

李忠贤,孙照渤,倪东鸿,等.北太平洋海平面气压场变化与海温的关系[J].大气科学学报,2009,32(5):637-644.

北太平洋海平面气压场变化与海温的关系

李忠贤,孙照渤,倪东鸿,曾刚

(南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室,江苏 南京 210044)

摘要:利用 SVD (singular value decomposition)方法分析了 1948 年 1 月—2002 年 12 月北太平洋海平面气压场与海温的关系。结果表明,SVD 第 1 对异类相关分布型反映出,当东北太平洋副热带高压加强(减弱)时,Namias 海区海温升高(降低),而加利福尼亚海流区海温降低(升高)。SVD 第 2 对异类相关分布型表明,当阿留申低压加深、北太平洋副热带地区气压升高时,黑潮暖流区海温升高,而北太平洋高、低纬海温降低;反之亦然。时滞相关表明,北太平洋大气环流异常超前海温 1 个月的相关最好,海温变化对大气环流异常分布型具有维持作用。NCAR CCSM3 模拟结果很好地验证了上述结论,即在海气相互作用过程中,东北太平洋副热带高压和 NPO (North Pacific Oscillation)与北太平洋海温存在密切联系。

关键词: SVD 分析;东北太平洋副热带高压;北太平洋涛动;海面温度

中图分类号: P732.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-7097(2009)05-0637-08

Relationships between Sea Level Pressure and Sea Surface Temperature Anomalies over the North Pacific

LI Zhong-xian, SUN Zhao-bo, NI Dong-hong, ZENG Gang

(Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, NU IST, Nanjing 210044, China)

Abstract: The relationship of sea level pressure (SLP) and sea surface temperature (SST) standardized anomalies from January 1948 to December 2002 is analyzed in this paper, by means of singular value decomposition (SVD) method. Results show that the first mode patterns of SVD portray the close relationship between abnormal subtropical high over the Northeast Pacific (NPH) and SSTA over the Namias and California current regions; when the NPH increases (decreases), the SSTA is positive (negative) in the Namias region and negative (positive) in the California current region, respectively. The second patterns of SVD indicate that, when the NPO (North Pacific Oscillation) is stronger than normal, the SSTA is positive in the Kuroshio current region and negative in the low- and high-latitudes Northern Pacific; and vice versa. The time-lag correlations of the patterns of SVD indicate that there is intense interaction between the SLP and SST anomalies over the North Pacific; and the relationship is the strongest with the SSTs lagging the SLP by one month. Simulation results from the NCAR CCSM3 model testify the above conclusions drawn by the observational analysis, thus confirming that there is close relationship between the NPH (NPO) and North Pacific SST in the course of the sea-atmosphere interactions.

Key words: SVD analysis; Northeast Pacific subtropical high; North Pacific Oscillation; SST

0 引言

20 世纪 60 年代 Bjerknes^[1-2]首先提出把海洋和

大气结合起来研究海气之间的相互作用。此后,有关这方面的研究取得了显著进展,特别是对低纬度海洋异常与全球大气环流的相互关系的研究^[3-6]。

收稿日期:2008-07-11;改回日期:2009-02-25

基金项目:江苏省气象灾害重点实验室资助项目(KLME060301);江苏省高校自然科学基金面上项目(07KJB170067);江苏省“六大人才高峰”计划资助项目

作者简介:李忠贤(1979—),男,福建仙游人,博士,讲师,研究方向为海气相互作用以及短期气候预测, lizhongxian@nuist.edu.cn

关于中纬度海面温度与大气环流相互作用的研究则相对较少。目前对中纬度海洋与大气相互作用的研究主要集中在北太平洋中部 Namias 区域^[7]和西北大西洋的 RM (Ratcliffe-Murray) 区域^[8]。Palmer 等^[9]通过数值试验和观测分析得到了有价值的结论,证实了大西洋和欧洲上空大气环流对纽芬兰湾附近 SST (sea surface temperature) 异常的响应。陈烈庭等^[10]指出中纬度北太平洋海温异常与北半球中高纬 PNA (Pacific/North America) 型环流的关系较密切,北方涛动 (NO; North Oscillation) 与 Namias 海区和加利福尼亚海流区海温的变化具有很密切的联系,以海温落后北方涛动指数 1~2 个月的相关最大。杨英等^[11]发现,北太平洋海流区 SST 异常时,大气环流存在显著的 PNA 型,同时指出在中纬度北太平洋 SST 异常与北半球大气环流的相互作用中,大气环流首先启动。吴国雄等^[12]分析了冬季 500 hPa 高度与海温异常的耦合关系。李丽平等^[13]研究了北太平洋 1、7 月浅层海温异常与同期海平面气压异常场的关系。程军等^[14]分析了北太平洋上层海洋热含量与阿留申低压在年代际时间尺度上的关系,研究表明:热含量增热过程对应于弱的阿留申低压,减热过程对应于强的阿留申低压。李丽平等^[15]进一步比较分析了热带和热带外太平洋海气系统年际和年代际变化特征。

海平面气压场 (SLP) 的变化与近表面风场存在密切联系,进而可引起海面温度 (SST) 以及海洋上层的温度和热含量变化,海平面气压异常对海洋气候变化起重要作用,因此本文采用海平面气压和海温资料来分析北太平洋海气相互作用的特征。

本文所用资料有: NCEP 再分析的 1948 年 1 月—2002 年 12 月逐月海平面气压场、1 000 hPa 气温资料,分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; NOAA 延长重构全球海温资料,分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$; 耦合模式 NCAR CCSM3 控制试验积分 700 a 的模拟结果,这里取模式积分第 650 年 1 月至第 699 年 12 月逐月海平面气压场和表面温度场 (surface temperature) 资料,分辨率为 T85 (经向 128 格点; 纬向 256 格点); 文中北太平洋区域取为 $120^{\circ} \text{E} \sim 80^{\circ} \text{W}$ 、 $10^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{N}$ 。作 SVD 分析时,以逐月北太平洋海平面气压标准化距平场作为左场,以北太平洋海温标准化距平场作为右场。

1 SVD 结果分析

由表 1 可见,经 SVD 分析,前 2 对空间分布型表示了总协方差的 69.88%,收敛速度相当快,每对

异类相关分布型的相关系数也相当高,均通过 0.001 的显著性水平检验。

表 1 北太平洋 SLP 和 SST 标准化距平场的 SVD 分析结果
Table 1 SVD results of the SLP and SST standardized anomalies over the North Pacific

	第 1 对模态	第 2 对模态
表示总协方差贡献率	0.436 0	0.262 8
左右场时间系数的相关系数	0.60	0.49
表示 SLP 方差贡献率	0.848 0	0.129 7
表示 SST 方差贡献率	0.191 1	0.114 0

图 1 左场主要特征为东北太平洋副热带高压区为负值,中心位于 140°W 、 25°N 。与之相匹配的右场呈现东正西负分布,北太平洋中部 (Namias 海区) 为负值,加利福尼亚海流区为正值,两个中心分别位于 170°W 、 35°N 和 140°W 、 20°N 。第 1 对分布型时间系数的相关系数为 0.60 (通过 0.001 的显著性水平检验),表明当东北太平洋副热带高压增强 (减弱) 时, Namias 海区海温升高 (下降),而加利福尼亚海流区海温将下降 (升高)。金祖辉等^[16]、Schwing 等^[17]指出:东北太平洋副热带高压增强,则高压周围的反气旋环流持续增强,由于风应力的牵引作用,位于高压东部的加利福尼亚沿岸低层冷水上翻,并加速向南和向西输送,致使副热带高压东部和南部海域海温降低;而低纬度暖水也加速向西和向北输送,导致西北太平洋海温升高,特别是位于副热带高压西部的 Namias 海区。陈烈庭等^[10]分析认为北方涛动 (NO) 是北太平洋海温东西向振荡的一个重要原因。东北太平洋副热带高压与北方涛动具有非常显著的正相关关系^[17],与陈烈庭等^[10]的观点吻合。

表 2 给出了 SVD 第 1 对空间型对应的时间系数的时滞相关,可见,这种海平面气压距平分布型与海温距平分布型具有密切的联系。海平面气压异常对海温变化的影响可超前 12 个月;海平面气压异常滞后海温 9 个月时,该分布型的关系也较好。这说明东北太平洋副热带高压与 Namias 海区和加利福尼亚海流区海温异常存在明显的相互作用过程,其中以副热带高压超前海温分布型 1 个月的关系最好,相关系数为 0.64,通过 0.001 的显著性水平检验。因此,认为东北太平洋副热带高压强度变化对 Namias 海区和加利福尼亚海流区海温距平的东西向振荡具有重要作用,而海温变化对大气环流的异常起到维持和加强作用。

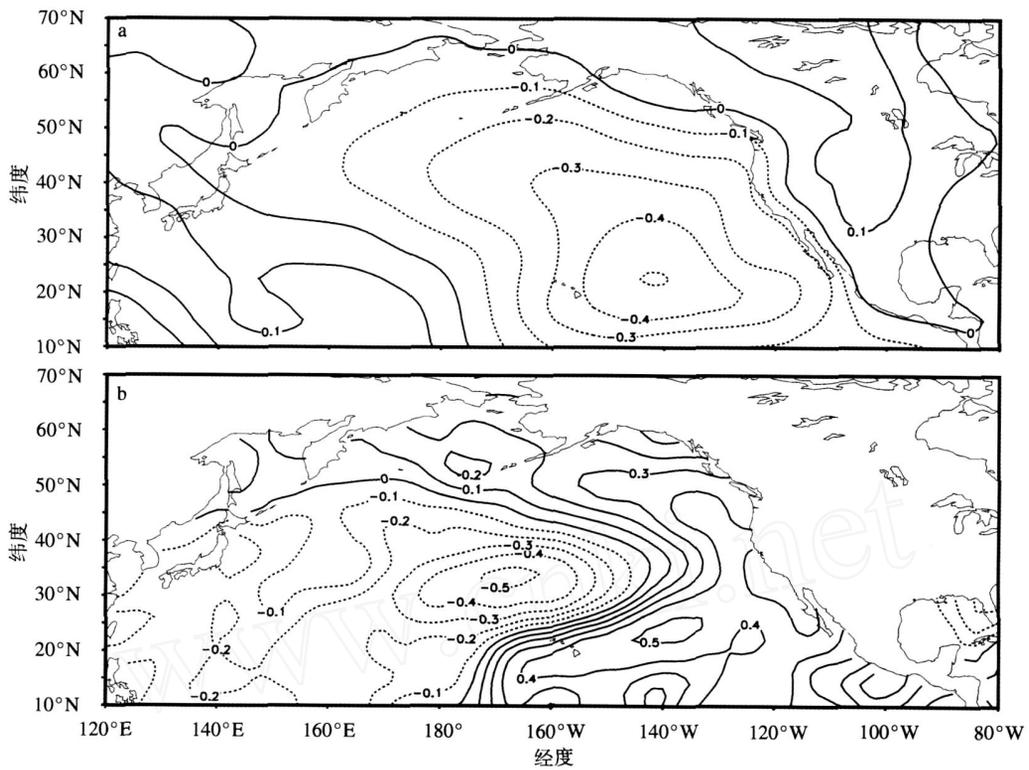


图 1 北太平洋海平面气压 (a:左场)和海温 (b:右场)标准化距平的 SVD 分析第 1 对异类相关型
 Fig 1 Heterogeneous correlation patterns of the SVD 1 of (a) the SLP (left field) and (b) SST standardized anomalies (right field) over the North Pacific

表 2 SVD 第 1 对空间型对应的时间系数的时滞相关

Table 2 Time-lag correlation coefficients of the time coefficients of the SVD 1 of the SLP and SST

	t/m on											
	- 12	- 11	- 10	- 9	- 8	- 7	- 6	- 5	- 4	- 3	- 2	- 1
相关系数	0.13	0.14	0.17	0.21	0.22	0.25	0.28	0.31	0.33	0.34	0.37	0.43
	t/m on											
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
相关系数	0.28	0.32	0.34	0.37	0.38	0.40	0.44	0.46	0.50	0.54	0.58	0.64

注: t 为正 (负) 值, 表示 SLP 超前 (滞后) SST.

图 2 给出了北太平洋地区海平面气压和海面温度标准化距平 SVD 分析的第 2 对异类相关分布型。左场呈现出南北反相的分布, 中心分别位于阿留申低压区和北太平洋副热带地区, 类似于 NPO 型。与此对应的右场呈现为“>”型分布, 黑潮暖流及其延续流海域为正值, 而其南北位置的低纬度与高纬度区域为负值。第 2 对空间型对应的时间系数的相关系数为 0.49 (通过 0.001 的显著性水平检验), 说明当北太平洋副热带地区气压为正距平 (高压增强)、阿留申低压区气压为负距平 (阿留申低压加深), 即 NPO 高指数时, 黑潮区海温升高, 而北太平洋低纬

度与高纬度地区海温下降; 反之, 当 NPO 低指数时, 黑潮区海温下降, 而北太平洋低纬度与高纬度地区海温升高。其原因可能是当阿留申低压加深、副热带高压加强时, 北太平洋北部的气旋环流和南部的反气旋环流加强, 中纬度西风环流得到增强, 引发西北太平洋高纬度的冷水加速向东输送, 而低纬度北太平洋东南部的冷水也加速向西输送, 使得北太平洋高、低纬海温下降。同时, 北太平洋西部低纬地区的暖水也加速向北输送, 导致黑潮区海温上升。反之亦然。

表 3 给出了 SVD 第 2 对空间型左右场时间系

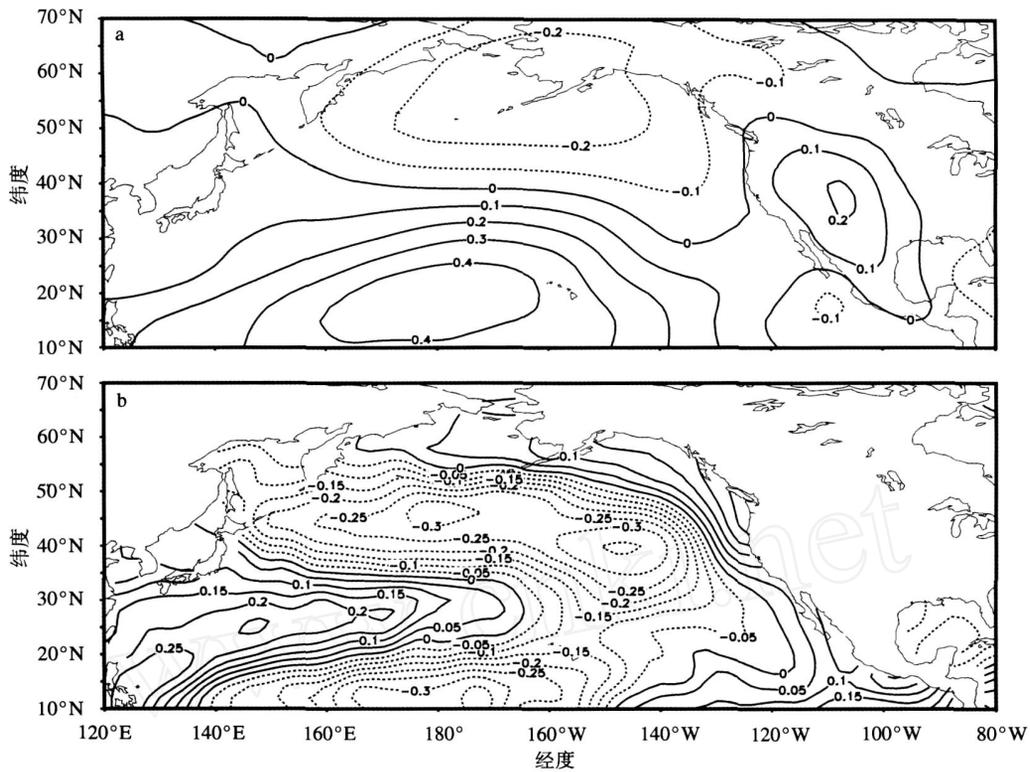


图 2 北太平洋海平面气压 (a:左场)和海温 (b:右场)标准化距平的 SVD 分析第 2 对异类相关型
 Fig 2 Heterogeneous correlation patterns of the SVD 2 of (a) the SLP (left field) and (b) SST standardized anomalies (right field) over the North Pacific

数的时滞相关,可见,海平面气压距平分布 (NPO 型)与海温距平“>”型分布同样也具有密切的联系,但是第 2 对空间型相互作用的时效较第 1 对空间型短,NPO 型可超前 4 个月影响海温变化,而海温距平“>”型分布对 NPO 型的维持能达到 6 个月左右。类似于第 1 对空间型,以海平面气压距平分布 (NPO 型)超前海温距平“>”型 1 个月的关系最好,相关系数为 0.53,通过 0.001 的显著性水平检验。因此,在北太平洋海气相互作用中,大气环流变化起着主导作用,而海温变化对大气环流的异常分布型具有维持和加强的作用。

为了验证前文得到的结果,下面进一步分析东

北太平洋副热带高压 (NPH)、北太平洋涛动 (NPO) 与海温距平分布型的关系。参照 SVD 分析得到的海平面气压场的异类相关型中的正负数值分布特征,NPO 指数定义为 SLP 距平的 (160°E ~ 160°W, 10° ~ 30°N) 区域平均与 (170°E ~ 150°W, 45° ~ 65°N) 区域平均之差,NPH 指数定义为 SLP 距平在 (160° ~ 130°W, 15° ~ 40°N) 区域上的平均值。

2 NPH 指数与北太平洋 SLP、SST 的关系

NPH 指数与海平面气压标准化距平场的相关系数分布 (图 3a) 显示,北太平洋东部为类似一组同

表 3 SVD 第 2 对空间型对应的时间系数的时滞相关

Table 3 Time-lag correlation coefficients of the time coefficients of the SVD 2 of the SLP and SST

	t/m on											
	-12	-11	-10	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1
相关系数	0.05	0.04	0.08	0.10	0.11	0.16	0.21	0.20	0.22	0.26	0.25	0.32
	t/m on											
	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
相关系数	0.07	0.11	0.11	0.12	0.10	0.11	0.12	0.16	0.25	0.34	0.41	0.53

注: t 为正 (负) 值, 表示 SLP 超前 (滞后) SST.

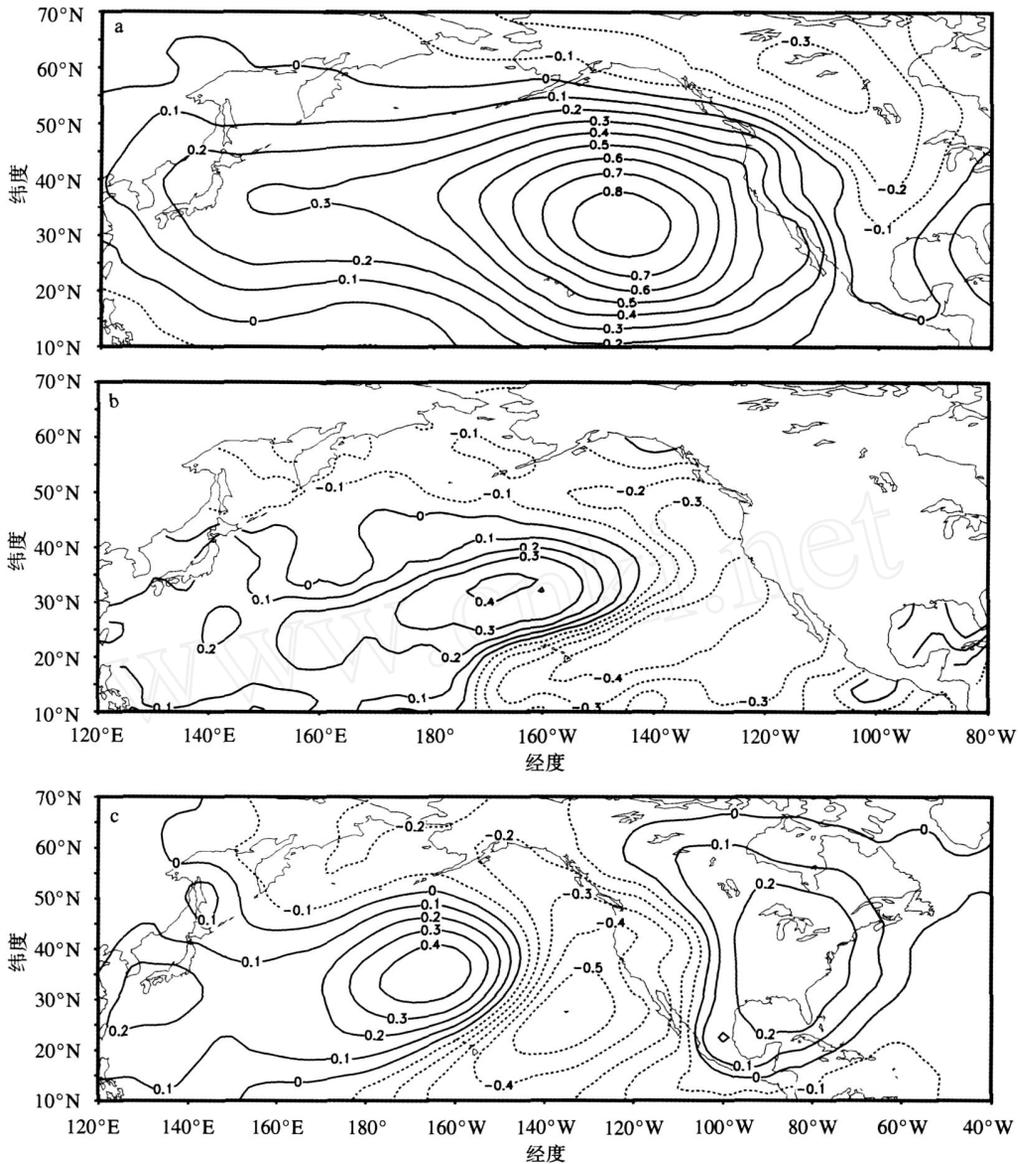


图 3 NPH 指数与海平面气压场 (a)、海温场 (b) 和 1 000 hPa 气温 (c) 标准化距平的相关系数分布
 Fig 3 Correlation coefficients of the NPH index with (a) the SLP, (b) SST, and (c) 1 000 hPa air temperature standardized anomalies

心圆的正值区,中心值达到 0.8,而北美大陆为负值区,中心值为 - 0.3。由于资料时间长度为 660 个月,说明这两个中心区域均通过了 0.001 的显著性水平检验。这表明东北太平洋副热带高压异常与其下游北美地区的大气环流有着密切联系。

NPH 指数与北太平洋海温场的相关系数分布 (图 3b) 显示: NPH 指数与 Namias 海区海温正相关,与加利福尼亚海流区海温负,中心绝对值达 0.4,表明 NPH 指数与海温关系密切。NPH 高指数时,北太平洋东部的反气旋环流加强,加利福尼亚海流区及其南部海域在加强的东北信风作用下,沿岸

上升流加强,同时冷水加速向南和向西输送,导致该海区海温下降,而 Namias 海区则由于受到东南风异常影响,有来自低纬度的暖水不断向北输送,造成该海域海温升高;反之亦然。

从 NPH 指数与 1 000 hPa 气温标准化距平的相关系数分布 (图 3c) 可以看出, NPH 指数与美国西部及北太平洋东部气温为负相关,而与美国东部及 Namias 海域气温呈正相关关系,这与陈烈庭等^[10]得到的结论一致,即 NPH 高指数时,以落基山脉为界,美国西部地区气温下降,而东部地区气温升高;反之亦然。

3 NPO 指数与北太平洋 SLP、SST 的关系

图 4a 给出了 NPO 指数与海平面气压标准化距平场的相关系数分布。由图可见,阿留申群岛附近为负值区,中心位于 170°W、55°N,中心值为 -0.8;北太平洋副热带地区为正值区,中心位于 180°、25°N,中心值为 0.6,呈现出明显的南北反位相的分布特征,反映出典型的 NPO 型分布特征。

NPO 指数与北太平洋海温标准化距平场 (图 4b) 的相关表明, NPO 高指数时,高、低纬度之间的气压差加大,导致中纬度西风环流加强,北太平洋中

高纬度地区海温下降,黑潮区域海温上升; NPO 低指数时,中纬度的西风环流减弱,阿留申低压强度较弱,北太平洋高纬度近表面为反气旋式风场距平,低纬度地区为气旋式风场距平,导致黑潮区域海温降低,北太平洋中高纬度海温升高。上述结论与前文第 2 对空间型较一致。

值得注意的是,从 1 000 hPa 气温标准化距平场与 NPO 指数的相关分布 (图 4c) 可以看出,北太平洋西南部和北美西北部为正相关区,北太平洋西北部和北美东南部为负相关区,表现出北太平洋西南部 北太平洋西北部 北美西北部 北美东南部的波列传播特征。这说明 NPO 型不仅对北太平洋涛

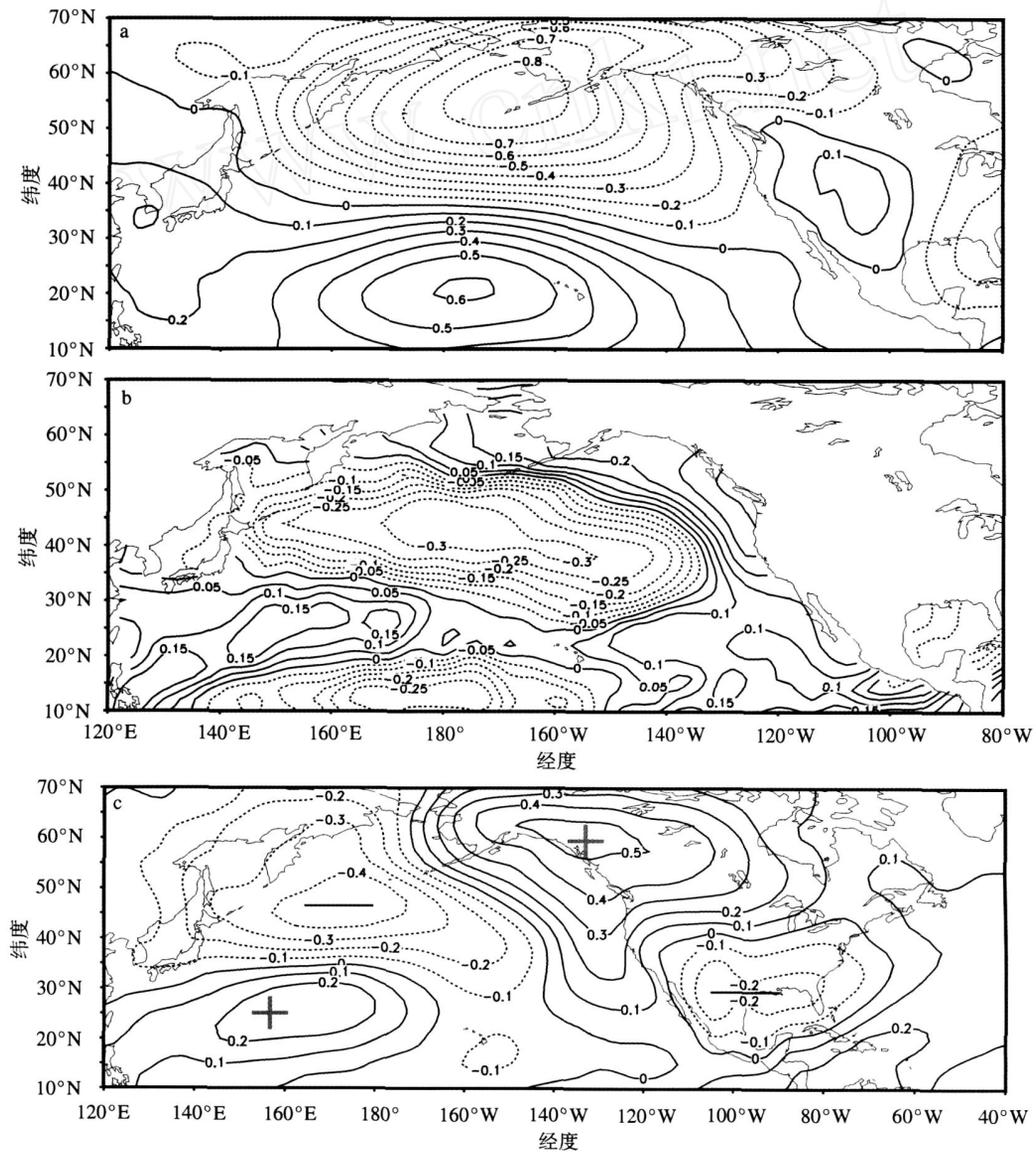


图 4 NPO 指数与海平面气压场 (a)、海温场 (b) 和 1 000 hPa 气温 (c) 标准化距平的相关系数分布
 Fig 4 Correlation coefficients of the NPO index with (a) the SLP, (b) SST, and (c) 1 000 hPa air temperature standardized anomalies

动区气候异常有影响,而且也将北太平洋涛动区与北美地区的气候变化紧密联系起来;在联系低纬度与中高纬度大气环流的过程中,NPO型起到了关键的作用。

4 数值模拟结果

参照前文定义的方法,利用耦合模式 NCAR CCSM3 模拟得到的海平面气压场资料,计算了模拟结果的 NPH、NPO 指数,并分别与耦合模式模拟的表面温度标准化距平场作相关分析,得到图 5。如图 5a 所示,模式模拟的 NPH 指数与北太平洋海温异常的关系与前文统计分析的结果(图 3b)相一致,其中 NPH 指数与 Namias 海区海温异常为正相关关系,与加利福尼亚海流区及东北太平洋副高南侧海

域的海温异常为负相关关系。图 5b 给出了 NCAR CCSM3 模式模拟的 NPO 指数与模拟的表面温度标准化距平场的相关系数分布。由图 5b 可见,黑潮区域为正相关区,北太平洋中高纬度地区及低纬度地区为负相关区,这种相关分布型与前文根据观测资料(再分析资料)得到的结果(图 4b)是一致的。上述分析表明,耦合模式 NCAR CCSM3 的模拟结果也证实了在月际时间尺度上,北太平洋海气相互作用过程中,主要是以大气环流影响海温为主。当东北太平洋副高强度偏强(弱)时,副高东侧和南侧海域海温偏低(高),而其西北侧海域海温偏高(低);当 NPO 处于高(低)指数时,黑潮区海温将升高(降低),太平洋中高纬度及低纬度地区的海温将降低(升高)。

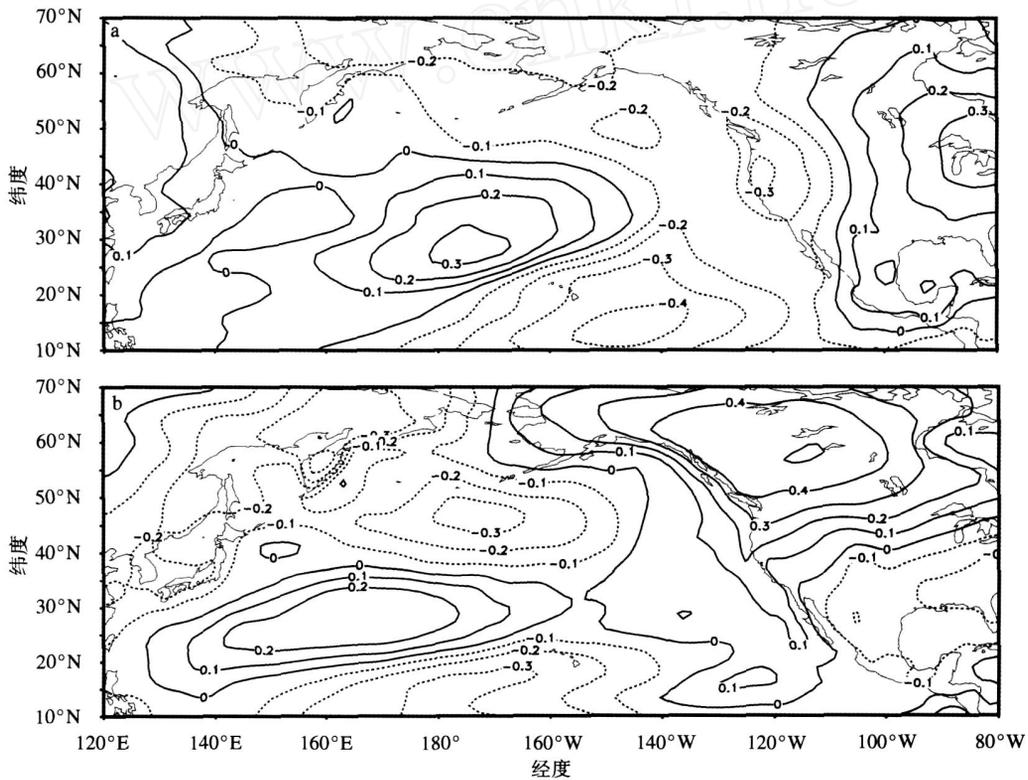


图 5 NCAR CCSM3 模式模拟的 NPH 指数 (a) 和 NPO 指数 (b) 与模式模拟的表面温度标准化距平的相关系数分布

Fig 5 Correlation coefficients of the indices of (a)NPH and (b)NPO with the standardized anomalies of surface temperature in the NCAR CCSM3 model simulation

5 结论

本文对 1948 年 1 月—2002 年 12 月北太平洋海平面气压与海温标准化距平场进行了 SVD 分析,主要结论为 SVD 第 1 对异类相关分布型反映了东北太平洋副热带高压异常变化与北太平洋中部

Namias 海区及加利福尼亚海流区海温东西向振荡密切相关。东北太平洋副热带高压增强时,近表面反气旋环流加强,Namias 海区海温升高,而加利福尼亚海流区海温降低,北太平洋海温距平表现为西正东负分布;反之,东北太平洋副热带高压减弱时,近表面反气旋环流减弱,Namias 海区海温降低,而

加利福尼亚海流区海温升高,北太平洋海温距平表现为东正西负分布。SVD 第 2 对异类相关分布型反映了阿留申低压与北太平洋副热带高压之间的反位相关关系,即 NPO 型,与其相匹配的海温距平呈“>”型结构,即北太平洋高、低纬度地区与中纬度黑潮暖流及其延续流海域的海温距平呈反位相关关系。当阿留申低压加深,北太平洋副热带高压增强,即 NPO 高指数时,中纬度西风环流加强,黑潮暖流及其延续流海域的海温升高,而北太平洋高、低纬度海温降低;反之,西风环流减弱,黑潮暖流及其延续流海域的海温降低,北太平洋高、低纬度海温升高。SVD 两对空间型对应的时间系数的时滞相关表明,北太平洋大气环流异常与海温分布型之间存在明显的相互作用,以大气环流异常超前海温 1 个月关系最好,可以认为北太平洋地区大气环流异常对海温异常分布型有显著的影响,而海温变化对大气环流异常分布型具有维持和加强作用。

NCAR CCSM3 数值模拟的结果与利用 NCEP 再分析资料得到的结论是吻合的,耦合模式的模拟结果验证了在北太平洋海温与大气相互作用过程中,东北太平洋副热带高压、NPO 与北太平洋海温异常存在着密切联系。

致谢:感谢“气候模式诊断与比较计划(Program of Climate Model Diagnosis and Intercomparison, PCM-DD)”和“世界气候研究计划耦合模式工作组(WCRP's Working Group on Coupled Modelling, WGCM)提供的 NCAR CCSM3 模式计算结果。感谢南京大气资料服务中心提供 NCEP/NCAR 再分析资料。

参考文献:

- [1] Bjerknes J. A possible response of the atmosphere Hadley circulation to equatorial anomalies of ocean temperature [J]. *Tellus*, 1966, 18(4): 820-829.
- [2] Bjerknes J. Atmosphere teleconnection from the equatorial Pacific [J]. *Mon Wea Rev*, 1969, 97(3): 163-172.
- [3] Shukla J, Wallace J M. Numerical simulation of the atmospheric response to equatorial sea surface temperature anomalies [J]. *J Atmos Sci*, 1983, 40(7): 1613-1630.
- [4] 黄荣辉. 冬季低纬度热源异常对北半球大气环流影响的物理机制 [J]. *中国科学 B 辑*, 1986, 29(1): 91-103.
- [5] Blackon M L, Geisler J E, Pithcer E J. A general circulation model study of January climate anomaly patterns associated with interannual variation of equatorial sea surface temperatures [J]. *J Atmos Sci*, 1983, 40(6): 1410-1425.
- [6] Li Chongyin. Frequent activities of stronger AERO-Troughs in east Asia in wintertime and the occurrence of the El Nino event [J]. *Science in China Ser B*, 1989, 32(8): 976-985.
- [7] Namias J. Seasonal interactions between the North Pacific Ocean and the atmosphere during the 1960's [J]. *Mon Wea Rev*, 1969, 97(3): 173-192.
- [8] Ratcliffe R A S, Murray R. New lag associations between North Atlantic sea temperatures and European pressure applied to long-range weather forecasting [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1970, 96(408): 226-246.
- [9] Palmer TN, Sun Zhaobo. A modeling and observational study of the relationship between sea surface temperature in the north-west Atlantic and the atmosphere circulation [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1985, 111(470): 947-975.
- [10] 陈烈庭, 吴仁广. 北方涛动同北半球温带大气环流的遥相关(一)——基本结构 [J]. *大气科学*, 1991, 15(4): 26-34.
- [11] 杨英, 孙照渤. 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*, 1995, 18(2): 192-199.
- [12] 吴国雄, 王敬方. 冬季中高纬 500 hPa 高度和海表温度异常特征及其相关分析 [J]. *气象学报*, 1997, 55(1): 11-21.
- [13] 李丽平, 王盘兴, 郑秀云. 北太平洋浅层海温时空特征及区域海气相互作用的诊断分析 [J]. *南京气象学院学报*, 2003, 26(2): 145-154.
- [14] 程军, 于非, 蒲书箴, 等. 北太平洋热含量的年代际变化特征及其与阿留申低压的关系 [J]. *海洋科学进展*, 2004, 22(4): 417-428.
- [15] 李丽平, 王盘兴, 李泓. 热带和热带外太平洋海气相互作用特征的比较 [J]. *南京气象学院学报*, 2006, 29(2): 189-195.
- [16] 金祖辉, 陈烈庭. 北方涛动和南方涛动与太平洋海温关系的对比分析 [J]. *海洋学报*, 1992, 14(4): 19-27.
- [17] Schwing F B, Muphree T, Green P M. The Northern Oscillation Index (NOI): A new climate index for the northeast Pacific [J]. *Progress in Oceanography*, 2002, 53(2/3/4): 115-139.

(责任编辑:张福颖)