

孙丹, 薛峰, 周天军. 2013. 不同年代际背景下南半球环流变化对中国夏季降水的影响 [J]. 气候与环境研究, 18 (1): 51-62, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11007. Sun Dan, Xue Feng, Zhou Tianjun. 2013. Influence of Southern Hemisphere circulation on summer rainfall in China under various decadal backgrounds [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 18 (1): 51-62.

不同年代际背景下南半球环流变化对中国 夏季降水的影响

孙丹^{1,2,3} 薛峰¹ 周天军¹

1 中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 北京市气象局, 北京 100089

摘 要 利用 1951~2008 年 NCEP 再分析资料和中国夏季降水观测资料, 分析了南半球环流的年代际变化特征以及在不同年代际背景下南极涛动 (AAO) 对中国东部夏季降水的影响。结果表明, 20 世纪 70 年代末, 南半球环流发生了年代际变化, 东南太平洋和南大西洋副高减弱, 而马斯克林高压 (南印度洋副高) 增强, 绕南极低压带加深。在此背景下, AAO 由负位相转变为正位相, 对中国夏季降水的影响也随之发生改变。在春季 AAO 偏强的情况下, 1976 年之前, 长江以南地区和华北地区降水偏多, 江淮流域降水偏少; 而在 1976 年之后, 从华南沿海一直到江淮流域降水都偏多, 华北到东北地区降水偏少。这说明 AAO 对中国夏季降水的影响与年代际背景有关, 1976 年之后, AAO 对中国夏季降水的影响增强, 影响范围更加偏北。在当前海温预报因子作用减弱的情况下, AAO 有可能成为中国夏季降水预测的一个重要预报因子。

关键词 南半球环流 年代际变化 南极涛动 夏季降水

文章编号 1006-9585 (2013) 01-0051-12

中图分类号 P434

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2012.11007

Influence of Southern Hemisphere Circulation on Summer Rainfall in China under Various Decadal Backgrounds

SUN Dan^{1,2,3}, XUE Feng¹, and ZHOU Tianjun¹

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

3 Beijing Meteorological Bureau, Beijing 100089

Abstract Using the NCEP reanalysis data and observed rainfall data in China from 1951 to 2008, the interdecadal variation in Southern Hemisphere (SH) circulation and the influence of Antarctic Oscillation (AAO) on summer rainfall in eastern China under the various decadal backgrounds was analyzed. The results indicate that interdecadal variation of SH circulation occurred during the late 1970s. While the subtropical highs in the southeastern Pacific and the southern Atlantic were weakened, the Mascarene high, also known as the Indian Ocean subtropical high, was intensified. In addition, the circumpolar low-pressure belt was deepened. The AAO with a negative phase was changed into a positive phase. The influence of AAO on summer rainfall in China was also changed. A stronger AAO in the boreal spring before

收稿日期 2011-03-11 收到, 2012-07-30 收到修定稿

资助项目 全球变化研究国家重大科学研究计划 2010CB951901, 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05110201)

作者简介 孙丹, 女, 1982 年出生, 博士研究生, 从事季风和短期气候预测研究。E-mail: sundan@lasg.iap.ac.cn

通讯作者 薛峰, E-mail: fxue@lasg.iap.ac.cn

1976 related to more rainfall in the southern Yangtze River and in North China and less rainfall in the Yangtze-Huaihe River valley. Conversely, rainfall amounts were higher from south China to the Yangtze-Huaihe River valley and lower in northern and northeastern China after 1976. Therefore, the influence of AAO on summer rainfall in China is related to the decadal background. After 1976, the influence of AAO tended to intensify and extend more northward. When the effects of sea surface temperature are minimal, AAO can be used as an important tool for summer rainfall prediction in China.

Keywords Southern Hemisphere circulation, Interdecadal variation, Antarctic Oscillation, Summer rainfall

1 引言

20 世纪 70 年代后期, 全球海气耦合系统发生了一次显著的年代际变化, 首先注意到的是北太平洋地区的年代际变化, 称之为太平洋年代际振荡 (Pacific Decadal Oscillation, PDO)。在这次年代际变化之后, 黑潮及其续流区和北太平洋中部海表温度 (sea surface temperature, SST) 变冷, 而热带中东太平洋 SST 变暖, PDO 转变为暖位相 (Trenberth and Hurrell, 1994; Mantua et al., 1997)。同时, ENSO 形态和结构发生改变, 进而也改变了 ENSO 对全球气候的影响 (Zhang et al., 1997; An and Wang, 2000; 吕俊梅等, 2005)。研究还表明, 全球气候系统中的几个主要遥相关型如南方涛动、北大西洋涛动、北太平洋涛动等也发生了年代际变化 (Li and Li, 2000; 穆明权和李崇银, 2000)。伴随着这次全球气候的年代际变化, 中国气候也发生了显著变化, 东亚夏季风强度减弱, 中国东部夏季降水的分布也随之改变, 华北降水减少, 而长江流域降水增多, 形成了所谓“南涝北旱”的分布 (Gong and Ho, 2002; 黄荣辉等, 2006; Ding et al., 2008; 宇如聪等, 2008; Zhou et al., 2008, 2009)。

气候系统的年代际变化不仅能直接引起全球和区域气候变化, 同时对气候的年际变化也有重要的调制作用。例如 PDO 对 ENSO 信号的调制, 可导致 ENSO 和季风关系的不稳定性 (Torrence and Webster, 1999; Wang, 2002), 同时 ENSO 对中国夏季气候异常的影响也发生了改变 (Chang et al., 2000; Wu and Wang, 2002)。PDO 冷位相时, 当 ENSO 事件处于发展阶段, 华南夏季降水偏少; 在其衰减阶段, 长江流域和华北地区降水偏多, 淮河地区偏少。PDO 暖位相时, 当 ENSO 事件处于发展阶段, 华南地区降水异常偏多, 华北地区却偏少; 在其衰减阶段, 华北地区降水偏少, 长江流域降水异常偏多, 淮河地区趋于正常 (于淑秋和林学椿, 1997; 朱益民和杨修群, 2003)。

以前的研究 (van Loon et al., 1993; Hurrell and van Loon, 1994; Chen and Yen, 1997) 多关注北半球, 但南半球环流也存在显著的年代际变化。20 世纪 70 年代末, 南半球中高纬气压场和风场发生了明显改变, 冬季绕极低压加深, 中纬度和副热带地区海平面气压增加, 作为南半球环流年际变化主要模态的南极涛动 (Antarctic Oscillation, AAO) 转变为正位相。已有研究表明, AAO 的年际变化能影响到南半球副热带马斯克林高压 (马高) 和澳大利亚高压 (澳高) 的变化, 并进一步越过赤道影响到东亚夏季风 (薛峰等, 2003)。特别是, 当马高增强后, 索马里急流和印度夏季风环流增强, 同时使其下游的澳高以及印度尼西亚附近的越赤道气流增强, 这导致西太平洋副高西伸南压, 强度偏强, 长江中下游到日本一带的降水偏多 (Xue et al., 2004)。

目前有关南半球环流对我国夏季降水影响的研究多集中于年际变化 (高辉等, 2003; Wang and Fan, 2005)。但 20 世纪 70 年代末之后, 南半球环流发生了年代际变化, 尤其是南极涛动转变为正位相之后, 在一定程度上会影响到两半球环流之间的相互作用以及南半球环流对中国夏季降水的影响。因此, 本文首先利用长期再分析资料分析南半球环流的年代际变化。在此基础上, 考察不同年代际背景下南半球环流对中国夏季降水影响的异同, 为中国夏季降水的预测提供理论基础。

2 资料和方法

本文使用的资料包括: 1) NCEP 逐月再分析资料第一版, 时间为 1951~2008 年, 包括海平面气压场 (sea level pressure, SLP)、水平风场等, 水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度) (Kistler et al., 2001); 2) 中国 160 测站逐月降水资料, 时间为 1951~2008 年 (Zhou and Yu, 2005)。

南极涛动是南半球中、高纬度地区大气环流的主要模态, 其表现形式为南半球副热带高压带与绕极低压带之间纬向对称的“跷跷板”形式。AAO

正异常时, 副热带高压带加强, 绕极低压带加深, 中、高纬度之间气压梯度加大, 高纬西风加强 (Mo and White, 1985; Gong and Wang, 1999; Thompson, et al., 2000)。AAO 指数有多种定义方法, 本文采用华盛顿大学大气与海洋联合研究所定义的 AAO 指数, 即南半球 20°S 以南月平均 SLP 距平进行经验正交函数分解 (empirical orthogonal function, EOF) 展开后的第一特征向量时间系数 (Thompson and Wallace, 2000)。马斯克林高压定义为 (25°S~35°S, 40°E~90°E) 范围内海平面气压的平均值 (Xue et al., 2004)。实际计算时使用季节平均后的标准化距平值。

分析时使用 EOF 提取南半球环流的主要特征。在考察南半球环流与中国夏季降水之间的关系时, 采用奇异值分解方法 (Singular Value Decomposition, SVD) (吴洪宝和吴蕾, 2005), 其中左同类相关图

反映左场的协同变化部分的地理分布, 左异类相关图表示左场的格点上的变量序列多大程度上能够被右场的第 k 个展开系数表达出来; 右同类相关图反映右场的协同变化部分的地理分布, 右异类相关图表示右场的格点上的变量序列多大程度上能够被左场的第 k 个展开系数表达出来。

3 南半球环流的年代际变化特征

根据前人的研究结果 (Graham, 1994; 周连童和黄荣辉, 2003), 以 1976 年作为年代际变化的分界点, 得到各个季节 SLP 的年代际差值如图 1 所示。冬季 (指北半球, 南半球为夏季, 下同, 图 1a) 低纬地区除南美洲东部气压减弱外, 其余地区 SLP 均增加; 副热带东南太平洋和南大西洋副高减弱, 马

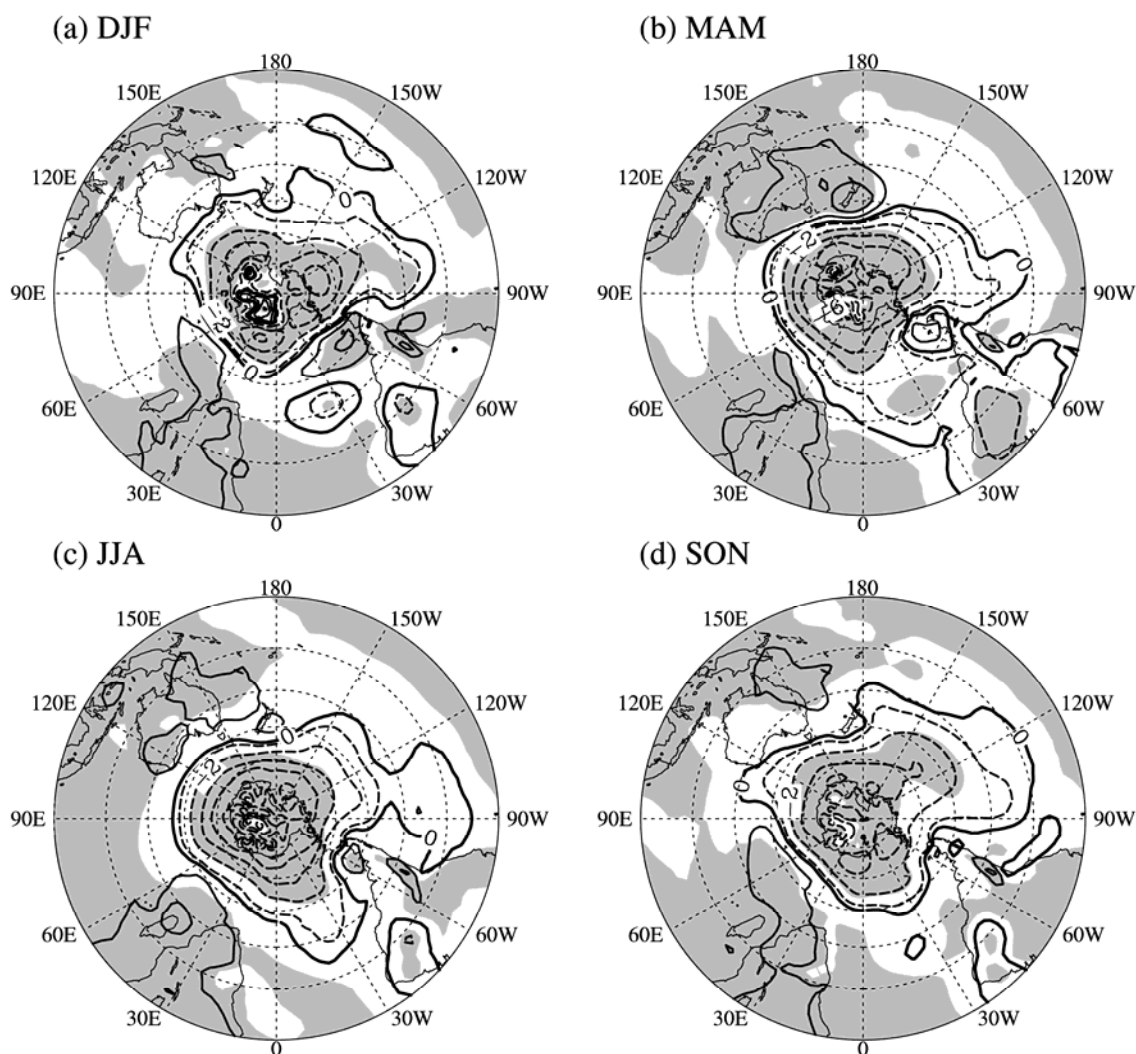


图1 1977~2008年与1951~1976年平均海平面气压场的差值 (单位: hPa, 阴影表示超过99%信度检验的区域): (a) 冬季; (b) 春季; (c) 夏季; (d) 秋季
Fig. 1 Difference of mean sea level pressure (SLP) between 1977~2008 and 1951~1976 (units: hPa, the shadings are above 99% significance level): (a) Winter; (b) spring; (c) summer; (d) autumn

高增强;高纬地区气压基本都呈减弱状态。春季(图 1b),南美洲东部的负差值区向南、向东扩展,整个南美洲和南大西洋西部气压都减弱,东南太平洋负差值区缩小,澳大利亚东部的西南太平洋上出现一增强的气压中心,环绕南极大陆的低压中心加深。从夏季(图 1c)开始,南美洲和西南大西洋减弱的气压中心开始缩小,秋季时最小;东南太平洋增强的气压中心则扩大,秋季时最大(图 1d)。澳大利亚东部的正值中心逐渐减小,南非的正值中心则在扩大,南极大陆 SLP 仍在减弱,直到秋季减弱强度达到最大。总体上看,1977~2008 年阶段,东南太平洋副高和南大西洋副高强度与 1951~1976 年阶段相比减弱,东南太平洋副高从冬季到秋季减弱强度逐渐增强,而南大西洋副高在春季强度减弱最大,秋季最小。马高则显著增强,特别是在夏、秋两季。南极大陆低压中心明显加深,从冬季开始,

加深程度逐渐增强,秋季达到最大后减弱。

图 2 为 1951~2008 年南半球 20°S 以南地区月平均 SLP 进行 EOF 展开后的第一特征向量空间型分布,以极地为中心,表现出中纬和高纬地区气压反向的分布特征,并呈纬向对称,即典型的南极涛动。春、夏、秋、冬季第一模态方差占总方差的百分比依次为 45.6%、44.8%、39.5%、48.8%。将第一特征向量对应的时间序列定义为南极涛动指数(如图 3 所示),20 世纪 80 年代之前以负值为主,80 年代之后以正值为主,特别是春季和秋季。这说明 AAO 在 70 年代末发生了年代际转变,由负指数时期进入正指数时期。这与 Thompson and Solomon (2002)认为近几十年来 AAO 趋向高指数发展的结论是一致的。

计算各个季节马高指数 (Xue et al., 2004),从图 4 可见,马高的强度不仅存在年际变化,也表现出

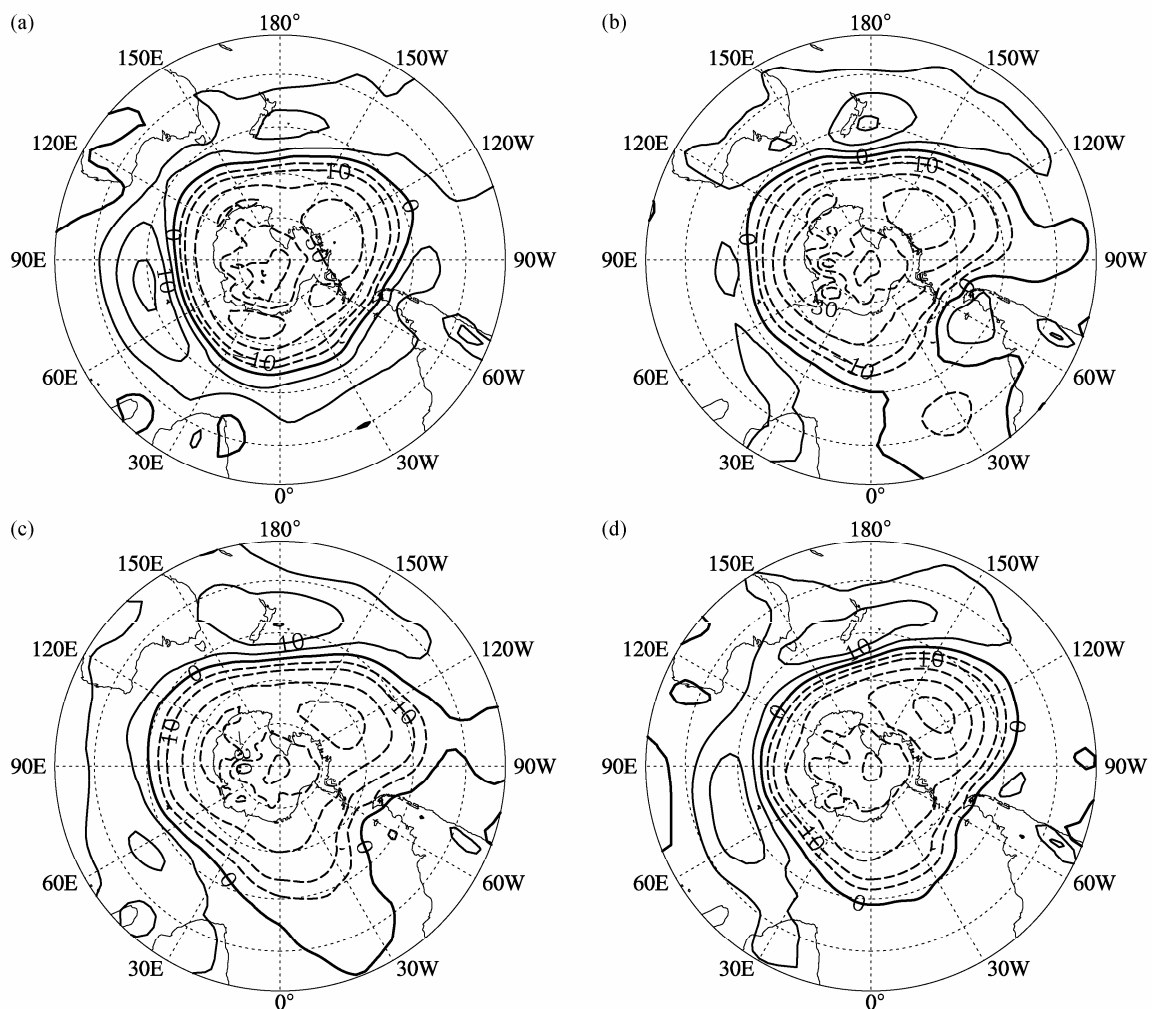


图2 1951~2008年南半球20°S以南海平面气压场EOF分解的第一模态:(a)冬季;(b)春季;(c)夏季;(d)秋季

Fig. 2 First empirical orthogonal function (EOF) mode of SLP to the south of 20°S from 1951 to 2008: (a) Winter; (b) spring; (c) summer; (d) autumn

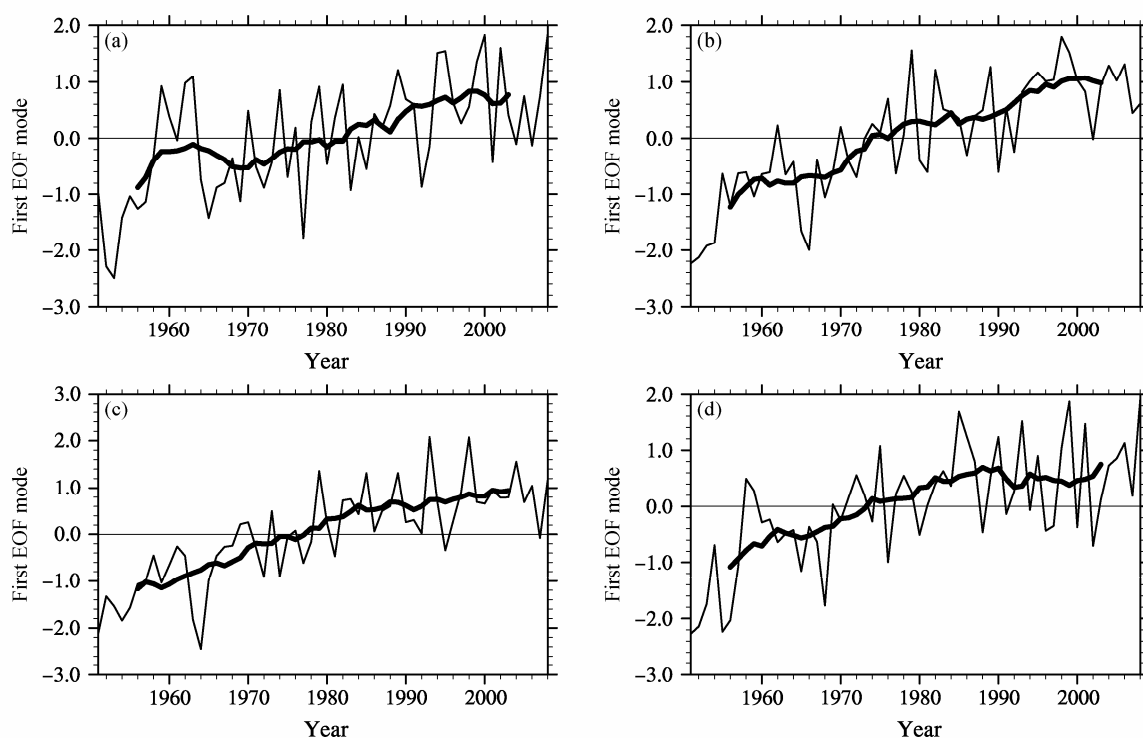


图3 1951~2008年南半球20°S以南海平面气压场EOF分解第一模态对应的时间序列(细实线)及相应的11年滑动平均值(粗实线): (a) 冬季; (b) 春季; (c) 夏季; (d) 秋季

Fig. 3 Time series (thin solid line) and its corresponding 11-year running mean (thick solid line) of the first EOF mode of SLP to the south of 20°S from 1951 to 2008: (a) Winter; (b) spring; (c) summer; (d) autumn

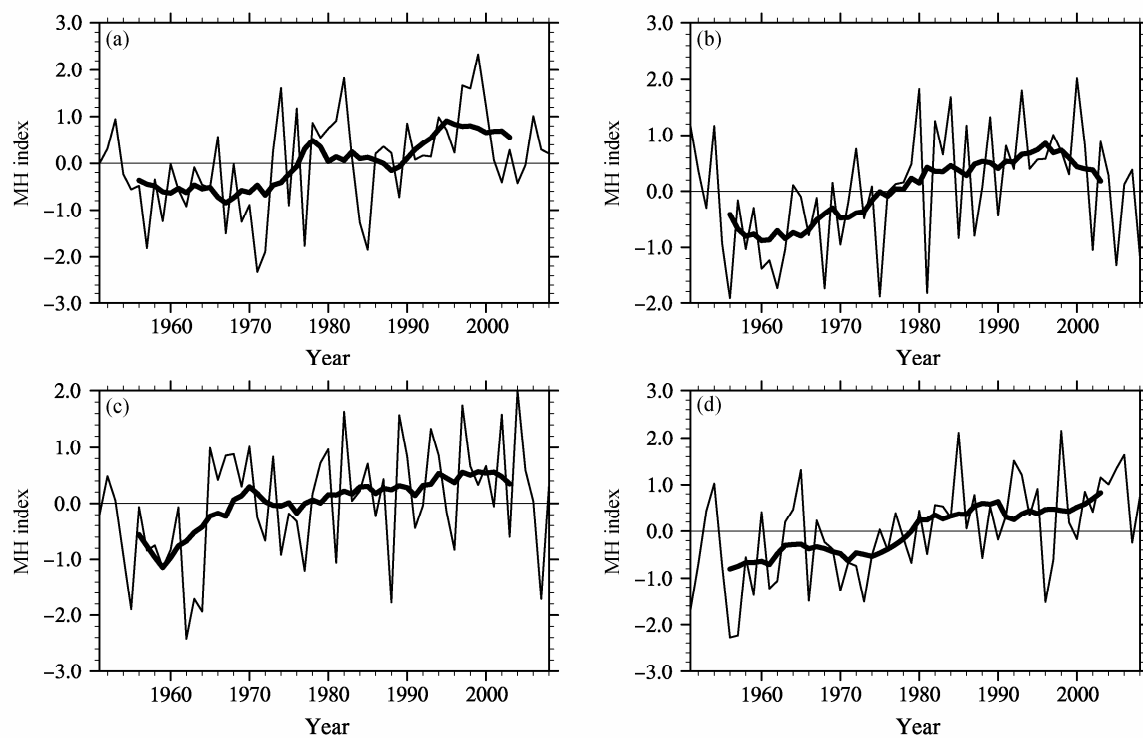


图4 1951~2008年马斯克林高压指数(细实线)及相应的11年滑动平均(粗实线): (a) 冬季; (b) 春季; (c) 夏季; (d) 秋季

Fig. 4 Mascarene high (MH) index (thin solid line) and its corresponding 11-year running mean (thick solid line) from 1951 to 2008: (a) Winter; (b) spring; (c) summer; (d) autumn

明显的年代际变化。根据 11 年滑动平均序列所示, 马高指数呈现出逐渐增加的趋势, 说明马高强度在逐渐增强, 春季最为明显, 这与 AAO 指数的变化趋势一致。

4 不同年代际背景下南极涛动影响中国夏季降水的差异

东亚夏季风盛行期间, 南半球环流处于夏季风的上游, 是东亚夏季风的主要源地之一, 同时南半球副热带地区的环流场建立时间较早, 具有较好的持续性 (薛峰等, 2003)。春季 (3~5 月, 图 5a), 南半球副热带地区存在两个反气旋环流, 分别位于马斯克林群岛以东和澳大利亚南部地区。在 SLP 场上表现为两个高压中心, 即马高和澳高, 但其北侧的东南气流偏弱, 尚未形成较强的越赤道气流。到了夏季 (6~8 月, 图 5b), 马高加强且中心位置西移, 其北侧的东南气流随之

加强, 在索马里地区形成较强的越赤道气流; 同时, 澳高北侧的偏南气流也在 120°E 附近形成另一支越赤道气流, 两支越赤道气流都会对我国东部地区夏季降水产生影响。已有研究 (高辉等, 2003; 薛峰等, 2003) 表明, 马高的年际变化主要取决于 AAO, 当南半球高纬度绕极低压加深时, 马高加强。换言之, 前期 AAO 对我国东部地区夏季降水也有一定的影响。

首先将长江中下游地区 17 个测站夏季平均降水进行标准化处理, 代表该地区降水指数, 以此与 1~6 月 AAO 指数求相关 (结果见表 1)。最大相关出现在 4、5 月, 而 3 月的相关性较低。因此, 长江流域的夏季降水异常受 4、5 月 AAO 的影响最为显著, 本文用 4、5 月平均的 AAO 指数来表征春季 AAO 异常。另外, 使用 Mann-Kendall 法检验 4、5 月 AAO 指数的年代际突变点 (图略), 结果显示突变时间为 1974 年。为了与全球年代际突变时间一致, 依然以 1976 年为分界点, 1951~1976 年视

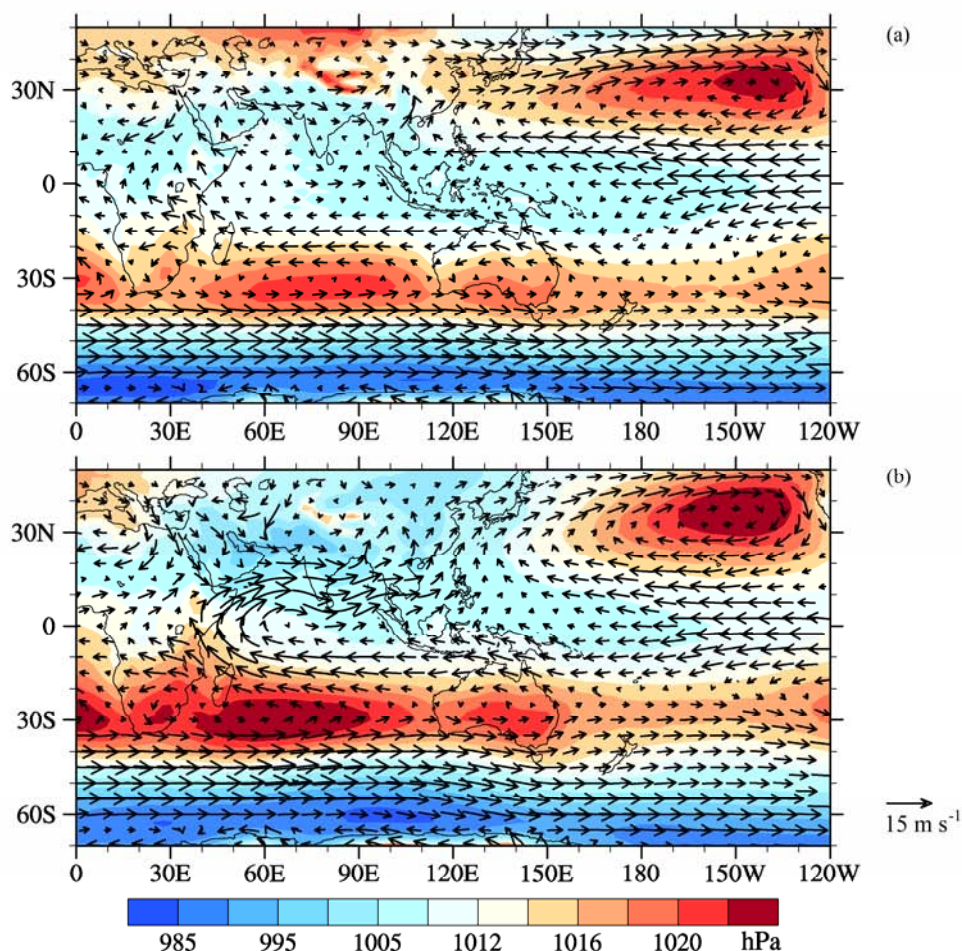


图5 1951~2008年气候平均的850 hPa风场 (矢量) 和SLP场 (阴影) 分布: (a) 春季; (b) 夏季

Fig. 5 The climatological mean 850-hPa wind field (vector) and SLP (shaded) from 1951 to 2008: (a) Spring; (b) summer

为 AAO 负位相年代, 1977~2008 年为 AAO 正位相年代。

表 1 1951~2008 年长江中下游地区夏季降水与各月 AAO 指数的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between the Antarctic Oscillation (AAO) index and summer rainfall in the middle and lower reaches of the Yangtze River from 1951 to 2008

月份	相关系数	月份	相关系数
1 月	0.001	4 月	0.200*
2 月	0.037	5 月	0.336*
3 月	-0.061	6 月	0.135

*为通过 95% 置信水平的相关系数。

为了探讨不同年代春季 AAO 对中国夏季降水的影响, 对春季南半球 20°S 以南 SLP 与中国夏季 160 站降水进行 SVD 分解。1951~1976 年, 第一模态解释了总协方差的 32.1%, 两变量场对应的时间系数相关为 0.86。南半球高纬地区为负相关, 中纬地区除南美洲和大西洋地区为负相关外, 其余地区为正相关 (图 6a), 类似于 AAO 正位相型。中国东部夏季降水的相关区 (图 6b) 则呈 “+ - +” 的三极型分布, 长江中下游以南和华北地区为正相关, 长江、黄河之间的江淮流域为负相关。这说明 1951~1976 年, 春季 AAO 出现正异常时, 长江中下游以南地区和华北地区夏季降水易偏多, 江淮流域降水偏少。

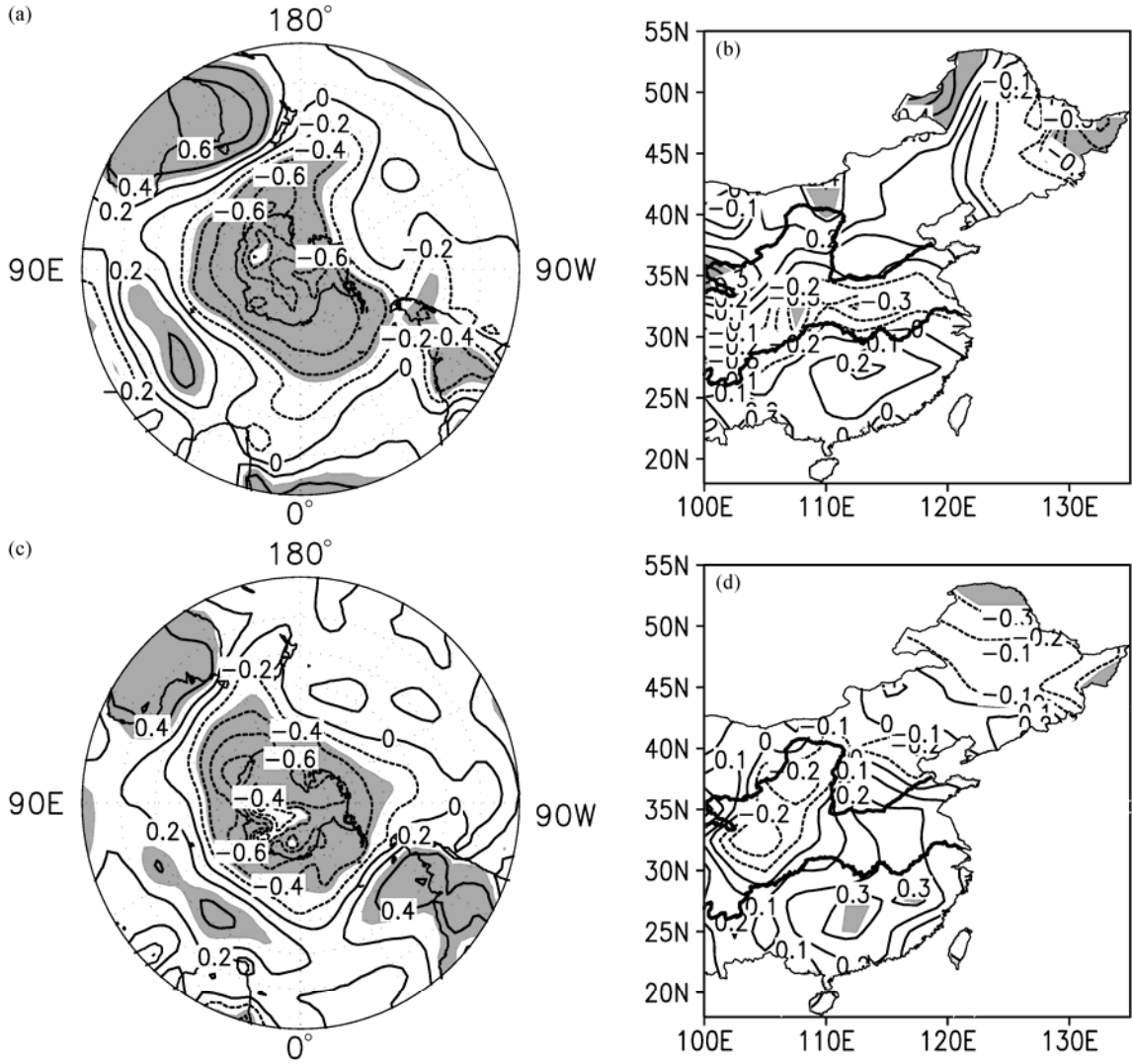


图 6 (a, b) 1951~1976 年和 (c, d) 1977~2008 年春季南半球 20°S 以南海平面气压 (左列, 单位: hPa, 阴影为通过 90% 信度检验的区域) 与中国东部夏季降水 (右列, 单位: mm·d⁻¹) SVD 第一模态异质相关图

Fig. 6 The heterogeneous correlation patterns of first SVD mode between SLP to the south of 20°S during boreal spring (left panel, units: hPa, the shadings are above 90% confidence level) and summer rainfall in eastern China (right panel, units: mm·d⁻¹) during (a, b) 1951-1976 and (c, d) 1977-2008

1977~2008 年春季 SLP 与中国夏季降水 SVD 分解的第一模态解释了总协方差的 33.0%，两变量场对应的时间系数相关为 0.79。图 6c 中，南半球中、高纬地区 SLP 基本呈环状正、负相关分布，表现为典型的 AAO 正位相特征；中国东部夏季降水相关（图 6d）则为“+ -”两极型分布，从华南沿海一直到江淮流域都为正相关区，华北到东北地区为负相关区。因此，1977~2008 年春季 AAO 正异常时，我国东部地区夏季降水偏多的区域较 1951~1976 年明显扩大。

对比两个阶段分析结果，前一阶段通过显著性检验的正相关区集中在澳大利亚地区，而后一阶段通过显著性检验的正相关区增多，除澳大利亚中部、南非以东的印度洋地区外，南美地区也为正相关区域。对中国夏季降水而言，由于资料长度有限，通过显著性检验的区域较少，但相关区域的分布在两个阶段还是有很大差异。与前一阶段相比，后一阶段除长江中下游及以南地区外，长江、黄河之间的江淮流域至黄河中下游地区都为大范围的正相关，而华北一直延伸到东北地区都为负相关。因此，春季 AAO 对中国东部地区夏季降水的影响在加强，其影响的范围更大，位置也更加偏北。

5 影响差异的可能成因

为进一步揭示不同年代际背景下 AAO 影响中国夏季降水差异的可能成因，我们分别对 1951~1976 年和 1977~2008 年 4、5 月平均的 AAO 指数进行标准化处理，并以大于（小于）一个标准差作为 AAO 正（负）异常的依据。1951~1976 年，AAO 正异常年份为：1962、1970、1974 和 1976 年，负异常年份为：1951、1952、1953、1959 和 1965 年；

1977~2008 年，AAO 正异常年份为：1989、1995、1998、1999、2000、2006 年，负异常年份为：1977、1980、1981、1986、1990、1992 年（如图 7 所示）。

根据上述划分的 AAO 异常年份，计算不同年代 AAO 正、负异常年春季和夏季 850 hPa 风场和 SLP 的差值（见图 8）。春季（图 8a 和 8b），AAO 偏强时，两个阶段南半球副热带地区都存在两个异常反气旋，分别位于马斯克林群岛和澳大利亚以东的洋面上，对应于 SLP 正距平，表明马高和南太平洋副热带高压增强，但后一阶段马高强度强于前一阶段，南太平洋副高强度则弱于前一阶段。

夏季（图 8c 和 8d），前一阶段南半球（20°S~40°S，60°E~80°E）之间的 SLP 由正距平变为负距平，对应弱的气旋性环流，说明前一阶段从春季到夏季，马高减弱。同样，后一阶段马高也明显减弱，反气旋中心由 90°E 西移至 60°E 附近，但较前一阶段仍偏强。此时，马高北侧的东南气流加强，有利于在索马里地区形成越赤道气流。南太平洋副高则在不同阶段变化相反。前一阶段，从春季到夏季，南太平洋反气旋减弱东退，后一阶段则加强西伸，使得夏季前一阶段其北侧的偏东气流在 160°E 附近越过赤道，北半球西太平洋地区为气旋性环流；后一阶段整个南太平洋向西延伸至澳大利亚北部地区，SLP 都为正距平，其北侧偏东气流明显强于前一阶段，与赤道附近偏东气流汇合，在 120°E~140°E 之间形成越赤道气流。因此，与前一阶段 AAO 正异常时相比，后一阶段索马里急流偏强，120°E 附近越赤道气流也偏强，对东亚夏季风的影响也趋于增强。另外，从 SLP 来看，澳高在两个阶段的夏季也有所增强，但后一阶段增强幅度较大，并与南太平洋副高合并，说明后一阶段澳高的影响更大。从图 9 可以更加明显地看到，后一阶段，无论是索

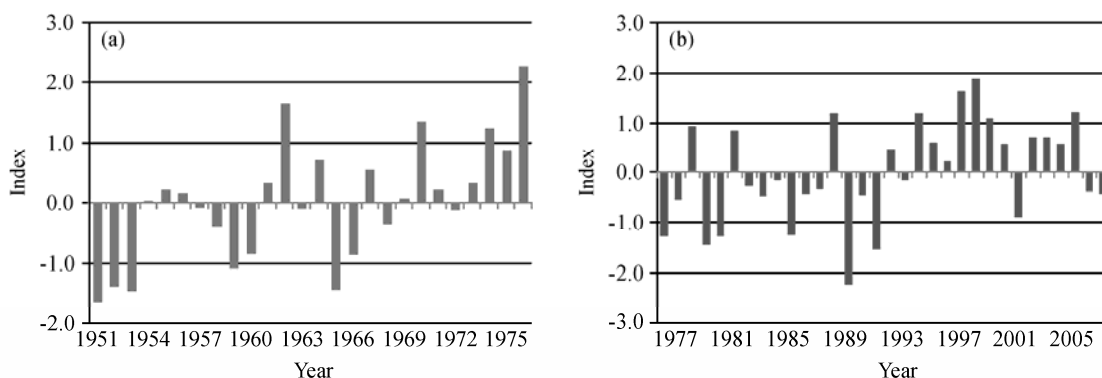


图7 (a) 1951~1976年和 (b) 1977~2008年春季标准化AAO指数的时间序列

Fig. 7 Time series of the normalized AAO index of boreal spring during (a) 1951-1976 and (b) 1977-2008

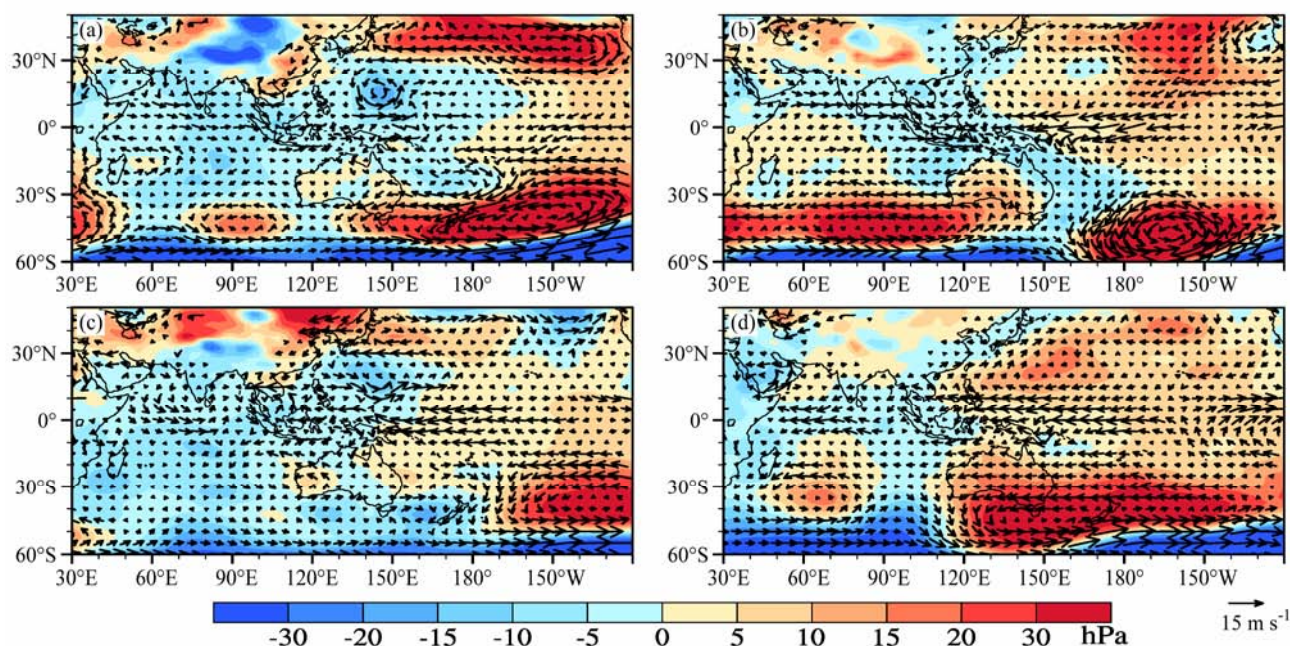


图8 1951~1976年(左列)和1977~2008年(右列)AAO正异常年(a、b)春季和(c、d)夏季与负异常年850 hPa风场(矢量)和SLP(阴影)的差值

Fig. 8 The differences of 850-hPa wind (vector) and SLP (shading) between the positive and the negative anomaly of AAO in (a, b) spring and (c, d) summer during 1951-1976 (left panel) and 1977-2008 (right panel)

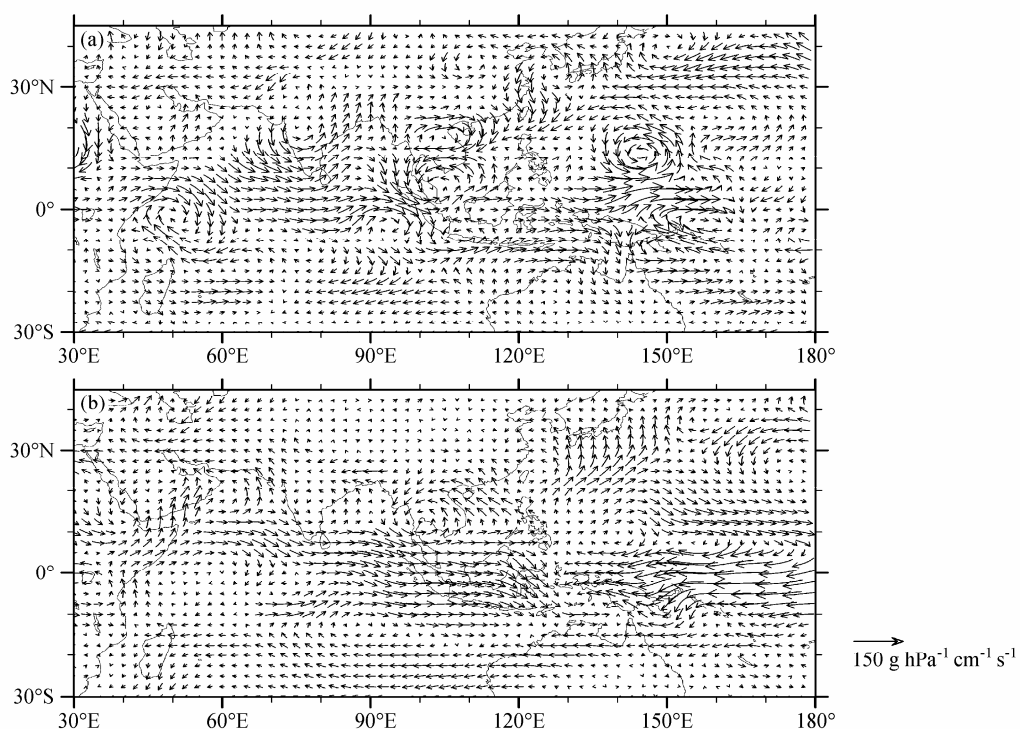


图9 (a) 1951~1976年和(b) 1977~2008年AAO正异常年与负异常年夏季整层水汽输送差值

Fig. 9 The differences of water vapor transportation between the positive and the negative anomaly of AAO during (a) 1951-1976 and (b) 1977-2008

马里地区还是 120°E 附近, AAO 为正异常时, 向北的水汽输送增强, 有利于我国东部地区降水。

南半球环流对西太平洋副高的年际和年代际

变化都有影响, 20 世纪 70 年代末之后, 南极涛动趋于正位相, 索马里急流偏强, 致使副高偏向西南, 强度增强(薛峰和何卷雄, 2005; 薛峰和苏同华,

2009)。这一特征在图 8 中也有明显表现。1951~1976 年 AAO 正异常时, 北半球西太平洋地区为一气旋性环流, 其西侧的东北气流控制了我国东部地区; 与之相反, 1977~2008 年该地区为反气旋性环流, 其西侧的西南气流较强, 有利于暖湿气流向我国东部地区输送。这说明在 AAO 正异常时, 后一阶段西太平洋地区副热带高压增强、位置偏西, 使得我国东部地区降水偏多区域从华南一直延伸到江淮流域。

6 结论与讨论

本文利用 1951~2008 年 NCEP 再分析资料, 考察 1976 年前后南半球环流的年代际变化。结果表明, 在南半球低层副热带地区, 东南太平洋副高在冬季减弱强度最大, 秋季最小; 南大西洋副高在春季减弱强度最大, 秋季最小; 而马斯克林高压的增强在夏、秋季大于冬、春季。南极大陆的低压中心不断加深, 从冬季开始加深程度增强, 秋季达到最大后减弱。此外, 作为南半球环流的主要系统, 南极涛动和马高也存在明显的年代际变化。1976 年之后, 马高面积增大, 强度增强, 特别是在春季。同时, AAO 由负位相转变为正位相。

南半球环流处于东亚夏季风的上游, 是东亚夏季风的主要源地之一, 南半球中高纬度环流的变化可以通过越赤道气流进一步影响到东亚地区 (Xue et al., 2004)。由于南半球环流较好的持续性, 使得春季 AAO 与中国夏季降水有显著的相关关系, 而且随着 AAO 的增强, 对中国东部地区夏季降水的影响也趋于加强。1976 年之前, 春季 AAO 与我国东部地区降水相关呈“+ - +”的三极型分布, 即春季 AAO 正异常时, 长江中下游以南地区和华北地区降水易偏多, 江淮流域偏少; 1976 年之后, 春季 AAO 与夏季降水的相关变为“+ - ”两极型分布, 从华南沿海一直到江淮流域都为正相关区, 华北到东北地区为负相关区。因此, 在不同年代际背景下, 春季 AAO 对中国夏季降水的影响存在显著差异。进一步分析还表明, 1976 年之后, 随着 AAO 的增强, 马高和南太平洋副高增强, 使得索马里和 120°E 越赤道气流也趋于增强, 这进一步加强了南半球环流对东亚夏季风的影响, 对中国东部夏季降水的影响范围也随之扩大到黄河流域。

中国夏季降水的预测一直是中国气象界的主要研究问题, 由于 ENSO 是海气耦合系统年际变化的最强信号, 使之成为预测的首要因子。但随着 20 世纪 70 年代末的年代际变化, ENSO 与中国夏季降水的相关性大大减弱。70 年代中期之前, 当前冬赤道东太平洋 SST 偏高时, 华北和长江中下游以南的多数测站夏季降水偏多, 淮河流域降水偏少, 但 80 年代之后, 上述对应关系较难成立 (Gao et al., 2006)。本文的分析表明, 春季 AAO 对中国东部地区, 特别是江淮流域夏季降水的影响在 70 年代中期之后明显加强。因此, 在当前海温预报因子作用减弱的情况下, 春季 AAO 信号有可能为中国夏季降水特别是长江流域降水的预报提供一个重要的预测因子。

另一方面, 赤道太平洋的海温变化也能影响到南半球环流的年际和年代际变化 (Garreaud and Battisti, 1999; Zhou and Yu, 2004), 因此 ENSO 能在一定程度上影响到 AAO 的位相和强度变化, 这是需要注意的, 特别是在 ENSO 信号很强的情况下。因此, 在利用 AAO 信号做预测时, 需要综合考虑其他影响因子。另外, 对春季南半球 20°S 以南 SLP 与中国夏季 160 站降水的 SVD 分析发现, 南半球 30°W~60°W 地区与我国夏季降水的相关在前后两个阶段不同, 由前一阶段的负相关关系变为后一阶段的正相关关系, 且相关系数较高, 产生这种差异的原因尚需进一步研究。最后, 由于 NCEP 再分析资料在 1979 年前后使用的基本数据发生了改变, 对于南半球中高纬度而言, 使用再分析资料时必须谨慎 (Bromwich and Fogt, 2004; Dell'Aquila et al., 2007), 因而本文所得的结论还需要结合数值模拟试验, 以进一步验证结论的可靠性, 揭示上述影响差异的机理。

参考文献 (References)

- An S II, Wang B. 2000. Interdecadal change of the structure of the ENSO mode and its impact on the ENSO frequency [J]. *J. Climate*, 13: 2044-2055.
- Bromwich D H, Fogt R L. 2004. Strong trends in the skill of the ERA-40 and NCEP-NCAR reanalyses in the high and midlatitudes of the Southern Hemisphere, 1958-2001 [J]. *J. Climate*, 17: 4603-4619.
- Chang C P, Zhang Y S, Li T. 2000. Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs. Part I: Roles of the subtropical ridge [J]. *J. Climate*, 13: 4310-4325.

- Chen T C, Yen M C. 1997. Interdecadal variation of the Southern Hemisphere circulation [J]. *J. Climate*, 10(4): 805–812.
- Dell'Aquila A, Ruti P M, Calmanti S, et al. 2007. Southern Hemisphere midlatitude atmospheric variability of the NCEP-NCAR and ECMWF reanalyses [J]. *J. Geophys. Res.*, 112, D08106, doi:10.1029/2006JD007376.
- Ding Y H, Wang Z Y, Sun Y. 2008. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: Observed evidences [J]. *Int. J. Climatol.*, 28: 1139–1161.
- Gao H, Wang Y G, He J H. 2006. Weakening significance of ENSO as a predictor of summer precipitation in China [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 33: L09807, doi:10.1029/2005GL025511.
- 高辉, 薛峰, 王会军. 2003. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响和预报意义 [J]. *科学通报*, 48 (增刊): 87–92. Gao Hui, Xue Feng. 2003. Influence of interannual variability of Antarctic Oscillation on Meiyu along the Yangtze and Huaihe River Valley and its importance to prediction [J]. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 48 (Suppl.): 87–92.
- Garreaud R D, Battisti D S. 1999. Interannual (ENSO) and interdecadal (ENSO-like) variability in the Southern Hemisphere tropospheric circulation [J]. *J. Climate*, 12 (7): 2113–2123.
- Gong D Y, Ho C H. 2002. Shift in the summer rainfall over the Yangtze River valley in the late 1970s [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 29, L1436, doi: 10.1029/2001GL014523.
- Gong D Y, Wang S W. 1999. Definition of Antarctic oscillation index [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 26: 459–462.
- Graham N E. 1994. Decadal-scale climate variability in the tropical and North Pacific during the 1970s and 1980s: Observations and model results [J]. *Climate Dyn.*, 9: 135–162.
- 黄荣辉, 蔡榕硕, 陈际龙, 等. 2006. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系 [J]. *大气科学*, 30 (5): 730–743.
- Huang Ronghui, Cai Rongshuo, Chen Jilong, et al. 2006. Interdecadal variations of drought and flooding disasters in China and their association with the East Asian climate system [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30 (5): 730–743.
- Hurrell J W, van Loon H. 1994. A modulation of the atmospheric annual cycle in the Southern Hemisphere [J]. *Tellus*, 46: 325–338.
- Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. 2001. The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82 (2): 247–267.
- Li C Y, Li G L. 2000. The NAO/NPO and interdecadal climate variation in China [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 17: 555–561.
- 吕俊梅, 据建华, 张庆云, 等. 2005. 太平洋年代际振荡冷、暖背景下 ENSO 循环的特征 [J]. *气候与环境研究*, 10 (2): 238–249. Lü Junmei, Ju Jianhua, Zhang Qingyun, et al. 2005. The characteristics of ENSO cycle in different phases of Pacific decadal oscillation [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (2): 238–249.
- Mantua N J, Hare S R, Zhang Y, et al. 1997. A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78: 1069–1079.
- Mo K C, White G H. 1985. Teleconnections in the Southern Hemisphere [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 113: 22–37.
- 穆明权, 李崇银. 2000. 大气环流的年代际变化 I: 观测资料的分析 [J]. *气候与环境研究*, 5 (3): 233–241. Mu Mingquan, LiChongyin. 2000. Interdecadal variations of atmospheric circulation I: Observational analyses [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 5 (3): 233–241.
- Thompson D W J, Solomon S. 2002. Interpretation of recent Southern Hemisphere climate change [J]. *Science*, 296: 895–899.
- Thompson D W J, Wallace J M. 2000. Annular modes in the extratropical circulation. Part I: Month-month variability [J]. *J. Climate*, 13 (5): 1000–1016.
- Torrence C, Webster P J. 1999. Interdecadal changes in the ENSO–monsoon system [J]. *J. Climate*, 12: 2679–2690.
- Trenberth K E, Hurrell J W. 1994. Decadal atmosphere–ocean variations in the Pacific [J]. *Climate Dyn.*, 9: 303–319.
- van Loon H, Kidson J W, Mullan A B. 1993. Decadal variation of the annual cycle in the Australian dataset [J]. *J. Climate*, 6: 1227–1231.
- Wang H J. 2002. The instability of the East Asian summer monsoon–ENSO relations [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 19 (1): 1–11.
- Wang H J, Fan K. 2005. Central–north China precipitation as reconstructed from the Qing dynasty: Signal of the Antarctic atmospheric oscillation [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 23, L24705, doi: 10.1029/2005GL024562.
- 吴洪宝, 吴蕾. 2005. 气候变率诊断和预测方法 [M]. 北京: 气象出版社, 111–121. Wu Hongbao, Wu Lei. 2005. *Methods for Diagnosing and Forecasting Climate Variability [M]* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 111–121.
- Wu R G, Wang B. 2002. A contrast of the East Asian summer monsoon–ENSO relationship between 1962–77 and 1978–93 [J]. *J. Climate*, 15: 3266–3279.
- 薛峰, 何卷雄. 2005. 南半球环流变化对西太平洋副高东西振荡的影响 [J]. *科学通报*, 50 (15): 1660–1662. Xue Feng, He Juanxiong. 2005. Influence of the Southern Hemispheric circulation on East–West oscillation of the western Pacific subtropical high [J]. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 50 (15): 1660–1662.
- 薛峰, 苏同华. 2009. 夏季西太平洋副热带高压的年代际变化及其与南半球环流的联系 [J]. *自然科学进展*, 19 (4): 421–424. Xue Feng, Su Tonghua. 2009. The interdecadal change of summer western Pacific subtropical high and its relationship with Southern Hemisphere circulation [J]. *Progress in Natural Science (in Chinese)*, 19 (4): 421–424.
- 薛峰, 王会军, 何金海. 2003. 马斯克林高压和澳大利亚高压的年际变化及其对东亚夏季风降水的影响 [J]. *科学通报*, 48 (3): 1287–1291. Xue Feng, Wang Huijun, He Jinghai. 2003. Interannual variability of Mascarene high and Australian high and their influence on the East Asian summer rainfall over East Asia [J]. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 48 (3): 1287–1291.
- Xue F, Wang H J, He J H. 2004. Interannual variability of Mascarene high and Australian high and their influence on East Asian summer monsoon [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82 (4): 1173–1186.
- 宇如聪, 周天军, 李建, 等. 2008. 中国东部气候年代际变化三维特征的研究进展 [J]. *大气科学*, 32 (4): 893–905. Yu Rucong, Zhou Tianjun, Li Jian, et al. 2008. Progress in the studies of three-dimensional structure of interdecadal climate change over eastern China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 32 (4): 893–905.

- 于淑秋, 林学椿. 1997. 北太平洋海温的气候跃变及其对中国汛期降水的影响 [J]. 热带气象学报, 13 (3): 265–275. Yu Shuqiu, Lin Xuechun. 1997. Climatic jump of North Pacific SST and its effect on precipitation of floods season in China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 13 (3): 265–275.
- Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. 1997. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93 [J]. J. Climate, 10: 1004–1020.
- 周连童, 黄荣辉. 2003. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究 [J]. 气候与环境研究, 8 (3): 274–290. Zhou Liantong, Huang Ronghui. 2003. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 8 (3): 274–290.
- Zhou T J, Yu R C. 2004. Sea-surface temperature induced variability of the Southern Annular Mode in an atmospheric general circulation model [J]. Geophys. Res. Lett., 31: L24206, doi: 10.1029/2004GL021473.
- Zhou T J, Yu R C. 2005. Atmospheric water vapor transport associated with typical anomalous summer rainfall patterns in China [J]. J. Geophys. Res., 110: D08104, doi: 10.1029/2004JD005413.
- Zhou T J, Zhang L X, Li H M. 2008. Changes in global land monsoon area and total rainfall accumulation over the last half century [J]. Geophys. Res. Lett., 35: L16707, doi: 10.1029/2008GL034881.
- Zhou T J, Gong D Y, Li J, et al. 2009. Detecting and understanding the multi-decadal variability of the East Asian summer monsoon—Recent progress and state of affairs [J]. Meteorologische Zeitschrift, 18 (4): 455–467.
- 朱益民, 杨修群. 2003. 太平洋年代际振荡与中国气候变率的联系 [J]. 气象学报, 61 (6): 641–654. Zhu Yimin, Yang Xiuqun. 2003. Relationships between Pacific decadal oscillation (PDO) and climate variabilities in China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 61 (6): 641–654.