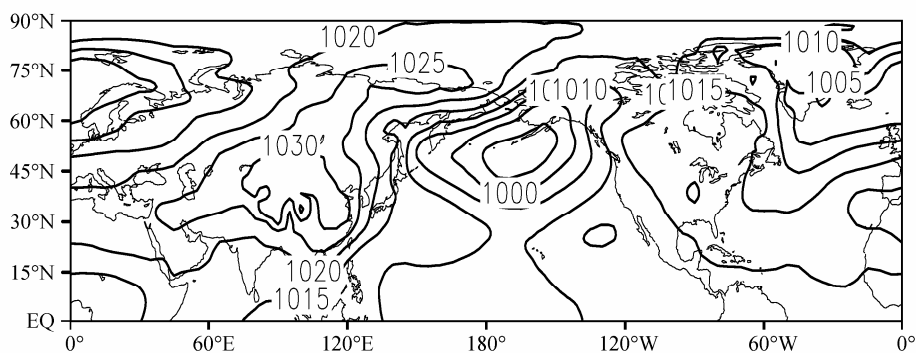


图 6 模式模拟的 1 月海平面气压 (单位: hPa) 的气候平均态

Fig. 6 The simulated mean SLP (hPa) pattern in January

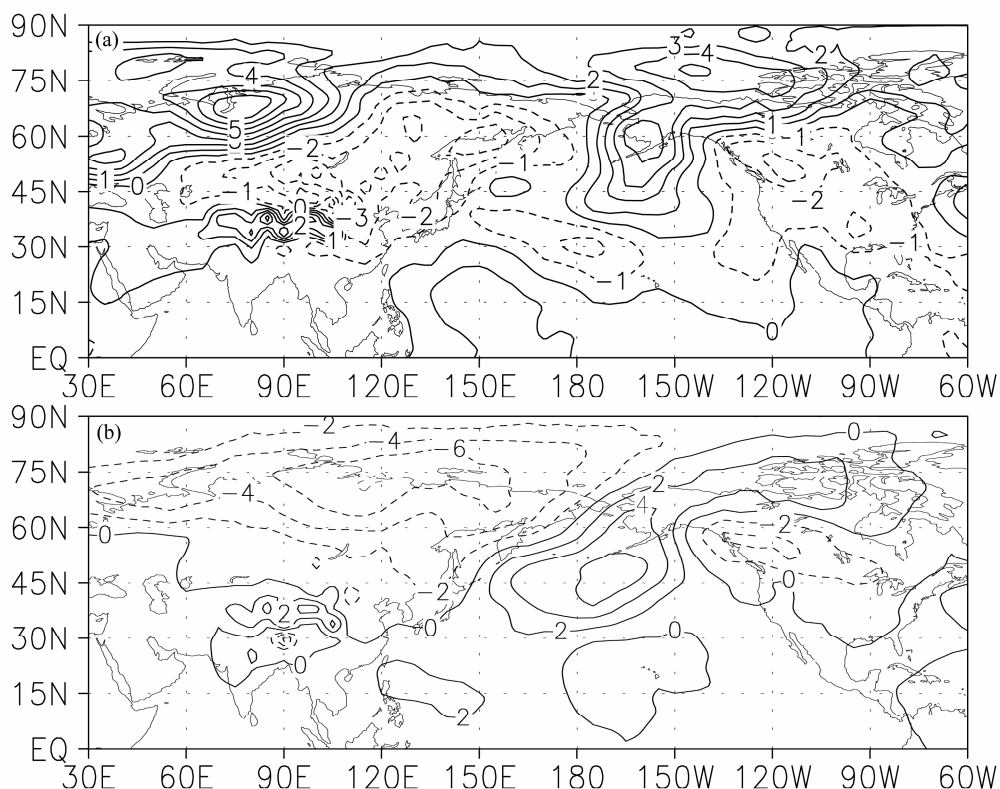


图 7 (a) M1 和 (b) M2 异常试验得到的海平面气压异常 (单位: hPa) 形势

Fig. 7 The simulated anomalous SLP (hPa) pattern in experiments (a) M1 and (b) M2

半部有减弱,但也有增强的区域;同时北太平洋副热带地区既有气压升高的区域,也有气压降低的区域。特别值得注意的是海平面气压异常的整体形势表现为显著的负纬向(ZO)模态,关于ZO模态参见赵巧莲等(2011),这主要是因为ME模拟试验的中区域1与北太平洋有部分区域重合,而北太平洋海区恰好又是与ZO模相关极高的关键区。因此,当区域1海温有正异常时,会出现强的ZO型负异常模态(西伯利亚—蒙古冷高压的南半部减弱,阿留申低压减弱)。而当区域1有海温负异常时,海平面气压异常(图7b)整体表现为显著的负

ME型响应,只是南部的正异常中心相对有向东北方向的偏移,北部负异常中心的西边界有向乌拉尔山地区的大范围扩展;在此情况下,ZO型模态没有特别显著的响应。

以上结果说明,区域1的海温负异常对海平面气压异常的ME型模的负异常影响更大一些;区域1的海温正异常则对ME型模的正异常没有显著的影响,反而对ZO型模的负异常有较大的影响。

虽然本文是研究海平面气压场对西北太平洋关键海区温度异常的响应,但进一步分析表明500 hPa位势高度场对区域1的海温异常也出现有明显的响

应(图略)。特别值得注意的是,当区域 1 有海温正(负)异常时,北极地区出现高度正(负)距平,PNA 波列十分显著(相对较弱)。

4.3.2 区域 2 海温异常的模拟试验

本文 M3(M4) 异常试验的目的是为了验证区域 2(即西北太平洋中纬度海区)的海温出现负(正)异常时,大气环流尤其是亚洲—太平洋地区大气环流的响应情况。从图 8 可以看出,当区域 2 有负异常海温时,海平面气压场异常有显著的 ME 型负异常特征,但是太平洋中纬度地区的正异常略向东北方向的偏移;同时,也还存在 ZO 振荡型海平面气压异常特征。而对于区域 2 有正异常海温时,海平面异常气压场有更为显著的 ME 型负异常特征;而 ZO 振荡型海平面气压异常特征相对不明显。

以上结果说明,当区域 2 海温有负异常时,并不一定会有冬季海平面气压正异常 ME 模的出现,这说明仅有区域 2 的海温负异常对其并不造成决定性的影响。当区域 2 的海温有正异常时,海平面气压场的响应表现为显著的负 ME 型特征,只是位置略微向东偏移。

500 hPa 位势高度场对区域 2 的海温异常的响

应与对区域 1 海温异常的响应又有所不同(图略),无论是区域 2 有正海温异常还是负海温异常,在极地附近地区都几乎为负位势高度异常所控制。然而对应区域 2 的海温负异常,500 hPa 上大气 PNA 型波列相当明显;对应区域 2 的海温正异常,500 hPa 上大气 PNA 型波列却不太显著。

4.3.3 区域 1 和区域 2 海温相匹配异常时的模拟试验

从上面的分析我们可以看到,单独在区域 1 或单独在区域 2 有海温异常出现时,亚洲—太平洋地区海平面气压场的响应都没有十分典型的 ME 型振荡模与之对应。下面我们将讨论两个关键海区有相互匹配的海温异常出现时,气压场的响应情况。

图 9 给出了当区域 1 出现海温正异常同时区域 2 出现海温负异常时,数值模拟得到的海平面气压异常场的分布形势。我们可以看到,亚洲—太平洋地区副热带有弱的气压正异常,中高纬度的气压响应是南面有负异常、北面有正异常,其 ME 型模态不是特别典型,但还是存在一定的正 ME 模的特征。这说明,当区域 1 出现海温正异常同时区域 2 出现海温负异常时,冬季亚太地区海平面气压响应场会出现正 ME 型模态的特征,尽管不是特别显著。在 500 hPa 上(图略),可以看到亚太中高纬度地区的

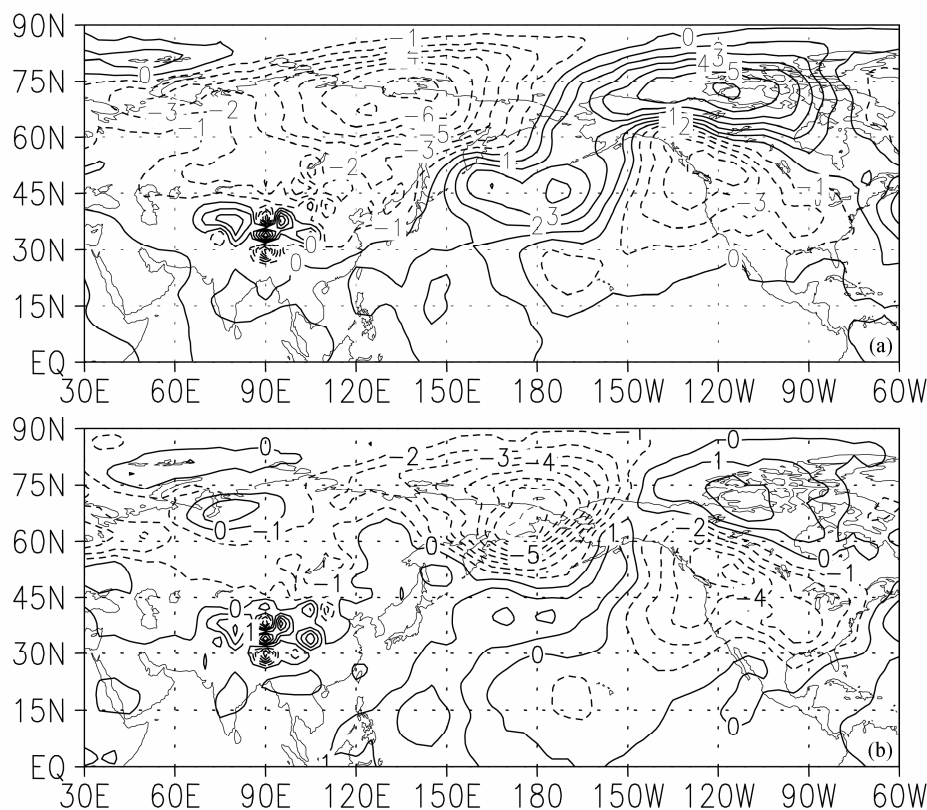


图 8 (a) M3 和 (b) M4 异常试验得到的海平面气压异常(单位: hPa) 形势

Fig. 8 The simulated anomalous SLP (hPa) pattern in experiments (a) M3 and (b) M4

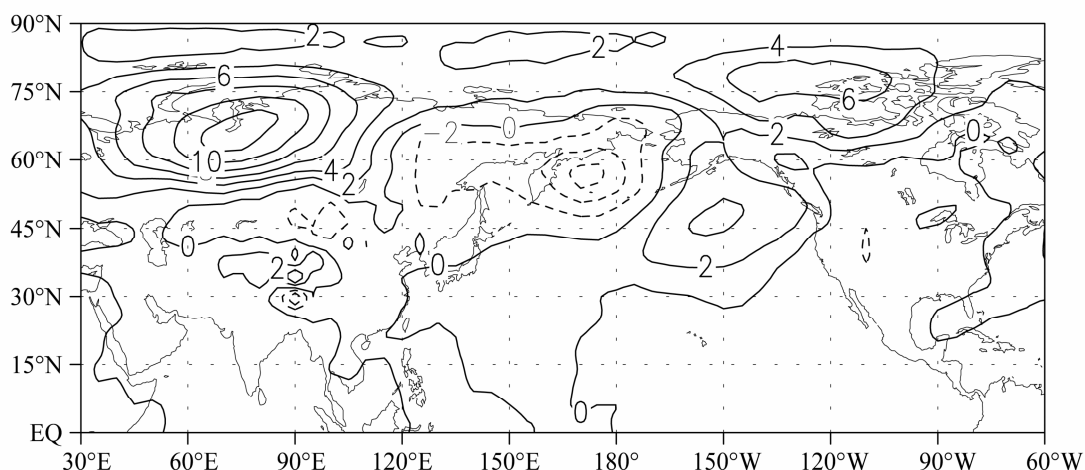


图9 M5异常试验所得到的海平面气压异常(单位:hPa)形势

Fig. 9 The simulated anomalous SLP (hPa) pattern in experiment M5

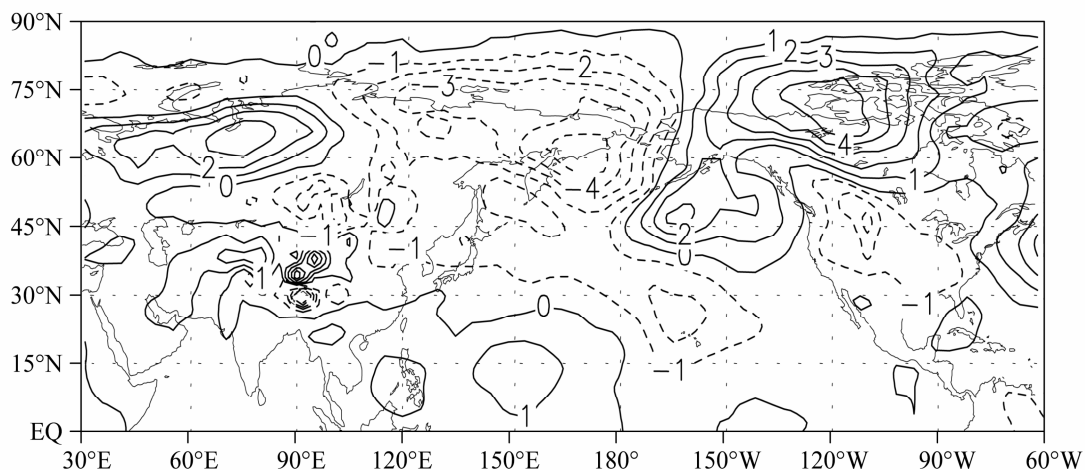


图10 M6异常试验所得到的海平面气压异常(单位:hPa)形势

Fig. 10 The simulated anomalous SLP (hPa) pattern in experiment M6

位势高度场响应以负异常为主, 副热带地区以正异常为主, 但其强度都比较弱。

当区域1出现海温负异常同时区域2出现海温正异常时, 亚洲—太平洋地区海平面气压场的响应出现了较为显著的负ME型模的特征。其中又以中高纬度大范围的负异常为主要特征, 副热带地区有正异常中心, 只是位置偏南且强度较弱(图10)。分析500 hPa位势场的响应场, 可以清楚看到大气环流异常的PNA、NPO遥相关型非常显著(图11); 而且500 hPa位势场的响应场与低层响应场有较好的对应关系。

前面第3节的资料分析结果已清楚表明, 与冬季海平面气压ME型模态相关联, 区域1的海温异常与指数 I_{ME} 为正相关, 而区域2的海温异常与指数 I_{ME} 为负相关。M5和M6的异常强迫试验结果表明, 区域1和区域2有相互配合的海温异常同时

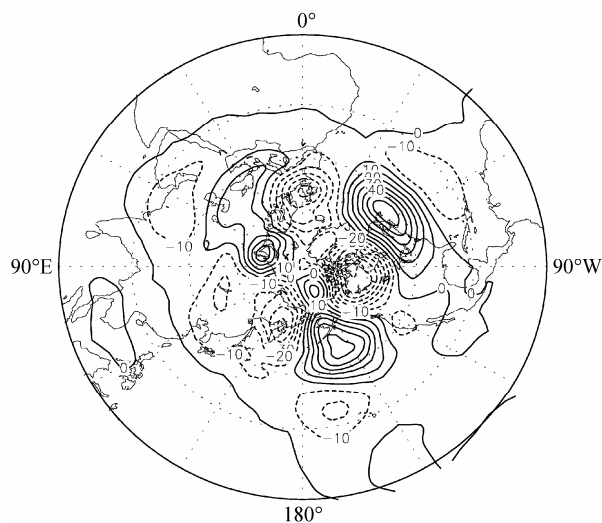


图11 M6异常试验所得到的500 hPa高度场(单位:m)响应形势

Fig. 11 The response of geopotential height (m) at 500 hPa in experiment M6

出现时, 比较有利于冬季海平面气压 ME 型模态的激发产生, 特别是当区域 1 出现海温负异常、同时区域 2 出现海温正异常时, 亚洲—太平洋地区海平面气压场的响应会出现显著的负 ME 型模态。

因此, 已有的数值模拟试验清楚表明, 西北太平洋一些关键海区的 SSTA 对于激发产生大气环流的特别模态有重要的作用, 这是大气对外强迫响应的基本特性。我们这里的敏感性试验进一步说明, 关键海区海温的匹配性异常, 对于激发大气环流特定异常型的产生作用更为重要。

5 结语和讨论

本文的资料分析表明, 对应冬季亚太地区海平面气压的 ME 型偶极模, 西北太平洋中高纬度海温异常存在两个重要关键区。特别是 ($40^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $150^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$) 海区的海温异常与经向型偶极模指数 I_{ME} 有明显正相关, ($20^{\circ}\text{N}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E}\sim 170^{\circ}\text{W}$) 海区的海温异常与指数 I_{ME} 有明显负相关。表明在研究亚太地区大气环流或天气气候异常与西北太平洋 SSTA 的关系时, 需要细致考虑 SSTA 的分布特征, 不宜将其看成一个统一的分布。

关键海区 SSTA 的分布特征、感热通量和潜热通量异常的分布特征以及它们与 ME 型振荡模指数的关系的分析结果还进一步表明, 不仅西北太平洋两个关键海区的 SSTA 和亚太地区冬季海平面气压异常 ME 型振荡模存在密切联系; 而且尽管在中高纬度地区, 对于较长时间尺度 (季度—一年尺度以上) 来讲, 通过感热通量异常和潜热通量异常, 应该是两个关键海区的 SSTA 影响亚太地区冬季海平面气压场的 ME 模。

敏感性模拟试验清楚表明, 西北太平洋关键区的海温异常对亚洲—太平洋地区冬季海平面气压场的经向偶极模有一定的影响。区域 1 的负异常相对于其自身的正异常来说, 对亚太地区海平面气压场的 ME 偶极模贡献更大, 而区域 2 的正异常相对区域 1 的负异常来说对负 ME 偶极模的贡献更大一些。但是, 单独区域 1 的负异常海温和单独区域 2 的正异常海温影响下的海平面气压场响应的负 ME 偶极模都会有不同程度的位置偏移。

当存在区域 1 的负异常海温和区域 2 的正异常海温相互匹配的情况下, 亚洲—太平洋地区冬季海平面气压场的负 ME 偶极模特征更为显著。这清楚

地表明, 关键海区海温异常的分布特征, 或者说某种组合性海温异常型将会对大气环流及天气气候异常产生更为显著的影响。同时, 模拟结果在一定程度上说明了资料分析的结果, 即“近半个世纪以来, 亚太地区冬季海平面气压的偶极型振荡主要表现为 ME 型负异常和 ZO 型正异常多发的特征”, 其原因主要在于西北太平洋关键区的海温异常分布特征。

对于亚太中高纬度地区冬季海平面气压异常, 通常大家比较关注 ZO 偶极模, 因为它与大气半永久活动中心阿留申低压联系密切。我们在已有研究中已经指出, 亚太中高纬度地区冬季海平面气压异常除纬向偶极模之外实际上还存在 ME 偶极模。本文进一步就西北太平洋海温异常与亚太中高纬度地区冬季海平面气压异常经向偶极模的关系及影响, 从资料分析和大气环流模式的敏感性试验进行了研究。虽然有一些新的结果, 但模拟试验相对较为简单, 最好是用海—气耦合模式进行模拟试验, 这是进一步需要做的工作, 因为关键海区 SSTA 对大气环流和气候的影响, 无论在理论上还是在实际应用上都非常有意义。

参考文献 (References)

- Huang R H, Wu Y F. 1989. The influence of ENSO on the summer climate change in China and its mechanism [J]. *Advances Atmospheric Sciences*, 6: 21–32.
- 况雪源, 张耀存, 刘健, 等. 2009. 冬季黑潮暖流区加热异常对东亚副热带西风急流影响的数值研究 [J]. *大气科学*, 33 (1): 81–89. Kuang Xueyuan, Zhang Yaocun, Liu Jian, et al. 2009. A numerical study of the effect of anomalous surface heating in the Kuroshio current region in winter on the East Asian subtropical westerly jet [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Science (in Chinese)*, 33 (1): 81–88.
- 郎咸梅, 王会军. 2008. 利用气候模式能够预测西北太平洋台风活动的气候背景吗? [J]. *科学通报*, 53 (14): 1702–1708. Lang Xianmei, Wang Huijun. 2008. Can the climate background of western North Pacific typhoon activity be predicted by climate model? [J]. *Chinese Science Bulletin*, 53 (15): 2392–2399.
- 李崇银. 1985. 厄尼诺与西太平洋台风活动 [J]. *科学通报*, 30 (14): 1087–1087. Li Chongyin. 1985. El Niño and western Pacific typhoon activity [J]. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 30 (14): 1087–1087.
- 李崇银. 1989. 中国东部地区的暖冬与 El Niño [J]. *科学通报*, 34 (4): 283–286. Li Chongyin. 1989. Warmer winter in eastern China and El Niño [J]. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 34: 1801–1805.
- Li C Y. 1998. The quasi-decadal oscillation of air–sea system in the northwestern Pacific region [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 15: 31–40.

- 李崇银, 胡季. 1987. 东亚大气环流与厄尼诺相互影响的一个分析研究 [J]. 大气科学, 11 (4): 359–364. Li Chongyin, Hu Ji. 1987. A study on interaction between the East-Asia atmospheric circulation and El Niño [J]. Chinese Journal of Atmospheric Science (in Chinese), 11 (4): 359–364.
- Li C Y, Xian P. 2003. Atmospheric anomalies related to interdecadal variability of SST in the North Pacific [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 20: 859–874.
- 李耀辉, 李栋梁, 赵庆云, 等. 2000. ENSO 对中国西北地区秋季异常降水的影响 [J]. 气候与环境研究, 5 (2): 205–213. Li Yaohui, Li Dongliang, Zhao Qingyun, et al. 2000. Effect of ENSO on the autumn rainfall anomaly in Northwest China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 5 (2): 205–213.
- 李永康. 1989. 黑潮海温与我国汛期降水及东亚高空流场的统计分析[J]. 气象科学, 9 (3): 263–275. Li Yongkang. 1989. The influence of SST at Kuroshio on precipitation in China during rainy season and relationship between SST and main circulation over East Asia [J]. Scientia Meteorologia Sinica (in Chinese), 9 (3): 263–275.
- Liang X Z. 1996. Description of a nine-level grid point atmospheric general circulation model [J]. Advances Atmospheric Sciences, 13: 269–298.
- Lin Z H, Zhang M, Liang D Q, et al. 2003. Dynamical framework with blocking topography coordinates for atmospheric GCM and its validation [J]. Chinese Science Bulletin, 48 (2): 9–17.
- Mantua N J, Hovre S R, Zhang Y, et al. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78: 1069–1079.
- Peng S L, Whitaker J S. 1999. Mechanisms determining the atmospheric response to midlatitude SST anomalies [J]. J. Climate, 12: 1393–1407.
- Rasmusson E M, Wallace J M. 1983. Meteorological aspects of El Niño/Southern Oscillation [J]. Science, 222: 1195–1202.
- 任菊章, 据建华, 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.
- 施能, 邓自旺, 潘蔚娟, 等. 2000. 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. 2000. A preliminary study of the northern winter SLP climate base state and its climate variability and effects [J]. Chinese Journal of Atmospheric Science (in Chinese), 24 (6): 795–803.
- 陶诗言, 张庆云. 1998. 亚洲冬夏季风对 ENSO 事件的响应 [J]. 大气科学, 22: 399–407. Tao Shiyan, Zhang Qingyun. 1998. Response of Asian winter and summer monsoon to ENSO events [J]. Chinese Journal of Atmospheric Science (in Chinese), 22: 399–407.
- Trenberth K E, Hurrelle J W. 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific [J]. Climate Dyn., 1994, 9: 303–319.
- 王东晓, 刘征宇. 2000. 太平洋年代际海洋变率的信号通道 [J]. 科学通报, 45: 808–815. Wang Dongxiao, Liu Zhengyu. 2000. The pathway of the interdecadal variability in the Pacific Ocean [J]. Chinese Science Bulletin, 45 (17): 1555–1561.
- Wu A, Hsieh W W. 2004. The nonlinear association between ENSO and the Euro-Atlantic winter sea level [J]. Climate Dyn., 22 (8): 2061–2070.
- 咸鹏, 李崇银. 2003. 北太平洋海温变化的年代际模及其演变特征 [J]. 大气科学, 27: 861–869. Xian Peng, Li Chongyin. 2003. Interdecadal modes of sea surface temperature in the North Pacific Ocean and its evolution [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27: 861–869.
- 杨英, 孙照渤. 1995. 中纬度北太平洋 SST 异常与大气环流的关系 [J]. 南京气象学院学报, 18: 192–199. Yang Ying, Sun Zhaobo. 1995. Middlelatitude north Pacific SSTA in relation to atmospheric circulations [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 18 (2): 192–199.
- 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.
- 赵永平, Mcbean G A. 1995. 黑潮海域海洋异常加热与北半球大气环流的相互作用 [J]. 海洋与湖沼, 26 (4): 383–388. Zhao Yongping, Mcbean G A. Air-sea interaction between the Kuroshio region marine heating anomaly and Northern Hemisphere atmospheric circulation [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica (in Chinese), 26 (4): 383–388.