

中国夏季降水对南印度洋偶极子的响应研究

杨明珠^{1, 2, 3} 丁一汇¹

1 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081

2 中国气象科学研究院, 北京 100081

3 南京信息工程大学大气科学系, 南京 210044

摘 要 分析了春季印度洋海表温度 (SST) 与中国 160 个站夏季降水的关系, 得到: 印度洋全海盆的增温趋势与我国夏季降水的气候线性变化趋势是十分一致的。另外, 热带外南印度洋出现西南印度洋为正 (负)、其东北部出现 (负) 正海温异常的分布模式时, 定义为正 (负) 南印度洋偶极子 PSIOD (NSIOD) 事件。SIOD 事件对中国夏季降水具有重要影响, PSIOD 年, 5 月份中国江南和西南以及长江中下游的降水偏多; 6~8 月份华北、东北区域、长江中游以及华南地区降水增多, 华南与华北之间的区域降水偏少, 即主要为两条雨带的分布。NSIOD 年, 5 月份中国大部降水偏少; 6~8 月中国西南、江南地区以及黄淮地区降水偏多。不同时段 SIOD 所起的作用是不同的, 5 月, SIOD 主要通过改变马斯克林局地环流的变化, 影响印度洋低层越赤道的水汽通量输送; 6~8 月, 通过改变海洋大陆下垫面 SST 热状态, 改变其上空对流强度以及水汽输送方向, 并间接影响西北太平洋副热带高压的强度和南北位置, 进而对中国雨带的分布产生影响。

关键词 印度洋海表温度 中国夏季降水 马斯克林高压 索马里急流 副热带高压

文章编号 1006-9895 (2007) 04-0685-10

中图分类号 P461

文献标识码 A

A Study of the Impact of South Indian Ocean Dipole on the Summer Rainfall in China

YANG Ming-Zhu^{1, 2, 3} and DING Yi-Hui¹

1 Laboratory for Climate Study, China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081

2 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081

3 Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

Abstract The relationship between the Indian Ocean sea surface temperature (SST) in spring and Chinese 160-station rainfalls during summer is investigated by using singular value decomposition (SVD) method. The results show: the first mode of SVD, that is, the most significant mode between Indian Ocean SST (the left field for SVD) and the summer rainfalls (the right field for SVD) is interdecadal effect. That is, the warming trend exhibited in most of the Indian Ocean SST in recent fifty years has important impacts on rainfalls over China and the degree of similarity between right field heterogeneous correlation pattern of the first SVD mode and the climatological trend of the rainfalls over China is very high (reaches 0.765). Besides, the distribution of the significant eigenvalues of the second SVD mode of the Indian Ocean SST in spring in extratropical regions of the Indian Ocean also has notable impacts on the rainfalls over China. The Southwest Indian Ocean (50°S-30°S, 50°E-80°E) is defined as West Pole and the region northeast of West Pole (20°S-10°S, 60°E-100°E) is defined as East Pole. When the area-averaged

收稿日期 2006-01-10 收到, 2006-05-08 收到修改稿

资助项目 “九五”国家攀登 A 项目南海季风试验 SCSMEX, “十五攻关——全球环境变化对策支撑技术研究项目”01 课题“全球气候变化的检测和预测”

作者简介 杨明珠, 女, 1975 年出生, 博士, 主要从事海气相互作用与季风气象学研究。E-mail: yangmzh@cma.gov.cn

SST anomalies are negative (positive) in West Pole and positive (negative) in East Pole, a positive (negative) South Indian Ocean Dipole (SIOD) happens. The composition analysis shows that both the PSIOD (positive SIOD) and NSIOD (negative SIOD) events have important impacts on Chinese rainfalls in late spring (May) and summer (averaged from June to August). In PSIOD years, the rainfalls in Southwest China, the middle and lower reaches of the Yangtze River and its southern flank are intensive in late spring, and the rainfalls over Northeast China, North China, the middle reaches of the Yangtze River and South China are intensive while the rainfalls over the region between North China and Southeast China are subdued in summer. In NSIOD years, the rainfalls over most of China decrease in late spring, and the rainfalls in Southwest China, the south of the lower reaches of the Yangtze River, the Yellow River and the Huaihe River basin increase in summer. The mechanism influencing the rainfalls over China in spring and summer is rather different during SIOD years. In late spring, the strengthened (weakened) Mascarene high can intensify (weaken) cross-equatorial flow off Somali coast in the lower troposphere, that is, Somali jets, and then leads to the total water vapor transport from the Indian Ocean to South and Southeast Asia increasing (decreasing) during PSIOD (NSIOD) years. The thermal states of the maritime continent are different in the opposite phases of SIOD in summer. During PSIOD (NSIOD) years, the SST anomalies near the maritime continent are generally positive (negative). The strengthening (weakening) convective activity induced by positive (negative) SST anomalies makes the water vapor transport converge (diverge) over the maritime continent, and then increases (decreases) the northward total water vapor transport to China. Moreover, the intensity of the western Pacific subtropical high would strengthen (weaken) during PSIOD (NSIOD) years because of the strengthening (weakening) convection over the maritime continent, which makes its position shift northward (southward) and then induces the rainbands over China to shift northward (southward).

Key words the Indian Ocean SST, summer rainfalls over China, Mascarene high, Somali jets, the western Pacific subtropical high

1 引言

印度洋所处的地理位置十分重要,是 Walker 环流、横向季风环流和侧向季风辐散风环流的交汇地^[1]。影响中国夏季降水的系统异常复杂,尽管不完全由季风引起,但季风环流对中国夏季降水的影响是非常重要的。总体而言,亚洲夏季季风分为印度季风和东亚季风两大支,其中印度季风的大部分系统的直接下垫面就是印度洋。作为其上游,印度洋的作用应该是不可忽视的,张人禾^[2]的研究表明,印度季风水汽输送对东亚夏季降水具有重要影响。因此,作为中国夏季降水重要的能量和水汽来源之一,研究印度洋地区 SST 变化及其与季风环流的变化对东亚夏季降水的预报是具有重要意义的。

前期工作^[3]在分析全印度降水与全球 SST 相关时候,发现前期春季在南印度洋热带外海域具有一对稳定的 SST 正负相关关键区,由此定义了南印度洋偶极子 (SIOD),SIOD 通过热力强迫改变局地环流,使得马斯克林高压的强度发生变化,改变索马里越赤道气流的强度,从而使印度季风环流发生变化,进而对印度夏季风降水发生影响。Saji

等^[4]和 Webster 等^[5]提出分布于热带的印度洋偶极子 (IOD) 后,IOD 现象及其影响得到大量的研究,杜振彩等^[6]还研究了单、偶极子之间的转换。本文研究探讨的 SIOD 与 IOD 不同,它主要分布在南印度洋热带外的区域。实际上,Reason^[7]也发现了在副热带/中纬度南印度洋区域具有年际的冷暖事件,并且具有持续性;Behera 等^[8]得出在冬春季,南印度洋热带外海域 SST 异常具有偶极子的分布型,它对南非降水具有显著影响。本文欲在前述工作基础上,研究前期春季印度洋 SST 与中国 160 个站降水夏季之间的关系,并进行物理机制的分析。

2 资料和方法

使用的资料有:美国 NOAA 1854 年 1 月~2003 年 11 月 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ 海温 EXRSST 全球逐月资料,欧洲中期天气预报中心 (ECMWF) 1957 年 9 月~2002 年 8 月的再分析资料,中国气象局国家气候中心整编的 1951 年 1 月~2004 年 10 月中国 160 站逐月降水资料,以及美国 NOAA 1974 年 6 月~2005 年 4 月经过内插处理的向外长波辐射月平均资料 (OLR)。主要采用的方法有:奇异值分解法

(SVD), 相关及其相似分析方法, 线性回归估计、合成方法。此外, 也计算了整层大气积分的纬向和经向水汽输送通量。

3 中国夏季降水与印度洋海温的关系

首先, 我们讨论春季 (3~5 月) 季平均印度洋 SST 与同年夏季 (6~8 月) 季平均中国降水的 SVD 分析结果 (图 1)。SVD 第 1 模态的协方差贡献为 41.4%, 其时间系数的相关为 0.68。由图 1b 看到, 中国夏季降水的异性相关分布为: 在河套以西的华北大部、东北南部、华南东部和西南西部为

负相关区, 江淮流域和东北北部、西北为正相关区。对应印度洋 SST 异性相关场为: 整个印度洋几乎都为显著正相关 (图 1a), 其时间系数 (图 1c) 具有明显的上升趋势。我们对中国夏季季平均降水每个站做了线性趋势分析 (图略), 计算得到中国降水的线性变化趋势与第 1 模态的异性相关场分布两场的场相似度^[9]为 0.765, 表明印度洋 SST 升温趋势对中国降水的变化趋势具有重要影响。但其中的影响机制仍有待于进一步的研究。

第 2 模态的方差为 17.4%, 左右场时间系数的相关达到 0.67。印度洋 SST 的异性相关分布主要

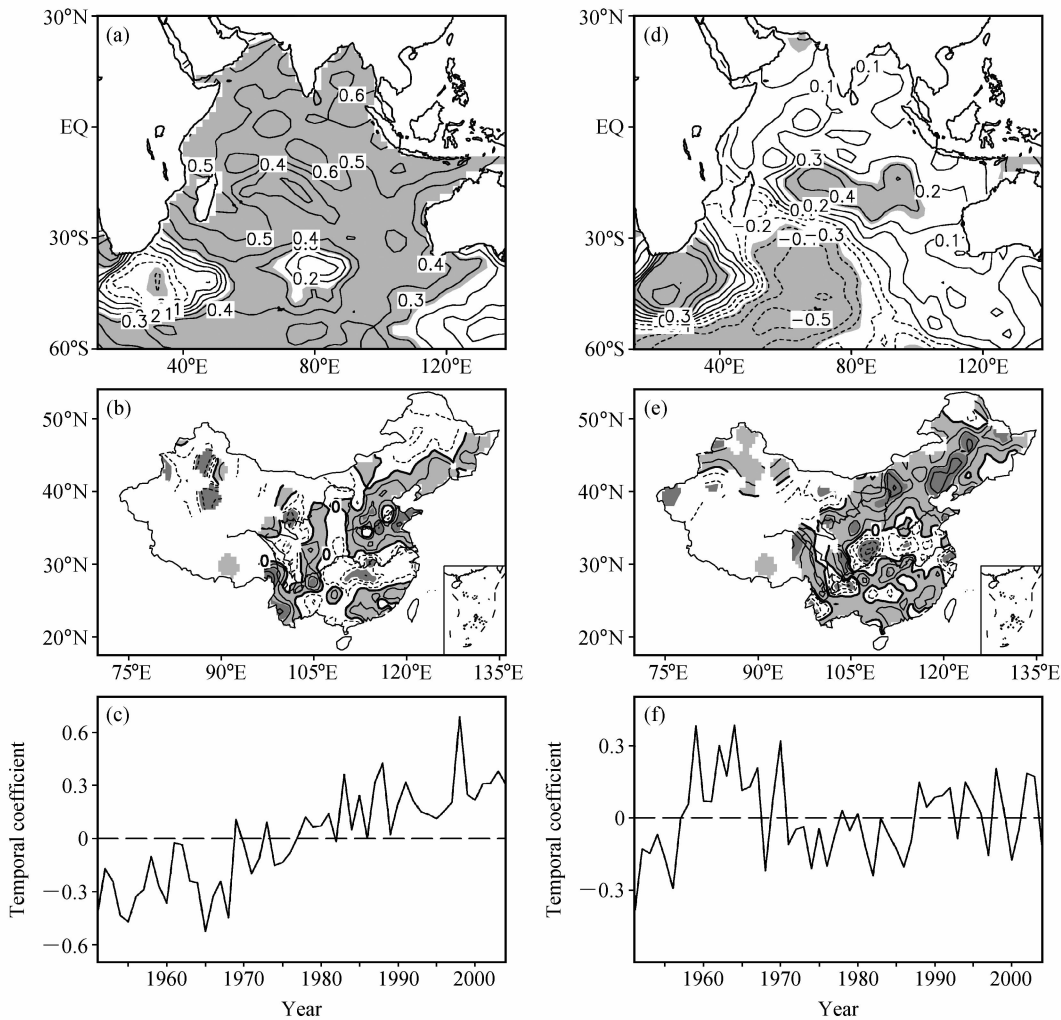


图 1 印度洋春季 SST (a, d) 与中国 160 站夏季降水 (b, e) SVD 分析的异性相关系数分布及左场时间系数 (c, f): (a~c) 第 1 模态; (d~f) 第 2 模态。(a, d) 阴影代表超过 0.05 显著性检验的区域; (b, e) 浅阴影代表正相关区域, 深阴影代表超过 0.05 显著性检验的区域, 等值线间隔为 0.1; 实线均代表正值, 虚线均代表负值, 下同

Fig. 1 The heterogeneous correlation patterns for SVD mode of the Indian Ocean spring SSTs (a, d), 160-station summer rainfalls in China (b, e) and its temporal coefficients (c, f): (a~c) The first mode; (d~f) the second mode. The shading indicates significance level passes 0.05 in (a) and (d); the light shading denotes positive correlation, dark shading denotes significance level passes 0.05, the interval of the contour is 10% in (b) and (e); the solid (dashed) line denotes positive (negative) value, the same below

特征为：西南印度洋为大片负相关分布，其东侧、东北侧为正相关分布，与文献[3]的结果十分相似。中国夏季降水的相关分布：华北、东北大部降水为正异常；长江中游流域降水也偏多；华南地区稍偏多；而长江与黄河之间的地区以及长江下游地区降水为负异常。

由以上分析可知，除了整个海盆年代际升温趋势对中国降水具有显著的影响之外，春季热带外南印度洋 SST 的变化对夏季中国降水具有重要影响。前期春季 SST 的变化与我国降水的关系对中国汛期旱涝的预报具有重要的指导意义。本文主要分析印度洋 SST 第 2 模态的分布是如何影响中国夏季降水的，第 1 模态的年代际影响将另文分析。

选取印度洋中的正负高相关区，我们定义南印度洋偶极子的西极子范围为 ($50^{\circ}\text{S}\sim 30^{\circ}\text{S}$, $50^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{E}$)，东极子范围为 ($20^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{S}$, $60^{\circ}\text{E}\sim 100^{\circ}\text{E}$)。当西极子 SST 异常为负(正)、东极子 SST 异常为正(负)时，为正(负)的南印度洋偶极子，简称 PSIOD (NSIOD)，名称与文献[3]中的一致，但由于区域和选择方式上有所不同，因而选取的年份也有一些差异。对 PSIOD 年 (1958、1959、1962、1964、1970、1988、1990、1995、1996 年) 和 NSIOD 年 (1961、1968、1971、1974、1976、1979、1981、1982、1984、1986、1993 和 2000 年) 做 SST 合成 (图 2)，可以看到，无论南印度洋 SST 处于 PSIOD 位相年还是 NSIOD 位相年，其前期冬季都已经出现相应的 SST 异常分布型，都是在春季发展最盛，夏季减弱维持，东极子中心有所减弱，并向东北海洋大陆方向移动，秋季仍然维持其 SST 异常分布型，但东极子 SST 异常减弱和东北移的趋势与夏季相比更加显著，冬季，偶极子分布型基本瓦解 (图略)。可以看到，春季偶极子是非常显著的，我们选取的区域大部分通过 0.05 的方差显著性检验。

图 3a 为西极子和东极子 SST 异常序列，具有一 0.101 的弱负相关关系，两极子都有线性增温趋势，尤其西极子的线性增温趋势十分显著。将线性趋势去除后 (图 3b)，两者的变化往往是反相的，其相关系数为一 0.495，超过 0.001 的显著性检验。

4 南印度洋 SIOD 事件对中国夏季降水的影响分析

对中国春末 (5 月) 及其夏季 (6~8 月季平均)

PSIOD 年和 NSIOD 年的降水作距平百分率合成分析 (图 4)。SIOD 事件对 5 月份降水具有显著的影响，PSIOD 年云南大部降水显著增加，江南地区和长江中下游流域降水也显著偏多，但华南降水偏少；NSIOD 年江南大部降水偏少，华南在广东西南部局部地区稍微偏多。夏季，对于 PSIOD 年的合成，华北降水显著偏多，东北大部、长江中游、华南大部、西南西部降水也是偏多的，而长江中下游地区降水偏少，与降水的 SVD 第 2 异性相关分布相似；NSIOD 年的合成尽管并不正好与 PSIOD 年的降水分布相反，但存在显著差异，主要差异在华北、东北、华南东部以及长江中游地区，即华北、东北大部及华南东部、长江中游偏少，而长江中下游与黄河下游之间的区域降水偏多。注意到，两组合成在长江下游地区的降水都是偏少的。

为了弄清 SIOD 对主要环流系统的影响机制及如何对我国夏季降水造成影响的，下面对 SIOD 事件的两个位相对一些主要因子进行合成分析。

4.1 南半球局地环流的影响

根据多年气候平均的海平面气压场和黄土松等^[10]的工作，马斯克林高压和澳大利亚高压的纬度活动范围大致都在 $35^{\circ}\text{S}\sim 25^{\circ}\text{S}$ 的范围，对 PSIOD 年与 NSIOD 年夏季地面气压在该纬度范围内平均的合成与多年平均之差值进行分析比较 (图 5)。PSIOD 年， 80°E 以东至 160°E 的区域几乎都为负异常； 80°E 以西，在 4、5 月为显著正异常，夏季接近常年。表明 PSIOD 年马斯克林中西部在 4、5 月偏强，而澳大利亚高压和马斯克林高压东部在 3 月以后基本都是偏弱的。NSIOD 年， 80°E 以东至 150°E 的区域在 5~7 月都强于常年，8 月有所减弱； 80°E 以东，从 4 月开始基本都弱于常年。表明 NSIOD 年澳大利亚高压在 5~7 月强于常年，马斯克林高压春夏季弱于常年，尤其是春末初夏。

4.2 越赤道气流的分析

从 PSIOD 年和 NSIOD 年 850 hPa $10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 平均经向风 1~12 月合成与多年平均之差值的时间-经向剖面图看到，PSIOD 年 (图 6a)，索马里越赤道气流在 4、5 月份显著偏强，之后这种显著偏强趋势逐渐减弱，到 8 月份接近于多年平均；在 $80^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$ 在 6 月之前一直都为正异常，到 7、8 月份该正的经向风异常逐渐向西移，到 9 月份与异常的索马里越赤道气流合并。 120°E 以东的越赤道

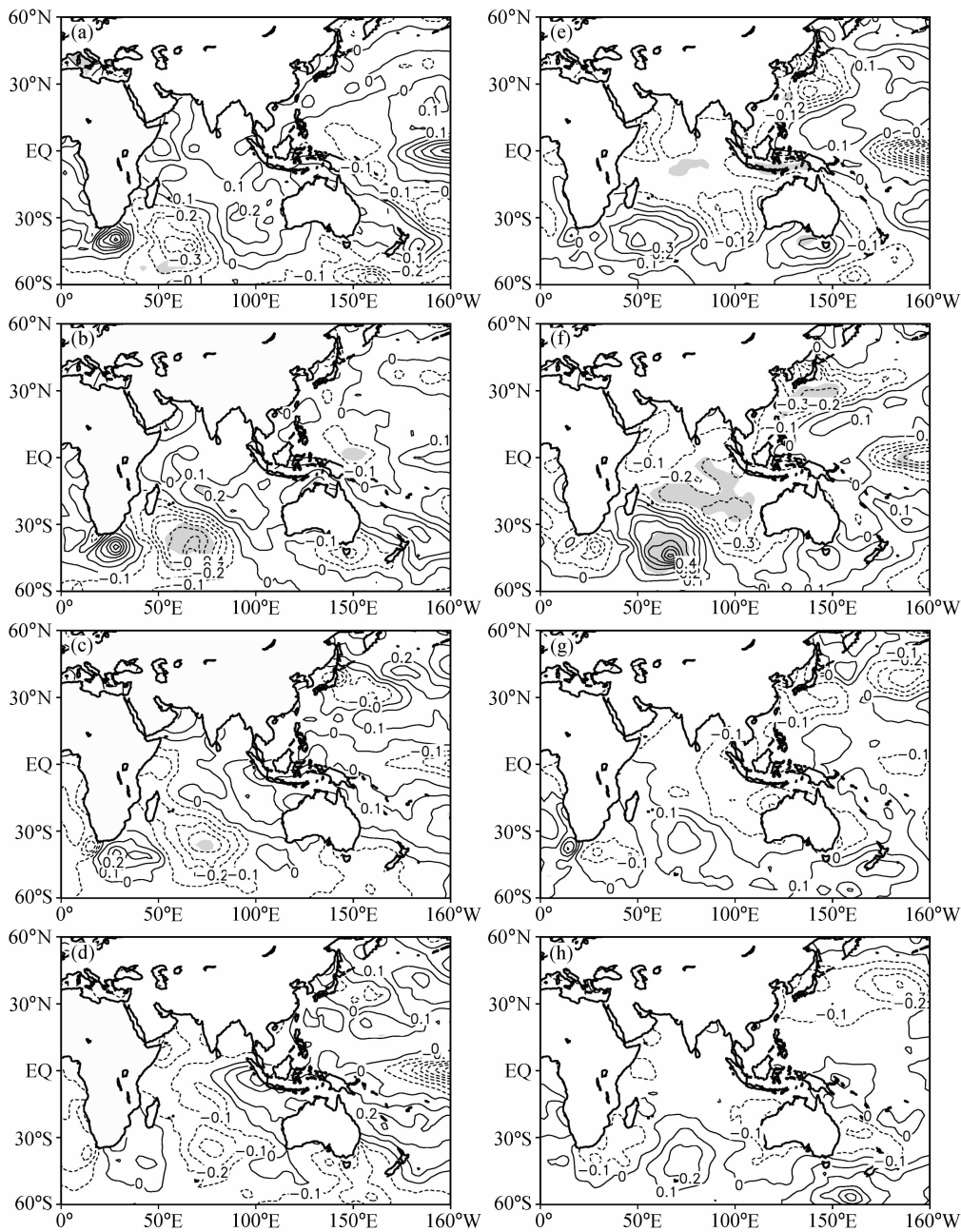


图 2 PSIOD (a~d) 和 NSIOD (e~h) 全年 SST (单位: $^{\circ}\text{C}$) 与多年 (1957~2002 年) 平均之差值的合成: (a, e) 前冬; (b, f) 春季; (c, g) 夏季; (d, h) 秋季。阴影为 t 检验通过 0.05 显著性的区域

Fig. 2 The composite distributions of SST deviation ($^{\circ}\text{C}$) of PSIOD (a~d) and NSIOD (e~h) years to long term mean (averaged from 1957 to 2002, the same period underneath without special explanation): (a, e) Prior winter; (b, f) spring; (c, g) summer; (d, h) autumn. The shading indicates t -test significance level passes 0.05

气流明显偏弱。NSIOD 年 (图 6b), 在索马里沿岸的越赤道气流在整个夏半年都偏弱, 尤其是在初夏异常偏弱; 但其东部, 在 $60^{\circ}\text{E}\sim 70^{\circ}\text{E}$ 有正的经向风异常; $110^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$ 在 3 月份以后都有正的经向风异常; 8 月份在 $85^{\circ}\text{E}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 、 $110^{\circ}\text{E}\sim 135^{\circ}\text{E}$ 、 $140^{\circ}\text{E}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 有正的异常。

4.3 北太平洋副热带高压的分析

图 7 为 SIOD 两不同位相 $100^{\circ}\text{E}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 纬向平均 500 hPa 位势高度场合成与多年平均之差值的纬向-时间剖面图。在 PSIOD 年, 西北太平洋副热带高压 (简称副高) 与同期相比, 整个夏季副高偏强, 尤其 7、8 月份偏强偏北; NSIOD 年反之, 从 5

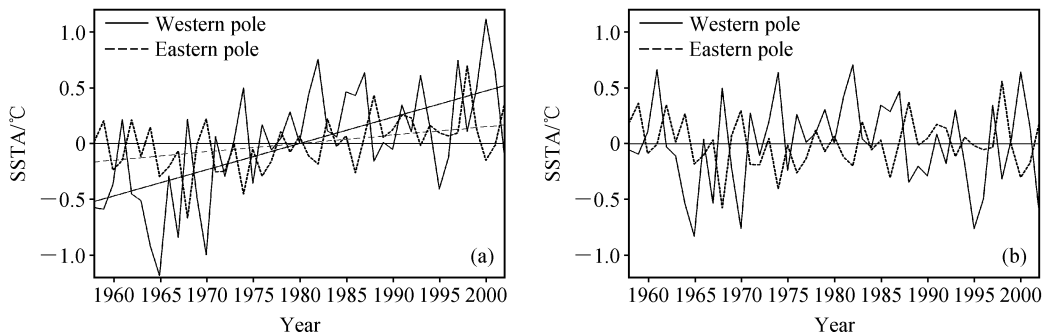


图 3 (a) 西极子区域平均 SSTA 及其线性趋势与东极子区域平均 SSTA 及其线性趋势时间序列; (b) 去除线性趋势之后的西极子和东极子 SSTA 时间序列

Fig. 3 (a) Regional averaged SSTA series of western pole and its linear trend, and that of eastern pole and its linear trend; (b) detrended SSTA series of western pole and eastern pole

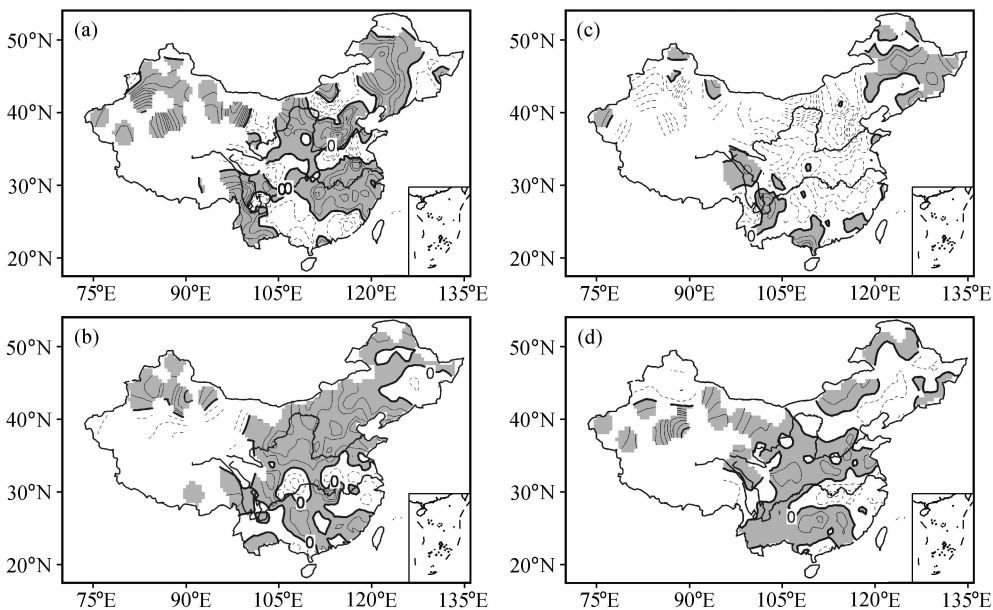


图 4 PSIOD 年 (a、b) 和 NSIOD 年 (c、d) 夏季季平均与多年平均之差的降水百分率合成: (a、c) 5 月; (b、d) 6~8 月。阴影代表正异常; 等值线间隔为 10%

Fig. 4 The composite distributions of precipitation anomalies percentage for PSIOD (a, b) and NSIOD (c, d) years; (a, c) May; (b, d) Jun - Aug. The shading denotes positive anomalies; the interval of contour is 10%

月到 8 月整个东亚、西北太平洋上空都是负的位势高度场异常。

4.4 水汽通量输送的分析

图 8 为 SIOD 不同位相从地面到 200 hPa 整层积分的水汽输送通量合成与多年平均之差值。5 月, SIOD 两不同位相年主要差异在 80°E 以西, 整层水汽通量越赤道水汽输送在 PSIOD 年非常显著地强于常年, 向东北一直伸展到我国东部, 并到达 30°N。NSIOD 年显著弱于常年, 此外, NSIOD 年在 110°E 以东的洋面上有异常气旋性输送, 从东北

方进入我国南部后从南海返回太平洋。6 月, PSIOD 年在赤道以北的印度洋有异常的气旋性水汽输送, 其东侧与西太平洋反气旋异常输送南支的向西水汽输送异常在孟加拉湾和中南半岛汇合后一起进入我国南部和东部。NSIOD 年, 北热带印度洋上是气旋性水汽输送异常, 东面与太平洋气旋性水汽输送的西南面汇合, 从南海返回太平洋。我国东部有来自太平洋的偏东水汽输送。7 月份与 6 月份接近, 但 PSIOD 年, 孟加拉湾和中南半岛汇合的整层水汽异常能输送到我国更北的区域 (45°N);

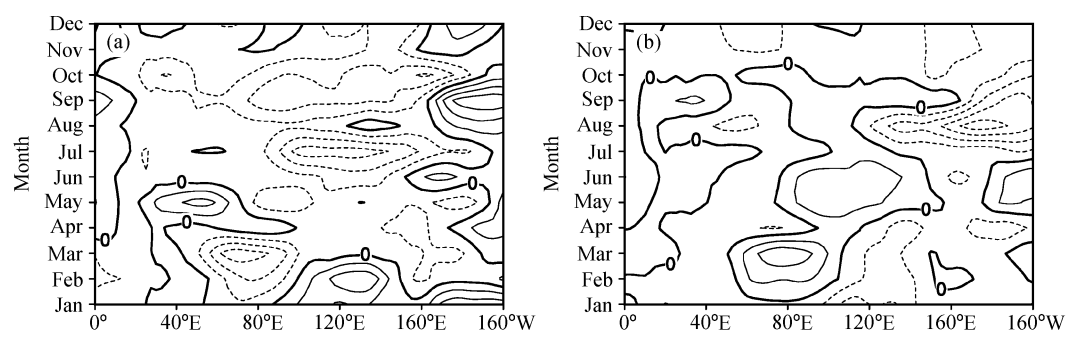


图 5 25°S~35°S 地面气压 PSIOD 年 (a) 和 NSIOD 年 (b) 合成与多年平均之差的时间-经度剖面图。等值线间隔为 50 hPa

Fig. 5 The composite time - longitude profiles of surface air pressure deviation for PSIOD (a) and NSIOD (b) years to long-term mean averaged from 25°S to 35°S. The interval of contour is 50 hPa

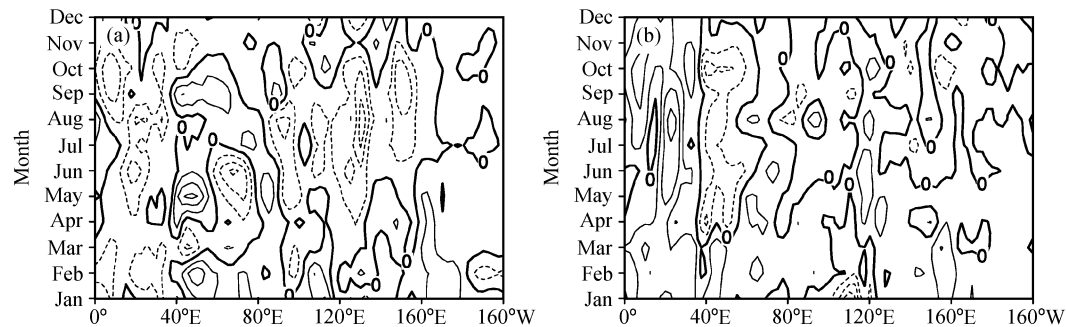


图 6 850 hPa 等压面 10°S~10°N 经向风的 PSIOD 年 (a) 和 NSIOD (b) 合成与多年平均之差的时间-纬向剖面图。等值线间隔为 0.2 m/s

Fig. 6 The composite time-longitude profiles of 850 hPa meridional flow deviation for PSIOD (a) and NSIOD (b) years to long-term mean averaged from 10°S to 10°N. The interval of contour is 0.2 m/s

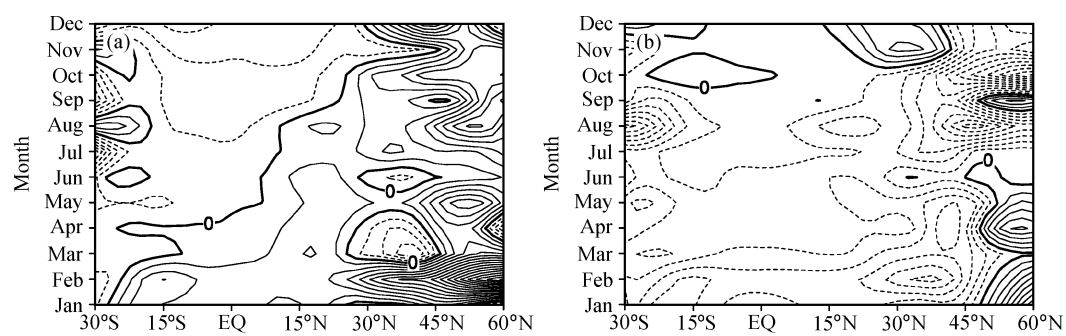


图 7 500 hPa 等压面 100°E~140°E 纬向平均位势高度场 PSIOD 年 (a) 和 NSIOD 年 (b) 合成与多年平均之差值的经向-时间剖面图。等值线间隔为 20 gpm

Fig. 7 The composite time-latitude profiles of 500 hPa geopotential height deviation for PSIOD years (a) and NSIOD years (b) to long-term mean averaged from 100°E to 140°E. The interval of contour is 20 gpm

NSIOD 年, 印度洋上的反气旋性异常输送范围缩小, 仅存于孟加拉湾北部, 在赤道印度洋出现向东的异常输送, 太平洋的气旋性异常北移, 我国的异常水汽来源仍然主要来自西北太平洋。8 月, 10°S~15°N 之间, PSIOD 年 80°E 以东自太平洋来的向西输送异常, 在孟加拉湾北部和我国西南部转向为

西南异常, 一直伸展到我国东北; 而 NSIOD 年 80°E 以东为强的向东异常输送, 在 15°N 以北的西北太平洋仍然有气旋性异常输送, 从东面进入我国。

总体而言, PSIOD 年, 5~7 月印度洋强于常年的整层水汽输送, 对我国, 尤其是北方的水汽输送

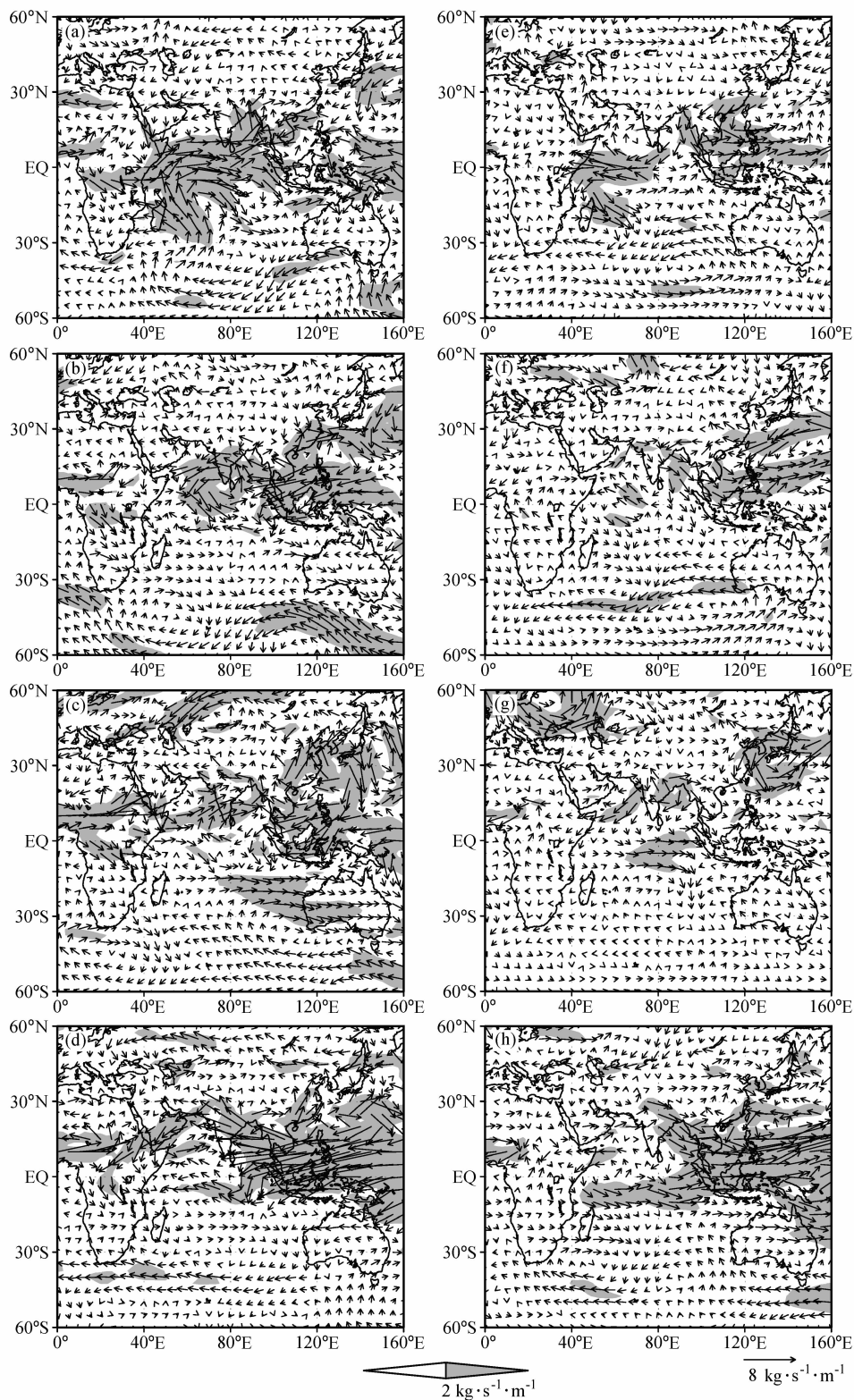


图 8 PSIOD 年 (a~d) 和 NSIOD 年 (e~h) 整层积分的水汽输送矢量合成与多年平均之差值: (a, e) 5 月; (b, f) 6 月; (c, g) 7 月; (d, h) 8 月。阴影为水汽输送矢量差值之模 $\geq 2.0 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 的区域

Fig. 8 The composite distributions of vertically integrated water vapor flux deviation in the entire troposphere for PSIOD years (a-d) and NSIOD years (e-h) to long-term mean; (a, e) May; (b, f) Jun; (c, g) Jul; (d, h) Aug. The shaded area denotes the mode of the water vapor flux deviation $\geq 2.0 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

是重要的;而8月的异常水汽输送主要来自太平洋。NSIOD年,5月印度洋的水汽输送小于常年,5~8月,影响我国的水汽通量异常主要来自西北太平洋向东的输送。

4.5 OLR 特征分析

图9是南印度洋 SST 异常分布两个不同位相年夏季季平均 OLR 合成与多年平均之差值分布。PSIOD 年,在热带中东印度洋、印度、海洋大陆、中印半岛大部到我国华南、华东以及南海北部为 OLR 的负异常,华北、东北地区也为负异常,表明这些地区的对流活动是增强的。NSIOD 年,在热带地区 OLR 的异常分布形势与 PSIOD 年相反,表明热带印度洋、印度、海洋大陆、中印半岛、南海到我国的南部,对流是受到抑制的。SIOD 两不同位相对 5 月份的对流影响差异不大(图略),除了 $5^{\circ}\text{N}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 在 NSIOD 位相有一条弱的正 OLR 异常区不同于 PSIOD 位相外,OLR 合成与多年平均之差值在北半球的亚洲区域对于 SIOD 不同位相是相似的。因而,PSIOD (NSIOD) 年对热对流的影响主要发生在夏季。

图2中,从前冬到秋季,PSIOD (NSIOD) 年,热带东印度洋到菲律宾的海洋大陆 SST 为正(负)异常,SST 热状态的异常分布在夏季将使得其上空大气对流增强(减弱)^[10]。

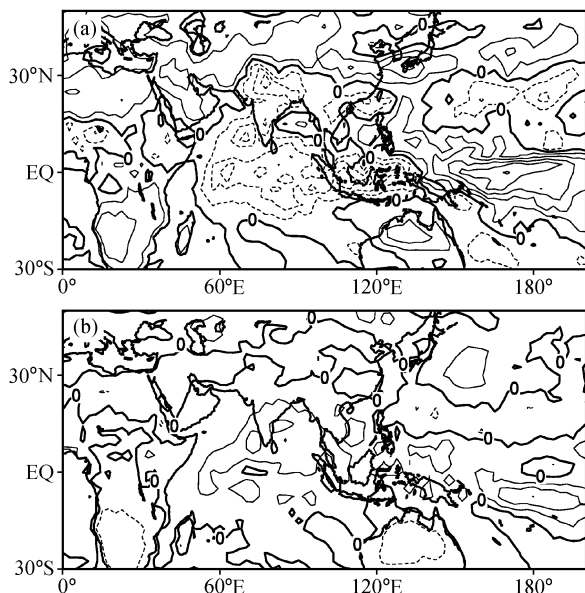


图9 PSIOD 年(a)和 NSIOD 年(b) 6~8 月夏季季平均 OLR 合成与同期 1979~1995 多年平均之差值。等值线间隔: 3 W/m^2

Fig. 9 The composite distributions of OLR deviation for PSIOD (a) and NSIOD (b) years to long term mean (from 1979 to 1995) in summer. The interval of contour is 3 W/m^2

5 结论与讨论分析

本文对春季印度洋海表温度 (SST) 与我国 160 个站夏季降水的关系及其影响机制进行了分析。首先采用 SVD 方法进行场相关分析,第 1 模态的异性相关系数分布表明,印度洋 SST 整个海盆增温趋势对中国夏季降水的气候线性变化趋势具有显著相关,但其中的影响机制仍然有待于进一步研究;第 2 模态异性相关系数的分布及其时间相关系数表明,热带外南印度洋 SST 的异常分布对中国夏季降水具有显著影响,这是本文讨论的重点。

根据 SVD 第 2 模态印度洋异性相关系数的分布定义了 SIOD 系数,并对正 SIOD (PSIOD)、负 SIOD (NSIOD) 对中国夏季降水异常的影响及其机制进行分析。

PSIOD (NSIOD) 在 5 月及其之前的影响主要通过下垫面 SST 异常的强迫引起局地环流的改变,增强(减弱)马斯克林高压,从而使越赤道气流增强(减弱),进入我国的西南水汽通量增强(减弱),使得西南、江南和长江中下游地区降水增多(减少)。6 月及其之后,海洋大陆在 PSIOD (NSIOD) 年有暖(冷) SST 异常,可以持续到秋季。海洋大陆上空暖(冷) SST 异常可以增强(减弱)对流活动,并且使得副高强度增强(减弱),来自太平洋的赤道东风水汽输送和印度洋的赤道西风水汽输送到这里汇合(疏散),并向东北进入我国,进而影响中国降水,主要使北方降水增多(减少)。符淙斌等^[11]和黄荣辉等^[12]曾指出,赤道 SST 增暖(降温)时,海洋大陆对流增强,北太平洋副高加强西伸(减弱东撤),脊线偏北(南)。由此可见,SIOD 的影响并不仅仅是局地的,由于暖池区冷、暖 SST 异常也是 SIOD 事件的一部分,可以通过暖池区 SST 影响对流、影响副高活动,进而对中国降水造成影响。对中国降水影响最大的区域是华北地区的降水,PSIOD 年合成可以超过常年的三成 (30%) 以上。

尽管前面的研究表明,PSIOD (NSIOD) 年澳大利亚高压有所减弱(增强),与此相联系,在 100°E 以东的越赤道气流减弱(增强)。何金海等^[13]认为,澳大利亚地区冷空气活动,经向风扰动呈现出由南向北的传播,滕代高等^[14]的研究也表明,澳大利亚高压偏强,使 $100^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流增强,这与 NSIOD 位相年的合成比较一致。但在我们的

分析中, 来自 $100^{\circ}\text{E}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 的经向水汽输送异常并不强, 因此其影响还有待于进一步研究。

目前, 我们得到的初步结论为, 南印度洋 SIOD 事件主要通过三种途径影响中国降水: (1) 通过影响当地马斯克林高压的强度改变越赤道气流的强度, 进而影响印度夏季季风对中国地区的西南水汽输送; (2) 暖 (冷) SST 异常在热带中东印度洋和海洋大陆可以维持到秋季, 影响当地的对流以及来自印度洋和太平洋水汽输送通道上的量值和方向, 从而改变进入东亚的水汽输送; (3) 改变西北太平洋副热带高压的位置和强度, 对我国夏季降水造成影响。第 1 种途径主要影响春末中国降水, PSIOD 年中国江南和西南以及长江中下游的降水偏多, NSIOD 年江南大部降水偏少; 第 2、3 种途径主要在夏季对中国降水造成影响, PSIOD 年黄河及其以北、以东区域的降水明显偏多, 华南地区也是降水增多的区域, 中间降水偏少, NSIOD 年在中国西南、江南地区以及黄淮地区降水偏多。

参考文献 (References)

- [1] Webster P J, Magaña V O, Palmer T N, et al. Monsoons: Processes, predictability, and the prospects for prediction. *J. Geophys. Res.*, 1998, **29** (6): 14451~14510
- [2] Zhang Renhe. Relations of water vapor transport from Indian monsoon with that over East Asia and the summer rainfall in China. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18** (5): 1006~1017
- [3] 杨明珠, 丁一汇. 印度洋海表温度的变化及其对印度夏季季风降水影响的诊断研究. *海洋学报*, 2006, **28** (4): 9~16
Yang Mingzhu, Ding Yihui. Diagnostic study of the variation of Indian Ocean sea surface temperature and its impact on Indian summer monsoon rainfall. *Acta Oceanologica Sinica* (in Chinese), 2006, **28** (4): 9~16
- [4] Saji N H, Goswami B N, Vinayachandran P N, et al. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. *Nature*, 1999, **401** (23): 360~363
- [5] Webster P J, Andrew M M, Johannes L P, et al. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-98. *Nature*, 1999, **401** (23): 356~360
- [6] 杜振彩, 谭言科, 张人禾, 等. 热带印度洋海温异常单、偶极模态及其相互作用. *大气科学*, 2006, **30** (1): 11~24
Du Zhencai, Tan Yanke, Zhang Renhe, et al. Two modes of sea surface temperature anomalies in the tropical Indian Ocean: Monopole, dipole and their interactions. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (1): 11~24
- [7] Reason C J C. Interannual warm and cold events in the subtropical/mid-latitude South Indian Ocean region. *Geophys. Res. Lett.*, 1999, **26** (2): 215~218
- [8] Behera S K, Yamagata T. Subtropical SST dipole events in the southern Indian Ocean. *Geophys. Res. Lett.*, 2001, **28** (2): 327~330
- [9] 曾庆存, 张东凌, 张铭, 等. 大气环流的季节突变与季风的建立 I. 基本理论方法和气候场分析. *气候与环境研究*, 2005, **10** (3): 285~302
Zeng Qingcun, Zhang Dongling, Zhang Ming, et al. The abrupt seasonal transitions in the atmospheric general circulation and the onset of monsoons. Part I. Basic theoretical method and its application to the analysis of climatological mean observations. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (3): 285~302
- [10] 黄士松, 汤明敏. 西北太平洋和南印度洋上环流系统的中级振荡与遥相关. *气象科学*, 1988, **8**: 1~13
Huang Shisong, Tang Mingmin. Medium-rang oscillation of the atmospheric circulation systems over the northwestern Pacific and southern Indian Oceans and their teleconnection. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1988, **8**: 1~13
- [11] 符淙斌, 孙翠霞, 张金枝. 赤道海温异常与大气的垂直环流圈. *大气科学*, 1979, **3** (1): 50~57
Fu Congbin, Sun Cuixia, Zhang Jinzhi. The atmospheric vertical circulation during anomalous periods of sea surface temperature over equatorial Pacific Ocean. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1979, **3** (1): 50~57
- [12] 黄荣辉, 孙凤英. 热带西太平洋暖池的热状况及其上空的对流活动对东亚夏季异常的影响. *大气科学*, 1994, **18** (2): 141~151
Huang Ronghui, Sun Fengying. Impact of the thermal state and the convective activities in the tropical western warm pool on the summer. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1994, **18** (2): 141~151
- [13] 何金海, 李俊, 李永平. 澳大利亚冷空气活动影响东亚夏季风的过程——数值试验. *气象学报*, 1991, **49** (2): 162~169
He Jinhai, Li Jun, Li Yongping. Numerical experiment with processes for effect of Australian cold air activity on East-Asian summer monsoon. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1991, **49** (2): 162~169
- [14] 滕代高, 刘宣飞, 张增信, 等. 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*, 2005, **28**: 86~92
Teng Daigao, Liu Xuanfei, Zhang Zengxin, et al. Interannual variation of Australian high and its effect on Asia-Australia monsoon circulation system in summer. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 2005, **28**: 86~92