

太平洋西部遥相关型与赤道中东太平洋海温的关联性和独立性*

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 利用美国国家环境预测中心和国家大气研究中心的再分析资料, 研究了太平洋西部遥相关型(WP)与赤道中东太平洋海温之间的关系。结果表明: WP型与赤道中东太平洋海温不但存在同时相关, 而且海温超前WP型4到5个月时这种关系已非常显著, WP型可能是联系赤道中东太平洋海温与东亚冬季风的一个桥梁。但是另一方面, WP型又相对独立于海温, 它的两个中心具有不同的持续性, WP型自身并不由海温决定, 大气内部动力过程对于WP型的存在有重要作用。

关键词 WP遥相关型 海温 冬季风

大气遥相关型对气候异常起着重要的影响作用, 因而在过去的20多年里得到了广泛的研究。Wallace等^[1]用500 hPa高度场资料确定了在北半球冬季存在5种遥相关型, 分别为太平洋北美型(PNA)、太平洋西部型(WP)、大西洋西部型(WA)、大西洋东部型(WE)以及欧亚型(EU)。施能^[2]和吴洪宝等^[3]对北半球冬季遥相关型的性质做过研究, 从不同角度揭示了遥相关型的时间演变及空间变化特征, 但都侧重于PNA, WA和EU等几种遥相关型的研究。直到目前, 还没有专门针对WP遥相关型的研究。WP型位于西北太平洋上空, 它的异常很有可能与东亚地区冬季的大气环流有关联, 并进而对该地区的气候产生影响。我们^[1]曾经指出, WP型与东亚冬季风存在一定的联系, WP型呈现南正北负异常时东亚冬季风偏弱, 相反, 当WP型呈现北正南负异常时东亚冬季风偏强。因此, 研究WP型的变化规律及其与大尺度环流场的关系, 对我们更加深入地了解我国乃至东亚地区冬季的气候异常意义重大。

ENSO对于全球许多地区的气候异常有重要影响。近来一些研究^[4-9]通过统计分析及数值模拟指出, ENSO与东亚冬季风之间存在相互作用的关系。一方面, 强(弱)冬季风可以激发赤道中西太平洋异常西(东)风, 进而造成El Niño(La Niña)事件的爆发; 另一方面, El Niño(La Niña)事件的爆发又通过大气遥响应促使当年冬季风偏弱(偏强)。梁巧倩等^[10]指出, 超前两个月左右的赤道东太平洋海温对后期东亚冬季风的遥相关影响作用最显著。虽然ENSO可以通过大气遥响应影响东亚冬季风, 但影响的具体过程尚不清楚。由于WP型所处的地理位置及其与东亚冬季风存在的相关关系, WP型是否能在ENSO与东亚冬季风的相互影响过程中起到某种中间作用呢? 基于上述问题, 本文将利用观测资料研究WP型与海温、东亚冬季风的关系。

1 资料和计算方法

1.1 使用的资料

NCEP/NCER再分析资料集中的全球 $2.5^{\circ} \times$

2005-12-02 收稿, 2006-03-01 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 40475025)

** 通讯作者, E-mail: lr@mail.iap.ac.cn

1) 李勇, 何金海, 周兵, 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温和降水的关系(待发)

2.5°网格点 500 hPa 高度场、海平面气压场(取 1948—2002 年);英国 University of East Anglia 气候研究室的(5°×10°)北半球月海平面气压资料(取 1951—2000 年);Climate Diagnostics Center 的 NOAA Extended Reconstructed SST(2°×2°)逐月资料(取 1948—2002 年);中国国家气象中心的全国 160 站温度资料(取 1951—2000 年)。

1.2 各指数计算方法

WP 指数采用 Wallace 等^[1]的计算方法,即 $I_{wp} = [Z'(30^{\circ}\text{N}, 155^{\circ}\text{E}) - Z'(60^{\circ}\text{N}, 155^{\circ}\text{E})]/2$ (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 指数采用 Nino3 区(5°S—5°N, 150°W—90°W)的海表温度异常表示。冬季风选用施能^[11]定义的指数,即 20°—50°N(7 个纬带)的 110°E 与 160°E 的季的标准化海平面气压差的和,所得序列再进行标准化处理。所有的分析都是针对冬季进行的,而冬季是指 12 月以及随后的 1 月和 2 月。

由于任一气象变量可能同时受到多个因子的影响,为了尽可能真实地反映各因子与冬季风之间的关系,在研究 WP 型与东亚冬季风和 ENSO 的关系时,采用了计算偏相关系数的方法。理论上,假设有 3 个随机变量 X_1, X_2, X_3 满足正态分布, X_2 和 X_3 都与 X_1 有关,那么 X_1 与 X_2 之间的偏相关系数 $\rho_{12.3}$ 就是指当 X_3 不变时 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。

计算公式:

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

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 之间的简单相关系数。

2 WP 遥相关型与赤道中东太平洋海温的关联性

根据经过标准化的 WP 指数选取正负异常年份(以一个标准差作为标准)各 10 年进行合成分析。10 个正异常年(呈现南正北负异常)分别为 1951/1952, 1965/1966, 1968/1969, 1972/1973, 1978/1979,

1982/1983, 1986/1987, 1987/1988, 1988/1989 和 2000/2001; 10 个负异常年(呈现北正南负异常)分别为 1955/1956, 1956/1957, 1961/1962, 1962/1963, 1967/1968, 1973/1974, 1980/1981, 1983/1984, 1990/1991 和 1996/1997。由图 1 所示,在 WP 型异常情况下,赤道中东太平洋及中纬度西北太平洋海温存在显著差异,赤道中东太平洋最大差值中心超过 1.8°C,相反在北太平洋有一负的差值区。特别是热带太平洋,超过 95% 显著水平的区域不仅包括了 Niño3 区,甚至扩展到整个赤道中东太平洋区域,说明 WP 型与赤道中东太平洋海温存在密切关系。

已有的研究^[12]表明,与南方涛动相联系的高度场存在类似 PNA 型和 WP 型的遥相关结构。当 Niño3 区海温异常时,500 hPa 高度场在东北太平洋及美洲地区对应 PNA 遥相关型的异常环流,而在西北太平洋则对应 WP 遥相关型的异常环流,高纬度与中低纬度出现相反的高度异常。当赤道中东太平洋海温偏高时,西北太平洋高纬负异常而中低纬出现正异常,有利于 WP 型南正北负异常的维持。相反,当赤道中东太平洋海温偏低时,西北太平洋高纬正异常而中低纬出现负异常,有利于 WP 型北正南负异常的维持(图略)。当 El Niño 事件发展到盛期冬季的时候,WP 型异常甚至可能比 PNA 型异常更显著^[13]。

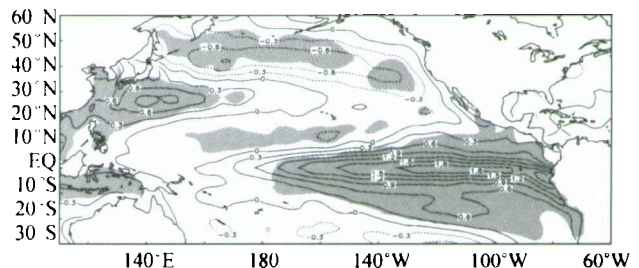


图 1 正负 WP 指数时海温差值场

(单位:摄氏度)(阴影区域表示超过 95% 信度水平)

我们还计算了 WP 指数与逐月 Niño3 指数之间的超前滞后相关系数。由图 2 可见,春季的海温与后期冬季 WP 型相关性很弱,但是到了 7 月份,两者相关系数迅速增加,9 月份相关程度进一步增加,并一直维持到随后的 1 月份,然后迅速减小。从夏季 7 月开始, Niño3 区海温与后期冬季 WP 遥相关型的显著相关关系一直持续到冬季结束(即下一年 2 月),超过了 99% 显著性水平。Niño3 区海温超前

WP型的相关关系,说明海温的异常升高(降低)可能有助于WP型的南正北负(北正南负)异常。

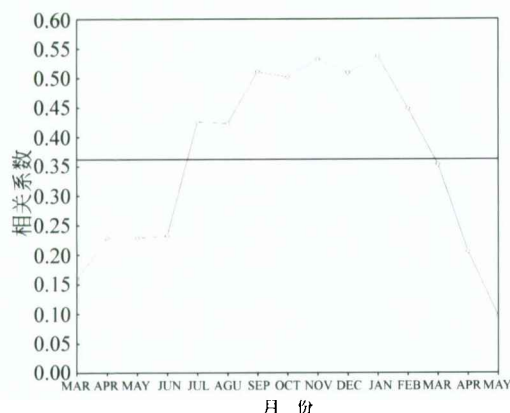


图2 冬季WP指数与逐月Nino3指数的超前/滞后相关曲线
(横线表示99%统计显著性水平)

文献[10]指出赤道中东太平洋海温与冬季风存在耦合关系,而我们¹⁾也指出WP型与冬季风之间的相关性。为了进一步说明东亚冬季风、赤道中东太平洋海温以及WP型这3者之间的关系,我们计算了东亚冬季风指数与Nino3指数、WP指数之间的相关和偏相关系数。结果显示,WP型与东亚冬季风存在很好的相关关系(相关系数为-0.53),并且排除ENSO的影响后偏相关系数只是略微有些下降(-0.46),而ENSO与东亚冬季风的相关系数为-0.31,达到了95%的统计信度,但在排除WP型的影响后偏相关系数仅为-0.05,表明ENSO与冬季风之间表现出的相关性可能与WP型有关。WP型在ENSO与东亚冬季风之间可能充当了桥梁的作用,正是由于WP型的存在,海温与东亚冬季风之间才表现出相关性。

3 WP遥相关型相对赤道中东太平洋海温的独立性

前面我们看到,前期Nino3区海温与后期WP型存在显著相关性,ENSO可能通过影响WP型进而影响东亚冬季风。由于海温异常具有很强的持续性,如果大气环流异常受海温的强烈影响,那么这种环流异常也应表现出较高的持续性。

我们计算了WP型两个中心的冬季相连各月之间的年际相关系数,结果表明它们的持续性存在差异(图3)。低纬度的中心持续性较好,12月与1月

相关系数为0.32,1月与2月相关系数为0.40,超过95%显著性水平。相反,高纬度的中心12月与1月、1月与2月的相关系数分别为0.02和0.19,均达不到显著性水平。对低纬度中心(图3(a),(b)),散点多分布在第一、三象限,表现出良好的正相关关系。而高纬度中心(图3(c),(d))散点较为均匀的分布在4个象限,各月之间没有持续性特征。

WP型高、低纬度中心持续性的差异可能与其所处地理位置有关:低纬度中心可能受到赤道中东太平洋海温的影响较明显,所以持续性较好;而高纬度中心由于位置偏北,受海温的影响较小,同时高纬度大气内部可能存在更强的非线性作用,因此持续性较差。由于WP型与赤道中东太平洋海温有密切的关系(图2),我们分别计算了两个中心时间序列与Nino3指数的相关系数。低纬度中心与海温的相关系数达到0.57,说明赤道中东太平洋海温的方差贡献达到了30%以上。而高纬度中心与海温的相关系数为-0.41,海温的贡献不到20%。因此,低纬度中心与赤道中东太平洋海温有更为紧密的关系。

Nino3区海温与我国冬季大陆温度之间存在正的相关关系,但大部分地区没有超过95%的统计显著性水平(图略)。而冬季WP型与我国同期温度的正相关关系,在我国大陆边缘到长江黄河上游所形成的大致U型的区域超过了95%信度水平。WP型及Nino3区海温与我国大陆温度的关系密切程度存在差异,说明WP型相对于海温具有一定独立性。事实上,东亚冬季风指数与Nino3指数、WP指数间的 $\gamma(\rho)$ 也说明了这一结论。虽然Nino3区海温可能通过西北太平洋上的WP型来影响东亚冬季风的强弱,但WP型自身与冬季风的相关关系基本不受海温的影响,不考虑海温的作用,WP型与冬季风之间偏相关系数仍然高达-0.46,超过99%的统计显著性水平。

我们在Nino3区海温正常的年份(一个标准差内)中,选取WP型的异常年(正负异常各取8年)进行合成(图4)。由图4(a)可见,500hPa高度场西北太平洋地区存在两个异常中心呈南北跷跷板结构。高纬度的中心位置无显著变化,而低纬度中心的位置在略微北抬的同时向东偏移至日界线附近,海平面气压场(图4(b))情况与500hPa相似。可

1) 见第1051页脚注1)

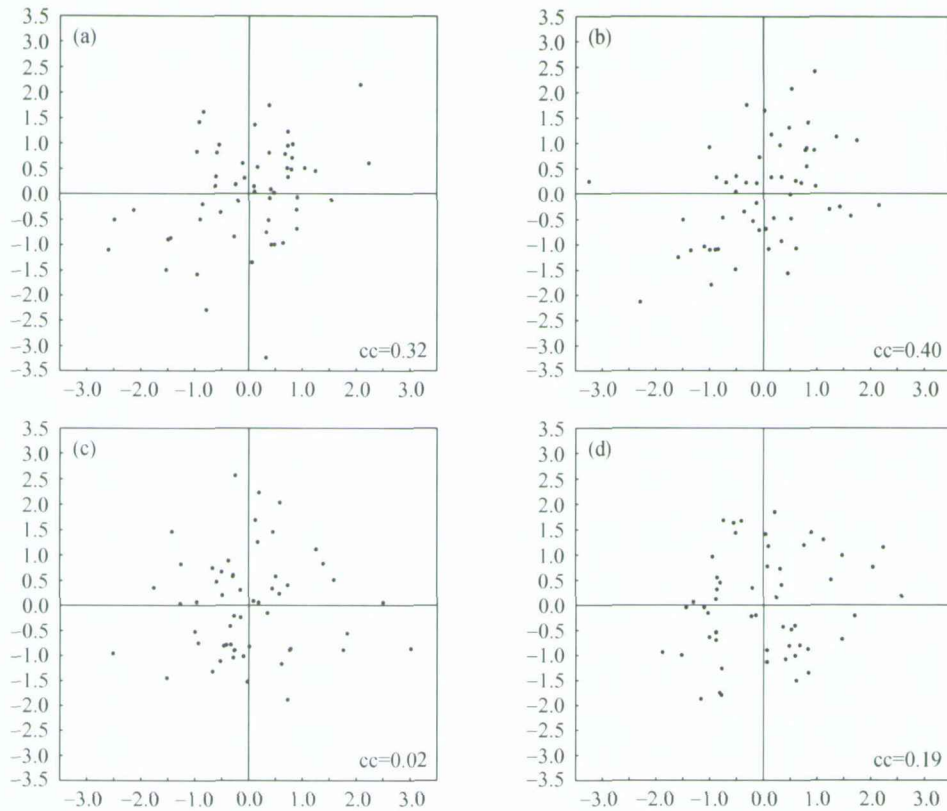


图3 冬季12月与1月、1月与2月标准化的WP指数散点分布

(a), (c) 中的横坐标与纵坐标分别表示12月与1月; (b), (d) 中分别表示1月与2月;
 (a), (b) 表示低纬度中心; (c), (d) 表示高纬度中心; 图中 cc 表示相关系数

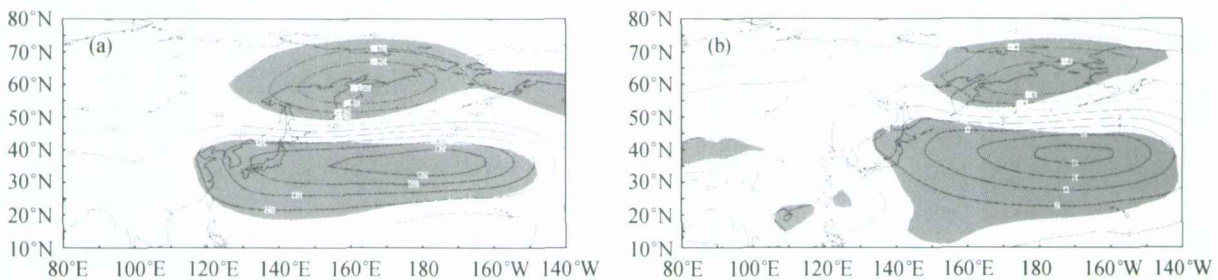


图4 Nino3区海温正常时强弱WP指数年差值场(阴影区域表示超过95%信度水平)

(a) 500 hPa 位势高度场(单位: 位势 m); (b) 海平面气压场(单位: hPa)

见, 赤道中东太平洋海温正常的情况下, WP 型的南北跷跷板结构依然显著. 事实上, 当我们在海温基本正常的情况下, 根据 WP 指数所选取的 8 个异常年份当中, 有些年份与前面直接根据 WP 指数所选年份一致, 说明前面我们确定的 10 个 WP 型异常年份中, 并非所有的年份海温都出现明显异常.

由于基于月平均和季节平均的数据包括了大气对热带太平洋海温的响应, 因此为了检验以上结论的可靠性, 我们将海温信号从高度场及海平面气压

场中去除. 根据 Branstator^[14]的工作, 对数据进行分析时可以采取以下方法去除掉大部分海温的影响信号: 首先将每年冬季 12, 1, 2 月数据提取出来顺次排列, 得到 55 年共 165 个月样本, 用每月数据先减去该月多年的平均, 得到每月的距平, 目的是去掉线性趋势, 然后用每月距平值计算冬季平均距平(即将 3 个月距平加起来除以 3), 最后分别用 12, 1, 2 月距平值减去冬季平均距平. 这样处理不但延长了时间序列的长度, 而且去除了海温年际变化的影

响. 如果我们由此得到的结果与前面分析的一致, 那么可以进一步说明我们前面的结果是可信的.

这样排除海温的信号以后, 重新计算 WP 指数并用其做回归分析, 结果如图 5 所示. 从 500 hPa 高度场(图 5(a))及海平面气压场(图 5(b))可以看到,

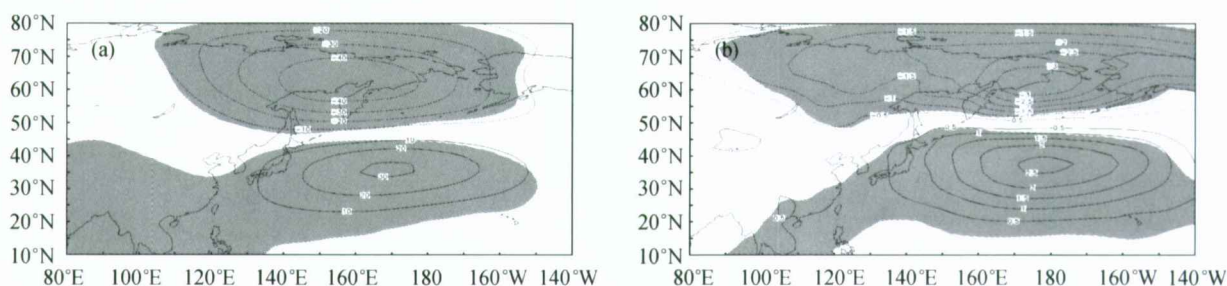


图 5 排除海温后 WP 指数的回归分析结果(阴影区域表示超过 95% 信度水平)

(a) 500 hPa 位势高度场(单位: 位势 m); (b) 海平面气压场(单位: hPa)

4 结论

从夏季 7 月份开始, Nino3 区海温与后期冬季 WP 遥相关型存在显著相关关系, 并且这种相关关系一直持续到冬季结束(即下一年 2 月). 当赤道东太平洋海温异常偏高(低)时, WP 型呈现南正北负(北正南负)异常, 东亚冬季风偏弱(强). WP 型是联系赤道中东太平洋海温与东亚冬季风的一个桥梁. 赤道中东太平洋海温可能通过影响 WP 型进一步影响东亚冬季风.

另一方面, WP 型高、低纬度的两个中心具有不同的持续性特征. 低纬度中心由于受海温的影响较大, 在冬季相连各月间的相关性较为显著, 持续性好. 而高纬度地区由于远离热带海洋, 受海温的影响较小, 同时大气中存在比低纬度更强的非线性过程, 所以 WP 型在高纬度的中心各月之间没有显著相关. 进一步的研究也表明, WP 型相对于海温表现出一定的独立性, 它的存在并不依赖于海温, 而是更多地由大气内部动力过程决定, 海温异常仅影响到 WP 型的强弱.

参 考 文 献

- 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
- 施 能. 北半球冬季大气环流遥相关的长期变化及其与我国气候变化的关系. *气象学报*, 1996, 54(6): 675-683
- 吴洪宝, 王盛兴. 北半球冬季遥相关型环流异常的若干性质. *南京气象学院学报*, 1994, 17(2): 225-231
- 穆明权, 李崇银. 东亚冬季风变化的 ENSO 信息 I 观测资料分析. *大气科学* 1999, 23(3): 276-285
- 穆明权, 李崇银. 东亚冬季风变化的 ENSO 信息 II 模拟资料分析. *气候与环境研究* 1999, 4(2): 176-184
- 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
- Li C Y, Sun S Q, Mu M Q. Origin of the TBO-interaction anomalous East-Asian winter monsoon and ENSO cycle. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, 18(4): 554-566
- 李崇银, 穆明全. 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
- 杨 辉, 陈 隽, 孙淑清. 东亚冬季风异常激发 El Nino 现象的数值试验研究. *大气科学*, 2005, 29(2): 321-333
- 梁巧倩, 简茂球, 罗会邦. 东亚冬季风与海温在年际尺度上的耦合关系分析. *热带海洋学报* 2004, 23(2): 19-27
- Shi N, Zhu Q G. 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
- Horel J D, Wallace J M. Planetary-scale atmospheric phenomena associated with southern oscillation. *Mon Wea Rev*, 1981, 109(4): 813-829
- Zhu Q G, Shi N. Variation in the teleconnection intensity and their remote response to the El Nino events in the Northern Hemisphere. *Acta Meteor Sinica*, 1992, 6(4): 443-445
- Branstator G. Circumglobal teleconnections, the jet stream waveguide, and the North Atlantic oscillation. *J Climate*, 2002, 15, 1893-1910