

南海及周边地区晚春初夏 降水变异关联主模态及其机理*

简茂球, 彭敏, 罗欣

(中山大学大气科学学院//季风与环境研究中心//
广东省气候变化与自然灾害研究重点实验室, 广东 广州 510275)

摘要: 基于近38年的观测资料,对南海及周边地区5、6月份降水变异关联主模态及其机理进行了统计诊断分析。南海及周边地区5、6月份降水的第一关联主模态反映出5、6月的降水变异的空分布相似,即中南半岛、南海及菲律宾海均为同号区,而在中国南方地区则与之反号;时间尺度上以年际变化为主。该模态与前期发生的ENSO事件有密切联系,在ENSO冷事件(暖事件)的强迫作用下,使得5、6月份在南海-菲律宾附近出现持续的异常气旋(反气旋),进而影响南海及周边地区的降水的持续异常。第二模态显示南海及周边地区5月、6月降水异常的空分布大致反相,其中在南海中部及菲律宾海的降水异常与我国东部的降水负异常反号;时间尺度以年代际变化为主。该模态主要是受南海夏季风爆发时间出现年代际提前的影响所致,其中又以低频季内分量的年代际变异的作用更为重要。

关键词: 降水变异模;机理;南海及周边地区;晚春初夏

中图分类号: P426.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2018)05-0001-09

Coherent leading modes of precipitation variation in late spring and early summer over the South China Sea and surrounding area and their mechanisms

JIAN Maoqiu, PENG Min, LUO Xin

(School of Atmospheric Sciences//Center for Monsoon and Environment Research//
Guangdong Province Key Laboratory for Climate Change and Natural Disaster Studies,
Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: The coherent leading modes of precipitation variation over the South China Sea and surrounding area in May and June and their mechanisms statistically were studied, based on the observed data in recent thirty-eight years. The first coherent leading mode shows the similar spatial patterns of precipitation anomalies in May and June. The anomalies in the Indochina Peninsula, the South China Sea and the Philippine Sea are in-phase, which are out of phase with the anomalies in southern China. The first principle component is dominant on interannual time scale. This first leading mode is closely attributed to ENSO events occurred in the previous year. The cold (warm) ENSO events force the persistent anomalous cyclone (anti-cyclone) over the South China Sea and the Philippine Sea in May to June, which eventually leads to a persistent anomalous precipitation over the South China Sea and surrounding areas.

* 收稿日期: 2017-07-25

基金项目: 国家重点研发计划专项项目(2016YFA0600601); 国家重点基础研究发展计划(2014CB953901); 国家自然科学基金(41475049; 41530530); 国家自然科学基金国际(地区)合作研究项目(41661144019); 中央高校基本科研业务费专项项目(16lgjc05)

作者简介: 简茂球(1965年生),男;研究方向:季风与海气相互作用;E-mail: eesjqm@mail.sysu.edu.cn

The second coherent mode exhibits a rough anti-phase spatial distribution in May and in June. The anomalies in the east part of China are anti-phase to those in the central South China Sea and the Philippine Sea. The second principle component is dominant on interdecadal time scale. This mode is mainly attributed to the advanced interdecadal change of the South China Sea summer monsoon onset affected strongly by the interdecadal change of evolution of low frequent intraseasonal oscillation.

Key words: anomalous mode of precipitation; mechanisms; South China Sea and surrounding areas; late spring and early summer

南海是亚州、印度洋和太平洋的交汇区。受多方大气环流和天气系统的影响,该地区天气和气候复杂多变。南海及周边地区气候的季节变化与南海夏季风活动有密切联系,南海夏季风一般爆发于5月中旬,标志着东亚夏季风和南海地区雨季的开始^[1]。气候平均而言,南海和中南半岛地区的雨季出现在5-10月,5、6月是该地区雨量激增的阶段。而南海北侧的华南的雨季是4-9月,其中4-6月是华南前汛期,又以5-6月雨量最多。所以5、6月是南海及周边地区春夏季节或季节气候的转换阶段,也是洪涝灾害多发期的开始,因此,研究该地区5、6月降水异常特征具有重要的科学价值和意义。另外,南海夏季风系统的爆发和强度都有着非常显著的年际和年代际变化变化^[2-3],因此必然会造成当地及周边地区甚至更远区域的降水和气候出现显著的逐年变异。目前,许多关于东亚季风区降水的研究着眼点多为单个季节的降水变化、或者前汛期、后汛期降水^[4-9]等等。但是,南海及周边地区春夏季节转换阶段的降水变异的特征,尤其是5、6月降水变异的关联性及其机理还尚不清楚,相关的研究还较缺乏。因此,本文的目的就是要分析南海及周边地区5、6月份降水变异的关联主模态及其特殊型,并进一步探讨与之相关的机理。对上述问题的研究将丰富人们对春夏季节转换阶段南海及周边地区的降水气候异常的特殊性及其机理的理解,也可为提高该地区的气候预测水平提供有益的参考依据。

1 资料与方法

本研究所用资料包括:①美国美国国家大气海洋局(NOAA)提供的CMAP(CPC Merged Analysis of Precipitation)月降水资料^[10]和逐日向外射出长波辐射资料(OLR);②欧洲中期天气预报中心(ECMWF)提供的ERA-Interim月平均风场及位势高度资料^[11],分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$;③美国NOAA提供的NOAA_ERSST_V3b海温资料^[12],水平分辨率约为 $2^\circ \times 2^\circ$ 所用资料时间段均为1979-

2016年。

本文采用扩展经验正交函数分解(EEOF)法来提取研究区域5、6月相关联的降水量逐年变异主要模态。具体的做法是,将研究区域5、6月降水量场时间序列放在一起做EOF分析,相当于EOF分析的空间格点数是研究区域格点数的两倍,然后从EEOF计算结果中再分离同一模态5、6月的空间特征向量,分别画图,但它们对应的时间系数是一样的。除了上述方法,本研究还用到相关、线性回归、谐波分解和合成分析等常用的统计方法。

另外,参考文献[13-14]的定义,本研究用到的南海夏季风的爆发时间是按以下标准确定的:当区域($110-120^\circ\text{E}$, $5-17.5^\circ\text{N}$)平均的850 hPa纬向风和250 hPa纬向风分别为西风 and 东风同时持续5 d,并在之后10 d(第6-15天),低层或高层风场中断不超过5 d,那么满足上述条件的第1天视为南海夏季风爆发时间。

2 结果分析

2.1 EEOF 前两个模态

对南海及周边地区5、6月降水场进行EEOF分析得到的前3个模态的方差贡献率分别为12.86%、9.21%、7.28%。下面将主要对前两个模态进行分析。

图1为EEOF第一模态空间特征向量分布以及局地方方差贡献分布图。局地方方差贡献是指某模态的空间特征向量和对应时间系数还原得到的各空间格(站)点的时间序列方差占该点原始时间序列方差的比重^[15]。第一特征向量分布显示出5月(图1a)和6月(图1b)的降水异常空间分布较为相似,即中南半岛、南海及菲律宾海均为正值区,而在中国南方地区均为负值区。从5-6月中南半岛和南海的正值范围缩小,南海-菲律宾海的极值中心位置东移,并略有北移。第一模态的局地方方差贡献分布(图1c, d)可以更清楚地反映出5月和6月降水异常中心的差别。5月(图1c)局部方差

贡献率大于 40% 的极大值区集中在南海中南部 - 菲律宾东南部洋面，而 6 月（图 1d）则主要集中在菲律宾东部洋面。上述模态的空间分布一方面反映了 5、6 月份中南半岛 - 南海 - 热带西太平洋降水与中国南方降水异常的反相关系，另一方面也反映了该区域 5、6 月降水异常分布的关联性。第一

模态的时间系数 PC1（图 3a）表现出以年际变化为主，兼有一定的年代际变化。所以第一模态反映了南海及周边地区 5、6 月降水年际异常的持续性。另外，图 1a, b 的正负值区可以看成是对应 PC1 为正时实际降水异常的分布情形，若 PC1 为负，则结果相反。

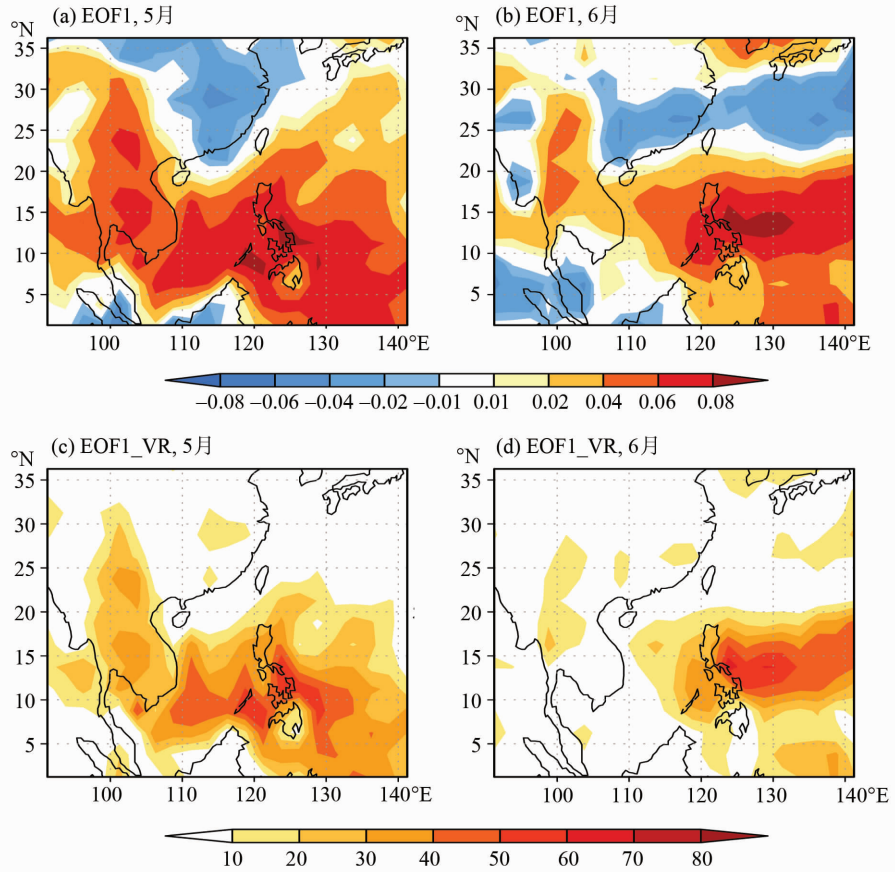


图 1 EEOF 分析的 5 - 6 月降水第一模态的特征向量分布 (EOF1) 以及第一模态局部方差贡献 (EOF1_VR, %) 分布
 Fig. 1 The first leading extended EOF mode (EOF1) of precipitation for May and June, and the corresponding local variance percentage (EOF1_VR, %) for May and June

南海区域及附近区域 5 月的降水多寡与南海夏季季风爆发早晚有密切关系，爆发早则多雨，反之则少雨。为此，计算南海夏季季风爆发时间序列与 PC1 的相关系数为 -0.53，通过 95% 置信度检验。这一证据表明，上述降水第一模态的确受南海夏季季风爆发时间的年际尺度变异影响所致。

EEOF 第二模态特征分布及其局部方差贡献分布如图 2 所示。南海及周边地区 5 月（图 2a）、6 月（图 2b）降水第二模态特征向量分布大致反相。如果我们讨论时间系数 PC2 为正的情形，那么 5 月在南海中部及菲律宾东部存在降水正异常，在我国东部存在降水负异常；到了 6 月，南海及菲律宾

海上空出现降水负异常，且范围较大，而我国南方的降水量为正异常。从 5、6 月对应的第二模态局部方差贡献分布（图 2c、d）也可以看出，5 月方差贡献大值区还是集中在南海及菲律宾东部，而到了 6 月，方差贡献大值中心数值较 5 月的明显大，且位置稍偏北。上面分析结果是针对 PC2 为正的情形，如果 PC2 为负，则结果相反。

第二模态对应的时间系数如图 3b 所示，可以清晰看到 PC2 既有显著的年际变化，也有明显的年代际变化，1981 - 1993 年为负位相年代，而 1994 - 2011 年间为正位相年代，表明 5 月南海中部及菲律宾东部洋面的降水在负位相年代是偏少，

而在正位相年代是偏多的,我国南方降水的年代际变化则正好与之相反;6月降水的年代际变化则又与5月的趋势相反。最近有研究表明,南海夏季风爆发时间在1993-1994发生了年代际的提前^[13,16],而上述PC2也显示出正好在1993-1994发生了年代际转变,因此,可以推测降水的第二模

态与南海夏季风爆发时间的年代际转变有一定的联系。为此,我们计算经五点平滑处理后的南海夏季风爆发时间序列与PC2的相关系数为-0.76,通过95%置信度检验,表明上述降水第二模态的确受南海夏季风爆发时间的年代际尺度变异影响所致。

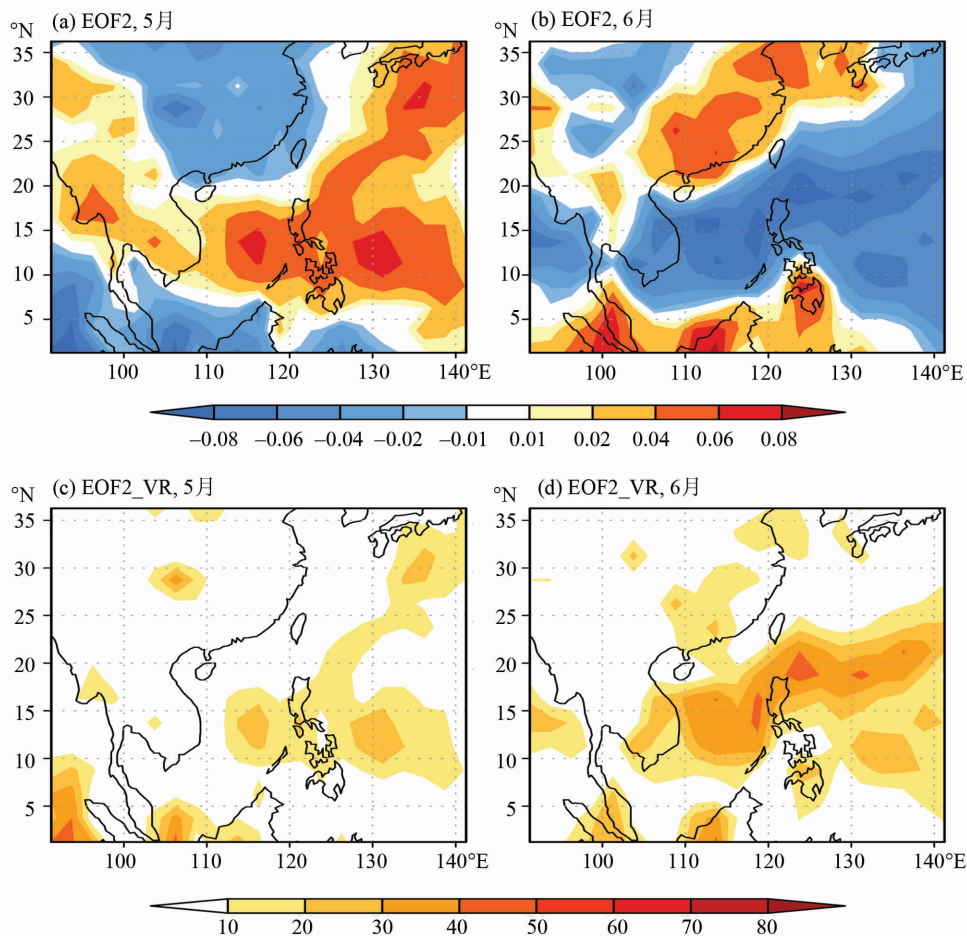


图2 EEOF分析的5-6月降水第二模态的特征向量分布(EOF2)以及第二模态局部方差贡献(EOF2_VR,%)分布

Fig. 2 The second leading extended EOF mode (EOF2) of precipitation for May and June, and the corresponding local variance percentage (EOF2_VR, %) for May and June

2.2 前两个降水模态对应的环流特征

降水异常的最直接原因是大气环流异常。下面将通过分别计算前面EEOF分析得到的PC1和PC2与高层及低层风场及500 hPa垂直速度场的回归场来分析与各降水异常模态相关的环流异常特征。

降水第一模态PC1与高低空风场及500 hPa垂直速度的回归场如图4所示。与降水第一模态所对应的南海及周边地区5、6月份低层环流异常形势相似(图4a, b),当PC1为正时,在南海及菲律宾东部低空存在显著的异常气旋风场,异常气旋的西侧和南侧为显著的辐合异常,北侧即江南、华南

地区有异常辐散,高空则分别存在明显的风场异常辐散、辐合区与之对应(图4c, d),因此也在上述地区分别有异常上升运动和下沉运动与之对应,于是便分别产生了降水量偏多和偏少异常(图1a, b)。

上述5-6月份850 hPa异常风场的相似性实际上反映了南海及附近地区风场异常信号的持续性,这可能是热带海洋的持续异常信号强迫的结果。为此,我们进一步分析了PC1与海温的联系。图5是PC1与前冬和同期春季海表温度的回归系数场。从图5a可知,与降水第一模态相关联的前

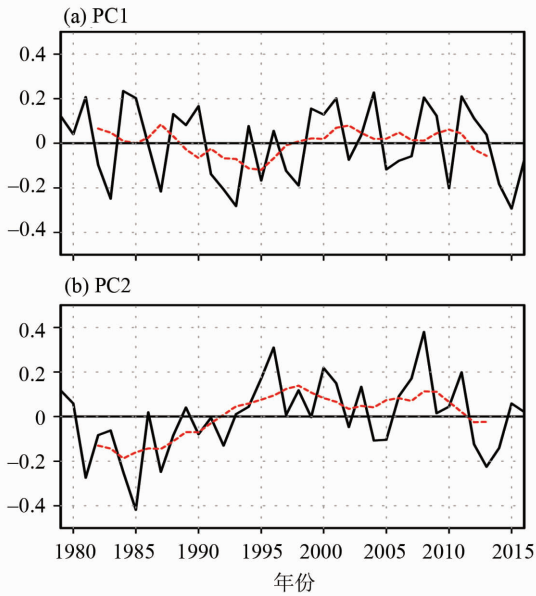


图3 EEOF 分析的前 2 个模态时间系数序列及 7 点平滑曲线（虚线）

Fig. 3 The principle components for the first two leading EOF modes and their 7-point running mean curves (dashed lines)

冬海温异常分布型是典型的 ENSO，具体而言，南海及附近地区 5、6 月的降水量异常分布如图 1(a, b) 的符号所示，则前冬海温处于 ENSO 冷事件；反之，则处于 ENSO 暖事件。到了春季（图 5b），随着 ENSO 事件的演变，赤道中东太平洋的海温异常强度减弱，但热带印度洋的海温异常信号加强。正是由于 ENSO 冷事件（暖事件）的强迫作用下，使得在南海 - 菲律宾附近出现持续的异常气旋（反气旋）^[17-20]，进而影响南海及周边地区的降水异常。因此，降水的第一模态主要是 ENSO 的影响所致。

图 6 为降水第二模态 PC2 与高低空风场及 500 hPa 垂直速度的回归系数场，由图可以看出，降水第二模态对应的 5、6 月份环流形势大致反相。五月份在南海及菲律宾东部洋面上空低层为气旋式异常风场（图 6a），在中南半岛南部至菲律宾南部为西风异常，结合 PC2 的正负值时段的分布（图 3b），这种西风异常正是南海夏季风爆发在 1994 之后出现年代际提前的表现；另外，在气旋的西侧和南侧出现明显的辐合异常，而在长江中下游有辐散异常，高空的散度异常则大致与低层相反（图 6c），对应地在中南半岛西部 - 南海中部 - 菲律宾东部上空出现异常上升运动（图 6e），导致降水增多，而在我国南方则出现异常的下沉运动，导致该

区降水偏少。到了 6 月，在南海北部 - 台湾以东洋面上空 850hPa 层存在显著的异常反气旋（图 6b），反气旋南侧的偏东风异常表明南海夏季风的年代际减弱，并伴随着异常辐散，在江南一带则有异常辐合；高层的异常风场导致的散度异常分布大致与低层反号，从而造成在中南半岛南部 - 南海中部 - 菲律宾海存在明显的异常下沉运动，对应降水偏少，而在我国南方出现异常上升运动，对应降水偏多（图 6f，图 2b）。

在前面 2.1 节的结果已表明南海及周边地区降水 EEOF 第二模态主要受南海夏季风爆发时间出现年代际提前变异的影响所致。有关南海夏季风爆发时间出现年代际变异的物理机制已有一些研究从热带西太平洋的海温和对流活动的年代际变异进行了探讨。Kajikawa and Wang^[16] 南海夏季风爆发在 1993 - 1994 年的年代际提前现象主要是赤道西太平洋海温的年代际变化的结果。由于热带西太平洋的海温增暖，导致在 1994 之后西太平洋的季节内变化显著增强，并且经过南海以及菲律宾海的热带气旋数量是前一年代的 2 倍。增强的季节内振荡以及西北行的热带扰动是触发后一年代南海夏季风爆发提前的重要因素。Yuan and Chen^[13] 进一步指出，热带西太平洋的海温增暖有利于该地区的对流活动生成，而活跃的对流促使副热带高压提早东退，从而导致南海夏季风提早爆发。

另外，图 2 显示的南海及菲律宾海的 5、6 月降水反号的年代际异常趋势，这与 Kajikawa and Wang^[16] 在 1994 年后上述地区 5 月的对流出现年代际加强而 6 月的对流减弱的结果是一致的。由于大气的季节内振荡对南海夏季风爆发有重要影响作用，南海夏季风爆发时间在 1994 之后出现年代际提前实际上是与对流活动的季节内分量在 5 月份处于年代际异常活跃位相有关，随着季节内时间尺度变化的演变，到 6 月份南海及附近地区的对流活动便处于年代际异常抑制位相。如图 7a 显示的 OLR 低频分量（周期在 10 d 以上）的年代际差值（1994 - 2010 年的平均值减 1979 - 1993 年的平均值）的逐日经度 - 时间剖面图所示，从 90 - 140°E 在 5 月主要出现负值为主，说明中南半岛东至菲律宾海的对流活动在（1994 - 2010）年代是偏强的，但在 1979 - 1993 年代是相对偏弱的；6 月的情形则与 5 月基本相反。上述 OLR 在 5、6 月的反相变异特征主要是由于 25 ~ 90 d 的季内分量的年代际变异所致（图 7b）。

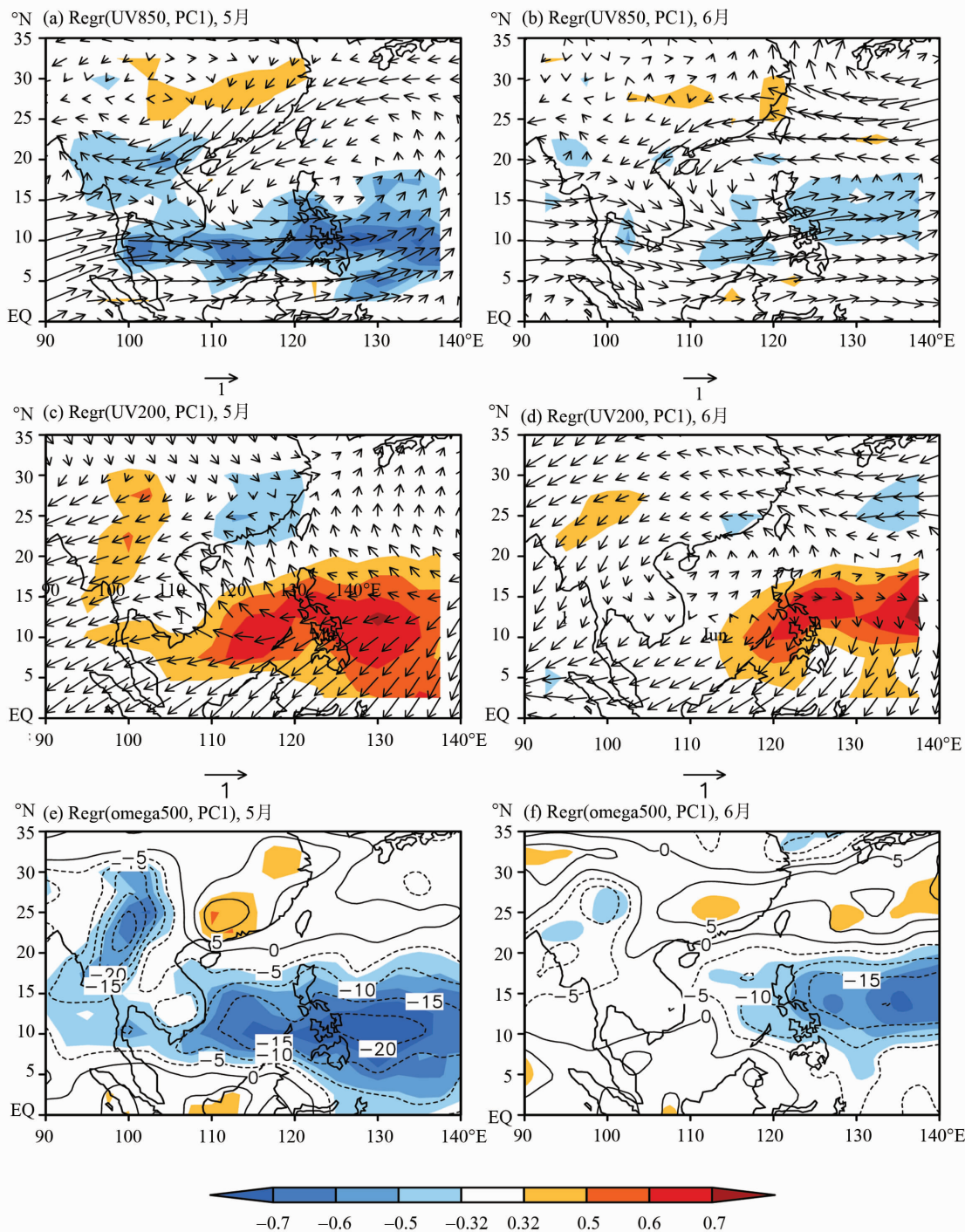


图 4 EEOF 分析的标准化 PC1 与 5 月、6 月 850 hPa、200 hPa 风场 (m/s) 及 500 hPa 垂直速度场 (10^{-3} Pa/s) 的回归系数场 图中填色部分为 PC1 与各风场水平散度 (a-d), 500 hPa 垂直速度 (e, f) 的相关系数通过 95% 置信度检验的范围

Fig. 4 Regression coefficients of 850 hPa wind (m/s), 200 hPa wind (m/s) and 500 hPa p-velocity (10^{-3} Pa/s) against the normalized PC1 Shadings of (a-d) denote regions with the correlation coefficients between PC1 and divergence (a-d), and vertical p-velocity (e, f) significant above 95% confidence level

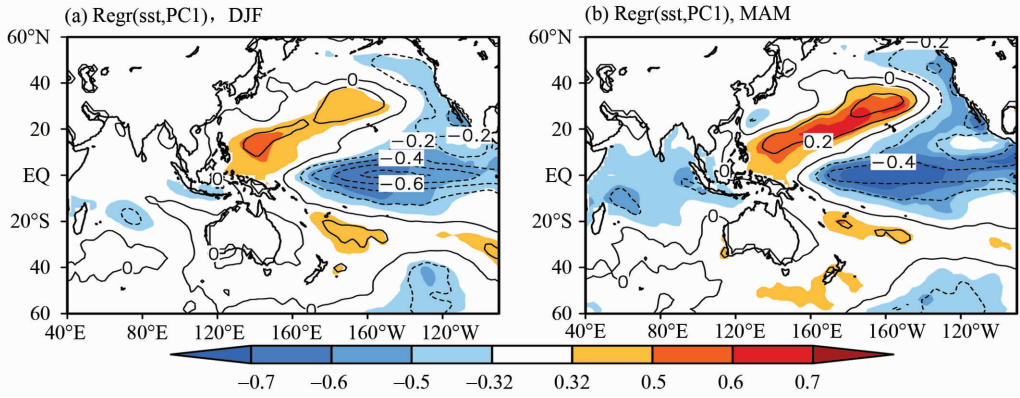


图 5 降水量 EOF 分析的标准化 PC1 分别与前期冬季海温 (a) 和春季海温 (b) 的回归系数场 ($^{\circ}\text{C}$)。填色区表示是 PC1 与海温的相关系数通过 95% 置信度检验区域

Fig. 5 Regression coefficients ($^{\circ}\text{C}$) of sea surface temperature (SST) in previous winter (a) and spring (b) against the normalized PC1. Shadings denote regions with correlation coefficients between SST and PC1 significant above 95 % confidence level

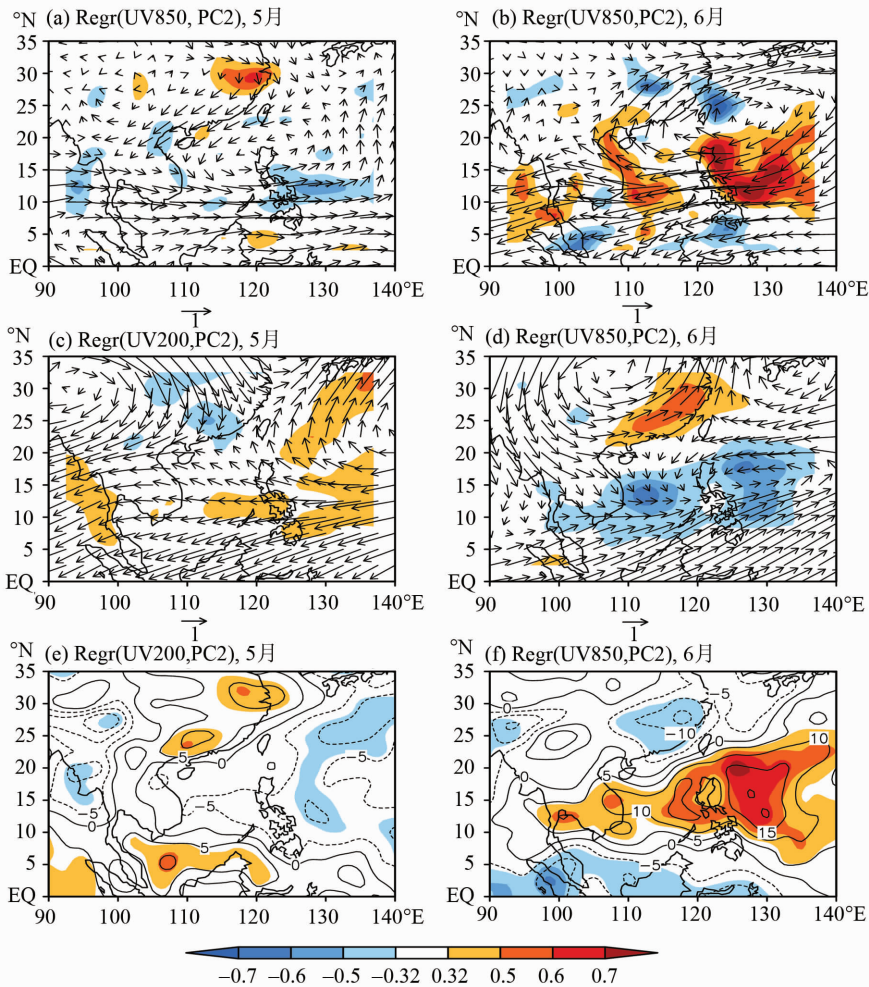


图 6 EOF 分析的标准化 PC2 与 5 月、6 月 850 hPa、200 hPa 风场 (m/s) 及 500 hPa 垂直速度场 (10^{-3} Pa/s) 的回归系数场图中填色部分为 PC2 与各风场水平散度 (a-d), 500 hPa 垂直速度 (e,f) 的相关系数通过 95% 置信度检验的范围

Fig. 6 Regression coefficients of 850 hPa wind (m/s), 200 hPa wind (m/s) and 500 hPa p-velocity (10^{-3} Pa/s) against the normalized PC2. Shadings of (a-d) denote regions with the correlation coefficients between PC2 and divergence (a-d), and vertical p-velocity (e,f) significant above 95% confidence level

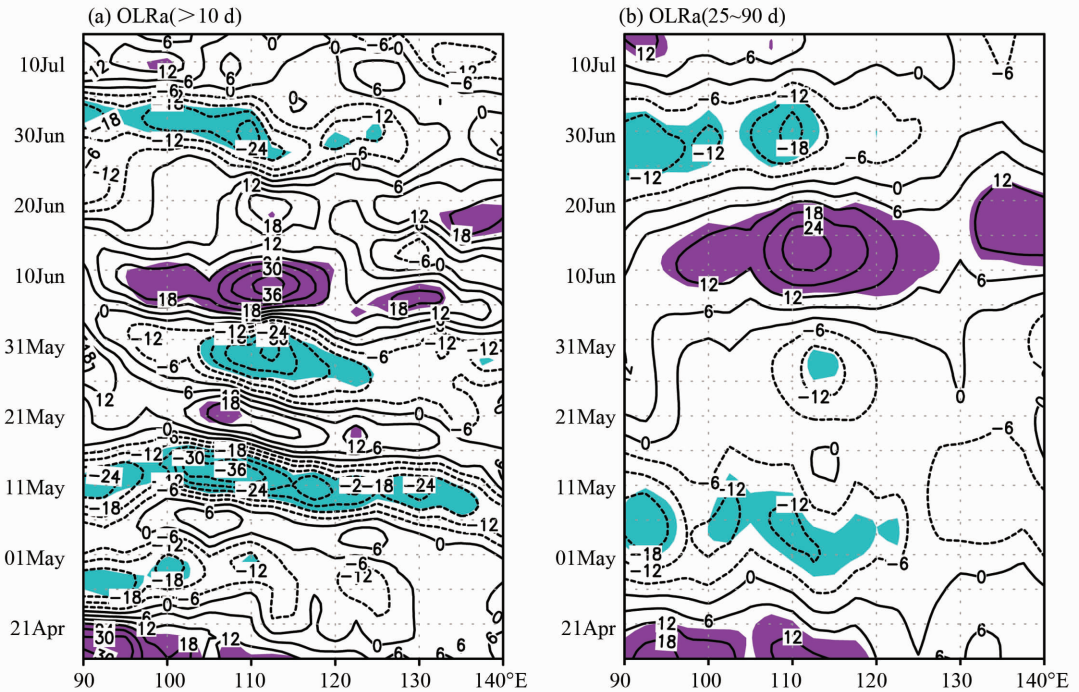


图 7 OLR 的 (1994 - 2010) - (1979 - 1993) 年代际差值场沿 10°N 的经度 - 时间剖面图 (W/m^2)

填色区为通过 90% 置信度检验区域

Fig. 7 Hovmöller diagram of epochal difference in the out-going longwave radiation (W/m^2)

along 10°N (1994 - 2010 minus 1979 - 1993). Shadings denote regions significant above 90% confidence level

3 结 论

本文分析了南海及周边地区 5、6 月降水异常的关联主模态及与之相关的环流特征, 并进一步分析了它们背后的机理, 得到以下结果:

1) 南海及周边地区 5、6 月份降水的 EEOF 第一关联主模态反映出 5、6 月的降水变异的分布相似, 即中南半岛、南海及菲律宾海均为同号区, 而在中国南方地区则与之反号; 时间尺度上以年际变化为主。该模态与前期发生的 ENSO 事件有密切联系, 在 ENSO 冷事件 (暖事件) 的强迫作

用下, 使得 5、6 月份在南海 - 菲律宾附近出现持续的异常气旋 (反气旋), 进而影响南海及周边地区的降水的持续异常。

2) EEOF 第二模态显示南海及周边地区 5 月、6 月降水异常的空间分布大致反相, 其中在南海中部及菲律宾海的降水异常与我国东部的降水负异常反号; 时间尺度以年代际变化为主。该模态主要是受南海夏季风爆发时间出现年代际提前的影响所致, 其中又以低频季内分量的年代际变异的作用更为重要。

参考文献:

- [1] 乔云亭, 简茂球, 罗会邦. 南海夏季风降水的区域差异及其突变特征[J]. 热带气象学报, 2002, 18(1): 38 - 44.
QIAO Y T, JIAN M Q, LUO H B. Different characteristics of precipitation over four sub-regions of South China Sea during summer monsoon and the abrupt change [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2002, 18(1): 38 - 44.
- [2] 戴念军, 谢安, 张勇. 南海夏季风活动的年际和年代际特征[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 400 - 415.
DAI N J, XIE A, ZHANG Y. Interannual and interdec-

adal variations of summer monsoon activities over South China Sea [J]. Climatic and Environmental Research, 2000, 5(4): 400 - 415.

- [3] 柳艳菊, 闫俊岳, 丁一汇. 南海夏季风异常及其华南与南海周边地区大气和海洋要素的影响[J]. 海洋学报, 2008, 30(6): 39 - 50.
LIU Y J, YAN J Y, DING Y H. Anomalies of the South China Sea summer monsoon and their influence on the atmospheric and oceanic elements over the South China Sea as well as its adjacent regions[J]. Acta Oceanologica Sin-

- ica, 2008, 30(6): 39–50.
- [4] 周明森, 简茂球. 广东近46年秋旱特征分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2009, 48(增刊2): 197–200.
ZHOU M S, JIAN M Q. Characteristics of autumn drought in recent 46-year in Guangdong[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sun Yatseni, 2009, 48(S2): 197–200.
- [5] 陈长胜, 林开平, 王盘兴. 华南前汛期降水异常与水汽输送的关系[J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(6): 721–727.
CHEN L S, LIN K P, WANG P X. Relation between early-flood season precipitation anomalies in South China and water vapor transportation [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2004, 27(6): 721–727.
- [6] 常越, 何金海, 刘芸芸, 等. 华南旱、涝年前汛期水汽输送特征的对比分析[J]. 高原气象, 2006, 25(6): 1064–1070.
CHANG Y, HE J H, LIU Y Y, et al. Features of moisture transport of in pre-summer flood season of drought and flood years over South China[J]. Plateau Meteorology, 2006, 25(6): 1064–1070.
- [7] 肖子牛, 晏红明. El Niño 位相期间印度洋海温异常对中国南部初夏降水及初夏亚洲季风影响的数值模拟研究[J]. 大气科学, 2001, 25(2): 173–183.
XIAO Z N, YAN H M. A numerical simulation of the Indian Ocean SSTA influence on the early summer precipitation of the southern China during an El Niño year [J]. China Journal of Atmospheric Sciences, 2001, 25(2): 173–183.
- [8] 郭锐, 智协飞. 中国南方旱涝时空分布特征分析[J]. 气象科学, 2009, 29(5): 598–605.
GUO R, ZHI X F. Spatial-temporal characteristics of the drought and flood in southern China [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2009, 29(5): 598–605.
- [9] 张洁, 周天军, 宇如聪, 等. 中国春季典型降水异常及相联系的大气水汽输送[J]. 大气科学, 2009, 33(1): 121–134.
ZHANG J, ZHOU T J, YU R C, et al. Atmospheric water vapor transport and corresponding typical anomalous spring rainfall patterns in China [J]. China Journal of Atmospheric Sciences, 2009, 33(1): 121–134.
- [10] XIE P, ARKIN P A. Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1997, 78: 2539–2558.
- [11] DEE D P, UPPALA S M, SIMMONS A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system[J]. Quart J Roy Meteor Soc, 2011, 137(656): 553–597.
- [12] SMITH T M, REYNOLDS R W, PETERSON T G, et al. Improvements NOAAs historical merged land-ocean temp analysis (1880–2006) [J]. Journal of Climate, 2008, 21: 2283–2296
- [13] YUAN F, CHEN W. Roles of the tropical convective activities over different regions in the earlier onset of the South China Sea summer monsoon after 1993 [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2013, 113: 175–185.
- [14] 林爱兰, 谷德军, 郑彬, 等. 南海夏季风爆发与南大洋海温变化之间的关系[J]. 地球物理学报, 2013, 56(2): 384–390.
LIN A L, GU D J, ZHENG B, et al. Relationship between South China Sea summer monsoon onset and Southern Ocean sea surface temperature variation [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2013, 56(2): 384–390.
- [15] JIAN Maoqiu, QIAO Yunting, YUAN Zhuojian, et al. The impact of atmospheric heat sources over the Eastern Tibetan Plateau and the tropical Western Pacific on the summer rainfall over the Yangtze-River basin [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2006, 23(1): 149–155
- [16] KAJIKAWA Y, WANG B. Interdecadal change of the South China Sea summer monsoon onset [J]. Journal of Climate, 2012, 25: 3207–3218.
- [17] WANG B, WU R G, FU X H. Pacific-East Asian teleconnection: how does ENSO affect East Asian climate? [J] J Clim, 2000, 13: 1517–1536.
- [18] WANG B, ZHANG Q. Pacific-East Asian teleconnection. Part II: How the Philippine Sea anomalous anticyclone is established during El Niño development [J]. J Climate, 2002, 15: 3252–3265
- [19] XIE S P, HU K, HAFNER J, et al. Indian Ocean capacitor effect on Indo-western Pacific climate during the summer following El Niño [J]. J Climate, 2009, 22: 730–747.
- [20] CHEN Z S, WEN Z P, WU R G. Relative importance of tropical SST anomalies in maintaining the Western North Pacific anomalous anticyclone during El Niño to La Niña transition years [J]. Climate Dynamics, 2016, 46(3): 1027–1041