

# 北极涛动对ENSO影响的研究进展

陈尚锋 陈文

(中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100029)

**摘要:** 北极涛动 (AO) 是北半球中高纬地区大气环流年际变率的第一主导模态, 厄尔尼诺-南方涛动 (ENSO) 则是热带太平洋地区年际变化的最强信号。这两个气候系统对全球大范围的天气和气候都能产生显著的影响。总结了近年来关于AO影响ENSO的最新研究进展, 试图促进对中高纬度大气系统影响热带系统物理过程的理解。研究表明, 春季AO对随后冬季ENSO的爆发存在显著的影响, 其中北太平洋中纬度地区的天气尺度波与平均流之间的相互作用及其相关的涡度输送对赤道西太平洋异常西风的形成起着重要的作用。在年代际时间尺度上, 研究发现, 春季AO对随后冬季ENSO的影响在20世纪70年代初发生了一次显著的年代际变化, 该年代际变化与北太平洋地区风暴轴强度的年代际变化紧密相联。研究还揭示了春季AO对ENSO影响的不对称性, 即只有当春季AO处于正位相时, 才能对随后冬季赤道中东太平洋海温产生显著影响。研究发现春季AO位相变化对前冬NPO与后一个冬季ENSO之间的关系具有显著的调制作用。此外, 研究还发现, 除春季AO外, 11月AO对随后春季和夏季赤道中东太平洋海温也存在显著的影响, 这主要和北太平洋地区风暴轴气候态强度的年循环有关。

**关键词:** 北极涛动, 厄尔尼诺-南方涛动, 波流相互作用, 风暴轴

**DOI:** 10.3969/j.issn.2095-1973.2016.05.001

## Progress in the Study of the Influence of Arctic Oscillation on ENSO

Chen Shangfeng, Chen Wen

(Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

**Abstract:** Arctic Oscillation (AO) is the dominant mode in the atmospheric circulation variability over the extra-tropical Northern Hemisphere. El Niño-Southern Oscillation (ENSO) is the primary mode in air-sea interaction over the tropical Pacific on interannual timescale. Variations of AO and ENSO exert substantial influences on the weather and climate anomalies over large areas in the globe. This paper reviews the studies of the influence of AO on ENSO, to improve our understanding the physical processes in the influence of extratropical atmospheric circulation on the tropical climate. It was found that the AO in spring has a significant influence on the ENSO events in subsequent winter. Interaction between synoptic scale eddy and low frequency mean flow over North Pacific plays a key role in the formation of the spring AO-related westerly wind anomalies over tropical western Pacific. The connection between the spring AO and subsequent winter ENSO experiences a significant interdecadal change around the early 1970s. This interdecadal change is closely related to the interdecadal change in the storm track intensity over North Pacific. The influence of the spring AO on the subsequent winter is asymmetric. Spring AO can exert significant influences on the following winter ENSO events only in its positive phase. Spring AO has a significant modulation effect on the linkage between previous winter North Pacific Oscillation and the following winter ENSO. In addition, the AO in November can exert significant influences on the sea surface temperature anomalies over tropical central-eastern Pacific in the following spring and summer. The intensification of the North Pacific storm track activity plays an important role in determining whether the variability of AO can exert influences on the subsequent SST anomalies in the tropical central-eastern Pacific.

**Keywords:** AO, ENSO, wave-mean flow interaction, storm track

### 0 引言

北极涛动 (Arctic Oscillation, AO) 是北半球中高纬地区大气环流变率的第一主导模态<sup>[1-2]</sup>。伴随AO

的强弱变化, 北半球中纬度地区和极地地区之间的大气质量和气压异常呈“翘翘板”式准正压性的反向变化。平均流与天气尺度波动间的相互作用对AO模态的形成和维持起到很重要的作用<sup>[3-8]</sup>。前人工作中已有许多关于AO对全球天气和气候影响的研究, 这些研究主要集中在北半球中高纬地区。例如, 研究发现, AO对北美、欧亚大陆中高纬地区的降水、表面气温

收稿日期: 2015年8月17日; 修回日期: 2016年1月16日  
第一作者: 陈尚锋 (1989—), Email: chenshangfeng@mail.iap.ac.cn  
资助信息: 国家自然科学基金项目 (41230527; 41605050)

和极端天气事件都存在显著的影响<sup>[9-12]</sup>。同时, AO对东亚夏季风<sup>[13-15]</sup>和东亚冬季风<sup>[16-18]</sup>等气候系统也有显著的影响。近年来的研究表明,除了北半球热带外区域, AO的强弱变化也可以显著地影响到热带地区的天气和气候系统。例如, Miller等<sup>[19]</sup>发现AO与中太平洋和大西洋低纬地区的向外长波辐射(OLR)存在显著的联系。他们发现,当AO处于正位相时,中太平洋和大西洋低纬地区OLR值偏低,即这些地区的对流比较旺盛。一些研究<sup>[20-24]</sup>也揭示了AO对热带季节内振荡、西北太平洋和大西洋地区热带气旋活动、北半球热带太平洋和大西洋对流活动及太平洋热带辐合带的影响。

厄尔尼诺-南方涛动(ENSO)是热带地区年际变化尺度上最强的信号。ENSO事件的发生不仅直接造成热带太平洋地区的天气气候异常,还会以遥相关的方式间接地影响到热带太平洋外乃至全球的天气和气候<sup>[25-27]</sup>。因此,有关ENSO变率影响因子的研究对ENSO事件本身及与其相联系的天气气候异常的预测都具有重大意义。早先的观点指出, ENSO是一个热带太平洋地区自维持的振荡系统。ENSO变率可以通过热带太平洋地区的非线性相互作用来维持,它可以通过自身物理过程的变化和相互反馈得到激发和发展<sup>[28-30]</sup>。虽然热带太平洋地区的海气相互作用对ENSO的发生、发展和衰亡起到重要的作用,但一些研究也指出,热带太平洋区域以外的气候系统对ENSO变率的维持也存在重要的影响。比如, Li<sup>[31]</sup>发现东亚冬季风可以触发ENSO事件的发生。他的研究指出,当东亚冬季风偏强时,东亚寒潮活动频繁,寒潮向南发展时触发热带西北太平洋地区的对流活动,导致热带西太平洋出现异常西风;热带西太平洋地区的异常西风激发东传的暖Kelvin波,使得西太暖池的暖海温异常沿着斜温层向东传播到赤道东太平洋,最终导致El Niño的发生。Vimont等<sup>[32-34]</sup>发现冬季北太平洋涛动(North Pacific Oscillation, NPO<sup>[35-36]</sup>)可以通过“季节脚印机制”过程对下一个冬季ENSO事件造成显著影响。最近的研究指出, AO作为北半球热带外大气环流变化第一主导模态,对随后的ENSO或赤道中东太平洋海温变率也存在显著影响。

本文总结了近年来关于AO影响ENSO的最新研究成果,包括AO影响ENSO的物理过程, AO影响ENSO的年代际变化和AO影响ENSO的不对称性等。AO和ENSO都能对全球大范围地区的天气和气候产生显著影响,因此总结这方面的研究不仅有利于提高对中高纬大气系统影响热带系统的认识,也有助于改善天气气候预测技巧。

## 1 春季AO对ENSO的影响

### 1.1 春季 AO 影响随后冬季 ENSO 的物理过程

图1给出标准化的春季AO指数和随后冬季Niño3.4指数的时间序列以及标准化春季AO指数回归的海表面温度(SST)异常场。从图1中可以看到,春季AO变化与随后冬季赤道中东太平洋海温异常存在显著的联系。当春季AO处于正(负)位相时,随后冬季赤道中东太平洋往往会发生El Niño(La Niña)。Nakamura等<sup>[37]</sup>指出,当春季AO处于正位相时,赤道西太平洋出现显著的西风异常,该西风异常在随后的夏季和秋季向东扩张,进而触发El Niño的发生。Nakamura等<sup>[38]</sup>认为,在春季AO高值年,赤道西太平洋西风异常的出现与东亚寒潮爆发频次偏多有关;在春季AO高值年,东亚地区的寒潮爆发频次偏多,寒潮爆发向南到达热带西北太平洋后会频繁触发该地区的对流活动,进而大气对热带西太平洋地区的对流加热产生Matsuno-Gill响应<sup>[39-40]</sup>,赤道西太平洋两侧出现两个异常气旋,从而产生赤道西太平洋的西风。但是,前人研究认为在AO高值年,东亚地区的寒潮爆发频次偏少<sup>[12, 17]</sup>,因此用寒潮解释赤道西风异常的出现与前人的研究存在矛盾。同时,前人研究发现东亚寒潮事件的发生与西伯利亚高压的强度有关,只有当西伯利亚高压达到一定强度时,东亚寒潮事件才有可能发生<sup>[41-42]</sup>。通过计算春季AO指数与前冬和同期春季西伯利亚高压指数的相关系数,发现它们之间为负相关,与以往研究结果一致<sup>[17]</sup>。这说明,春季AO处于高值年时,西伯利亚高压偏弱,因此东亚寒潮爆发频次趋向于偏少<sup>[12, 17, 41-42]</sup>。而春季AO高值年时,赤道西太平洋西风异常出现的物理过程仍不清楚。

Chen等<sup>[43]</sup>进一步分析了春季AO影响随后冬季ENSO的物理过程。研究表明,春季AO并不是通过寒潮活动而是通过北太平洋地区的天气尺度波动和平均流之间的相互作用形成赤道西太平洋的西风异常。在春季AO高年,东亚—北太平洋中纬度地区的西风减弱,西风减弱伴随着天气尺度波动的减弱。天气尺度波动异常反馈给平均流,在副热带北太平洋地区产生气旋性环流异常和显著的大气加热异常<sup>[44]</sup>。副热带北太平洋地区的大气加热异常对热带西太平洋西风异常的形成和维持起到重要的作用。赤道西太平洋的西风异常触发东传的暖开尔文波,使随后夏季和秋季赤道中东太平洋海温升高。海温升高后会通过皮叶克尼斯正反馈过程<sup>[45]</sup>使赤道中东太平洋的暖海温异常得以维持和加强,最终导致随后冬季El Niño的发生。最近Chen等<sup>[46]</sup>的个例分析研究指出,春季北极涛

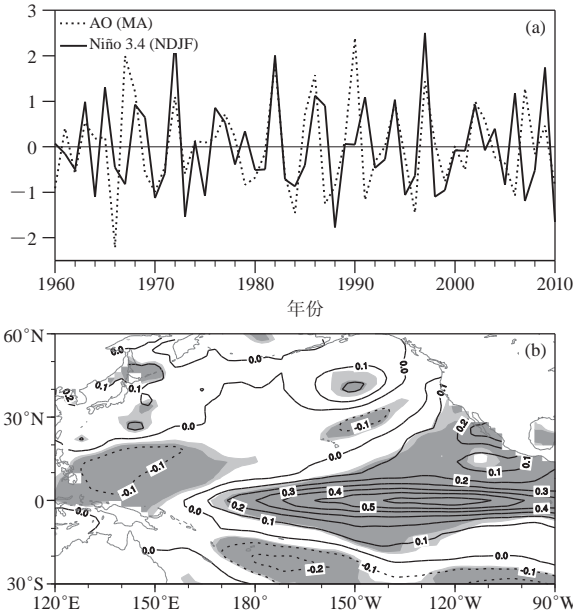


图1 (a) 标准化的春季(3—4月平均)AO指数和随后冬季(11—次年2月平均)Niño3.4指数; (b) 春季AO指数回归的随后冬季热带太平洋海温(单位: °C)异常(图b中浅色和深色阴影分别表示海温异常通过90%和95%信度检验)<sup>[43]</sup>

Fig. 1 (a) Normalized time series of spring (averaged over March to April) AO index and the following-winter (averaged over November to February) Niño3.4 index; (b) Anomalies of SST (unit: °C) in the following winter obtained with regressions from the normalized spring AO index. Dark (light) shading in Fig. 1b indicates anomalies that are significantly different from zero at the 95% (90%) confidence level

动对2015—2016年超强厄尔尼诺的爆发起着非常重要的触发作用。这再次证实了春季北极涛动对随后冬季ENSO事件的影响。

## 1.2 春季AO影响随后冬季ENSO的年代际变化

研究发现, 春季AO与随后冬季ENSO之间的关系是不稳定的<sup>[47]</sup>。图2给出了春季AO指数和随后冬季

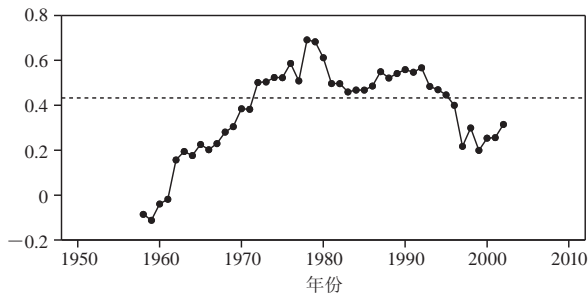


图2 春季AO指数和随后冬季Niño3.4指数的21年滑动相关(虚线表示相关系数通过95%信度检验)<sup>[47]</sup>

Fig. 2 21-year sliding correlations between spring AO index and the following winter Niño 3.4 index. Dashed line indicates the correlation is significant at the 95% confidence level

Niño3.4指数的21年滑动相关结果。从图2可以看出, 20世纪70年代初之前和20世纪90年代中期之后, 春季AO对随后冬季ENSO的影响不显著。20世纪70年代初—90年代中期, 春季AO能对随后冬季ENSO事件的发生产生显著的影响。研究认为, 春季AO与ENSO关系在20世纪70年代初的年代际变化可能与春季北太平洋地区天气尺度波动(也称风暴轴)活动强度的年代际变化有关<sup>[47]</sup>。春季北太平洋风暴轴活动强度在20世纪70年代初发生了一次显著的年代际变化: 70年代初之前, 春季北太平洋风暴轴活动强度较弱; 之后, 风暴轴活动显著增强。前人研究<sup>[48-50]</sup>已证明, 在风暴轴强(弱)的年代, 天气尺度波动对平均流的反馈作用强(弱)。相比于20世纪70年代之前, 70年代之后春季北太平洋风暴轴强度显著增强, 从而与春季AO相关的北太平洋地区的波流相互作用强, 由此产生的赤道西太平洋西风异常也比较强。因此, 20世

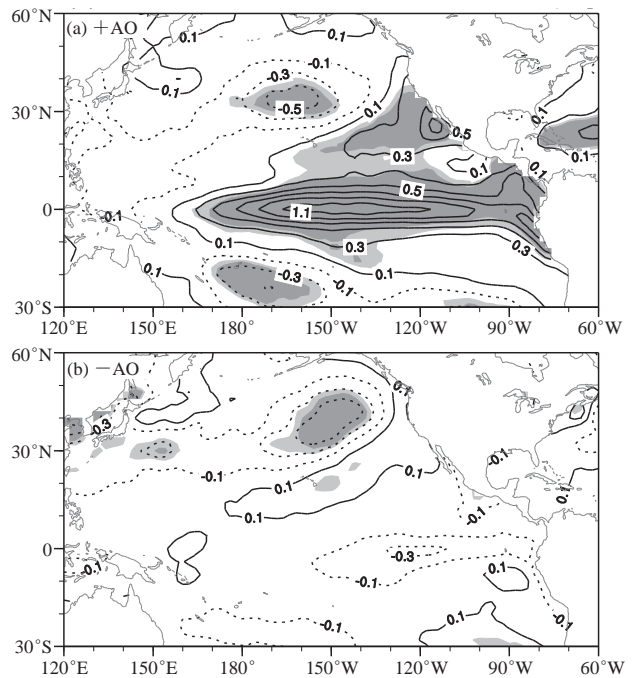


图3 1958—2012年春季AO指数高位相年(a)和低位相年(b)的随后冬季海温异常场的合成。图中等值线间隔为0.2°C。浅色和深色阴影分别表示海温与春季AO正常年的差异分别通过90%和95%信度检验(春季AO高低位相年以±0.5标准差为选择依据, 其余年份为春季AO正常年)<sup>[51]</sup>

Fig. 3 Composite anomalies of SST in the following winter from (a) high and (b) low spring AO years for 1958–2012. The contour interval is 0.2°C. The dark (light) shading indicates anomalies significantly different from zero at the 95% (90%) level. The high (low) spring AO years are defined as those during which the normalized spring AO index is higher (lower) than 0.5 standard deviation above the mean, and the remaining spring AO years

纪70年代之后，春季AO与随后冬季ENSO之间的联系更加密切。

### 1.3 春季 AO 影响随后冬季 ENSO 的不对称性

研究<sup>[51]</sup>发现，春季AO对ENSO的影响存在明显的不对称性。图3给出了1958—2011年春季AO指数高位相年和低位相年的随后冬季海温异常场的合成。春季AO高低位相年根据 $\pm 0.5$ 个标准差选出。根据此选择标准，春季AO高位相年有17年，春季AO低位相年有18年，其他年份归为春季AO正常年份。从图3可以看出，当春季AO处于高位相年时，随后冬季赤道中东

太平洋地区存在显著的正海温异常。值得强调的是，赤道中东太平洋地区的暖海温异常的振幅大于 $1.1^{\circ}\text{C}$ （图3a）；而当春季AO处于低位相年时，随后冬季赤道中东太平洋的负海温异常不显著（图3b）。另外，在17个春季AO高位相年中，有11年随后的冬季发生了El Niño事件；而18个春季AO低位相年中，只有5年随后的冬季发生La Niña事件。这说明，在春季AO为正位相的条件下，随后冬季发生El Niño事件的概率约为65%；然而，在春季AO为负位相的条件下，随后冬季发生La Niña的概率仅为28%。因此，比起La Niña，

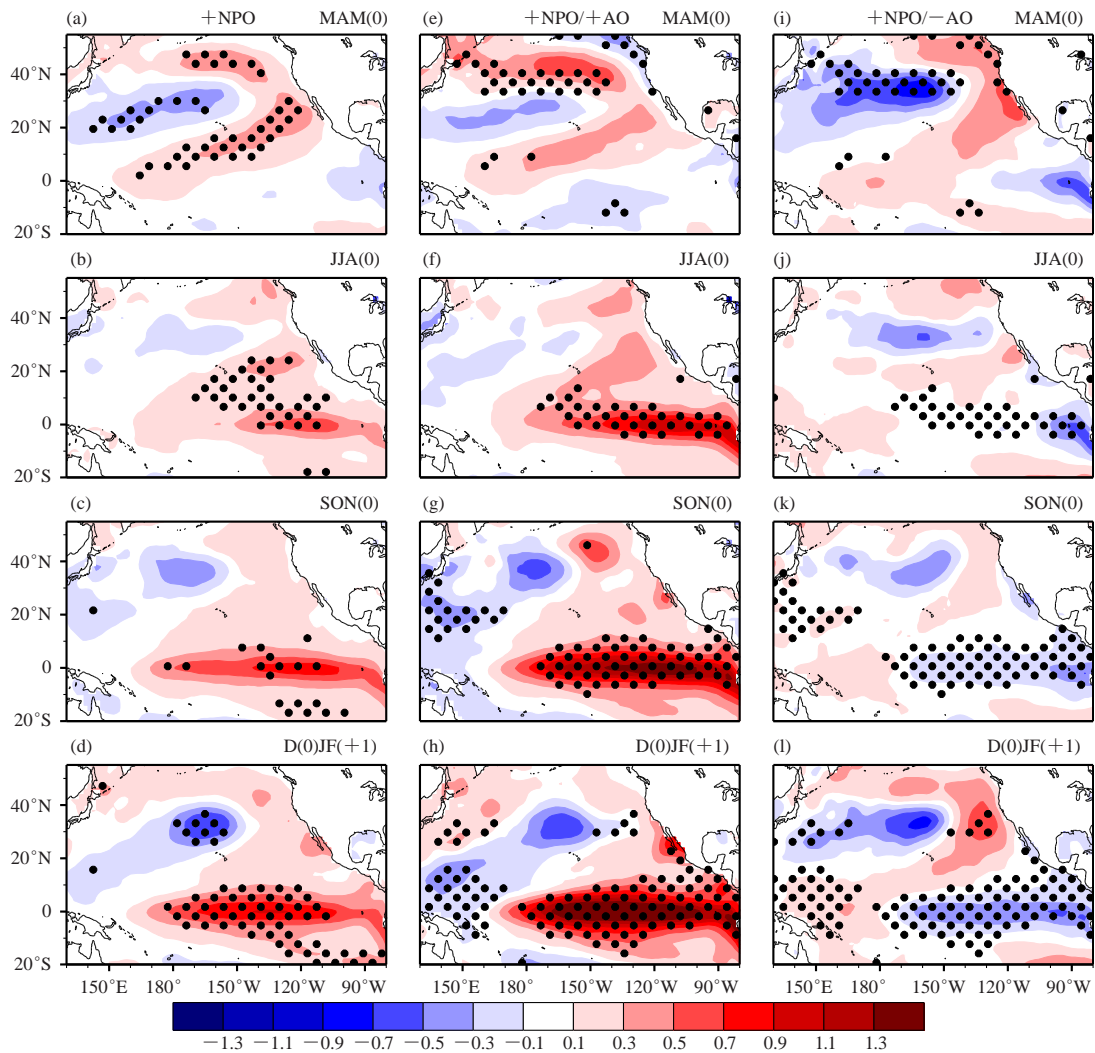


图4 冬季[ND(-1)JFM(0)]NPO指数高年(+NPO)随后春季(a),夏季(b),秋季(c)和冬季(d)海温异常的合成<sup>[53]</sup>。(e-h)和(i-l)同(a-d),但分别为+NPO/+AO和+NPO/-AO年海温异常的季节演变<sup>[58]</sup>;(a)-(d)中打点区域表示+NPO年海温异常通过95%信度检验;(e)-(l)中打点区域表示+NPO/+AO年合成海温与+NPO/-AO年合成海温的差异通过95%信度检验(单位:°C)

Fig. 4 Composite anomalies of SST ( $^{\circ}\text{C}$ ) in the following (a) spring, (b) summer, (c) autumn and (d) winter corresponding to high NPO (+NPO) in the previous winter (Nov.–Mar.). (e–l) As same as in (a–d), but (e–h) corresponding to +NPO/+AO, and (i–l) to +NPO/-AO, respectively. Stippled areas denote that the anomalies are significantly different from zero at 95% confidence level in Figs. a–d; but in Figs. e–l denote the regions where anomalies for the +NPO/+AO years are significantly different from those for the +NPO/-AO years at 95% confidence level

春季AO对随后冬季El Niño事件的影响更加显著。研究认为，春季AO对ENSO影响的不对称性与春季AO相关的大气环流场在北太平洋地区的不对称有关。相比于春季AO低年，春季AO高年相关的北太平洋大气环流异常强度更强、位置更偏南，由此相关的波-流相互作用产生的赤道西太平洋纬向风异常更强，从而对随后冬季赤道中东太平洋海温的影响更加显著<sup>[43]</sup>。

#### 1.4 春季AO对“季节脚印机制”的调制作用

前人研究<sup>[35-36]</sup>发现，冬季NPO可以通过“季节脚印机制”（seasonal footprinting mechanism）影响到下一个冬季ENSO事件的发生<sup>[32-34, 52]</sup>；冬季NPO通过改变表面热通量影响到同期冬季北太平洋地区的SST异常，NPO相关的冬季北太平洋SST异常可以通过海气正反馈作用<sup>[53]</sup>维持到次年的夏季。次年夏季大气场对NPO相关的SST异常产生Gill响应<sup>[39-40]</sup>，在赤道两侧产生两个气旋性环流异常，产生赤道西太平洋西风，进而影响随后冬季的ENSO事件<sup>[54-56]</sup>。Alexander等<sup>[52]</sup>检测了海气耦合模式中NPO影响ENSO的季节脚印过程，该海气耦合模式由两倍NPO标准差相关的表面热通量驱动，结果显示有70%的模式试验能模拟出热带中东太平洋地区的海温增暖现象。Park等<sup>[57]</sup>通过观测资料分析发现，当冬季NPO为正位相时，下一个冬季发生El Niño事件的概率仅为41%。这些结果说明，冬季NPO并不总能通过季节脚印机制过程导致下一个冬季El Niño事件的发生。Chen等<sup>[58]</sup>研究揭示了春季AO对前冬NPO与下一个冬季El Niño之间的关系存在显著的调制作用（图4），发现只有当春季AO处于高值年时，冬季NPO高位相年才能触发下一个冬季El Niño事件。春季AO高（低）位相年，春季AO有关的海温异常可以增强（减弱）前冬NPO高年在副热带北太平洋强迫出的春季海温异常，从而增强（减弱）之后夏季通过海气相互作用形成的赤道西太平洋西风异常，最终增强（减弱）随后冬季赤道中东太平洋NPO相关的海温异常。

## 2 其他月份AO对后期赤道中东太平洋海温的影响

### 2.1 11月AO对随后春季和夏季赤道中东太平洋海温的影响

前面的分析指出春季AO对随后冬季热带中东太平洋的海温存在显著的影响。当春季AO处于它的正位相时，随后冬季往往会发生厄尔尼诺事件。然而，关于AO与热带太平洋海温关系的研究，仍有一些科学问题尚不清楚。比如，其他月份AO的变率是否对热带中东太平洋海温的变化也存在显著的影响？如果

存在，那么它们之间联系的物理过程是怎样的？我们的研究进一步发现，除了春季AO外，11月份AO的变化也能对后期春季和夏季热带中东太平洋海温产生显著的影响。

图5给出了月平均AO指数与Niño3.4指数的超前相关系数分布<sup>[59]</sup>，可以看出，除了春季AO（3—4月平均）指数与随后冬季赤道中东太平洋海温存在显著相关外，11月AO与随后春季和夏季赤道中东太平洋的海温也存在显著的相关。图6给出了11月AO指数相关的海温和850hPa风场异常的时间演变，可以看出，当11月份AO为正（负）位相时，随后春季和夏季热带中东太平洋地区往往出现海温正（负）异常。因此，11月AO指数可以作为春季和夏季赤道中东太平洋的海温异常的一个重要的前期预报因子。与春季AO类似，天气尺度波与平均流之间的相互作用对北太平洋地区11月AO相关的大气环流异常的形成起到关键的作用。在11月AO正位相年，副热带北太平洋地区存在显著的气旋环流和大气加热异常。大气加热对热带西北太平洋地区异常西风的形成和维持起到重要的作用。热带西太平洋地区异常西风通过海气正反馈过程向东传播，导致随后春季和夏季热带中东太平洋地区出现显著的异常暖海温<sup>[45]</sup>。

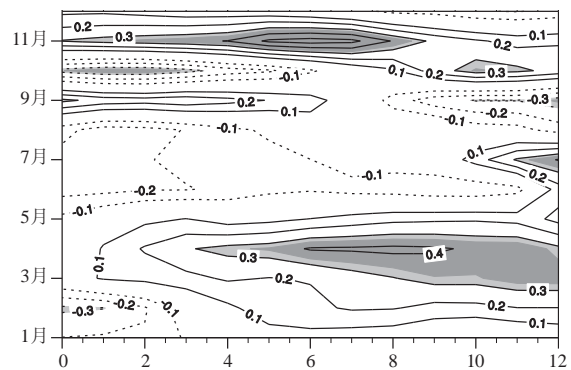


图5 月平均AO指数和Niño3.4指数的超前相关系数分布。纵坐标表示AO所在的月份。横坐标的数字为Niño3.4指数落后AO指数的月份数（浅色和深色阴影分别表示相关系数通过90%和95%信度检验）<sup>[59]</sup>

Fig. 5 Lead-lag correlation coefficients between the monthly AO index and the Niño 3.4 index. Positive (negative) lag indicates that the AO index leads (lags) the Niño 3.4 index. The dark (light) shading indicates the correlation over the 95% (90%) confidence level

### 2.2 AO影响赤道中东太平洋海温的季节依赖性

月平均AO指数与Niño3.4指数的超前相关系数分布（图5）已展示了哪些月份的AO对随后赤道中东太平洋海温存在影响。除了春季（3—4月平均）AO和11月AO外，其他月份的AO不能对随后季节赤道中东

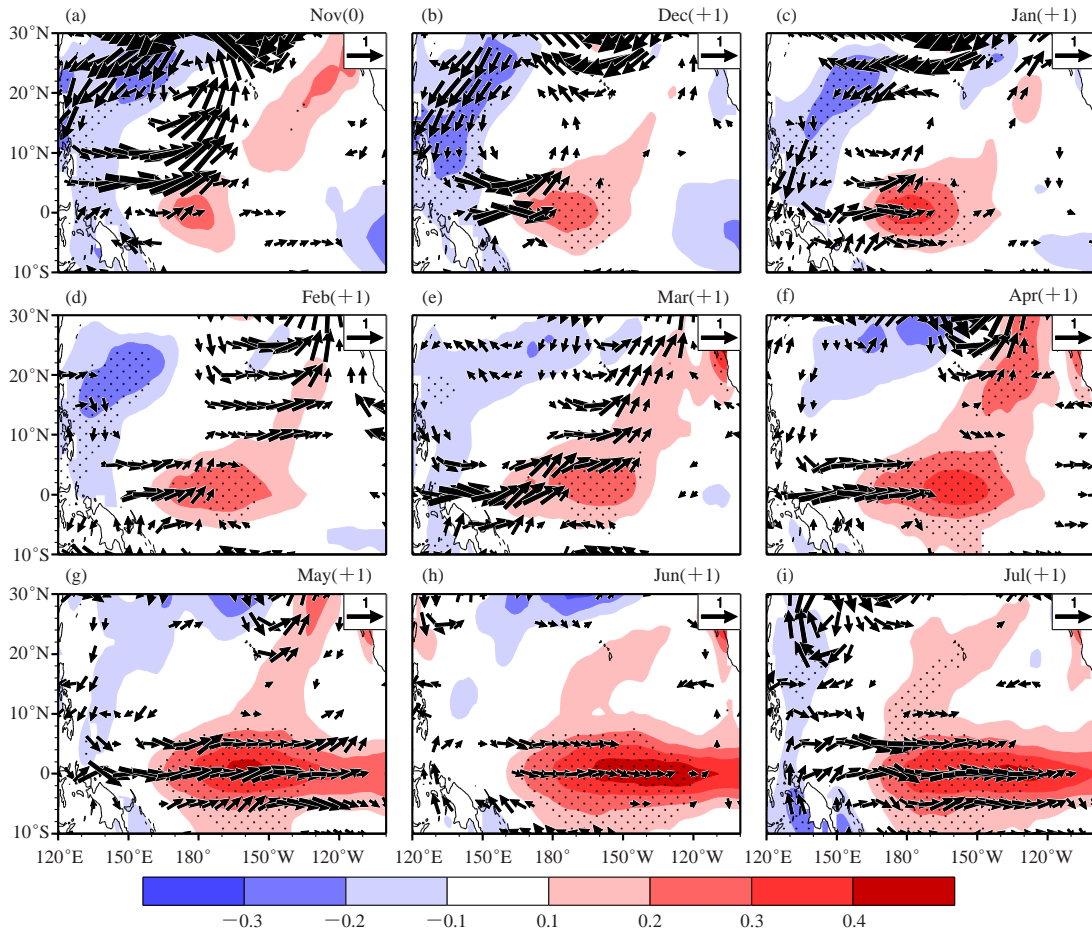


图6 11月AO指数对海温(填色, 单位: °C)和850hPa风场(矢量, 单位: m/s)的线性回归图<sup>[59]</sup>  
(a) - (i) 依次为同期11月、后期的12—7月(打点区域表示海温异常通过95%信度检验)

Fig. 6 Anomalies of SST (shadings, °C) and horizontal winds at 850 hPa (vectors, m/s) obtained by regression upon the normalized AO index in Nov (0): for (a) Nov (0), (b) Dec (0), (c) Jan (+1), (d) Feb (+1), (e) Mar (+1), (f) Apr (+1), (g) May (+1), (h) Jun (+1), and (i) Jul (+1). Stippled areas indicate where the anomalies are significantly different from zero at the 95% confidence level

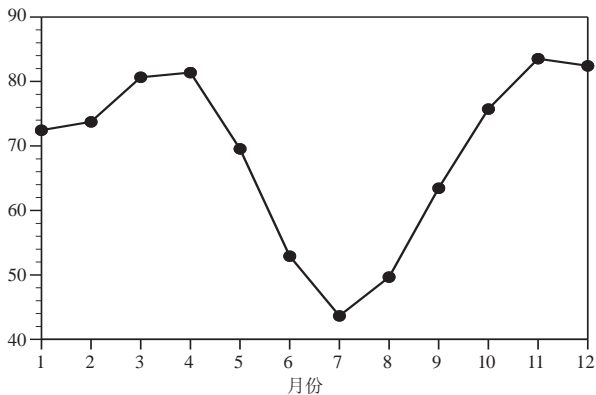


图7 北太平洋(35°—60°N, 150°E—140°W)风暴轴强度的年循环<sup>[59]</sup>(风暴轴定义为2~8d带滤波300hPa位势高度场的标准差, 单位: m)

Fig. 7 Annual cycle of the North Pacific storm track activity (unit: m) at 300 hPa, averaged over the region of 35°—60°N and 150°E—140°W, and 1979—2011

太平洋的海温产生显著影响。AO影响随后季节赤道中东太平洋海温的关键因子是赤道西太平洋的西风异常。研究发现, 春季AO和11月AO都能通过波-流相互作用触发赤道西太平洋的西风异常, 但是在其他月份AO相关的赤道西风异常很弱。

图7进一步给出了北太平洋风暴轴活动强度的年循环, 可以发现, 北太平洋风暴轴活动存在两个峰值, 恰好分别在11月和春季(3—4月)。研究已证明, 风暴轴偏强的时候, 天气尺度波动对平均流的反馈作用就更强, 由此产生的赤道西风也更强。因此, 相对于其他月份, 11月和春季北太平洋风暴轴活动更强, 对应的波流相互作用更强, 从而AO相关的波流相互作用产生的赤道西太平洋西风异常更强。这就解释了为什么只有春季(3—4月平均)AO和11月AO对随后月份的赤道中东太平洋的海温存在显著的影响。

响<sup>[58]</sup>。需要注意的是，AO空间结构的差异可能也会影响AO的信号能否传到热带地区。

### 3 总结和讨论

本文总结了最近一些关于AO影响ENSO的最新研究进展。主要有以下的最新研究成果：

1) 揭示了春季AO影响随后冬季ENSO的物理过程。春季AO通过北太平洋地区的波流相互作用产生赤道西太平洋的西风异常，进而对随后冬季ENSO事件产生影响。

2) 揭示了春季AO与随后冬季ENSO之间的关系在20世纪70年代初发生了一次显著的年代际变化；在年代际转变之前，春季AO对随后冬季ENSO的影响不显著，之后春季AO对ENSO事件的发生具有显著的作用。北太平洋风暴轴活动强度的年代际变化是AO-ENSO关系在20世纪70年代初变化的重要原因之一。

3) 揭示了春季AO对随后冬季ENSO影响的不对称性。只有当春季AO处于正位相时，它对随后冬季赤道中东太平洋的海温才有显著的影响。

4) 揭示了春季AO对NPO和ENSO的关系存在显著的调制作用。当春季AO处于正（负）位相时，前冬NPO对后期冬季El Niño的影响（不）显著。

5) 揭示了11月AO对随后春季和夏季赤道中东太平洋海温的影响。与春季AO类似，11月AO通过北太平洋地区的波-流相互作用产生赤道西太平洋的西风异常，进而通过海气相互作用和海洋动力过程对随后春季和夏季赤道中东太平洋的海温产生影响。

6) 揭示了AO影响随后季节赤道中东太平洋海温的季节依赖性。AO影响赤道中东太平洋海温的季节依赖性与北太平洋风暴轴强度的季节演变有关。只有当北太平洋风暴轴活动强度比较强时，AO才能激发赤道西太平洋的西风异常，进而对随后季节赤道中东太平洋海温产生影响。

虽然AO影响ENSO的研究取得了一些研究进展，但是仍然有一些问题值得进一步的研究：1) 目前关于AO影响ENSO的研究大都是采用观测资料分析，耦合模式中AO与ENSO的关系值得进一步的分析；2) 目前研究集中在AO对ENSO的影响。ENSO是否对后期的AO存在影响？若存在，影响的物理过程也值得进一步的探究。

#### 参考文献

[1] Thompson D W, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys Res Lett*, 1998, 25: 1297-1300.  
[2] Thompson D W, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: month-to-month variability. *J Climate*, 2000, 13: 1000-1016.

[3] Hartmann D L, Lo F. Wave-driven zonal flow vacillation in the Southern Hemisphere. *J Atmos Sci*, 1998, 55: 1303-1315.  
[4] Limpasuvan V, Hartmann D L. Eddies and the annular modes of climate variability. *Geophys Res Lett*, 1999, 26: 3133-3136.  
[5] Limpasuvan V, Hartmann D L. Wave-maintained annular modes of climate variability. *J Climate*, 2000, 13: 4414-4429.  
[6] Lorenz D J, Hartmann D L. Eddy-zonal flow feedback in the Southern Hemisphere. *J Atmos Sci*, 2001, 58: 3312-3327.  
[7] Lorenz D J, Hartmann D L. Eddy-zonal flow feedback in the Northern Hemisphere winter. *J Climate*, 2003, 16: 1212-1227.  
[8] Thompson D W, Lee S, Baldwin M P. Atmospheric processes governing the northern hemisphere annular mode/North Atlantic oscillation. *Geophysical Monograph-American Geophysical Union*, 2002, 134: 81-112.  
[9] Chen W, Li T. Modulation of northern hemisphere wintertime stationary planetary wave activity: East Asian climate relationships by the Quasi-Biennial Oscillation. *J Geophys Res*, 2007, 112, D20120.  
[10] Chen W, Zhou Q. Modulation of the Arctic Oscillation and the East Asian winter climate relationships by the 11-year solar cycle. *Adv Atmos Sci*, 2012, 29: 217-226.  
[11] Chen S, Chen W, Wei K. Recent trends in winter temperature extremes in eastern China and their relationship with the Arctic Oscillation and ENSO. *Adv Atmos Sci*, 2013a, 30: 1712-1724.  
[12] Jeong J H, Ho C H. Changes in occurrence of cold surges over east Asia in association with Arctic Oscillation. *Geophys Res Lett*, 2005, 32. doi: 10.1029/2005GL023024.  
[13] Chen S, Chen W, Wu R. An interdecadal change in the relationship between boreal spring Arctic Oscillation and the East Asian Summer Monsoon around the early 1970s. *J Climate*, 2015, 28: 1527-1542.  
[14] Gong D Y, Ho C H. Arctic oscillation signals in the East Asian summer monsoon. *J Geophys Res*, 2003, 108: 4066.  
[15] Gong D Y, Yang J, Kim S J, et al. Spring Arctic Oscillation-East Asian summer monsoon connection through circulation changes over the western North Pacific. *Clim Dyn*, 2011, 37: 2199-2216.  
[16] Chen W, Yang S, Huang R H. Relationship between stationary planetary wave activity and the East Asian winter monsoon. *J Geophys Res*, 2005, D14110.  
[17] Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. East Asian winter monsoon and Arctic oscillation. *Geophys Res Lett*, 2001, 28: 2073-2076.  
[18] Wu, B, Wang J. Winter Arctic oscillation, Siberian high and East Asian winter monsoon. *Geophys Res Lett*, 2002, 29: 1897.  
[19] Miller A J, Zhou S, Yang S K. Relationship of the Arctic and Antarctic oscillations to the outgoing longwave radiation. *J Climate*, 2003, 16: 1583-1592.  
[20] Choi K S, Byun H R. Possible relationship between western North Pacific tropical cyclone activity and Arctic Oscillation. *Theor Appl Climatol*, 2010, 100: 261-274.  
[21] Choi K S, Wu C C, Byun H R. Possible connection between summer tropical cyclone frequency and spring Arctic Oscillation over East Asia. *Clim Dyn*, 2012, 38: 2613-2629.  
[22] Larson J, Zhou Y P, Higgins R W. Characteristics of landfalling tropical cyclones in the United States and Mexico: Climatology and interannual variability. *J Climate*, 2005, 18: 1247-1262.  
[23] Zhou S, Miller A J. The interaction of the Madden-Julian oscillation and the Arctic Oscillation. *J Climate*, 2005, 18: 143-159.  
[24] 胡森, 龚道溢, 毛睿. 2-4月北极涛动对中西太平洋ITCZ活动的可能影响. *热带气象学报*, 2013, 29(1): 55-65.  
[25] Huang R, Chen W, Yang B, et al. Recent advances in studies of the interaction between the East Asian winter and summer monsoons and ENSO cycle. *Adv Atmos Sci*, 2004, 21: 407-424.  
[26] Wang B, Wu R, Fu X. Pacific-East Asian teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? *J Climate*, 2000, 13: 1517-1536.  
[27] 陈文. El Niño和La Niña事件对东亚冬、夏季风循环的影响. *大气科学*, 2002, 26(5): 595-610.  
[28] Schopf P S, Suarez M J. Vacillations in a coupled ocean-atmosphere model. *J Atmos Sci*, 1988, 45: 549-566.

- [29] Battisti D S, Hirst A C. Interannual variability in a tropical atmosphere-ocean model: influence of the basic state, ocean geometry and nonlinearity. *J Atmos Sci*, 1989, 46: 1687-1712.
- [30] Jin F F. An equatorial ocean recharge paradigm for ENSO. Part I: conceptual model. *J Atmos Sci*, 1997, 54: 811-829.
- [31] Li C Y. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño Events. *Adv Atmos Sci*, 1990, 7: 36-46.
- [32] Vimont D J, Battisti D S, Hirst A C. Footprinting: A seasonal connection between the tropics and mid-latitudes. *Geophys Res Lett*, 2001, 28: 3923-3926.
- [33] Vimont D J, Wallace J M, Battisti D S. The seasonal footprinting mechanism in the Pacific: Implications for ENSO. *J Climate*, 2003, 16: 2668-2675.
- [34] Vimont, D J, Alexander M, Fontaine A. Midlatitude excitation of tropical variability in the Pacific: the role of thermodynamic coupling and seasonality. *J Climate*, 2009, 22: 518-534.
- [35] Rogers J C. The north Pacific oscillation. *J Climatol*, 1981, 1: 39-57.
- [36] Walker G T, Bliss E. World weather. *V Mem Roy Meteor Soc*, 1932, 4: 53-84.
- [37] Nakamura T, Tachibana Y, Honda M, et al. Influence of the Northern Hemisphere annular mode on ENSO by modulating westerly wind bursts. *Geophys Res Lett*, 2006, 33: L07709.
- [38] Nakamura T, Tachibana Y, Shimoda H. Importance of cold and dry surges in substantiating the NAM and ENSO relationship. *Geophys Res Lett*, 2007, 34: L22703.
- [39] Matsuno T. Quasi-geostrophic motions in the equatorial area. *J Meteor Soc Japan*, 1966, 44: 25-43.
- [40] Gill A E. Some simple solutions for heat-induced tropical circulation. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1980, 106: 447-462.
- [41] Ding Y H. Monsoons over China. New York: Springer, 1987.
- [42] Zhang Y, Wang W C. Model-simulated northern winter cyclone and anticyclone activity under a greenhouse warming scenario. *J Climate*, 1997, 10: 1616-1634.
- [43] Chen S, Yu B, Chen W. An analysis on the physical process of the influence of AO on ENSO. *Clim Dyn*, 2014, 42: 973-989.
- [44] Lau N C. Variability of the observed midlatitude storm tracks in relation to low-frequency changes in circulation pattern. *J Atmos Sci*, 1988, 45: 2718-2743.
- [45] Bjerknes J. Atmospheric teleconnections from the equatorial pacific. *Mon Wea Rev*, 1969, 97: 163-172
- [46] Chen S, Wu R, Chen W, et al. Genesis of westerly wind bursts over the equatorial western Pacific during the onset of the strong 2015-16 El Niño. *Atmos Sci Lett*, 2016, 17:384-391.
- [47] Chen S, Yu B, Chen W. An interdecadal change in the influence of the spring Arctic Oscillation on the subsequent ENSO around the early 1970s. *Clim Dyn*, 2015, 44: 1109-1126.
- [48] Jin F F. Eddy-induced instability for low-frequency variability. *J Atmos Sci*, 2010, 67: 1947-1964.
- [49] Jin F F, Pan L, Watanabe M. Dynamics of synoptic eddy and low-frequency flow interaction. Part I: A linear closure. *J Atmos Sci*, 2006, 63: 1677-1694.
- [50] Jin F F, Pan L, Watanabe M. Dynamics of synoptic eddy and low-frequency flow interaction. Part II: A theory for low-frequency modes. *J Atmos Sci*, 2006, 63: 1695-1708.
- [51] Chen S, Chen W, Yu B. Asymmetric influence of boreal spring Arctic Oscillation on subsequent ENSO. *J Geophys Res: Atmos*, 2014, 119: 135-150.
- [52] Alexander M A, Vimont D J, Chang P, et al. The impact of extratropical atmospheric variability on ENSO: testing the seasonal footprinting mechanism using coupled model experiments. *J Climate*, 2010, 23: 2885-2901.
- [53] Xie S P, Philander S G H. A coupled ocean-atmosphere model of relevance to the ITCZ in the eastern Pacific. *Tellus Ser A-Dyn Meteorol Oceanol*, 1994, 46: 340-350.
- [54] Barnett T, Dümenil L, Schlese U, et al. The effect of Eurasian snow cover on regional and global climate variations. *J Atmos Sci*, 1989, 46: 661-686.
- [55] Huang R, Zhang R, Yan B. Dynamical effect of the zonal wind anomalies over the tropical western Pacific on ENSO cycles. *Sci Chin Ser D: Earth Sci*, 2001, 44: 1089-1098.
- [56] Weisberg R H, Wang C. A Western Pacific Oscillator Paradigm for the El Niño-Southern Oscillation. *Geophys Res Lett*, 1997, 24: 779-782.
- [57] Park J Y, Yeh S W, Kug J S, et al. Favorable connections between seasonal footprinting mechanism and El Niño. *Clim Dyn*, 2013, 40: 1169-1181.
- [58] Chen S, Chen W, Yu B, et al. Modulation of the seasonal footprinting mechanism by the boreal spring Arctic Oscillation. *Geophys Res Lett*, 2013, 40: 6384-6389.
- [59] Chen S, Wu R, Chen W, et al. Influence of the November Arctic Oscillation on the subsequent tropical Pacific sea surface temperature. *Int J Climatol*, 2015, 35: 4307-4317.

## 谢尚平教授获AMS斯维尔德鲁普金质奖

■ 本刊编辑部



2016年9月30日，美国气象学会（AMS）公布了2017年度的获奖名单。中国海洋大学物理海洋教育部重点实验室和海洋与大气学院“千人计划”谢尚

平教授获得斯维尔德鲁普金质奖章（Sverdrup Gold Medal），成为该奖项自设立以来第40位获得者，也是首位获得该奖的华人科学家。谢尚平教授主要从事海气相互作用和气候变化研究工作，是该领域的国际知名专家。AMS在授奖公告里指出，谢尚平教授“揭示了海洋-大气耦合反馈过程及其在气候变化中的作用，在该领域做出了杰出贡献”。此前，谢尚平教授曾于2014年入选汤森路透集团（Thomson Reuters）高引用学者（Highly-Cited Researcher），并于2016年7月入选美国地球物理联合会士（AGU Fellow）。此次荣获Sverdrup Gold Medal，是国际学术界对他在海洋-大气相互作用及气候变化领域多年杰出工作的再次褒奖。