

陈尚锋, 温之平, 陈文. 2011. 南海地区大气 30~60 天低频振荡及其对南海夏季风的可能影响 [J]. 大气科学, 35 (5): 982-992. Chen Shangfeng, Wen Zhiping, Chen Wen. 2011. Tropical low frequency oscillations with 30-60 day period and its possible influence on the South China Sea summer monsoon [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (5): 982-992.

南海地区大气 30~60 天低频振荡及其对南海夏季风的可能影响

陈尚锋^{1,2} 温之平² 陈文¹

1 中国科学院大气物理研究所季风系统研究中心, 北京 100029

2 中山大学季风与环境中心/大气科学系, 广州 510275

摘要 本文利用 1979~2008 年美国国家环境预报中心 (NCEP) 和美国国家大气研究中心 (NCAR) 第二套再分析资料、美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 的向外长波辐射 (OLR) 资料及 1979~2007 年全球降水资料 (CMAP), 分析了南海地区热带大气的低频振荡及其对南海夏季风的可能影响。结果表明, 夏半年南海地区存在显著的 30~60 天的周期振荡。当 30~60 天低频振荡处于活跃位相时, 南海及其周围地区的低层大气为低频西南风, 南海和菲律宾北部为低频气旋流场且为正的位涡度, 对应着增强的南海夏季风槽和南海夏季风; 当 30~60 天低频振荡处于不活跃位相时, 情形正好相反。进一步的研究揭示出, 夏半年 30~60 天低频振荡变化的空间型与夏半年平均场的年际变化的空间分布非常相似, 并且南海及其附近地区的 30~60 天低频振荡活动的年际变化对夏半年平均场的年际变化有显著的贡献。强、弱南海夏季风年 30~60 天低频振荡活动的比较也说明, 强的南海夏季风年 30~60 天低频振荡活跃状态发生的概率大于不活跃状态发生的概率, 而弱的南海夏季风年则是不活跃状态发生的概率大于活跃状态发生的概率。因此, 南海地区 30~60 天低频振荡对南海夏季风很可能有重要影响, 当 30~60 天低频振荡的活跃状态处于主导时, 南海夏季风往往会偏强; 反之, 如果不活跃状态处于主导时, 南海夏季风往往会偏弱。

关键词 30~60 天低频振荡 南海夏季风 活跃状态 不活跃状态

文章编号 1006-9895 (2011) 05-0982-11

中图分类号 P461

文献标识码 A

Tropical Low Frequency Oscillations with 30 - 60 Day Period and Its Possible Influence on the South China Sea Summer Monsoon

CHEN Shangfeng^{1,2}, WEN Zhiping², and CHEN Wen¹

1 Center for Monsoon System Research, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Center for Monsoon and Environmental Research, Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275

Abstract The tropical low frequency oscillation and its possible influence on the South China Sea (SCS) summer monsoon are studied by using the daily NCEP/NCAR-2 (National Centers for Environmental Prediction and National Center for Atmospheric Research) reanalysis data and the outgoing long-wave radiation (OLR) data from NOAA

收稿日期 2010-09-21, 2011-03-14 收修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2009CB421405, 国家自然科学基金资助项目 41025017、40921160379

作者简介 陈尚锋, 男, 1989 年出生, 硕士研究生, 主要从事季风和气候动力学研究。E-mail: chenshangfeng@hotmail.com

通讯作者 陈文, E-mail: chenw@mail.iap.ac.cn

(National Oceanic and Atmospheric Administration) for the time period of 1979 - 2008, and the CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) data for the time period of 1979 - 2007. Results reveal that there are significant low frequency oscillations with 30 - 60 day period over the SCS region. When the 30 - 60 day oscillation is in an active state, the low frequency components of southwesterly prevail over the SCS and the cyclonic circulation appears in northern SCS. Hence, in the active state the low frequency oscillation tends to strengthen the South China Sea summer monsoon (SCSSM) trough and the SCS summer monsoon. In the inactive state of the low frequency oscillation, the situation tends to be opposite. Further researches indicate that the spatial pattern for the variability of the low frequency oscillation is analogous to that for the interannual variations of the SCS summer monsoon. Particularly the variance of low frequency oscillation activity in the SCS region can account for nearly half of that for the interannual variations of the SCS summer monsoon. The comparison between strong and weak SCS summer monsoon years presents that the occurrence probability of active state is higher than that of inactive state for the low frequency oscillation in strong monsoon years. However, in weak monsoon years the occurrence probability of inactive state is higher than that of active state. Therefore, the low frequency oscillation with 30 - 60 day period likely has an important influence on the SCS summer monsoon. When the active state is dominant for the low frequency oscillation, the SCS summer monsoon tends to be strong. On the contrary, the SCS summer monsoon tends to be weak when the inactive state is dominant for the low frequency oscillation.

Key words low frequency oscillation with 30 - 60 day period, the South China Sea summer monsoon, active state, inactive state

1 引言

Madden and Julian (1971) 利用坎顿岛的资料首先发现热带地区的纬向风和气压场存在 40~50 天的周期振荡, 之后热带大气低频振荡受到了广泛的关注。Yasunari (1980) 指出在赤道印度洋地区, 季节内振荡存在向北传播的特征, 并且这种北传对印度夏季风的活跃和中断有非常重要的影响。Lau and Chan (1986) 的研究则指出 30~60 天的低频振荡对季风槽的活动有重要影响, 当季节内振荡的西风活跃时段出现在印度洋时, 印度夏季风处于活跃期, 降水增多; 当季节内振荡西风中断时段出现在印度洋时, 印度夏季风处于中断期, 降水显著减少 (Gadgi, 2003; Goswami et al., 2005)。若 30~60 天低频振荡在季节平均基础上加强了印度降水, 将会导致印度夏季风处于活跃期; 反之, 将会导致印度季风处于间断期 (Goswami and Ajaya Mohan, 2000)。有关热带大气低频振荡的形成机制、结构和传播特征也开展了不少研究 (比如: 李崇银, 1991; 李崇银和李桂龙, 1998)。

一些研究指出热带大气低频振荡可以影响南海夏季风的爆发。穆明权和李崇银 (2000) 分析了 1998 年南海夏季风爆发前后的 850 hPa 低频流场分布, 结果发现菲律宾东面大气季节内振荡的发展以及向南海地区的扩展对南海地区大气季节内振荡

活动有重要作用, 并最终激发南海夏季风的爆发。温之平等 (2006) 的研究进一步指出, 5 月 1~15 日菲律宾南部的低频对流发展西移, 华南地区低频对流活动南移以及加里曼丹岛低频对流活跃北移, 有利于南海夏季风爆发偏早。林爱兰 (1998) 的研究也表明, 南海夏季风一般在初夏第一个较强低频振荡的负位相开始建立, 南海夏季风期间低频振荡的环流实体是 ITCZ 的南北振荡和西太平洋高压西脊点的东西摆动, 低频振荡与南海夏季风的活跃和中断密切相关, 南海低频振荡与大气环流的季节变化相叠加, 造成夏季风经历第一个低频振荡的建立, 到第二、三个振荡的加强, 再到第四个振荡的减弱这种演变过程。

大气季节内振荡不仅影响南海夏季风的爆发, 还会影响到南海夏季风的强度。Li et al. (2001) 的研究表明, 强南海夏季风时, 在南海及西太平洋地区有强的季节内振荡流场, 而弱南海夏季风时, 大气季节内振荡流场就比较弱。此外, 大气季节内振荡对我国降水异常也有显著影响。比如, 琚建华和赵尔旭 (2005) 发现, 东亚强季风年, 准 30~60 天振荡的影响比较大, 容易造成长江中下游多雨; 而东亚弱季风年, 准 30~60 天振荡减弱, 10~20 天低频振荡为主要的振荡周期, 容易造成长江中下游干旱。毛江玉和吴国雄 (2005) 研究了 1991 年梅雨期间江淮洪涝降水的季节内振荡及其环流特征,

指出低频振荡对 1991 年江淮流域洪涝的形成有重要贡献, 江淮流域降水的低频振荡与 500 hPa 西北太平洋副高的低频变化及其传播密切相关, 这种低频振荡可能起源于北太平洋中部夏威夷群岛附近, 然后沿着副热带高压脊线附近向西传播到中国东南沿海。

对南海夏季风而言, 以往的研究主要集中在热带大气低频振荡对南海夏季风的爆发迟早和强弱方面, 并且使用的资料长度大都较短。目前, 有关热带大气低频振荡怎样影响以及多大程度上影响南海夏季风仍不清楚, 本文针对此问题拟采用较长时间段的资料进一步探讨南海地区大气低频振荡及其对南海夏季风的可能影响。本文第 2 节介绍所使用的资料和方法, 第 3 节主要分析了南海地区 30~60 天低频振荡的活动特征, 第 4 节则研究了 30~60 天低频振荡对南海夏季风的可能影响, 第 5 节为结论。

2 资料和分析方法

本文使用到的资料主要包括: (1) 美国国家环境预报中心 (NCEP) 和美国国家大气研究中心 (NCAR) 1979~2008 年全球大气日平均第二套再分析资料, 空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 垂直方向选取三层: 850 hPa、500 hPa、200 hPa; 物理要素包括位势高度场和水平风场。(2) 1979~2008 年美国国家海洋和大气局 (NOAA) 的向外长波辐射 (OLR) 日平均资料, 空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。(3) 1979~2007 年全球候平均的 CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP) (Xie and Arkin, 1997) 降水资料, 空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。研究中采用的分析方法主要有小波分析 (Torrence and Compo, 1998)、带通滤波 (Murakami, 1979)、经验正交函数分解 (黄嘉佑, 2004)、二维概率密度函数 (Emanuel, 1962) 以及合成分析方法。

3 南海地区大气 30~60 天低频振荡活动特征

大量研究表明南海夏季风气候平均在 5 月第 4 候爆发 (刘霞等, 1998; 梁建茵等, 1999; 姚永红和钱永甫, 2001), 有些年份南海夏季风在 4 月初已经爆发, 而有些年份在 6 月份才爆发, 因此, 5 月份南海地区的环流和降水会有比较大的年际变化。

我们把对流场、850 hPa 纬向风场和涡度场均处理成候平均资料, 结合 CMAP 降水资料, 对第 25 候至第 30 候平均后计算 1979~2007 年各场变化的标准差 (图略)。综合考虑降水、对流、低层风场和涡度场的年际变化, 本文选取 ($5^{\circ}\text{N} \sim 20^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$) 代表南海地区。

为了解夏季南海地区的低频振荡周期, 分别对 1979 年到 2008 年逐年的南海地区平均的对流场 (OLR)、850 hPa 的纬向风和经向风以及位势高度场作了小波分析。由于大部分年份的小波分析结果都比较一致, 这里只给出 1987 年的 Morlet 小波分析实部结果作为代表。图 1 是 1987 年 OLR、850 hPa 纬向风、850 hPa 经向风和 850 hPa 位势高度的 Morlet 小波分析的实部。从 OLR 小波分析结果可以看出, 30~60 天的振荡周期在 5 月份开始明显加强, 整个夏季 30~60 天的振荡周期都存在; 10~20 天左右的振荡周期也在 5 月份开始加强, 并持续到 11 月份; 60~100 天的周期整年都存在。850 hPa 纬向风 30~60 天振荡整年都存在, 而 10~20 天和 90 天左右的振荡周期则夏季比较明显。850 hPa 经向风 20~30 天的振荡在 1 月份就存在, 这个振荡周期整年都比较明显; 10~20 天的振荡从 5 月份开始明显, 6~9 月为强盛时期; 50~90 天的振荡在整年都存在的。850 hPa 位势高度场的 10~20 天的振荡在 3 月份开始出现, 并维持到 12 月份, 并在夏季达到最强; 20~30 天的振荡整年都存在, 也是在夏季达到最强, 40~80 天的振荡则主要在夏季才比较明显。由此可见, 夏季南海地区各个物理要素普遍存在 10~90 天的低频振荡周期, 其中 30~60 天和 10~20 天振荡周期尤为显著。本文主要分析 30~60 天周期的振荡, 并对资料都采用构造的带通滤波器进行 30~60 天带通滤波 (Murakami, 1979)。

南海夏季风处于活跃时, 南海地区的西南风是加强的; 而南海夏季风处于中断时, 南海地区西南风减弱, 甚至为偏东风控制。据此, 对南海区域平均的 5~9 月 850 hPa 的 30~60 天低频西南风进行标准化, 定义标准化值大于 1 的 30~60 天低频振荡处于活跃状态, 而标准化值小于 -1 则为不活跃状态。每年夏季大致都有 3~4 个左右的活跃或不活跃状态, 每个活跃或不活跃状态持续的时间大概为 10~20 天, 图 2 是 1979 年 5~9 月的标准化结

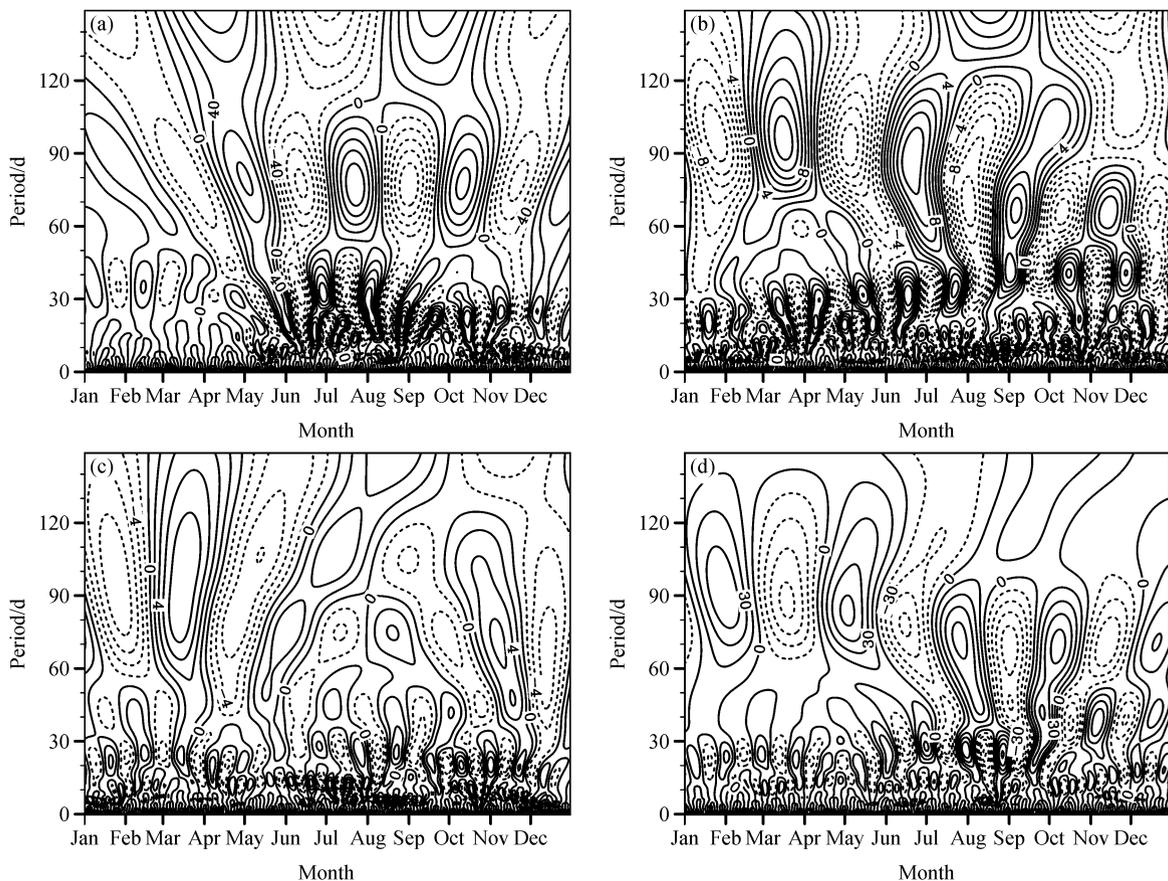


图 1 1987 年南海地区 (5°N~20°N, 110°E~120°E) 区域平均的逐日 Morlet 小波分析实部: (a) OLR; (b) 850 hPa 纬向风; (c) 850 hPa 经向风; (d) 850 hPa 位势高度

Fig. 1 The Morlet wavelet test real modes for (a) OLR, 850-hPa (b) zonal wind, (c) meridional wind, and (d) geopotential height averaged over the South China Sea region in 1987

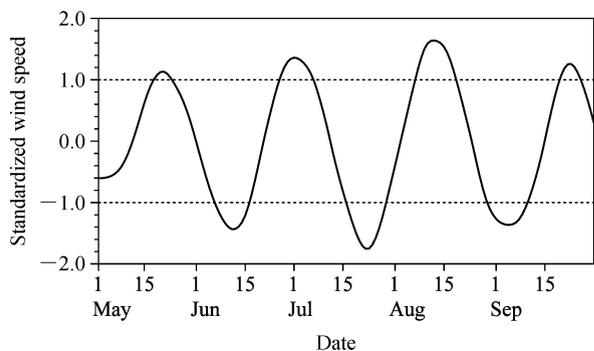


图 2 1979 年 5 月 1 日至 9 月 30 日南海区域平均的 850 hPa 30~60 天低频西南风标准化时间序列分布

Fig. 2 Standardized time series of the southwesterlies with 30 - 60 day period at 850 hPa averaged over the South China Sea region from 1 May to 30 Sep in 1979

果, 其它年份的结果也是类似的。

图 3 给出了 30 年 5 到 9 月 850 hPa 原始风场

和相对涡度的合成图。由图 3a 可见, 孟加拉湾、中南半岛、南海地区受西南风控制, 105°E 与 120°E 附近存在越赤道气流, 南海季风槽处于弱的气旋流场。相对涡度的分布表明 (图 3b), 印度季风槽和南海季风槽处的涡度值都为正值, 赤道带则主要为负值; 涡度正值区对应着夏季季风环流的上升位置, 赤道地区的负值区则对应着季风环流的下沉支。

图 4 分别给出了 850 hPa 30~60 天低频流场和低频相对涡度在 30 年所有活跃状态和不活跃状态的合成。可以看到, 当低频振荡处于活跃状态时, 孟加拉湾、中南半岛、南海地区受到低频西风或偏西风的影响, 南海和菲律宾北部为低频气旋环流场 (图 4a); 这样的分布和图 3a 是类似的, 说明 30~60 天振荡处于活跃状态时, 会增强南海地区的西南风以及南海夏季风槽。图 4b 是不活跃状态

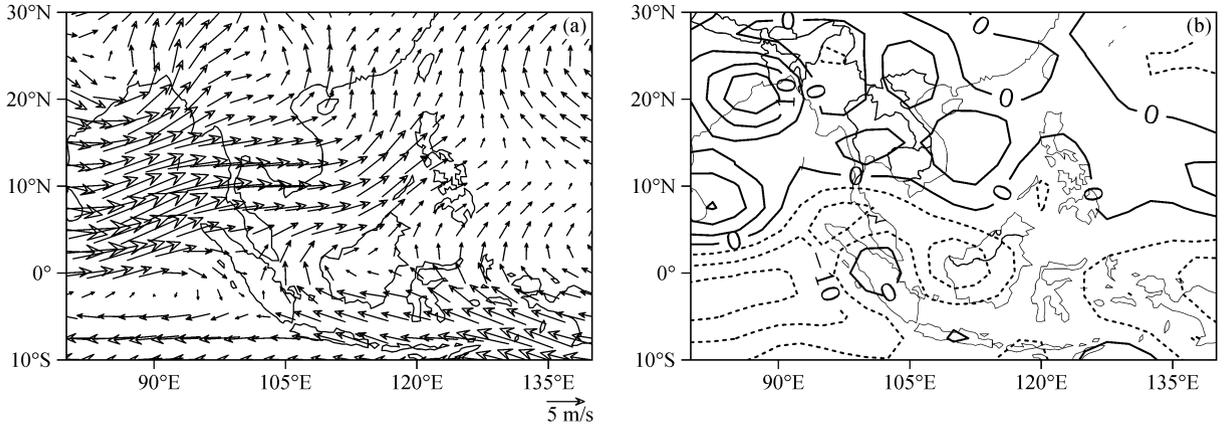


图3 1979~2008年夏半年(5~9)月合成的850 hPa (a) 风场(单位: m/s)和(b)相对涡度(单位: 10^{-6}s^{-1})的分布

Fig. 3 Composite distribution of (a) the wind fields and (b) the relative vorticity (10^{-6}s^{-1}) at 850 hPa averaged from 1 May to 30 Sep during 1979–2008

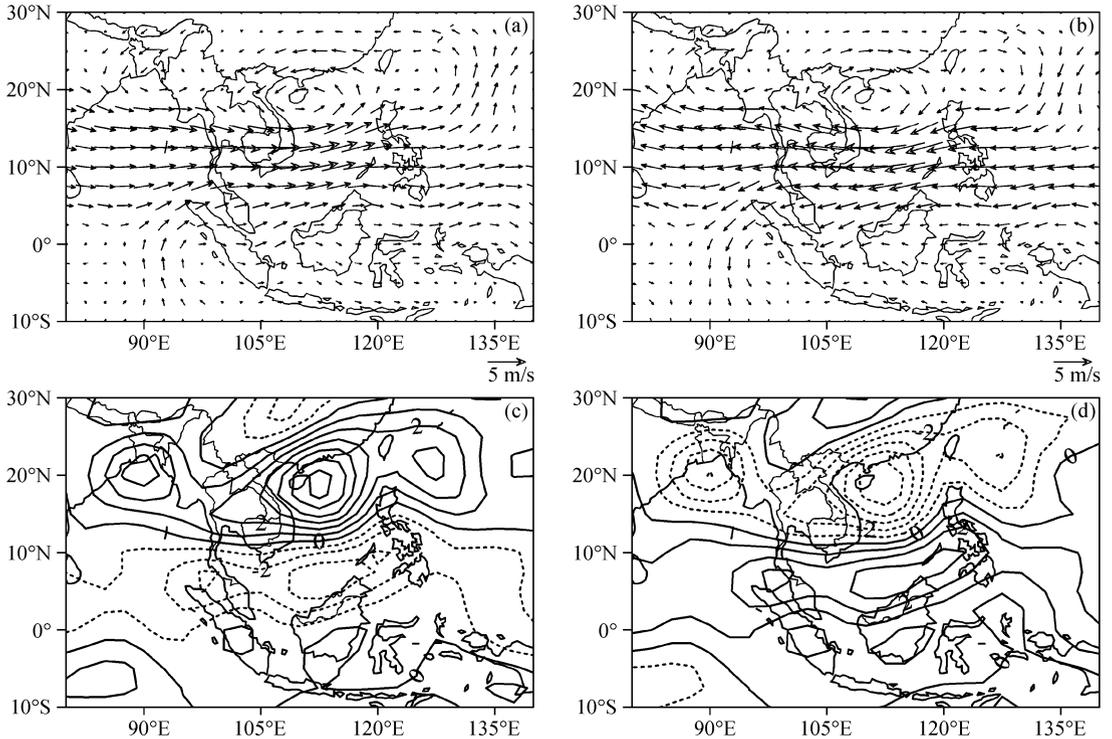


图4 1979~2008年夏半年(5~9月)合成的850 hPa低频风场(a, b, 单位: m/s)以及相对涡度(c, d, 单位: 10^{-6}s^{-1}): (a, c)活跃状态; (b, d)不活跃状态

Fig. 4 Composite (a, b) wind fields and (c, d) relative vorticity (10^{-6}s^{-1}) at 850 hPa with 30–60 day period averaged from 1 May to 30 Sep during 1979–2008; (a, c) For the active phase; (b, d) for the inactive phase

时30~60天低频流场的合成,它的分布几乎和图4a的分布相反,南海、中南半岛、孟加拉湾地区都受到低频偏东风控制,南海和菲律宾北部为低频反气旋流场,这说明30~60天低频振荡处于不活跃状态时,将会减弱南海地区的西南风和南海夏季风

槽,从而减弱南海夏季风。500 hPa上的30~60天低频振荡活跃和不活跃状态的合成结果与850 hPa的分布是类似的,而200 hPa上的低频流场分布特征则与850 hPa和500 hPa上大致是相反的(图略)。对30~60天低频相对涡度的分析表明,在低

频振荡的活跃期 (图 4c), 印度季风槽和南海季风槽地区为正的低频相对涡度, 赤道至 10°N 为负的低频相对涡度带, 因此 30~60 天低频振荡处于活跃状态时, 会增加南海季风槽处的相对涡度; 而在不活跃状态时 (图 4b), 它的分布与活跃状态时的分布是相反的, 说明 30~60 天低频振荡处于不活跃状态时会减弱南海夏季风槽地区的相对涡度。综上所述, 低频振荡的活跃位相对应着加强的南海夏季风活动, 而不活跃位相对应着减弱的南海夏季风活动。

4 30~60 天低频振荡对南海夏季风的可能影响

图 5a 是 1979~2008 年平均的夏半年 (5~9 月) 850 hPa 30~60 天低频相对涡度变化标准差的分布, 它反映了夏半年 30~60 天低频振荡变化的空间分布特征。图 5b 是 1979~2008 年夏半年 (5~9 月) 850 hPa 相对涡度变化的年际变化标准差的平均分布。图 5a 和图 5b 的分布特征是比较相似的, 特别是南海和菲律宾附近都为大值中心, 两者的空间相关系数达到 0.44, 其中南海地区的空间相关系数达到 0.6。因此, 夏半年平均的相对涡度的年际变化与 30~60 天低频振荡的变化关系密切。

进一步对 850 hPa 风场的夏半年平均场和夏半年 30~60 天的低频变化场进行 EOF 分析, 它们第

一模态的方差贡献分别为 35% 和 54%, 都通过了 North 检验 (North et al., 1982)。图 6a 和 6b 分别为 850 hPa 风场的夏半年平均场年际变化和夏半年 30~60 天的低频变化场的 EOF 分析的第一模态的空间分布。从图 6a 可以看出, 当时间系数为正时, 南海、中南半岛、孟加拉湾地区受东风控制, 南海和菲律宾北部则存在反气旋流场; 这和图 6b 的空间分布是类似的。这就说明夏半年 30~60 天低频振荡变化空间分布和平均场的年际变化的空间分布是类似的, 也进一步说明夏半年低频振荡的变化与平均场的年际变化有密切关系。当夏半年低频振荡活跃状态为主要模态时有可能导致强的南海夏季风年, 如果低频振荡不活跃状态为主要模态时可能导致弱的南海夏季风年。

为了揭示 30~60 天低频振荡的变化可能对南海夏半年平均场年际变化的贡献, 我们分别以相对涡度和 OLR 为例计算了 1979~2008 年 30~60 天低频振荡活动年际变化的标准差与夏半年平均场年际变化标准差的比值分布 (图 7)。由图 7 可见, 在南海地区相对涡度和 OLR 的比值都超过了 40%, 因此在南海地区 30~60 天低频振荡活动的年际变化对夏半年平均场的年际变化可以产生重要影响。

前面的分析表明, 当 30~60 天低频振荡处于活跃状态时可以增强南海夏季风槽以及南海夏季风, 当 30~60 天低频振荡处于不活跃状态时则相

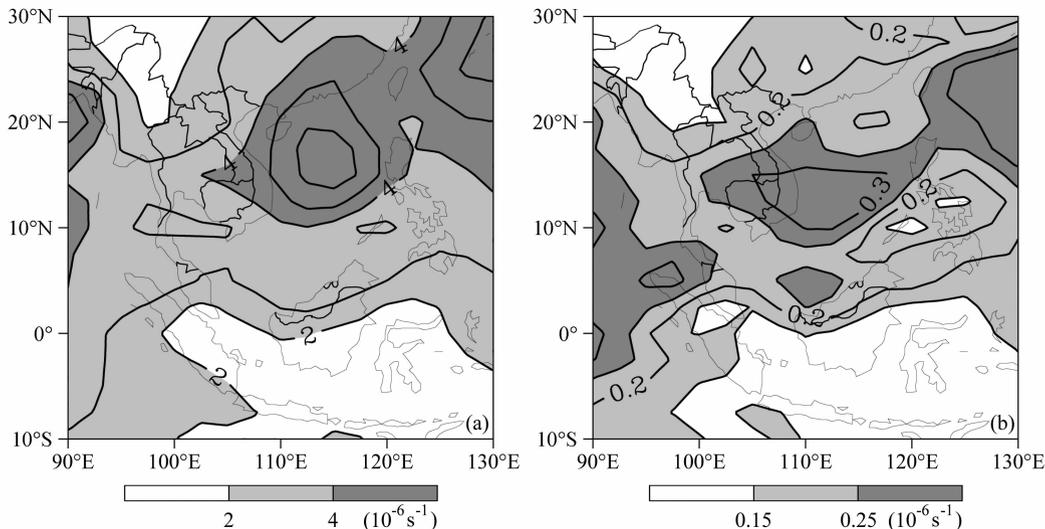


图 5 (a) 1979~2008 年夏半年 850 hPa 30~60 天低频相对涡度变化标准差以及 (b) 相对涡度变化标准差的 30 年平均分布 (单位: 10^{-6} s^{-1})

Fig. 5 Standard deviations for (a) the low frequency component of relative vorticity and (b) the mean relative vorticity at 850 hPa from 1 May to 30 Sep averaged for 30 years (1979 - 2008). Contour intervals are $1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ in (a) and $0.25 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ in (b)

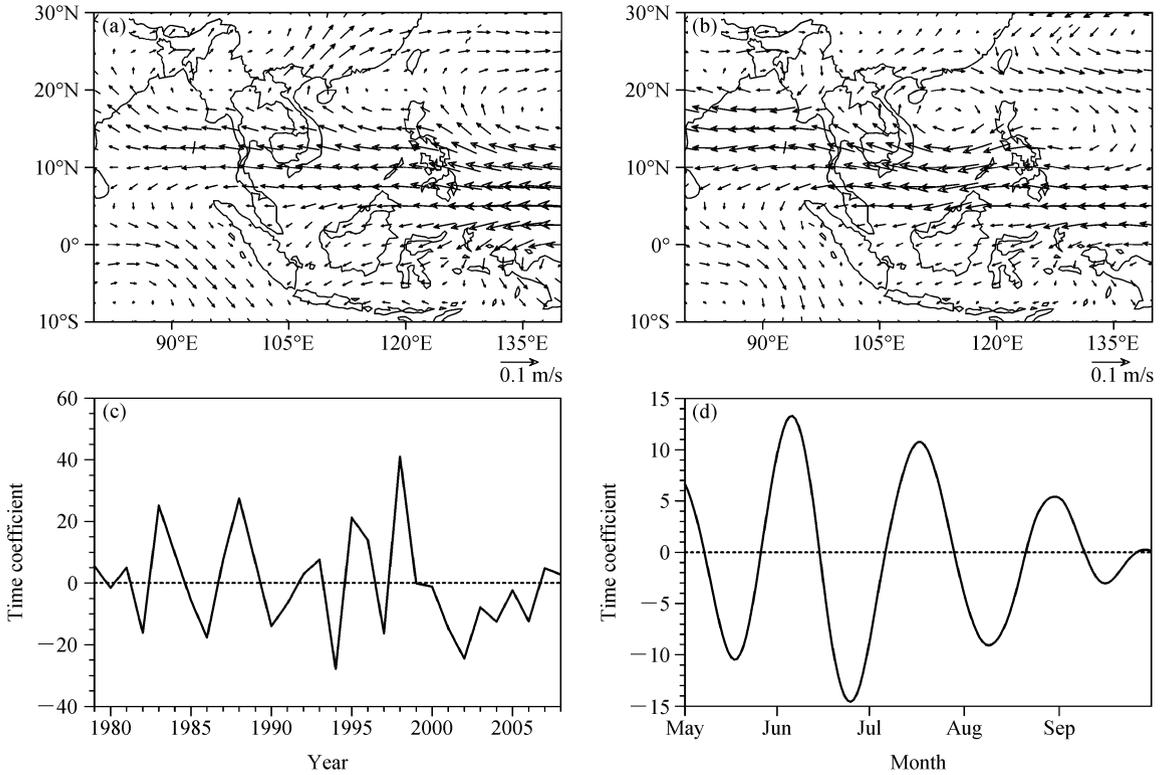


图 6 EOF 分析第一模态空间分布 (a, b) 和时间系数 (c, d); (a, c) 1979~2008 年夏半年平均 850 hPa 风场; (b, d) 夏半年平均 850 hPa 30~60 天低频振荡风场

Fig. 6 (a, b) The first EOF mode spatial patterns and (c, d) corresponding principal components for (a, c) the summer wind fields and (b, d) the low frequency components of summer wind fields at 850 hPa for 1979-2008

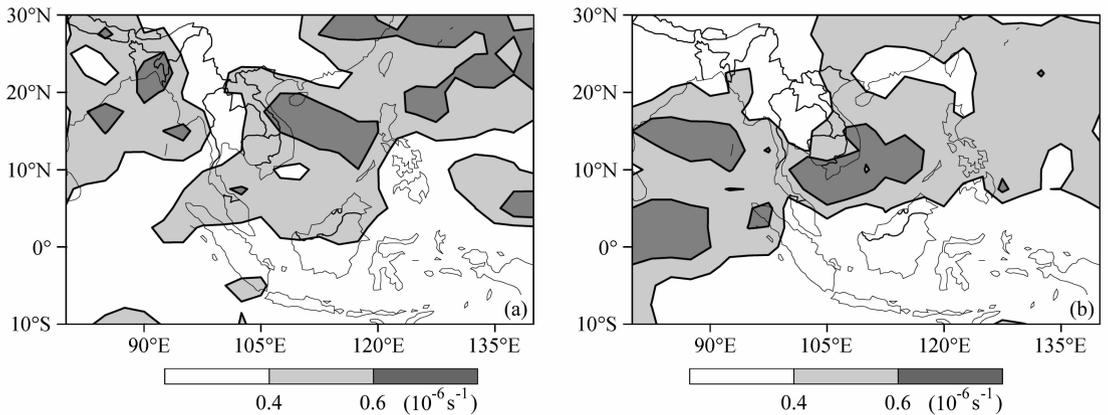


图 7 1979~2008 年 30~60 天低频振荡活动年际变化标准差与 1979~2008 年原始场夏半年平均场年际变化标准差之比分布图: (a) 850 hPa 相对涡度; (b) OLR

Fig. 7 Ratio between standard deviation of interannual variation of the low frequency oscillation activity and interannual variation of the summer mean for 1979-2008; (a) Relative vorticity at 850 hPa; (b) OLR

反; 并且夏季 30~60 天低频振荡变化的空间分布和夏季季节平均场变化的空间分布是类似的。因此, 我们推测南海地区夏季 30~60 天低频振荡活动可能对南海夏季风的年际变化有重要影响。那

么, 是不是在强的南海夏季风年, 低频振荡活跃状态发生的概率就大于中断状态发生的概率? 在弱的南海夏季风年, 不活跃状态发生的概率就大于活跃状态发生的概率? 为证明这一想法, 我们分别对

强、弱夏季风年 850 hPa 相对涡度的 30~60 天低频变化分量合成后再进行 EOF 分析, 并对求得的时间系数求二维概率密度函数。

用来作为南海夏季风强度指数的指标大概有两类: 一类是动力指标(姚永红和钱永甫, 2001)用高低层涡度差作为强度指标; 另一类是用动力指标和热力综合指标(梁建茵等, 1999)采用西南风分量与 OLR 相结合的方法, 张秀芝等(2002)采用湿位涡定义南海夏季风强度指数。事实上, 这些指标之间有很好的相关关系(高辉和梁建茵, 2005)。本文采用梁建茵等(1999)定义的南海夏季风指数。该指数是这样定义的:

$$I = (V - 1.0)/a + (235 - R)/b, \quad (1)$$

$$V = (u + v)/2, \quad (2)$$

式中, I 为南海夏季风强度指数, V 为南海区域平均的西南风, u 为南海区域平均 850 hPa 纬向风, v 为南海区域平均 850 hPa 经向风, R 为南海区域平均向外长波辐射(OLR), a 、 b 为常数, $a=1$ m/s, $b=10$ W/m², 然后采用每年 4~10 月 I 的和表示

该年南海夏季风强度指数。按此定义, 我们分别挑选出强和弱南海夏季风年各 7 年, 强南海夏季风年分别为: 1984、1985、1999、2000、2001、2002、2005; 弱南海夏季风分别为: 1980、1982、1983、1987、1989、1996、2004。

对夏半年(5月1日~9月30日)南海夏季风强、弱年 850 hPa 低频相对涡度分别进行 EOF 分析, 并对求得的第一和第二时间系数求二维概率密度函数。图 8 为南海夏季风强年合成后对 5 月 1 日~9 月 30 日 850 hPa 30~60 天低频相对涡度所求的 EOF 第一和第二模态空间分布及其时间系数。前两个模态的方差贡献分别为 39.33% 和 17.12%, 而且都通过了 North 检验。对所求得的时间系数进行标准化后再求二维概率密度函数, 图 9a 为求得的二维概率密度函数结果, 横坐标表示第一时间系数, 纵坐标表示第二时间系数。图 9a 中明显存在一个大值中心, 中心数值达到 55%, 该概率密度函数大值中心所对应的时间系数发生的概率是最大的。因此, 求得对应此值中心的时间系数, 然后分

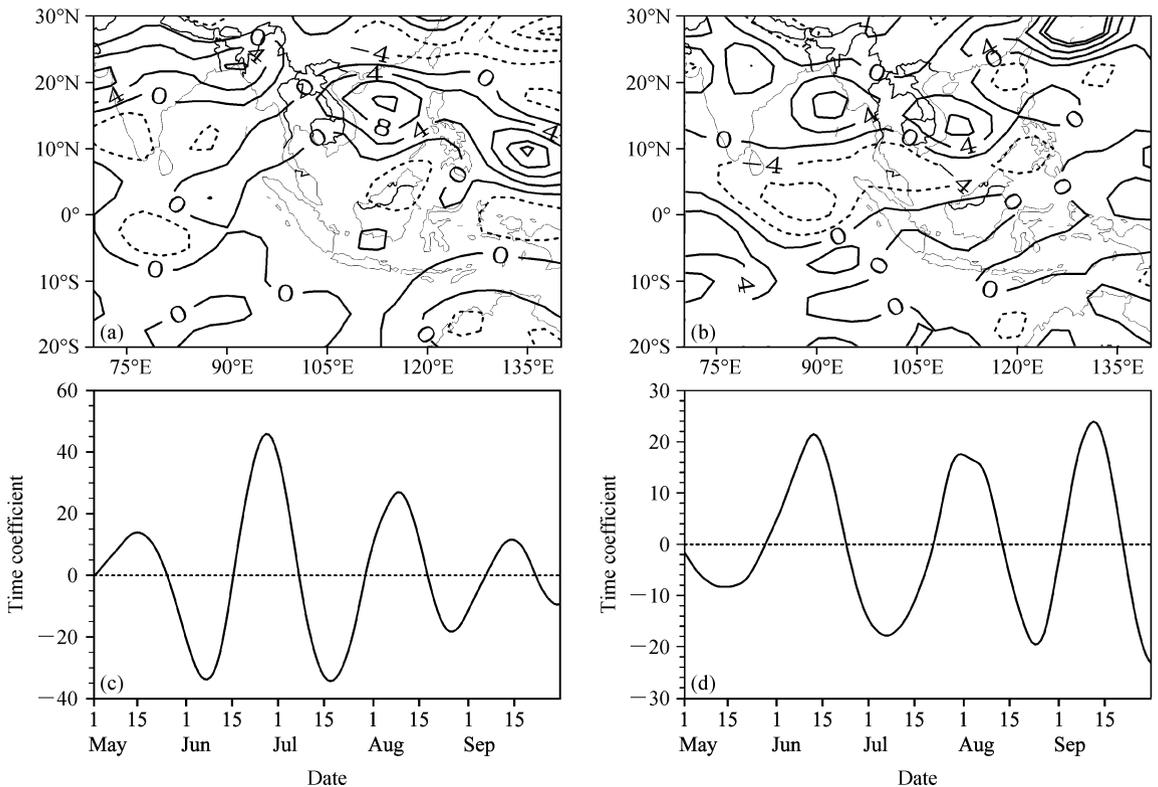


图 8 合成的南海夏季风强年 5 月 1 日至 9 月 30 日 850 hPa 30~60 天低频相对涡度的 EOF (a, c) 第一模态和 (b, d) 第二模态 (a, b) 空间分布 ($\times 10^{-2}$) 和 (c, d) 时间系数

Fig. 8 (a, b) The spatial patterns ($\times 10^{-2}$) and (c, d) principal components of (a, c) the first EOF mode and (b, d) the second EOF mode for composite low frequency component of relative vorticity at 850 hPa from 1 May to 30 Sep in strong monsoon years

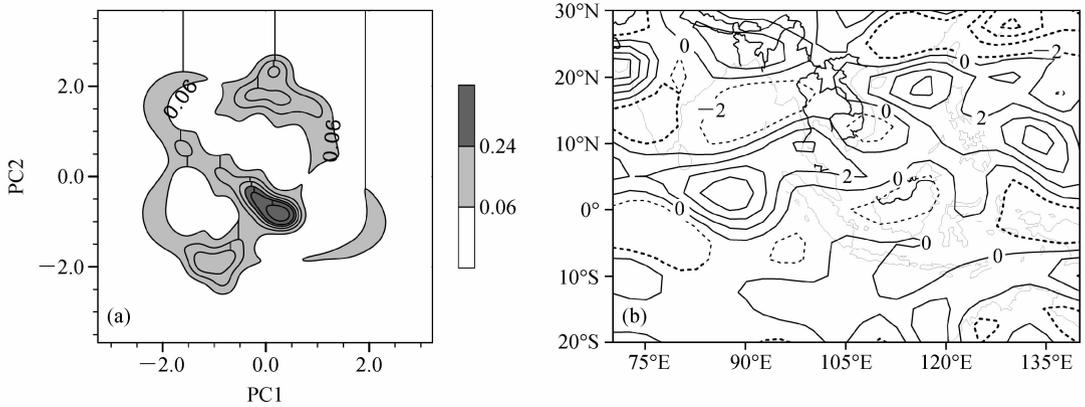


图9 (a) 南海夏季风强年夏半年 850 hPa 低频相对涡度 EOF 分析第一和第二模态所对应的时间系数 (PC1 和 PC2) 的二维概率密度函数分布 (等值线间隔为 0.06); (b) 图 9a 大值中心对应的时间系数乘上相应的空间分布的 EOF 还原图 (单位: 10^{-8} s^{-1})

Fig. 9 (a) Two-dimensional probability density function of the first two principle components (PC1 and PC2) of EOF for the low frequency component of relative vorticity at 850 hPa from 1 May to 30 Sep in strong monsoon years (contour interval is 0.06); (b) retrieved EOF pattern by the principal component with the biggest probability in Fig. 9a multiplied the corresponding spatial pattern (units: 10^{-8} s^{-1})

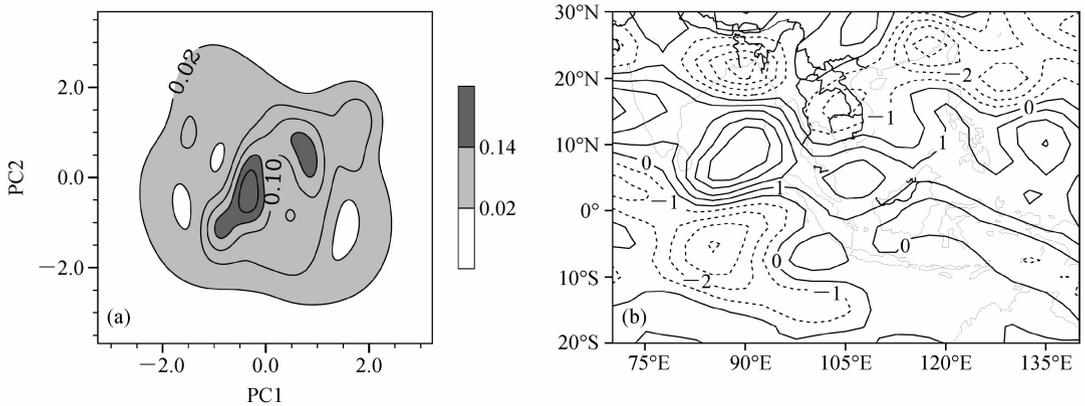


图 10 同图 9, 但为南海夏季风弱年

Fig. 10 Same as Fig. 9, but for weak monsoon years. Contour interval is 0.04 in (a); units are 10^{-8} s^{-1} in (b)

别乘上空间向量, 还原 EOF, 就得到图 9b。从图 9b 中可以看到南海季风槽区为正值区, 这和低频振荡活跃状态时的合成分布是比较一致的, 因此强的南海夏季风年 30~60 天低频振荡活跃状态发生的概率确实是大于不活跃状态发生的概率的。

类似利用南海夏季风弱年合成结果对 5 月 1 日~9 月 30 日 30~60 天低频振荡进行 EOF 分析 (图略), 并对所求得的时间系数进行标准化后再求二维概率密度函数。图 10a 为求得的二维概率密度函数结果, 图中也明显存在一个大值中心, 中心数值达到 22%, 该概率密度函数大值中心对应的时间系数发生的概率是最大的。因此求得对应此大值中心的时间系数然后分别乘上空间向量, 还原 EOF, 得到图 10b。由图 10b 可见, 南海季风槽区基本为

负值区, 这与不活跃状态时的合成分布相似, 因此弱的南海夏季风年 30~60 天低频振荡不活跃状态发生的概率也确实是大于活跃状态发生的概率的。

5 结论和讨论

本文利用 1979~2008 年 NCEP/NCAR-2 的日平均再分析资料、NOAA 的 OLR 资料以及 1979~2007 年全球候平均的 CMAP 降水资料, 采用多种诊断分析方法, 研究了南海地区热带大气低频振荡及其对南海夏季风的可能影响。结果表明, 夏半年南海地区各物理要素都普遍存在 10~90 天的低频振荡周期, 其中 30~60 天季节内振荡周期尤为显著。当 30~60 天低频振荡处于活跃位相时, 南海及其周围地区的低层大气为低频西南风, 南海和菲

律宾北部为低频气旋流场且为正的位涡度, 对流中心位于南海附近一带, 因此低频振荡的活跃位相对应着增强的南海夏季风槽和南海夏季风; 当 30~60 天低频振荡处于不活跃位相时, 情形正好相反。进一步的研究揭示, 南海地区 30~60 天低频振荡对南海夏季风有重要影响。夏半年 30~60 天低频振荡变化的空间型与夏半年平均场的年际变化的空间分布非常相似, 并且南海及其附近地区的 30~60 天低频振荡活动的年际变化对夏半年平均场的年际变化有显著的贡献。利用强、弱南海夏季风年的比较也证明, 强的南海夏季风年 30~60 天低频振荡活跃状态发生的概率明显大于不活跃状态发生的概率, 而弱的南海夏季风年则是不活跃状态发生的概率大于活跃状态发生的概率。从而说明如果 30~60 天低频振荡的活跃状态处于主导时, 南海夏季风往往会偏强; 反之, 如果不活跃状态处于主导时, 南海夏季风往往会偏弱。

要说明的是, 本文主要分析了南海地区大气低频振荡的特征及其对南海夏季风的可能影响, 另一个有意义的问题是大气低频振荡影响南海夏季风的机理。我们的分析发现, 当 30~60 天振荡处于活跃状态时, 南海地区的对流中心位置比较偏北, 大概位于 15°N 左右, 与此同时副热带高压位置偏东, 南海地区主要为西南风控制; 而当 30~60 天振荡处于不活跃状态时, 南海地区的对流中心位置南移, 大概位于 5°N 附近, 并且副热带高压位置偏西, 南海地区主要受偏东风的影响。其中对流的位置及其引起的大气热源可能是导致南海夏季风异常的关键所在, 关于低频振荡影响南海夏季风的机理值得今后作进一步深入的探讨。

参考文献 (References)

Emanuel P. 1962. On estimation of a probability density function and mode [J]. *The Annals of Mathematical Statistics*, 33: 1065 - 1076.

Gadgil S. 2003. The Indian monsoon and its variability [J]. *Annu. Rev. Earth Planet Sci.*, 31: 429 - 467.

高辉, 梁建茵. 2005. 南海夏季风建立日期的确定和东亚夏季风强度指数的选取 [J]. *热带气象学报*, 21: 525 - 532.

Gao Hui, Liang Jianyin. 2005. Definition of South China Sea summer monsoon's onset date and East Asian summer monsoon's index [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 21: 525 - 532

Goswami B N, Ajaya Mohan R S. 2000. Intraseasonal oscillations

and interannual variability of the Indian summer monsoon [J]. *J. Climate*, 14: 1180 - 1198.

Goswami B N, Wu G X, Yasunari T. 2005. The annual cycle, intraseasonal oscillations and roadblock to seasonal predictability of the Asian summer monsoon [J]. *J. Climate*, 19: 5078 - 5099.

黄嘉佑. 2004. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 130 - 134.

Huang Jiayou. 2004. *The Application of Statistic Analysis and Forecast Methods on Meteorology (in Chinese)* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 130 - 134.

琚建华, 赵尔旭. 2005. 东亚夏季风区的低频振荡对长江中下游旱涝的影响 [J]. *热带气象学报*, 21: 163 - 171.

Ju Jianhua, Zhao Erxu. 2005. Impacts of the low frequency oscillation in East Asian summer monsoon on the drought and flooding in the middle and lower valley of the Yangtze River [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*. 21: 163 - 171.

Lau K M, Chan P H. 1986. Aspects of the 40 - 50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing longwave radiation [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 114: 1354 - 1367.

梁建茵, 吴尚森, 游积平. 1999. 南海夏季风的建立及强度变化 [J]. *热带气象学报*, 15: 97 - 105.

Liang Jianyin, Wu Shangsen, You Jiping. 1999. The research on variations of onset time of the SCS summer monsoon and its intensity [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 115: 97 - 105.

李崇银. 1991. 30 - 60 天大气振荡的全球特征 [J]. *大气科学*, 15: 66 - 76.

Li Chongyin. 1991. Global characteristics of 30 - 60 day atmospheric oscillation [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese)*, 15: 66 - 76.

李崇银, 李桂龙. 1998. 热带大气季节内振荡的进一步分析 [J]. *气候与环境研究*, 3: 27 - 37.

Li Chongyin, Li Guilong. 1998. A further analysis on intraseasonal oscillation in the tropical atmosphere [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 3: 27 - 37.

Li Chongyin, Long Zhenxia, Zhang Qingyun. 2001. Strong/weak summer monsoon activity over the South China Sea and atmospheric intraseasonal oscillation [J]. *Adv. Atmos. Sci.*, 18: 1146 - 1160.

林爱兰. 1998. 南海夏季风的低频特征 [J]. *热带气象学报*, 14: 113 - 118.

Lin Ailan. 1998. The characteristics of low-frequency oscillation over South China Sea [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 14: 113 - 118.

刘霞, 谢安, 叶谦, 等. 1998. 南海夏季风爆发的气候特征 [J]. *热带气象学报*, 14: 28 - 37.

Liu Xia, Xie An, Ye Qian, et al. 1998. The climatic characteristics of summer monsoon onset over South China Sea [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 14: 28 - 37.

Madden R A, Julian P A. 1971. Detection of a 40 - 50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific [J]. *J. Atmos. Sci.*, 28: 702 - 708.

毛江玉, 吴国雄. 2005. 1991 年江淮梅雨与副热带高压的低频振荡

- [J]. 气象学报, 63: 762 - 770. Mao Jianguo, Wu Guoxiong. 2005. Intraseasonal variability in the Yangtze - Huaihe River rainfall and subtropical high during the 1991 Meiyu period [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 63: 762 - 770.
- Murakami M. 1979. Large-scale aspects of deep convective activity over the GATE area [J]. Mon. Wea. Rev., 107: 994 - 1013.
- 穆明权, 李崇银. 2000. 1998 年南海夏季风的爆发与大气季节内振荡的活动 [J]. 气候与环境研究, 5: 375 - 387. Mu Mingquan, Li Chongyin. 2000. On the outbreak of South China Sea summer monsoon in 1998 and activity of atmospheric intraseasonal oscillation [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 5: 375 - 387.
- North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al. 1982. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions [J]. Mon. Wea. Rev., 110: 699 - 706.
- 温之平, 黄荣辉, 贺海晏, 等. 2006. 中高纬大气环流异常和低纬 30~60 天低频对流活动对南海夏季风爆发的影响 [J]. 大气科学, 30: 952 - 964. Wen Zhiping, Huang Ronghui, He Haiyan, et al. 2006. The influences of anomalous atmospheric circulation over mid-high latitudes and the activities of 30 - 60 d low frequency convection over low latitudes on the onset of the South China Sea summer monsoon [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30: 952 - 964.
- 姚永红, 钱永甫. 2001. 用湿位涡定义的南海西南季风指数及其与我国区域降水的关系研究 [J]. 南京大学学报 (自然科学版), 37: 781 - 788. Yao Yonghong, Qian Yongfu. 2001. A study on the South China Sea monsoon index and the relationship between the index and regional rainfalls of China [J]. Journal of Nanjing University (Natural Sciences) (in Chinese), 37: 781 - 788.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79: 61 - 78.
- Xie P, Arkin P A. 1997. Global precipitation: A 17-years monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78: 2539 - 2558.
- Yasunari T. 1980. A quasi-stationary appearance of 30 - 40 day period in the cloudiness fluctuations during the summer monsoon over India [J]. J. Meteor. Soc. Japan., 58: 225 - 229.
- 张秀芝, 李江龙, 闫俊岳, 等. 2002. 南海夏季风爆发的环流特征及指标研究 [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.