

邢雯, 黄菲, 王宏, 等. 1990s年代际转型前后南海季风系统的气候季节内振荡(CISO)特征[J]. 热带气象学报, 2012, 28(1): 31-40.

文章编号: 1004-4965(2012)01-0031-10

# 1990s年代际转型前后南海季风系统的气候 季节内振荡(CISO)特征

邢雯, 黄菲, 王宏, 黄少妮

(中国海洋大学山东省高校海洋-大气相互作用与气候重点实验室/海洋气象联合开放实验室(JOLMM), 山东 青岛 266100)

**摘 要:** 利用多变量经验正交分解(MV-EOF)等方法, 研究了在季节内振荡尺度上南海季风系统的时空分布特征。结果表明: 南海夏季风的爆发时间在 1993/1994 年前后存在显著的年代际转型, 由爆发偏晚转变成爆发偏早。第一模态反映了南海夏季风爆发时季风系统的时空特征, 转型前后特征类似, 降水场自赤道向北依次呈现干-湿-干交替分布的特征, 南海中心为异常气旋。相应的大范围环流场主要反映了转型前的偏晚年, 南海夏季风槽位置偏南, 转型后的偏早年, 南海夏季风槽位置偏北。第二模态体现了南海季风系统夏季的时空特征, 转型前后共同特征表现为南海地区夏季北湿南干的南北偶极子降水分布及南海中心区的异常西风。相应的大范围环流场主要反映了南海季风活动与东亚季风呈现反位相的特点, 且对流信号向北传播。转型前的偏晚年, 季风活动受准双周振荡控制, 对流信号由西北方向传入南海; 转型后的偏早年, 季风活动以 30~60 天振荡为主, 对流信号由东南方向传播至南海。

**关键词:** 南海夏季风爆发; 1990s年代际转型; 气候季节内振荡(CISO); 时空分布

**中图分类号:** P425.4.2

**文献标识码:** A

**Doi:** 10.3969/j.issn.1004-4965.2012.01.004

## 1 引 言

南海夏季风不仅是东亚季风的重要组成部分, 而且对印度季风和东亚夏季风的建立起着重要作用<sup>[1]</sup>, 它的爆发标志着东亚夏季风开始建立<sup>[2]</sup>, 有研究论证了南海季风与其它季风子系统的不同特征, 它在亚洲季风中爆发最早, 约每年的5月中旬前后爆发<sup>[3]</sup>。南海夏季风的异常活动对东亚以至于北半球夏季大气环流及气候均会产生重要影响<sup>[4-5]</sup>。其爆发早晚、强弱及其活动对中国汛期降水也有重要影响<sup>[6]</sup>。

在大气季节内振荡方面, 早在 1970 年代, Madden 等<sup>[7-8]</sup>就发现了热带大气的风场和气压

场的变化存在 40~50 天周期性大尺度振荡现象。随后, Krishnamurti 等<sup>[9]</sup>在 1980 年发现印度季风区存在 10~20 天向西传播的季节内振荡, Krishnamurti 等<sup>[10]</sup>在 1982 年发现, 亚洲季风区存在 30~50 天的季节内振荡。Chen 等<sup>[11-12]</sup>在对 1979 年南海季风的分析中指出南海夏季风存在明显的 10~20 天振荡, Chan 等<sup>[13]</sup>和穆明权等<sup>[14]</sup>分析了 1998 年的南海夏季风并从中发现了 30~60 天的季节内振荡。Mao 等<sup>[15]</sup>用 OLR 和涡度资料分析得出, 30~60 天振荡和 10~20 天振荡是控制南海夏季风活动的两个基本的振荡类型, 在不同年份, 这两种振荡类型所占的比重不同。南海夏季风与东亚季风之间的相互作用也是通过季

收稿日期: 2010-07-09; 修订日期: 2011-10-08

资助项目: 国家自然科学基金项目(40975038, 40830106); 中国气象局行业专项(GYHY200906008); 国家重大科学研究计划(2012CB955604); 高等学校创新引智计划(B07036)共同资助

通讯作者: 黄菲, 女, 陕西省人, 教授, 博士, 研究方向: 海气相互作用与气候。E-mail: huangf@ouc.edu.cn

节内振荡联系起来的<sup>[16]</sup>。

Wang 等<sup>[17]</sup>的最新研究结果发现,近 30 年来南海季风系统在年际年代际时间尺度上存在显著的 1993/1994 年的年代际转型,即 1979—1993 年和 1994—2006 年间南海季风系统的季节演变存在反相的变化特征,在这种年代际转型的不同背景下,南海夏季风爆发偏早、偏晚年南海季风系统的季节循环有什么变化还不清楚。Wang 等<sup>[18]</sup>曾指出东亚季风的季节循环存在两种模式:即年周期振荡的慢模态(slow mode)和气候季节内振荡(CISO)的快模态(fast mode),最近黄菲等<sup>[19]</sup>发现南海季风系统的慢模态主要存在冬夏反相和春秋反相两种主模态,且在 1993/1994 年的年代际转型前后不同背景下具有不同的特征,而这种背景下快模态的时空主模态特征如何还未有研究。本文将通过多变量经验正交分解(MV-EOF)方法<sup>[20]</sup>,分别对 1993/1994 年的年代际转型前后背景下南海夏季风爆发偏早、偏晚年南海季风系统(风和降水)的季节内振荡分量进行研究,并比较大尺度环流的空间分布特征和差异。

## 2 资料与方法

本文使用了 1979/1—2007/12 近 30 年美国 NCEP/NCAR 再分析资料中的日平均 850 和 200 hPa 风场资料、OLR 场和 500 hPa 垂直速度场,以及同期的 CMAP 候平均降水资料,空间分辨率均为  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。为了统一起见,所有的日平均资料都预处理成候平均数据,且闰年的第 12 候为计入 2 月 29 日的 6 天平均。为了去除季节变化信号的影响,文中所用资料均进行了距平化处理,将每年候平均的数据减去 29 年气候态的候平均数据得到距平场,从而保留季节内振荡信号。

本文用到的主要方法为多变量经验正交分解(MV-EOF),原理为:假设有  $I$  个变量场、每个变量的空间点数为  $J$ 、时间序列长度均为  $K$ 。先对每个变量进行标准化处理,由他们组成新变量场  $Y=(y_{ijk})$ ,其中  $i=1, 2, 3, \dots, I; j=1, 2, 3, \dots, J; k=1, 2, 3, \dots, K$ 。对变量场  $Y$  做 EOF 分

解,然后再从分解后的特征向量中分各个变量,并乘以其均方差即可。MV-EOF 是对传统 EOF 的延伸,可以有效地将多个变量场进行压缩分析,并从 EOF 分解出的各变量场中,有效提取出占主导地位的空间型。

由于季风既是风也是雨的变化,为了研究南海季风系统的时空特征,取南海中心区域( $105 \sim 125^\circ \text{E}, 0 \sim 25^\circ \text{N}$ )的 850 hPa 经向风、纬向风以及降水,分别对 1993/1994 年的年代际转型前后南海夏季风爆发偏早年 and 偏晚年的距平合成场进行 MV-EOF 分析,得到前几个主模态的时空分布特征,并通过对主成分的回归分析研究大范围环流场的特征。由于本文中资料采用年代际转型前后多年平均的候平均距平的合成,因此资料中主要包含了多年平均的季节内振荡信号,也就是年代际转型前后两个时段的 CISO 特征。

## 3 南海夏季风爆发时间

本文采用 Wang 等<sup>[21]</sup>对南海夏季风爆发时间的定义,规定 850 hPa 南海中心区域( $110 \sim 120^\circ \text{E}, 5 \sim 15^\circ \text{N}$ )纬向风的区域平均为南海夏季风爆发指数。南海夏季风的爆发时间定义为在 4 月 25 日以后满足以下两个条件的第一候:在爆发候南海夏季风爆发指数  $>0$ ; 在随后的四候中(包括爆发候)有至少三候的夏季风爆发指数为正且这四候的平均西风  $>1 \text{ m/s}$ 。

表 1 给出了 1979—2007 年的南海夏季风爆发时间。南海夏季风的平均爆发时间为 28.3 候,这 29 年爆发候的均方差为 2.03 候,因此取南海夏季风爆发候  $\leq 26$  候作为南海夏季风爆发偏早年(表 1 中深色阴影年份),取南海夏季风爆发候  $\geq 31$  候为南海夏季风爆发偏晚年(表 1 中浅色阴影年份)。可以发现,在近 30 年中南海夏季风爆发偏晚年均出现在 1993 年之前,爆发偏早年则都集中在 1994 年以后,表明南海夏季风的爆发时间在 1993/1994 年前后存在显著的年代际转型,由爆发偏晚转变成爆发偏早。

表 1 1979—2007 年南海夏季风爆发时间

年份	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
爆发时间/候		27	31	31	31	29	30	27	32	29
年份	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
爆发时间/候	28	28	32	28	32	25	27	26	28	29
年份	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
爆发时间/候	30	26	26	27	28	27	26	27	26	

## 4 季节内振荡的时空特征

对南海夏季风爆发在 1990 年代际转型前后的显著偏早年与偏晚年的 850 hPa 风场和降水场进行 MV-EOF 分析, 图 1 分别给出了南海夏季风

爆发偏早、偏晚年前 8 个模态的方差贡献百分比。发现无论是夏季风爆发偏早年还是偏晚年, 前两个模态的方差贡献都较大, 且根据 North 等<sup>[22]</sup>的法则二者互为显著独立的模态, 因此本文主要分析前两个主模态的时空特征。

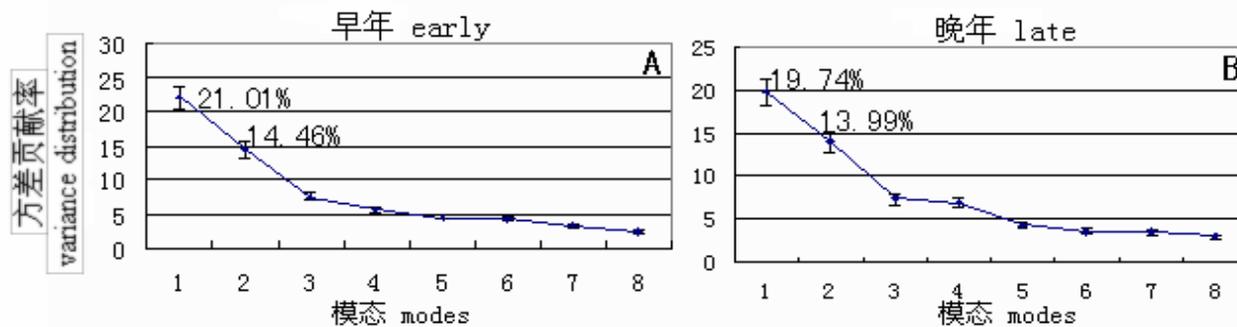


图 1 南海夏季风爆发早(A)、晚(B)年 MV-EOF 前 8 个模态的方差贡献百分比分布

### 4.1 第一模态

第一模态的方差贡献无论是南海夏季风爆发偏早年还是偏晚年均为 20% 左右, 是南海季风系统季节内振荡的最主要模态。图 2 分别给出了第一模态南海夏季风爆发偏早年 and 偏晚年的空间分布、空间分布差值场以及时间序列。从主成分(PC1)来看(图 2D), 南海夏季风偏早年 and 偏晚年的时间序列在冬季和初春较为平缓。爆发偏早年在第 26 候突然上升, 达到第一个峰值, 爆发偏晚年从第 23 候开始有上升趋势, 在第 29 候达到波峰, 为缓慢酝酿爆发过程, 强度大于偏早年。

南海夏季风爆发偏早年(图 2A)与偏晚年(图 2B)的空间特征大致相同。降水场自赤道向北依次呈现干-湿-干交替分布的特征, 两个干位相中心分别位于印度尼西亚和中国华南地区, 强降水中心位于中央深水海盆区。从低空环流形势上看,

在降水中心东北侧偏早、偏晚年均有一气旋式环流, 与周发琇等<sup>[23]</sup>提到的 850 hPa 流函数场体现的气旋式环流结论一致, 受该气旋影响, 我国华南地区盛行东北风, 赤道附近以西南气流为主, 证实了朱军伟等<sup>[24]</sup>的研究结论。从南海夏季风爆发偏早、偏晚年 EOF 空间分布差值场上(图 2C)可看出爆发偏早年, 南海深水区的强降水中心及对应的气旋式环流位置与偏晚年位置相比偏向东北方向。

图 3 为南海夏季风爆发偏早年 and 偏晚年第一模态的显著周期。爆发偏早年(图 3A), 以 50 天振荡为主。此外, 偏早年通过 95% 信度检验的周期为 30 天和 15 天, 对应的偏晚年(图 3B)为 20 ~ 25 天。Mao 等<sup>[15]</sup>提出过, 控制南海季风活动的两种振荡(30 ~ 60 天振荡和 10 ~ 20 天振荡)在单独立年份所起的作用不同, 以上分析表明, 在南海季

风爆发偏晚年即 1993 年之前,季风活动以准双周 天振荡的影响更明显,同时夹杂 10~20 天振荡。振荡为主,转型后的偏早年,季风活动受 30~60

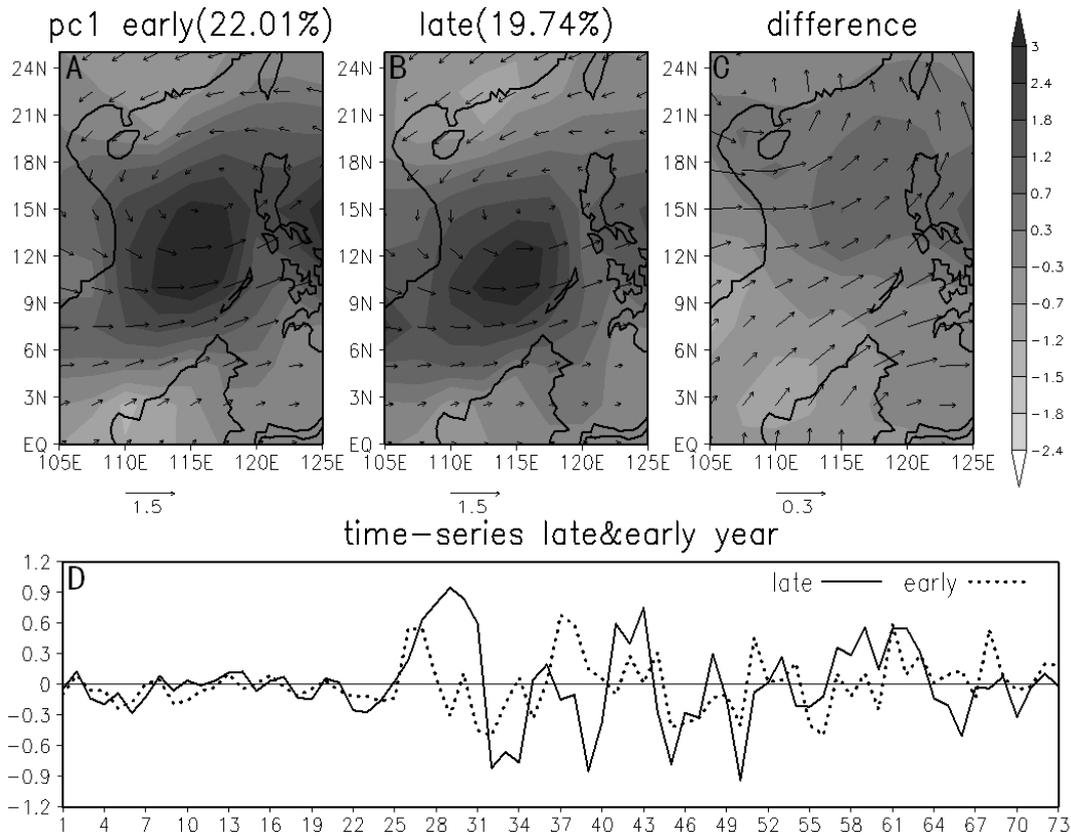


图 2 南海夏季风爆发偏早(A)偏晚(B)年季节内振荡第一模态空间分布及其差值场(偏早年减偏晚年, C) 和时间序列(D) 填色等值线代表降水, 矢量代表 850 hPa 风场。

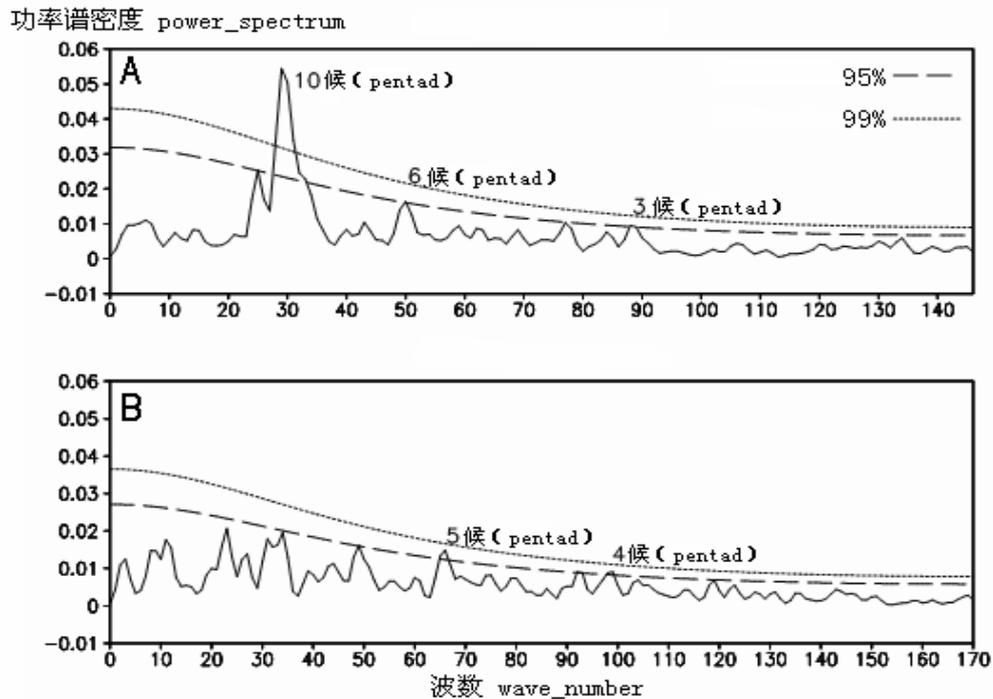


图 3 南海季风爆发偏早年(A)和偏晚年(B)季节内变化第一模态显著周期

## 4.2 第二模态

第二模态的方差贡献百分比，偏早年和偏晚年均均在 14% 左右。时间序列上(图 4D)，爆发偏早年和偏晚年的振荡信号几乎同时在 27 候开始增强，到 29 候达到第一个波峰，进入夏季后，信号逐渐增强。不同的是，爆发偏晚年在整个夏季强度较为平均，偏早年在第 45 候(7 月中旬)达到全年极大值，且强度大于偏晚年。

空间场上该模态反映了南海地区盛夏时节北湿南干的南北偶极子降水分布特征，爆发偏早年降水集中于巴士海峡和南海北部，对应该地区为西风气流，南海南部及马来西亚降水偏少，爆发偏晚年干湿中心均比偏早年偏向西南方向，强度也弱于偏早年。偏早、偏晚年南海中部上空均盛行西风气流，从差值场(图 4C)可看出偏早年的西

风气流强度弱于偏晚年，表现为南海北部异常反气旋式环流，对应南海中部降水偏少。从第二模态降水及环流分布及强度来看，第二模态为第一模态(图 2)的发展与东移，这一观点证实了穆明权等<sup>[14]</sup>和 Mao 等<sup>[15]</sup>得到的结论：30~60 天的季节内振荡在南海季风爆发后向东移动，且为增强位相。

对第二模态夏季风爆发偏早年和偏晚年的时间序列进行连续功率谱分析(图 5)得到显著周期，结果同第一模态相似。偏早年兼有 30~60 天振荡和准双周振荡。偏晚年显著周期为 15~30 天。进一步证实了第一模态得到的结论，爆发偏早年季风活动受 30~60 天振荡的控制，爆发偏晚年 10~20 天振荡起主要作用。

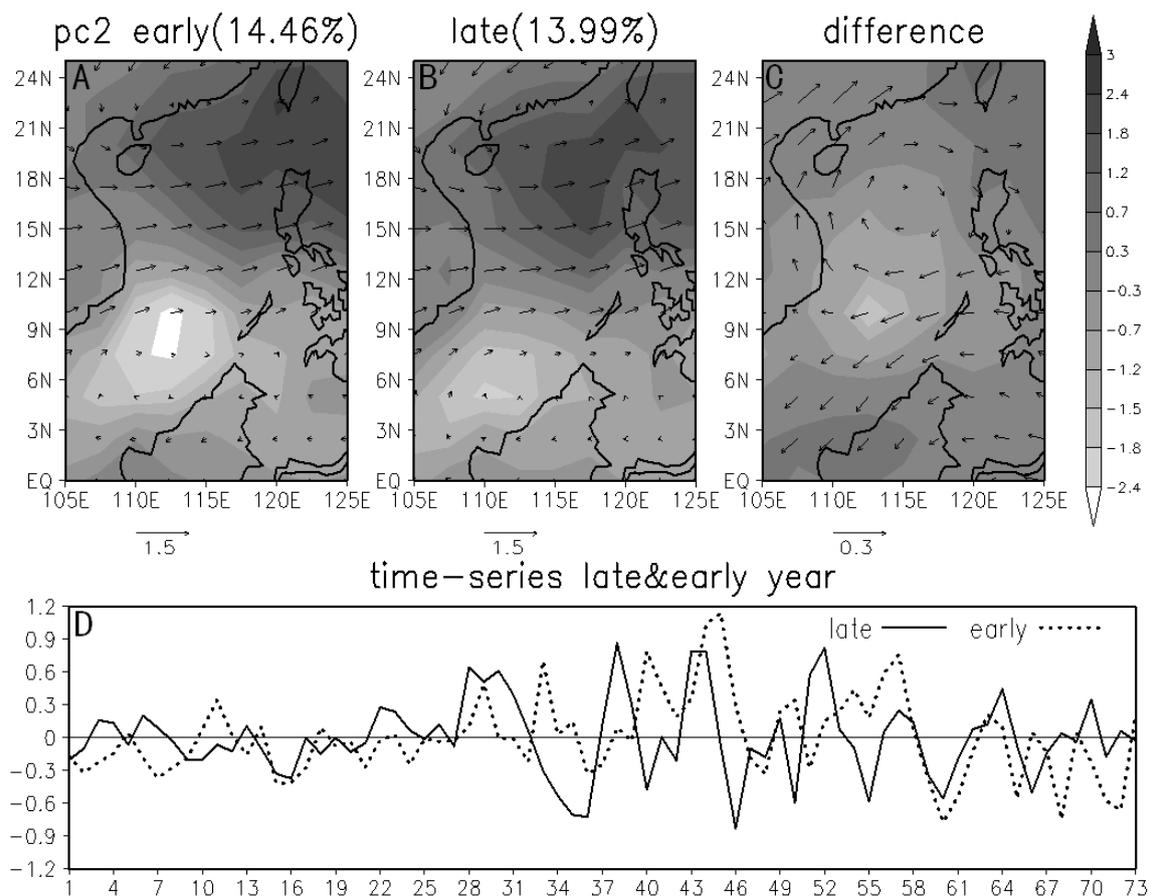


图 4 同图 2，但为第二模态

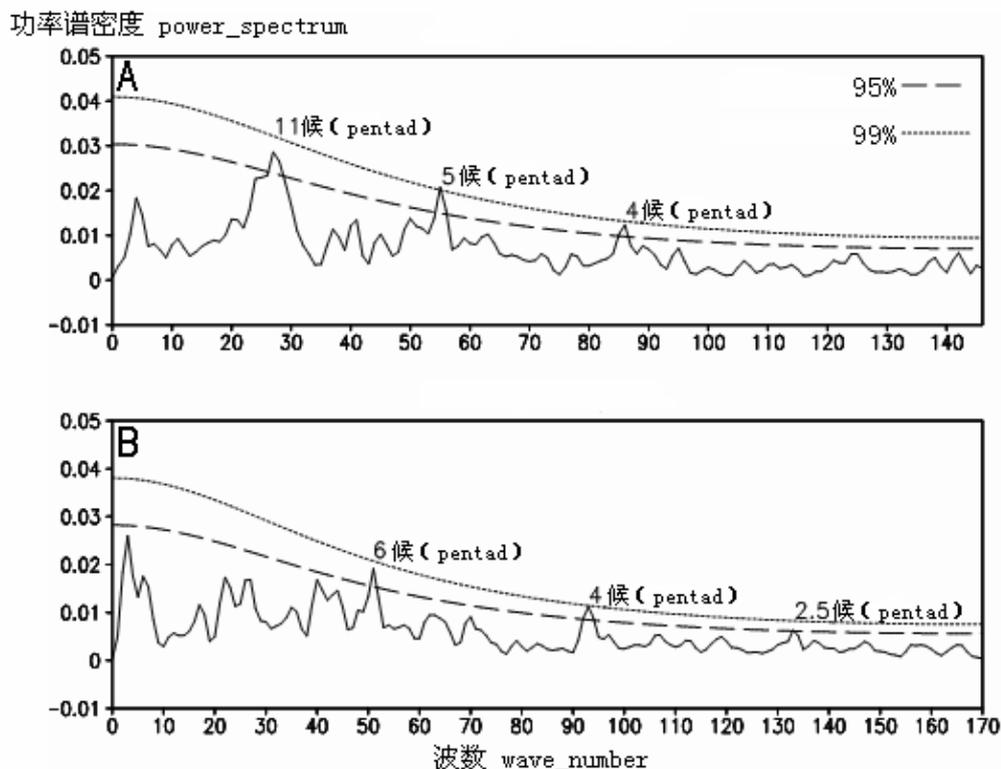


图5 同图3, 但为第二模态

## 5 对流信号的传播特征

图6为南海夏季风爆发偏晚年(图6A)与偏早年(图6B)气候态对流场 $110 \sim 120^\circ\text{E}$ 平均的时间-纬度剖面图。爆发前(初春),  $30^\circ\text{N}$ 附近为对流天气, 3月底4月初发生干湿位相交替, 偏早年出现时间比偏晚年早2候左右, 该对流现象随着时间的推移向南传播, 偏晚年这种趋势表现得更为明显。在南海季风区( $10 \sim 20^\circ\text{N}$ ), 偏早、偏晚年季风爆发前均为干位相, 并一直持续至爆发候, 偏早年的干位相强度及影响范围均不及偏晚年。南半球热带地区在南海夏季风爆发前后始终为对流天气, 并逐渐向北传播, 与MV-EOF分析中得到的振荡信号向北传播的结论一致, 至爆发候, 与北半球南传的对流信号汇合, 在南海中心区形成强对流天气。爆发偏早年, 季风爆发前南半球的对流信号纬向范围较偏晚年广, 至27候左右对流信号传到南海中心区, 对流爆发时间(28候)晚于季风爆发时间(26候), 季风爆发后, 在南海中心

有一南北半球的干位相相接的区域, 将南海对流隔断, 可见, 在季风爆发后, 偏早年南海季风区的对流活动较偏晚年活跃。

图7为南海夏季风爆发偏晚年(图7A)与偏早年(图7B)气候态对流场 $10 \sim 20^\circ\text{N}$ 平均的时间-经度剖面图。对流最早在第20候爆发于中南半岛, 此后一直持续到南海夏季风爆发。爆发偏晚年, 对流信号在第28候开始向孟加拉湾扩展, 至爆发候, 突然东伸造成了南海多雨的天气。爆发偏早年, 来自中南半岛的信号在24候范围迅速扩大至孟加拉湾, 在第28候有向南海扩展的趋势但被两个干位相中心阻断, 爆发偏早年南海的对流信号更多的是从其东部的西太平洋传入, 并在爆发后又向其东北方向西太平洋传播, 其传播路径与台风登陆路径相似。在西太平洋洋面上, 夏季风爆发前, 偏早、偏晚年均为干位相, 偏早年西太平洋对流特征类似于偏晚年印度洋的特征, 具体表现为OLR干位相区, 高低值交替出现, 越接近爆发候, 东西范围越窄, 交替周期为5候左右,

在季风爆发后，西太平洋上这种特征转为对流的干湿位相的交替，范围继续变窄，频率加快，周

期为 2 候左右，偏早年季节内振荡周期复杂与上述分析的显著周期(图 3、图 5)结果一致。

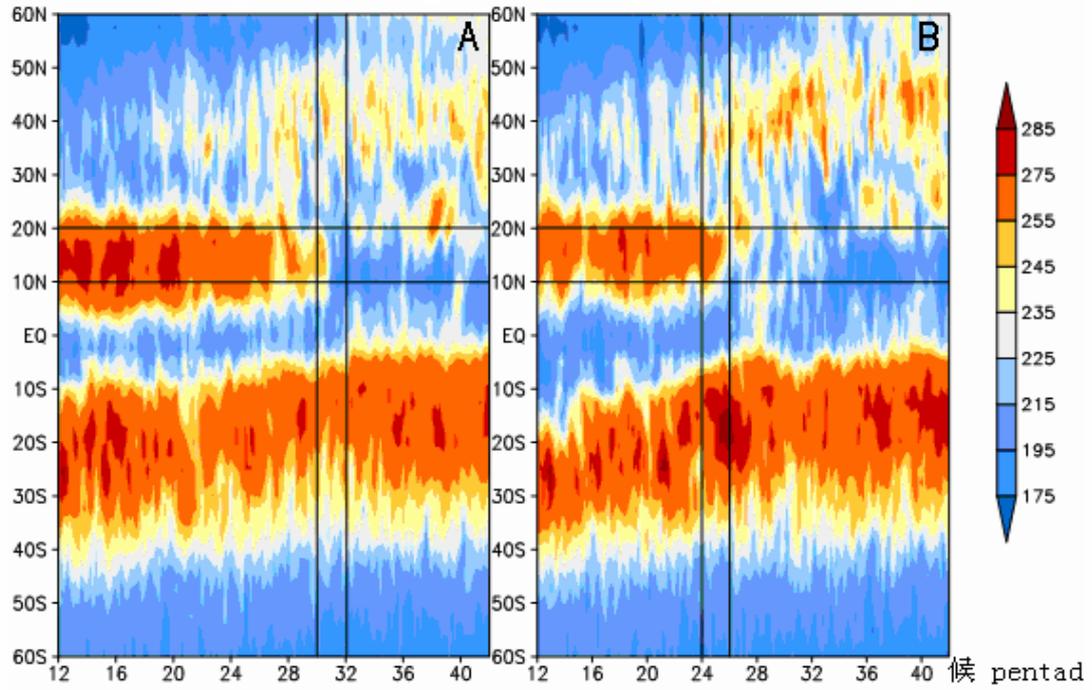


图 6 南海夏季风爆发偏晚年(年代际转型前, A)与偏早年(年代际转型后, B)对流场经度平均(110 ~ 120 °E)的时间-纬度剖面图

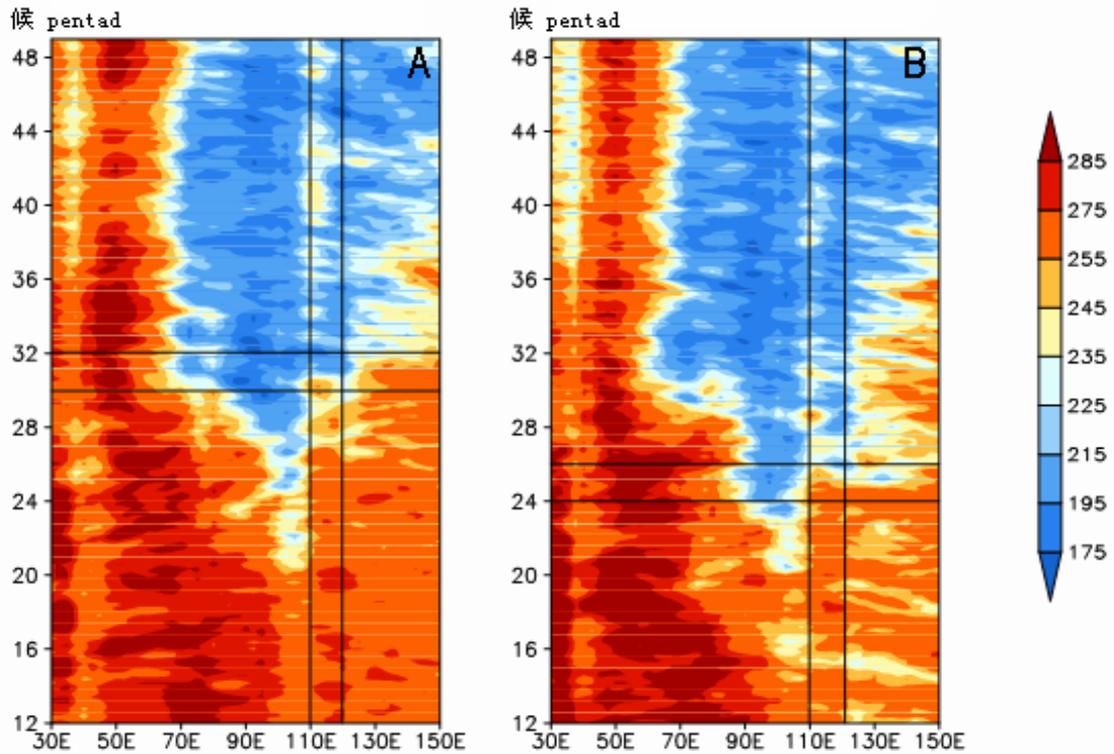


图 7 南海夏季风爆发偏晚年(A)与偏早年(B)对流场纬度平均(10 ~ 20 °N)的时间-经度剖面图

## 6 大尺度环流特征

前面的分析可以发现,南海夏季风爆发偏早的 1990 年代际转型之后和爆发偏晚的转型之前,第一模态与第二模态分别呈现出南海夏季风爆发与盛夏时节的局地降水与环流特征,与这两个主模态相关的大尺度环流背景特征如何还不清楚,为此,分别将南海夏季风爆发偏早、偏晚年的主成分与 850 hPa 风场及 OLR 对流场各点做回归分析,并做偏早、偏晚年回归场的差值场(偏早年减去偏晚年)对比其主要差异。

第一模态(图 8)主要反映南海夏季风爆发时印度洋、南海及西太平洋大范围的环流特征,在北半球 10°N 附近,孟加拉湾、南海及西太平洋盛行西风气流,在南海及菲律宾表现为一个异常气旋式环流,从差值场上看(图 8C),偏早年西风气流与气旋的强度均比偏晚年强,这与南海季风区局地环流特征一致。

南海夏季风爆发偏早、偏晚年对流场(图 8A、8B)表现为南海夏季风爆发时孟加拉湾,南海、西太平洋及海洋大陆的强对流天气。赤道附近存在一个干位相中心,位于印度以南印度洋面上。对流场的显著差异表现为南海北部及华南沿海地区至菲律宾以东的西北太平洋地区在夏季风爆发偏早年份对流偏强,反映了南海夏季风槽的位置偏北,在南海夏季风爆发偏晚年,对流位置偏南,季风槽位置偏南。

第二模态对流场及风场的回归主要反映了夏季南海、海洋大陆及西太平洋地区大范围环流特征(图 9),呈现北湿南干的偶极子对流型,南海季风活动与东亚季风呈现反位相的特点,这一结论与 Chen 等<sup>[16]</sup>的研究结论一致。从南海夏季风爆发偏早、偏晚年的差值场上(图 9C)可以发现,南北两个干湿位相中心及湿对流中心对应的气旋式环流强度偏早年均大于偏晚年,且偏早年的对流范围较偏晚年向东两侧扩展。南海北部及西太平洋的对流中心,与第一模态相比向东移动,强度减弱,干位相中心由第一模态的印度洋向东移

动至南海正南侧印度尼西亚等地,强度较第一模态增强,反映了南海夏季风爆发后,表征季节内振荡的对流信号由南海向北传播。

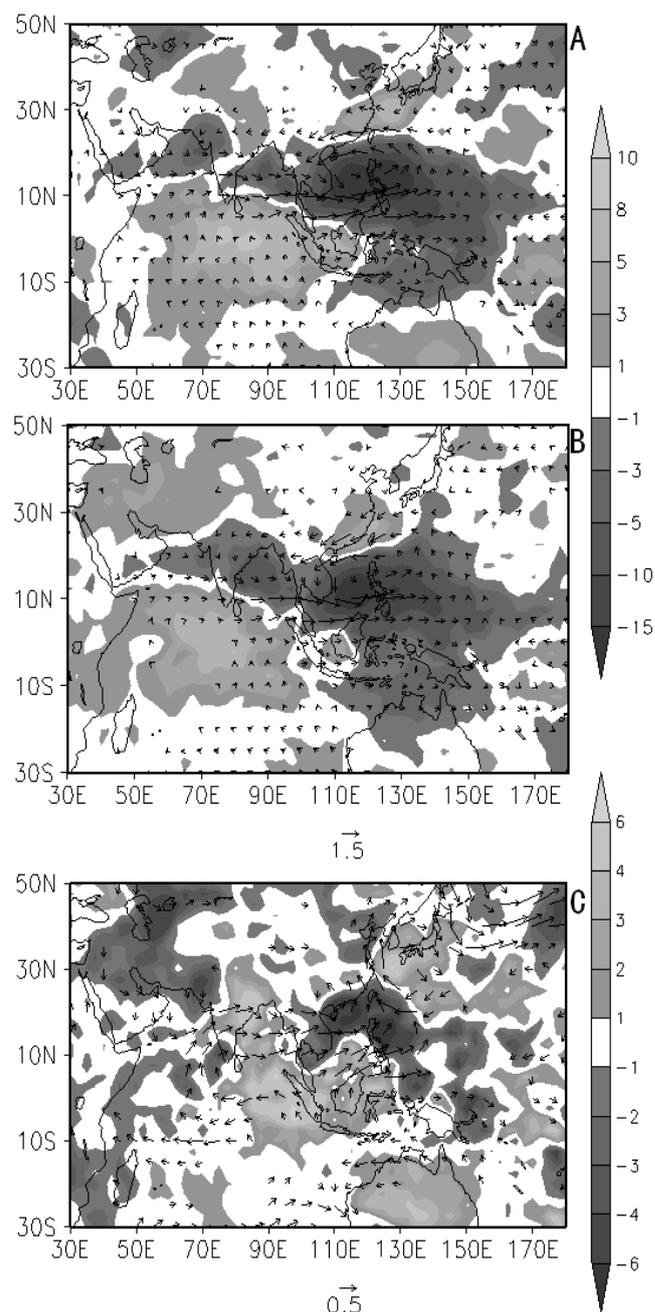


图 8 南海夏季风爆发偏早年(A)与偏晚年(B)EOF PC1 与 850 hPa 风场和 OLR 场的回归以及偏早年与偏晚年的差值场(C) 填色等值线代表 OLR, 矢量代表 850 hPa 风场。

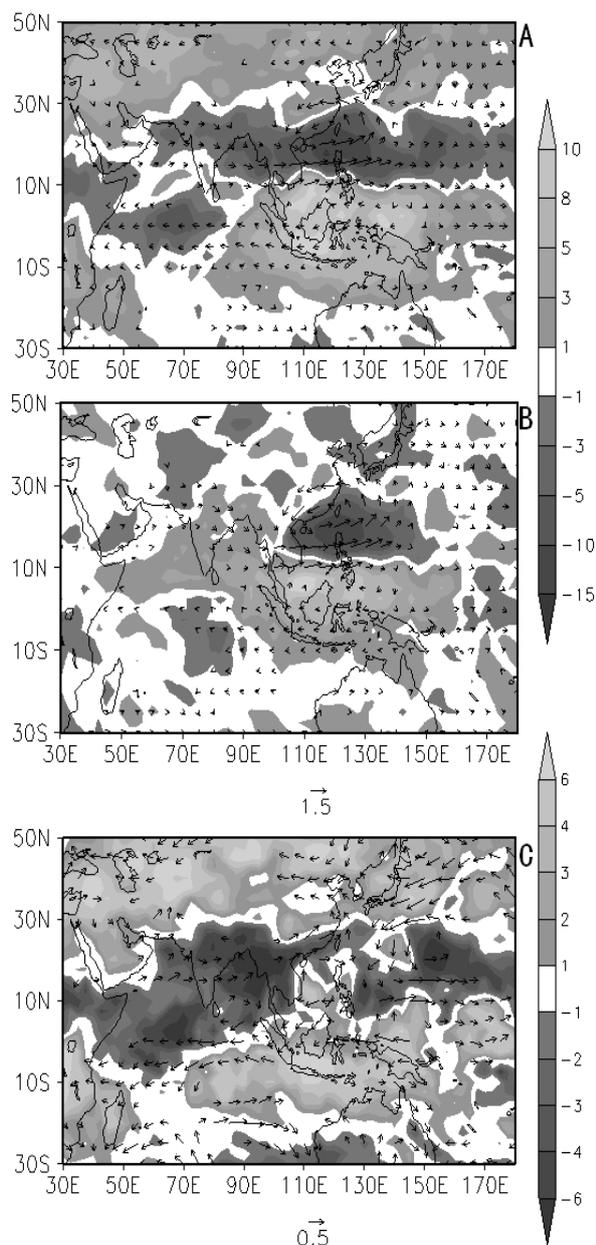


图9 同图8, 但为第二模态

## 7 结 论

本文利用 MV-EOF、回归分析、功率谱分析方法, 对 NCEP/NCAR 再分析资料各变量日平均资料和同期 CMAP 降水资料进行分析, 研究南海夏季风爆发在 1993 年之前的偏晚年和 1994 年之后的偏早年南海季风系统在季节内振荡尺度上的时空分布特征。

(1) 采用 Wang 等<sup>[19]</sup>对南海夏季风爆发时间

的定义, 找出了 1979—2007 年 29 年中南海季风爆发偏早年 and 偏晚年, 发现爆发偏晚年均出现在 1993 年之前, 爆发偏早年则都集中在 1994 年以后, 表明南海夏季风的爆发时间在 1993/1994 年前后存在显著的年代际转型, 由爆发偏晚转变成爆发偏早。

(2) 第一、二主模态方差贡献较大, 且互为独立显著模态。第一模态反映了南海夏季风爆发时季风系统的时空特征, 降水场自赤道向北依次呈现干-湿-干的交替分布特征, 降水中心东北侧为异常气旋。转型前的偏晚年, 季风活动以准双周振荡为主; 偏早年份, 季风活动受 30~60 天振荡的影响更明显。相应的大范围环流场主要反映了南海夏季风爆发时印度洋、南海及西太平洋大范围的环流特征, 偏早年的对流及风场强度均大于偏晚年, 且南海夏季风槽位置偏北, 爆发偏晚年位置偏南。

(3) 第二模态反映了南海季风系统夏季的时空特征, 降水场上反映了南海地区夏季北湿南干的南北偶极子分布特征, 爆发偏晚年降水的干湿中心均比偏早年偏向西南方向, 强度也弱于偏早年。第二模态季节内振荡显著周期同第一模态结论一致。相应的大范围环流场主要反映了夏季南海、海洋大陆及西太平洋地区大范围环流特征, 呈现北湿南干的偶极子对流型, 南海季风活动与东亚季风呈现反位相。南海季风爆发时及爆发后是一个干湿位相交替的过程并伴随着振荡信号的向北传播, 这一结论与 Mao 等<sup>[15]</sup>的研究结果相符。

(4) 高辉<sup>[25]</sup>曾指出, 南海季风爆发前对流传播具有多向性。本文分析了南海夏季风爆发前后对流传播特征, 南海夏季风爆发偏早年, 南半球热带地区和赤道西太平洋的对流活动比偏晚年活跃, 对流信号由东南方向传播至南海。偏晚年, 北半球中纬度地区和孟加拉湾在爆发时的活动更加活跃, 对流由西北方向传播至南海。

**致 谢:** 本文的研究工作得到美国夏威夷大学王斌教授的指导, 在此表示感谢。

## 参 考 文 献:

- [1] 谢安, 张振洲. 南海夏季风的推进[J]. 气象学报, 1994, 52(3): 374-378.
- [2] TAO S Y, CHEN L X. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. Monsoon Meteorology[M]. Oxford: Oxford University Press: Chang C P, Krishnamurti T N, Eds, 1987: 60-92.
- [3] 余志豪. 南海季风研究的近况[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(4): 23-24.
- [4] 李崇银, 张利平. 南海夏季风活动及其影响[J]. 大气科学, 1999, 23(3): 257-266.
- [5] 李崇银, 屈昕. 伴随南海夏季风爆发的大气大尺度环流特征[J]. 大气科学, 2000, 24(1): 1-14.
- [6] 吴尚森, 梁建茵, 李春晖. 南海夏季风强度与我国汛期降水的关系[J]. 热带气象学报, 2003, 19(增刊): 25-36.
- [7] MADDEN R A, JULIAN P R. Detection of a 40-50 day oscillation in the zonal wind in the tropical Pacific[J]. J Atmos Sci, 1971, 28(5): 702-708.
- [8] MADDEN R A, JULIAN P R. Description of global-scale circulation cells in the tropics with a 40-50 day period[J]. J Atmos Sci, 1972, 29(6): 1109-1123.
- [9] KRISHNAMURTI T N, ARDANUY P. The 10-20-day westward propagating mode and breaks in the monsoons[J]. Tellus, 1980, 32(1): 15-26.
- [10] KRISHNAMURTI T N, SUBRAHMANYAM D. The 30-50 day mode at 850mb during MONEX[J]. J Atmos Sci, 1982, 39(9): 2088-2095.
- [11] CHEN T C, CHEN J M. The 10-20-day mode of the 1979 Indian monsoon: Its relation with the time variation of monsoon rainfall[J]. Mon Wea Rev, 1993, 121(9): 2465-2482.
- [12] CHEN T C, CHEN J M. An observational study of the South China Sea monsoon during the 1979 summer: Onset and life cycle[J]. Mon Wea Rev, 1995, 123(8): 2295-2318.
- [13] CHAN J C L, AI W, XU J. Mechanisms responsible for the maintenance of the 1998 South China Sea summer monsoon[J]. J Meteor Soc Japan, 2002, 80(5): 1103-1113.
- [14] 穆明权, 李崇银. 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, 2000, 5(4): 375-387.
- [15] MAO Jiangyu, CHAN J C L. Intraseasonal Variability of the South China Sea Summer Monsoon[J]. J of Climate, 2005, 18(13): 2388-2402.
- [16] CHEN T C, YEN M C, WENG S P. Interaction between the Summer Monsoon in East Asia and the South China Sea: Intraseasonal Monsoon Modes[J]. J Atmos Sci, 2000, 57(9): 1373-1392.
- [17] WANG B, HUANG F, WU Z, et al. Multi-Scale Climate Variability of the South China Sea Monsoon: A Review[J]. Dyn Atmos Ocean, 2009, 47(1/3): 15-37.
- [18] WANG B, LIN H. Rainy seasons of the Asian-Pacific monsoon[J]. J Climate, 2002, 15(4): 386-398.
- [19] 黄菲, 邢雯, 李元妮, 等. 1990s年代际转型前后南海季风系统的季节变化[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(1/2): 9-15.
- [20] WANG B. The vertical structure and development of the ENSO anomaly mode during 1979-1989[J]. J Atmos Sci, 1992, 49(8): 698-712.
- [21] WANG B, LIN H, ZHANG Y, et al. Definition of South China Sea Monsoon Onset and Commencement of the East Asia[J]. Journal of Climate, 2004, 17(4): 699-710.
- [22] NORTH G R, BELL T L, CAHALAN R F, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions[J]. Mon Wea Rev, 1982, 110(7): 699-706.
- [23] 周发琇, 张涛, 高荣珍, 等. 南海季风区地域性大气环流的结构[J]. 中国海洋大学学报, 2001, 31(4): 467-472.
- [24] 朱伟军, 孙照渤, 齐卫宁. 南海季风爆发及其环流特征[J]. 南京气象学院学报, 1997, 20(4): 440-446.
- [24] 高辉. 南海夏季风爆发前后深对流传播的多向性[J]. 大气科学, 2009, 33(1): 29-37.

## CLIMATOLOGICAL INTRASEASONAL OSCILLATION OF THE SOUTH CHINA SEA MONSOON SYSTEM BEFORE AND AFTER THE DECADEAL SHIFT IN 1990S

XING Wen, HUANG Fei, WANG Hong, HUANG Shao-Ni

(Key Laboratory of Ocean-Atmosphere Interaction and Climate in Universities of Shandong (Ocean University of China) and Joint Open Laboratory of Marine Meteorology (JOLMM), Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Based on multi-variables empirical orthogonal function (MV-EOF) analysis, spatial and temporal patterns of the South China Sea (SCS) monsoon system in intraseasonal oscillation are analyzed. Results show that the onset of SCS summer monsoon shows a decadal shift around 1993/1994 from later-than-normal onset before 1993 to earlier-than-normal onset after 1994. The first leading mode shows similar characteristics during the onset of SCS summer monsoon (SCSSM) before and after the decadal shift. The spatial distribution of precipitation in early and late onset years shows a pattern of alternatively dry and wet from the equator to the north, and an anomalous cyclonic circulation is located north of the SCS at 850hPa. Corresponding large-scale circulation shows that relative to the first mode the SCSSM trough is southward in late onset years before the shift and it is northward in early onset years after the shift. The second mode reflects the characteristics during the summer after the onset of SCSSM. The second spatial distribution shows a north-south see-saw precipitation pattern and westerly anomaly at 850hPa over the SCS. Corresponding large-scale circulation shows northward propagation of convection signals and an out-of-phase relationship between SCSSM and EASM. Quasi-biweekly oscillation dominates the monsoon activities in late onset years and convection signals spread into the SCS from the northwest before the shift, while early onset years, after the shift, are controlled by 30-60-day oscillation and the convection signals enter the SCS from the southeast.

**Key word:** onset of South China Sea summer monsoon; decadal shift in the 1990s; climatological intraseasonal oscillation (CISO); spatial-temporal distribution