

# 热带对流季内振荡强度异常特征 及其与海表温度的关系<sup>\* 1</sup>

李丽平<sup>1)</sup> 王盘兴<sup>1)</sup> 管兆勇<sup>1)</sup> 杨松<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(南京信息工程大学, 南京 210044)

<sup>2)</sup>(George Mason University, Fairfax, VA, USA)

## 摘 要

利用外逸长波辐射(outgoing longwave radiation, OLR)资料分析了热带对流季内振荡(ISO)强度的季节变化及年际异常特征,重点研究其与海表温度的关系。结果表明:最强的 OLR 季内振荡主要位于高海表温度(SST)区,即热带印度洋和热带西太平洋区域,终年存在,冬、春季最强,振荡中心偏于夏半球。OLR 季内振荡强度年际异常显著区域是热带中东太平洋区域、西北太平洋区域和西南太平洋区域,它与 SST 年际异常存在局地正相关关系,伴随环流的辐合辐散,并与 ENSO 事件关系密切。另外,El Niño 事件发生之前,热带印度洋和热带西太平洋区域 OLR 季内振荡增强,其中心随事件的发展逐渐东移,事件发生后这两个区域 ISO 减弱,这与 OLR 季内振荡强度年际异常显著的区域具有内在连贯性。海表温度是决定 OLR 季内振荡强度季节变化、年际异常的一个关键因子。

**关键词:** 季内振荡; 季节变化及年际异常; 热带对流; 海表温度

## 引 言

季节内振荡,即 30 ~ 60 d 低频振荡, Madden 和 Julian 首先在热带大气中发现<sup>[1-2]</sup>,由于其同月、季时间尺度长期天气预报和短期气候预测均有密切关系<sup>[3-5]</sup>,多年来一直受到广大气象学家高度重视,是大气科学主要前沿研究课题之一<sup>[6-7]</sup>。近 10 年来,关于季节内振荡的研究,特别是其大尺度和多尺度结构、不同尺度之间的相互作用、海气相互作用、季节内振荡的预测、机制及其对 ENSO 的影响方面均取得丰硕成果<sup>[8-11]</sup>。

热带大气季节内振荡与海表温度关系一直倍受国内外大气科学家关注。其中,热带大气季节内振荡强度异常与 El Niño 型海温异常关系又是一个重要研究分支。许多观测研究认为季节内振荡可能是 ENSO 事件的激发机制,且 El Niño 事件发生之前有强热带大气季节内振荡活动,事件发生后 ISO 强度明显减弱<sup>[7]</sup>。陈隆勋等<sup>[12]</sup>对 OLR 资料分析发现,1982 年 El

Niño 事件发生前,东半球赤道附近季节内振荡异常活跃,并且在印度洋和西太平洋各有一个显著的振荡中心,具有明显向东传播特征。事件发生后,东半球振荡减弱,上述振荡中心消失。Kousky 等<sup>[13]</sup>指出季节内振荡在 El Niño 年趋于不太活跃。李崇银等<sup>[14-15]</sup>、龙振夏等<sup>[16]</sup>分析指出在 El Niño 事件发生之前,热带大气(尤其是赤道西太平洋地区)季节内振荡异常加强;伴随 El Niño 事件发生,热带大气季节内振荡强度明显减弱。1997—1998 年的 El Niño 事件是 20 世纪以来最强的一次事件,伴随有 1997—1998 年冬季强的 ISO 活动<sup>[17]</sup>。

另有一些观测结果对季节内振荡与 ENSO 的关系提出异议。Slingo 等<sup>[18]</sup>和 Hendon 等<sup>[19]</sup>指出热带大气季节内振荡的年际变化和 ENSO 型海表温度异常之间只有非常弱的同时性负相关。除了季节内振荡活动的向东传播,在不同的暖事件期间不存在其他共同现象<sup>[20-21]</sup>。一些数值模拟结论也存在类似争议。王盘兴等<sup>[22]</sup>的数值模拟表明:El Niño 事件发生后,大气季节内振荡的强度减弱,其结构趋于正压。

\* 江苏省高校自然科学基金(06KJD170114(Y686))、江苏省灾害实验室项目(KLME060101)和国家自然科学基金项目(40695025)共同资助。

2007-01-09 收到,2007-07-25 收到再改稿。

Slingo 等<sup>[23]</sup>提出热带大气季节内振荡在 El Niño 年趋于不太活跃。Kessler 等<sup>[24]</sup>给出了 1997—1998 暖事件的模拟,其中,太平洋中大气季节内振荡增强了的 SST 异常占 30%。Moore 等<sup>[25]</sup>指出在一个稳定耦合系统中 ENSO 循环可能被类似与大气季节内振荡的大气高频扰动维持。Syu 等<sup>[26]</sup>指出海洋对未耦合、高频强迫的响应是相当线性的,没有显示出和 ENSO 循环以任何明显方式有关。Zebiak<sup>[27]</sup>用一个简化模式进行的数值试验指出,大气季节内变率对 ENSO 影响弱。

上述资料分析和数值模拟结果表明,关于热带大气季节内振荡与海表温度异常的相互作用还存在颇多争议,大致可概括为两种观点,一种观点认为热带大气季节内振荡可能是 ENSO 事件的激发机制,且在 El Niño 事件发生之前增强,事件之后减弱;另一种观点认为二者的年际异常关系很弱。导致这些结论差异的原因之一可能与研究所选要素本身特性有关。观测事实已显示热带大气季节内振荡是大气环流和深厚对流的大尺度耦合模态,其信号表现在很多要素或变量中<sup>[9]</sup>。本研究利用代表对流状况的 OLR 资料,分析热带对流季节内振荡强度的季节变化及年际异常特征,在此基础上,进一步探讨其与海表温度及 El Niño 事件的关系,力求给出热带对流季内振荡强度与海表温度异常之间的一个较清晰的关系,这对进一步明确热带大气季节内振荡的维持机制及其与 ENSO 的关系都具有重要意义。

## 1 资料及 ISO 强度指数的定义

### 1.1 资料

本文使用资料包括:1979 年 1 月 1 日—2000 年 9 月 19 日全球范围 NCAR/NOAA 的 OLR 资料,分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ;1948 年 1 月 1 日—2002 年 12 月 31 日全球范围 NCEP/NCAR 风场,水平分辨率为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ ,共 17 层。本文使用其中的 200 hPa 和 850 hPa 资料;英国气象局整编的 1950 年 1 月—2002 年 12 月全球逐月 SST 格点资料,水平分辨率为  $2^\circ \times 2^\circ$ 。

### 1.2 ISO 强度指数定义

首先去除 OLR 资料季节循环<sup>[7]</sup>,再用参数  $n = 182$  d 的 Lanczos 带通滤波器<sup>[28]</sup>从中滤出 ISO 分量。

为研究 ISO 强度的气候及异常特征,定义一个合理描述 ISO 强度指数是重要的。学者们根据研究的具体情况定义了不同的 ISO 强度指数<sup>[17,29-33]</sup>,每种指数都有各自的优点。本文用能量来定义 ISO 强度,该指数的优点在于计算简单,意义清晰。

取 12 月 1 日、3 月 1 日、6 月 1 日、9 月 1 日为北半球冬、春、夏、秋季开始日,各季长 90 日,对  $t_y$  年、 $t_s$  季、 $t_d$  日、 $(i, j)$  点的某要素序列  $R_{OL}(i, j, t_d, t_s, t_y)$ , 得该要素场在  $t_y$  年、 $t_s$  季季内振荡分量的能量

$$\bar{E}_{OLR}(i, j, t_s, t_y) = \sum_{t_d=1}^{90} \bar{R}_{OL}^2(i, j, t_d, t_s, t_y) / 90 \quad (1)$$

以及总能量

$$\hat{E}_{OLR}(i, j, t_s, t_y) = \sum_{t_d=1}^{90} \hat{R}_{OL}^2(i, j, t_d, t_s, t_y) / 90 \quad (2)$$

由式(1)、(2)可得到  $t_s$  季多年平均的季内振荡能量和总能量,分别记为

$$\bar{\bar{E}}_{OLR}(i, j, t_s) = \sum_{t_y=1}^{m_y} \bar{E}_{OLR}(i, j, t_s, t_y) / m_y \quad (3)$$

$$\bar{\hat{E}}_{OLR}(i, j, t_s) = \sum_{t_y=1}^{m_y} \hat{E}_{OLR}(i, j, t_s, t_y) / m_y \quad (4)$$

以及它们的比值

$$\bar{\rho}(i, j, t_s) = \bar{\bar{E}}_{OLR}(i, j, t_s) / \bar{\hat{E}}_{OLR}(i, j, t_s) \times 100\% \quad (5)$$

其中  $m_y$  为总年数,式(3)~式(5)的结果用于分析 OLR 季内振荡强度的季节变化及年际异常特征。

另外,利用  $u, v$  资料计算了 200 hPa 和 850 hPa 辐散风场<sup>[34]</sup>。

## 2 OLR 季内振荡强度季节变化及与海温的关系

为研究 OLR 季内振荡强度的季节变化特征,给出 OLR 多年平均季内振荡能量分布图(图 1)。可见,  $60^\circ\text{E} \sim 180^\circ$  的热带印度洋区域和热带西太平洋区域常年存在强季内振荡活动;北半球冬、夏季(春、秋季图略,下文的春、夏、秋、冬季均指北半球的季节)最强,范围最大;由冬到夏,中心位置由  $10^\circ\text{S}$  移向  $10^\circ\text{N}$  附近。其他区域的季内振荡较弱,且为季节性现象,较规则的有南美东部、非洲东南部和墨西哥附近。OLR 的 4 个季节季内振荡能量图(图略)进一步说明上述结论。上述结论也验证了早期用 OLR 作为分析对象所得的结论<sup>[35-36]</sup>。

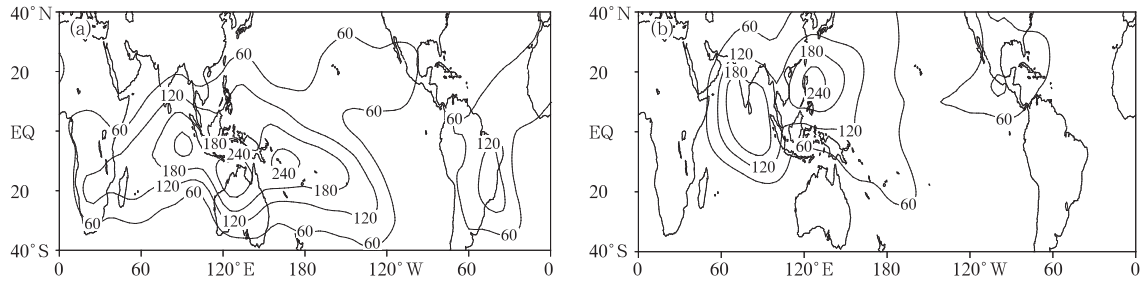


图1 OLR ISO 能量季节平均分布图(单位: $W^2/m^4$ ) (a) 12月—次年2月,(b) 6—8月  
Fig. 1 Seasonal mean OLR ISO energy (unit: $W^2/m^4$ ) (a) from Dec to next Feb, (b) from Jun to Aug

为探讨 ISO 气候最强区域分布的背景原因,给出冬夏两个季节多年平均的 OLR 季内振荡能量分布与 SST 纬向偏差场以及 850 hPa(图 2)和 200 hPa(图 3)辐散风场配置的情况。比较两图可见,OLR 最强季内振荡区主要位于 SST 纬向偏差高值区,即热带印度洋和热带西太平洋区域;850 hPa 辐散风场(图 2)和 200 hPa 辐散风场(图 3)的辐合、辐散中心

与 SST 高值区一致。以往研究指出,热带大气季节内振荡最强中心位置的季节变化与 ITCZ 的平均位置有关<sup>[7]</sup>,Salby 等<sup>[37]</sup>曾用大气对热带热源纬向位置的响应来解释 ISO 强度位置的季节变化。用本文定义的季节内振荡强度指数所得出的上述结论,再次证实前人的研究成果,反映了该指数的合理性。

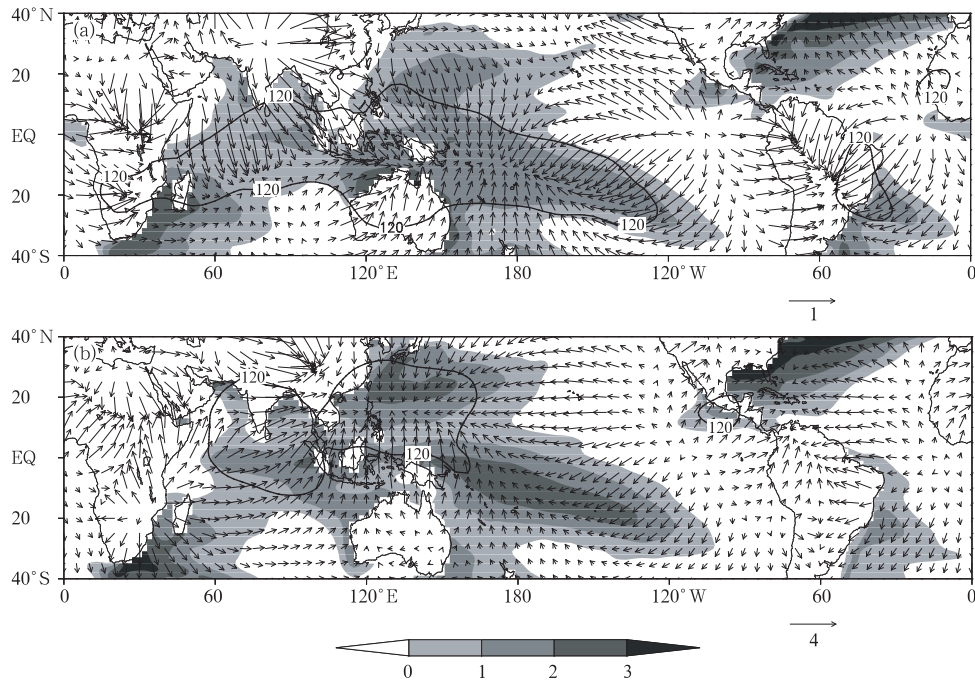


图2 850 hPa 辐散风(矢量,单位:m/s)、SST 的纬向偏差(阴影,单位:°C)、OLR 的 ISO 能量(粗实线包围的区域,单位: $W^2/m^4$ ) (a) 12月—次年2月,(b) 6—8月  
Fig. 2 850 hPa divergence wind (vector, unit:m/s), SST zonal departure (shaded, unit: °C), OLR ISO energy (circled by thick line, unit:  $W^2/m^4$ ) (a) from Dec to next Feb, (b) from Jun to Aug

### 3 OLR 季内振荡强度年际异常及与海温的关系

为研究 OLR 季内振荡强度年际异常( $\bar{E}'_{OLR}$ )特征及其与海表温度异常  $T'_{SS}$  的关系,截取 3 种资料

即  $\bar{E}'_{OLR}$ ,  $T'_{SS}$  和辐散风场异常  $V'_{d200}$ ,  $V'_{d850}$  的共同时段,即 1980 年 1 月—1999 年 12 月共 240 个月,空间范围取为  $30^\circ S \sim 30^\circ N$ ,  $30^\circ E \sim 120^\circ W$ ,并对 4 个季节的  $T'_{SS}$ ,  $V'_{d200}$ ,  $V'_{d850}$  与  $\bar{E}'_{OLR}$  作奇异值分解(SVD)<sup>[38]</sup>。

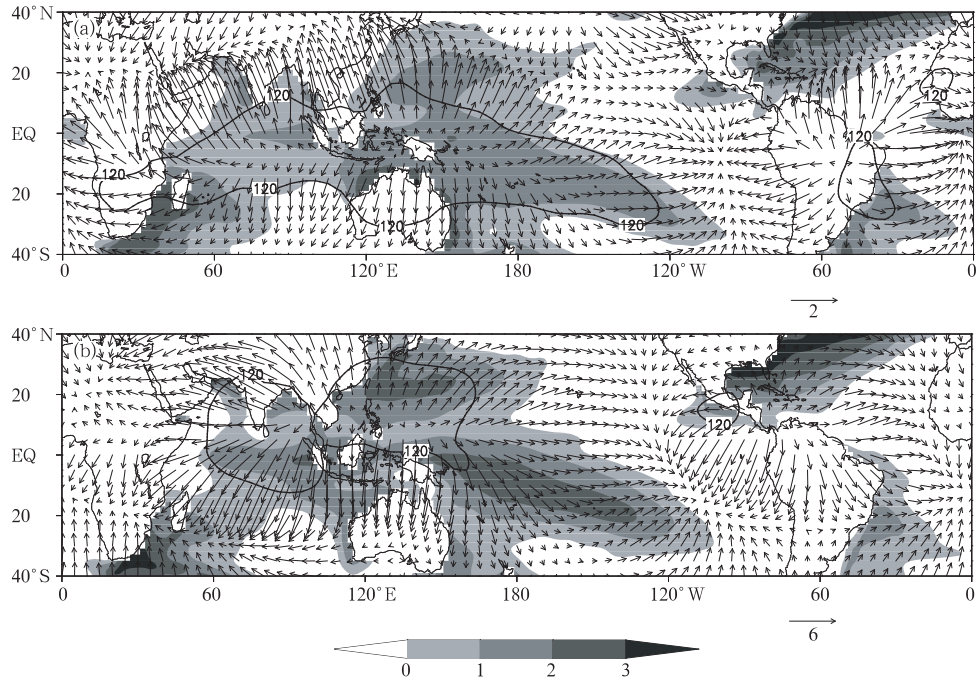


图3 同图2,但为200 hPa辐散风场

Fig. 3 Same as in Fig. 2, but for 200 hPa divergence wind

### 3.1 方差分析和相关分析

分别对4个季节的  $T'_{ss}$ ,  $V'_{d200}$ ,  $V'_{d850}$  与  $\bar{E}'_{OLR}$  作奇异值分解,表1给出了SVD第一模态的模方拟合率  $\rho_1$  及相关系数  $r_1$ 。第一模态均通过  $\alpha = 0.05$  的 Monte Carlo 显著性检验,  $r_1$  均取为高值。故下面仅讨论各季 SVD 第一模态。

表1 SVD 第一模态的  $\rho_1$  (单位: %)、相关系数  $r_1$   
Table 1  $\rho_1$  of the SVD first mode (unit: %) and correlation coefficient  $r_1$

参数		季节			
		冬季	春季	夏季	秋季
$V'_{d200} \sim \bar{E}'_{OLR}$	$\rho_1$	49.73*	42.28*	49.65*	64.81*
	$r_1$	0.85	0.86	0.90	0.93
$V'_{d850} \sim \bar{E}'_{OLR}$	$\rho_1$	59.73*	38.7*	37.05*	76.88*
	$r_1$	0.90	0.87	0.87	0.92
$T'_{ss} \sim \bar{E}'_{OLR}$	$\rho_1$	42.67*	34.95*	36.67*	67.77*
	$r_1$	0.86	0.78	0.85	0.84

注: \* 表示通过  $\alpha = 0.05$  Monte Carlo 显著性检验<sup>[39]</sup>。

### 3.2 奇异向量与时间系数分析

图4~5给出冬季  $\bar{E}'_{OLR}$  分别与  $T'_{ss}$ ,  $V'_{d200}$ ,  $V'_{d850}$  的SVD第一奇异向量及时间系数。可见,OLR季内振荡强度年际异常与海表温度、辐散风场在一些海域存在显著正相关关系,即赤道中、东太平洋(西北、西南太平洋区域)海表温度异常升高(降低),伴随低层辐散风场的辐合(辐散)与高层辐散风场的

辐散(辐合),相应局地对流增强(抑制),局地 OLR 的 ISO 增强(减弱);这种年际异常的局地关系在赤道西太平洋较上述3个区域弱,印度洋区域则基本不存在这样的局地关系;时间系数曲线峰、谷与 El Niño, La Niña 事件对应良好,可知该模态与 ENSO 事件关系密切。春季  $\bar{E}'_{OLR}$  与  $T'_{ss}$ ,  $V'_{d200}$ ,  $V'_{d850}$  存在类似冬季的局地关系,但赤道中、东太平洋区域 OLR ISO 能量异常的范围和强度均较后者减小,西北、西南太平洋区域和热带印度洋区域异常的范围和强度增大(图略)。

由夏季  $\bar{E}'_{OLR}$  与  $T'_{ss}$ ,  $V'_{d200}$ ,  $V'_{d850}$  的SVD第一奇异向量(图6)及其时间系数(图7)可见,时间系数曲线峰(谷)值与 El Niño (La Niña) 事件对应关系弱于北半球冬春季。奇异向量中除赤道中、东太平洋  $T'_{ss}$ ,  $V'_{d200}$ ,  $V'_{d850}$  与  $\bar{E}'_{OLR}$  存在类似冬春季的局地关系及分布外,我国华南及南海、热带西太平洋区域也有显著的 OLR 季内振荡能量负异常。Huang 等<sup>[40]</sup> 研究指出,夏季我国长江流域降水与菲律宾周围对流活动有负相关关系,由此看来,本文得出的这一异常特征可能与我国东部夏季降水异常存在一定关系,有待进一步研究。秋季  $\bar{E}'_{OLR}$  与  $T'_{ss}$  正相关的局地关系更弱,该模态也与 ENSO 关系较密切(图略)。

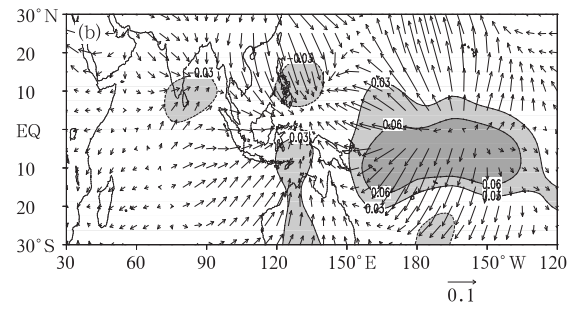
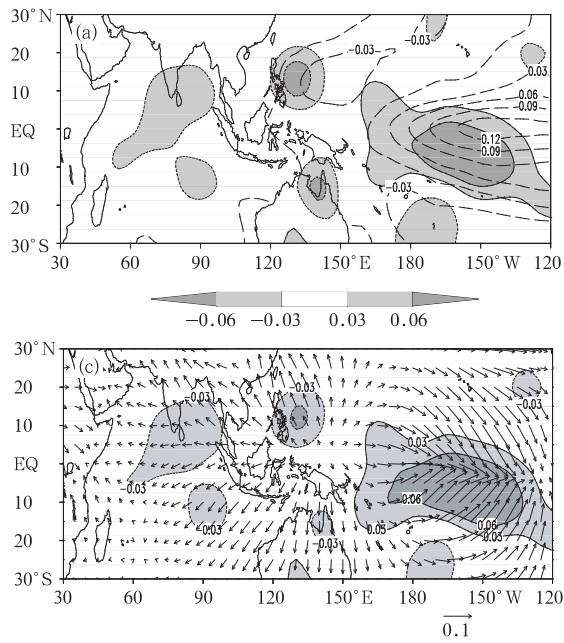


图4 冬季 SVD 第一奇异向量(阴影区为  $\bar{E}'_{OLR}$ , 单位:  $W^2/m^4$ ; 断线为  $T'_{ss}$ , 单位:  $^{\circ}C$ ; 矢量为  $V'_d$ , 单位:  $m/s$ ) (a)  $\bar{E}'_{OLR} \sim T'_{ss}$ , (b)  $\bar{E}'_{OLR} \sim V'_{d200}$ , (c)  $\bar{E}'_{OLR} \sim V'_{d850}$

Fig.4 SVD first eigenvectors in the boreal winter ( $\bar{E}'_{OLR}$ : shaded, unit:  $W^2/m^4$ ;  $T'_{ss}$ : long dashed line, unit:  $^{\circ}C$ ;  $V'_d$ : vector, unit:  $m/s$ ) (a)  $\bar{E}'_{OLR} \sim T'_{ss}$ , (b)  $\bar{E}'_{OLR} \sim V'_{d200}$ , (c)  $\bar{E}'_{OLR} \sim V'_{d850}$

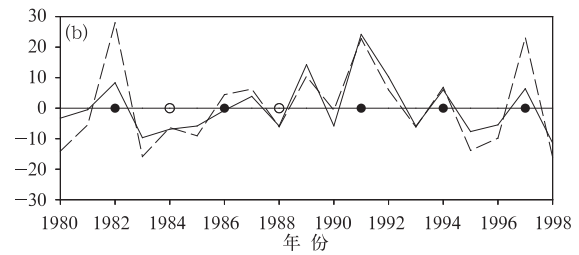
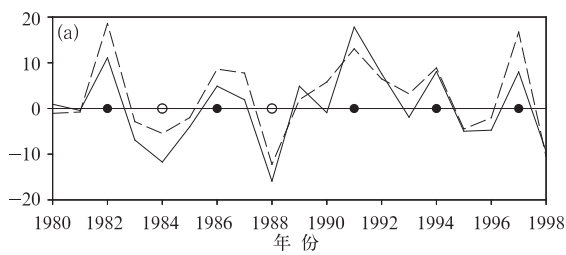


图5 冬季 SVD 第一奇异向量(实线为  $\bar{E}'_{OLR} \times 10^{-2}$ , 虚线为  $T'_{ss}, V'_d$ ; ● 对应 El Niño 年, ○ 对应 La Niña 年) (a)  $\bar{E}'_{OLR} \sim T'_{ss}$ , (b)  $\bar{E}'_{OLR} \sim V'_{d200}$ , (c)  $\bar{E}'_{OLR} \sim V'_{d850}$

Fig.5 SVD first time coefficients in the boreal winter (solid line:  $\bar{E}'_{OLR} \times 10^{-2}$ ; dashed line:  $T'_{ss}, V'_d$ ; ● for El Niño events; ○ for La Niña events) (a)  $\bar{E}'_{OLR} \sim T'_{ss}$ , (b)  $\bar{E}'_{OLR} \sim V'_{d200}$ , (c)  $\bar{E}'_{OLR} \sim V'_{d850}$

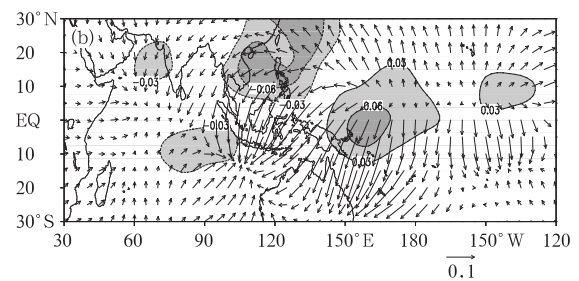
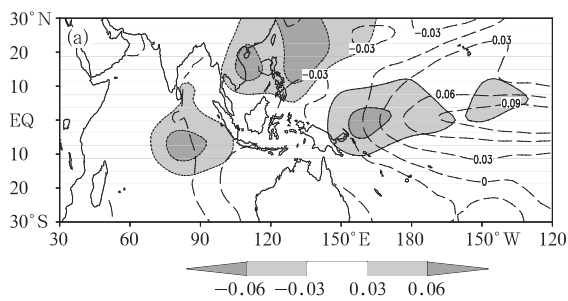
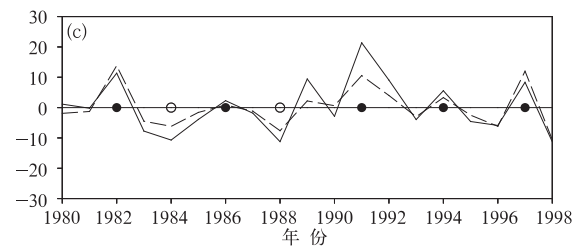
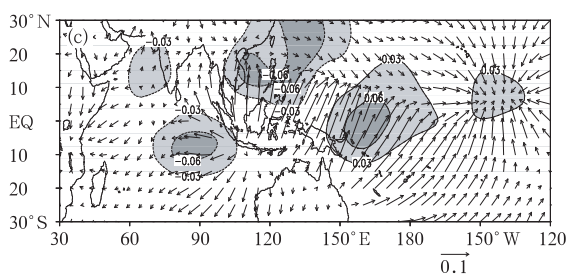


图6 同图4, 但为夏季 SVD 第一奇异向量

Fig.6 Same as in Fig.4, but for the boreal summer





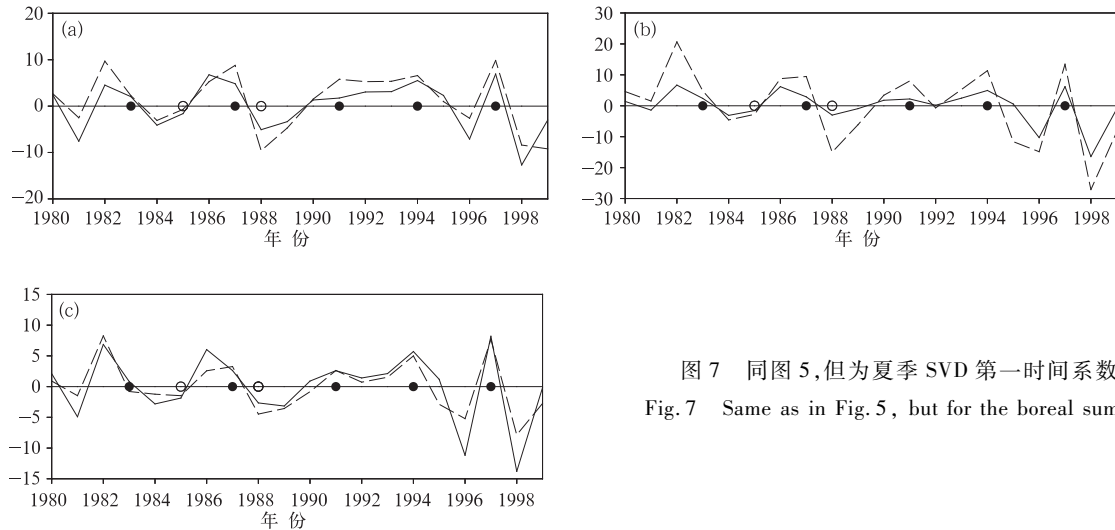


图7 同图5,但为夏季 SVD 第一时间系数  
Fig. 7 Same as in Fig. 5, but for the boreal summer

可见,OLR 季内振荡强度年际异常显著的区域是热带中、东太平洋区域、西北、西南太平洋区域,热带西太平洋区域的显著性稍弱;在年际异常显著的区域,OLR 季内振荡能量正(负)异常出现在海表温度正(负)异常区域,伴随有低层辐合(辐散)、高层辐散(辐合)的环流异常,并与 El Niño (La Niña) 事件关系密切;这一关系在冬、春季最清楚,夏、秋季略弱。

### 3.3 太平洋关键区 $\tilde{E}'_{OLR}$ 和 $T'_{ss}$ 序列的局地相关

由上节分析可知,太平洋一些区域 OLR 季内振荡强度异常与  $T'_{ss}$  存在显著局地正相关关系,为了更清楚显示这一结果,根据前文对 OLR 季内振荡强度年际异常特征的分析,划定 4 个关键区,即热带西太平洋区域  $130^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$ ,  $10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ ; 西北太平洋区域  $160^{\circ}\text{E} \sim 150^{\circ}\text{W}$ ,  $20^{\circ}\text{N} \sim 40^{\circ}\text{N}$ ; 西南太平洋区域  $160^{\circ}\text{E} \sim 150^{\circ}\text{W}$ ,  $40^{\circ}\text{S} \sim 20^{\circ}\text{S}$ ; 赤道东太平洋  $140^{\circ}\text{W} \sim 90^{\circ}\text{W}$ ,  $10^{\circ}\text{S} \sim 10^{\circ}\text{N}$ , 得到了 4 个关键区域 OLR 季内振荡能量异常与海表温度时间序列曲线(图略),并计算 OLR 季内振荡能量异常与海表温度的相关系数。赤道东太平洋区域、西南太平洋区域、西北太平洋区域二者呈显著正相关,相关系数分别为 0.83, 0.48, 0.47, 表明当这 3 个区域海表温度升高(降低)时,OLR 季内振荡增强(减弱)。热带西太平洋区域 OLR 季内振荡能量异常与海表温度的相关系数仅为 -0.12, 这进一步证明了上节结论。

很多研究指出,El Niño 事件发生之前,季节内振荡增强,事件发生之后减弱<sup>[16,7]</sup>,这似乎和上述结论存在一定矛盾,为此,本文选 1982—1983, 1986—1987, 1997—1998 年 3 次典型的 El Niño 事件<sup>[41]</sup>过程进行分析。过程的合成结果和个例(图略)均显

示,El Niño 事件发生之前,季节内振荡最强的热带印度洋和热带西太平洋区域有强的季节内振荡产生并逐渐东移,事件发生时,这两个区域以及西北、西南太平洋区域季节内振荡减弱,热带中东太平洋区域季节内振荡增强,这一结论和前人的研究结果不矛盾。

气候上西北太平洋、西南太平洋和赤道东太平洋是 OLR 季内振荡较弱的区域,但这些区域却是海表温度年际异常最显著区域,说明这些区域海表温度年际异常对 OLR 季内振荡强度异常起决定性作用。由此可知,海表温度年际异常最强信号就是 ENSO,且这一信号在冬、春季最显著,故本文得到的季内振荡强度异常与海表温度异常局地关系与 ENSO 事件存在密切关系也就可以理解。气候上热带西太平洋区域 OLR 的季内振荡较强,但该区域海温年际异常较弱,不足以引起显著的季节内振荡异常,故该区域二者关系也较弱。对比 OLR 季内振荡强度季节变化和年际异常分析的结果,发现 OLR 季节内振荡在这两种不同时间尺度上的变化存在本质的一致性,即海表温度是决定 OLR 季内振荡强度变化的关键因素。

## 4 结 论

本文详细分析了 OLR 季内振荡强度的变化及年际异常特征,特别探讨了其与海表温度异常的关系,得到如下主要结论:

1) 气候上,OLR 的季内振荡强活跃区位于高海温区,即热带印度洋和热带西太平洋区域,终年存在;北半球 OLR 季内振荡冬、春季明显强于夏、秋

季;热带海洋加热大气形成的 ITCZ 是强 OLR ISO 产生的背景。

2) OLR 季内振荡强度年际异常显著区域是热带中东太平洋区域、热带西北太平洋区域和热带西南太平洋区域, OLR 季内振荡能量正(负)异常出现在海表温度正(负)异常显著的区域, 伴随有低层辐合(辐散)、高层辐散(辐合)的环流异常, 并与 El Niño(La Niña)事件关系密切, El Niño 事件时, 热带中东太平洋区域季内振荡增强, 西北、西南太平洋区域季内振荡强度减弱。

### 参考文献

- [ 1 ] Madden R A, Julian P R. Detection of a 40—50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific. *J Atmos Sci*, 1971, 28(5): 702-708.
- [ 2 ] Madden R A, Julian P R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40—50 day period. *J Atmos Sci*, 1972, 29(6): 1109-112.
- [ 3 ] 周兵, 文继芬. 1998 年夏季我国东部降水与大气环流异常及其低频特征. *应用气象学报*, 2007, 18(2): 129-136.
- [ 4 ] Krishnamurti T N, Subrahmanyam M, Osterhof D K, et al. Predictability of low frequency modes. *Meteor Atmos Phys*, 1990, 44(1): 63-83.
- [ 5 ] 孙颖, 丁一汇. 1997 年东亚夏季风异常活动在汛期降水中的作用. *应用气象学报*, 2002, 13(3): 277-287.
- [ 6 ] 李崇银. 热带大气季节内振荡的几个基本问题. *热带气象学报*, 1995, 11(3): 276-287.
- [ 7 ] Madden R A, Julian P R. Observations of the 40-50-day tropical oscillation—a review. *Mon Wea Rev*, 1994, 122(7): 814-837.
- [ 8 ] 李崇银. 大气季节内振荡研究的新进展. *自然科学进展*, 2004, 14: 734-741.
- [ 9 ] Zhang Chidong. Madden-Julian Oscillation. *Reviews of Geophysics*, 2005, 43: RG2003. 10. 1029/2004RG000158.
- [ 10 ] Lau K M, Waliser D E. Intra-seasonal Variability in the Atmosphere-ocean Climate System. Praxis, Chichester, UK, 2005: 436.
- [ 11 ] Wang B. Theory in Intra-seasonal Variability in the Atmosphere-ocean Climate System. Praxis, Chichester, UK, 2005: 307-360.
- [ 12 ] 陈隆勋, 谢安, Murakami T. 向外长波辐射资料揭示的 El Niño 和 30—60 天振荡的关系//气象科技文集. 北京: 气象出版社, 1987: 26-35.
- [ 13 ] Kousky V E, Kayano M T. Principal modes of outgoing longwave radiation and 250 mb circulation for the South American sector. *J Climate*, 1994, 7: 1131-1141.
- [ 14 ] 李崇银, 周亚萍. 热带大气季节内振荡和 El Niño 的关系. *地球物理学报*, 1994, 37(1): 17-26.
- [ 15 ] 李崇银, 廖青海. 热带大气季节内振荡激发 El Niño 的机制. *热带气象学报*, 1998, 14(2): 97-105.
- [ 16 ] 龙振夏, 李崇银. 热带低层大气 30—60 天低频动能的年际变化与 ENSO 循环. *大气科学*, 2001, 6(6): 798-808.
- [ 17 ] McPhaden M J. Equatorial waves and the 1997-98 El Niño. *Geophys Res Lett*, 1999, 26: 2961-2964.
- [ 18 ] Slingo J M, Rowell D P, Sperber K R, et al. On the predictability of the interannual behavior of the Madden-Julian oscillation and its relationship with El Niño. *Quart J Roy Meteor Soc*, 1999, 125: 583-610.
- [ 19 ] Hendon H H, Zhang C, Glick J D. Interannual variation of the Madden-Julian oscillation during austral summer. *J Climate*, 1999, 12: 2538-2550.
- [ 20 ] Anyamba E K, Weare B C. Temporal variability of the 40—50 oscillation in the tropical convection. *Int J Climatol*, 1995, 15: 379-402.
- [ 21 ] Bergman J W, Hendon H H, Weickmann K M. Intra-seasonal air-sea interaction at the onset of El Niño. *J Climate*, 2001, 14(8): 1702-1719.
- [ 22 ] 王盘兴, 刘家铭, 沈素红. IAP GCM 模式大气波谱结构及其在厄尔尼诺年的异常. *南京气象学院学报*, 1992, 15(1): 22-30.
- [ 23 ] Slingo J M, Sperber K R, Boyle J S, et al. Intra-seasonal oscillations in 15 atmospheric general circulation models: Results from an AMIP diagnostics subproject. *Clim Dyn*, 1996, 12(5): 325-375.
- [ 24 ] Kessler W S, Kleeman R. Rectification of Madden-Julian oscillation into the ENSO cycle. *J Climate*, 2000, 13(20): 3560-3575.
- [ 25 ] Moore A M, Kleeman R. Stochastic forcing of ENSO by the intra-seasonal oscillation. *J Climate*, 1999, 12: 1199-1220.
- [ 26 ] Syu H H, Neelin J D. ENSO in a hybrid coupled model. Part II: Prediction with piggyback data assimilation. *Climate Dyn*, 2000, 16: 35-48.
- [ 27 ] Zebiak S E. On the 30—60 day oscillation and the prediction of El Niño. *J Climate*, 1989, 15: 1381-1387.
- [ 28 ] Duchon C E. Lanczos filtering in one and two dimensions. *J Appl Meteor*, 1979, 18: 1016-1021.
- [ 29 ] Lau K M, Chen P H. Aspects of the 40—50 day oscillation during the northern summer as inferred from outgoing longwave radiation. *Mon Wea Rev*, 1986, 114: 1354-1367.
- [ 30 ] Knutson T R, Weickmann K M. 30—60 day atmospheric oscillations: Composite life cycles of convection and circulation anomalies. *Mon Wea Rev*, 1987, 115: 1407-1435.
- [ 31 ] 智协飞, 何金海. 北半球中高纬度大气低频变化的若干基本特征. *南京气象学院学报*, 1996, 19(1): 76-81.
- [ 32 ] Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *J Climate*, 1997, 10: 1004-1020.
- [ 33 ] 陈兴跃, 王会军, 曾庆存. 大气季节内振荡及其年际变化. 北京: 气象出版社, 2000: 15.
- [ 34 ] 丁一汇. 天气动力学中的诊断分析方法. 北京: 科学出版社, 1987.
- [ 35 ] Weickmann K M. Intra-seasonal circulation and outgoing longwave radiation modes during Northern Hemisphere winter. *Mon Wea Rev*, 1983, 111: 1838-1858.

- [36] Knutson T R, Weickmann K M, Kutzbach J E. Global-scale intraseasonal oscillation of outgoing longwave radiation and 250 mb zonal wind during northern hemisphere summer. *Mon Wea Rev*, 1986, 14: 605-623.
- [37] Salby M L, Hendon H H. Intraseasonal behavior of clouds, temperature and motion in the tropics. *J Atmos Sci*, 1994, 51: 2207-2225.
- [38] 王盘兴,周伟灿,王欣,等. 气象向量场的奇异值分解方法及其应用. 南京气象学院学报, 1997, 20(2): 152-157.
- [39] 施能. 气候诊断研究中 SVD 显著性检验的方法. 气象科技, 1996, 4: 5-6.
- [40] Huang Ronghui, Sun Fengying. Impacts of the tropical western Pacific on the East Asian summer monsoon. *J Meteor Soc Japan*, 1992, 70: 243-257.
- [41] 李晓燕, 翟盘茂. ENSO 事件指数与指标研究. 气象学报, 2000, 58: 102-109.

## Characteristics of Tropical Convection Intraseasonal Oscillation Anomaly and Their Relationship with Sea Surface Temperature

Li Liping<sup>1)</sup> Wang Panxing<sup>1)</sup> Guan Zhaoyong<sup>1)</sup> Yang Song<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044)

<sup>2)</sup> (George Mason University, Fairfax, VA, USA)

### Abstract

The seasonal and interannual variability of intraseasonal oscillation (ISO) intensity of tropical convection is investigated by using NCAR/NOAA outgoing longwave radiation (OLR) data, along with the relationship with sea surface temperature (SST). It shows that there are two strongest ISO areas, namely, tropical Indian Ocean and tropical western Pacific Ocean, accompanied with large SST zonal deviation in climatological fields for any seasons. There are three noticeable areas of interannual anomaly of OLR ISO intensity, i. e., tropical middle and eastern Pacific (TMEP), tropical northwest Pacific (TNP) and tropical southwest Pacific (TSP). In these areas, there are noticeably positive correlation relationships between anomalies of OLR ISO intensity and SST interannually, along with the circulation anomaly convergence (divergence) in the low (high) level at the same time, which is also closely related to El Niño (La Niña) events according to the time coefficient series. In addition, the ISO enhances and moves eastward gradually before El Niño event takes place, and weakens later in the tropical Indian Ocean and tropical west Pacific, which links up with the areas of OLR ISO interannual anomaly intrinsically, because OLR ISO weakens in TNP and TSP and enhances in TMEP after the El Niño event occurs. In the climatological fields, OLR ISO is weak in TMEP, TNP and TSP, whereas the SST interannual anomaly is notable in these areas. It shows that SST interannual anomaly is very important for that of OLR intensity and an even crucial factor. It is well known that ENSO is the strongest interannual signal of SST, which is most notable in the winter and spring, so it is easy to understand that there is a close relationship between the above local relations of ISO intensity and SST interannual anomaly with ENSO. SST interannual anomaly is too weak to produce the marked ISO anomaly in the western Pacific, so there is weak relation between ISO intensity and SST interannual anomaly. Comparing the seasonal with interannual variation of OLR intensity, it is found that SST is a key factor to determine the seasonal and interannual variations of OLR intraseasonal oscillation intensity.

**Key words:** intraseasonal oscillation; seasonal and interannual variability; tropical convection; sea surface temperature