

文章编号: 1004-4965 (2009) 01-0013-09

亚太季风各子系统的准两年变化特征及其比较

郑彬, 李春晖, 林爱兰, 谷德军

(中国气象局广州热带海洋气象研究所/热带季风重点开放实验室, 广东 广州 510080)

摘 要: 亚太季风各子系统(南亚季风、南海季风、西北太平洋季风和东亚副热带季风)都具有显著的准两年变化周期, 利用 4 个季风指数研究它们准两年模态振幅的演变和相关的环流变化。结果表明, 亚太季风各子系统的准两年模态有明显的年代际变化, 并不是一直有效地影响季风区。与亚太季风各子系统准两年变化相关的海温异常, 低层风场也有不同的分布特点和演变特征。

关 键 词: 亚太季风; 功率谱; 滤波; 季风指数; 准两年变化

中图分类号: P425.4.2

文献标识码: A

1 引 言

许多研究都表明: 准两年的周期变化是大气环流和气候年际尺度变化的一种非常显著而重要的特征。1960 年代, Reed 等^[1]就发现了热带低平流层纬向风有近似两年周期的变化特点, 这种现象被称为准两年周期振荡 (Quasi-Biennial Oscillation, QBO)。之后关于平流层大气中 QBO 的研究发展很快, 最近的研究涉及到平流层的 NO_x 和 O_3 变化关系及其数值模拟^[2-4]。但对流层准两年周期振荡, Tropospheric (Quasi-) Biennial Oscillation (TBO) 的研究则在很长一段时间未被人们所重视。虽然早在 1960 年代末和 1970 年代就有过与对流层参量准两年变化相关的研究^[5-6], 但是 TBO 研究的真正兴起却是从 1980 年代开始。许多气候要素, 如北半球地面气压^[7]、北半球平均地面气温^[8]、热带纬向风^[9]等的准两年变化特征都被揭示出来。亚太季风降水也表现出明显的准两年变化, 如印度夏季降水^[10-11]和东亚地区的降水^[12-13]。与印度季风降雨不同的是, 中国季风降雨的年际变化很大程度上还表现在雨带的分布和移动上。陈兴芳等^[14]在 1997 年发现我国东部地区年降水分布在 1986—1995 年这 10 年内具有较明显的准两年振动特点。一般单年为江淮多雨, 南北少雨的分布型式; 双年相反, 为中间少南北多的分布型式。廖荃荪等^[15]

的研究则表明: 赤道平流层 30~50 hPa 的 QBO 与我国 7 月主要雨带位置有一定的关联。在西风位相条件下, 我国 7 月主要雨带位置较偏北; 在东风位相条件下则易偏南。况雪源等^[16]分析了 1951—1996 年中国 160 个站点的逐月降水资料指出, 中国降水场有明显和稳定的 QBO 变化, 其中 QBO 的第一特征向量表现为全国范围内多雨和少雨的交替变化; QBO 第二特征向量表现为全国以长江中下游为界, 北部以黄河下游为中心的正值区, 南部以珠江流域下游中心的包括云贵高原在内的负值区, 形成南北相反位相的分布型态。近年来, 国外许多学者对 SST 和降水量等气象场的波谱分析表明, TBO 是仅次于 ENSO 现象的大尺度准周期现象, 它与 ENSO 共同作用于大气环流, 影响天气气候异常。例如, Lau 等^[17]对 1955—1998 年的中国夏季降水变率和全球海表温度进行 SVD 分解, 其中第二模态即包含了准两年变率, 表现在长江流域干湿年的交替变化。还发现在 1997—1998 年 El Niño 向 La Niña 的转变期间, 海盆尺度的 SST 异常的准两年趋势与 1998 年长江流域大洪水有关。随后, Lau 等^[18]又利用 1979—1998 年全球降水和 SST 资料探讨了亚洲夏季风和 ENSO 的协变性发现, 第一模态是以显著的两年变率为特征。由此可知, TBO 对中国的天气气候有明显的作用, 对 TBO 的研究有助于提高短期气候预测的水平。

收稿日期: 2007-11-12; 修订日期: 2008-01-09

基金项目: 国家自然科学基金 (40505019) 资助

通讯作者: 郑彬, 男, 福建省人, 副研究员, 博士, 主要从事季风和海气相互作用、中层大气的研究。E-mail: zbin@grmc.gov.cn

虽然对亚太季风各子系统的准两年变化都有许多研究,但是还没有工作将它们的特点进行比较。我们知道,亚太季风各子系统是既有联系又有区别,而它们在准两年时间尺度上是否有联系却需要进一步的研究。本文主要分析了亚太季风各子系统(包括南亚季风,南海夏季风,西北太平洋季风和东亚副热带季风)的准两年变化特征及其区别和联系,只有在了解了决定各子系统准两年变化的关键过程,才有可能进一步分析研究亚太季风的准两年变化机理及其对亚太地区天气气候的影响。

2 资料和方法

2.1 资料简介

郑彬等^[19]的研究指出,美国国家环境预报中心(NCEP)和欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的再分析资料在年际尺度上有较好的一致性,因此研究准两年尺度的问题,使用其中的任何一种资料都可以。本文主要使用的是 NCEP/NCAR 再分析的月平均资料,时间从 1958—2002 年,主要要素为 850 和 200 hPa 的经向和纬向风场,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$

网格。降水资料使用的是美国气候预测中心(CPC)综合分析的月平均降水资料(CMAP),时间为 1979—2002 年,也是 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 网格。海表温度使用 2.0 版本的月平均 SST 长期重建资料,时间为 1958—2002 年,水平分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 。

主要分析方法为功率谱分析、滤波分析和相关分析。

2.2 亚太季风指数的选取

定义季风指数是研究季风变化的好方法,而目前定义的季风指数已经相当多了,虽然如此,还是难以用一个季风指数表示亚太季风的各个子系统。因此选取 4 个季风指数(表 1),分别代表南亚季风、南海季风、西北太平洋季风和东亚副热带季风。应该说,传统的季风概念不仅仅是风,还有降水^[24-25]。以上 4 个季风指数的定义作者都考虑了各个季风环流的特点,那么它们是否也能分别表现出各种季风降水的分布呢?下面看看北半球夏季(6—8 月)亚太季风指数与降水的关系(图 1)。

表 1 亚太夏季风指数

指数名	定义	指数类型
南亚季风指数(RM1) ^[20]	$V850 - V200 (10 \sim 30^{\circ}N, 70 \sim 110^{\circ}E)$	环流
南海季风指数 SCSSM ^[21]	$(U850 + V850) / \sqrt{2} (5 \sim 20^{\circ}N, 105 \sim 120^{\circ}E)$	环流
西北太平洋季风指数(DU2) ^[22]	$U850 (5 \sim 15^{\circ}N, 90 \sim 130^{\circ}E) - U850 (22.5 \sim 32.5^{\circ}N, 110 \sim 140^{\circ}E)$	环流
东亚副热带季风指数(RM2) ^[23]	$U200 (25 \sim 35^{\circ}N, 110 \sim 150^{\circ}E) - U200 (40 \sim 50^{\circ}N, 110 \sim 150^{\circ}E)$	环流

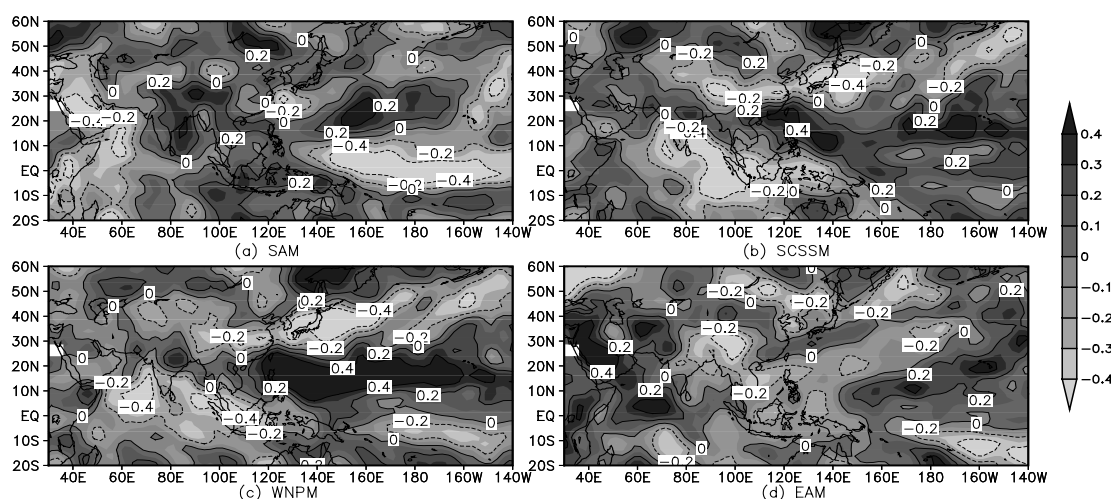


图 1 6—8 月平均亚太季风指数与 CMAP 降水的相关分布 a. 南亚季风; b. 南海季风; c. 西北太平洋季风; d. 东亚季风。

南亚季风指数大值对应的是印度半岛、孟加拉湾和中南半岛西部的强降水,而菲律宾以东的西北太平洋地区则是弱降水(图 1a)。可见南亚季风指数 RM1

可较好地描述南亚地区的降水。对于南海季风指数 SCSSM 对应的降水呈明显的波列分布,从热带东印度洋和海洋性大陆一直到鄂霍次克海,中间由南海、

西北太平洋和日本及其周边海域相连(图 1b)。对对应的南海季风指数,南海和西北太平洋有较大范围的强降水,而与之相邻的热带东印度洋和海洋性大陆、日本及其周边海域都是弱的降水。该分布型的降水符合东亚的主要降水型,也说明了南海季风指数 SCSSM 能较好地体现这种分布型。西北太平洋季风指数 DU2 对应的降水分布与 SCSSM 相似,不同的是,DU2 更突出了与西北太平洋地区降水的关系(图 1c)。东亚季风指数突出的是与副热带地区降水的正相关关系,因此本文中东亚季风指数 RM2 与文献[23]中取了反号。图 1d 显示与东亚季风指数 RM2 相关的降水分布也是波列状,与 SCSSM 和 DU2 不同的是,该波列似乎是从东南的热带西太平洋传到鄂霍次克海,而与印度洋和海洋性大陆的关系不明显(图 1d)。

4 个季风指数本身是通过描述各自的环流特征而建立的,而以上分析表明,选取的 4 个指数都能较

好地表现出各自系统的降水特点。因此用 4 个指数来研究亚太季风的准两年变化特征是合适的。

3 亚太夏季风准两年变化特征分析

3.1 功率谱分析

功率谱分析可以看出亚太季风在整个分析时段的主要周期。由于季风的季节变化非常显著,远比其他周期的变化强,因此,为了突出年以上的时间尺度周期,首先用低通滤波器滤掉了季节变化(13 个月以下的周期变化),再对滤波后的序列作功率谱分析,最大落后长度是 100 个月(序列长度为 528 个月)。一阶自相关系数与判别因子的比较结果表明,4 个指数序列为红噪声谱,因此都使用红噪声检验。从图 2 和表 2 都可以看到,在 1958—2002 年时段内,亚太季风各子系统都有明显的准两年变化周

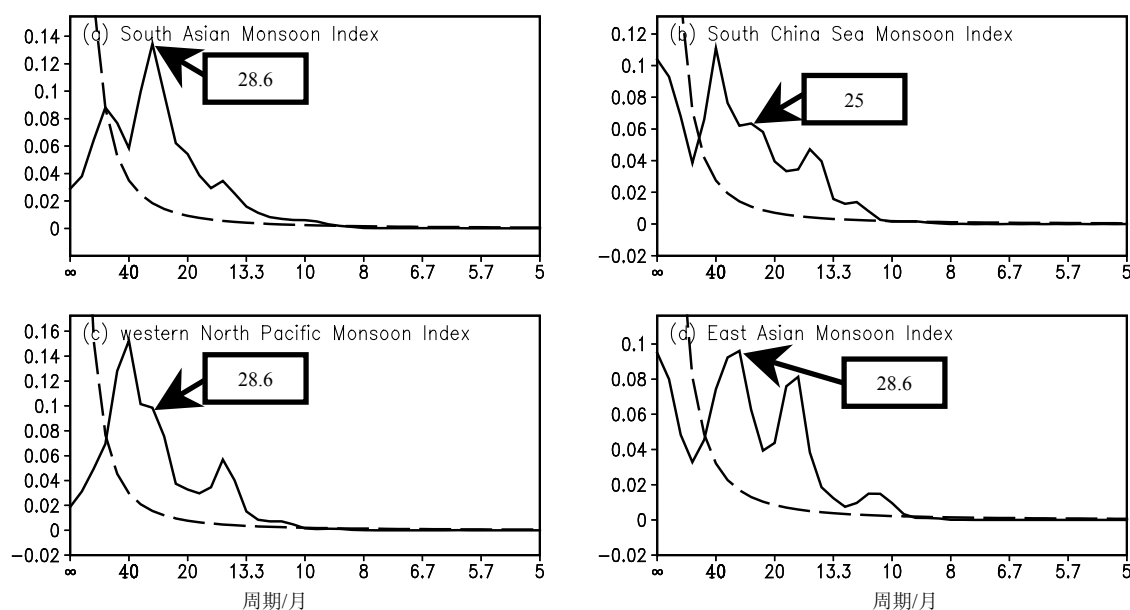


图 2 亚太季风指数的功率谱分析(去除了季节变化)

虚线是 95%水平的红噪声谱。其余说明同图 1。

表 2 亚太季风指数在 1958~2002 年时段的主、次周期

	南亚季风	南海季风	西北太平洋季风	东亚季风
主周期/月	28.6	40, 15.4	40, 15.4	28.6, 16.7
次周期/月	15.4	25	28.6	/

期(通过 95%置信度的红噪声检验),但是它们之间的差异也是明显的。(1) 南亚季风和东亚季风的准两年变化都是其主周期变化,而南海季风和西北太平洋季风则为次周期变化,这很可能是南海季风和西北太平洋季风在整个时段受 ENSO 影响显著,而

ENSO 的周期一般为 3~5 年,与准两年变化很接近,从而使得准两年变化不是很突出。这一点从图 2 和表 2 也可以看到,南海季风和西北太平洋季风的主周期都是 40 个月(图 2b、2c),与 ENSO 周期相同。相反,南亚季风和东亚季风的主次周期都没有通过信度

检验的 3~5 年周期,因而准两年周期就非常突出(图 2a、2d)。另外,南亚季风在信度线上有一个 66.7 个月的周期(图 1a),表明了它与 ENSO 存在一定的关系。已有研究^[26]指出,ENSO 和南亚季风的关系在 1970 年代以前很好,而之后就非常差。因此在整个时段上南亚季风的 ENSO 周期并不显著。(2) 南亚季风、西北太平洋季风和东亚季风的准两年周期为 28.6 个月,而南海季风则为 25 个月(表 2)。

综上所述,亚太季风各子系统都存在准两年变化周期,而且南亚和东亚季风的准两年变化为主周期,南海和西北太平洋季风的 ENSO 变率为主周期,而准两年变化为次周期。各季风子系统的准两年周期都通过了 95%置信度的红噪声检验。

3.2 年代际变化

既然亚太季风各子系统的准两年周期都是显著的,那么下面我们对 4 个季风指数分别进行带通滤波,0.5 响应周期取为 18 和 36 个月,频率响应函数如图 3。滤波后的序列再进行小波分析。从小波变换结果(图 4)可以分析亚太季风各子系统的振幅变化(振幅的平方即小波方差)。图 4 是亚太季风各子系统准两年模态的振幅随时间的变化,可看出,亚太季风

各子系统的准两年模态本身也有明显的年代际演变。在 1959—2001 年 42 年中,它们大致都有 2 个周期,即它们的年代际周期约为 20 年。南亚季风和东亚季风准两年变化振幅的年代际低值区在 1970 年代和 1990 年代,而 1960 年代和 1980 年代是高值区,大振幅约是小振幅的 2 倍(图 4a、2d)。南海季风和西北太平洋季风准两年模态的年代际变化与南亚季风和东亚季风明显反相,但是前者的振幅变化比后者小(西北太平洋季风准两年模态的振幅变化在年代际变化的第二个周期明显增大,图 4c)。

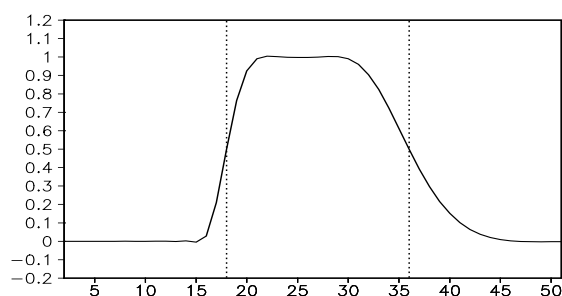


图 3 带通滤波的频率响应函数
0.5 响应周期取为 18 和 36 个月。

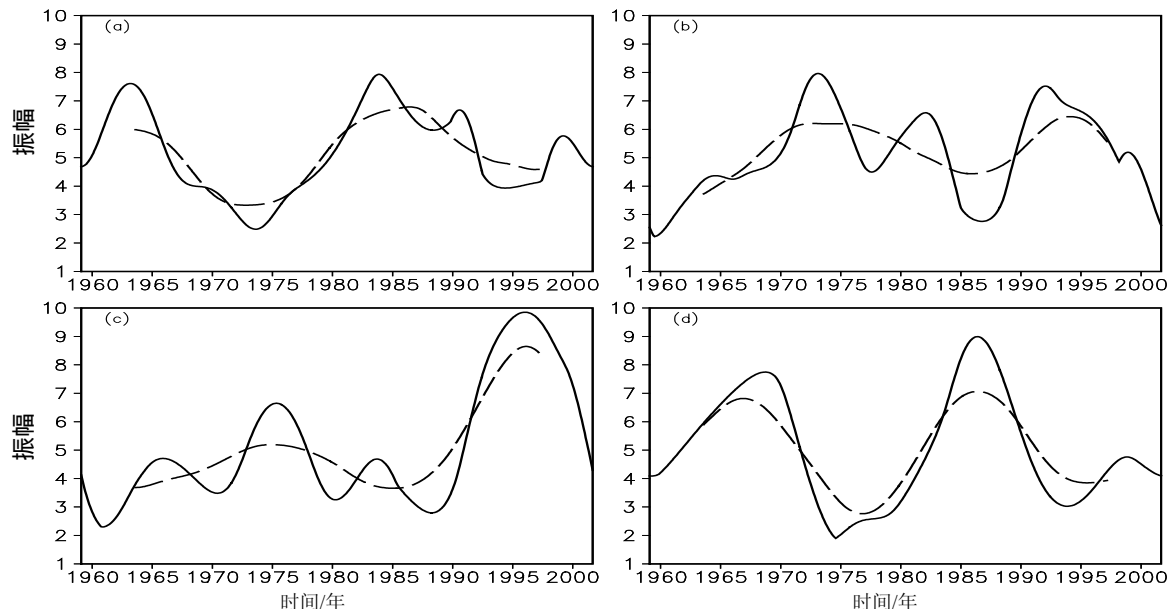


图 4 亚太季风准两年模态的振幅变化(虚线是 9 年滑动平均)

说明同图 1。

由于图 4 是由滤波后(图 3)的序列再通过小波分析的结果,因此它只包含了准两年变化的信息,这表明图 4 中的年代际变化是亚太季风准两年模态自身内在的特性,而不是一般意义下的年代际变化^[27-28]。虽然准两年周期是亚太季风的一个重要特征,也显著影响着亚太地区的降水,但由于其自身的年代际演

变,使得准两年变化并不总是显著地或强度不变地影响着季风区的环流和降水。例如,东亚季风在 1970 年代的准两年变化振幅只有不到 3(原序列经过标准化后再进行小波分析,所以这里的振幅没有单位),而 1980 年代的振幅则可达到 7(图 4d)。

3.3 与准两年变化相关的海表温度和风场异常

下面来看看超前 6 个月(图 5)、3 个月(图 6)和同时(图略)的海表温度(SSTA)异常与亚太季风准两年变化的相关系数。从图 5、6 中可以看到,在强的南亚季风前 6 个月(即前冬),海洋性大陆和赤道印度洋就开始出现正的 SSTA,且一直持续到南亚季风爆发(图 5a)。而强南海季风和西北太平洋季风的前冬,在西太平洋和南海东部也开始出现正的 SSTA(图 5b、5c),且一致持续到季风爆发前的春季(图 6b、6c)。

之后随着南海季风和西北太平洋季风的爆发,赤道西太平洋和整个海洋大陆,包括南海和孟加拉湾都变成负的 SSTA(图略)。强东亚季风则是在前冬的西北太平洋地区最先出现正的 SSTA(图 5d),虽然还不是很显著;到春季,西北太平洋的正 SSTA 已经非常明显(图 6d);东亚季风爆发后,西北太平洋的正 SSTA 开始减弱,相反地,日本以东地区却出现显著的负 SSTA(图略)。

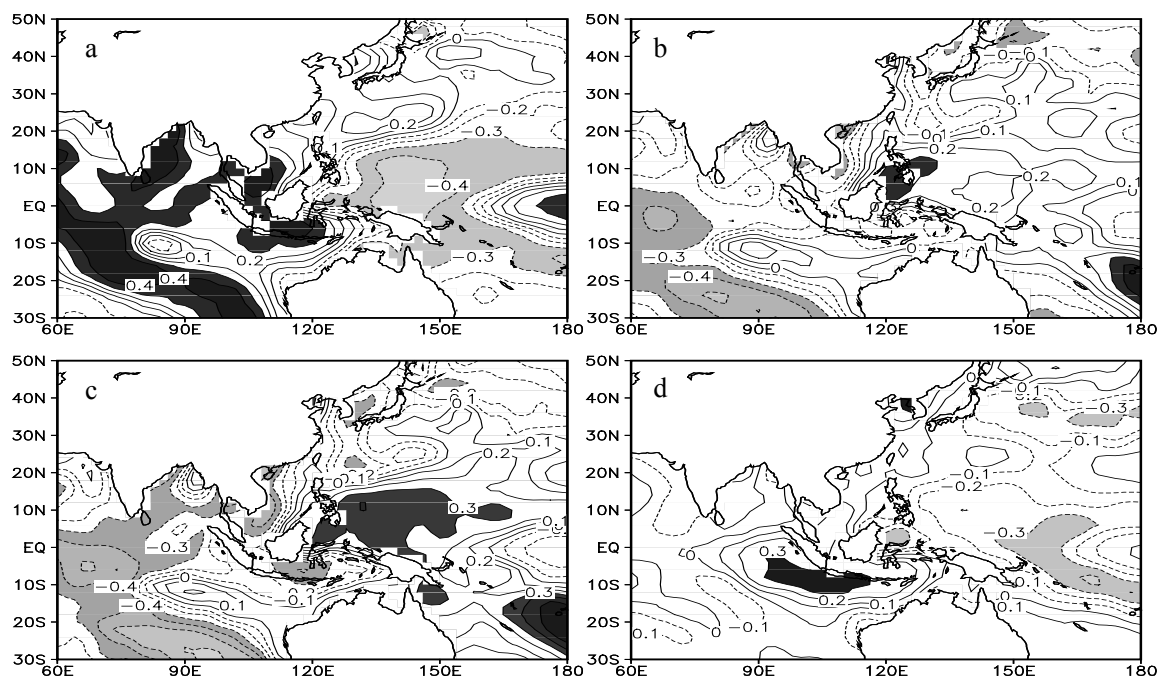


图 5 超前 6 个月的海表温度异常与亚太季风准两年模态的相关关系 阴影区通过 0.05 的显著性检验。说明同图 1。

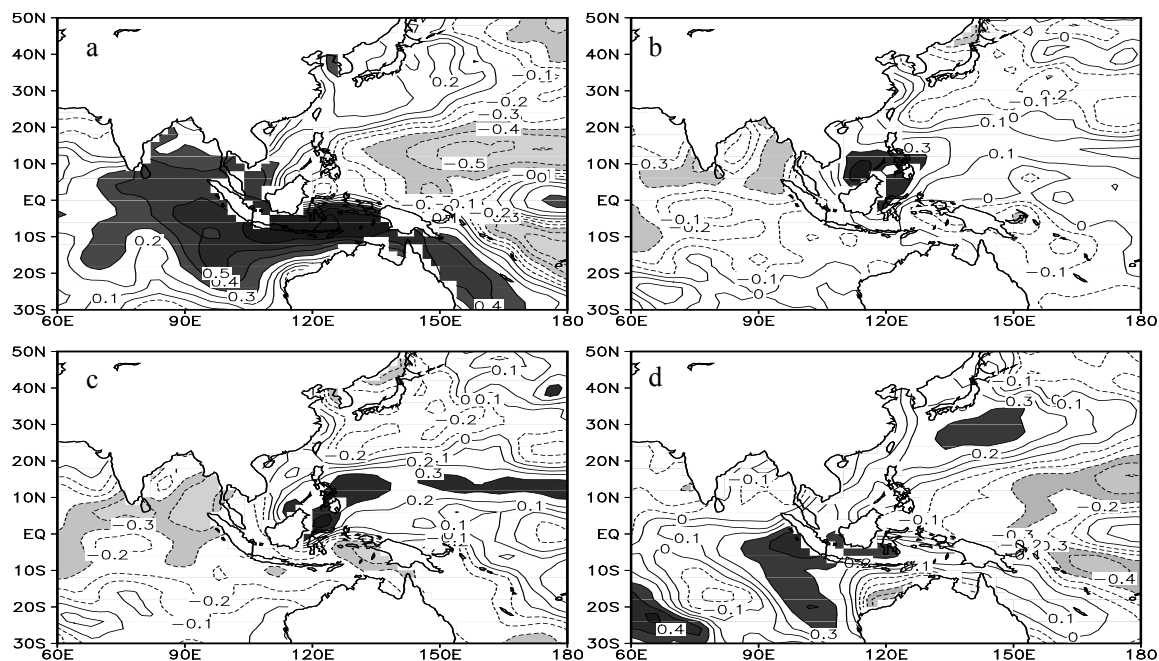


图 6 超前 3 个月的海表温度异常与亚太季风准两年模态的相关关系 说明同图 5。

再看看超前 6 个月 (图 7)、3 个月 (图 8) 和同时 (图略) 的 850 hPa 风场异常与亚太季风准两年变化的相关系数。图 7a 中显示, 在南亚季风爆发的前冬, 赤道印度洋和海洋大陆的低层为东风异常, 由于该处的平均低层风场为弱西风, 因此, 根据蒸发-风反馈机制(热带暖海区与准两年变化相关的主要海-气耦合过程^[29]), 东风异常有助于图 5a 中暖 SSTA

的维持。到春季, 暖 SSTA 在北印度洋和西太平洋激发出一个大尺度的反气旋 (图 8a, 反气旋由以下组成——赤道印度洋和海洋大陆的东风异常、阿拉伯海的南风异常、印度半岛、孟加拉湾和中南半岛的西风异常、西北太平洋的北风异常), 从而有更多的水汽从暖海区输送到季风区, 最终导致了强南亚季风的爆发。强南亚季风形成的东风异常和

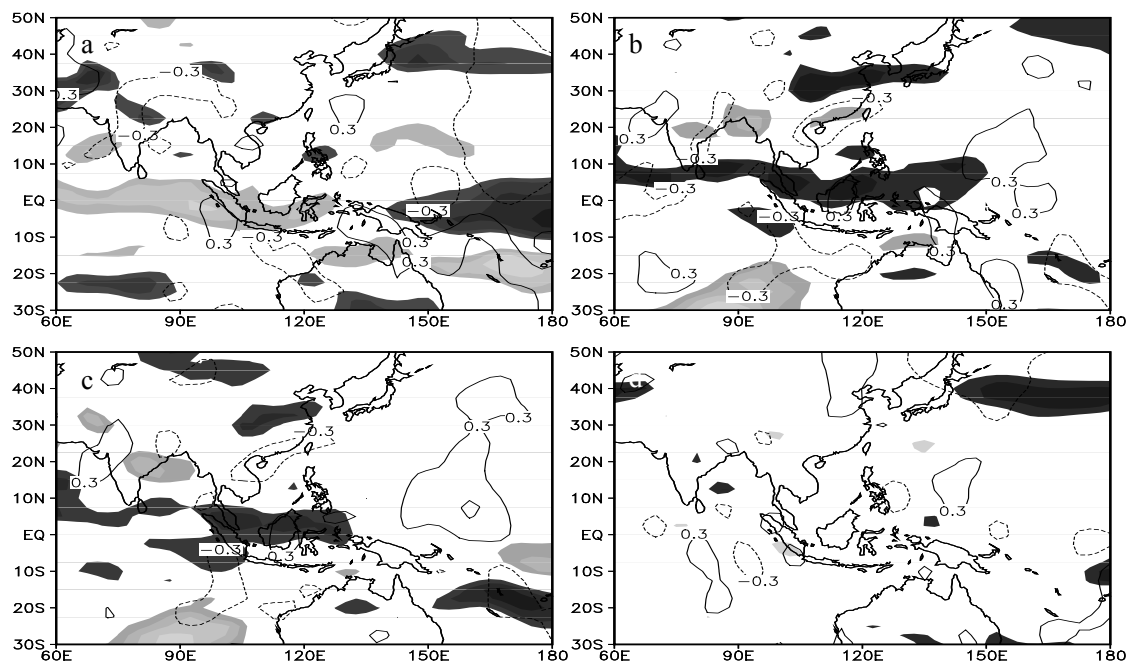


图 7 超前 6 个月的 850 hPa 风场异常与亚太季风准两年模式的相关关系

阴影区为纬向风异常通过 0.05 的信度检验区域, 等值线为经向风异常通过 0.05 的信度检验区域。说明同图 1。

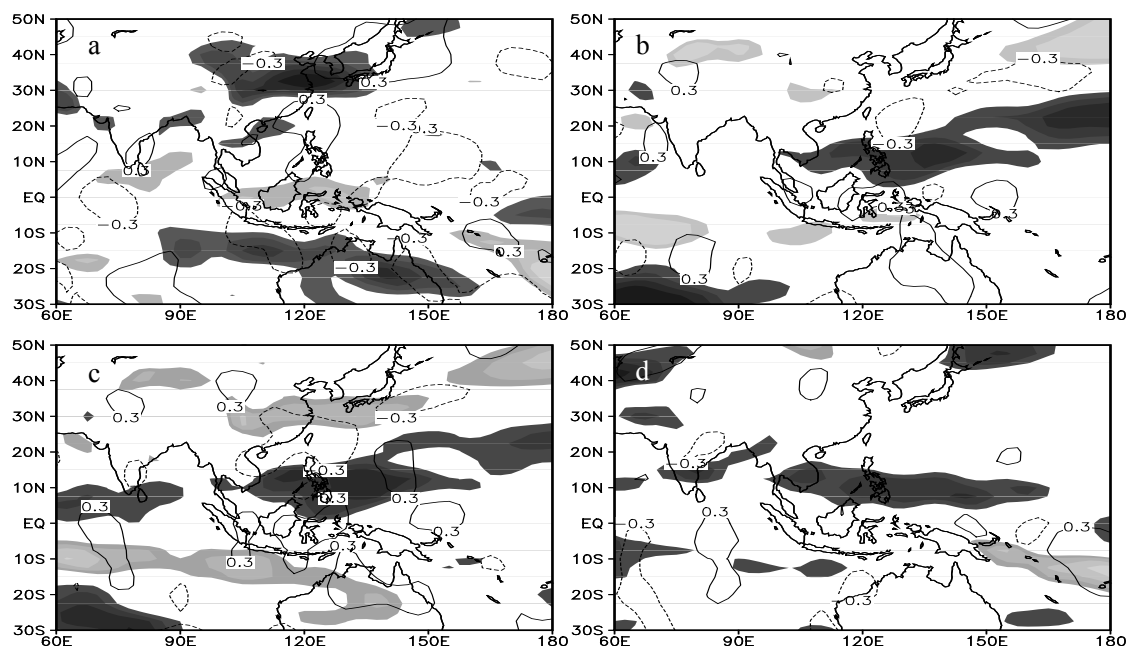


图 8 超前 3 个月的 850 hPa 风场异常与亚太季风准两年模式的相关关系

说明同图 7。

北风异常使得暖 SSTA 可以继续维持到秋季, 秋季由于基本风场的反向, 暖 SSTA 减弱, 印度洋北部首先变为负的 SSTA, 激发的北风异常继续冷却赤道印度洋和海洋大陆的海温, 在冬季赤道印度洋和海洋大陆也全部变为负的 SSTA (图略), 开始了另一个位相的循环。

从前面分析可以看出, 南海季风和西北太平洋季风准两年变化在海温上是相似的, 从图 7、8 中也可以看出它们非常类似, 因此下面只分析西北太平洋季风。前冬的低层风场异常与海温异常相对应 (图 5c 和 7c), 暖海温在西北太平洋形成一个气旋性异常 (包括东亚的北风异常、海洋大陆的西风异常、西北太平洋的南风异常)。根据蒸发-风反馈原理, 西北太平洋的暖海温得到维持 (西北太平洋冬季平均低层为东北风)。但是海洋大陆的异常北风使得该处的海温开始降低。到春季, 不仅海洋大陆的南风异常使该处的 SSTA 变为负值, 西北太平洋的西风异常也开始减弱该处的海温, 但仍是正的 SSTA。至夏季, 强西北太平洋季风爆发, 引起更强的越赤道气流 (在海洋大陆产生南风异常) 使海洋大陆的 SSTA 变得更小, 它与季风加热共同在西北太平洋形成西风异常, 减弱该处的 SSTA。因此, 强西北太平洋季风爆发后, 该处的 SSTA 为负值。之后的冷 SSTA 由相关的异常北风一直维持到下一年季风爆发前 (图略)。

东亚季风与南亚季风、南海季风和西北太平洋季风不同, 它主要受副热带和中纬度的一些海-气过程影响。在东亚季风开始的前冬, 中纬度太平洋 (约 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$) 有暖的 SSTA (图 5d), 它激发出一个气旋性异常环流 (图 7d)。这是一个海-气负反馈过程, 因为气旋性异常环流会使海水上翻, 减弱暖 SSTA。相反, 虽然副热带开始出现正的 SSTA, 但是总的 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 范围还是负的 SSTA, 产生了异常反气旋环流。所以在东亚季风开始前的春季, 副热带和中纬度的海温异常都反转过来, 中纬度 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 变成负 SSTA, 而西北太平洋的 SSTA 则变成显著的正 SSTA (图 6d)。此时中纬度的负 SSTA 还不显著, 还没有显著的反气旋异常, 它只产生了西风异常, 所以使海水上翻, 继续减小海温, 故在东亚季风开始后, 中纬度负 SSTA 才最显著。而西北太平洋的正 SSTA 非常显著, 相应地, 也有明显的气旋异常 (图 8d) 使暖海温减弱。图 6d 显示, 在西北太平洋靠近东亚的海域已变为负海温异常, 相伴随的南风异常与北部的

西风异常加强了西太平洋副热带高压。虽然此时海温异常已开始趋于负值, 但是之前的暖海温还是向大陆输送了更多的水汽, 主要是由西太平洋副热带高压西侧南风向大陆输送, 之后与西风带短波槽、南海热带季风汇合于东亚副热带, 形成了强的东亚季风。

从同时相关的纬向风场来看 (图略), 强南亚季风与南海季风和西北太平洋季风明显不同, 前者在北半球是“东 (风异常)-西-东”波列, 而后者在北半球是“西-东-西”波列。东亚季风相关的纬向风场则没有明显的波列结构, 主要是体现在西北太平洋的气旋反气旋。无论从海温场还是风场来看, 南海季风和西北太平洋季风都非常相似, 因此它们至少在准两年变化上是同一个系统, 我们可以称它们为南海/西北太平洋季风。

4 小结和讨论

本文选取了 4 个季风环流指数, 分别代表亚太季风的各个子系统 (南亚季风、南海季风、西北太平洋季风和东亚副热带季风), 同时还验证了这 4 个季风指数与降水的关系, 结果表明它们确实能够反映各自系统的降水。通过功率谱分析发现亚太季风各子系统都有显著的准两年周期。再利用小波分析, 研究了亚太季风准两年模态年代际变化。最后, 分析了与各子系统准两年变化相关的海温场和风场的变化特征。

(1) 在 ENSO 周期不占优的南亚季风和东亚季风, 准两年周期是它们的主周期, 即使在 ENSO 周期非常显著的南海季风和西北太平洋季风, 它们也有准两年变化的次周期。

(2) 亚太季风准两年模态有明显的年代际变化。在年代际变化的正位相, 亚太季风准两年模态对季风区的影响显著, 而负位相则明显减弱。

(3) 与南亚季风准两年模态相关的海温场和风场变化主要在热带印度洋和海洋性大陆地区; 与南海季风和西北太平洋季风准两年模态相关的海温场和风场变化主要在热带西太平洋和海洋性大陆地区; 与东亚季风准两年模态相关的海温场和风场变化主要在太平洋西北部的副热带和中纬度海域。

(4) 南亚季风、南海季风和西北太平洋季风的强弱年的低层纬向风场有明显的波列结构, 南亚季风与南海季风和西北太平洋季风的波列结构正好相反。强年, 南亚季风在北半球对应的是“东 (风异常)-西-东”波列, 而南海季风和西北太平洋季风则是“西

-东-西”波列。东亚季风准两年模态相关的纬向风场则没有明显的波列结构,主要是体现在西北太平洋的气旋(弱年)或反气旋(强年)。

本文分析了亚太季风的准两年变化特征,但由于 ENSO 也包含有准两年模态,因此文中的分析没有区分它们,即并不是纯粹的对流层准两年变化(Tropospheric Biennial Oscillation, TBO),而是耦合了的准两年模态。要区分 ENSO 准两年模态和 TBO,

通过观测资料比较困难,最好的方法是通过数值模式来进行研究,这正是我们下一步要做的工作。

致谢: NCEP/NCAR再分析资料、CAMP降水资料和SST长期重建资料(ersst)由美国气候诊断中心提供,网址为<http://www.cdc.noaa.gov/>,在此作者表示感谢。

参 考 文 献:

- [1] REED R G, CAMPBELL W J, RASMUSSEN L A, et al. Evidence of the downward-propagating annual wind reversal in the equatorial stratosphere[J]. *J Geophys Res*, 1961, 66(6): 813-818.
- [2] 郑彬, 陈月娟, 简俊. NO_x的准两年周期变化及其与臭氧准两年周期振荡的关系 I——资料分析[J]. *大气科学*, 2003, 27(5): 821-833.
- [3] 郑彬, 陈月娟, 张弘. NO_x的准两年周期变化及其与臭氧准两年周期振荡的关系 II——数值模拟[J]. *大气科学*, 2003, 27(6): 1 007-1 017.
- [4] CHEN Yuejuan, ZHENG Bin, ZHANG Hong. The feature of ozone QBO in tropical stratosphere and its numerical simulation[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, 19(6): 777-793.
- [5] ANGELL J K, KORSHOVER J. Additional evidence for quasi-biennial variations in tropospheric parameters[J]. *Mon Wea Rev*, 1968, 96(6): 778-784.
- [6] TRENBERTH K E. A quasi-biennial standing wave in the Southern Hemisphere and interrelations with sea surface temperature[J]. *Q J R Meteorol Soc*, 1975, 101(1): 55-74.
- [7] TRENBERTH K E, SHIN W-T K. Quasi-Biennial fluctuations in sea level pressure over the Northern Hemisphere[J]. *Mon Wea Rev*, 1984, 112(4): 761-777.
- [8] 丁裕国, 余锦华, 施能. 近百年全球平均气温年际变率中的 QBO 长期变化特征[J]. *大气科学*, 2001, 25(1): 89-102.
- [9] RASMUSSEN E M, WANG X, ROPELEWSKI C F. The Biennial component of ENSO variability [J]. *J Mar Sys*, 1990, 1(1-2): 71-96.
- [10] MOOLEY D A, PARTHASARATHY B. Variability of the Indian summer monsoon and tropical circulation features[J]. *Mon Wea Rev*, 1983, 111(7): 967-978.
- [11] MUKHERJEE B K, INDIRA K, REDDY R S, et al. Quasi-biennial Oscillation in stratospheric zonal wind and Indian summer monsoon[J]. *Mon Wea Rev*, 1985, 113(9): 1 421-1 424.
- [12] TIAN S F, YASUNARI T. Time and Space Structure of Interannual Variations in Summer Rainfall over China[J]. *J Meteorol Soc Jpn*, 1992, 70(1B): 585-596.
- [13] SHEN S, LAU K M. Biennial oscillation associated with the East Asian monsoon and tropical sea surface temperatures[J]. *J Meteorol Soc Jpn*, 1995, 73(1): 105-124.
- [14] 陈兴芳, 宋文玲. 近 10 年我国降水的 QBO 分析[J]. *应用气象学报*, 1997, 8(4): 469-476.
- [15] 廖荃荪, 王永光. 赤道平流层 QBO 与我国 7 月雨型的关联[J]. *应用气象学报*, 1998, 9(1): 104-108.
- [16] 况雪源, 丁裕国, 施能. 中国降水场 QBO 分布型态及其长期变率特征[J]. *热带气象学报*, 2002, 18(4): 359-367.
- [17] LAU K-M, WENG Hengyi. Coherent modes of global SST and summer rainfall over China: an assessment of the regional impacts of the 1997-98 El Niño[J]. *Journal of Climate*, 2001, 14(6): 1 294-1 308.
- [18] LAU K-M, WU H T. Principal Modes of Rainfall-SST variability of the asian summer monsoon: a reassessment of the monsoon-ENSO relationship[J]. *Journal of Climate*, 2001, 14(13): 2 880-2 895.
- [19] 郑彬, 谷德军, 李春晖. NCEP 和 ECMWF 资料表征南海夏季风的差异[J]. *热带气象学报*, 2006, 22(3): 217-222.
- [20] GOSWAMI B N, KRISHNAMURTHY B, ANNAMALAI H. A broad-scale circulation index for interannual variability of the Indian summer monsoon[J]. *Q J R Meteorol Soc*, 1999, 125(554): 611-633.
- [21] 梁建茵, 吴尚森, 游积平. 南海夏季风的建立及强度变化[J]. *热带气象学报*, 1999, 15(2): 97-105.
- [22] WANG B, FAN Z. Choice of South Asian Summer Monsoon Indices[J]. *Bulletin of the American Meteorol Soc*, 1999, 80(4): 629-638.
- [23] LAU K-M, KIM K-M, YANG S. Dynamical and boundary forcing characteristics of regional components of the Asian Summer Monsoon[J].

J Climate, 2000, 13(14): 2 461-2 482.

[24] 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.

[25] 高辉, 梁建茵. 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, 2005, 21(5): 525-532.

[26] TORRENCE C, WEBSTER P J. Interdecadal changes in the ENSO-monsoon system[J]. J Climate, 1999, 12(8-2): 2 679-2 710.

[27] 吕俊梅, 任菊章, 琚建华. 东亚夏季风的年代际变化对中国降水的影响[J]. 热带气象学报, 2004, 20(1): 73-80.

[28] 王亚非, 高桥清利. 长江中下游降水以及东亚夏季风环流的年代际变化[J]. 热带气象学报, 2005, 21(4): 351-358.

[29] CHANG C-P, LI T. A Theory for the Tropical Tropospheric Biennial Oscillation[J]. J Atmos Sci, 2000, 57(14): 2 209-2 224.

FEATURES AND COMPARISONS OF THE QUASI-BIENNIAL VARIATIONS IN THE ASIAN-PACIFIC MONSOON SUBSYSTEMS

ZHENG Bin, LI Chun-hui, LIN Ai-lan, GU De-jun

(Guangzhou Institute of Tropical and Marine Meteorology, CMA/
Key Open Laboratory for Tropical Monsoon, Guangzhou 510080, China)

Abstract: TBO is a strong quasi-periodic phenomenon on large scale in the troposphere, only weaker than El Niño-Southern Oscillation(ENSO). Together with ENSO, TBO affects the atmospheric circulation and leads to weather and climate anomalies. The National Centers for Environmental Prediction(NCEP) reanalysis data, Climate Diagnostics Center Merged Analysis of Precipitation(CMAP) precipitation and NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature(SST) have been used in this paper to study the quasi-biennial variations in Asian-Pacific monsoon subsystems and associated SST anomalies(SSTA) and wind anomalies. Four monsoon indices are computed from NCEP/NCAR reanalysis to represent the South Asian monsoon (SAM), South China Sea summer monsoon(SCSSM), western North Pacific monsoon(WNPM) and East Asian subtropical monsoon(EAM), respectively. The quasi-biennial periods are very significant in Asian-Pacific monsoon through power spectrum analysis. For SAM and EAM, with moderate effects by ENSO, the quasi-biennial periods are most important. For SCSSM and WNPM, due to the effect of ENSO, the quasi-biennial periods are of secondary periods. There are obvious interdecadal variations in the quasi-biennial modes of Asian-Pacific monsoon. So in the negative phase the biennial modes will not be significant or outstanding. The wind anomalies and SSTA associated with the biennial modes are very different in the SAM, WNPM and EAM regions. Since the WNPM and SCSSM are very similar in the biennial modes, they can be combined into one subsystem, called SCS/WNPM.

Key words: Asian-Pacific monsoon; power spectrum; wave filtering; monsoon indices;
quasi-biennial variation