

冬季北太平洋NPGO模态和NPO模态的耦合特征分析

吕庆平^{1,2}, 张立凤², 戴文灏¹

(1. 解放军东海舰队司令部海洋水文气象中心, 浙江 宁波 315122;

2. 全军危险性天气监测预警研究中心, 解放军理工大学气象海洋学院, 江苏 南京 211101)

摘要: 利用EOF分解和SVD分解方法, 揭示了冬季北太平洋的海平面气压和海表面温度的主要模态, 并利用统计方法对第二耦合模态的耦合特征进行了解释。结果表明, SLPA和SSTA的第二模态为NPO模态和NPGO模态, 第二耦合模态的空间结构反映了中纬度北太平洋中西部是两者相互作用的关键区域; 时间变化趋势表明北太平洋大气和海洋的第二耦合模态正在由高频变化转换为低频变化, 且SLPA上表现出的气候迁移要早于SSTA; NPGO模态与海表西风EOF分解的第二模态密切相关, 这反映了NPO模态通过海表面西风异常影响着NPGO模态的结构。

关键词: 北太平洋; NPO模态; NPGO模态; SVD分解

中图分类号: P732.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2015)06-0019-07

1 引言

太平洋年代际振荡(PDO)是年代际时间尺度上的气候变化强信号^[1], 会造成太平洋及周围的气候年代际变化, 已受到高度关注^[2]。近年来, 对PDO已有很多研究^[3-5], 然而PDO不能解释东北太平洋的盐度、营养物质和鱼储量等的年代际变化。为此, 2008年Lorenzo等^[6]定义了一个新的气候模态——北太平洋涡旋振荡(North Pacific Gyre Oscillation, NPGO)。NPGO是东北太平洋海表面高度异常(SSHA)经验正交函数(EOF)分解的第二模态, 并定义该模态的时间系数为NPGO指数。因NPGO模态与海表面温度异常(SSTA)EOF分解的第二模态(Victoria mode)^[7]有很好的相关性, 故也能用SSTA EOF分解的第二模态来表示。

北太平洋涛动(North Pacific oscillation, NPO)^[8]是北太平洋海平面气压异常(SLPA)EOF分解的第二模态。研究认为北太平洋中部的NPGO模态相应于大气中的NPO模态^[9], NPGO及其对应的特定大气异常强迫场不仅可以从长时间

序列的观测资料中得到^[10], 而且可以在海洋模式的回报试验中得到证实^[11], 这一结果还得到了IPCC第四次评估报告(AR4)海气耦合模式结果的验证^[12]。

现已初步认识到海洋NPGO模态是由大气NPO模态强迫产生, 与海气相互作用有关, 但NPO模态通过何种途径影响NPGO模态, 两者的具体联系尚待深入研究。本文以热带外北太平洋(24°—62°N, 110°E—110°W)的冬季SLPA和SSTA为研究对象, 对两者进行了EOF分解及奇异值分解(SVD)^[13], 分别讨论了第二模态的空间特征和时间演变, 并对结果做了初步的解释, 以便进一步揭示NPO模态影响NPGO模态的具体途径。

2 数据资料和方法

研究使用的月平均SST资料来自于美国国家气候数据中心(NCDC)的ERSST.v3, 空间分辨率为2°×2°, 时间范围为1950年1月至2008年12月, 共计708个月; 月平均SLP和纬向风场(UWND)资料来

收稿日期: 2015-02-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2013CB956203)

作者简介: 吕庆平(1986-), 女, 工程师, 主要从事海气相互作用研究。E-mail: qingping860405@sina.com

自于NCEP/NCAR,空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,时间范围为1948年1月至2009年12月,共计744个月;同时,本文还使用了NPGO指数^[6](下载地址为:<http://www.ocean3d.org/nngo>),其定义为东北太平洋($25^{\circ}-62^{\circ}N, 180^{\circ}-110^{\circ}W$)海表高度距平(SSHA) EOF分解第二模态的时间序列。

考虑冬季NPGO特征最显著,故本文仅对冬季进行分析,将每年1月大气要素的月平均和2月海洋要素的月平均代表冬季,研究区域为($24^{\circ}-62^{\circ}N, 110^{\circ}E-110^{\circ}W$)的北太平洋地区。

研究采用EOF分解、SVD分解及回归分析方法。为滤去全球变暖背景对研究结果的影响,分别对SST、SLP及纬向风(UWIND)进行了去线性趋势处理。同时,因大气变化比海洋活跃,在统计分析前首先对SLP和UWIND做了5 a时间滑动平均,以便滤去其年际变化中的高频部分;而海洋资料则没有进行相应的处理。

3 NPGO模态及与海平面气压的关系

图1给出了冬季北太平洋SSTA和SLPA EOF分解第二模态空间场(其方差贡献分别为17.64%和17.25%,均通过了North检验^[14]),以及NPGO指数回归的SSTA和SLPA。由图1可见,SSTA EOF分解第二模态的空间场上,SSTA呈南北向的偶极子分布,其北部有正值中心,南部有负值中心,与用NPGO指数回归的SSTA分布基本一致,且时间系数与NPGO指数也非常吻合。因此,可以将冬季北太平洋海域SSTA EOF分解的第二模态作为海表温度的NPGO模态。SLPA EOF分解第二模态的空间结构也表现为正负异常中心呈南北向的偶极子分布,南部中心位于($28^{\circ}-40^{\circ}N, 175^{\circ}E-150^{\circ}W$),北部中心位于($55^{\circ}-62^{\circ}N, 175^{\circ}E-155^{\circ}W$),呈典型的NPO型,与用NPGO指数回归的SLPA分布基本一

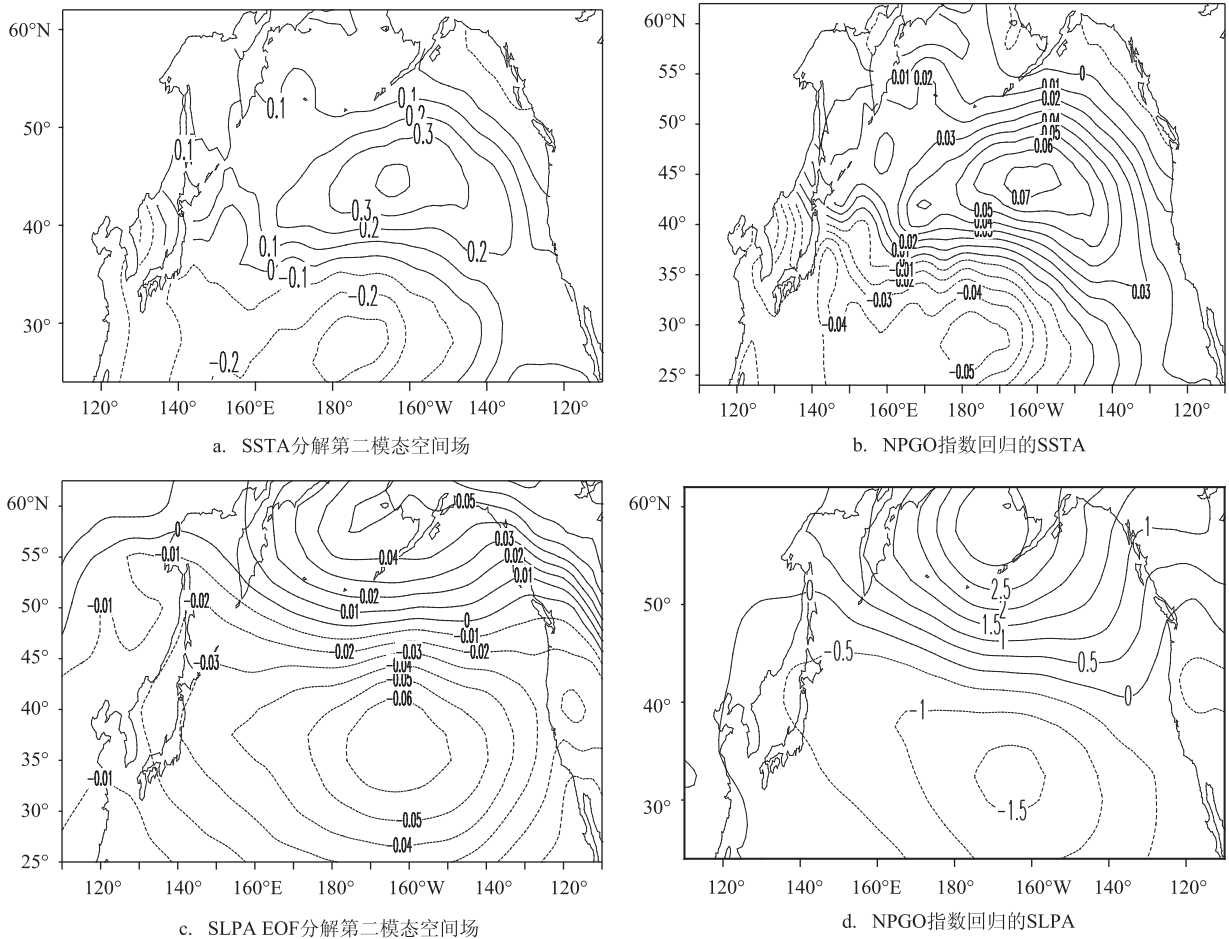


图1 冬季北太平洋SSTA和SLPA EOF分解第二模态空间分布及其与NPGO指数的回归场

致。这说明海表面温度的NPGO模态与海表面气压的NPO模态存在密切关系,即海洋和大气之间存在相互作用。

图2给出了冬季北太平洋SSTA和SLPA EOF分解第二模态的时间系数。由该图可见,两者总体上变化趋势类似,均有明显的年际和年代际变化,即上世纪80年代中期之前,振幅较小,变化频率较快;之后,振幅增大,变化频率变慢。

4 海洋NPGO模态和大气NPO模态的耦合特征

提取海气耦合信号的统计方法常采用SVD分解,该方法具有计算简单,所得耦合信号的物理含义清晰等优点,是分析两个物理量场相关性的一种有效方法^[15]。为揭示海平面气压和海表面温度的耦合关系,以SLPA为左场,SSTA为右场,做了SVD分

解。SVD分解第一、二耦合模态的方差贡献分别为60.17%、19.54%,均通过了North检验^[14],时间序列的相关系数分别为0.71、0.69。

将SVD第一、二耦合模态与SLPA和SSTA单独作EOF分解得到的第一、二模态比较后发现,SLPA第一、二模态与SVD左场的第一、二耦合模态空间场的相关系数分别为0.7559、0.6398,时间系数相关系数为0.9235、0.8256;而SSTA第一和第二模态与SVD右场的第一、二耦合模态空间场的场相关系数分别为0.9412、0.6043,时间系数相关系数为0.9742、0.6128。这说明,SVD左场的第二耦合模态可看作SLPA的NPO模态;相应的,SVD右场的第二耦合模态可看作SSTA的NPGO模态。下面对第二耦合模态的空间分布和时间系数进行分析。

4.1 空间结构分析

对于SLPA而言(图3a),显著的正负异常区域

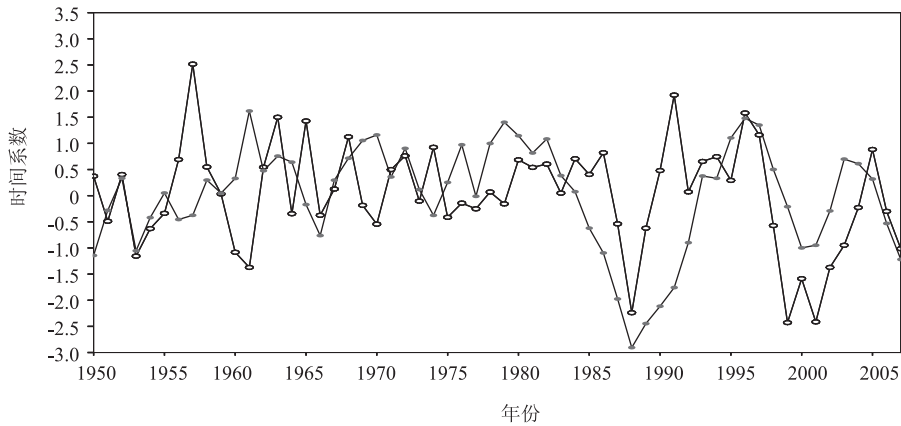


图2 冬季北太平洋SSTA(○)及SLPA(●)EOF分解第二模态时间系数

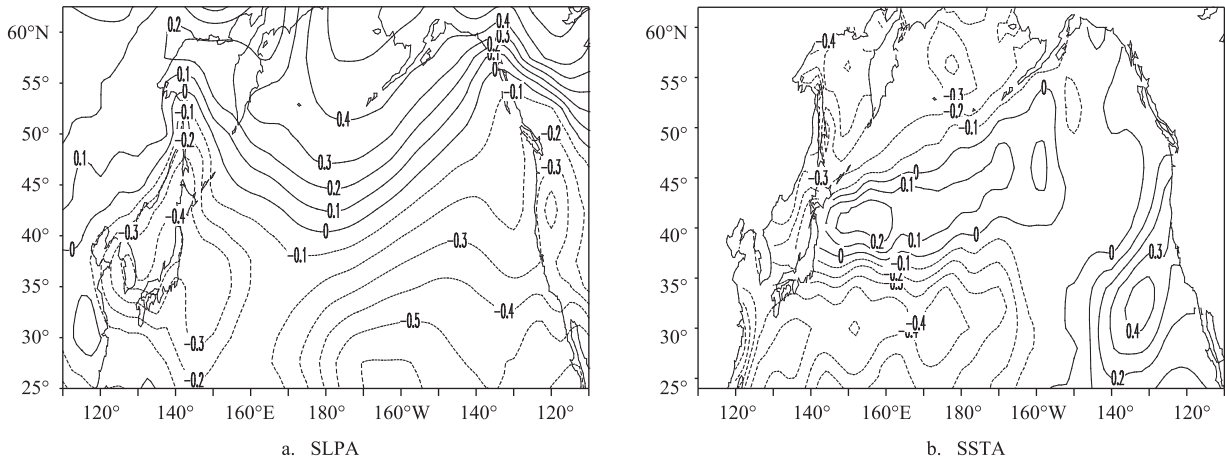


图3 冬季北太平洋SLPA和SSTA SVD分解第二耦合模态的空间分布

在北太平洋且呈南北偶极子分布,在太平洋中部正负值区域交汇在 40°N 附近。对于SSTA而言(图3b),显著的正负异常区域也呈南北偶极子分布,在西太平洋显著的正负值区域交汇在 38°N 左右,黑潮延伸区大致位于上述两个模态正负值带的交汇处。该耦合模态的分布表明:在中纬度的北太平洋中西部海域,SLPA和SSTA正相关,正(负)的SSTA对于正(负)的SLPA,这反映了在该海域,大气NPO模态和海洋NPGO模态的耦合特征显著,且与黑潮延伸区海洋的西风漂流和大气的西风气流关系密切。

4.2 时间系数分析

图4给出了北太平洋SLPA(图4a)及SSTA(图4b)第二耦合模态的时间系数变化,为叙述方便,现将时间序列中大于(小于)0的时段称为正(负)位相。由图可见,SLPA及SSTA第二耦合模态在时间系数上表现为:20世纪80年代之前,以正位相为主,负位相的振幅较小,正负位相交替变化的频率也较快;80年代之后,以负位相为主,且负位相振幅明显加大,正负位相交替变化的频率也变慢。时间系数的变化趋势说明北太平洋大气和海洋的第二耦合模态正在由高频变化转换为低频,这在某种程度上亦可反映北太平洋气候模态的性质发生了改变。而且还可见,相比于1976/1977年的气候迁移,1988/1989年的气候迁移在第二耦合模态上表现更明显,这表明北太平洋SLPA和SSTA第二耦合模态的作用越来越重要^[16]。

5 海洋大气耦合特征分析

因NPO模态和NPGO模态都呈双带结构,故在北太平洋的中纬度地区,存在着SLPA和次表层海温的经向梯度大值带,由地转风关系和海洋上层流动是风生流可知,该梯度大值带与地面西风和表层纬向流密切相关^[7],这也就意味着SVD第二耦合模态中SLPA场在北太平洋的中纬度地区应与纬向西风密切相关。

为此对研究区域内的纬向风异常(UWVDA)进行EOF分解,其第二模态的时间系数与SLPA第二模态时间系数的相关性可达0.93,这反映了纬向风也具有年代际的变化特征。图5a、5b及5c分别为UWVDA第二模态的空间结构、SLPA第二模态时间系数回归的UWVDA场及UWVDA第二模态时间系数回归的SSTA场。由图可见:UWVDA第二模态在北太平洋中部(40° — 50°N)存在一个椭圆形负值中心,而这与SLPA EOF分解的第二模态空间场(图1)中正负中心间的梯度大值区相对应。由SLPA第二模态时间系数回归得到的UWVDA则与UWVDA EOF分解的第二模态的空间场结构类似。由UWVDA第二模态时间系数回归得到的SSTA分布(图5c)则与海表温度的NPGO模态的空间结构非常相似,其中在中纬度中西部存在正负大值带的偶极分布。

以上结果说明:海表面西风的第二模态与NPGO的形成密切相关,大气的NPO模态是通过海

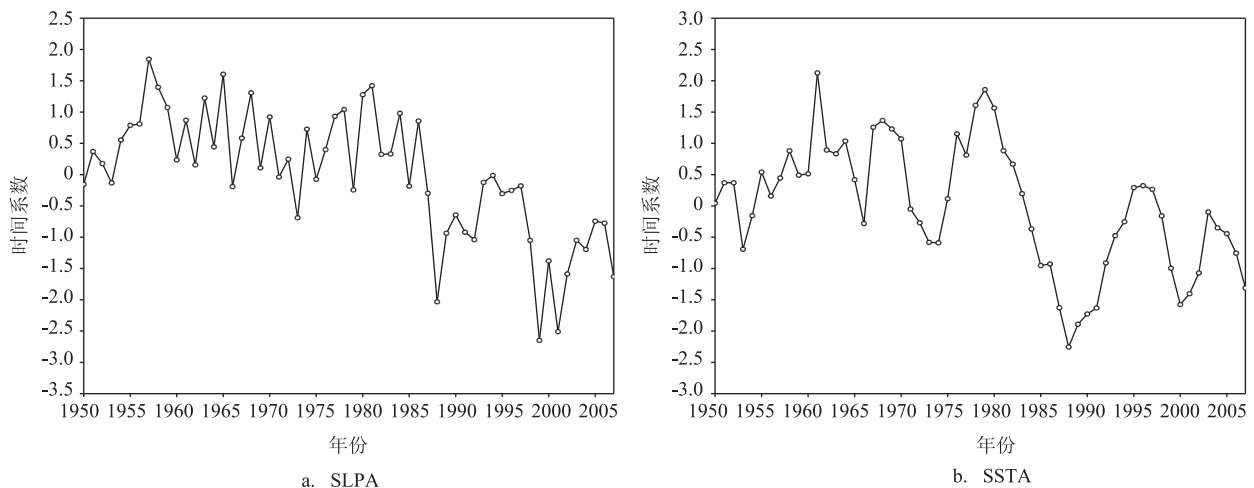


图4 冬季北太平洋SLPA和SSTA SVD分解第二耦合模态的时间系数

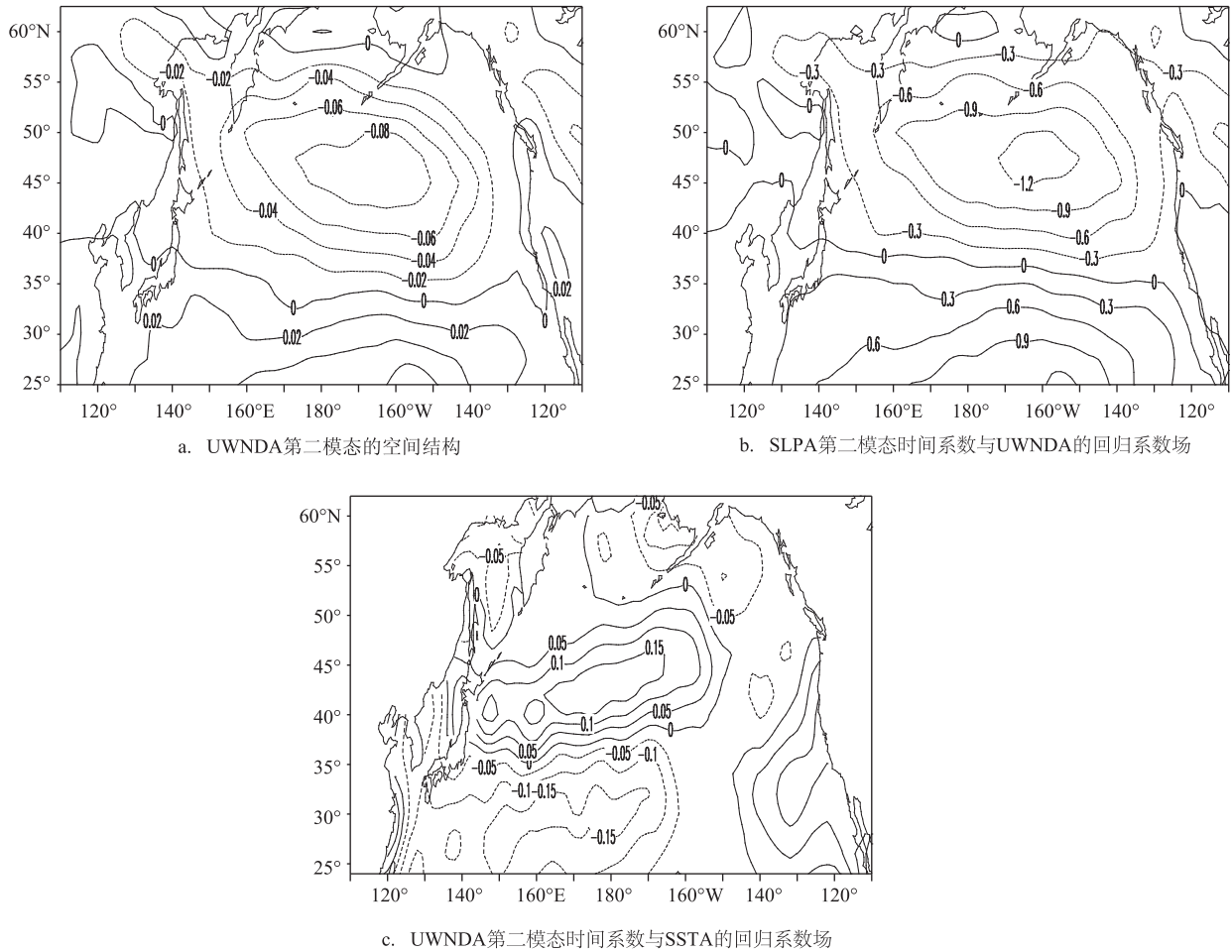


图5 UWNDA在SLPA和SSTA耦合特征中的作用分析

表面西风影响着海洋的NPGO模态;而海表流场异常对大气海面风场异常的响应和海面气压场异常对海表面温度异常的响应就成为NPO和NPGO两模态联系的桥梁。以下再对此进行分析。

若NPO模态处于正位相,NPO模态双带结构表现为,北带上是正SLPA,南带上是负SLPA,中纬度45°N处有SLPA经向梯度大值区。可知,此时地面西风异常减弱,从而造成海表西风漂流减弱,即黑潮亲潮延伸流(KEO)和北太平洋流(NPC)减弱,而这又会使相应次表层东向流的减弱;在次表层,对海洋大尺度系统,运动是准地转和准静力的,且可忽略海洋非绝热加热的影响,这样可知次表层东向流的减弱则会造成该层海温经向梯度的增加,并会造成相应SSTA经向梯度的增加;从而增强SSTA的北正南负分布形态,即增强NPGO模态的暖位相。这样大气中NPO模态的正位相就会增强海洋

中NPGO模态的暖位相。

若NPGO模态处在暖位相,NPGO模态的双带结构表明,北带上是正SSTA,南带上是负SSTA,中纬度38°N处有SSTA经向梯度大值区。海洋对大气的热力作用,则会造成近海面气温异常也有同样态势的分布,即大气低层在正SSTA处气温高,在负SSTA处气温低;众所周知,在中纬度西风带范围的地面和大气低层,通常气温高处则气压低,气温低处则气压高,从而造成SLPA的北低南高的分布态势,而这正是NPO的负位相。由此可见,海洋中的NPGO模态的暖位相则会减弱大气NPO模态的正位相。

在以上分析中,与温度经向变化相较不考虑海洋盐度经向变化,同时使用了海洋次表层与表层的流场和温度场具有正相关的假设^[7],而这些通常都是成立的。次表层与表层的流场和温度场具有正

相关的假设,该点通常是成立的,此外也未考虑大气感热(热通量)的影响。该分析表明,NPO模态和NPGO模态两者之间的联系是通过海气相互作用完成的,通过此作用,北太平洋中纬度大气流场、气压场和海表流场、海温场四者最后达到动态平衡状态。因本文只能定性的给出该动态平衡的可能结果,分析也比较粗浅;并无法给出其中间过程及其具体机理机制,故对大气中NPO模态和海洋中NPGO模态何者是决定气候异常的主要方面尚难确定,也许在一定条件下,两者都是,并可互相转化。

6 结论

本文通过对冬季北太平洋的SLPA和SSTA进行EOF分解和SVD分解,揭示了冬季北太平洋的海平面气压和海表面温度的主要模态,主要针对第二耦合模态进行了研究,并对其耦合特征做了分析,得到了如下结果:

(1)SLPA和SSTA的SVD第一耦合模态分别可看做AL模态和PDO模态,第二耦合模态则可分别看做NPO模态和NPGO模态,且SLPA和SSTA的两个主要模态之间存在明显的耦合关系;

(2)SLPA和SSTA第二耦合模态空间场,反映出北太平洋中西部是NPO模态和NPGO耦合模态相互作用的关键海域,时间变化趋势表明北太平洋大气和海洋的第二耦合模态正在由高频变化转换为低频变化,且SLPA上表现出的气候迁移要早于SSTA;

(3)海表西风EOF分解的第二模态与NPGO密切相关,这反映了NPO模态通过海表面西风异常影响着NPGO模态的结构,两模态之间的联系是通过海气相互作用完成的,并导致中纬度北太平洋海面风场、气压场和海表流场、海温场四者达到动态平衡;

(4)NPO模态的正位相会增强NPGO模态的暖位相,而NPGO模态的暖位相则会减弱NPO模态的正位相。

参考文献:

[1] Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. A Pacific Interdecadal

- Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1997, 78(6): 1069-1079.
- [2] 刘秦玉,李春,胡瑞金. 北太平洋的年代际振荡与全球变暖[J]. *气候与环境研究*, 2010, 15(2): 217-224.
- [3] Zhang Y, Norris J R, Wallace J M. Seasonality of Large-Scale Atmosphere-Ocean Interaction over the North Pacific[J]. *Journal of Climate*, 1998, 11: 2473-2481.
- [4] 朱益民,杨修群,俞永强,等. FGOAIS.g快速耦合模式模拟的北太平洋年代际变率[J]. *地球物理学报*, 2008, 51(1): 58-69.
- [5] 杨修群,朱益民,谢倩,等. 太平洋年代际振荡的研究进展[J]. *大气科学*, 2004, 28(6): 979-992.
- [6] Di Lorenzo E, Schneider N, Cobb K M, et al. North Pacific Gyre Oscillation Links Ocean Climate and Ecosystem Change[J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(8): L08607.
- [7] Bond N A, Overland J E, Spillane M, et al. Recent Shifts in the state of the North Pacific[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(23): 2183.
- [8] Walker G T, Bliss E W. World Weather V[J]. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 1932, 4(36): 53-84.
- [9] Ceballos L, Di Lorenzo E, Hoyos C D. North Pacific Gyre Oscillation Synchronizes Climate Fluctuations in the Eastern and Western Boundary Systems[J]. *Journal of Climate*, 2009, 22(19): 5163-5174.
- [10] Qiu B, Chen S M. Eddy-Mean Flow Interaction in the Decadally Modulating Kuroshio Extension System[J]. *Deep-Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, 2010, 57(13-14): 1098-1110.
- [11] Chhak K C, Di Lorenzo E, Schneider N, et al. Forcing of Low-Frequency Ocean Variability in the Northeast Pacific[J]. *Journal of Climate*, 2009, 22(5): 1255-1276.
- [12] Furtado J C, Di Lorenzo E, Schneider N, et al. North Pacific Decadal Variability and Climate Change in the IPCC AR4 Models [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(12): 3049-3067.
- [13] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术(第2版)[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 160-169.
- [14] North G R, Bell T L, Cahalan R, et al. Sampling Errors in the Estimation of Empirical Orthogonal Functions[J]. *Monthly Weather Review*, 1982, 110(7): 699-706.
- [15] 张永垂,张立凤. 冬季黑潮海域异常加热与北太平洋大气环流的耦合关系[J]. *热带气象学报*, 2009, 25(6): 740-746.
- [16] Yeh S W, Kang Y J, Noh Y, et al. The North Pacific Climate Transitions of the Winters of 1976/77 and 1988/89[J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(4): 1170-1183.
- [17] 吕庆平. 冬季北太平洋环流振荡之研究[D]. 南京: 解放军理工大学气象学院, 2013.

Coupling feature between the NPO mode and NPGO mode in North Pacific in winter

LYU Qing-ping^{1,2}, ZHANG Li-feng², DAI Wen-hao¹

(1. East Sea Fleet, Oceanography and Meteorology Center, Ningbo 315122 China; 2. Significant Weather Monitoring and Early Warning Research Center of the Whole Army, College of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101 China)

Abstract: In this paper, the EOF and SVD method was used for surface level pressure anomalies (SLPA) and sea surface temperature anomalies (SSTA) in the North Pacific ocean in winter, and their coupling feature was discussed by both the statistical analysis and the numerical model. The second SVD modes of SLPA and SSTA reflect the NPO mode and NPGO mode, separately. The spatial structure shows that the main interaction occurred at the mid-latitude western area. Time series variation trend indicates that the second modes of atmosphere and ocean in the North Pacific are changing from high frequency to low, and the climate shift appeared in SLPA is earlier than that of SSTA. The second EOF mode of latitudinal wind anomalies reveals that the NPO mode can influence the NPGO mode through the near-surface westerly wind. When the NPGO is at positive phase, the spatial feature of SLPA is similar to NPO mode, and the westerly anomalies is proportion to longitudinal gradient, which can testify the close relation between NPO mode and NPGO mode. At the same time, sensitivity experiments of oceanic model show that the influence of latitudinal wind stress to NPGO mode is most obvious.

Key words: North Pacific; NPO mode; NPGO mode; SVD