

1990s 年代际转型前后南海季风系统的季节变化^{*}

黄 菲, 邢 雯, 李元妮, 张 旭, 董静舒

(中国海洋大学海洋大气相互作用与气候实验室, 海洋气象联合开放实验室, 山东 青岛 266100)

摘 要: 利用多变量经验正交分解(MV-EOF)等方法,研究了在季节变化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。第一模态表现为冬夏反位相的年周期变化,但爆发早年夏季风持续时间略长于爆发晚年,空间上都反映了南海中央海盆区的夏季强降水和 850 hPa 上南海北部的气旋性环流异常,但夏季风爆发早年中国华南沿海降水加强而南海南部降水偏少。相应的大范围环流场上主要反映了南海夏季风爆发后进入盛夏时节亚太地区大范围的环流特征,南海夏季风爆发早年索马里越赤道气流偏强,东亚季风槽位置偏北,爆发偏晚年则相反。第二模态反映了南海季风系统春秋反位相的季节变化,且秋季的振幅更强,空间降水场上对应着秋季华南沿海和南海北部与南海中南部北旱南涝的跷跷板式分布,850 hPa 风场上则主要表现为异常的东北季风,该模态时空特征表明南海夏季风爆发偏早年的秋季,冬季风建立也偏早,越南及周边地区的降水偏多。相应的大范围环流场上则主要反映了冬季风的环流特征,在南海夏季风爆发偏早年的秋季,菲律宾以东的热带对流减弱,PJ 波列增强,爆发晚年则相反。

关键词: 南海夏季风爆发; 1990s 年代际转型; 年循环; 时空分布

中图法分类号: P462.4⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2011)1/2-009-07

南海季风区是指南海自身及其东侧西太平洋的一部分和西侧的中南半岛以及孟加拉湾,这里是典型的季风气候区^[1]。南海因其特殊的地理环境和海洋学特征,成为联系东亚与南亚夏季风系统的纽带,在区域乃至全球能量和水循环过程中具有重要作用^[2]。对南海季风对流系统的研究发现,在梅雨季节到来的 1 个月前,亚洲东南季风就开始在南海爆发^[3]。

早在 1961 年, Wyrtek^[4] 就提出过南海季风存在由气旋向反气旋过渡的冬夏季转换特征,朱伟军等^[5] 也指出:低层南海季风明显存在 4 个阶段的季节循环,即冬季东北风盛行阶段,随后转入过渡阶段的东南风,接着是夏季西南季风的爆发,后又转入 1 个月左右的过渡东南风。

南海季风在热带海洋-大气相互作用中扮演重要角色,对我国旱涝有重要影响。吴尚森等^[6] 统计分析了南海夏季风强度与我国汛期降水的关系,结果表明,南海夏季风强(弱)年,长江中下游地区夏季(6~7 月)少雨干旱(多雨洪涝),广东省后汛期降水以偏涝(正常和偏旱)为主。南海夏季风强度指数与夏季长江中下游区降水和淮河区降水有显著的反相关,与江南区降水和华南后汛期降水有显著的正相关。

中国广西的气象工作者根据国家气候中心提供的南海夏季风爆发期 ≤ 26 候的典型偏早年和 ≥ 32 候的偏晚年对南海季风爆发早晚年的大气环流形式及越赤

道气流特点做了简要的分析^[7-8]。

此外,有人研究过南海季风与厄尔尼诺、东海气旋以及太阳黑子活动的联系,结果表明,太阳黑子出现峰值年、厄尔尼诺现象以及厄尔尼诺次年导致的东海气旋偏多年,南海季风爆发时间偏早;反之,爆发偏晚^[9-13]。

Wang 等^[14] 的最新研究结果发现,近 30 a 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 年代际转型,即 1979—1993 年代和 1994—2006 年代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,南海夏季风爆发早晚有何特征,以及爆发早晚年南海季风系统的年循环主模态有什么特征,都还不清楚。本文通过多变量经验正交分解(MV-EOF)方法,分别对 1993—1994 年代际转型前后背景下南海夏季风爆发早、晚年滤出年周期分量的南海季风系统(风和降水)进行了研究,并比较了大尺度环流的空间分布特征和差异。

1 资料与方法

本文使用了 1979-01~2007-12 近 30 a 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

* 基金项目:国家自然科学基金项目(40975038,40830106);中国气象局行业专项(GYHY200906008);高等学校创新引智计划项目(B07036)资助
收稿日期:2010-04-28;修订日期:2010-06-07

作者简介:黄菲(1971-),女,教授,博导。E-mail: huangf@ouc.edu.cn

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6d平均。

为了提取年周期为主的季节变化信号,本文利用谐波分析方法,对各物理量场每年73候的资料进行滤波,滤出0~3波代表季节变化信号。

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($105^{\circ}\text{E}\sim 125^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ}\text{N}\sim 25^{\circ}\text{N}$)的850 hPa经向风、纬向风以及降水,分别对1993—1994年代际转型前后南海夏季风爆发早年和晚年的季节变化分量合成场进行MV-EOF分析,得到季节变化分量前几个主模态的时空分布特征,并通过主成分的回归分析研究大范围环流场的特征。

2 南海夏季风爆发时间

本文采用Wang等^[15]对南海夏季风爆发时间的定义,规定850 hPa南海中心区域($110^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\text{N}\sim 15^{\circ}\text{N}$)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2个条件的第一候:(a)在爆发候南海夏季风爆发指数 > 0 (b)在随后的4候中(包括爆发候)有至少3候的夏季风爆发指数为正且这4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29a爆发候的均方差为2.03候,因此取南海夏季风爆发候 ≤ 26 候作为南海夏季风爆发偏早年(表1中蓝色阴影年份),取南海夏季风爆发候 ≥ 31 候为南海夏季风爆发偏晚年(表1中黄色阴影年份)。这29a中爆发早年为1994,1996,2000,2001,2005,2007,爆发晚年为1981,1982,1983,1987,1991,1993年。可以发现,在1979—2007这近30a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

Table 1 The onset data in South China Sea summer monsoon during 1979—2007

年份 Year	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
爆发时间(候)		27	31	31	31	29	30	27	32	29
Onset date (pentad)										
年份 Year	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
Onset date (pentad)										
年份 Year	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
爆发时间(候)	30	26	26	27	28	27	26	27	26	
Onset date (pentad)										

3 年循环的时空特征

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早、晚年前

8个模态的方差贡献百分比。可以发现无论是夏季风爆发偏早年还是偏晚年,前2个模态的方差贡献都较大,均超过总方差的70%,且根据North等^[16]的法则二者互为显著独立的模态,因此本文主要分析前2个主模态的时空特征。

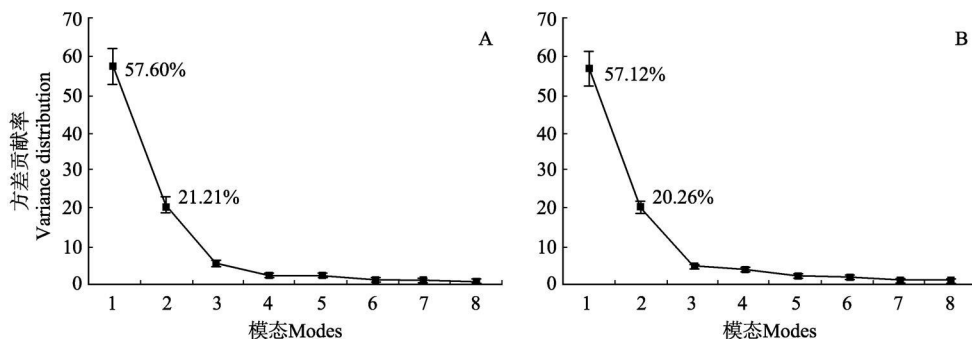


图1 南海夏季风爆发早(A)、晚(B)年MV-EOF前8个模态的方差贡献百分比分布

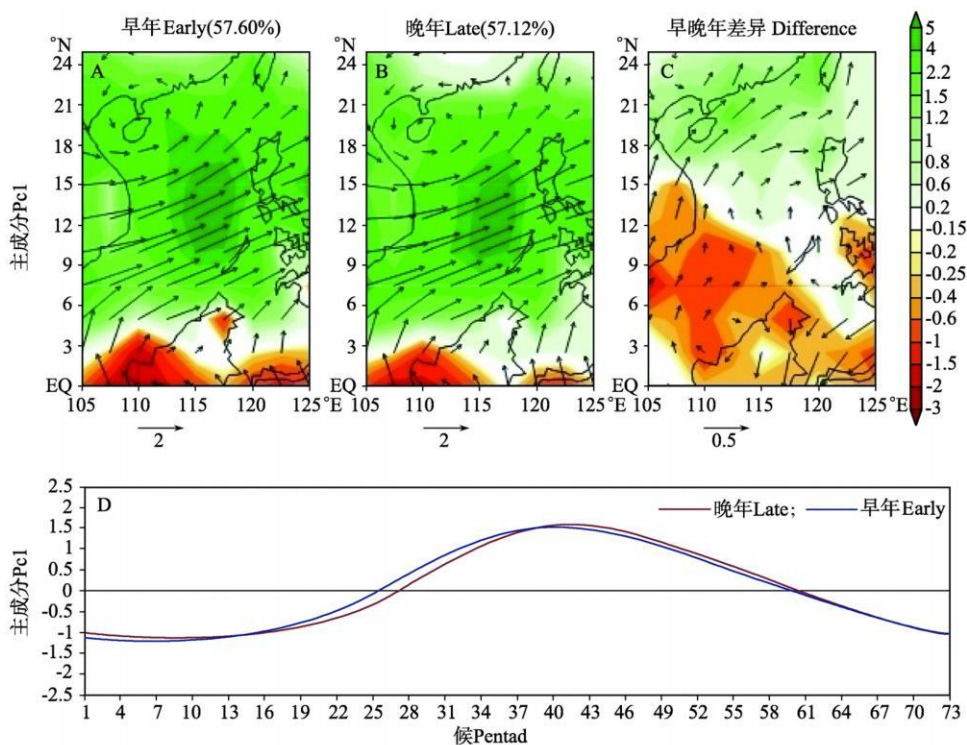
Fig. 1 Variance distribution of the first eight MV-EOF modes in early(A) and late(B) onset years of SCSSM

3.1 冬夏反相模态

第一模态的方差贡献无论是南海夏季风爆发早年还是晚年均超过了 57%, 是南海季风系统季节变化的最主要模态。图 2 分别给出了第一模态南海夏季风爆发早年 and 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 (见图 2D), 南海夏季风早年和偏晚年均表现为平滑的全年一波的特征, 夏半年时段在 28~ 60 候为正值, 冬半年为 61~ 次年 24 候为负值, 因此称该模态为冬夏反相模态, 它主要反映了冬季和夏季反位相变化的特征。其中爆发早年 PC1 在第 25 候 (5 月初) 由负转正值, 第 39 候 (6 月下旬) 达到极值, 爆发晚年则 PC1 在第 27 候 (5 月中旬) 由负转正, 第 42 候 (7 月上旬) 达到极值, 表明从夏季风爆发时

间和达到峰值的时间上来看爆发早年均比晚年早 2~ 3 候, 但在夏季风撤退冬季风建立时间上二者则几乎一致, 都在第 60 候 (10 月下旬), 表明南海夏季风爆发早年夏季风持续时间略长于爆发晚年。

南海夏季风爆发早年 (见图 2A) 与晚年 (见图 2B) 的空间特征大致相同, 表现为夏季南海 5°N 以北的中央深水海盆区菲律宾以西的强降水中心, 伴随着 850 hPa 上南海中部的西南风急流和北部海南岛附近的气旋性环流。冬季则正好相反, 南海大部分区域处于干旱时期, 降水主要出现在 5°N 以南的赤道地区。从低空环流形势上看, 冬季南海以强劲的东北风为主, 在海南岛有反气旋式环流。



(填色等值线代表降水, 矢量代表 850 hPa 风场。Shaded for precipitation; Arrow means 850 hPa winds.)

图 2 南海夏季风爆发早晚年季节变化第一模态空间分布 (A, B) 及其差值场 (早年减晚年 C) 和时间序列 (D)

Fig. 2 Space distribution of early and late (A, B) onset years in SCSSM, their differences (C) and time series (D) of PC1's seasonal variability

从南海夏季风爆发早晚年 EOF 空间分布差值场上 (见图 2C) 可以看出, 早年与晚年的区别表现在降水与风场的强度上。在南海北部地区 (13°N 以北), 夏季风爆发早年的降水及西南风的强度均大于晚年, 在南海南部, 早年的降水及西风的强度较晚年弱些。值得注意的是在南海夏季风爆发早年, 华南沿海的降水明显强于夏季风爆发晚年的降水, 且主要呈现出东北-西南向带状分布, 与低空加强的西南风异常相对应。

3.2 春秋反相模态

无论是 1994 年以后南海夏季风爆发偏早年还是 1993 年之前的爆发偏晚年, 第二模态方差贡献百分比都超过了 20%, 主要反映了春夏季和秋冬季的反相变化特征 (见图 3D), 时间序列的正、负极值分别出现在秋季和春季, 是季节变化的又一主要模态, 这里称为春秋反相模态。南海夏季风爆发早晚年在春夏季节差别不大, 主要差异在秋冬季节, 爆发早年在第 63 候 (10 月中旬) 达到极值, 比爆发晚年提前 4 候 (晚年在 11 月初达到极值) 左右, 注意到第一模态中冬季风开始的时间

(PC1 由正转负) 大约在 10 月初, 因此该春秋模态可能也相对较早。主要反映了南海夏季风爆发偏早的年份冬季风的建立

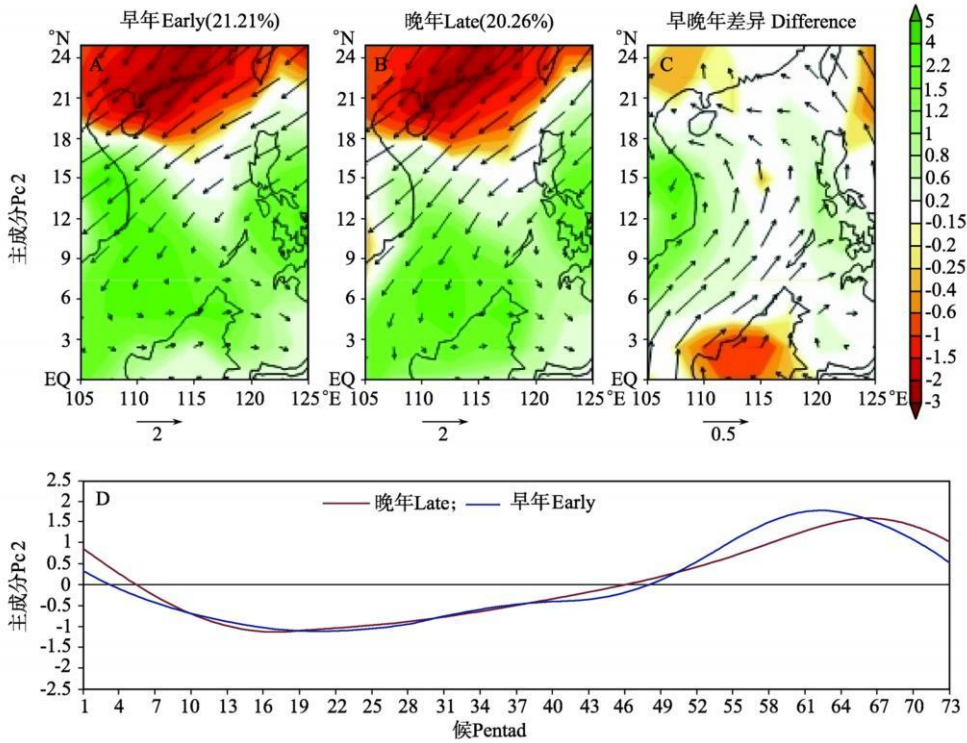


图 3 同图 2, 但为第二模态

Fig. 3 The same as fig. 2, but for PC2

空间场上该模态反映了南海地区秋冬(春夏)季节北干(湿)南湿(干)的南北偶极子型降水分布特征, 夏季风爆发早年降水多发生在中南半岛的东南部越南境内, 而南部的加里曼丹岛则降水偏少, 这与东南亚地区雨季开始于北半球的秋季有关^[17], 梁俊明等^[18]也指出, 越南北部降水主要集中在夏季, 中部和南部降水主要集中在秋季, 这可能与越南地理位置以及台风活动有关; 夏季风爆发偏晚年主要反映了深秋初冬的特征, 因此由于赤道辐合带的南移降水主要发生在南海南部; 春季正好相反, 降水主要发生在我国华南沿海和南海北部地区。对应的风场上整个南海进入冬季风环流, 低空 850 hPa 上都盛行一致的东北季风, 但 1994 年以后的南海夏季风爆发偏早年冬季风较弱, 差值场上(见图 3C)表现为异常的气旋式环流, 气旋式环流中心位于越南一带对应该地区秋季降水偏多。在菲律宾以及马来西亚以北有弱的气旋式环流, 在赤道附近转为西风气流(见图 3A, B), 与周发琇等^[11]提到的冬季风环流流函数场在菲律宾群岛的气旋式环流结论一致。

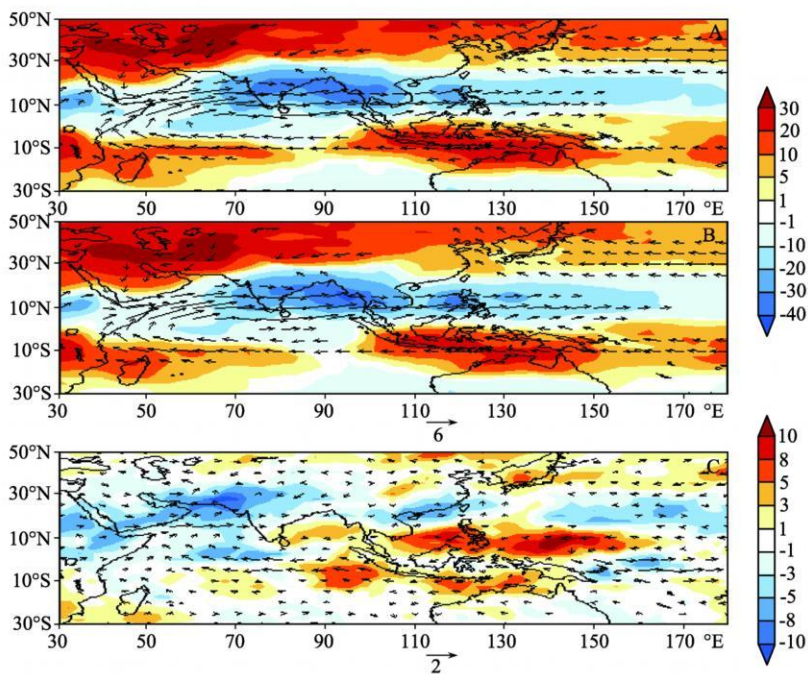
4 大尺度环流特征

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, 南海局

地的季风系统年循环主要呈现出冬夏反相和春秋反相模态, 与这 2 个主模态相关的大尺度环流背景特征如何还不清楚, 为此, 这里分别将南海夏季风爆发早晚年的主成分与 850 hPa 风场及 OLR 对流场各点做回归分析, 并做早晚年回归场的差值场(早年减去晚年)对比其主要差异。

4.1 第一模态

第一模态(见图 4)主要反映南海夏季风爆发后进入盛夏时节亚太地区大范围的环流特征, 南半球 10°S 附近大范围盛行东风气流, 并在索马里与西太平洋地区存在 2 支强大的越赤道气流, 越赤道后形成强大的西南季风。从差值场上看(见图 4C), 南海的越赤道气流早晚年强度差异不大, 显著差异主要表现为夏季风爆发早年的索马里越赤道气流比爆发晚年更强, 与覃志年等^[7]阐述的南海夏季风爆发前越赤道气流的特征基本一致。此外, 高辉等^[19]也指出, 索马里和南海越赤道气流建立偏早、强度偏强时, 南海夏季风爆发易偏早; 反之, 当这 2 支南风气流建立偏晚、强度偏弱时, 则南海夏季风爆发易偏晚。因此, 越赤道气流可作为南海夏季风爆发早晚的预报根据。冬季风时期所有的风矢量均反转符号。



(填色等值线代表 OLR, 矢量代表 850 hPa 风场。Shaded for OLR; Arrow means 850 hPa winds.)

图 4 南海夏季风爆发早年(A)与晚年(B) EOF PC1 与 850 hPa 风场和 OLR 场的回归以及早年与晚年的差值场(C)

Fig. 4 EOF PC1 regression field of 850 hPa winds and OLR in early(A) and late (B) onset years in SCSSM and their differences (C)

南海夏季风爆发早晚年对流场(见图 4A, B)表现为北半球夏季赤道及其以北地区从阿拉伯海、印度半岛穿过南海一直到西北太平洋地区的强对流带, 对应于流场上的季风槽区, 热带地区的 2 个对流中心分别位于孟加拉湾和南海, 与南海夏季风爆发后的西南气流和多雨天气一致。南半球存在 2 个独立的干位相中心, 1 个位于西南印度洋马达加斯加地区, 另 1 个位于澳大利亚以北及海洋大陆地区, 对应着北半球冬季南半球夏季季风槽内的对流降水。对流场的显著差异(见图 4C)在于南海北部及华南沿海地区一直到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, 反映了夏季东亚季风槽的位置偏北, 而在南海夏季风爆发偏晚年则对流位置偏南季风槽位置偏南。在南亚地区, 南海夏季风爆发偏早年份对流在赤道以北热带西印度洋的阿拉伯海一带较强, 而孟加拉湾较弱, 夏季风爆发偏早年份则相反, 季风对流在热带东印度洋及南海-西太平洋南部区域较强。

4.2 第二模态

第二模态对流场及风场的回归场主要反映了冬季风的环流特征(见图 5)。北半球热带亚洲季风区盛行东北季风, 南海北部和阿拉伯海为 2 个大风中心, 赤道

附近为气旋式风场环流, 对应着秋冬季节的赤道辐合带位置, 因此该地区也是强对流区域, 强对流中心主要位于南海南部和印度半岛东南部。在该赤道地区强对流带的北侧为东北-西南向带状分布的干区, 从华南沿海一直延伸到日本东南黑潮延伸体海区, 这个区域的对流可能对应着春季南海北部锋面降水过程。注意到在西太平洋沿岸地区, 这种对流的南北跷跷板式反相分布与 850 hPa 风场上菲律宾以东异常气旋式环流和日本东部的反气旋式环流构成了南北偶极子环流对, 类似于 PJ 波列的遥相关型正位相的分布特征^[20]。

从南海夏季风爆发早晚年的差值场上(见图 5C)可以发现, 在南海夏季风爆发早年的秋季, 冬季风建立也偏早, 对流的最显著差异表现在菲律宾以东的西太平洋暖池区对流减弱, 相应的 PJ 波列增强, 同时, 南海上空的东北季风减弱, 而阿拉伯海的东北风则加强。另外注意到对流场上从南海向西北方向倾斜一直到印度半岛地区呈现出正负相间的东北-西南走向带状波列分布, 它可能反映了菲律宾以东对流异常激发的西传 Rossby 波在春、秋季的不同特征, 与季风区的季节内振荡有关^[14, 21]。

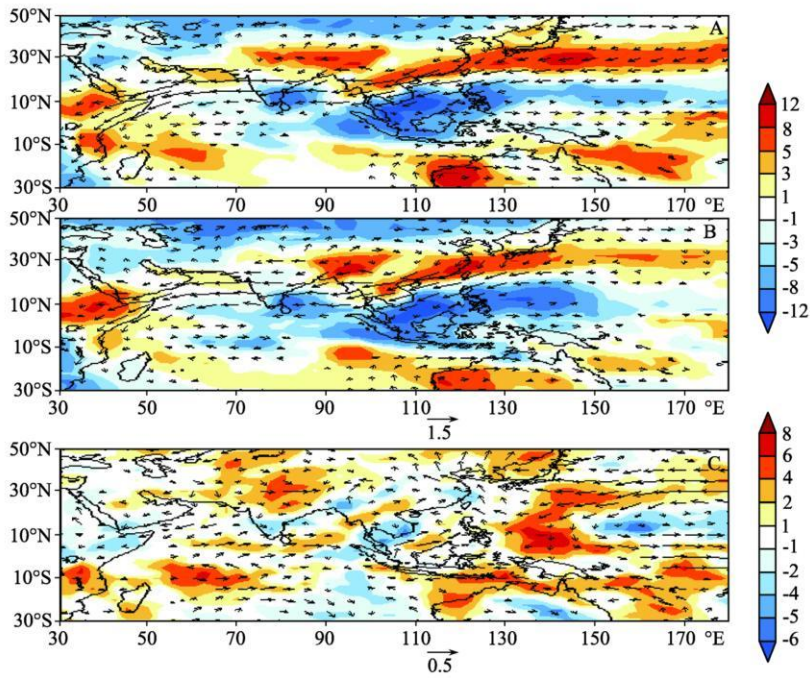


图5 同图4, 但为第二模态

Fig. 5 The same as fig. 4, but for PC2

5 结论

本文利用MV-EOF、回归分析、谐波分析方法,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变化尺度上的时空分布特征,得到以下结论:

(1) 采用Wang等^[15]对南海夏季风爆发时间的定义,找出了1979—2007这近29 a中南海季风爆发偏早年 and 偏晚年,发现偏晚年均出现在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。第一模态表现为冬夏反位相的年周期变化,但爆发早年夏季风持续时间略长于爆发晚年,空间上都反映了南海中央海盆区的夏季强降水和850 hPa上南海北部的气旋性环流异常,但夏季风爆发早年中国华南沿海降水加强而南海南部降水偏少。相应的大范围环流场上主要反映了南海夏季风爆发后进入盛夏时节亚太地区大范围的环流特征,南海夏季风爆发偏早年索马里越赤道气流偏强,东亚季风槽位置偏北,爆发偏晚年则相反。

(3) 第二模态反映了南海季风系统春秋反位相的季节变化,且秋季的振幅更强,空间降水场上该模态反映了南海地区秋冬(春夏)季节北干(湿)南湿(干)的南北偶

极子型降水分布特征,850 hPa风场上则主要表现为异常的东北季风,该模态时空特征表明南海夏季风爆发偏早年的秋季,冬季风建立也偏早,越南及周边地区的降水偏多。相应的大范围环流场上则主要反映了冬季风的环流特征,在南海夏季风爆发偏早年的秋季,菲律宾以东的热带对流减弱,PJ波列增强,爆发晚年则相反。

致谢:本文的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] 周发秀,张涛,高荣珍.南海季风区地域性大气环流的结构[J].中国海洋大学学报:自然科学版,2001,31(4):467-472.
- [2] 李湘淑,郭学良,付丹红.南海季风爆发期间大气环流结构与对流热量、水汽输送特征[J].气候与环境研究,2008,13(1):93-101.
- [3] Tao S Y, Chen L X. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China [M]. Chang C P, Krishnamurti T N, Eds. Monsoon Meteorology. USA: Oxford University Press, 1987: 60-92.
- [4] Wyrtki K. Physical oceanography of the Southeast Asian waters [R]. Naga Rep. 2. San Diego: University of California, 1961: 195.
- [5] 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.
- [6] 吴尚森,梁建茵,立春晖.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] 覃志年,金龙,何慧.南海夏季风爆发早晚的越赤道气流特征

- [J]. 气象研究与应用, 2007, 28(3): 8-11.
- [8] 何秋香, 陆芳华, 覃志年. 南海夏季风爆发早晚环流 EOF 特征 [J]. 气象研究与应用, 2008, 29(3): 6-8.
- [9] 陈文玉, 金德山, 李培, 等. 太阳黑子对南海季风爆发即热带风暴活动的影响 [J]. 热带海洋, 2000, 19(4): 23-27.
- [10] 陈文玉, 金德山, 唐晓卫, 等. 厄尔尼诺、东海气旋活动及南海季风爆发的相互关系 [J]. 海洋预报, 2001, 18(3): 34-38.
- [11] 黄仁海, 陈文玉, 郭湘平. 厄尔尼诺对南海季风爆发及热带风暴活动的影响 [J]. 气象科技, 1999, 4: 39-41.
- [12] Chao S Y, Shaw P T, Wu S Y. El Nino modulation of the South China Sea circulation [J]. Progress in Oceanography, 1996, 38: 51-93.
- [13] Wu C R, Shaw P T, Chao S Y. Seasonal and interannual variations in the velocity field of the South China Sea [J]. J Oceanogr, 1998, 54: 361-372.
- [14] 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: 15-37.
- [15] Wang B, Lin H, Zhang Y, et al. Definition of South China Sea monsoon onset and commencement of the East Asia [J]. J Climate, 2004, 17(4): 699-710.
- [16] North G R, Bell T L, Cahalan R F, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions [J]. Mon Weather Rev, 1982, 110: 699-706.
- [17] Chang C P, Wang Z, McBride J, et al. Annual cycle of Southeast Asian maritime continent rainfall and the asymmetric monsoon transition [J]. J Climate, 2005, 18: 287-301.
- [18] 梁俊明, 孙照渤. 越南北部夏季降水特征及其与海温的联系 [J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(6): 844-848.
- [19] 高辉, 薛峰. 越赤道气流的季节变化及其对南海夏季风爆发的影响 [J]. 气候与环境研究, 2006, 11(1): 57-68.
- [20] Nitta T. Convective activities in the tropical western Pacific and their impact on the northern hemisphere summer circulation [J]. J Meteor Soc Japan, 1987, 65: 373-390.
- [21] Wang B, Wu R G, Fu X H. Pacific-East Asia teleconnection: How does ENSO affect East Asian climate? [J]. Journal of Climate, 2008, 13: 1517-1536.

Seasonal Variability of the South China Sea Monsoon System Before and After the Decadal Shift in 1990s

HUANG Fei, XING Wen, LI Yuan Ni, ZHANG Xu, DONG Jing-Shu

(Ocean Atmosphere Interaction and Climate Laboratory (OAC) 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 seasonal cycle are analyzed. Results show that the onset of SCS summer monsoon appears a decadal shift around 1993—1994 from later onset before 1993 to earlier than normal after 1994. The first leading mode shows a winter-summer out-of-phase mode, or so-called solstitial mode. The summer monsoon duration in early onset years lasts longer than that in late onset years. Spatial patterns in early and late onset years all appear strong rainfall in summer in the central basin of the SCS and cyclonic circulation over the north of SCS at 850 hPa. Stronger rainfall appears along the coast of the South China and dryer situation over the south of the SCS during the early summer monsoon onset years. Corresponding large-scale circulation relative to the first mode shows a strong Somali cross-equatorial flow and northward of monsoon trough in early onset years, and vice versa in late onset years. The second mode appears a spring-autumn out-of-phase mode, or so-called equinoctial asymmetric mode. Spatial pattern appears a north-south seesaw precipitation pattern and northeasterly at 850 hPa over the SCS. This mode indicates that the winter monsoon onset earlier in the early summer monsoon onset years, with richer rainfall in Vietnam. Corresponding large-scale circulation shows weaker convection east of Philippine and a stronger PJ teleconnection wavetrain in early onset years, and vice versa in late onset years.

Key words: onset of South China Sea summer monsoon; decadal shift in 1990s; annual cycle; spatial-temporal distribution

责任编辑 庞旻