

SVD 分析揭示的澳大利亚高压年际变化对中国夏季降水的可能影响^{* 1}

张蓬勃^{1,2} 管兆勇¹ 孙密娜^{1,3} 曹舒娅^{1,4}

ZHANG Pengbo^{1,2} GUAN Zhaoyong¹ SUN Mina^{1,3} CAO Shuya^{1,4}

1. 南京信息工程大学, 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 大气科学学院, 南京, 210044
2. 南京市气象局, 南京, 210009
3. 天津市气象局, 天津, 300074
4. 江苏省气象台, 南京, 210008

1. *Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China*
 2. *Nanjing Meteorological Bureau, Nanjing 210009, China*
 3. *Tianjin Meteorological Bureau, Tianjin 300074, China*
 4. *Jiangsu Meteorological Observatory, Nanjing 210008, China*
- 2008-11-03 收稿, 2009-10-08 改回.

Zhang Pengbo, Guan Zhaoyong, Sun Mina, Cao Shuya, 2010. Possible impacts of the interannual variability of the Australian high on summertime rainfall in China as revealed by the SVD analysis. *Acta Meteorologica Sinica*, 68(6):908-917

Abstract The Australian high as an important circulation member of the East Asian summer monsoon system has significant impacts on the summertime climate of China. By using the sea level pressure data from the NCEP/NCAR reanalysis data and the monthly mean data of rainfall at 107 stations in China, the relationships between the interannual variability of the Australian high and summer precipitation in China have been studied with the singular value decomposition (SVD) and regression methods. The time series of the coefficient for the first mode of the singular vector (SVD1) is found to be very highly correlated with the Australian high index (correlation: 0.98), in agreement with the results in many other studies, showing that the SVD1 is able to well depict the variations of the Australian high. The first mode displays the close relationship between the interannual variability of Australian high and summer precipitation in the regions south of the Yangtze River. When the Australian high is stronger (weaker) than normal, summer precipitation in regions south of the Yangtze River will be significantly more (less) than normal. The Australia high influences summer precipitation in China via changing both the zonal and the cross-equatorial flows in the equatorial region and via a way like the wave train P-J. When the Australian high is stronger than normal, the location of the west Pacific subtropical high seems to be more southern and western than normal, inducing the intensification of the cross equatorial flow at 105°E, which transports ample water vapor northeastward to the regions south of the Yangtze River and thus enhances rainfall there. When the Australian high is weaker than normal, the scenario is opposite. Negative SSTA in the regions around Indonesia and intertropical convergence zone during strong (weak) Australia high pressure years will cause anomalous divergence (convergence) in the lower troposphere, including the anomalous anti-cyclonic (cyclonic) circulation in both the southern Australia and the northwest Pacific. Simultaneously, the anomalous convergence (divergence) is also induced in the regions south of the Yangtze River, resulting in the anomalous ascent (descent) of air, which eventually facilitates more (less) rainfall in the regions south of China in boreal summer.

Key words Australian high, Interannual variability, Summer rainfall

* 资助课题: 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403602)、国家自然科学基金资助项目(40675025)。
作者简介: 张蓬勃, 主要从事海气相互作用研究。E-mail: bobozpb@163.com
通讯作者: 管兆勇, 从事气候变化研究。E-mail: guanzy@nuist.edu.cn

摘 要 澳大利亚高压是东亚夏季风系统的重要成员之一,其对中国夏季气候存在显著影响。为了进一步弄成年际时间尺度上的澳大利亚高压变化对中国东部夏季降水的影响,利用澳大利亚海平面气压和中国夏季降水站点资料,使用 SVD 和线性回归方法揭示了澳大利亚高压的年际变化与中国夏季降水异常的联系,得到:SVD 的第 1 模态的时间系数与通常使用的澳大利亚高压指数相关可达到 0.98。在有无考虑 ENSO 的影响时,SVD 的第 1 模态均反映出澳大利亚高压的年际变化与中国江南地区夏季降水存在密切联系,也即澳大利亚高压增强(减弱)时,江南地区降水增多(减少)。澳大利亚高压对中国夏季降水的可能影响途径为:澳大利亚高压通过影响赤道纬向气流和越赤道气流并通过类似 PJ 波列的方式影响到中国东部地区;澳大利亚高压增强时,造成西太平洋副热带高压偏南、偏西,同时,105°E 处越赤道气流显著加强,为江南地区提供充足水汽源,利于中国江南地区降水;澳大利亚高压减弱时,情况相反;在强(弱)澳大利亚高压年,印度尼西亚及热带辐合带海区 SSTA 负(正)异常使得低层风场的异常辐散(辐合),激发了澳大利亚南部以及西太平洋地区异常反气旋(气旋)环流,同时江南地区出现异常辐合(辐散),引起大气异常上升(下沉)运动,有利于中国江南地区夏季降水异常偏多(偏少)。

关键词 澳大利亚高压, 年际变化, 中国夏季降水

中图法分类号 P461

1 引 言

澳大利亚高压(澳高)是活跃在南半球冬季澳洲大陆的重要环流系统(张元箴,1988;管兆勇等,1989;施宁等,2001),也是夏季风系统的重要成员(黄土松等,1987;何金海等,1991;陈隆勋等,2006),其与马斯克林高压一样,可影响到越赤道气流和南北半球环流的侧向耦合,对东亚夏季天气气候产生重要影响。曾庆存等(2002)系统全面地探讨了南北两半球大气相互作用。在北半球从冬到夏的季节变化过程中,南半球中高纬地区的环流通过越赤道气流和赤道纬向风影响亚洲夏季风环流的建立和发展。陶诗言等(1962)研究发现,在东亚低纬度盛行经向环流期间,南半球也盛行经向环流,并且在澳洲附近从南半球向北半球的质量输送最强烈。近些年来,很多气象学家发现马斯克林高压(以下简称马高)与澳大利亚高压(以下简称澳高)均为夏季风系统中的关键成员,其强度变化对南北半球大气环流相互作用起着十分重要的作用。研究表明,澳高在形成中国夏季 6、7 月降水中有重要作用(施能等,1995),其中澳高的影响对华南地区显著(薛峰等,2003)。施宁(2001)应用 NOAA 卫星接收的 HIRS-Tb12 等资料进行的分析得出,多数夏季早年南半球高压、越赤道气流以及西太平洋副热带高压均持续偏强,暖湿气流多数时间维持在 30°N 以北,造成华东地区高温干旱。

在澳高影响东亚气候的过程中,ENSO 起到了一定的干扰作用。尽管 ENSO 对东亚夏季风的强弱变化和中国夏季降水的分布有重要影响(徐建军

等,1999;高辉等,2003),但是,澳大利亚东部的反气旋可通过经向风异常影响 ENSO 的发生、发展和衰减(薛峰等,2007)。在澳高强年,许多年份同时发生了 El Niño 事件,澳高弱年,则发生 La Nina 事件。因此在分析澳高影响东亚气候时,不可避免地受到 ENSO 信号的影响。

目前已有一些关于澳高对中国夏季降水影响的研究(张元箴,1988;施能等,1995;薛峰等,2003),但所得结论并不完全一致。这归因于:①南半球环流与东亚季风之间、以及与 ENSO 之间的关系非常复杂;②澳高与东亚夏季风均存在着明显的年代际及更长时间尺度的变化(滕代高等,2005),使得澳高与中国夏季降水异常的关系变得更为复杂;③澳高对中国夏季降水影响的区域存在差异。本研究将侧重于年际时间尺度上的澳大利亚高压变化对中国东部夏季降水的可能影响。

2 资料和方法

2.1 资 料

采用(1)NCEP/NCAR 全球再分析 1958—2006 年月平均风场资料和气压场资料,资料的空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ (Kalnay, et al, 1996);(2)国家气候中心(NMC)提供的 1958—2006 年中国东部区域(20° — 45° N, 105° — 135° E) 107 站月平均降水量资料;(3)由 CPC 提供的 1958—2006 年 Nino3 指数;(4)NCEP/NCAR 全球再分析 1958—2006 年月平均海温资料,资料的空间分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$;本文的冬季是前一年的 12 月到当年的 2 月,春季指当年的 3—5 月,夏季指当年的 6—8 月,秋季则指当年的

9—11月。

2.2 方 法

本文仅分析年际变化。年代际变化通过11年滑动滤波予以滤除(徐建军等,1997)。

SVD方法的主要功能是分离出关联最密切的空间型。本文选取夏季(6—8月平均)澳大利亚区域内(10° — 40° S, 110° — 160° E)的海平面气压场为左场,同期中国107站的夏季降水为右场。

为滤除 ENSO 信号干扰,利用 Nino3 指数对资料(y')进行回归分析,部分去除 ENSO 信号后,获取分析场($y' - aI'_{\text{Nino3}}$)。需要指出,这种滤除干扰信号的方法未考虑时间滞后问题,因而只是部分地滤除了 ENSO 信号。

文中运用 t 检验方法对高度距平等变量场合平均进行显著性检验。

3 澳高年际变化对中国夏季降水的影响

中国大部分地区受东亚季风影响,夏季主要雨带的位置和强度与夏季风环流系统特别是东亚环流系统关系紧密。黄士松等(1987)认为构成东亚夏季风体系的环流成员有青藏高压、西北太平洋高压、马斯克林高压、澳大利亚高压、印度-南海低压以及派生的南海热带辐合带与上升云系、梅雨峰与上升云系等。研究表明,澳高与中国区域气候变化存在密切关系,且对中国夏季降水存在显著影响(张元箴,1988;林丽珊等,1991;施宁等,2001),由于 ENSO 事件对中国降水亦有影响(刘永强等,1995;刘宣飞等,2008),这使得确定澳高对中国降水的影响变得复杂。因此,去除 ENSO 事件的干扰作用,将会进一步确认澳高对中国夏季降水的影响。

参照薛峰等(2003)和施能等(1995)对澳高强度指数的定义,将该指数(I_{AHS})定义为区域(25—

35° S, 120° — 150° E)平均的标准化海平面气压值。参照澳大利亚地区 1958—2006 年夏季(6—8月)气候平均的海平面气压场(图 1a 的阴影区域),选取本文 SVD 分析的区域,其基本涵盖了澳高所在位置(Thenberth,1990)。

所选区域气压场和降水场资料滤除年代际变化后,进行 SVD 分解。(1)未滤除 ENSO 信号时, SVD 分解的结果(表 1)显示, SVD1 累计解释协方差的百分比为 85%。从它的第 1 模态气压场、降水场相关上(图 1a、1b)可以反映出澳高与中国 107 个站夏季降水的关系。第 1 模态气压场和降水场展开系数之间的相关系数达到了 0.7。因此,当澳高为正异常时,以长江为分界线,中国夏季降水呈南多北少型,降水正异常中心位于中国东部浙江地区,而陕西中部地区为负异常中心。反之,情况相反。(2)滤除 ENSO 信号后的 SVD 分解的结果(表 1)显示, SVD1 累积解释协方差的百分比为 79%,气压场和降水场展开系数之间相关系数为 0.66。两种资料的降水场相关(图 1b、1d)对比分析得到,在滤除 ENSO 干扰信号之后,主要的雨型分布由原来的南多北少型变成了中间少两边多的类型,主要是以黄河中下游为界,在其南北出现了两个位相相反的异常中心。长江以南地区的降水异常区域范围增大、数值有所增强。负异常区从浙江一直延伸到湖南地区。这进一步说明澳大利亚高压对中国长江以南的浙、赣、湘地区的夏季降水有着重要的影响,即澳高增强时,浙、赣、湘地区的降水增多,陕西南部地区的降水偏少。

SVD1 气压场对应的时间序列与由薛峰等(2003)、施能等(1995)定义的澳高指数的时间序列相关为 0.98(图 2a、2b),这种很强的正相关关系说明 SVD1 气压场的时间序列(I_{SVD1})在年际变化上能

表 1 滤除 ENSO 信号前、后的海平面气压场与中国 107 站夏季降水 SVD 分解前 4 个模态的相关数值

Table 1 The statistics on the first 4 modes as decomposed via the SVD for the SLP and the precipitation before and after having ENSO signals removed by the regression method

	序号	奇异值	解释协方差 平方百分比(%)	累积解释协方 差平方和百分比(%)	展开系数之间 的相关系数	解释左场的 方差百分比(%)	解释右场的 方差百分比(%)
未滤除 ENSO 信号	1	29.96	84.87	84.87	0.70	78.41	8.03
	2	7.54	5.38	90.25	0.62	6.06	8.38
	3	6.48	3.97	94.22	0.78	6.03	3.88
	4	5.60	2.97	97.18	0.66	3.93	6.21
滤除 ENSO 信号	1	27.95	79.02	79.02	0.66	72.71	8.37
	2	8.76	7.76	86.78	0.66	7.37	8.19
	3	7.77	6.10	92.89	0.74	7.67	4.97
	4	5.42	2.97	95.86	0.73	5.27	3.55

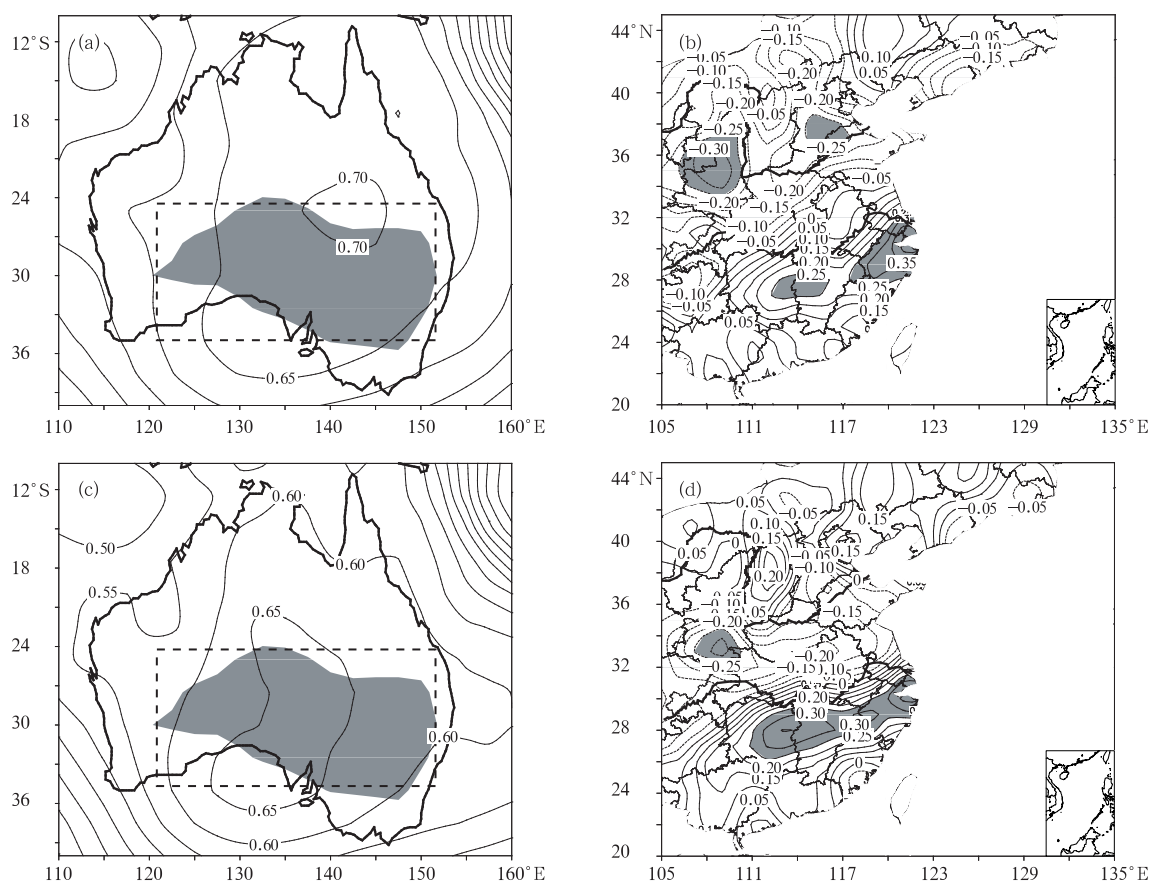


图1 SVD1的气压场相关(a,c)和降水场相关(b,d)

(a,b. 未滤除 ENSO 信号;c,d. 滤除 ENSO 信号;a,c 图阴影区域:澳高的气候平态;b,d 图阴影区域:数值大于 0.3 的区域)

Fig. 1 Correlations of the SVD1 for the SLP (a,c), and for the precipitation (b,d). In Figs. (c) and (d),

data have been preprocessed by removing the ENSO signal using the regression method

before plotting. Shades in Figs. (a) and (c) denote the climatological mean SLP with values

bigger than 1020 hPa whereas in (b) and (d) the values are larger than 0.3

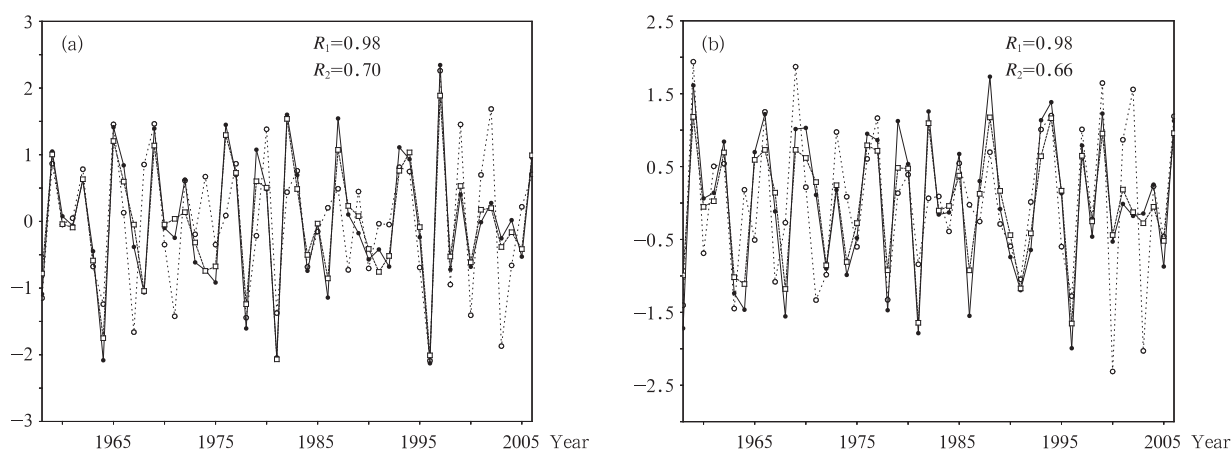


图2 SVD1 气压场和降水场对应的时间系数以及澳高指数的标准化时间序列

(a. 未滤除 ENSO 信号;b. 滤除 ENSO 信号;实线:左场;点线:右场;短虚线:澳高指数; R_1 :澳高指数的时间序列与气压场的时间系数序列的相关系数; R_2 :降水场的时间系数序列与气压场的时间系数序列的相关系数)

Fig. 2 Time series of the coefficients of the SVD1 for the SLP (solid line, with solid circle) and the precipitation (dotted with open circle), and the normalized time series of the Australian high index (dashed with square). In Fig. 2b, data have been preprocessed by removing the ENSO signal using the regression method. R_1 is for the correlation coefficient between the coefficient series of SLP singular vector and the normalized time series of Australian high index, whereas R_2 is for the correlation between the time coefficient series of SLP singular vector and the time coefficient series of precipitation for the SVD1

够很好地表示通常的澳高指数(I_{AHS})所包含的信息(图 2a、2b)。故可用 I_{SVD1} 来定义澳高的强、弱年。这里定义 I_{SVD1} 大于 0.75 时为澳高强年, 小于 -0.75 的为澳高弱年。根据这个定义得到:

未滤除 ENSO 信号(图 2a)时, 澳高强年为 1959、1965、1966、1969、1976、1977、1979、1982、1983、1987、1993、1994、1997、2006 年; 澳高弱年为: 1958、1964、1968、1974、1975、1978、1981、1984、1986、1992、1996、1998、2000 年。

滤除 ENSO 信号后(图 2b), 同样可定义澳高强年为 1959、1962、1966、1969、1970、1976、1977、1979、1982、1988、1993、1994、1997、1999、2006 年; 澳高弱年为: 1958、1963、1964、1968、1972、1974、1978、1981、1986、1990、1991、1996、2005 年。

由澳高强年与弱年降水合成的差值分布进一步分析澳高的影响(图 3a、3b)。由图可知(图 3a、3b), 在滤除 ENSO 信号前后, 变化显著的区域仍然在长江以南地区。在去除干扰信号后, 当澳高强年时, 浙、

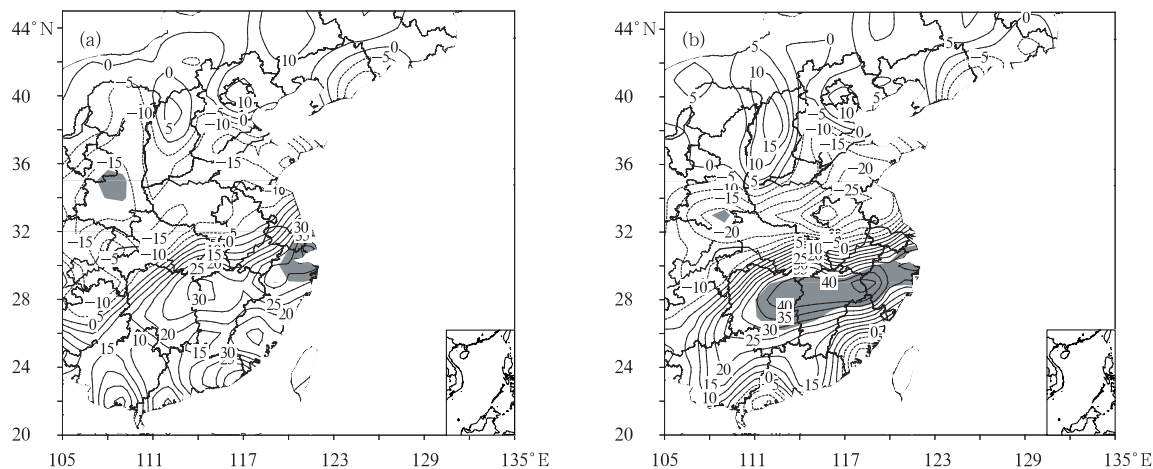


图 3 依据 SVD1 气压场的时间序列定义的澳高强年与弱年降水合成的差值分布

(a. 未滤除 ENSO 信号, b. 滤除 ENSO 信号; 阴影区为 t 检验不低于 90% 置信水平区域; 单位: mm/month)

Fig. 3 Composite difference fields of precipitations in China between strong Australian high years and weak Australian high years as identified by the series of time coefficients of SVD1 for the SLP.

In (b), data have been preprocessed by removing the ENSO signal using the regression method (The areas with the values significant at the 0.9 confidence level are shaded. Units are in mm/month)

赣、湘地区为正距平区域, 北方陕西南部地区均存在负距平区域。当澳高弱年时, 情况相反。这一结果与 SVD 分解得到的结果一致。

4 澳高年际变化影响中国夏季降水的机制

4.1 环流特征

为了说明澳高的年际变化与中国夏季降水的密切联系, 需要分析澳高强年与弱年环流形势的差异(图 4a、4b)。由图可知, 所用资料在滤除 ENSO 影响前后, (1) 30°N 以南地区的环流异常变化改变不大。环流异常主要表现在: 当澳高增强时, 澳大利亚上空表现为异常反气旋环流, 其北侧到赤道地区形成气旋性环流, 赤道地区西风增强, 赤道北侧的热带中西太平洋受异常气旋环流控制, 中纬度西太平洋地区受异常反气旋环流影响。当澳高减弱时, 情况

相反。这样的异常环流结构在南海西太平洋地区表现出类似于 P-J 波列的结构, 也就是说澳高异常可通过赤道西风异常与热带西太平洋的波列产生联系, 从而通过加强赤道西风 and 西太平洋 ITCZ 以及西太平洋副热带高压影响到中国东部地区; (2) 30°N 以北地区的环流异常变化改变显著: ① 未滤除 ENSO 影响时, 在澳高强年, 东北以及以西地区主要受偏西风影响, 黄河中下游以南地区受到异常偏北风的影响; 反之, 情况相反; ② 滤除 ENSO 的影响时, 在澳高强年, 与未滤除 ENSO 影响时相比, 东北及以西地区环流异常改变较大, 主要表现在由平直的异常西风改变为异常西南风, 同时黄海以东地区出现异常气旋中心以及东北南部地区出现异常反气旋中心。澳高弱年, 情况相反。可见, ENSO 事件主要对中国北方地区异常环流产生较大影响。

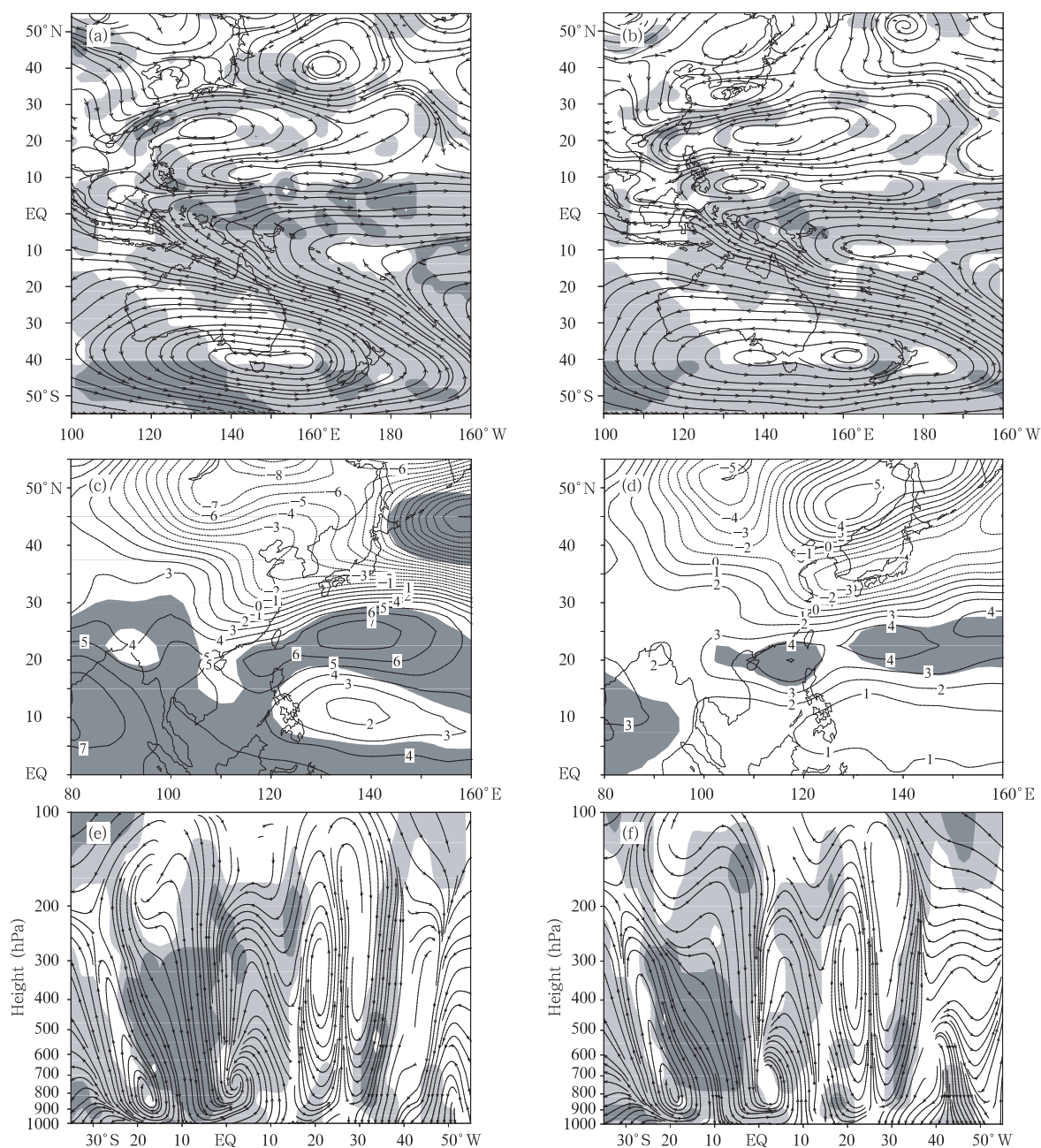


图4 依据SVD1气压场的时间序列定义的澳高强年与弱年合成差值分布

(a、b. 850 hPa 流场,单位:m/s;深阴影区域为 u 、 v 两个向量均通过了0.1的显著性水平检验,浅阴影区域为 u 或 v 向量通过了0.1的显著性水平检验。c、d. 500 hPa 高度场,单位:gpm;阴影区通过了0.1的显著性检验。e、f. 沿 $100^{\circ} - 120^{\circ}\text{E}$ 平均的经向垂直环流场,单位:m/s;深阴影区域为 w 、 v 两个向量均通过了0.1的显著性水平检验,浅阴影区域为 w 或 v 向量通过了0.1的显著性水平检验。a、c、e. 未滤除 ENSO 信号;b、d、f. 滤除 ENSO 信号)

Fig. 4 Composite differences of JJA-averaged quantities between strong Australian high years and weak ones over the period 1958–2006. In Fig. 4 (a) and (b) are for stream lines at 850 hPa with dark shades for the areas where both the u and v components are significant at the 0.9 confidence level, and with light shades for the areas where either u or v is significant at the 0.9 confidence level. In Fig. 4 (c) and (d) are the geopotential height at 500 hPa (units:gpm) with shades for values significant at the 0.9 confidence level. The right panels are plotted from data which have been preprocessed by removing the ENSO signal using the regression method. In Fig. 4 (e) and (f) are the vertical circulations averaged over $100^{\circ} - 120^{\circ}\text{E}$ with dark shades for the areas where both the w and v components are significant at the 0.9 confidence level, and with light shades for the areas where either w or v is significant at the 0.9 confidence level.

合成的澳高强年与弱年 500 hPa 高度距平场显示(图 4c、4d): 有无滤除 ENSO 事件影响, (1) 30°N 以南地区异常高度变化不大, 但程度有所减小。当澳高增强时, 南海到孟加拉湾一带为正距平, 说明副高较常年偏南、偏西。陈烈庭等(1998)得到, 当西太平洋副热带高压位置明显偏南偏西时, 有利于长江型雨带的形成。当澳高减弱时, 西太平洋副高较常年偏弱, 有利于雨带的北移; (2) 30°N 以北地区异常高度变化明显。①未滤除 ENSO 事件影响, 澳高强年, 中国北方大部分地区为负距平, 表明 500 hPa 等压面下降, 空气柱厚度减少, 低层存在干冷气流。澳高弱年, 情况相反; ②滤除 ENSO 的影响, 澳高强年, 东北地区变为正距平控制, 这就说明低层存在暖气流, 对降水起到积极作用。中国东部从南方地区开始的这种正距平、负距平、正距平的分布, 易于中间少、两边多雨型的形成。

滕代高等(2005)的结果表明, 澳高存在明显的年际变化。当澳高偏强时, 亚澳季风环流系统其他各成员(100° — 160°E 高、低层越赤道气流, 近赤道 ITCZ, 西太平洋副热带高压, 梅雨锋, 南亚高压, 近赤道东风急流, 季风经圈环流, 哈得来环流等)也随之得到加强, 从而导致整个亚澳季风环流系统的增强。我们在澳高强年与弱年沿 100° — 120°E 平均的经向垂直环流合成差值分布上(图 4e、4f)发现, 滤除 ENSO 事件影响前后, (1) 30°N 以南的异常气流变化不显著, 即澳高强年, 向北的越赤道气流增强, 10°N 附近为强异常上升气流, 季风经圈环流偏强, 30°N 以南到 20°N 左右为强异常上升气流, 其对中国南方地区降水起到促进作用。澳高弱年, 情况相反; (2) 30°N 以北的异常气流变化较明显, 表现在: ①未滤除 ENSO 影响时, 50°N 附近为大片的异常下沉气流, 且这股强大的异常下沉气流从对流层上层一直贯穿到对流层底; ②滤除 ENSO 的影响, 40°N 以北到 50°N 附近的强异常下沉气流只有低层存在, 到了 500 hPa 以上就变成了平直的南风异常气流, 这就削减了异常下沉气流的强度, 这可能对降水起到促进作用(图 4f)。这也说明 ENSO 事件对 30°N 以北地区的对流层及以上影响显著。

从上述分析可知, 澳高强(弱)年时, 澳高引起由热带西太平洋向北的波列, 加强(减弱)赤道西风 and 热带太平洋 ITCZ, 并进而通过类似 P-J 波列的方式影响到中国东部地区, 造成西太平洋副高偏南、偏西(偏北、偏东), 使得中国江南地区夏季降水增强(减弱)。ENSO 主要对中国北方地区和对流层中层及以上产生影响。

4.2 越赤道气流的影响

越赤道气流作为南北半球质量、动量、热量、水汽等交换的途径, 是反映并影响南北半球气候异常的重要因素之一。Simpson(1921)最早提出越赤道气流的概念, 指出印度洋西南季风来源于南半球。澳高增强时, 100° — 130°E 越赤道气流相应增强(施宁等, 2001)。管兆勇等(1989)通过对旱涝年东半球中低纬环流特征的分析指出, 索马里急流东传的强弱和其在南海附近向北折向经度的差异与长江中下游梅雨期的旱涝存在一定联系。因此, 弄清楚越赤道气流在澳高强、弱年的变化, 对于理解澳高对中国夏季降水的影响尤为重要。

以下用澳高强、弱年 850 hPa 经向风做合成差值分析(图 5a、5b), 有无滤除 ENSO 影响时, 低层异常经向风改变不明显, 只是滤除 ENSO 影响后, 异常程度有所减小。澳高增强时, 100° — 160°E 向北越赤道气流强度较常年偏强, 尤其是 105°E 处越赤道气流显著加强, 并进入南海, 加强热带季风, 进而增强水汽输送, 为中国南方地区提供充足的水汽。当澳高减弱时, 情况完全相反。从 1958—2006 年的 SVD1 气压场对应的时间系数与 850 hPa 高度场的相关系数分布场(图 6a、6b)上可以看到, 滤除 ENSO 影响前后, 相关分布没有显著变化, ENSO 干扰事件只是削减了相关程度。澳高指的是低层系统, 因此它必定与南半球澳大利亚地区的 850 hPa 高度场存在很大的正相关, 并且这个正相关场一直延续到北半球热带区域。这就说明当澳高增强时, 10°N 以南地区的 850 hPa 高度场增强, 其外围的风场使得低层西风加强, 进而使越赤道气流加强。反之, 情况相反。可见, 澳高强(弱)年, 105°E 越赤道气流显著增强(减弱), 使得热带季风加强(减弱), 从而加强(减弱)对南方地区水汽的输送。

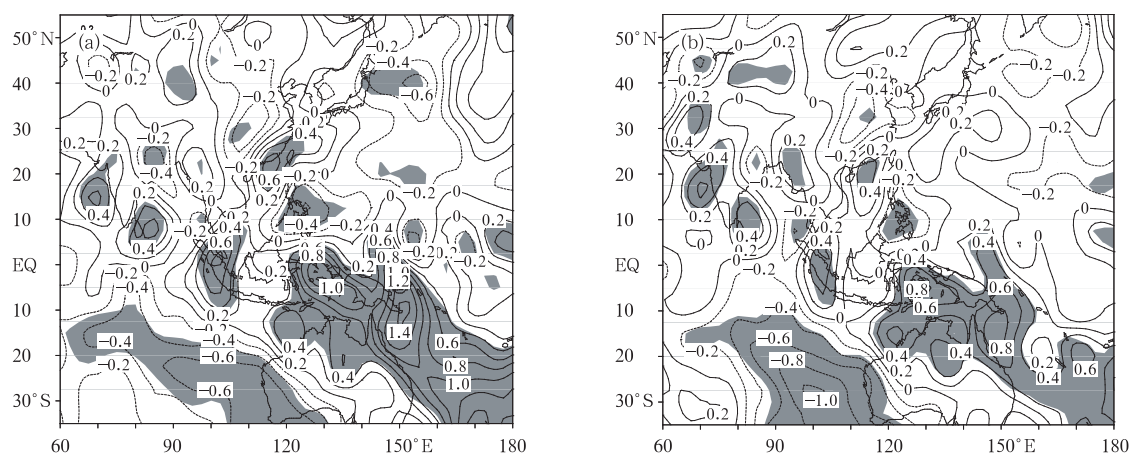


图5 澳高强年与弱年 850 hPa 经向风的合成差值场

(单位:m/s; a. 未滤除 ENSO 信号, b. 滤除 ENSO 信号; 图中所有区域均通过 0.1 的显著性水平检验)

Fig. 5 Composite differences of JJA-averaged meridional winds at 850 hPa (units in m/s) between strong and weak Australian high years over the period 1958 – 2006. In Fig. (b) data are have been preprocessed by removing the ENSO signal using the regression method. The shades are for the values significant at the 0.9 confidence level

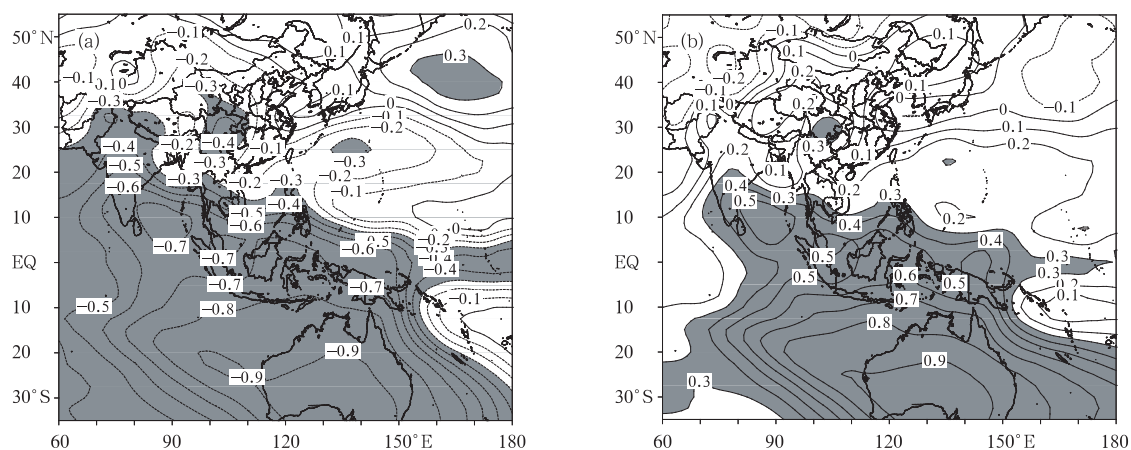


图6 SVD1 气压场的时间系数与 850 hPa 高度场的同期相关系数分布

(a. 未滤除 ENSO 信号, b. 滤除 ENSO 信号; 阴影区通过了 0.01 的显著性水平检验)

Fig. 6 Correlations of JJA-averaged geopotential heights at 850 hPa with the series of time coefficients of SVD1 for the SLP. Fig. (b) is plotted after having data preprocessed by removing the ENSO signal using the regression method. Shades shows the areas with values significant at the 0.9 confidence level

5 澳高与海温异常的联系

澳高与海温异常之间的联系, 可通过 SVD1 的时间系数与 SSTA 相关来分析。①从 SVD1 气压场的时间序列与全球海温相关分布(图 7a、7b)可以得到, 滤除 ENSO 事件影响前后, 澳大利亚地区东侧以及印度尼西亚地区热带辐合带的海区都为显著的负相关分布; 未滤除 ENSO 事件时, 赤道东太平洋呈现为显著的正相关分布, 这主要反映了 ENSO 位相时的海温分布特征。②异常辐散风场和流函数分布显示, 滤除

ENSO 事件前后, 当澳高增强时, 澳大利亚地区东侧以及印度尼西亚地区热带辐合带的海温异常偏冷, 引起低层风场异常辐散, 此异常辐散风场作为涡度源通过 Gill 型响应(Gill, 1980)可引起涡旋环流的异常, 在澳大利亚地区及其南部和南海西太平洋地区表现为异常的反气旋环流。南海西太平洋地区的异常反气旋环流增强了自南海向北的暖湿气流, 使得由海洋向大陆的水汽输送增强; 同时, 江南地区为异常辐合区, 引起大气异常上升运动, 有利于中国夏季江南地区的降水。澳高弱年时, 情况相反。

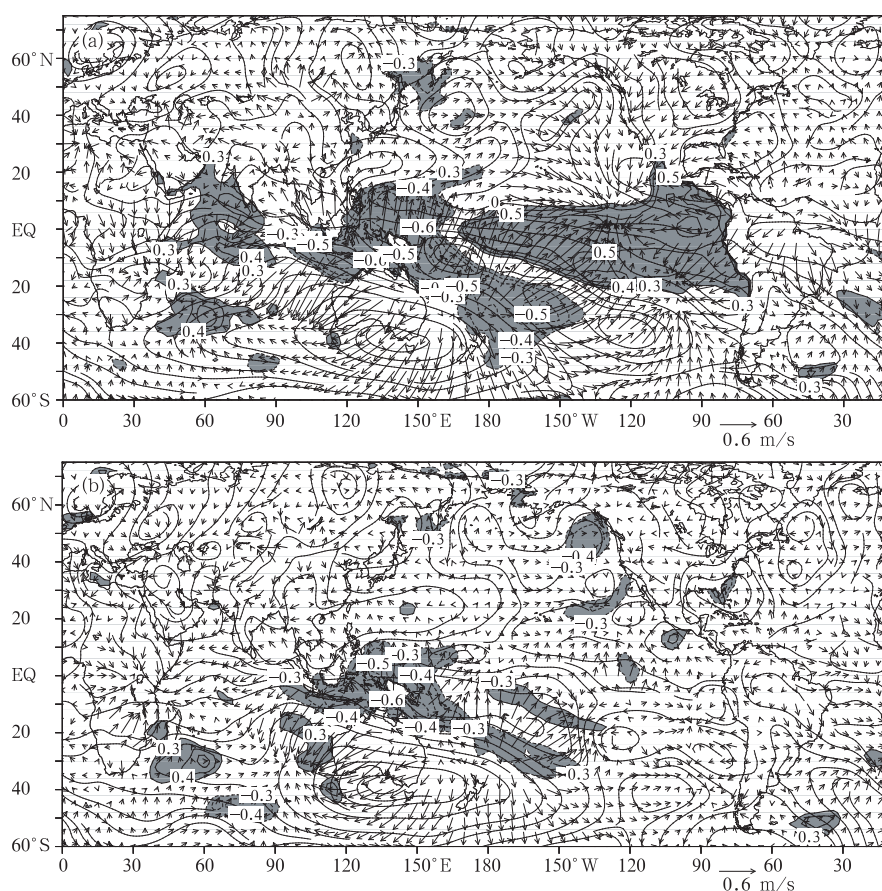


图7 SVD1 气压场的时间系数与全球海表温度的同期相关

(阴影区域)以及澳高强年与弱年流场合成差值分布

(a. 未滤除 ENSO 信号, b. 滤除 ENSO 信号; 风场: 850 hPa 辐散风场, 流线: 850 hPa 无辐散风场; 阴影区通过了 0.10 的显著性水平检验)

Fig. 7 Correlations of JJA-averaged sea surface temperature anomalies with series of time coefficients of SVD1 for the SLP, and composite differences of JJA-averaged wind fields between strong and weak Australian High years. The areas with correlations significant at the 0.9 confidence level are shaded. The superimposed arrow is for anomalous divergent winds and streamlines are for the rotational component of winds at 850 hPa. Fig. (b) is plotted after having data preprocessed by removing the ENSO signal using the regression method

6 结论和讨论

用 SVD 方法, 揭示了澳高与中国夏季降水的可能联系。发现 SVD1 气压场的时间系数与澳高指数相关达到 0.98, 表明 SVD1 气压场的时间系数具有非常好的表示澳高年际变化能力。注意到, 以往用观测资料研究澳高与中国降水联系时, 并不考虑 ENSO 所带来的干扰作用。文中对滤除 ENSO 干扰时澳高对中国东部夏季降水的可能影响作了分析, 得到以下结论:

(1) 澳高对中国降水年际变化确有影响。受影响的主要区域在江南地区。当澳高增强时, 降水偏

多; 当澳高减弱时, 降水偏少。

(2) 影响的途径: ①澳高增强可引起向热带西太平洋传播的波列, 澳高通过加强赤道西风及西太平洋 ITCZ, 并进而通过类似 P-J 波列的方式影响到中国东部地区, 造成西太平洋副高偏南、偏西, 利于中国降水异常偏多; ②105°E 处越赤道气流显著加强, 并进入南海, 加强了热带季风, 并进而提供充足的水汽源; ③印度尼西亚地区热带辐合带海区海温异常偏冷, 使得低层风场异常辐散, 激发西太平洋异常反气旋环流, 同时中国江南地区异常辐合, 引起大气异常上升运动。

(3) 有无 ENSO 影响时, 在 30°N 以南地区, 澳

高影响所产生的环流结构异常改变不大,但程度存在差异,而显著的改变则出现在北方地区和对流层中层及以上。滤除 ENSO 信号后,发现澳高对中国南方夏季降水的影响更加明显。

此外,南素兰等(Nan, et al, 2003; 南素兰等, 2005)利用统计方法对春季(4—5月)南半球环状模与夏季中国降水(6—8月)的关系作了分析,发现春季南半球环状模指数与夏季长江中下游降水之间存在显著的正相关,并进而分析了春夏季印度洋、南海海温异常在春季南半球环状模与夏季长江中下游降水关系中的作用。高辉等(2003)和范可等(2006)就南极涛动的年际变化对东亚气候的影响也做了较为详细的研究,薛峰等(2005)的研究也表明南极涛动是影响东亚夏季风年际变化的强信号,南极涛动偏强时,马高和澳高亦随之加强。可见,南半球环状模是中国夏季降水的一个影响因子,限于篇幅,本文只对 ENSO 信号进行了滤除,如何处理其他信号则有待进一步研究。

致谢:感谢南京信息工程大学大气科学资料服务中心提供 NCEP/NCAR 全球再分析 1958—2006 年月平均风场资料、气压场资料和海温资料等资料服务,国家气候中心(NMC)提供 1958—2006 年中国东部地区 107 站月平均降水量资料;Nino3 指数取自 NOAA-CIRES Climate Prediction Center(<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>)。

参考文献

- 陈烈庭,吴仁广. 1998. 太平洋各区海温异常对中国东部夏季雨带类型的共同影响. 大气科学, 22(5): 718-726
- 陈隆勋,张博,张瑛. 2006. 东亚季风研究进展. 应用气象学报, 17(6): 711-724
- 范可,王会军. 2006. 南极涛动的年际变化及其对东亚冬春季气候的影响. 中国科学 D 辑 地球科学, 36(4): 385-391
- 高辉,薛峰,王会军. 2003. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响及预报意义. 科学通报, 48(Sup2): 87-92
- 高辉,王永光. 2007. ENSO 对中国夏季降水可预测性变化的研究. 气象学报, 65(1): 131-137
- 管兆勇,林春育. 1989. 梅雨异常年的东半球中低纬环流特征. 气象科学, 9(1): 80-85
- 何金海,李俊,李永平. 1991. 澳大利亚冷空气活动影响东亚夏季风的过程—数值实验. 气象学报, 49(2): 162-169
- 黄士松,汤明敏. 1987. 论东亚夏季风体系的结构. 气象科学, (3): 1-13
- 林丽珊,谢玲娟. 1991. 1982 年夏季印槽和澳大利亚冷高压的中期振荡及其与广东降水的关系. 热带气象, 7(2): 176-181
- 刘永强,丁一汇. 1995. ENSO 事件对我国季节降水和温度的影响. 大气科学, 19(2): 200-208
- 刘宣飞,袁惠珍,管兆勇. 2008. ENSO 对 IOD 与中国夏季降水关系

- 的影响. 热带气象学, 24(5): 502-506
- 南素兰,李建平. 2005. 春季南半球环状模与长江中下游夏季降水的关系 I. 基本事实. 气象学报, 63(6): 837-846
- 南素兰,李建平. 2005. 春季南半球环状模与长江中下游夏季降水的关系 II. 印度洋、南海海温的“海洋桥”作用. 气象学报, 63(6): 847-856
- 施能,朱乾根. 1995. 南半球澳大利亚、马斯克林高压气候特征及其对我国东部夏季降水的影响. 气象科学, 15(2): 20-27
- 施宁,施丹平,严明良. 2001. 夏季越赤道气流对南海季风及华东旱涝的影响. 热带气象学报, 17(4): 405-414
- 陶诗言,徐淑英,郭其蕴. 1962. 夏季东亚热带和副热带地区经向和纬向环流型的特征. 气象学报, 32(2): 91-103
- 滕代高,刘宣飞. 2005. 澳大利亚高压的年际变化及其对应的亚澳季风. 南京气象学院学报, 28(1): 86-92
- 徐建军,朱乾根. 1999. ENSO 及其年代际异常对全球及亚洲季风降水影响的数值研究. 气象学报, 57(3): 301-315
- 徐建军,朱乾根,施能. 1997. 近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的关系及其年代际异常. 大气科学, 21(6): 641-647
- 薛峰,王会军,何金海. 2003. 马斯克林高压和澳高的年际变化及其对东亚夏季风降水的影响. 科学通报, 48(3): 287-291
- 薛峰. 2005. 南半球环流变化对东亚夏季风的影响. 气候与环境研究, 10(3): 401-407
- 薛峰,何卷雄. 2007. 外热带大气扰动对 ENSO 的影响. 地球物理学报, 50(5): 1311-1318
- 曾庆存,李建平. 2002. 南北两半球大气的相互作用和季风的本质. 大气科学, 26(4): 433-448
- 张元箴. 1988. 澳大利亚高压与中国北方降水的遥相关. 海洋学报, 10(3): 279-286
- Fan Ke, Wang Huijun. 2006. Interannual variability of Antarctic Oscillation and its influence on East Asian climate during boreal winter and spring. Sci China - D, 49(5): 554-560
- Gill A E. 1980. Some simple solutions for heat induced tropical circulations. Quart J Roy Meteor Soc, 106(5): 447-462
- Kalnay E, Kanamitsu M. 1996. Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Amer Meteor Soc, 77
- Nan S, Li J. 2003. The relationship between summer precipitation in the Yangtze River valley and the boreal spring Southern Hemisphere Annular Mode. Geophys Res Lett, 30(24): 2266, doi: 10.1029/2003GL018381
- Nan S, Li J, Yuan X, et al. 2009. Boreal spring Southern Hemisphere Annular Mode, Indian Ocean seasurface temperature, and East Asian summer monsoon. J Geophys Res, 114: D02103, doi:10.1029/2008JD010045
- Simpson G. 1921. The Southwest monsoon. Quart J Roy Meteor Soc, 47(199): 151-172
- Trenberth K E. 1990. Recent observed interdecadal climate changes in the Northern Hemisphere. Bull Amer Meteor Soc, 71(7): 988-993
- Xue Feng. 2005. Influence of the southern circulation on east Asian summer monsoon. Clim Environ Res, 10(3): 401-407