

董啸, 薛峰, 曾庆存. 2014. 北半球冬季阿留申低压—冰岛低压相关关系的年代际变化及其模拟 [J]. 气候与环境研究, 19 (5): 523–535, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2013.13021. Dong Xiao, Xue Feng, Zeng Qingcun. 2014. Observational analysis and numerical simulation of the decadal variation in the relationship between the Aleutian low and the Icelandic low during boreal winter [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (5): 523–535.

北半球冬季阿留申低压—冰岛低压相关关系的年代际变化及其模拟

董啸^{1,2} 薛峰¹ 曾庆存¹

¹ 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心, 北京 100029

² 中国科学院大学, 北京 100049

摘 要 使用多种长期观测和再分析资料, 分析了北半球冬季阿留申低压和冰岛低压相关关系的年代际变化。结果表明, 两低压存在显著的负相关关系, 使北太平洋和北大西洋海平面气压形成跷跷板式的变化 (Aleutian Low–Icelandic Low Seesaw, AIS)。此外, AIS 还存在显著的年代际变化, 在 1935~1949 年和 1980 年后较为显著, 其余时期并不显著。对 1980 年代的年代际转变分析表明, 太平洋年代际振荡 (Pacific Decadal Oscillation, PDO) 在 1970 年代末的位相转变是 AIS 这次年代际转变的主要原因。PDO 由负位相转变为正位相, 使全球大部分大洋海表温度升高, 而北太平洋海表温度降低, 两低压显著变深, 低压南部西风增强, 从而通过 Rossby 波的频散效应使两低压强度形成显著负相关。1930 年代中期的年代际转变与此类似, 但强度较弱。同时, 年代际背景的变化也影响到两低压的年际变化。在给定海表温度和海冰分布的驱动下, 大气环流模式 IAP AGCM4 能基本模拟出 AIS 年代际转变的过程和机理, 但仍存在一些偏差。

文章编号 1006-9585 (2014) 05-0523-13

中图分类号 P434

文献标识码 A

关键词 阿留申低压 冰岛低压 年代际变化 太平洋年代际振荡

doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2013.13021

Observational Analysis and Numerical Simulation of the Decadal Variation in the Relationship between the Aleutian Low and the Icelandic Low during Boreal Winter

DONG Xiao^{1,2}, XUE Feng¹, and ZENG Qingcun¹

¹ International Center for Climate and Environment Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

² University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract Based on long-term observational and reanalysis data, this study focuses on the decadal variation in the correlation between the Aleutian low (AL) and the Icelandic low (IL) during boreal winter. The results show a clear seesaw pattern in sea level pressure between the North Pacific and North Atlantic due to a negative correlation between the AL and the IL (AIS). In addition, the AIS is significant from 1935–1949 and after 1980 while it is not so significant in other periods, i.e., there exists a decadal variation in the AIS. Results also indicate that the phase transition of the Pacific decadal oscillation (PDO) during the late 1970s played a major role in the decadal shift of the AIS in the 1980s. The phase transition of the PDO from a negative to a positive phase leads to enhanced sea surface temperature (SST) over the

收稿日期 2013-01-23 收到, 2013-10-10 收到修定稿

资助项目 中国科学院战略性先导科技专项 XDA05110201, 国家重点基础研究发展计划项目 2010CB951901

作者简介 董啸, 男, 1987 年出生, 博士生, 从事气候变化研究。E-mail: dongxiao@mail.iap.ac.cn

通讯作者 薛峰, E-mail: fxue@lasg.iap.ac.cn

global oceans and a reduced SST in North Pacific. In the meantime, the two lows are also deepened with a strengthened westerly on the south flanks of the lows. As a result, a negative correlation between the AL and the IL tends to become significant through the Rossby wave dispersive process. The decadal shift in the mid-1930s was much the same but with weaker intensity. We also noted that the interannual variability of the lows is influenced by the decadal climate background. Driven by the observed SST and sea ice, the IAP AGCM4 generally simulates the observed decadal shift of the AIS and related mechanisms although there are some biases in the model.

Keywords Aleutian low, Icelandic low, Decadal variation, Pacific decadal oscillation

1 引言

大气环流遥相关是联系不同区域环流变化的主要模态 (Wallace and Gutzler, 1981)。早在 1930 年代, Walker and Bliss (1932) 根据当时有限的观测资料, 发现全球大气环流存在三大涛动, 即北大西洋涛动 (North Atlantic Oscillation, NAO)、北太平洋涛动 (North Pacific Oscillation, NPO) 和南方涛动 (Southern Oscillation, SO), 其中 NAO 和 NPO 是指北大西洋和北太平洋高纬地区的低压系统和副热带高压系统的强度存在反位相振荡, 这种经向遥相关在北半球冬季期间最为显著。其后, Thompson and Wallace (2000) 将上述遥相关现象扩展到整个北半球范围, 称之为北极涛动 (Arctic Oscillation, AO) 或北半球环状模态。

NAO 和 NPO 及与之相关的冰岛低压 (Icelandic Low, IL) 和阿留申低压 (Aleutian Low, AL) 的变化对北半球和区域气候有重要影响。涂长望 (1937) 曾系统研究了三大涛动与中国气候异常的联系, 并试图将其应用于中国旱涝的预测。Hurrell (1995) 发现当 NAO 维持正位相时, 欧洲冬季偏暖, 而西北大西洋偏冷。Linkin and Nigam (2008) 指出 NPO 对北太平洋和北美冬季气温的影响要超过 ENSO。武炳义和黄荣辉 (1999) 发现冬季 NAO 指数与西伯利亚高压呈反向变化关系, 并通过西伯利亚高压影响到东亚冬季风的活动。王林等 (2011) 的研究也表明, 当冬季 NPO 处于正位相时, 东亚沿岸北风减弱, 中国东部地区显著升温, 同时江淮、长江以南地区降水增加。

上述研究多关注于 NAO 和 NPO 的变化及其影响。实际上, NAO 和 NPO 的两个主要低压系统即 AL 和 IL 也存在显著的年际相关 (Honda et al., 2001), 二者的强度变化存在类似于 NAO 或 NPO 的“跷跷板”式变化, 但不同之处在于这种遥相关现象发生在北半球冬季高纬度的纬圈方向上, 称之

为阿留申低压—冰岛低压的跷跷板关系 (Aleutian Low-Icelandic Low Seesaw, AIS)。其后的研究进一步表明 AIS 对北半球冬季大气环流年际变化有重要影响, 而主导模态 AO 可以看做是由 AIS 叠加在北极—中纬度两极振荡模态之上的结果 (Honda and Nakamura, 2001)。AIS 的变化改变了北大西洋和北太平洋上的蒸发和降水, 影响海气之间的热量和水汽交换, 从而影响到区域气候变化 (Honda et al., 2005), AIS 的影响甚至可以上达平流层 (Nakamura and Honda, 2002)。

值得注意的是, AL 和 IL 的相关还存在显著的年代际变化, 即 AIS 依赖于年代际背景。上述研究虽然注意到这种现象, 但并不清楚造成这种变化的成因。本文利用多种长期观测和再分析资料, 并结合数值模拟结果, 旨在揭示 AIS 的年代际变化及其可能机理。

2 模式和资料

本文主要利用以下观测和再分析资料: 1) 英国 Hadley 气候中心提供的全球月平均海平面气压场 (Sea Level Pressure, SLP) 资料 (Allan and Ansell, 2006), 时间为 1850~2004 年, 分辨率为 5° (纬度) $\times 5^\circ$ (经度); 2) NOAA 气候数据中心提供的月平均海表面温度 (Sea Surface Temperature, SST) 资料 (Smith et al., 2008), 时间为 1854~2012 年, 分辨率为 2° (纬度) $\times 2^\circ$ (经度); 3) 欧洲中期天气预报中心提供的月平均环流场再分析资料 (ERA40) (Uppala et al., 2005), 时间为 1958~2001 年, 分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度)。此外, 本文还采用了 NCEP 提供的月平均 Niño3.4 指数 (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices> [2012-12-20]) 和美国华盛顿大学提供的月平均太平洋年代际振荡 PDO 指数 (<http://jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest> [2012-12-20]), Niño3.4 指数为区域 ($5^\circ\text{N}\sim 5^\circ\text{S}$, $170^\circ\text{W}\sim 120^\circ\text{W}$) 月平均 SST 的异常, 表示 ENSO

的强度, 而 PDO 指数为北太平洋地区 (20°N 以北) SST 正交函数分解的第一模态, 表示 PDO 的强度。

本文所用模式是中国科学院大气物理研究所近年发展的第四代大气环流模式 (IAP AGCM4), 模式在继承前三代模式动力框架优点的基础上, 引入了许多新的特色, 物理过程同 NCAR 的 CAM3.1 基本相同。模式的水平分辨率为 1.4° (纬度) $\times 1.4^{\circ}$ (经度), 垂直方向为 26 层。与前几代模式相比, 模式的分辨率有很大提高, 物理过程也更加完备。模拟结果表明, 模式对全球和东亚气候有较好的模拟能力, 也能较好模拟出地表气温的长期变化, 其总体模拟性能与 CAM3.1 相当 (张贺等, 2009, 2011; Dong et al., 2012)。模式数据为利用 1870~2008 年观测海表温度和海冰驱动 IAP AGCM4 所得到的结果, 取 1900~2001 年结果进行分析。文中冬季系指北半球, 为前一年 12 月和当年 1 月和 2 月的平均 (DJF)。

3 AIS 的年代际变化特征

由 1900~1999 年气候平均的北半球冬季海平面气压场 (见图 1) 看出, 在北太平洋和北大西洋北部, 有两个显著的低压系统, 其活动中心位于阿留申群岛和冰岛附近, 故称之为阿留申低压和冰岛低压, 中心强度可深达 1002 hPa 以下。此外, 欧亚

大陆东部为强大的西伯利亚高压, 中纬度为高压带。根据图 1, AL 和 IL 的强度分别定义为 ($40^{\circ}\text{N}\sim 60^{\circ}\text{N}$, $160^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$) 和 ($55^{\circ}\text{N}\sim 65^{\circ}\text{N}$, $15^{\circ}\text{W}\sim 35^{\circ}\text{W}$) 两个区域的 SLP 纬度加权平均值。图 2 为两低压的原始时间序列及其 11 年滑动平均, 代表其年代际分量。两低压呈现显著的反位相变化关系, 即“跷跷板”式的变化, AL 偏深时, IL 偏浅, 反之亦然。在两低压异常强度较大的时期, 如 1920 年代、1940 年代、1960 年代和 1980 年代, 这种反向变化关系尤为显著, 从而构成了北半球冬季高纬度的纬向跷跷板式振荡。

另一方面, 我们还注意到, 两个低压的相关关系并非稳定不变, 而是呈现显著的年代际变化。在 1900~1999 年期间, AL 和 IL 有两个显著的相关期, 分别是 1935~1950 年和 1980 年之后 (如图 3 所示); 同时还有两个不显著相关期, 分别是 1935 年之前和 1951~1979 年。以 1958~2001 年为例, 并以 1980 年作为年代际变化的转折点, 前期 AL 与北太平洋、北美东部沿海地区和欧洲 SLP 呈正相关 (如图 4 所示), 但后者相关较弱, 而与亚洲大陆东部以及低纬度大部分地区 SLP 呈负相关, 高纬度为典型的 2 波型分布, 而中低纬度分布较为单一。后期相关形式发生了显著变化, AL 与高纬度大部分区域以及热带东太平洋到大西洋 SLP 呈大范围正相关, 与北

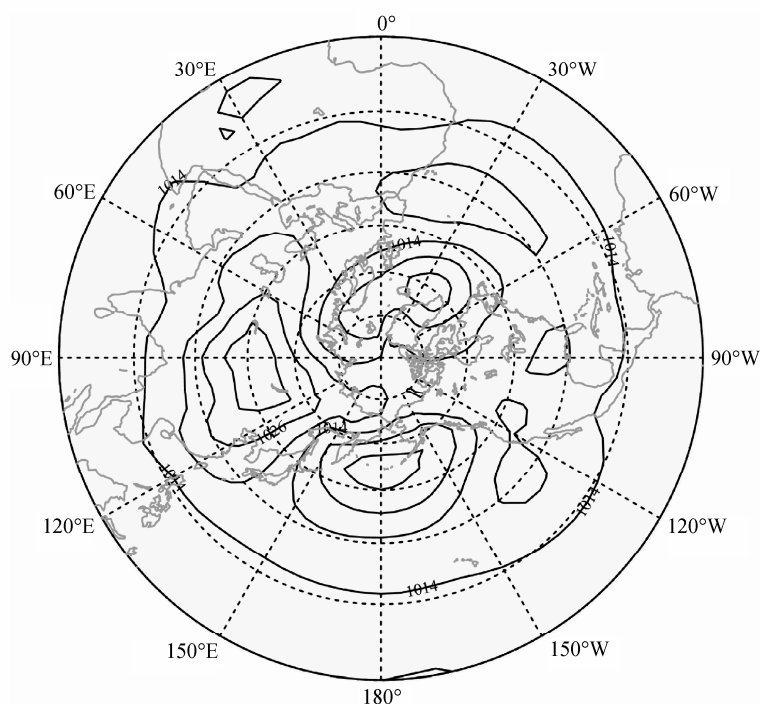


图 1 1900~1999 年气候平均的北半球冬季海平面气压场 (单位: hPa)

Fig. 1 Climatological mean sea level pressure (SLP) in boreal winter during 1900-1999 (units: hPa)

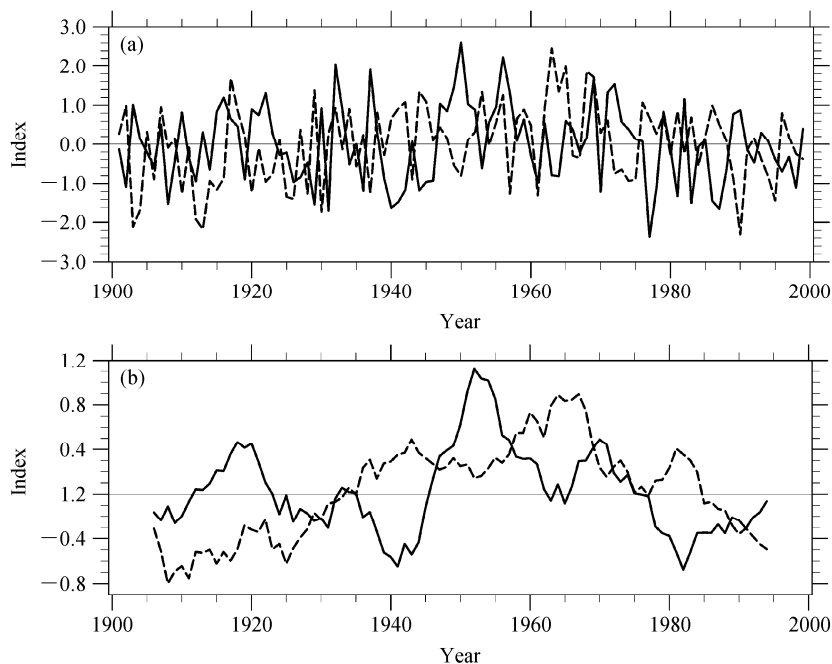


图2 1900~1999年标准化的阿留申低压强度指数(实线)和冰岛低压强度指数(虚线)的(a)时间序列及其(b)11年滑动平均

Fig. 2 (a) Normalized time series of Aleutian low (AL, solid line) and Icelandic low (IL, dashed line) and (b) their corresponding 11-year running mean in boreal winter during 1900–1999

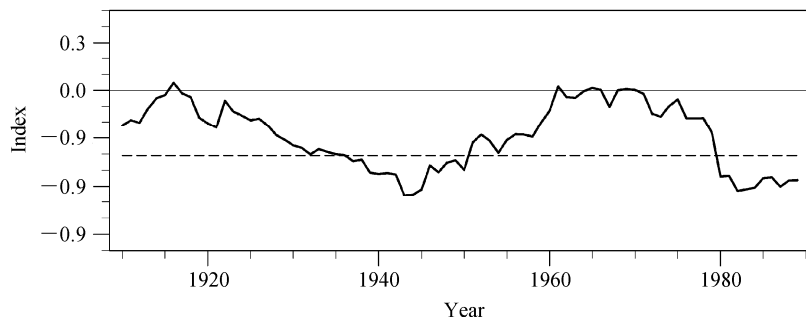


图3 阿留申低压强度指数和冰岛低压强度指数的21年滑动相关时间序列(虚线值为-0.41,代表通过0.05的显著性水平)

Fig. 3 Time series of 21-year running correlation of AL and IL (dashed line is -0.41 , which is significant at 0.05 level)

极地区和东半球低纬地区呈负相关,高纬度分布较为单一,而低纬度为1波型分布。前期AL与IL的相关系数为0.01,相关很弱,而后期则高达 -0.68 ,远超0.05显著性水平。此外,从两个时段AL和IL的功率谱分析图(图5)中可以看出,前期AL和IL的主要周期分别为3年和6~7年,差异较大;后期AL和IL功率谱均在2~3年和5~6年出现峰值,因此后期两低压的年际变化关系更为紧密,即AIS存在显著的年代际变化。

4 AIS年代际变化的机理分析

由于1950年代之前缺少高空观测资料,再分析

资料的可靠性也较差,本节将首先分析图4中两个时期AIS的年代际变化特征和可能机理及其在不同年代际背景下的年际变化,其后再利用1950年代之前的资料做进一步验证。

4.1 1980年代的年代际转变

图4的结果表明,AIS在1980年代之后发生了显著的年代际变化,这与全球海气耦合系统特别是SST的年代际变化有关。1980年代之后,热带大洋显著变暖,特别是热带东太平洋和南印度洋等地,但北太平洋中纬度地区和格陵兰岛南部海域则变冷(如图6所示)。上述SST的年代际变化则与PDO位相在1970年代末期的位相转变有关,PDO主要表现为热带中东太平洋和北太平洋中部SST的反

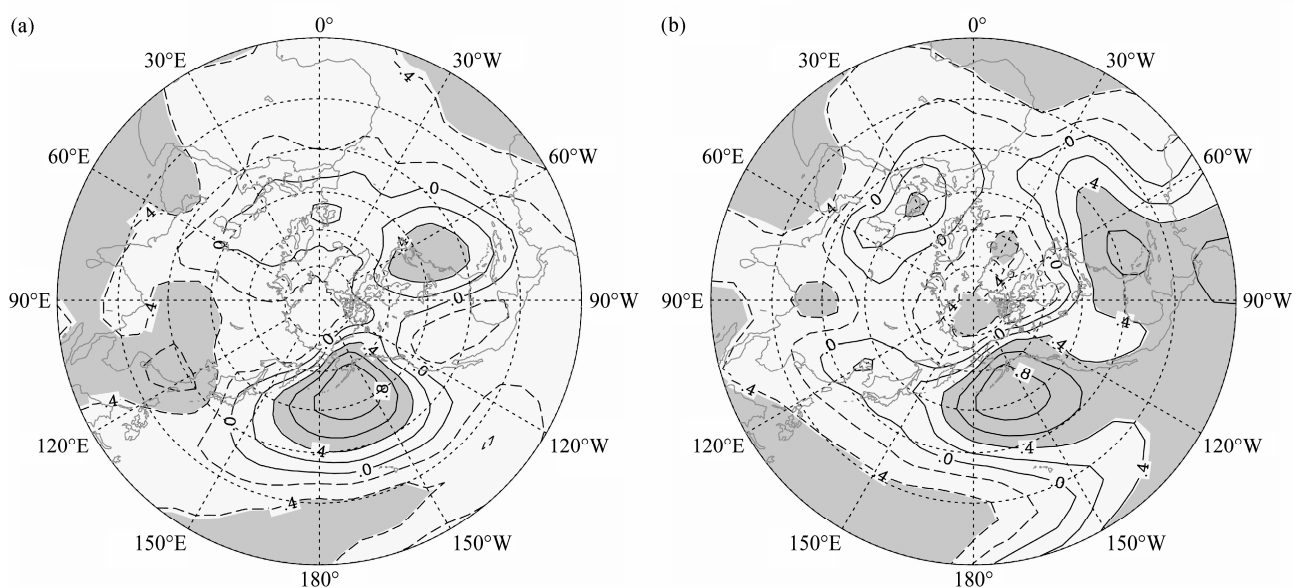


图 4 (a) 1958~1979 年和 (b) 1980~2001 年阿留申低压与北半球冬季海平面气压场的相关系数 (阴影通过 0.05 显著性检验)

Fig. 4 Correlation coefficients between AL and SLP in boreal winter during (a) 1958–1979 and (b) 1980–2001 (shaded areas pass 0.05 significance test)

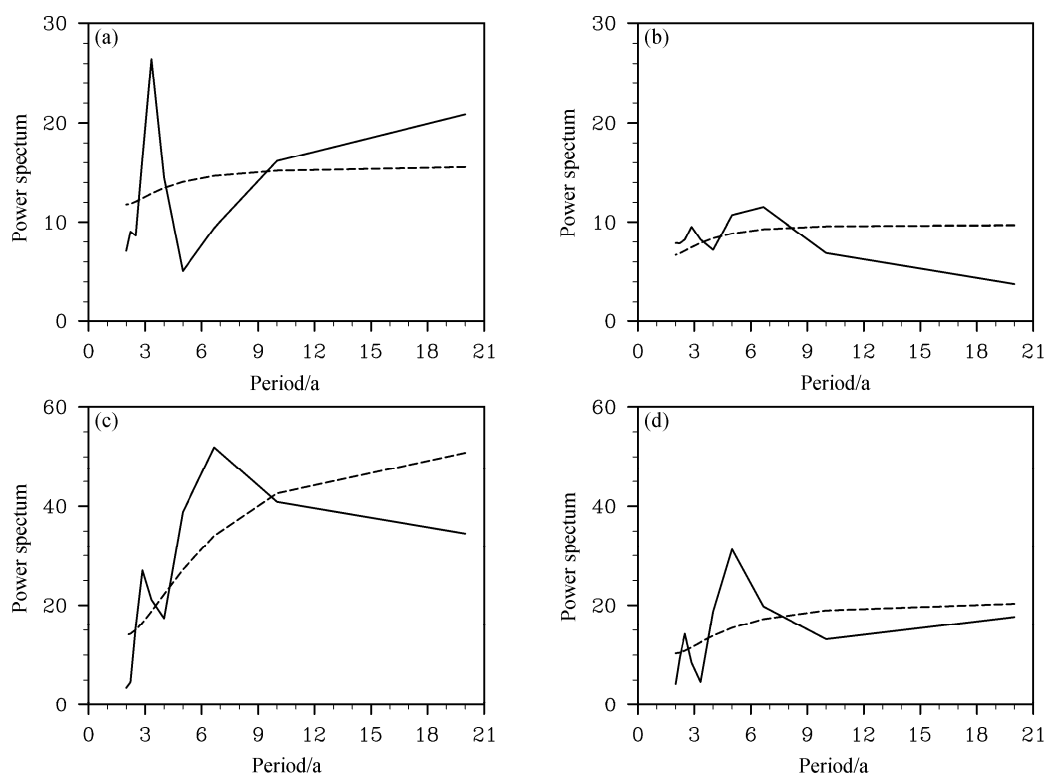


图 5 1958~1979 年 (左列)、1980~2001 年 (右列) 冬季 (a、b) 阿留申低压与 (c、d) 冰岛低压时间序列的功率谱分析 (虚线为相应的 95% 信度的功率谱线)

Fig. 5 Power spectra for (a, b) AL and (c, d) IL during 1958–1979 (left panel) and 1980–2001 (right panel) (the dashed lines show the corresponding spectra at 95% confidence level)

向变化 (Trenberth and Hurrell, 1994; 杨修群等, 2004)。1960 年代到 1970 年代末 PDO 为负位相, 之后转变为正位相, 1980 年代最为明显 (见图

7)。AIS 的年代际变化比 PDO 的位相转变约晚 2 年, 这显示了 PDO 的滞后影响。

PDO 的影响也表现在前后两个不同时期与

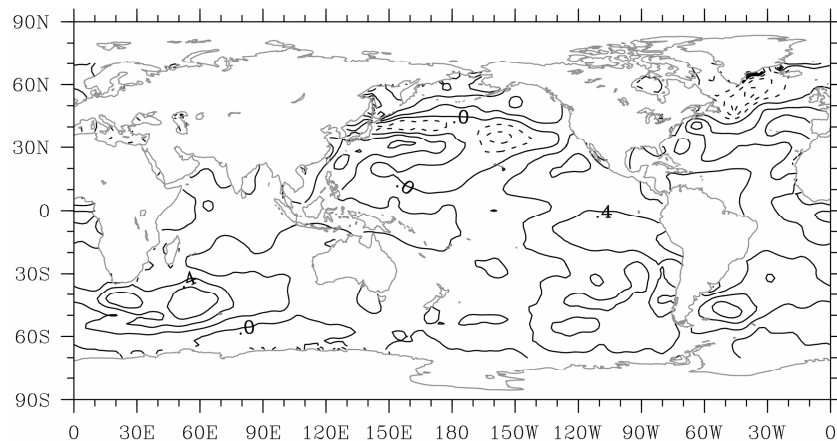


图6 1980~2001年与1958~1979年冬季海表温度的差值场(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 6 The difference of mean sea surface temperature (SST) in boreal winter during 1980–2001 and 1958–1979 (units: $^{\circ}\text{C}$)

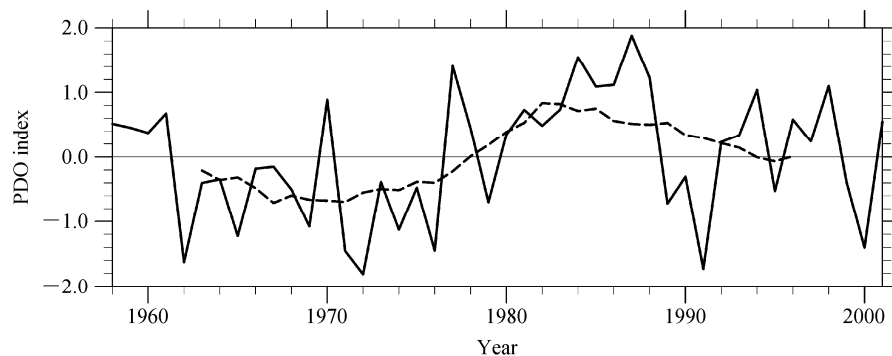


图7 1958~2001年PDO指数的时间序列(实线)及其11年滑动平均(虚线)

Fig. 7 Pacific decadal oscillation (PDO) index (solid line) and its 11-year running mean (dashed line) during 1958–2001

SLP 相关分布的差异上(图8)。前期(PDO 负位相), PDO 与阿留申地区和北大西洋中部呈显著负相关, 而与热带大西洋和东半球热带地区呈显著正相关。后期(PDO 正位相), 负相关主要位于热带东太平洋附近, 与阿留申地区的负相关明显减弱, 正相关主要位于北极地区, 阿留申低压区和冰岛低压区的相关分布相反, 这隐含了两个低压的相反变化。具体计算相关系数可知, 前期 PDO 指数与 AL 相关系数为 -0.76 , 同 IL 仅为 -0.13 ; 而后期 PDO 指数同 AL 相关系数为 -0.48 , 而同 IL 相关系数变为 0.43 , 这与图7结果相同, 说明两低压反相关关系的年代际变化同 PDO 的年代际位相转变有密切联系。

伴随着 PDO 的位相转变, 对流层中低层风场也发生了显著变化。AL 和 IL 均显著加深, 其南部的西风带则显著增强, 这与 PDO 位相转变造成的高低纬度之间温差增大有关(如图9所示)。根据

Rossby 波的频散理论, 基流的增强将有利于扰动信号从北太平洋向北大西洋的传播, 从而加强两低压之间的联系。此外, 我们还根据 Plumb (1985) 定义的二维准地转准定常波的波活动通量, 计算了两个时期 500 hPa 的能量传播路径及其差值(图10)。可以看到, 从北太平洋经过北美北部到北大西洋存在一条波动能量的传播通道, 相对于前期, 后期从北太平洋到北大西洋的能量传播明显增强, 从而加强了 AL 和 IL 的联系, 使两个低压呈显著相关。

4.2 不同年代际背景下的年际变化

PDO 的位相转变对两个低压的年际变化有直接影响, 进而影响到 AIS。图6表明在 PDO 的位相转变过程中, 北太平洋显著变冷, 是 PDO 位相转变的一个关键区(杨修群等, 2004)。图11为北太平洋($25^{\circ}\text{N}\sim 45^{\circ}\text{N}$, $160^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{W}$)区域平均 SST 与 SLP 在 1958~1979 年和 1980~2001 年两个时期的相关分布, 前期与北太平洋和东南太平洋呈显著

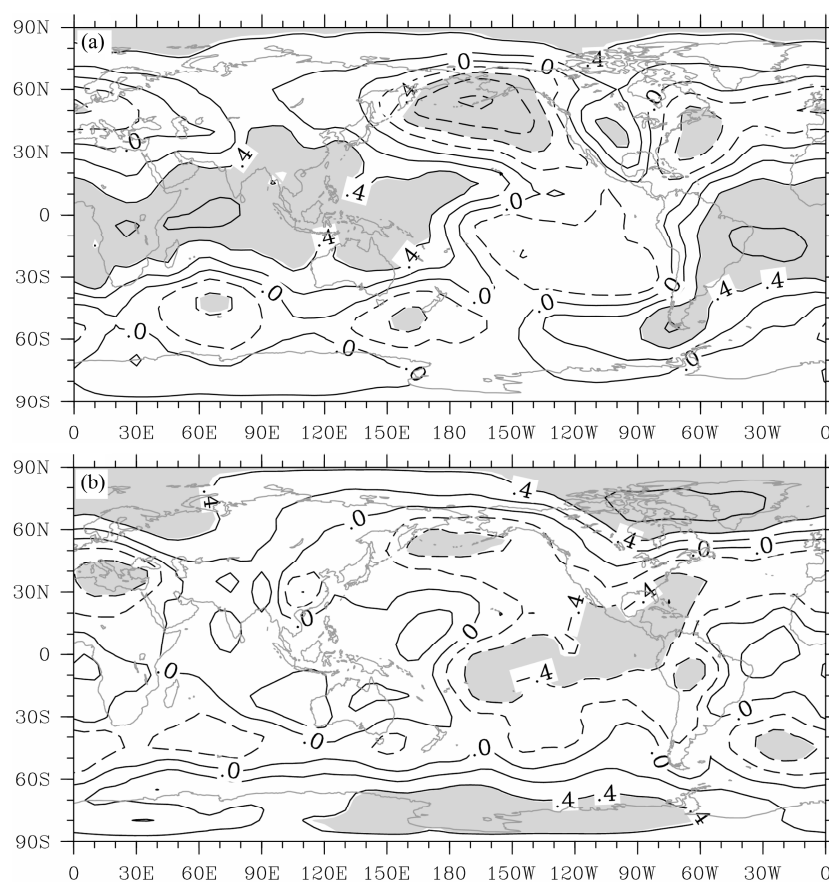


图 8 (a) 1958~1979 年和 (b) 1980~2001 年冬季 PDO 指数与海平面气压的相关系数 (阴影通过 0.05 显著性检验)

Fig. 8 Correlation coefficients between PDO index and SLP in boreal winter during (a) 1958–1979 and (b) 1980–2001 (shaded areas pass 0.05 significance test)

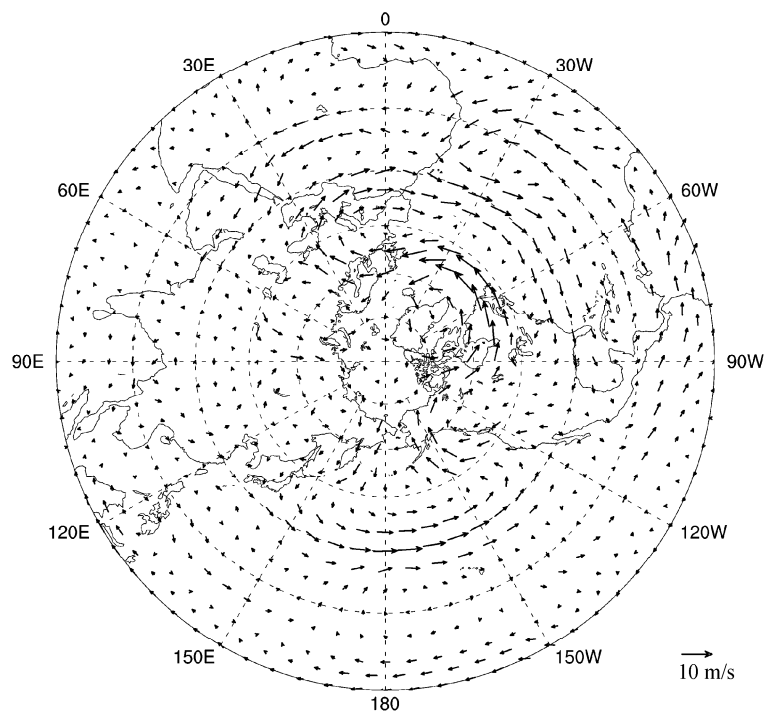


图 9 1980~2001 年与 1958~1979 年冬季 500 hPa 风场差值

Fig. 9 500-hPa wind difference in boreal winter between 1980–2001 and 1958–1979

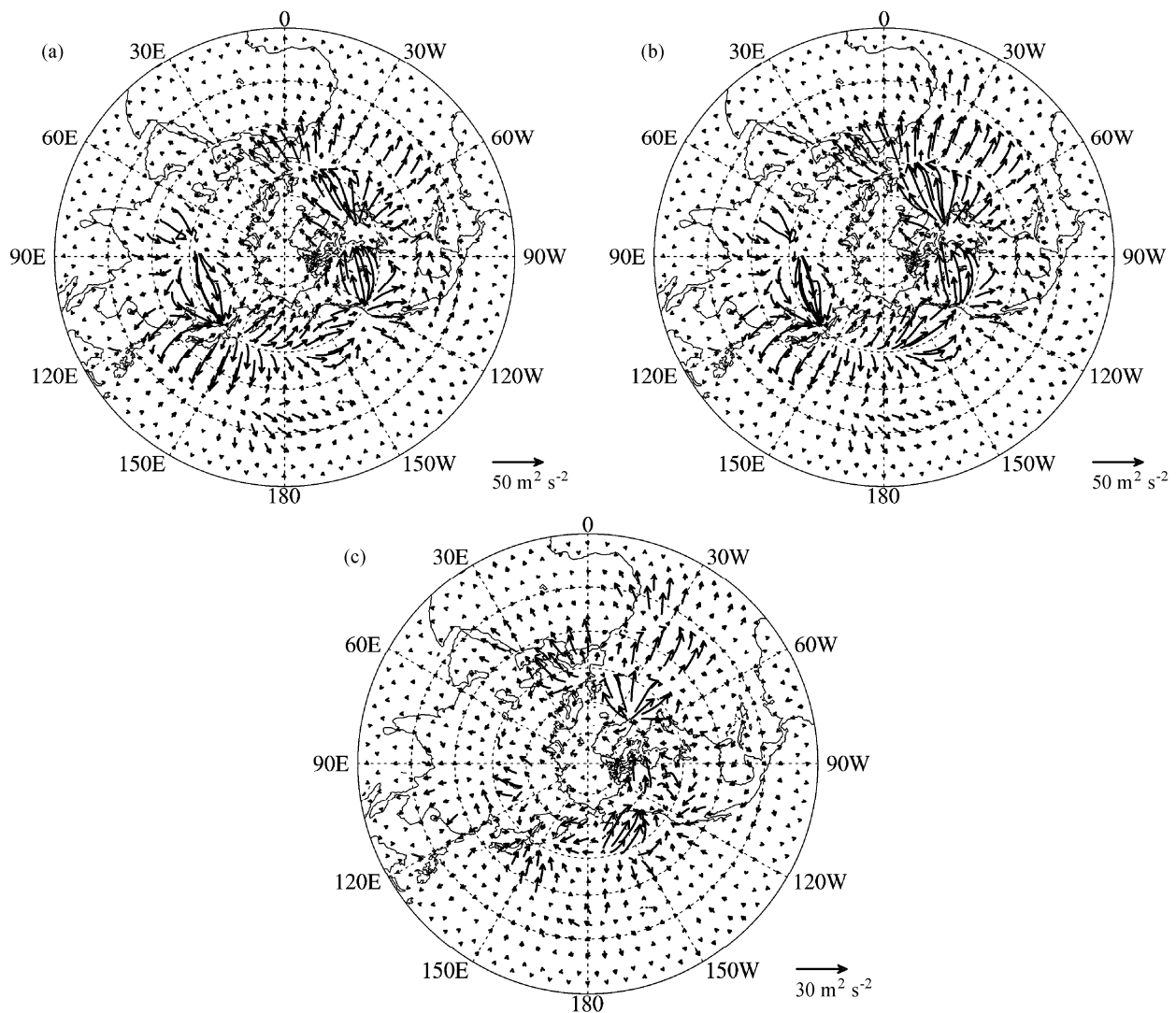


图 10 (a) 1958~1979 年、(b) 1980~2001 年冬季 500 hPa 球面准地转定常行星波的波活动通量；(c) 为 (b) 与 (a) 之差

Fig. 10 Wave activity fluxes of spherical quasi-geostrophic quasi-stationary planetary wave during (a) 1958–1979 and (b) 1980–2001 and (c) the difference between (b) and (a)

正相关，与热带大西洋到热带西太平洋的广大区域呈显著负相关；后期相关形式有很大变化，正相关区扩展到东太平洋和热带北大西洋地区，但与北太平洋的相关减弱，负相关区主要位于南极和北大西洋高纬度（冰岛低压区）。特别是，阿留申低压区和冰岛低压区的相反相关分布进一步说明 PDO 位相转变所导致的北太平洋 SST 变冷是上述相关分布变化的主要原因。两个低压与北太平洋 SST 的相关系数如下，与 AL 的相关系数分别为 0.63 和 0.61，而同 IL 的相关系数由 0.02 变为后期的一 0.60，与上述结果基本相同。

图 11 的结果还表明，热带东太平洋的相关分布在前后两个时期也有很大差异。实际上，在 PDO

正位相时期，热带东太平洋 SST 明显升高（图 6），进而导致 ENSO 的强度增大。图 12 为前后两个时期 Niño3.4 指数与 SLP 的相关分布，热带地区为清楚的 1 波分布，东太平洋为负相关，其它地区为正相关，相关分布在前后两个时期变化不大，但后期相关系数显著增大，这显示了 ENSO 强度增大的影响。值得注意的是，后期东太平洋的显著负相关向北延伸至北太平洋，说明 AL 的年际变化在后期受 ENSO 的影响增大（王会军和贺圣平，2012）。AL 和 IL 与 Niño3.4 指数的相关系数在前期为一 0.22 和一 0.01，相关均不显著，而在后期则变为一 0.51 和 0.09，AL 与 Niño3.4 指数的负相关显著增大，这与相关分布的结果相同。需要强调的是，ENSO 与 IL

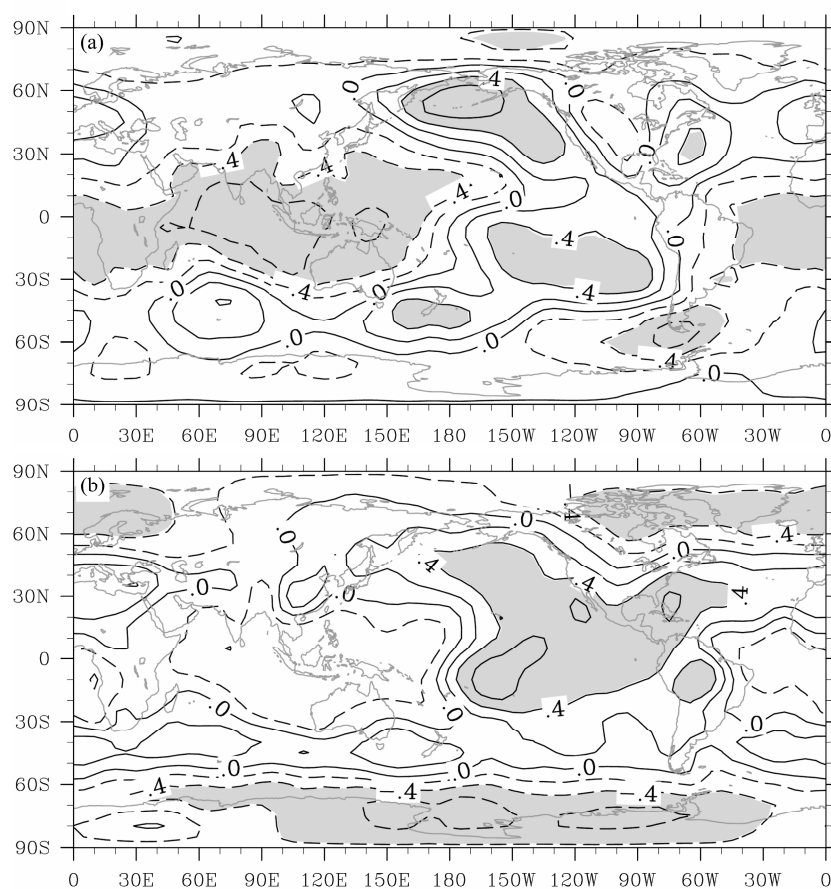


图 11 (a) 1958~1979 年和 (b) 1980~2001 年北太平洋 (25°N~45°N, 160°E~160°W) 区域平均海表温度与海平面气压的相关系数 (阴影通过 0.05 的显著性检验)

Fig. 11 Correlation coefficients between SST averaged over (25°N~45°N, 160°E~160°W) and SLP during (a) 1958—1979 and (b) 1980–2001 (shadings are above 0.05 significance test)

在前后两个时期的相关均不显著，这从另一个侧面说明 ENSO 的强度变化不是造成 AIS 年代际变化的直接原因。

4.3 1930 年代的年代际转变

除 1980 年代之外，1930 年代也发生一次类似的年代际转变。根据图 3，转变前后的时期分别取为 1915~1934 年和 1935~1950 年。由于资料所限，这里仅用 SST 和 SLP 两种资料来分析 1930 年代这次年代际转变，以进一步验证 4.1 节中的结论。前期 AL 与 SLP 的显著正相关区位于北太平洋、热带东太平洋和北美东部大西洋地区，显著负相关区位于西太平洋和欧亚大陆中部（见图 13）。后期，冰岛低压区变为显著负相关，与大部分热带地区呈显著负相关，AL 与 IL 的相关系数也由 -0.19 变为 -0.68。但与 1980 年代那次相比，这次年代际转变的强度偏弱，这与图 3 中滑动相关系数的变化是一致的。

图 14 为前后两个时期 SST 之差，与图 6 类似，全球大洋大部分区域显著增暖，最显著的是东太平洋和南印度洋，这进一步表明 AIS 的变化与全球海气耦合系统的年代际变化有密切关系。与图 6 不同的是，北太平洋的变冷中心西移至日界线以西，而冰岛低压区的变冷则不明显，这可能与这次年代际变化强度偏弱有关。但由于 1950 年代之前的资料可靠性较差，我们不再做进一步的分析。

5 模拟结果分析

图 15 为 IAP AGCM4 模拟的北半球冬季 SLP 分布。与图 1 中观测 SLP 对比表明，模式能模拟出主要的高压和低压系统，包括 AL、IL 和西伯利亚高压，但模拟的 AL 偏西，IL 偏深。因此，模式中 AL 的范围取为 (40°N~60°N, 140°E~180°E)，与观测有所差别。图 16 为两个低压的 21 年滑动相关

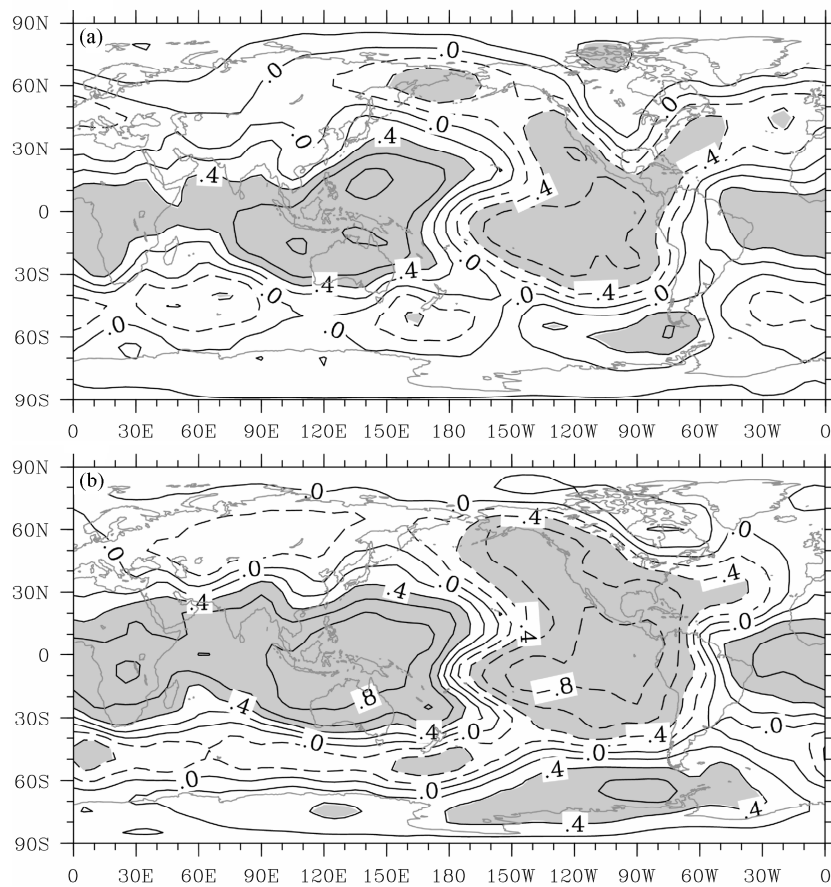


图 12 同图 11, 但为 Niño3.4 指数与海平面气压的相关系数

Fig. 12 Same as Fig. 11, but for correlation coefficients between Niño3.4 index and SLP

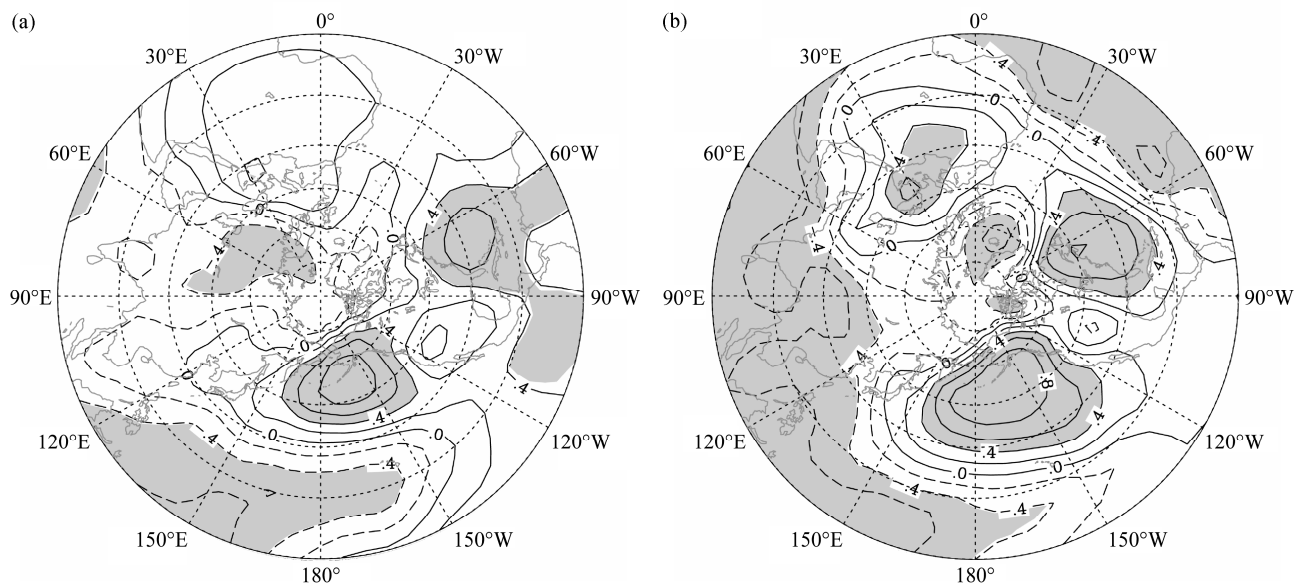


图 13 (a) 1915~1934 年和 (b) 1935~1950 年阿留申低压与北半球冬季海平面气压场的相关系数 (阴影通过 0.05 的显著性检验)

Fig. 13 Correlation coefficients between AL and SLP in boreal winter during (a) 1915-1934 and (b) 1925-1950 (shadings pass 0.05 significance test)

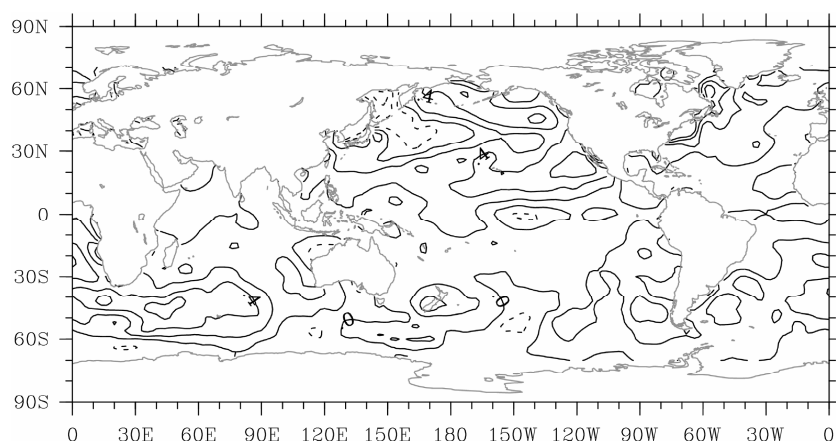


图 14 1925~1950 年与 1915~1934 年冬季海表温度场差值 (单位: °C)

Fig. 14 The difference of mean SST in boreal winter between 1925–1950 and 1915–1934 (units: °C)

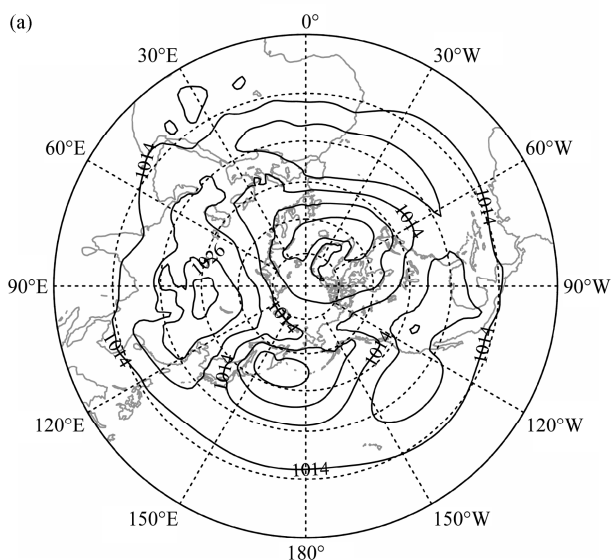


图 15 IAP AGCM4 模拟的 1900~1999 年气候平均的北半球冬季海平面气压场 (单位: hPa)

Fig. 15 Simulated climatological mean SLP in boreal winter during 1900–1999 from IAP AGCM4 (units: hPa)

变化,与图 3 对比表明,模式能模拟出观测中 1935~1950 年和 1980 年代的两次显著相关期,但后者较观测偏迟 5 年。因此,模式大体上模拟出 AIS 在 20 世纪的 3 次年代际转换,即 1930 年代、1950 年代和 1980 年代。模拟结果进一步表明, AIS 的年代际变化在很大程度上由海气耦合系统相关的 SST 年代际变化所造成。

前文分析指出, AIS 的年代际转换与两低压南部的西风基流增强有关(图 9)。图 17 为模拟的 500 hPa 风场在 1980~2001 年和 1958~1979 年两个时期的差异,模式大体上能模拟出低压南部的西风增

强,说明模式能模拟出两低压相关变化的关键机理。但与观测相比明显偏南,北大西洋地区尤为显著,具体原因有待进一步分析。

6 小结

本文利用多种长期观测和再分析资料,研究了北半球冬季期间两个主要大气活动中心即阿留申低压和冰岛低压相关关系的年代际变化。结果表明,两个低压的强度变化存在显著的相关关系,使北太平洋和北大西洋海平面气压场呈现“跷跷板”式的变化,即阿留申低压—冰岛低压跷跷板振荡(AIS)。进一步分析表明, AIS 还存在明显的年代际变化,即 AL 和 IL 的相关显著性与年代际背景有关,在 1935~1949 年和 1980 年后为显著负相关,而其它时期相关较弱。

对 1980 年代 AIS 年代际转变的分析表明,由于 PDO 在 1970 年代末期的位相转变,导致全球大洋大部分地区变暖,北太平洋和北大西洋部分地区变冷;同时 AL 和 IL 变深,低压南部西风基流增强,结果加强了西风带 Rossby 波的频散效应,从而使两个低压呈现显著负相关。1930 年代的年代际变化与此类似,但强度较弱。此外,年代际背景的变化还影响到两个低压的年际变化,在 PDO 正位相时期, ENSO 强度显著增强, AL 与 ENSO 呈现显著的相关关系。另一方面,虽然 ENSO 是海气耦合系统年际变化的最强信号,但并非造成 AIS 年代际变化的主要原因。

在观测分析的基础上,我们还利用 IAP AGCM4

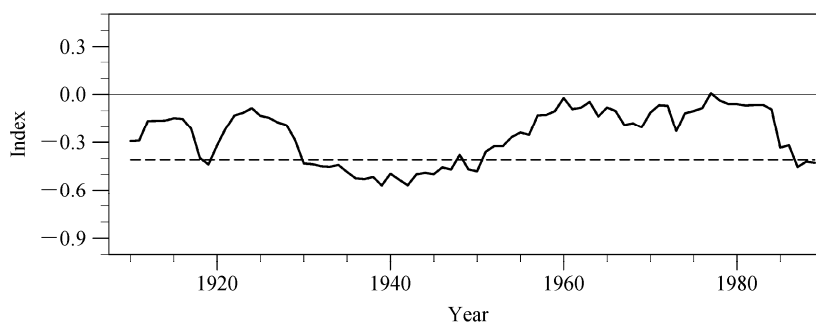


图 16 IAP AGCM4 模拟的阿留申低压强度指数和冰岛低压强度指数的 21 年滑动相关时间序列 (虚线值为 -0.41 , 代表通过 0.05 的显著性检验)

Fig. 16 Time series of simulated 21-year running correlations of AL and IL from IAP AGCM4 (dashed line is -0.41 , which is significant at 0.05 level)

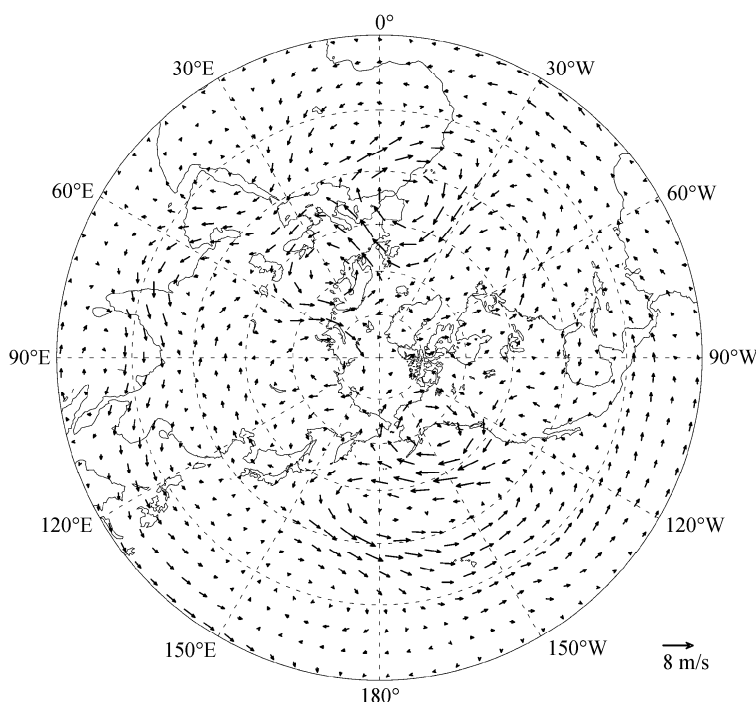


图 17 IAP AGCM4 模拟的 1980~2001 年与 1958~1979 年冬季 500 hPa 风场差值

Fig. 17 Simulated 500-hPa wind difference in boreal winter between 1980–2001 and 1958–1979 from IAP AGCM4

模式输出结果, 分析了模式对 AIS 的模拟状况。模式能大体模拟出 AIS 的年代际转变, 也能模拟出与此相关的西风增强, 即模式能模拟出 AIS 年代际变化的关键机理。与前几代 IAP 模式的模拟结果相比, IAP AGCM4 的模拟水平有很大提高。例如, IAP 2L AGCM 虽然能模拟出北半球冬季一些主要的遥相关型如 NAO 和 NPO (Xue and Zeng, 1997), 但难以模拟出类似于 AIS 这样尺度较小的遥相关型, 这可能与 IAP AGCM4 分辨率较高有关。

另一方面, 与观测相比, 模式仍存在明显偏差, 如 AL 偏西以及 1980 年代的转变时间偏晚等, 而且与模式对热带信号的模拟水平相比也明显偏低 (陈

红和薛峰, 2013)。这一方面与模式的基本性能有关, 另外也与模拟结果是利用观测 SST 驱动模式的方式有关, 因为这在一定程度上歪曲了高纬度地区的海气相互作用过程。最近, 孙泓川等 (2012) 以 IAP AGCM4 为大气分量发展了新一代 IAP 海气耦合模式, 模拟结果修正了大气模式中 AL 偏西的误差, AL 位置同观测较为一致, 但海气耦合过程对 AIS 的影响还需要进一步研究。

参考文献 (References)

Allan R, Ansell T. 2006. A new globally complete monthly historical

- gridded mean sea level pressure dataset (HadSLP2): 1850–2004 [J]. *J. Climate*, 19 (22): 5816–5842.
- 陈红, 薛峰. 2013. 东亚夏季风和中国东部夏季降水年代际变化的模拟 [J]. *大气科学*, 37 (5): 1143–1153, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2012.12130. Chen Hong, Xue Feng. 2013. Numerical simulation of decadal variations in the East Asian summer monsoon and summer rainfall in eastern China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 37(5): 1143–1153, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2012.12130.
- Dong X, Xue F, Zhang H, et al. 2012. Evaluation of surface air temperature change over China and the globe during the twentieth century in IAP AGCM4.0 [J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 5 (5): 435–438.
- Honda M, Nakamura H. 2001. Interannual seesaw between the Aleutian and Icelandic lows. Part II: Its significance in the interannual variability over the wintertime Northern Hemisphere [J]. *J. Climate*, 14 (24): 4512–4529.
- Honda M, Nakamura H, Ukita J, et al. 2001. Interannual seesaw between the Aleutian and Icelandic lows. Part I: Seasonal dependence and life cycle [J]. *J. Climate*, 14 (6): 1029–1042.
- Honda M, Yamane S, Nakamura H. 2005. Impacts of the Aleutian–Icelandic seesaw on surface climate during the twentieth century [J]. *J. Climate*, 18 (14): 2793–2802.
- Hurrell J W. 1995. Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation [J]. *Science*, 269 (5224): 676–679.
- Linkin M E, Nigam S. 2008. The North Pacific oscillation–west Pacific teleconnection pattern: Mature-phase structure and winter impacts [J]. *J. Climate*, 21(9): 1979–1997.
- Nakamura H, Honda M. 2002. Interannual seesaw between the Aleutian and Icelandic lows. Part III: Its influence upon the stratospheric variability [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 80: 1051–1067.
- Plumb R A. 1985. On the three-dimensional propagation of stationary waves [J]. *J. Atmos. Sci.*, 42 (3): 217–229.
- Smith T M, Reynolds R W, Peterson T C, et al. 2008. Improvements to NOAA’s historical merged land–ocean surface temperature analysis (1880–2006) [J]. *J. Climate*, 21 (10): 2283–2296.
- 孙泓川, 周广庆, 曾庆存. 2012. IAP 第四代大气环流模式的气候系统模式模拟性能评估 [J]. *大气科学*, 36: 215–233. Sun Hongchuan, Zhou Guangqing, Zeng Qingcun. 2012. Assessments of the climate system model (CAS-ESM-C) using IAP AGCM4 as its atmospheric component [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 36: 215–233.
- Thompson D W J, Wallace J M. 2000. Annular modes in the extratropical circulation, Part I: Month-to-month variability [J]. *J. Climate*, 13 (5): 1000–1016.
- Trenberth K E, Hurrell J W. 1994. Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific [J]. *Climate Dyn.*, 9 (6): 303–319.
- 涂长望. 1937. 中国天气与世界大气的浪动及其长期预告中国夏季旱涝的应用 [J]. *气象杂志*, 13 (11): 647–697. Tu Changwang. 1937. Linkages between weather in China and the global atmospheric oscillations and applications in long-range forecast of summer drought and flood in China [J]. *Journal of Meteorology (in Chinese)*, 13 (11): 647–697.
- Uppala S M, Kållberg P W, Simmons A J, et al. 2005. The ERA-40 re-analysis [J]. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 131 (612): 2961–3012.
- Walker G T, Bliss E. 1932. World weather. V [J]. *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, 4: 53–84.
- Wallace J M, Gutzler D S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 109 (4): 784–812.
- 王会军, 贺圣平. 2012. ENSO 和东亚冬季风之关系在 20 世纪 70 年代中期之后的减弱 [J]. *科学通报*, 57 (19): 1713–1718. Wang Huijun, He Shengping. 2012. Weakening relationship between East Asian winter monsoon and ENSO after mid-1970s [J]. *Chinese Science Bulletin*, 57: 3535–3540.
- 王林, 陈文, 冯瑞权, 等. 2011. 北太平洋涛动的季节演变及其与我国冬春气候异常的联系 [J]. *大气科学*, 35 (3): 393–402. Wang Lin, Chen Wen, Fong Soikun, et al. 2011. The seasonal march of the North Pacific oscillation and its association with the interannual variations of China’s climate in boreal winter and spring [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 35 (3): 393–402.
- 武炳义, 黄荣辉. 1999. 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风 [J]. *大气科学*, 23 (6): 641–651. Wu Bingyi, Huang Ronghui. 1999. Effects of the extremes in the North Atlantic oscillation on East Asian winter monsoon [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 23 (6): 641–651.
- Xue Feng, Zeng Qingcun. 1997. Teleconnection patterns in the Northern Hemisphere simulated by IAP GCM [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 14 (1): 41–48.
- 杨修群, 朱益民, 谢倩, 等. 2004. 太平洋年代际振荡的研究进展 [J]. *大气科学*, 28 (6): 979–992. Yang Xiuqun, Zhu Yimin, Xie Qian, et al. 2004. Advances in studies of Pacific decadal oscillation [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 28 (6): 979–992.
- 张贺, 林朝晖, 曾庆存. 2009. IAP AGCM-4 动力框架的积分方案及模式检验 [J]. *大气科学*, 33 (6): 1267–1285. Zhang He, Lin Zhaohui, Zeng Qingcun. 2009. The computational scheme and the test for dynamical framework of IAP AGCM-4 [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 33 (6): 1267–1285.
- 张贺, 林朝晖, 曾庆存. 2011. 大气环流模式中动力框架与物理过程的相互响应 [J]. *气候与环境研究*, 16(1): 15–30. Zhang He, Lin Zhaohui, Zeng Qingcun. 2011. The mutual response between dynamical core and physical parameterizations in atmospheric general circulation models [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 16 (1): 15–30.