

冯娟, 李建平. 2009. 南海夏季风变化及其与全球大气和海温的关系 [J]. 大气科学, 33 (3): 568–580. Feng Juan, Li Jianping. 2009. Variation of the South China Sea summer monsoon and its association with the global atmosphere circulation and sea surface temperature [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (3): 568–580.

## 南海夏季风变化及其与全球大气和海温的关系

冯娟<sup>1,2</sup> 李建平<sup>2</sup>

1 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000

2 中国科学院大气物理研究所大气科学和流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

**摘 要** 本文分析了 1948~2006 年南海夏季风的年际变化, 讨论了南海夏季风与全球气象要素场如环流、相对湿度、海表温度 (SST) 等的关系。结果表明: 南海夏季风与全球各物理量之间有较好的大范围统计相关。选出了 10 个强南海夏季风年, 8 个弱南海夏季风年, 利用合成分析研究了季风强、弱年的环流和 SST 特征及其差异, 结果表明南海夏季风强弱年各特征量之间存在显著差异。尤其表现在 SST 上, 强弱季风年不仅在夏季东印度洋-西太平洋区域有明显差异, 并且前期春季此区域的 SST 与南海夏季风有持续的显著负相关, 可以作为南海夏季风强度变化的一个预报因子。

**关键词** 南海夏季风 强季风年 弱季风年 显著相关 海表温度 季风指数

**文章编号** 1006-9895 (2009) 03-0568-13

**中图分类号** P461

**文献标识码** A

## Variation of the South China Sea Summer Monsoon and Its Association with the Global Atmosphere Circulation and Sea Surface Temperature

FENG Juan<sup>1, 2</sup> and LI Jianping<sup>2</sup>

1 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

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

**Abstract** Based on the normalized monsoon index presented by Li and Zeng (2002), the interannual variation of the South China Sea summer monsoon (SCSSM) during 1948–2006 and its relations with the global atmospheric circulation and sea surface temperature (SST) are studied. The results indicate that there exist significant statistical correlations over large regions between the SCSSM and the global zonal winds, relative humidity and SST, etc. Ten strong SCSSM monsoon years and eight weak SCSSM monsoon years are chosen to identify the differences in atmospheric circulation and SST between the strong and weak SCSSM years. The composite analyses show significant differences in various variables between the strong and weak SCSSM years. Especially in the SST fields, the differences are not only obvious in the Eastern Indian Ocean – the Western Pacific (EIOWP) in summer, but there is also a significant negative correlation between the SCSSM index (SCSSMI) and EIOWP SST in the prior spring which is a substantial relation. The latter could be taken as an indicator of the SCSSM variation.

**Key words** South China Sea summer monsoon, strong monsoon years, weak monsoon years, significant correlation, sea surface temperature, monsoon index

**收稿日期** 2007-12-03, 2008-07-15 收修定稿

**资助项目** 国家重点基础研究发展计划项目 2006CB403600 和国家自然科学基金资助项目 40221503、40523001

**作者简介** 冯娟, 女, 1983 年出生, 博士研究生, 主要从事季风、气候变化方面的研究。E-mail: fengjuan@mail.iap.ac.cn

## 1 引言

季风是大气环流中季节变化最为显著的系统,也是许多研究计划的重要研究内容。这不仅因为季风的活动和异常直接影响许多国家和人民的生产和生活,而且季风的异常还对其他异常天气气候有重要影响。

亚洲季风是全世界最典型且最重要的季风系统。20 世纪 80 年代,我国气象学者的研究指出,亚洲季风由相互联系又有其独立性的南亚季风系统和东亚季风系统组成 (Tao et al., 1988)。而东亚季风又可划分为南海-西太平洋热带季风和中国大陆东部-日本的副热带季风 (Zhu et al., 1986)。南海是连接西太平洋、爪哇海和印度洋的重要纽带,其重要性表现在两个方面,一方面,南海不仅是印度季风和东亚季风连结的媒介,也是亚澳季风相互联系、相互作用的表现 (Murakami et al., 1986); 并且南海也是亚洲夏季风的最早爆发地之一 (陈隆勋等, 2006), 然后才向南亚及东亚地区逐渐推进,南海夏季风的爆发标志着东亚夏季风的来临和中国雨季的开始。另一方面,南海夏季风爆发后,通过遥相关过程影响大范围地区的天气气候。因此,南海夏季风的变化及其影响的研究引起各国学者的高度重视。

20 世纪 90 年代以来,人们对南海夏季风活动更加关注,许多学者从不同的角度和不同的理解,定义了南海季风爆发时间指数及其强度指数 (戴念军等, 2000; 吴尚森等, 2001; 张秀芝等, 2002; 张庆云等, 2003) 并研究了影响南海夏季风爆发早晚的因素 (李崇银等, 2007; 周浩等, 2007; 高士欣等, 2007; 黄安宁等, 2008)。由于对南海季风的切入点、反映季风活动的气象要素的选择不同,结果存在一些差别。一些研究表明,各种有关南海的夏季风指数对同一个夏季,甚至对同一次季风强度的反映不尽相同,有时区别显著。可见,选取一个反映南海夏季风活动各个方面的影响范围、程度以及有关相互作用过程的统一季风指数并非易事。另外,以前的工作大多是针对南海夏季风的爆发早晚及其成因与影响,或者对某次季风爆发过程进行分析,相对来说对南海夏季风强弱年的特征与差异的研究还比较少,并且基本上局限在与大气相关联的物理量的研究,而较少与前期和同期海洋异常相联

系,本文则对此方面进行了分析。

Li et al. (2002, 2003) 和李建平等 (2000, 2005) 以环流季节变动强度或动态环流标准化季节变率作为反映季风年际变化的指标,研究了此南海夏季风指数与夏季全球雨量之间的关系,发现南海夏季风与全球各海区夏季降水和海平面气压异常有较好的大范围统计相关。本文以该指数为出发点,研究南海夏季风的年际变化及其与全球夏季海温、环流以及中国降水之间的关系,并在此基础上利用合成分析讨论强、弱南海夏季风年的差异。

## 2 资料及指数介绍

本文使用的基本资料是 NCEP/NCAR 1948~2006 年月平均再分析资料以及其计算的 1968~1996 年气候月平均风场资料,水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ , 垂直方向上从 1000 hPa 到 10 hPa 共 17 层; 扩展重建的 Reynolds 的 1948~2006 年逐月海表温度资料 (ERSST), 水平分辨率为  $2^\circ \times 2^\circ$ ; 中国气象局气象信息中心资料室提供的中国 160 个测站 1951~2006 年月平均降水资料和德国气象局全球降水气候中心 (Global Precipitation Climatology Centre, GPCC) 1951~2000 年全球陆地格点降水资料,分辨率为  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 。

选用的季风指数如下 (Li et al., 2002, 2003):

$$\delta = \frac{\|\bar{V}_1 - \bar{V}_{m,n}\|}{\|\bar{V}\|} - 2,$$

其中,  $\bar{V}_1$  是 1 月气候平均风矢量,  $\bar{V}$  是 1 月和 7 月气候平均风矢量的平均,  $\bar{V}_{m,n}$  是某年 ( $n$ ) 某月 ( $m$ ) 的月平均风矢量。选取的南海季风区域是 ( $0^\circ \sim 25^\circ\text{N}$ ,  $100^\circ\text{E} \sim 125^\circ\text{E}$ )。由于南海区域的平均海拔高度不到 200 m, 而 925 hPa 对应的高度高出海平面 700~800 m, 925 hPa 可以在很大程度上表征地表风, 并且也减少了局地的地形影响。因此, 本文选取 925 hPa 风场资料计算南海夏季风指数 (简称 SCSSMI), 选用 6~9 月为南海夏季风和各特征量的分析时段。

## 3 南海夏季风指数的年际变化及其与全球环流的相关型

图 1 是南海夏季风指数 SCSSMI 的时间序列, 可以看出在 1955 年前南海夏季风强度明显较强, 之后一直到 1970 年代表现基本正常, 但进入 1980

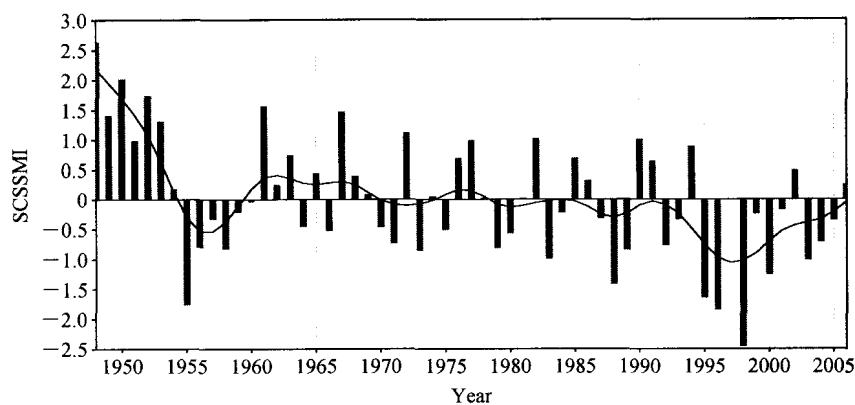


图1 1948~2006年南海夏季风指数SCSSMI的时间序列。实线:9年高斯滤波曲线

Fig. 1 Normalized time series of the South China Sea summer monsoon index (SCSSMI) for 1948–2006. The solid line indicates nine-year Gaussian-type filtered values

年代至今,南海夏季风指数处于一个负位相阶段,特别是最近10年强度达到近50年来的最弱期。利用ERA-40再分析资料得到的结果与之一致。

将南海夏季风指数的标准化时间序列中数值大于1的定义为强季风年,小于-1的定义为弱季风年,对样本的平均值差异进行显著性检验,可以发现夏季风强年与弱年均通过5%的显著性检验。对应得到了10个强季风年,分别为:1948年、1949年、1950年、1952年、1953年、1961年、1967年、1972年、1982年、1990年;8个弱季风年依次是:1955年、1984年、1988年、1995年、1996年、1998年、2000年、2003年。这与之前的很多研究(张勇等,2004;梁建茵等,2004)是吻合的。

为了反映SCSSMI与全球大气要素场之间的关系,图2分别给出了1948~2006年的SCSSMI与夏季平均的850 hPa纬向风、经向风、垂直速度、相对湿度以及500 hPa和200 hPa位势高度的相关分布。对流层低层的纬向风与SCSSMI的相关(图2a)在赤道中东太平洋、南太平洋均为显著负相关,印度半岛、孟加拉湾与南海区域为正相关,即强季风年南海地区的西风加强,中东太平洋的东风加强,南太平洋的西风减弱。经向风的相关分布(图2b)比较零散,在南海西南部为正相关而东北部为负相关,孟加拉湾为正相关,即强季风年南海区域的经向风变化趋势不一致。从垂直速度的相关分析(图2c)可以发现,南海区域表现为正相关,中东太平洋沿着赤道分布着两个几乎对称的反相关区域。相对湿度场的相关分布(图2d)在850 hPa

上主要表现为正,有6个主要显著相关区域,大致以赤道为界分布,分别位于南印度洋、北非、赤道西太平洋南北两侧及赤道大西洋两侧,同时在中东太平洋沿着赤道分布着两个对称的正负相关显著区域,与垂直速度的显著相关区域位置基本一致,即强季风年对流层低层的全球海区基本上表现为湿度增加。中层500 hPa的位势高度的相关分布(图2e)除了南半球高纬度地区(60°S以南)外均表现为负相关,南海、孟加拉湾以及赤道太平洋均为显著负相关,即在强南海夏季风年西太平洋副热带高压减弱。对照高层相关分布(图2f)可以发现,高层相关区域较小,但是西太平洋暖池地区仍为负相关,东亚地区出现了一个正相关显著区域,同时南亚出现了一个显著的负相关区域,这说明强南海夏季风年南亚高压减弱。

以上分析了SCSSMI与全球大气有关的气象要素之间的关系。南海夏季风与海洋的关系如何?图3分别给出了SCSSMI与夏季全球海表温度SST的相关分布。由图3a可知,SST与SCSSMI的相关显著区域主要在东印度洋-西太平洋(EIO-WP)、澳大利亚以东的南太平洋以及赤道大西洋呈显著的负相关,北太平洋与中太平洋有显著的正相关区域。在强(弱)的南海季风时,EIOWP区域的SST降低(升高),使得海陆温差增大(减小),加强(减弱)了季风环流。丁一汇等(2002)指出南海及其周边海洋前期的海温影响着季风爆发的早晚和强度,为了分析其具体的影响关系,给出了SCSSMI与春季3~5月的海温超前相关分布(图



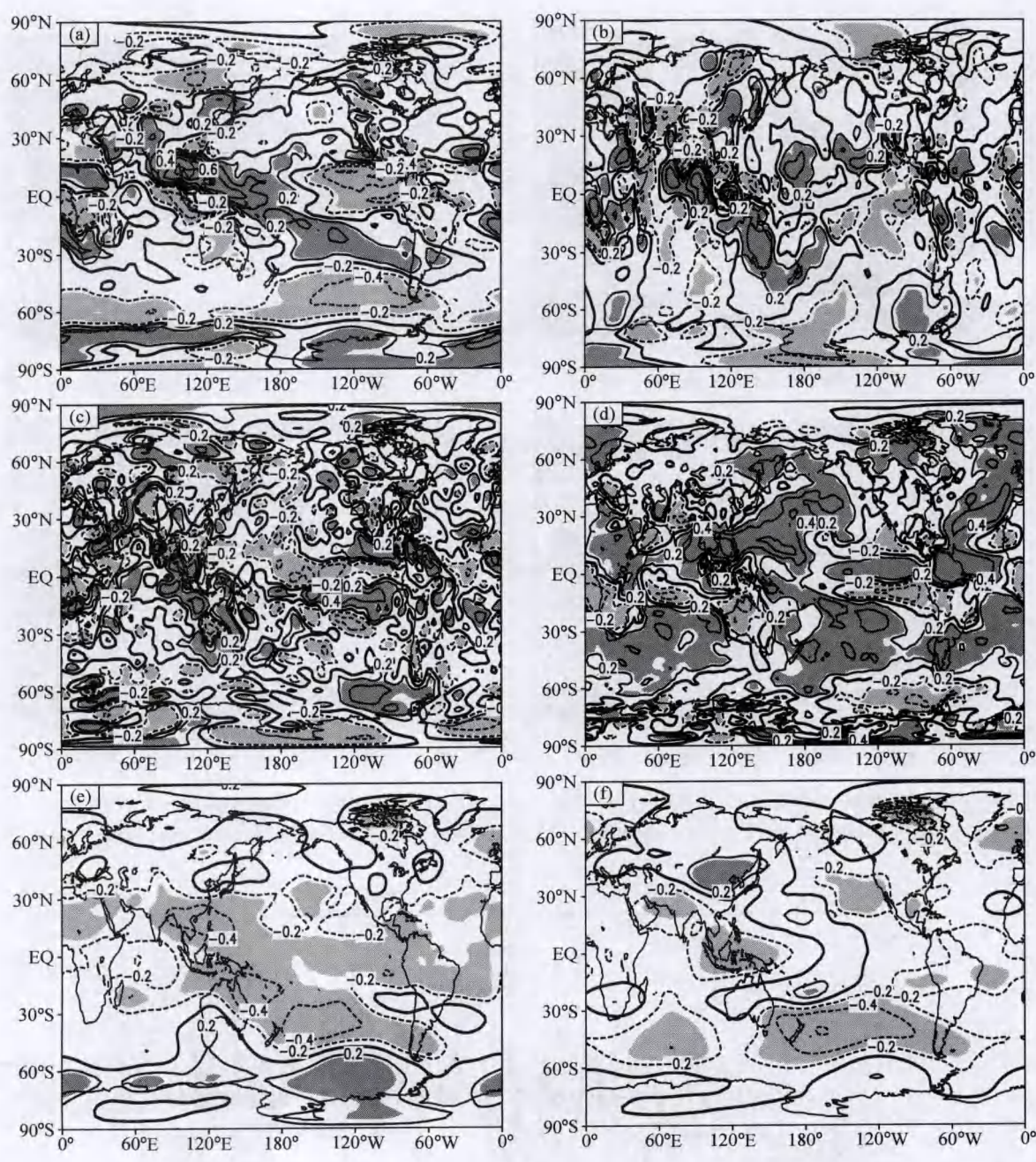


图2 1948~2006年南海夏季风指数SCSSMI与全球夏季850 hPa的纬向风(a)、经向风(b)、垂直速度(c)、相对湿度(d)以及500 hPa(e)和200 hPa(f)位势高度的相关。等值线间隔:0.2;粗实线:零线;阴影:通过95%信度检验区(下同)

Fig. 2 Correlation maps between the SCSSMI and the global summer (a) zonal wind, (b) meridional wind, (c) vertical wind, (d) relative humidity at 850 hPa, geopotential height at (e) 500 hPa and (f) 200 hPa during 1948 - 2006. The confidence level of shading is 95% (the same below); contour interval is 0.2; the contour of zero is thickened

3b~d), 可以发现前期春季海温的相关分布基本与同期的表现一致, 3月整个阿拉伯海基本上为负显著相关, 之后相关显著区逐渐东移, 到了5月基本上移出阿拉伯海, 即南海强夏季风年春季EIOWP区域的海温异常偏低, 并且可以持续到南海夏季风

爆发之后。为了进一步分析前期春季EIOWP区域的SST与南海夏季风之间的联系, 取(20°S~20°N, 80°E~130°E)区域(EIOWP)平均的SST与SCSSMI求相关, 图4给出了3月、4月、5月SST与SCSSMI的时间序列, 相关系数分别为-0.485、



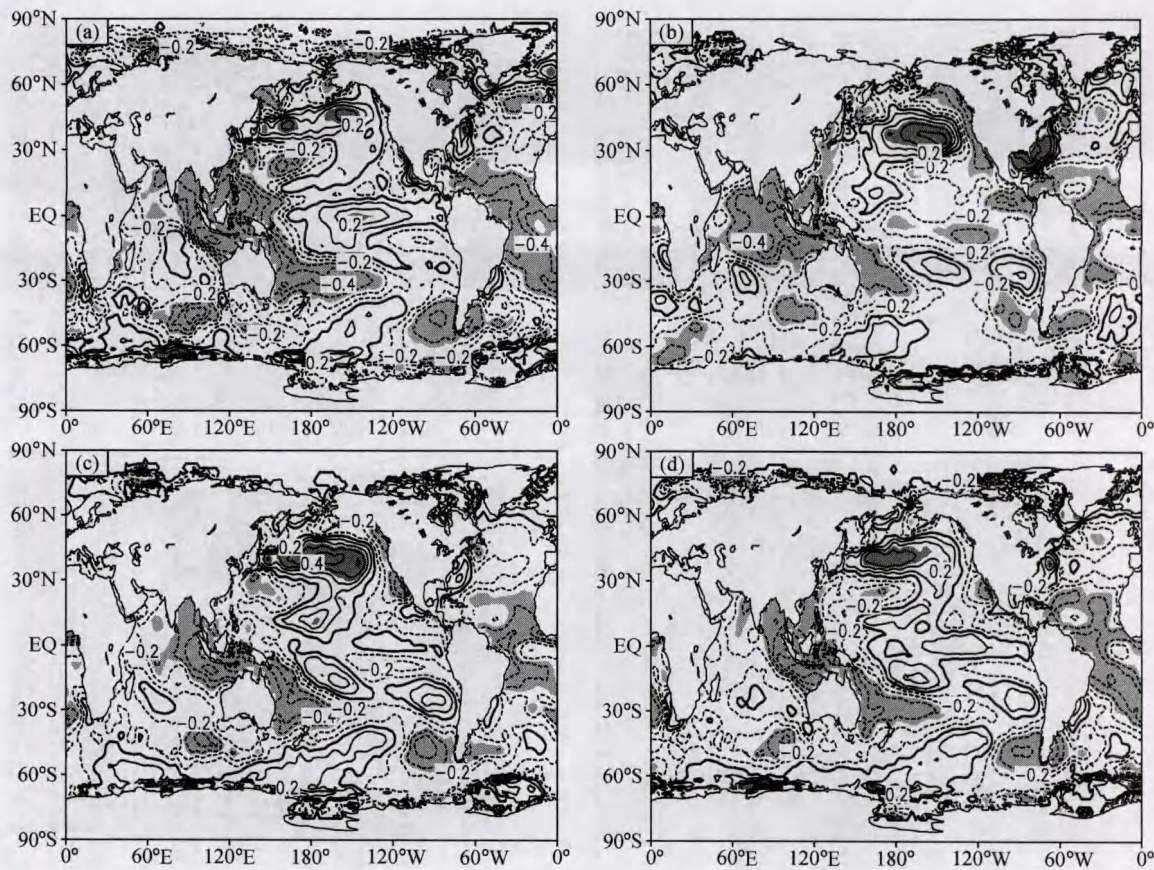


图 3 1948~2006 年 SCSSMI 与全球 SST 的相关分布: (a) 夏季; (b) 3 月; (c) 4 月; (d) 5 月。其余同图 2  
Fig. 3 Same as Fig. 2, but for the correlation maps between the SCSSMI and the global SST for (a) summer, (b) Mar, (c) Apr, and (d) May

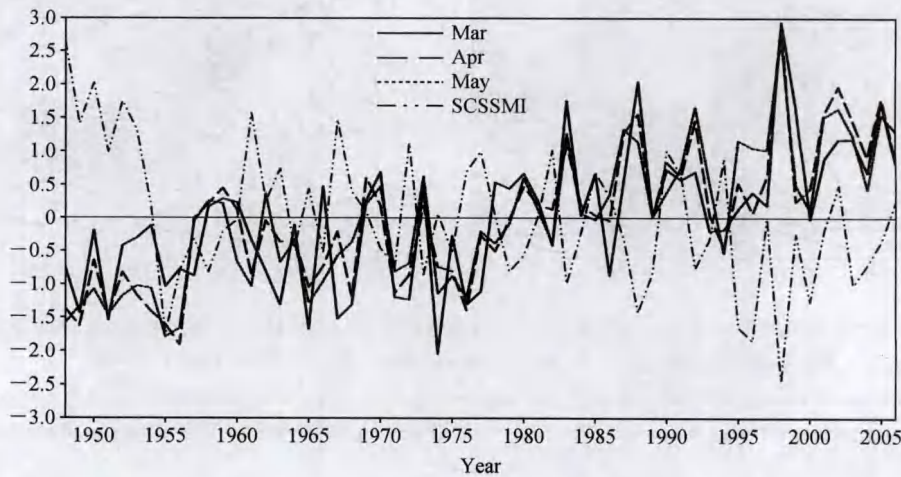


图 4 1948~2006 年 3~5 月 EIOWP 区域平均的 SST 与 SCSSMI 标准化时间序列变化曲线  
Fig. 4 The normalized time series of SST averaged over the Eastern Indian Ocean - the Western Pacific (EIOWP) in Mar, Apr, May, and SCSSMI from 1948 to 2006

-0.442 和 -0.516, 而同期夏季时段的相关系数为 -0.637, 均超过了 0.1% 的显著性检验。值得注  
意的是, 北太平洋在南海夏季风爆发前期的 SST 与 SCSSMI 的相关分布中出现了一个持续的正相



关显著区域, 在 4 月最强, 而夏季同期范围最小, 相比 EIOWP 区域, 它的持续性较差。由此可见, 所取区域的 SST 与南海夏季风有持续的显著相关, 并且前期春季的 SST 在强(弱)季风年有持续的负(正)异常, 因此可以作为南海夏季风强弱的一个预报因子。由 4 月海温冷暖合成结果的纬向-高度环流 ( $80^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$  平均) 分布可以看出(图略), 当所取区域处于冷状态时(强季风年), 在 4 月对流层低层就出现弱的越赤道气流, 对流层高层的辅散中心位于赤道以北, 而当处于暖状态时(弱季风年), 则相反, 辅散中心位于赤道以南, 并且对流层低层没有越赤道气流的出现。

为了进一步分析 SST 异常变化对于季风强弱的影响作用, 我们以 4 月份 EIOWP 区域平均的海温对 5 月份及夏季平均(6 月至 9 月, JJAS) 的环流作了合成分析(图 5), 结果类似。以下以 5 月份结果为例给出分析。当区域 EIOWP 的海温偏低时, 由于热力作用, 使得上空位势高度(850 hPa 和 500 hPa) 降低, 西太平洋副高减弱。850 hPa 环流场上在南海的东部区域出现气旋性切变异常, 在北半球热带  $80^{\circ}\text{E}\sim 130^{\circ}\text{E}$  的区域, 表现为显著的西风异常, 而高层 200 hPa 上整个 EIOWP 区域为显著的东风异常。这一环流配置, 使得南海区域的对流活动较易发展强盛, 而南海上空的西太平洋高压也容易撤出南海区域, 从而有利于强南海夏季风的建立。这表明前期的海温异常可以对之后的环流配置产生重要影响。

另外, 通过相关分析我们发现, EIOWP 区域的海温异常存在很强的持续性(自相关系数分别为: 4 月 SST 序列与 5 月 SST 序列:  $R=0.94$ ; 4 月 SST 序列与 JJAS 平均的 SST 序列:  $R=0.90$ ; 5 月 SST 序列与 JJAS 平均的 SST 序列:  $R=0.94$ ), 也即说明前期春季的 SST 异常可以一直影响到季风期间的 SST 变化。同期 EIOWP 区域的海温为负异常的时候(图 6), 整个赤道地区上空的位势高度降低, 西太平洋副高脊减弱, 在南海-西太平洋地区形成气旋性差异环流, 高层南亚高压减弱, 南海区域低层西风加速, 高层为异常东风, 东亚地区西南风加速。从纬向-高度分布图(图略)可以看出,  $115^{\circ}\text{E}$  以东基本表现为异常的向上的纬向环流, 而以西则为向下的纬向环流, 这种环流配置为南海地区对流的发展提供了有利条件。

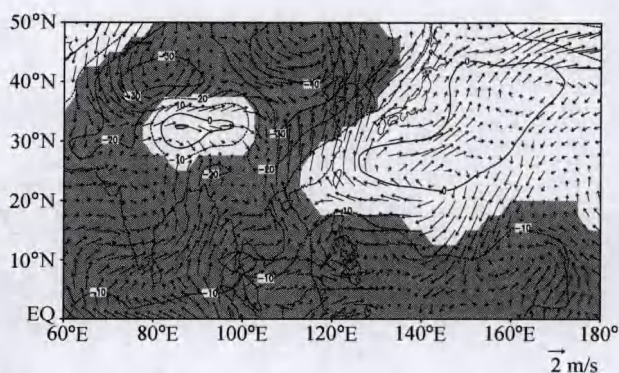


图 5 EIOWP 区域平均的 4 月份海温标准化时间序列负、正年对应的 5 月份 850 hPa 环流场(箭头)与位势高度场(等值线, 单位: gpm)的合成差

Fig. 5 The composite differences of wind and geopotential height (gpm) at 850 hPa in May between the years with the negative EIOWP area averaged SST in Apr and the years with the positive one

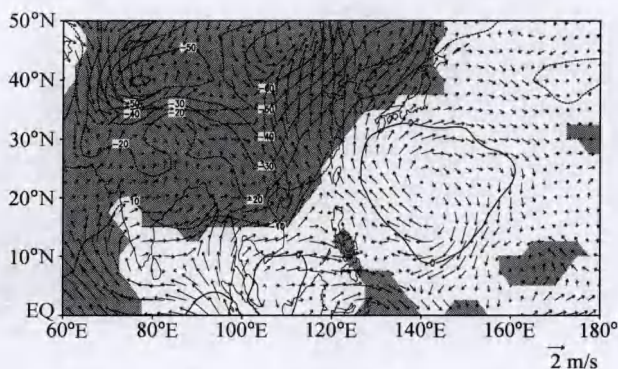


图 6 EIOWP 区域平均的 JJAS 时段海温标准化时间序列负、正年对应的同期 850 hPa 环流场(箭头)与位势高度场(等值线, 单位: gpm)的合成差

Fig. 6 The composite differences of wind and geopotential height (gpm) at 850 hPa in JJAS (Jun, Jul, Aug, and Sep) between the years with the negative EIOWP area averaged SST in JJAS and the years with the positive one

综上所述, 可以看出前期 EIOWP 区域的海温异常通过对前期环流场和对后期 SST 场的影响, 对南海夏季风的强弱产生影响。

李建平等(2005)分析了 SCSSMI 与全球夏季降水的相关分布, 并指出南海夏季风与全球各海区夏季降水异常有较好的大范围统计相关关系, 那么它与我国大陆的夏季降水关系如何? 为此, 我们给出了中国 160 台站降水与 SCSSMI 的相关分布(图 7a), 可以看出在华南主要表现为正相关, 长江流域以及以北区域主要为显著负相关, 这与以往的研



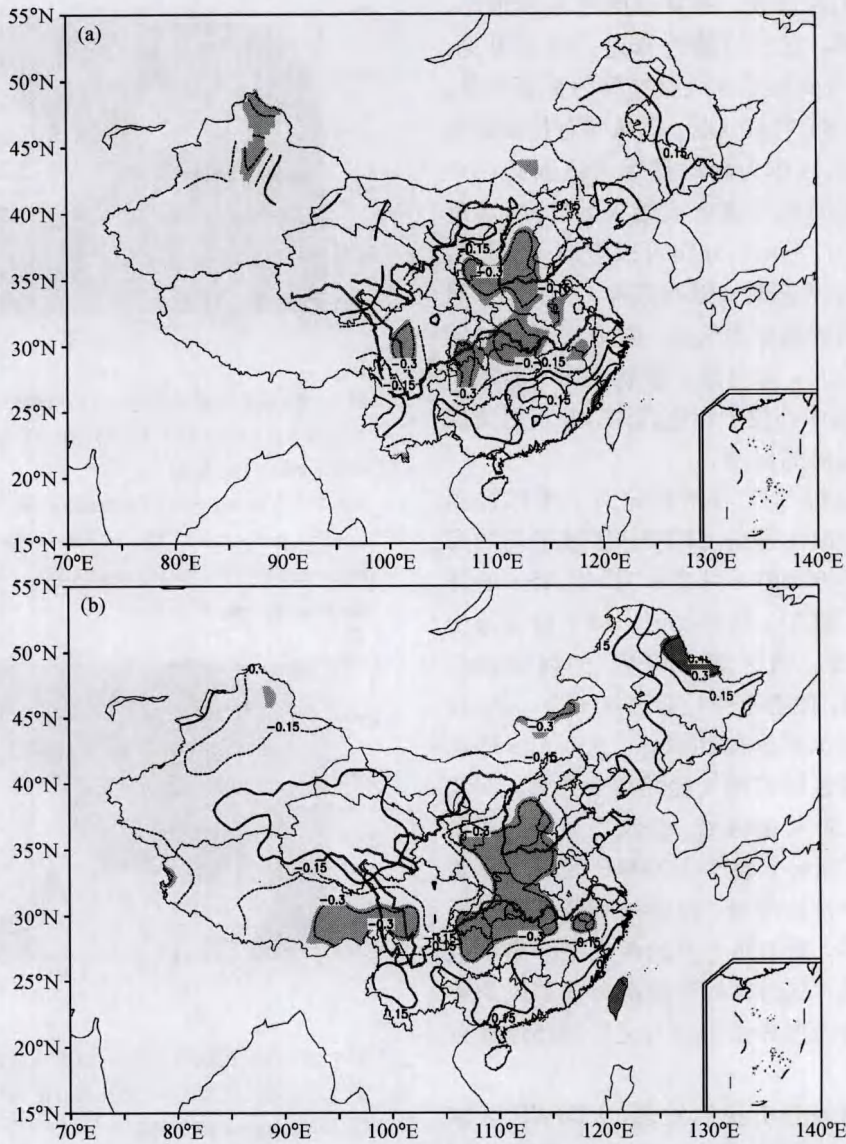


图 7 中国 JJA 降水与 SCSSMI 的相关: (a) 160 站降水 (1951~2006 年); (b) GPCC 降水 (1951~2000 年)。其余同图 2

Fig. 7 Correlation maps between the SCSSMI and China JJA precipitation; (a) China 160 stations data from 1951 to 2006; (b) GPCC data from 1951 to 2000. The others are the same as Fig. 2

究结果一致 (徐予红等, 1996; 李崇银等, 1999; 张利平等, 1999), 即强季风年, 长江流域的夏季降水偏少, 华南降水偏多, 而在弱季风年则相反。同时, 华北区域也表现为负相关, 这与李建平等 (2005) 利用 1979~1997 年的 NOAA 气候预测中心降水资料 (CMAP) 得到的结果是一致的, 可见这种相关关系有一定的稳定性。值得注意的是, 在新疆西部出现了显著负相关, 而同时东北表现为正相关。由于新疆地区站点稀少, 我们引入 GPCC 降水作比较分析, 对比 GPCC 格点降水与 SCSSMI 的

相关分布 (图 7b), 两者的分布形势基本一致。由此可见, 南海夏季风的强弱不仅可以影响到我国的长江流域以及南部的夏季降水, 而且可以影响非季风区新疆北部和东北地区的夏季降水情况。

#### 4 合成分析

以下将从风场、位势高度、水汽输送及海表温度出发来比较南海强、弱夏季风异常年的差异。

##### 4.1 风场

850 hPa 纬向风: 如果定义风速 9 m/s 以上为



强西风,则在强季风年,孟加拉湾、中南半岛至南海一带均为强西风,而弱季风年强西风并未伸展至南海,与强季风年相比,弱季风年强西风位置偏西,范围明显减小。从强弱季风年合成的纬向风差值图(图 8a)可知,最大的正显著中心从孟加拉湾向东伸展至 180°E 附近,而最大的负值中心位于赤道东太平洋。强季风年 200 hPa(图略)的纬向风在阿拉伯海、孟加拉湾、南海南部、印度尼西亚一带为强东风带,强东风中心出现在斯里兰卡岛附近,而弱季风年强东风带位置偏西,强东风中心范围扩大,向西伸展至阿拉伯海。850 hPa 和 200 hPa 的经向风在强弱年的差别不大,850 hPa 上在 40°E~60°E 范围有强的越赤道气流,并且强季风年的越赤道气流较弱季风年越赤道气流强,范围较大。200 hPa 上,强弱季风年南海地区均盛行北风。由图 8b 可以看出,强季风年孟加拉湾的经向风显著

加强,而南海并不是经向风变化最大的地方。强弱季风合成差的矢量场(图略)表明强季风年在新加坡附近有一个异常的反气旋环流,这个环流加强了南海区域的纬向风。

上面分析了南海夏季风强弱年对流层典型层纬向和经向风的差异,那么对流层中高层在季风强弱年的风矢量上有什么差异?由对流层中高层的风场矢量的合成差(图 9)可以看出,对流层中层 500 hPa 赤道印度洋、西太平洋有显著西风异常,东太平洋为东风异常;孟加拉湾、南海区域存在一个气旋性异常,而日本、朝鲜半岛存在一个反气旋性异常。而高层 200 hPa 正好与中层相反。从对流层中层到高层,气旋不断减弱,中心向西移动,而反气旋中心则一直增强并向东南方向移动。150 hPa 上气旋基本移出了孟加拉湾,而反气旋中心已移至 120°E 以西的东亚地区。到了 100 hPa,气旋消失,

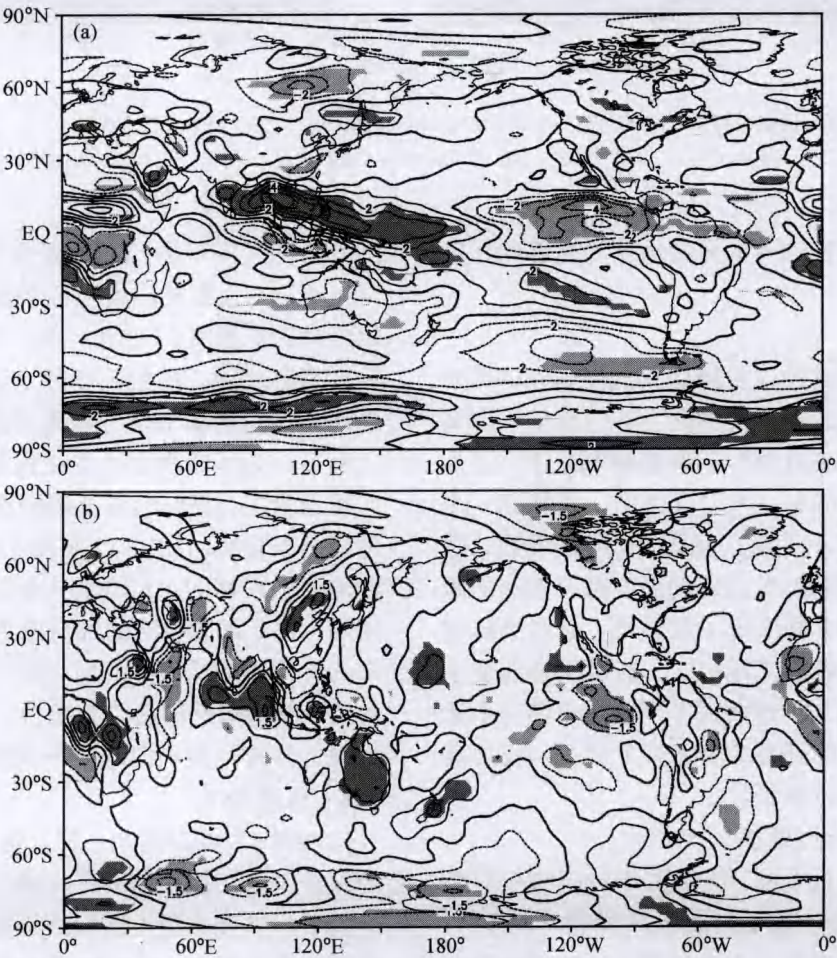


图 8 强、弱季风年夏季 850 hPa (a) 纬向风  $u$  和 (b) 经向风  $v$  之差(单位: m/s)

Fig. 8 The differences of (a) zonal wind and (b) meridional wind at 850 hPa in summer between strong and weak monsoon years (units: m/s)



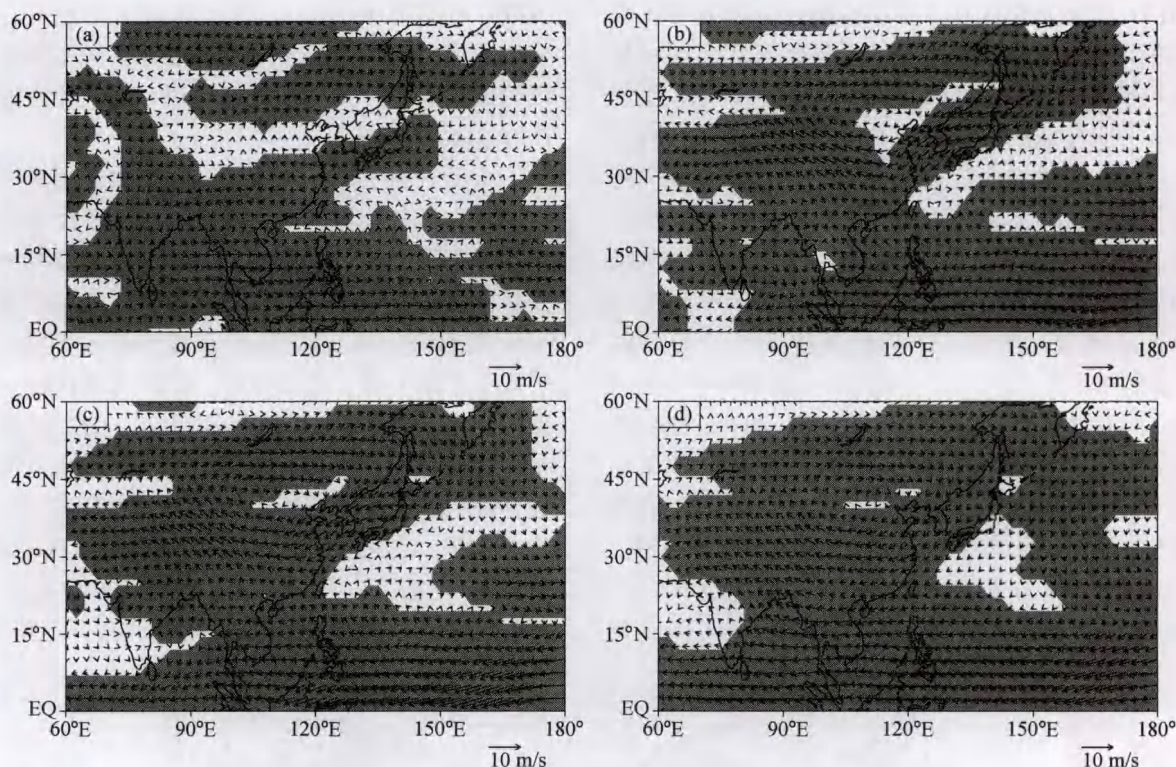


图9 强、弱季风年夏季对流层中高层风场矢量差: (a) 500 hPa; (b) 200 hPa; (c) 150 hPa; (d) 100 hPa

Fig. 9 The differences of wind vectors at (a) 500 hPa, (b) 200 hPa, (c) 150 hPa, and (d) 100 hPa in summer between strong and weak monsoon years

此时  $60^{\circ}\text{E}\sim 180^{\circ}\text{E}$  范围内的赤道地区为显著的东风异常。

#### 4.2 位势高度场

在强季风年副高的位置较弱季风年偏东, 弱季风年南海中北部处于副高控制之下, 强季风年副高位置偏北, 南海北部边缘处于副高控制之下, 孟加拉湾、印度半岛南部有一个低压系统, 并伴有一个浅槽, 但弱季风年不明显。从图 10 可以看出, 强季风年南北半球的副热带高压的强度都有明显的减弱, 南极高压在东半球出现了负异常, 而西半球则为正异常; 而弱季风年正好相反。这说明南海夏季风的强弱不仅受到北半球西太平洋副热带高压的影响, 并且与南半球的副高、澳大利亚高压、极地高压的变化有很重要的联系。

#### 4.3 相对湿度和水汽输送

850 hPa 高度上的强、弱季风年对应的相对湿度之差在全球大部分区域表现为正异常 (图 11), 即季风强年的相对湿度大于季风弱年, 并且显著区域基本分布在海洋上, 这说明南海夏季风的异常伴

随着全球大面积的水汽输送变化。从图 11 我们还可以看出, 南海北部增湿较南部明显。这可能与季风期间副高位置的进退有关。在南海夏季风期间, 副高东移北跳, 致使南海中、北部相对湿度增大, 而南海西南角从未处于副高的控制之下, 所以变化不明显。为了考察水汽变化到底是以纬向还是以经向输送为主, 我们给出了强弱季风年 850 hPa 水汽输送分布形势。由图 12 可知, 中南半岛以及南海, 赤道西太平洋的水汽增加主要以纬向输送为主, 而印度半岛、孟加拉湾的水汽增加则是经向与纬向输送的共同作用结果。同时, 可以发现赤道东太平洋的经、纬向水汽输送均为负值, 这与强季风年这里出现的异常气旋环流是分不开的。

#### 4.4 全球 SST

由图 13 可以看出, 强、弱季风年的夏季 SST 的异常主要出现在西太平洋暖池、澳大利亚以东的南太平洋以及赤道大西洋。强季风年全球海域除了赤道中东太平洋、日本以东的北太平洋为正异常以外, 其余海域均为负; 其中西太平洋暖池、赤道大



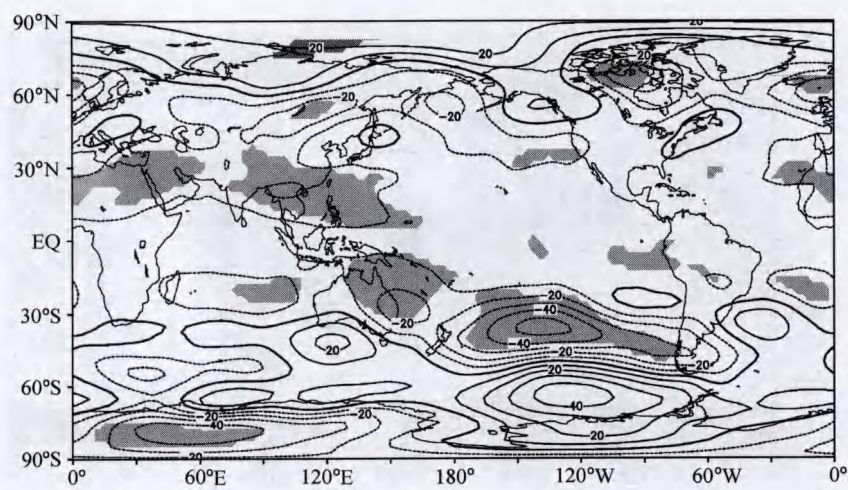


图 10 强、弱季风年夏季 500hPa 位势高度之差 (单位: gpm)  
Fig. 10 The difference of potential height (gpm) at 500 hPa in summer between strong and weak monsoon years

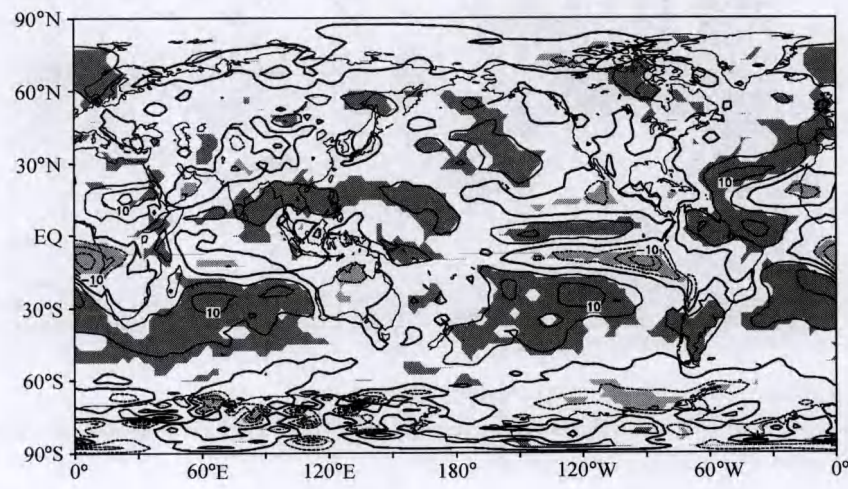


图 11 强、弱季风年夏季 850 hPa 相对湿度之差  
Fig. 11 The difference of relative humidity at 850 hPa in summer between strong and weak monsoon years

西洋、澳大利亚以东的南太平洋、印度洋 SST 均为显著降低。强季风年,西太平洋暖池的最暖中心大约位于 (10°N, 150°E),弱季风年则西移大致位于 (15°N, 120°E),西太平洋暖池范围扩大东伸,同时东太暖池西移,使得赤道太平洋的海温变化明显。弱季风年夏季赤道印度洋上出现了小的高值中心,而强年则无。

**5 结论与讨论**

本文利用李建平等 (2002, 2003, 2005) 定义的南海夏季风指数,分析了 1948~2006 年的南海夏季风的变化,讨论了此季风指数与全球气象要素

场如 SST 等的关系。选出了 10 个强季风年、8 个弱季风年,利用合成分析研究了季风强弱年的典型特征,得到了如下的一些初步结论。

不论是纬向风、相对湿度、气温、位势高度还是全球 SST、垂直速度,此季风指数均有较好的大范围统计相关。可以发现,对于以上物理量在对流层低层的相关较高层的好,从高低对流层纬向风的相关分布可以看出,高低层基本表现为反位相。由此可见,南海夏季风是一个大尺度的环流形势,其变化不仅可以影响到对流层中低层,而且可以影响到对流层的高层。

从以上分析的结果看,南海夏季风的强弱不仅



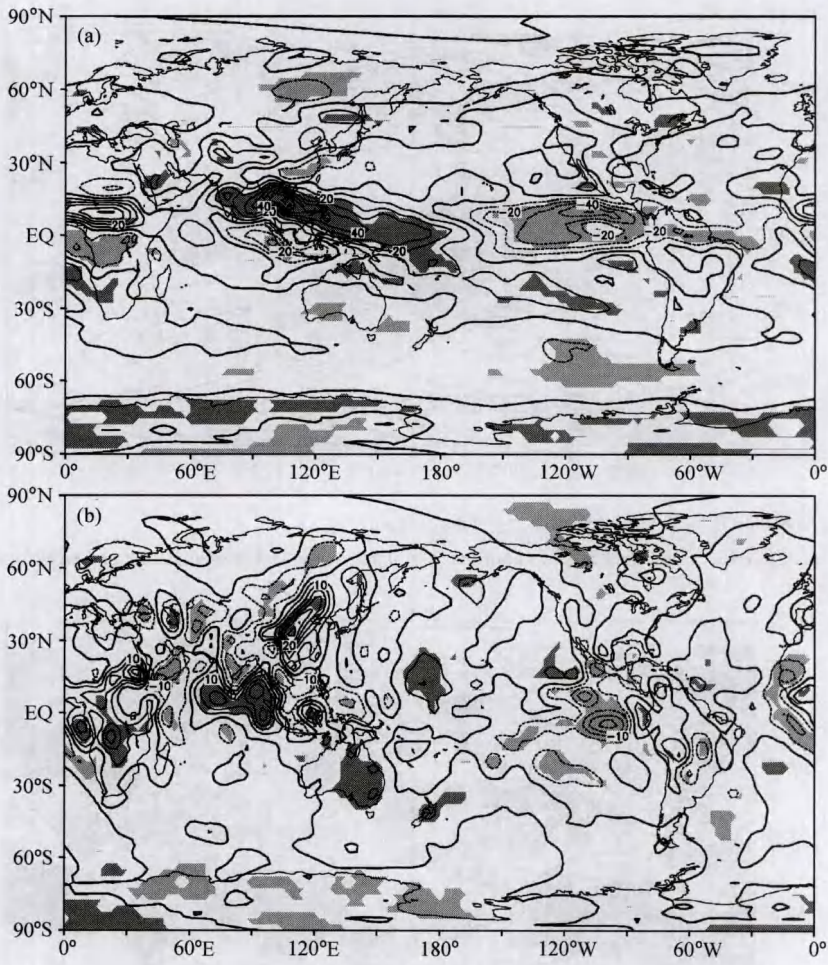


图 12 强、弱季风年夏季 850 hPa (a) 纬向和 (b) 经向水汽输送之差 (单位:  $10^2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )  
Fig. 12 The differences of (a) zonal and (b) meridional vapor transportation at 850 hPa in summer between strong and weak monsoon years (units:  $10^2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

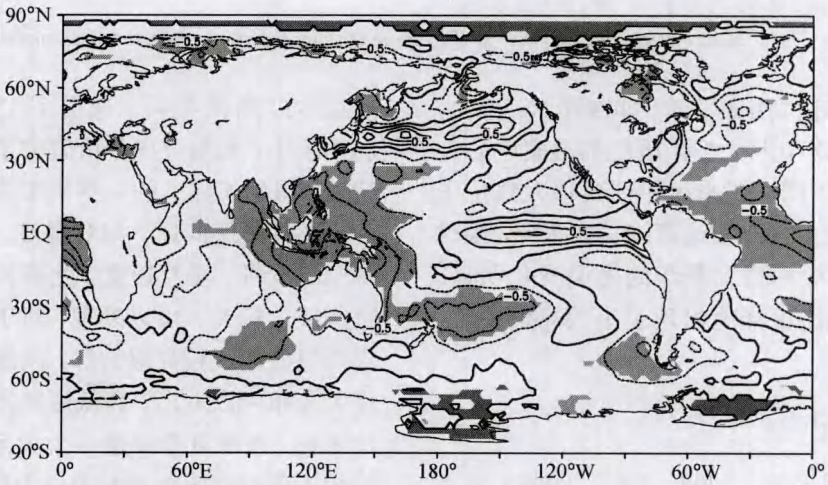


图 13 强、弱季风年夏季海表温度 SST 之差 (单位:  $^{\circ}\text{C}$ )  
Fig. 13 The difference of SST ( $^{\circ}\text{C}$ ) in summer between strong and weak monsoon years

在同期夏季的各物理量的特征场上存在着明显的差异,而且与前期 EIWOP 区域的 SST 有密切的联系。强南海夏季风年,前期 EIWOP 区域的 SST 为负异常,并且早在 4 月就出现了弱的越赤道气流。夏季同期,对流层低层表现为南海区域的纬向风加强,强西风范围扩大;在对流层中层西太平洋地区为西风异常,而东太平洋则为东风异常,南海区域出现了气旋性异常环流;在对流层高层,东亚区域表现为异常的反气旋环流。高度场上主要表现为南北半球的副热带高压的负异常。对应的中国降水则表现为强南海夏季风年华南地区为正异常,长江流域及其以北为负异常。弱季风年的变化与之相反。分析表明,前期春季与同期 EIWOP 区域的 SST 与南海夏季风有持续的显著负相关,可以作为南海夏季风强度的一个预报因子,并且日本以东的北太平洋对南海夏季风可能有一定的影响,在强季风年,前期北太平洋的 SST 有一个显著的正异常,而在弱季风年则为负异常。

本文的结果是初步的,其中还有一些问题是值得进一步研究的,比如选取的南海夏季风强弱年与 El Niño 和 La Niña 事件发生有什么联系等,这些问题都有待于进一步讨论。值得注意的是,本文的结果表明南海夏季风与中国华北地区夏季降水的关系并不是简单的强南海夏季风年对应着华北多雨,这与以往的研究存在明显差异,其内在机理及作用关系值得进一步研究。另外,在以往的许多研究中都考虑赤道太平洋而忽视北太平洋和大西洋对南海夏季风的影响,而本文发现南海夏季风的强弱与它们之间有很大联系,因此,在以后的研究中有必要将以上海区与南海夏季风联系起来,分析其内在的作用关系与机制。

### 参考文献 (References)

- 戴念军, 谢安, 张勇. 2000. 南海夏季风活动的年际和年代际特征 [J]. 气候与环境研究, 5: 363-374. Dai Nianjun, Xie An, Zhang Yong. 2000. Interannual and interdecadal variations of summer monsoon activities over South China Sea [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 5: 363-374.
- 丁一汇, 李崇银, 柳艳菊, 等. 2002. 南海季风试验研究 [J]. 气候与环境研究, 7: 202-208. Ding Yihui, Li Chongyin, Liu Yanju, et al. 2002. South China Sea monsoon experiment [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7: 202-208.
- 陈隆勋, 张博, 张瑛. 2006. 东亚季风研究的进展 [J]. 应用气象学报, 6: 711-724. Chen Longxun, Zhang Bo, Zhang Ying. 2006. Progress in research on the East Asian monsoon [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 6: 711-724.
- 高士欣, 张立凤, 高峰. 2007. 南海夏季风爆发前后扰动演变及其数值研究 [J]. 大气科学, 31 (5): 898-908. Gao Shixin, Zhang Lifeng, Gao Feng. The numerical research on the disturbance evolution before and after the South China Sea summer monsoon onset [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 31 (5): 898-908.
- 黄安宁, 张耀存, 黄丹青. 2008. 南海海温异常影响南海夏季风的数值模拟研究 [J]. 大气科学, 32 (3): 640-652. Huang Anning, Zhang Yaocun, Huang Danqing. 2008. Numerical study of the impacts of SSTA in the South China Sea on the South China Sea summer monsoon [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 32 (3): 640-652.
- 李崇银, 潘静. 2007. 南海夏季风槽的年际变化和影响研究 [J]. 大气科学, 31 (6): 1049-1058. Li Chongyin, Pan Jing. 2007. The interannual variability of the South China Sea summer monsoon trough and its impact [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 31 (6): 1049-1058.
- 李崇银, 张利平. 1999. 南海夏季风特征及其指数 [J]. 自然科学进展, 9: 536-541. Li Chongyin, Zhang Liping. 1999. The characteristics and index of the South China Sea summer monsoon [J]. Process in Natural Science (in Chinese), 9: 536-541.
- 李建平, 曾庆存. 2000. 风场标准化季节变率的显著性及其表征季风的合理性 [J]. 中国科学 (D 辑), 30 (3): 331-336. Li Jianping, Zeng Qingcun. 2000. Significance of the normalized seasonality of wind field and its rationality for characterizing the monsoon [J]. Science in China (D), 43 (6): 646-653.
- Li Jianping, Zeng Qingcun. 2002. A unified monsoon index [J]. Geophys. Res. Lett., 29 (8), 1274, doi: 10.1029/2001GL013874.
- Li Jianping, Zeng Qingcun. 2003. A new monsoon index and the geographical distribution of the global monsoons [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 20: 299-302.
- 李建平, 曾庆存. 2005. 一个新的季风指数及其年际变化和雨量的关系 [J]. 气候与环境研究, 10 (3): 351-365. Li Jianping, Zeng Qingcun. 2005. A new monsoon index, its interannual variability and relation with monsoon precipitation [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (3): 351-365.
- 梁建茵, 李春晖, 吴尚森. 2004. 2003 年我国夏季西南季风活动概况 [J]. 气象, 30: 8-11. Liang Jianyin, Li Chunhui, Wu Shangsen. 2004. A review of activities of summer southwest monsoon over China in 2003 [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 30: 8-11.
- Murakami T, Chen Longxun, Xie An. 1986. Relationship among seasonal cycles, low-frequency oscillations and transient disturbances as revealed from outgoing long wave radiation data [J]. Mon. Wea. Rev., 114 (8): 1456-1465.
- Tao Shiyan, Chen Longxun. 1988. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China [M]// Chang C P, Krishnamurti T N. Monsoon Meteorology. Oxford: Oxford Uni-



- versity Press, 60-92.
- 吴尚森, 梁建茵. 2001. 南海夏季风强度指数及其变化特征 [J]. 热带气象学报, 17: 337-344. Wu Sanshen, Liang Jianyin. 2001. An index of South China Sea summer monsoon intensity and its variation characters [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 17: 337-344.
- 徐予红, 陶诗言. 1996. 东亚夏季风的年际变化与江淮流域梅雨期旱涝 [M]//黄荣辉. 灾害性气候的过程及诊断. 北京: 气象出版社, 31-39. Xu Yuhong, Tao Shiyan. 1996. The interannual variability of the East Asian summer monsoon and the drought and flood in Changjiang-Huaihe River valleys for the Meiyu period [M]//Huang Ronghui. Study of the Formation Processes of Disastrous Climate and Its Diagnostics (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 31-39.
- 张利平, 夏军, 李崇银. 1999. 南海夏季风的年际变化及其对我国长江流域洪水的影响 [J]. 自然杂志, 21 (3): 167-170. Zhang Liping, Xia Jun, Li Chongyin. 1999. Activity of SCSSM and its influences on flood in Yangtze River basin [J]. Nature Magazine (in Chinese), 21 (3): 167-170.
- 张庆云, 彭京备. 2003. 夏季东亚环流年际和年代际变化对登陆中国台风的影响 [J]. 大气科学, 27: 97-106. Zhang Qingyun, Peng Jingbei. 2003. The interannual and interdecadal variations of East Asian summer circulation and its impact on the landing typhoon frequency over China during summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27: 97-106.
- 张秀芝, 李江龙, 阎俊岳, 等. 2002. 南海夏季风爆发的环流特征及指标的研究 [J]. 气候与环境研究, 7: 321-331. Zhang Xiuzhi, Li Jianglong, Yan Junyue, et al. 2002. A study of circulation characteristics and index of the South China Sea summer monsoon [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 7: 321-331.
- 张勇, 谢安, 戴念军. 2004. 南海夏季风异常活动的前期特征 [J]. 热带气象学报, 20: 460-471. Zhang Yong, Xie An, Dai Nianjun. 2004. Preceding features associated with the anomalous summer monsoon over the South China Sea [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 20: 460-471.
- 周浩, 温之平, 蓝光东. 2007. 南海夏季风爆发迟早与赤道纬向风关系的诊断研究 [J]. 大气科学, 31 (5): 950-962. Zhou Hao, Wen Zhiping, Lan Guangdong. 2007. Diagnosis of relationships between the onset of the South China Sea summer monsoon and the equatorial zonal wind [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 31 (5): 950-962.
- Zhu Qian'gen, He Jinhai, Wang Panxing. 1986. A study of circulation difference between East-Asian and Indian summer monsoon with their interactions [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 3: 466-477.