

南海夏季风爆发与热带海洋海温和 大气环流异常变化关系的研究^{*}

陈永利 白学志 赵永平

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘 要 用合成和相关分析方法及 SVD 技术研究了南海夏季风爆发早、晚年份 4~6 月季风建立时期季风环流的异常及其与热带太平洋—印度洋海温的关系。结果表明, 南海夏季风爆发与热带大气环流和海温变异密切相关。(1) 当热带中、东太平洋—印度洋(主要在西南部)及南海海温低(高)、西太平洋—澳洲邻近海域海温高(低)时, 南海夏季风爆发早(晚)。不同区域海温对季风的影响有明显的季节差异, 印度洋主要为晚春至初夏(4~6 月), 南海为 5~6 月, 而热带太平洋从前冬一直持续到夏季。(2) 不同的海温异常产生不同的季风环流型, 南海夏季风爆发早, 晚年大气环流的异常变化基本相反。南海夏季风的活动主要受印度季风环流变化的影响, 与前期冬春季西太副高的强弱及位置变化密切相关。西太副高弱时, 南海夏季风爆发早; 反之, 爆发晚。(3) 热带太平洋—印度洋海温异常引起季风环流和 Walker 环流的异常变化可能是影响南海夏季风爆发早、晚的物理过程。

关键词: 南海夏季风爆发; 热带海温异常; 大气环流异常

1 引言

南海夏季风是亚洲季风环流系统中的一个组成部分, 对中国夏季天气气候有着重要影响。南海夏季风爆发是东亚夏季风转换和东亚夏季风来临的标志, 中国东部地区夏季雨带的移动和旱涝的发生与南海夏季风的异常有着密切关系。

南海季风爆发出现在 5 月中旬前后, 5 月中旬在南海地区和中南半岛出现对流爆发是南海夏季风开始的主要特征, 它是整个亚洲夏季风的最早阶段^[1]。南海夏季风活动具有明显的年际变化, 爆发最早年(1985 年 4 月第 4 候)与爆发最晚年(1993 年 6 月第 4 候)相差近 2 个月^[2]。陶诗言、陈隆勋^[3]和叶笃正等^[4]早在 50 年代就指出, 亚洲大气环流的季节变化过程从冬到夏是突发性的, 在从春到夏过渡时期有一个跳跃性的转变, 这种行星尺度环流的异常才导致了东亚夏季风的爆发。

以往夏季风的研究基本都集中在盛夏(7 月份), 对于初夏则没有给予足够的重视。北半球春季是冬、夏季风的转换季节, 也是季风区与 2 年振荡有关的异常改变符号的季节。Webster 和 Yang^[5]指出, 春季海陆系统失去“记忆”最快, 此时环流的改变对边界条件的变化或来自热带地区以外的随机强迫比较敏感。因此, 春季过渡时期季风环流的建立与演变就显得尤为重要, 研究晚春至初夏南海夏季风建立与过渡时期亚洲季风

环流异常和海温异常及其与南海夏季风爆发的关系将有重要意义。

本文用合成分析和相关分析方法研究了南海夏季风爆发早、晚年份 4~6 月季风建立时期季风环流的异常及其与热带太平洋—印度洋海温的关系, 用奇异值分解 (Singular Value Decomposition, SVD) 方法提取了南海夏季风爆发大气环流与海温之间的最佳耦合模态, 并对热带太平洋—印度洋海温异常对南海夏季风爆发及其亚洲季风环流的影响机理进行了探讨。

2 资料

本文所用资料为 NECP/NCAR 提供的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 格点 1982~1997 年 16 年 Oisst 月平均海表面温度资料和 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 格点 1979~1997 年 19 年的再分析月平均 U 、 V 风资料及 500 hPa 月平均高度场资料。

南海夏季风爆发日期的研究较多, 但结果都不尽相同^[2,6~9]。本文南海夏季风爆发日期取自文献[2]。根据文献, 南海夏季风爆发日期为南海地区 ($0 \sim 20^{\circ}\text{N}$, $105 \sim 120^{\circ}\text{E}$) 区域平均的向外长波辐射值 (OLR) 下降至 $235 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, 同时区域平均纬向风由东风转为西风的时间。历年南海夏季风爆发日期见表 1。

表 1 1979~1998 年各年及多年平均南海夏季风爆发的日期(月(候))

年	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
日期	5(3)	5(4)	5(3)	6(1)	6(2)	5(1)	4(4)	5(2)	6(2)	5(5)	5(4)
年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	平均
日期	5(3)	6(3)	6(1)	6(4)	5(4)	6(2)	5(2)	5(5)	5(5)		5(4)

3 南海夏季风爆发与大气环流的异常特征

季风环流是行星尺度的天气系统。南海夏季风爆发与其大尺度环流系统的变化必将存在着密切联系。为了研究南海夏季风爆发异常年份大气环流场的变化, 根据南海夏季风爆发时间和风场资料, 我们选取 1981、1984~1986、1996 年 5 年为南海夏季风爆发早年; 1983、1987、1991~1993、1995 年 6 年为南海夏季风爆发晚年, 并分别对南海夏季风爆发早、晚年低层大气流场和西太平洋副热带高压的异常变化进行了分析。

3.1 低层大气流场的异常变化

热带季风主要活动于对流层下层, 因此, 通常以 850 hPa 层气流作为代表。由南海夏季风爆发早、晚年份 4~6 月的 850 hPa 距平流场合成图 (图 1) 可以发现, 在南海夏季风爆发早、晚年份 4~6 月, 在南亚季风区, 东亚副热带环流区和热带太平洋赤道地区风场存在着显著差异, 整个热带地区 850 hPa 距平流场的变化是相反的。这种大尺度环流的差异决定了整个夏季风环流的强弱变化。南海夏季风爆发早年 (图 1a、c、e), 南亚季风系统各成员均是偏强的, 在 40°E 附近的越赤道气流和索马里低空急流偏强, 南亚季风区西风强 (出现西风距平), 印度北部气流的辐合十分显著。在东亚副热带地区出现气旋性距平环流, 热带太平洋赤道地区为东风距平。从时间变化上看, 4~6

月, 南亚季风区纬向距平环流和越赤道气流经历了从赤道区域逐渐北伸东扩, 而东亚太平洋副热带地区的气旋性距平环流逐渐西伸增强的过程。4 月, 西风距平位于 100°E 以西 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}\text{N}$ 赤道附近, 南非沿岸赤道附近和 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 左右源自澳洲的偏南气流越过赤道活动明显, 东亚西太平洋副热带地区气旋性距平环流位于日本南部 (25°N , 150°E) 附近。5 月, 在 50°E 附近非洲东部沿岸, 80°E 附近的东印度洋以及 $110^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 附近的南海南部 3 支越赤道气流明显加强, 120°E 附近的越赤道气流由澳大利亚西北部穿过大巽他群岛进入南海。在南亚季风区转向的西风也明显加强, 西风距平位于 $10^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$ 附近, 位置北抬。中南半岛及南海地区在南海过赤道转向气流和印度季风西南气流的控制之下, 东亚副热带地区气旋性距平环流西伸至中国东南沿海。6 月, 东亚气旋性距平环流此时移到了东南亚地区, 位于 120°E 附近的南海北部, 影响到中国中东部及西太平洋地区; 西风距平控制了中南半岛、孟加拉湾至南海到达西太平洋, 印度和南亚地区夏季风全面爆发。

南海季风爆发晚年 (图 1b、d、f), 南亚季风区与东亚西太平洋地区的距平环流变化相反。印度季风系统弱, 南亚地区为反向的东风距平, 在 50°E 、 80°E 附近的越赤道气流也呈反向变化。4 月份南海及西太平洋的越赤道气流尤其明显, 而东亚副热带季风系统则偏强, 太平洋赤道地区为西风距平。最令人瞩目的是东亚副热带地区为反气旋式距平环流, 位置偏南, 它覆盖了东南亚的中南半岛、南海及西太平洋大部分区域, 中国大陆及日本一线在西到西南风控制之下。夏季中国副热带大陆低空出现西风距平, 表示

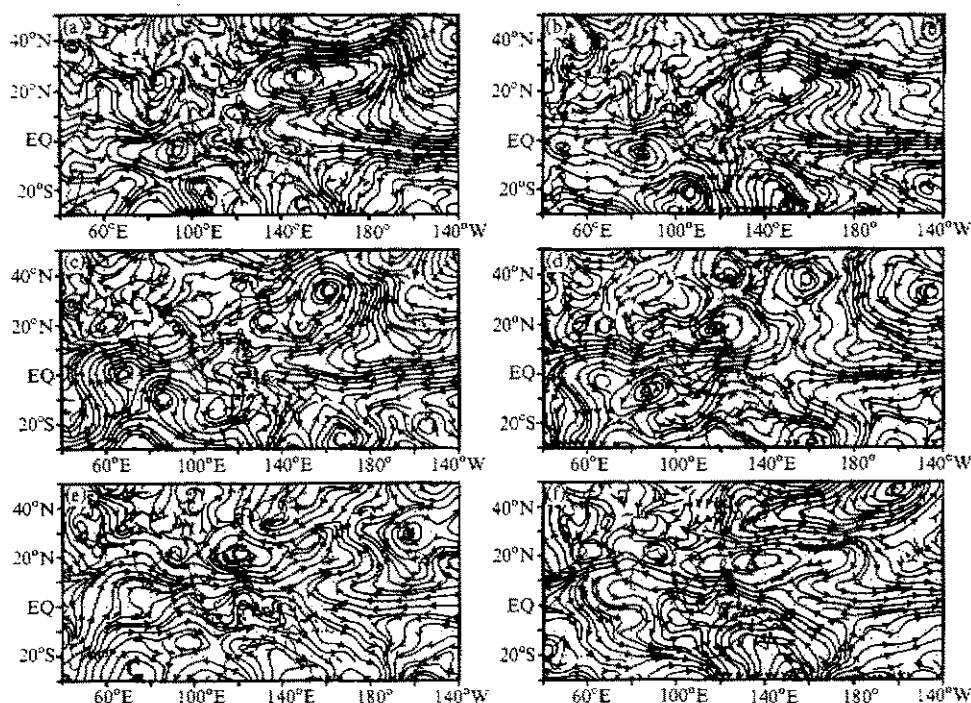


图 1 南海夏季风爆发早、晚年份 4~6 月的 850 hPa 距平流场合成图

爆发早年: (a) 4 月, (c) 5 月, (e) 6 月; 爆发晚年: (b) 4 月, (d) 5 月, (f) 6 月

副热带高压势力偏强, 位置偏西偏南, 夏季梅雨锋活跃, 华南及长江流域降水偏多。

3.2 西太平洋副热带高压的异常分布

西太平洋副热带高压是东亚季风系统的一个重要成员, 它的变化与整个亚洲季风系统的变化有着密切关系, 对南海季风爆发早晚有着直接影响。图 2b、d 为南海季风爆发早、晚年 5 月西太平洋副热带高压的平均分布图。由图可以清楚看出, 在南海夏季风爆发早、晚年西太平洋副热带高压的强度和位置变化有着明显差异 (587 线范围), 南海夏季风爆发早年, 西太副高偏弱, 位置偏东 (587 线西伸脊点位置): 副高主体位于菲律宾以东的西太平洋上; 南海夏季风爆发晚年, 西太副高强, 587 线覆盖了 20°N 以南的西太平洋、中南半岛及整个南海, 588 线位于菲律宾附近 15°N 一线的南海和西太平洋上。副热带高压的这种强弱变化和分布对南海夏季风爆发的影响是显而易见的。南海夏季风爆发晚年, 西太副高强, 南海及西太平洋受副热带高压所控制, 偏南气流无法进入南海, 不利于南海夏季风爆发; 而南海夏季风爆发早年, 西太副高弱, 副高体小且位置偏东, 中南半岛及南海不在副高控制之下, 对流天气活跃, 偏南气流可直接进入南海, 有利于南海夏季风爆发。

图 2a、c 为南海夏季风爆发早、晚年前冬 (1~3 月) 平均的 500 hPa 高度分布图。由图可见, 南海夏季风爆发早、晚年副热带高压的变化从前期冬季就已开始。南海夏季风爆发晚年, 前期冬季西太副高强, 587 线副高体位于南海和西太平洋; 而南海夏季风爆发早年, 南海和西太平洋无副高体出现, 西太副高弱。副热带高压从前冬到初夏

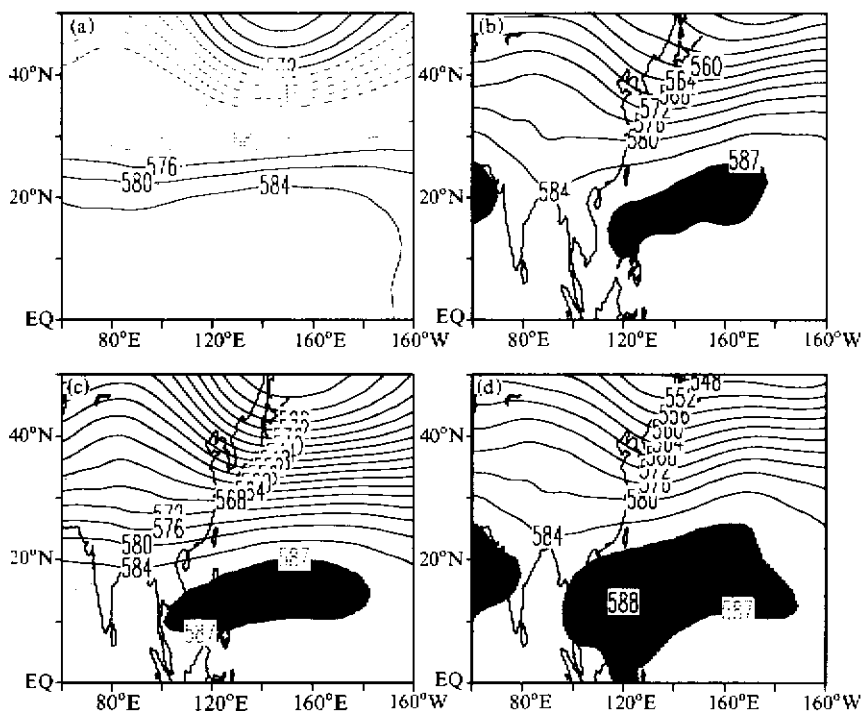


图 2 南海夏季风爆发早、晚年前冬 (1~3 月) 及 5 月的 500 hPa 平均高度场
爆发早年: (a) 前冬, (b) 5 月; 爆发晚年: (c) 前冬, (d) 5 月

的这种强弱和位置的变化对南海夏季风爆发有着重要作用。

4 南海夏季风爆发与热带海洋海温异常的关系

亚欧大陆与太平洋和印度洋的海陆差异形成了世界上最显著的季风现象。海洋的热力状况对南海夏季风的爆发有着重要影响。为了分析南海夏季风爆发早、晚与热带太平洋—印度洋海温的关系,我们用 1982~1997 年南海夏季风爆发时间与热带太平洋—印度洋逐月的 SST 距平求相关。图 3 为南海夏季风爆发时间与前 1 年 5 月至当年 7 月的热带太平洋—印度洋 SST 的逐月相关图。图中阴影部分为相关系数 $|r| \geq 0.5$ 且信度水平 $\geq 95\%$ 的范围;实、虚阴影分别表示南海夏季风爆发早晚与 SST 的正、负相关。

4.1 总体相关特征

图 3 结果表明,南海夏季风爆发与热带太平洋—印度洋海温有着密切关系。在南海夏季风爆发的前 1 年夏季至当年夏季热带太平洋—印度洋海温异常与南海夏季风爆发的早晚存在明显的相关。总体而言,热带南印度洋和中、东太平洋海温与南海夏季风爆发呈正相关,与热带西太平洋及澳洲附近海域的海温呈负相关,即:当热带中、东太平洋—印度洋及南海海温低,西太平洋海温高时,南海夏季风爆发早;反之,当热带中、东太平洋—印度洋及南海海温高,西太平洋海温低时,南海夏季风爆发晚。

热带太平洋正、负相关的分布特征表现出明显的 El Niño 模态,日界线 180°E 以东

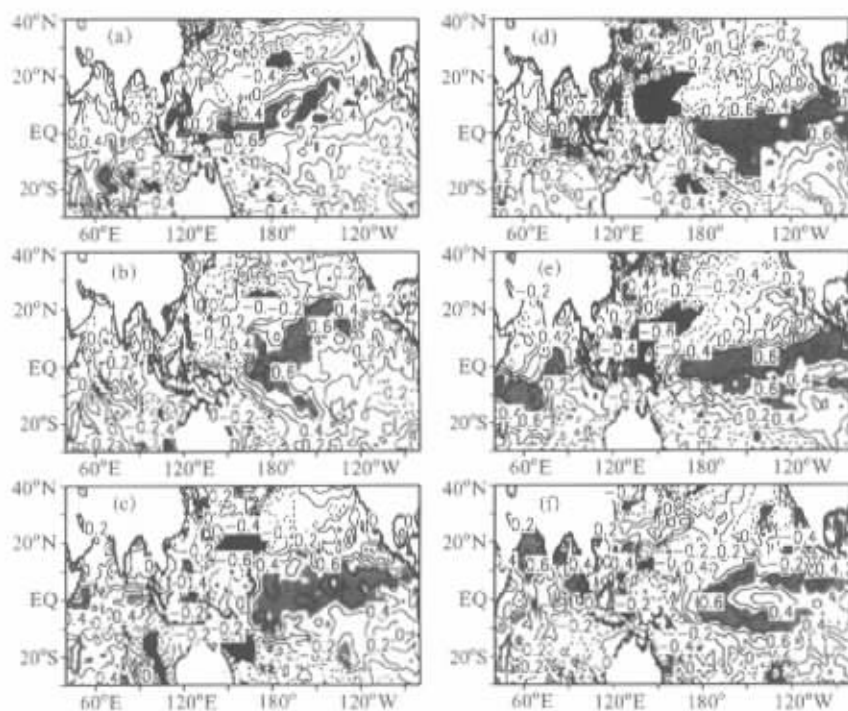


图3 南海夏季风爆发时间与前1年5月至当年7月的热带太平洋—印度洋 SST 的逐月相关图
(a) 前1年5月; (b) 前1年8月; (c) 前1年11月; (d) 当年1月; (e) 当年4月; (f) 当年7月

的热带中，东太平洋和日界线以西的西太平洋的反相关与东、西太平洋海温的反相变化相一致。在整个相关区域中，热带中，东太平洋海域的海温与南海夏季风之间的正相关分布是最明显的，这种关系从前 1 年夏季开始一直持续到当年夏季，持续时间达 1 年之久。当前期热带中，东太平洋海温异常偏暖，持续维持正距平异常时，随后南海夏季风爆发晚；反之，南海夏季风爆发早。

4.2 季节和年际变化

图 3 表明，热带海洋对南海夏季风爆发的影响除有明显的区域差异外，还表现出明显的时间变化。为了更清楚表明不同区域海温影响的时间变化，表 2 分别给出了南海夏季风爆发与南印度洋 IN1 (20°S~0°N, 30~60°E)、赤道东印度洋 IN2 (5°S~5°N, 60~90°E)、南海 SCS (0~20°N, 105~120°E)、西太平洋 WP (0~15°N, 130~160°E) 和热带中、东太平洋 NO4 (5°S~5°N, 170~150°W) 不同海区前期各月海温的相关系数 (为了使相关关系更加明确，取相关信度≥99%的值)。结果表明，各海域的相关分布表现出明显的时间变化，热带印度洋与南海夏季风爆发主要以 4~6 月的关系显著，南海以 5~6 月明显。结合图 3 可以明显看出，相关区域的变化从 4 月份位于 15°S 的马达加斯加岛附近的南印度洋海域到 6 月份逐步扩展到赤道以北的阿拉伯海、孟加拉湾至南海区域。热带西太平洋与南海夏季风爆发为负相关，以前冬至 5 月关系较密切；热带中、东太平洋对南海夏季风的影响从前 1 年冬季开始可一直持续到夏季，以 3~5 月关系最显著。表中 NO4-WP 栏表示热带中、西太平洋区域 SST 纬向距平差与南海夏季风爆发早、晚的相关关系，可以看出，相关程度明显提高，而这种相关程度除表现出前冬至夏季持续的相关性以外，如同热带印度洋一样，在 4~6 月得到进一步的加强。这说明春季热带太平洋—印度洋海温的变化对南海夏季风爆发却起着相当重要的作用。

表 2 南海夏季风爆发时间与前期各月热带太平洋—印度洋各区海温的相关系数

月	12	1	2	3	4	5	6
IN1					0.649	0.797	0.797
IN2					0.668	0.738	0.685
SCS						0.641	0.742
WP		-0.630	-0.624	-0.644	-0.673	(-0.616)	
NO4	0.676	0.676	0.674	0.712	0.711	0.757	0.666
NO4-WP	0.699	0.693	0.684	0.716	0.740	0.809	0.739

$\alpha=0.01, r=0.623; \alpha=0.002, r=0.711; \alpha=0.001, r=0.725$

图 4 为南海夏季风爆发时间与南印度洋 (IN1 区域, 5 月), 热带中、西太平洋 (NO4-WP, 5 月) SST 距平的年际变化曲线, 可看出热带海洋海温的变化与南海夏季风爆发有着比较一致的关系。热带印度洋—中东太平洋 SST 正距平年均与南海夏季风爆发晚年相一致, 如 1982~1983、1987、1991~1993、1995、1997; 而 SST 负距平年, 除 1988、1989 年外, 如 1981、1984~1986、1996 均与南海夏季风爆发早年相吻合。梁建茵等^[8]的研究指出, 1988、1989 年两年为南海夏季风活动比较特殊的年份, 1988 年夏季, 前期夏季风较强, 而后期较弱; 而 1989 年夏季风前期较弱, 后期较强。

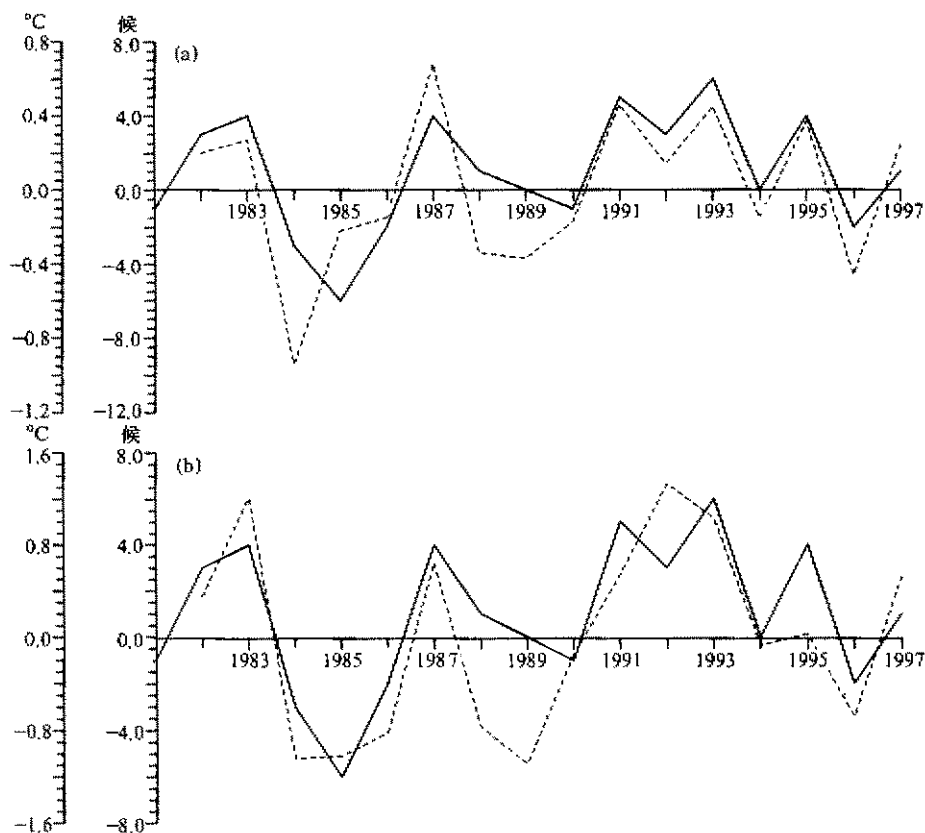


图4 南海夏季风爆发时间与热带太平洋—印度洋 SST 距平的年际变化关系曲线

(a) IN1, 5 月; (b) NO4-WP, 5 月

实线: 爆发时间; 虚线: SSTA

4.3 南海夏季风爆发期间大气与海温响应的耦合模态

SVD 方法是研究两个不同要素场之间线性耦合关系的有效方法, 它擅长于识别和提取两个要素场之间的最佳耦合模态。我们取南海夏季风爆发期间 (5、6 月份平均) 亚洲季风区 ($30^{\circ}\sim 180^{\circ}\text{E}$, $40^{\circ}\text{S}\sim 40^{\circ}\text{N}$) 850 hPa 平均的 U 、 V 风场的标准化距平场作为 SVD 分析的左场, 时间为 1979~1997 年 (总样本数为 19); 同时分别取同时段的前冬 (12~2 月)、前春 (3~5 月) 扩大的热带印度洋—太平洋区域 ($40^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{W}$, $40^{\circ}\text{S}\sim 40^{\circ}\text{N}$) 的海温标准化距平场 (1979~1981 年的 SST 为 COADS 资料) 作为 SVD 的右场, 做联合 SVD 分析, 来寻求南海夏季风爆发时大气流场与海温场的最佳耦合模态, 以进一步认识它们之间的关系。

图 5 是 SVD 第 1 模态时间系数和南海夏季风爆发时间的时间序列, 图中实线对应于流场, 虚线对应于海温场。可以看出, 不同年份流场的变化与前冬和前春相应时间 SST 的正、负变化相一致, 两者的相关系数分别达到 0.89 和 0.92。与南海夏季风爆发时间比较发现, 南海夏季风爆发早晚和 SVD 第 1 模态风场和海温场的时间系数有较好的对应关系, 南海夏季风爆发晚年, 如: 1982~1983、1987、1991~1993、1995、1997 年为正异常值, 而南海夏季风爆发早年: 1981、1984~1986、1996 年 (1988、1989 年

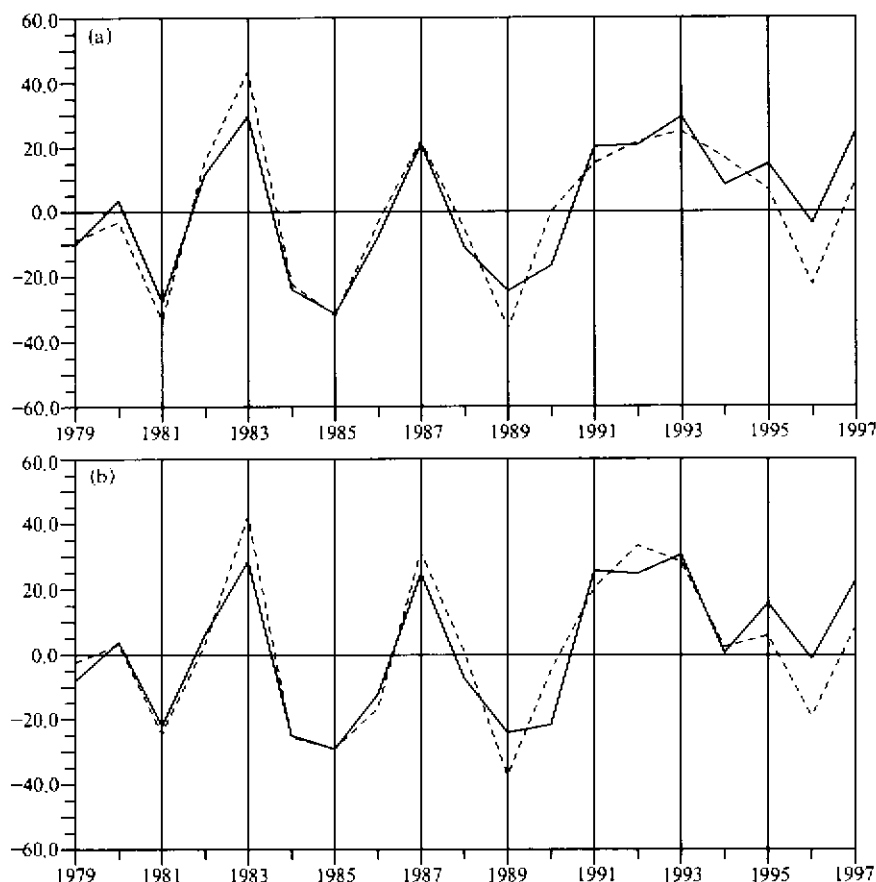


图5 前冬和前春的 SST 分别与初夏距平流场 SVD 第 1 模态的时间系数

(a) 前冬; (b) 前春。实线对应于流场, 虚线对应于海温场

除外) 为负异常值。

图 6 是与图 5 相对应的前冬、前春海温场与风场 SVD 第 1 模态的分解结果, SVD 第 1 模的方差贡献分别为 32% 和 40%。图中阴影区表示达到 95% 信度的显著相关区, 其中虚、实阴影部分分别表示海温场与风场第 1 模的正、负相关。它清楚地反映了南海夏季风爆发时亚洲季风环流对太平洋—印度洋 SST 异常的响应。图 6a、b 表明, 从海温场的模态来看, 前冬, 主要相关区在热带中东太平洋为正, 西太平洋为负, 在中国东部及日本东南海区及澳洲东部副热带海域也分别表现出正、负相关; 而春季, 除太平洋的分布与冬季相似之外, 赤道以南的热带印度洋也变成了强的正相关区。可见, 海温场的这种分布为典型的 El Niño 模态, 它对应着时间系数的正值, 为 El Niño 年; 相反, 时间系数为负值, 基本与 La Niña 年相对应。这与人们发现的 El Niño 年南海夏季风爆发晚, La Niña 年南海夏季风爆发早的结论是一致的。同时, 更进一步表明, 南海夏季风爆发与前冬和前春热带太平洋—印度洋海温的异常关系密切, 与 El Niño、La Niña 事件的发生发展密切相关。

由 850 hPa 的 SVD 左异类相关矢量的第 1 模态图 (图 6c) 可以发现, 对应着与海

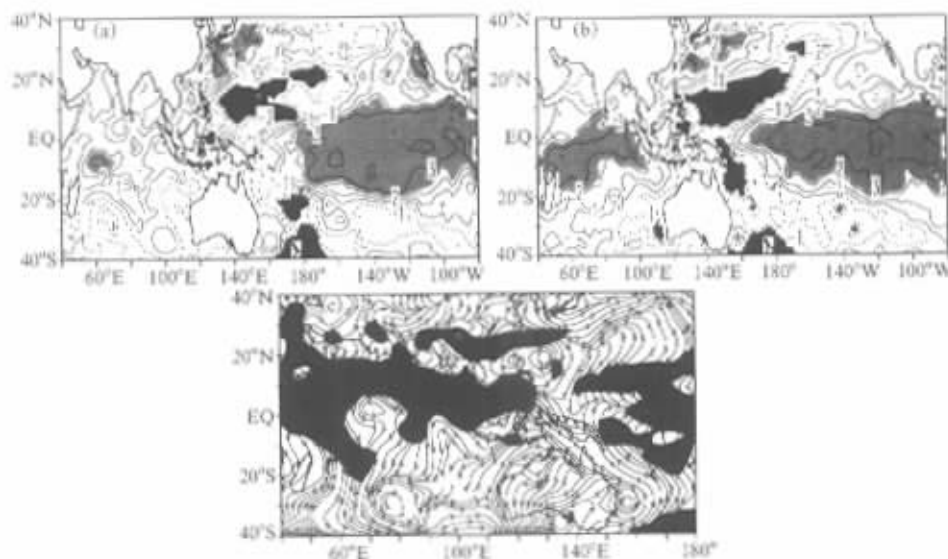


图6 与图5对应SVD第1模式SST异质相关型(a:前冬;b:前春)和左奇异相关矢量场(c:初夏)
(a)、(b)中的数值放大了100倍,实、虚阴影部分为正、负相关区且阴影区为超过95%显著性检验

温异常主模相关的大气环流异常最明显的环流特征是几乎整个亚洲季风环流的异常(图中阴影区)。时间系数正异常年,即El Niño年,整个亚洲热带季风区(包括南海南部)为东风距平环流,80~90°E附近和索马里越赤道气流偏弱(对应于偏北风距平),西太平洋和南海与孟加拉湾分别对应着反气旋性距平环流,西太副高强,中国南部地区为西南气流所控制,印度季风环流弱,东亚副热带季风环流强,这种环流的分布不利于南海夏季风的爆发;而时间系数负异常年,即La Niña年,或者说准La Niña年,环流形势恰好相反,整个热带亚洲季风区为西风距平环流,索马里越赤道气流偏强,西太平洋和南海与孟加拉湾分别对应着气旋性距平环流,印度季风环流强,东亚副热带季风环流弱,南海在西风距平环流控制之下,南海夏季风爆发早。南海季风爆发早年,亚洲季风区环流场的这种分布与李崇银等^[10]在分析南海夏季风爆发前第15~11天的平均流场异常流场演变时发现的在南亚85°E附近和东南亚地区130°E附近气旋性涡旋的存在和环流场的分布是一致的。

从以上环流变化上看,南海季风(甚至东亚季风)活动主要以受印度季风环流的变化影响为主,西太平洋副热带高压的强弱与位置的变化对南海季风爆发也有重要影响。南海夏季风爆发不是一种局地现象,而是一种大尺度现象,它受到大尺度海洋和大气环流的影响,夏季风活动时期季风纬向环流的变化和南亚或东南亚气旋性涡旋的存在是与大尺度气候性的环流演变相关联的,这种耦合型的海温和大气环流场的分布同我们前面所做的分析基本一致。

5 海温异常对南海夏季风爆发影响可能过程的初步探讨

热带地区大尺度辐散环流的分布与加热场有密切关系,实际上它是对局地加热不平

衡的动力调整的结果。Krishnanurti 等^[11]最早研究了全球热带辐散环流, 认为辐散风部分的方差虽然仅占总运动方差的 20% 左右, 但与辐散风相联系的垂直环流^[12~14]对天气系统的发展是十分重要的。

用 1979~1997 年的风场资料, 我们绘制亚洲季风区 4~6 月 200 hPa 的速度势 χ , 这里 χ 的正值代表辐合, 负值则代表辐散, 最强的辐散风位于 χ 场梯度最大的地方。根据 χ 场的分布可以分析大尺度流的辐散、辐合特征。由图可以明显看出 4~6 月南海夏季风爆发早、晚年 (分别取爆发早年 5 年、晚年 6 年合成, 同前) 200 hPa 速度势 χ 的距平分布基本相反, 相反区域主要反映在南亚及西太平洋、澳大利亚西部、南印度洋和东太平洋 (由于篇幅所限, 我们这里仅给出 4 月的距平合成图)。南海夏季风爆发早、晚似乎与南亚季风区亚澳季风环流和太平洋地区 Walker 环流变化有关。

南海夏季风爆发早年 (图 7a), 南亚及西太平洋为负的 χ 距平中心, 为上升区; 北非、南印度洋马达加斯加附近及澳洲西部和东太平洋为正的 χ 距平中心, 为下沉区。它们分别和西太平洋 SST 的正距平异常区、热带印度洋 (尤其是南印度洋) 和东太平洋 SST 的负距平异常区相对应。气流在暖 SST 区上升, 在冷 SST 区下沉, 高空气流加强了从南亚及西太平洋强辐散中心向西及西南澳洲以及马达加斯加岛附近辐合区的流入, 促使了低空西到西南气流的加强, 从而使亚澳季风系统产生正距平环流。而太平洋西暖东冷的正距平 SST 梯度, 使得 Walker 环流维持正距平异常, 同时, 正的 Walker 环流异常对应着弱的副热带高压——西太平洋副高中心位置为异常的上升支, 东太平洋下沉, 副高偏弱, 位置偏东^[15]。热带印度洋—太平洋海温的这种异常分布形成了热带印度洋和太平洋正的距平季风环流和正的距平 Walker 环流, 有利于低空西风气流的产生和偏南季风的加强, 南海夏季风爆发早。南海夏季风爆发晚年 (图 7b), 南亚和西太平洋地区 χ 为正的距平异常, 澳洲及南印度洋和东太平洋 χ 为负距平, 它们也分别和西太平洋的 SST 负距平区、南印度洋和东太平洋 SST 的正距平区相对应。这种反相的距平异常分布产生了反的季风距平环流和反的 Walker 距平环流, 从而使南海夏季风爆发晚。澳洲西部中心在 4 月份明显, 但在 5、6 月份消失, 与西部南印度洋中心区连成一体, 这可能与澳洲大陆的热状况有关, 同时说明南亚—西太平洋与澳洲热状况对南海夏季风首先在南海爆发有重要作用。

有关热带太平洋和印度洋海—陆—气相互作用影响南海夏季风爆发早、晚的物理过程和亚澳季风环流变化将另文详细讨论。

6 小结

通过分析可以发现, 南海夏季风活动异常与热带大气环流和海温之变异存在密切关系。

(1) 当热带中、东太平洋—印度洋及南海海温低 (高), 西太平洋—澳洲邻近海域海温高 (低) 时, 南海夏季风爆发早 (晚)。

(2) 不同区域海洋对夏季风爆发的影响有明显的季节差异, 印度洋主要为晚春至初夏 (4~6 月), 南海为 5~6 月, 而热带太平洋从前冬一直持续到夏季。

(3) 不同的海温异常产生不同的季风环流型。南海夏季风爆发早年, 晚春至初夏,

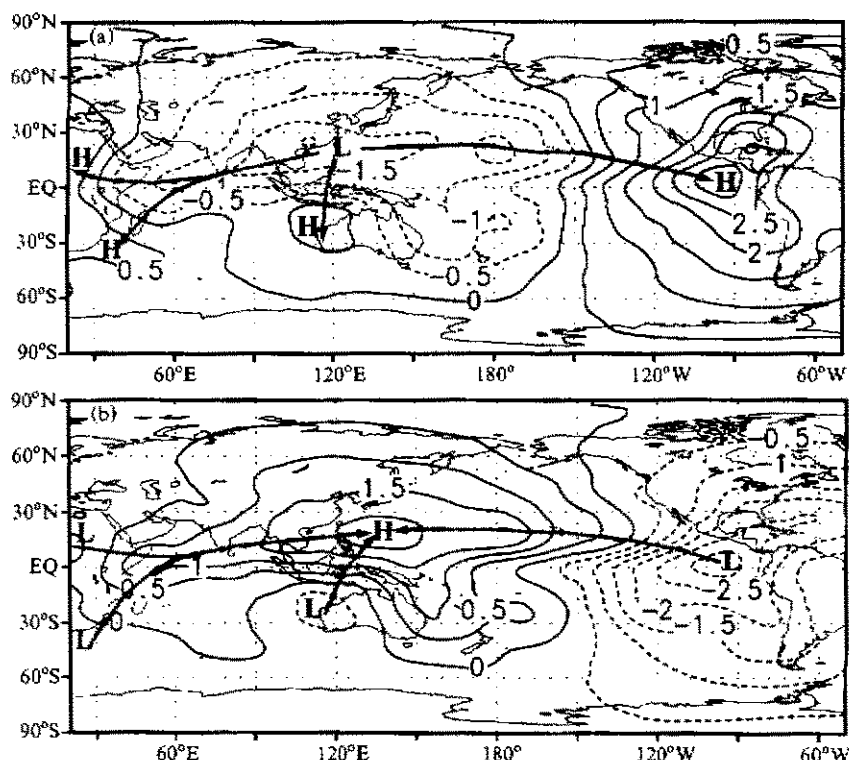


图7 南海夏季风爆发早、晚年4月200 hPa速度势距平分布图

(a) 爆发早年; (b) 爆发晚年。单位: $\times 10^6 \text{ m}^2/\text{s}$

南亚季风区850 hPa出现西风距平, 西风强, 越赤道气流明显, 东亚副热带为气旋性距平环流, 西太副高弱, 位置偏东。南海夏季风爆发晚年, 则相反。南海季风的的活动主要以受印度季风的环流变化影响为主, 与前期冬春季西太副高的强弱及位置变化密切相关, 西太副高弱时, 南海夏季风爆发早, 反之, 爆发晚。

(4) 南海夏季风爆发早年, 海温异常产生正距平的季风环流和 Walker 环流, 而爆发晚年则产生负距平的反环流。热带太平洋—印度洋海温异常引起季风环流和 Walker 环流的异常变化是促使南海夏季风爆发早、晚的可能过程。

参 考 文 献

- 1 Lau K.-M., Song Yang, Climatology and interannual variability of the Southeast Asian Summer monsoon, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1997, 14, 141~162.
- 2 刘霞、谢安等, 南海夏季风爆发的的气候特征, *热带气象学报*, 1998, 14(1), 28~37.
- 3 陶诗言、陈隆勋, 夏季亚洲大陆上空大气环流结构, *气象学报*, 1957, 28, 234~246.
- 4 叶笃正、陶诗言等, 在六月和十月大气环流的突变现象, *气象学报*, 1958, 29, 249~263.
- 5 Webster, D. J. and S. Yang, Monsoon and ENSO, Selectively interactive systems, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1992, 118, 877~926.
- 6 李崇银、张利平, 南海夏季风活动及其影响, *大气科学*, 1999, 23(2), 257~266.
- 7 阎俊岳, 南海西南季风爆发的气候特征, *气象学报*, 1997, 55(2), 174~185.
- 8 梁建茵、吴尚森, 1998年南海西南季风活动的初步分析, *热带气象学报*, 2000, 16(1), 28~37.

- 9 陈隆勋、刘洪庆等, 南海及邻近地区夏季风的爆发特征及其机制的初步分析, 气象学报, 1999, 57(1), 17~29.
- 10 李崇银、屈 昕, 伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变, 大气科学, 2000, 24(1), 1~24.
- 11 Krishnanurti, T. N., Tropical east-west circulation during the northern summer, *J. Atmos. Sci.*, 1971, 28, 1342~1347.
- 12 丁一汇、赵深铭等, 北半球夏季全球热带和副热带 200 hPa 平均辐散环流的研究, 气象学报, 1987, 4(1), 120~127.
- 13 Das, P. K., *Monsoons*, WMO-Publ, 613:155, 1986.
- 14 Webster, P. J. and V. O. Magana et al., Monsoon: processes, predictability, and the prospects for prediction, *J. Geophys. Res.*, 1998, 103(C7), 14451~14510.
- 15 应 明、孙淑清, 西太平洋副热带高压对热带海洋异常响应的研究, 大气科学, 2000, 24(2), 193~206.

A Study on the Relationships between the Onset of the South China Sea Summer Monsoon and the Anomalies of Tropical Ocean and Atmospheric Circulations

Chen Yongli, Bai Xuezhi and Zhao Yongping

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

Abstract By using composite, correlate analysis and SVD (Singular Value Decomposition) technique, the relationships among the onset of the South China Sea Summer Monsoon (SCSM), its associated circulation anomalies from April to June and SST anomalies in the tropical Indian-Pacific Ocean were investigated. The results indicate the impacts of SST anomalies in the tropical Indian-Pacific Ocean on the onset of SCSM and its associated monsoon circulation anomalies are significant. The onset of SCSM is early (late) when SST anomalies in the tropical central-eastern Pacific Ocean, Indian Ocean (mainly in the southwestern region) and South China Sea are negative (positive), while SST anomalies in the western Pacific Ocean and Australia's adjacent seas are positive (negative). SST anomalies in different regions of the ocean influence the monsoon in different time: the Indian Ocean is from April to June, South China Sea is May-June, while the influence of the tropical Pacific Ocean can persist from the last winter to this summer. Different SST anomalies can induce different monsoon circulation regimes: circulation anomalies in early or late SCSM are basically reverse. A close relationship exists between SCSM and the activities of the western Pacific subtropical high in previous winter and spring: when the western Pacific subtropical high is weak (strong), the onset of SCSM is early (late). Monsoon circulation and Walker circulation anomalies induced by SST anomalies in the tropical Pacific-Indian Ocean maybe play an important role in influencing SCSM in terms of its onset time.

Key words: onset of South China Sea summer monsoon; anomaly of tropical sea surface temperature; atmospheric circulation anomaly