

南海夏季风活动的年际和年代际特征*

戴念军¹⁾ 谢 安 张 勇²⁾

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

摘 要 利用 NCEP 风场资料和候平均向外长波辐射 (OLR) 资料分析了南海区域低层风场与对流活动的关系, 在此基础上, 采用南海中南部的纬向风平均值来定义南海夏季风的爆发, 确定了长序列 (1949~1998) 的南海夏季风爆发日期和强度指数, 并研究南海夏季风活动的年际和年代际变化特征。结果表明: 南海夏季风爆发日期和强度指数呈显著的反相关; 50 年来的气候趋势是, 爆发日期逐渐偏晚, 强度指数逐渐减弱。二者都存在着明显的年际和年代际变化, 它们在不同阶段上的波动是各种时间尺度振荡叠加的结果, 而年代际尺度具有非常重要的作用。东印度洋海温异常在南海夏季风爆发前后, 均与南海夏季风强度指数呈显著的反相关。东太平洋海温异常在南海夏季风爆发之前, 与强度指数反相关, 而爆发之后, 与强度指数正相关。这体现了南海夏季风活动与 ENSO 事件的密切关系。

关键词: 南海夏季风; 爆发日期; 强度指数; 年代际特征

1 引言

季风是全球大气环流的一个重要组成部分, 对中国及世界天气、气候影响很大。80 年代中国学者明确指出, 亚洲季风是由相互联系又有其独立性的南亚季风系统和东亚季风系统组成, 而亚洲季风最早在南海地区爆发, 然后分别逐渐向西北和北方扩展, 最后建立起南亚夏季风和东亚夏季风^[1]。南海夏季风的爆发标志着东亚季风的来临和中国雨季的开始, 因而具有特别重要的意义。90 年代以来, 人们利用各种观测资料从不同角度对南海季风爆发进行了研究。从热力学角度, 如陶诗言和陈隆勋^[1]用季风降水、金祖辉^[2]用卫星观测的 TBB 资料、罗会邦^[3]用综合的候降水资料 CMAP 来定义南海夏季风爆发。从动力学角度, 如阎俊岳^[4]根据南海周边 9 个探空站测风资料、李崇银^[5]采用对流层高低层散度差为指标、卢孟明^[6]用 850 hPa 涡度来定义南海季风爆发。谢安等^[7]则是较早将热力学和动力学结合起来定义南海夏季风爆发的, 其标准是南海区域平均 OLR 值降到 $235 \text{ W} / \text{m}^2$, 同时南海区域平均的 850 hPa 纬向风由东风转为西风。梁建茵等^[8]也综合了 OLR 值和 850 hPa 风确定季风爆发指标。陈隆勋^[9]结合 OLR 或 TBB 低值带及 850 hPa 上西沙站风向作为南海夏季风爆发的指标。研究结果得到的一个基本共识是南海夏季风的气候爆发日期是 28 候, 并且爆发日期存在着较大的年际变化。但是, 目前对南海季风活动的年际和年代际变化的研究尚不充分, 困难在于需要建立一个能很好反映南海夏季风强度及爆发日期的长序列资料。尽管风场资料的序列较长, 而有

2000-09-01 收到, 2000-09-20 收到修改稿

* 国家科技部攀登项目 A“南海季风试验研究”和国家自然科学基金资助项目 49975023 联合资助

1) 现工作单位: 民航河北省管理局; 2) 现工作单位: 民航福建省管理局

关降水的资料序列却较短, 由于资料的不同以及选取的南海区域不同, 侧重流场与侧重降水的定义, 导致不同作者确定的爆发日期在某些年相差较大。不少作者同时应用流场与降水资料, 也因流场与降水关系的复杂性仍未得到统一的结果。

本文的目的是通过对比分析南海区域低层风场与对流活动的关系, 利用较长序列的风场资料(50年)确定爆发日期和强度指数。在此基础上, 着重研究南海夏季风活动的年际和年代际变化特征, 包括长期趋势、突变性和周期性等, 揭示它们与东亚夏季风强度、厄尔尼诺事件以及海温异常等的关系。

本文使用的资料包括: 美国 NCAR/NCEP 再分析资料的日平均风场资料(1949~1998年3~8月)和月平均全球海表温度资料(1950~1998年1~12月), 以及 NOAA 卫星候平均 OLR 资料(1979~1998年3~8月), 其中风场和 OLR 资料的分辨率均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度, 海温资料的分辨率为 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 经纬度。研究中, 风场日平均资料已转化为候平均资料, 本文定义的南海区域为 ($105^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$, $5^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}$)。

2 南海夏季风爆发的气候特征

2.1 低层 850 hPa 风场和 OLR 的气候特征

我们研究了 50 年平均的低层 850 hPa 风场特征(图略), 其结果与以往的研究基本一致^[4,5,7]。从气候意义上说, 南海夏季风爆发的风场变化主要表现在低层 850 hPa, 西太平洋副热带高压脊减弱东撤及东风从南海撤退和西风在南海建立, 是南海夏季风爆发最显著的环流特征。

由于缺乏详细的海上降水资料, 可以用反映对流活动的 OLR 来代替。从 OLR 沿纬向平均的时间剖面图(图 1a)可以看出, OLR 在南北方向上具有明显的爆发性特征。27 候以前 OLR 低值区出现在 5°N 以南的热带地区和 24°N 以北的副热带地区, 从 27~28 候开始两条云带连接起来, 整个南海地区突然出现强对流天气。从 OLR 沿经向平均的时间剖面图(图 1b)看到, $95^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E}$ 的中南半岛是对流最早爆发的地区, 从 24 候开始自南向东北和西北方向传播; $110^{\circ} \sim 125^{\circ} \text{E}$ 的洋面上在 28 候同时出现对流, 没有东西方向上的差别。考虑到对流活动以及流场的空间分布特征, 本文认为将南海区域范围定为 ($105^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$, $5^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}$) 较为合适。

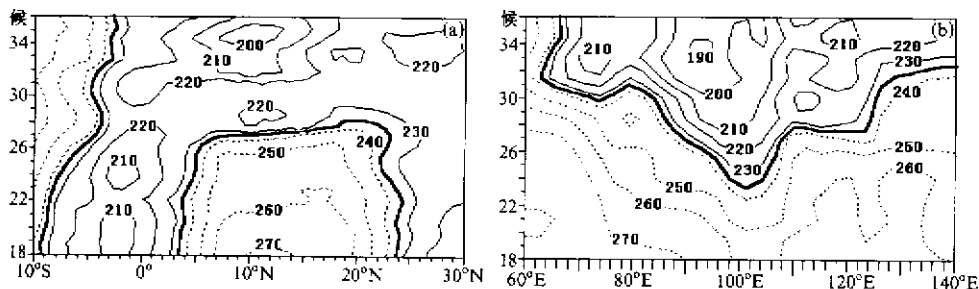


图 1 OLR 沿 $105^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ 经向平均(a)和沿 $5^{\circ} \sim 20^{\circ} \text{N}$ 纬向平均(b)的时间演变图
等值线单位: W / m^2

从多年(1949~1998年)平均经向风和纬向风的南海区域平均值随时间的演变(图2b、c)看出,从3月初开始,整个南海区域一直都维持着偏南风分量,而纬向风在28候出现东风转西风的明显变化,这说明南海区域纬向风的爆发性特征明显,而经向风并不具有爆发性特征;OLR南海区域平均值随时间演变(图2a)的爆发性特征也非常明显,以OLR值降低到 235 W/m^2 作为对流爆发的指标,气候平均的爆发日期也是28候。本文认为,在确定南海夏季风爆发日期时,经向风是可以忽略的。同时,我们还注意到,南北方向上,纬向风在南海中南部风向转变的时间是28候,与整个南海区域平均的结果一致(图略),但是南海北部(图2d)的情况则非常不同,风向转变的时间较早,从19候开始到26候,平均风速在 $\pm 1 \text{ m/s}$ 之内,交替出现,27候以后风速逐渐增强,维持稳定的西风。这与谢安等^[10]的结果是类似的,他们发现,南海地区季风爆发偏晚年主要表现为南海中南部的风向转变偏晚,而北部并不晚,有时甚至偏早。影响南海北部出现西风的因素较多,这导致纬向风在南海北部的爆发性特征没有南海中南部明显。

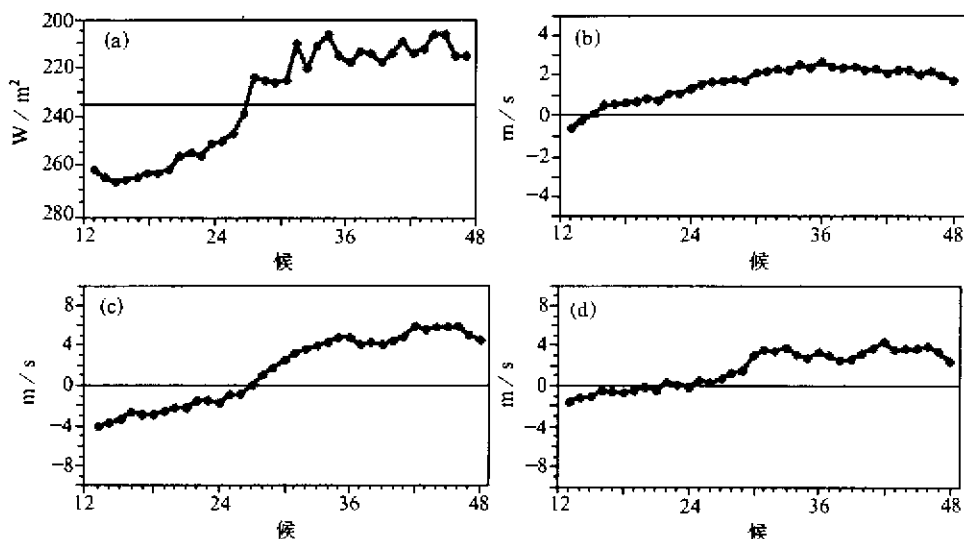


图2 1979~1998年平均OLR(a), 1949~1998年平均经向风(b), 纬向风(c)的南海区域平均以及纬向风的南海北部平均(d)随时间的演变图

2.2 低层 850 hPa 纬向风的空间分布特征

西太平洋副热带高压脊的东撤是南海夏季风爆发最显著的环流特征,此时东风从南海撤退,西风在南海建立。因此,只有南海区域的环流出现明显转变时才能认为是季风爆发。对照天气图发现,低层纬向风在南海北部、中部和南部平均值的组合可以较好地描述西太平洋副热带高压脊的活动。南海各部都是东风(即纬向风表现为---)表明副热带高压脊线位置偏北,南海地区受副热带高压南侧的东风带影响,季风尚未爆发。北部为西风,中部和南部为东风(纬向风表现为+-)代表副热带高压脊线位于南海中部,尽管北部出现西风,但是副热带高压脊没有退出南海,不能认为是季风爆发。北部和中部为西风,南部为东风(纬向风表现为++-)可分为两种情况,当南海中南部的平

均值大于0时,说明南海中部的西风强于南部的东风,副热带高压脊线南压,南海大部分海区出现强西风,可认为是季风爆发;当南海中南部的平均值小于0时,表示南海南部的东风仍然很强,副热带高压脊依然控制南海,脊线位于南海中部,从环流特征考虑,季风没有爆发。当南海各部都是西风时(纬向风表现为+++),副热带高压脊已经全部撤出南海,夏季风全面爆发。另外,副热带高压脊线位于南海北部,南海中部和南部有西风侵入(纬向风表现为-++),由于此时的西风属于热带性质,认为季风首先在南海南部爆发。我们注意到,当南海区域的环流出现明显转变时,南海中南部的纬向风平均值是大于0的。

2.3 低层 850 hPa 纬向风和 OLR 的逐年对比

由2.1节的分析知道,多年合成的结果表明南海区域东风转西风的时间与对流出现的时间是一致的(28候),但是对于每一年的情况则并不完全相同。因此,分析纬向风和 OLR 在南北方向上的时间和空间分布(见表1)将有助于我们较为科学地确定南海夏季风爆发的时间。

表1的第2列是1979~1998年南海区域平均的 OLR 值首次降低到 235 W/m^2 的时间(候),第3、4、5列是当时纬向风的空间分布情况(+代表西风, -代表东风),第6列是南海区域环流特征出现转变(持续2候)的时间,第7、8、9列是当时 OLR 的空间分布情况(0代表 $\text{OLR} > 235 \text{ W/m}^2$, 没有对流出现; 1代表 $\text{OLR} < 235 \text{ W/m}^2$, 有对流出现)。由表1看出,当南海区域首次出现对流时,相应的流场有的是西风,有的是东风,也就是说,强对流的出现并不完全是西风引起的,也有可能是由东风波引起的,南海夏季风尚未爆发。由此我们认为,虽然降水是南海季风的一个重要特征,但在确定爆发日期时,应该主要从纬向风场考虑,降水只能作为一个辅助的条件。

对比南海区域平均的 OLR 值首次降低到 235 W/m^2 的时间和南海区域环流特征出现转变的时间,发现20年中,对流首次出现时间与环流转变时间一致的有9年(表1备注栏中为★的年份);对流首次出现时间比环流转变时间晚的只有2年(表1备注栏中为※的年份),1980年晚1候,1992年晚2候;对流首次出现时间比环流转变时间早的也有9年(表1备注栏中为△的年份),其中1982、1987、1989、1990、1991、1998年早1~2候,风场形式为“+—”或“—”,说明对流出现在副热带高压南侧的东风带中,1993和1996年对流比环流转变早3~4候。两个时间相差很悬殊的是1985年,对流出现在22候,风场为“—”,以2.2节的标准确定环流转变时间却是30候,仔细分析纬向风各区域平均值的时间分布,发现23候纬向风出现在南海南部,形势为“—+”,南海中南部纬向风平均值大于0,且持续3候,此时侵入南海南部的西风也属于热带性质,应该是季风爆发,这也与其他作者的结论一致。由上述分析可知,只用南海中南部区域的纬向风平均值的时间演变能够较好地描述整个南海夏季风爆发特征。

2.4 与其他作者南海夏季风爆发日期的比较

表2是用南海中南部区域纬向风平均值的时间演变确定的1979~1998年南海夏季风爆发日期与其他作者定义的爆发日期的对比。有的作者确定的日期精确到日,表中均换算成候;谢安等原来的南海区域对于南北向是 $0 \sim 20^\circ \text{N}$, 现在按照 $5 \sim 20^\circ \text{N}$ 将爆发时间加以订正,可以看出,订正前后是有一定差别的。从表2看出,不同作者确定的时

表 1 用低层 850 hPa 纬向风和 OLR 确定爆发时间的逐年对比

年 代	OLR 时间	纬向风 (北)	纬向风 (中)	纬向风 (南)	环流转 变时间	OLR (北)	OLR (中)	OLR (南)	备注
1979	27	+	+	+	27	0	1	1	★
1980	28	-	+	+	27	0	0	0	※
1981	27	+	+	-	27	1	0	0	★
1982	28	-	-	-	31	1	0	1	△
1983	29	+	+	+	29	1	1	0	★
1984	24	+	+	+	24	1	1	1	★
1985	22	-	-	-	30	1	1	1	△
1986	27	+	+	+	27	1	1	0	★
1987	30	+	-	-	32	1	1	1	△
1988	29	+	+	+	29	1	1	1	★
1989	27	-	-	-	28	1	1	1	△
1990	27	-	-	-	28	1	1	1	△
1991	30	-	-	-	32	1	1	1	△
1992	30	+	+	-	28	0	0	0	※
1993	28	-	-	-	32	1	1	1	△
1994	25	+	+	+	25	1	0	1	★
1995	27	+	+	+	27	1	1	1	★
1996	23	-	-	-	26	0	0	0	△
1997	28	+	+	+	28	0	1	1	★
1998	28	+	+	-	29	1	1	1	△

表 2 本文及各作者南海夏季风爆发日期的比较

年 代	李崇银 (文献[5])	卢孟明 (文献[6])	金祖辉 (文献[2])	陈隆勋 (文献[9])	谢安 (文献[7])	谢安(订正) (文献[10])	本 文
1979		27		27	27	27	27
1980	27	27	28	27	28	28	27
1981	27	28	28	27	27	27	27
1982	28	32	28	28	31	30	31
1983	31	31	31	29	32	29	29
1984	24	32	24	24	25	24	24
1985	24	23	22	22	24	23	23
1986	26	27	27	27	26	27	27
1987	32	32	31	28	32	32	32
1988	29	29	28	29	29	29	29
1989	27	28	27	27	28	28	28
1990	26	28	27	27	27	28	28
1991	30	32	30	30	33	32	32
1992		34		26	31	30	28
1993		34		27	34	30	32
1994		31			28	25	25
1995		27			32	27	27
1996		22				27	26
1997		28				28	28
1998		29				28	29

间大致相同,但是有的年份相差较大,其原因之一是由于风场资料间接计算出的涡度或散度存在一定的计算误差,与直接观测的卫星资料得出的结果相比会有一些的差别;最主要的原因仍在于流场与对流的复杂关系。环流转变时间与对流首次出现时间相同的年

份, 确定的爆发日期基本一致。在对流出现较早的年份里, 降水多出现在东风气流里, 只考虑对流或降水的作者所确定的日期一般比我们定义的日期早 1~2 候。当对流首次出现后存在间歇, 尽管同时考虑对流和风场仍然较难确定爆发日期, 如 1996 年, 对流首先出现在 23 候, 但是 24~26 候有间歇, 27 候对流再次出现; 而环流出现转变是 26 候, 但 26 候却没有对流出现 (见表 1), 按照谢安等的方法确定的爆发时间就是 27 候, 本文则为 26 候。

3 南海夏季风活动的年际和年代际特征

根据以上的对比分析, 本文定义南海中南部 ($105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$) 纬向风平均值大于零且维持 2 候 (含 2 候) 以上时为南海夏季风爆发。南海夏季风强度指数定义为, 从季风爆发开始到 8 月底结束, 当纬向风速大于 0 时, 累加南海区域上各网格点的全风速值, 再经标准化处理后的数值。表 3 为本文确定的 1949~1998 年的爆发日期和季风强度指数。

3.1 年际和年代际变化

从表 3 看到, 南海夏季风最早爆发时间是第 23 候 (4 月第 5 候), 最晚爆发时间是 32 候 (6 月第 2 候), 前后相差 1 个半月, 如果用爆发时间取平均, 则平均爆发日期是 27.66 候, 与用合成资料计算出的日期 (28 候) 很接近。把爆发日期经标准化处理 (图 3a 的直方线), 取 $\sigma=0.8$ 为临界值, 定义爆发日期在 26~29 候之间是正常年, 共计 31 年; 爆发日期在 23~25 候之间是偏早年, 共计 9 年 (1951、1956、1960、1966、1971、1974、1984、1985、1994 年); 爆发日期在 30~32 候之间是偏晚年, 共计 10 年 (1959、1963、1968、1970、1973、1975、1982、1987、1991、1993 年)。南海夏季风指数由于是标准化的结果 (图 3b 的直方线), 我们取 $\sigma=1.0$ 为临界值, $\sigma>1.0$ 为强季风年, $\sigma<-1.0$ 的为弱季风年, $-1.0\leq\sigma\leq 1.0$ 是正常年。这样, 强夏季风年有 1950、1951、1952、1953、1961、1967、1972、1974、1985、1994, 共计 10 年; 弱夏季风年也有 10 年: 1955、1956、1970、1983、1987、1988、1993、1995、1996、1998; 其余年为正常。

表 3 1949~1998 年的南海夏季风爆发日期 (上, 单位: 候) 和强度指数 (下)

年代	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1940										(26) 0.58
1950	(26) 1.88	(25) 1.49	(27) 1.44	(26) 1.11	(26) -0.67	(29) -1.27	(25) -1.06	(27) 0.23	(29) -0.45	(30) -0.68
1960	(23) 0.62	(27) 1.70	(28) 0.17	(30) 0.02	(28) -0.37	(29) 0.02	(25) -0.15	(29) 1.21	(30) -0.15	(29) -0.55
1970	(31) -1.06	(25) -0.39	(26) 1.95	(32) -0.67	(23) 1.11	(30) -0.19	(26) 0.81	(28) -0.13	(29) 0.02	(27) 0.39
1980	(27) -0.97	(27) 0.56	(31) 0.18	(29) -1.33	(24) 0.74	(23) 1.09	(27) 0.87	(32) -1.16	(29) -1.44	(28) -0.80
1990	(28) 0.74	(32) -0.44	(28) -0.66	(32) -1.01	(25) 1.07	(27) -1.68	(26) -1.26	(28) 0.91	(29) -2.36	

我们计算了南海夏季风爆发日期和强度指数二者之间的相关系数是 -0.472 , 呈显著的反相关(通过了 0.01 的显著性检验), 一般地说, 爆发早, 季风强; 爆发晚, 季风弱。但是实际发现, 爆发的早晚与季风的强弱并不完全对应, 这可能与南海夏季风爆发后的情况有关。如果季风爆发早, 很少出现间歇, 而且风速较大, 则季风偏强; 若爆发早, 但经常出现间歇或者风速较小, 则季风强度就弱, 如 1956 年和 1996 年, 季风爆发早但强度弱。但是, 二者呈反相关的趋势与通常的看法是一致的。

计算气候趋势系数可了解要素在长期气候变化中升降的定量程度, 并由回归理论表示为一次线性方程。本文计算出爆发日期的气候趋势为 0.203 (通过了 0.05 的显著性检验), 这表示爆发时间有逐渐偏晚的趋势; 同样方法计算出强度指数的气候趋势为 -0.33 (通过了 0.01 的显著性检验), 这表明强度指数有逐渐减弱的趋势(见图3中粗虚线), 这也从另一方面也印证了爆发日期和强度指数呈反相关的特点, 即 50 年来南海夏季风爆发逐渐偏晚, 强度逐渐减弱。从 5 年滑动平均的结果看, $1960\sim 1972$ 年和 $1987\sim 1993$ 年的爆发日期明显偏晚。同样季风强度指数的变化也分为几个阶段, 1956 年以前明显偏强, 90 年代以后夏季风强度进入减弱期(见图3中粗实线)。但是南海夏季风活动的几次明显变化, 并不是都可以称为“突变”。为了检测具有突变意义的变化, 我们分别计算了爆发日期和强度指数前后 5 年平均值差值的 t 统计量检验分布, 结果表明在数次明显的年代际变化中, 爆发日期和强度指数都没有出现气候突变。

子波变换既可以反映一个时间序列变化的尺度, 又能反映变化的时间位置, 是研究气候变化的一个有力工具。图4和图5分别是南海夏季风爆发日期子波变换系数模的时间—频率图和分解图。由图4和图5看出, 比较强的振荡模落在 4 个频带内: 第1个是落在 2 年左右的频带上, $1956\sim 1964$ 年、 $1972\sim 1976$ 年以及 $1990\sim 1994$ 年3个时段很活跃; 第2个落在 $4\sim 7$ 年的频带上, $1956\sim 1968$ 年、 $1980\sim 1998$ 年较为活跃。这两个频带代表着年际变化, 与 $2\sim 7$ 年的 ENSO 模态的对应关系很好, 这反映了 ENSO 模态对南海夏季风活动的影响, 80 年代以来的几次厄尔尼诺事件(1983 、 1987 、 $1991\sim 1995$ 、 1998 年), 在南海夏季风爆发日期子波变换系数模的 $4\sim 7$ 年频带上十分清楚, 而 $1991\sim 1995$ 年厄尔尼诺事件的频繁出现, 也在其 2 年左右的频带上有所体现; 第3个振荡模落在 $10\sim 16$ 年的频带上, 前期振幅较小, 80 年代后逐渐增强; 第4个落在 32 年左右的频带上, 前期振幅较大, 后期逐渐减小。后两个频带代表着年代际变化, 而且有从低频向高频转化的趋势。强度指数子波变换的结果(图略)与爆发日期的结果类

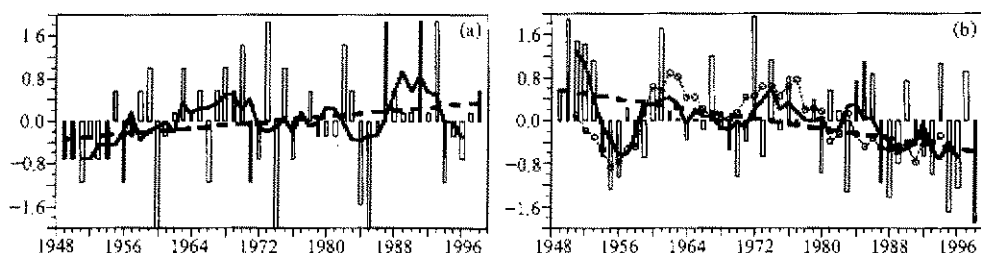


图3 1949~1998年南海夏季风爆发日期(a)和强度指数(b)的年际变化特征(直方线)、5年滑动平均(粗实线)以及线性趋势(粗虚线), (b)中的空心圆点线是东亚季风指数的5年滑动平均

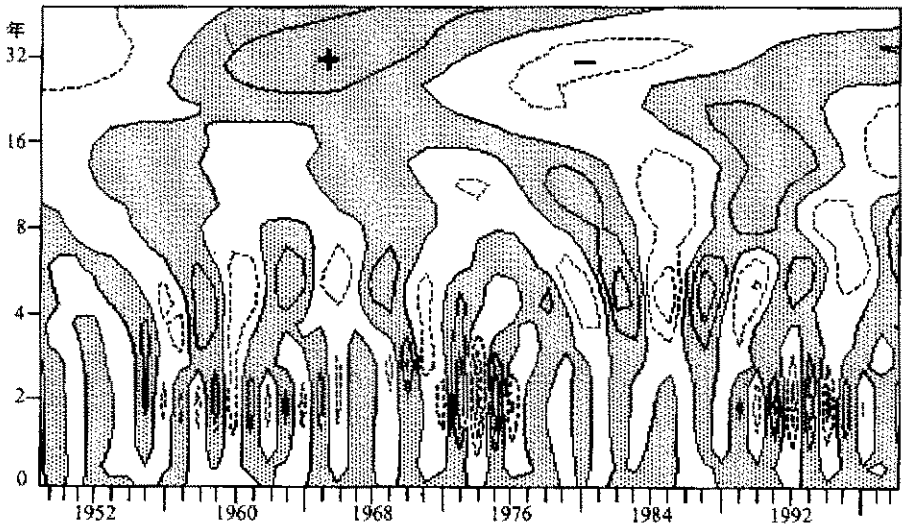


图 4 1949~1998 年南海夏季风爆发日期子波变换系数模的时间—频率图

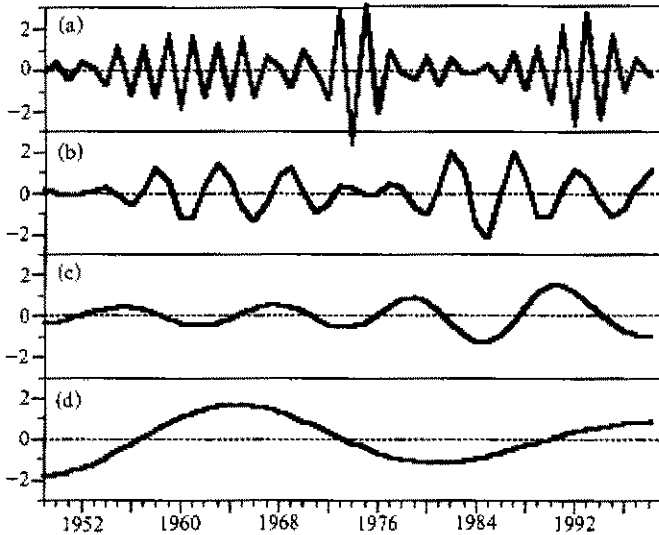


图 5 1949~1998 年南海夏季风爆发日期子波变换系数模的频率分解图
(a) 2 年; (b) 4~7 年; (c) 10~16 年; (d) 32 年

似，只是在年代际的频带上反位相，10~16 年频带上前期较强，60 年代后振幅减小；在 32 年左右频带上振幅没有明显的变化。对照图 3 我们发现，南海夏季风爆发日期（或强度指数）在不同阶段上的波动是各种尺度振荡叠加的结果，年代际尺度具有非常重要的作用。

关于年代际变化的可能原因，目前尚无确切的说法。从最近 50 年 Nino 3 指数的小波分析（图略）看出，它也存在非常显著的 10~16 年振荡。而 90 年代初的南海季风爆

发偏晚期, 则对应着 Nino 3 指数的 8~10 年周期。可见, 南海季风活动和东太平洋海温异常有密切的关系。至于南海季风活动的 32 年周期, 可能与中国东部(特别是长江下游地区)存在的旱涝 36 年左右的周期有一定联系^[11]。而后的可能机制是中太平洋的大气环流异常, 它源于赤道中太平洋海面温度的异常。有关这些机制, 还有待今后进一步探讨。

3.2 南海夏季风强度指数与东亚季风强度指数的关系

南海夏季风作为东亚季风的重要组成部分, 与东亚季风有密切的联系。关于东亚季风的强度指数有较多的研究, 一般认为季风现象的产生与海陆分布有关, 由于海陆热力性质不同, 海陆之间的气压梯度也具有明显的季节变化, 因此可以用海陆之间气压梯度大小来定义夏季风的强弱^[12,13]。黄刚^[14]认为东亚地区夏季(6~8 月)气候异常的变化是在特殊的环流异常背景下发生的, 与东亚—太平洋型(EAP)大气遥相关型有密切的联系, 依此定义了一个反映东亚夏季风环流异常的强度指数(简称 EAP 指数)。本文为了解南海夏季风和东亚夏季风之间的关系, 图 3b 给出了 EAP 指数 5 年滑动平均的结果(空心圆点线), 可以看出南海与东亚夏季风强度指数的变化趋势基本上是一致的, 二者的相关系数为 0.467, (通过了 0.01 的显著性检验)。这说明了南海夏季风作为东亚夏季风的一部分, 与东亚季风环流的异常是密切相关的。

4 南海夏季风与厄尔尼诺事件及海温异常

厄尔尼诺/南方涛动(ENSO)是近年来气候研究中最被关注的问题之一, ENSO 现象可导致热带乃至全球范围的大气环流异常, 与亚洲季风气候异常有密切联系。南海夏季风是亚洲季风最早爆发的地区。已有的研究^[8,10,15]表明, 南海夏季风与 ENSO 以及热带海洋表面温度异常有一定的关系。我们将利用较长序列的南海夏季风爆发日期和季风强度指数进一步研究南海夏季风活动与各海区海温异常的关系。选取赤道东太平洋(5°S~5°N, 90~150°W)、赤道中太平洋(5°S~5°N, 150°W~160°E)、南美沿岸(10°S~0°, 90~70°W)、西太平洋暖池(0~20°N, 130~160°E)、东印度洋(0~10°N, 80~100°E)以及南海深海区(8~16°N, 110~116°E)等区域, 分别用南海夏季风爆发日期和强度指数与各海区平均的海温距平做逐月的相关, 结果见表 4、5。序列长度均为 49 年(1950~1998 年), 显著水平为 0.01 和 0.05 的临界相关系数分别为 2.68 和 2.01, 表中★表示通过了显著水平为 0.05 的检验, ★★表示通过了显著水平为 0.01 的检验。

对比表 4 和表 5 发现, 总体上说, 南海夏季风爆发之前, 赤道中东太平洋与南海及临近海区海温异常对南海夏季风活动的影响是相同的, 即与爆发日期正相关, 与季风强度反相关。也就是说, 南海夏季风爆发之前各海区海温距平偏高, 则南海夏季风爆发时间偏晚, 强度偏弱; 反之, 若爆发之前各海区海温距平偏低, 则南海夏季风爆发时间偏早, 强度偏强。南海夏季风爆发之后, 季风活动对赤道中东太平洋与南海临近海区海温异常的影响则有所不同。南海夏季风强度与南海临近海区的海温异常仍然是反相关, 而与中东太平洋海温异常是正相关, 也就是说, 南海夏季风偏弱使得南海及临近海区的海温距平持续偏高, 而中东太平洋各海区的海温距平偏低; 反之, 南海夏季风偏强使得南

表 4 南海夏季风爆发日期与各海区海温距平的相关系数

月份	东太平洋	中太平洋	南美沿岸	西太平洋	东印度洋	南海海区
01	0.389**	0.434**	0.367**	0.096	0.394**	0.293**
02	0.354**	0.471**	0.347**	-0.071	0.456**	0.069
03	0.272**	0.432**	0.332**	0.155	0.335**	0.200
04	0.285**	0.378**	0.316**	0.114	0.347**	0.210*
05	0.291**	0.393**	0.272**	0.189	0.278**	0.252*
06	0.195	0.286**	0.207*	0.120	0.220*	0.245*
07	0.091	0.213*	0.150	0.095	0.261*	0.129
08	0.105	0.145	0.124	0.112	0.364**	0.179
09	0.101	0.129	0.089	0.066	0.495**	0.055
10	0.128	0.100	0.164	-0.029	0.338**	0.011
11	0.127	0.044	0.133	-0.082	0.301**	0.028
12	0.132	0.012	0.098	0.059	0.184	0.090

表 5 南海夏季风强度指数与各海区海温距平的相关系数

月份	东太平洋	中太平洋	南美沿岸	西太平洋	东印度洋	南海海区
01	-0.514**	-0.392**	-0.576**	-0.229*	-0.507**	-0.498**
02	-0.447**	-0.402**	-0.474**	-0.151	-0.531**	-0.248*
03	-0.382**	-0.376**	-0.471**	-0.398**	-0.579**	-0.511**
04	-0.191	-0.165	-0.374**	-0.434**	-0.509**	-0.528**
05	-0.112	-0.178	-0.226*	-0.483**	-0.450**	-0.482**
06	0.100	-0.007	0.158	-0.313**	-0.324**	-0.463**
07	0.207*	0.107	0.017	-0.369**	-0.318**	-0.560**
08	0.251*	0.173	0.087	-0.389**	-0.400**	-0.571**
09	0.232*	0.156	0.082	-0.506**	-0.601**	-0.442**
10	0.296**	0.280**	0.152	-0.479**	-0.518**	-0.487**
11	0.314**	0.317**	0.160	-0.384**	-0.443**	-0.428**
12	0.322**	0.242*	0.240*	-0.361**	-0.153	-0.066

海及临近海区的海温距平持续偏低,而中东太平洋各海区的海温距平偏高。

从以上现象可以看出,南海及临近海区海温异常在与南海夏季风活动的相互作用中,南海夏季风爆发之前,海温异常似乎处于主动地位;而在南海夏季风爆发之后,季风活动则占有主动地位。其可能的原因是,南海夏季风爆发之前,位于 105°E 的越赤道气流通道上的热带海洋热力状况的变异对南海夏季风爆发有直接影响,当该海域海温距平偏高时,南亚大陆与其南侧热带海洋之间经向热力差异减少,使得南海夏季风偏弱,爆发时间推迟;当该海域海温距平偏低时,南亚大陆与其南侧热带海洋之间经向热力差异加大,南海夏季风偏强,爆发时间偏早。而南海夏季风爆发之后,若季风偏强,因云量的增多而削弱太阳短波辐射对海面的加热或由于风速的加大而导致海面蒸发加大和海岸上升气流加强从而导致海温下降;季风偏弱时相反。这就使南海、东印度洋、西太平洋这些受季风影响较大的海区与南海夏季风强度(爆发时间)持续反(正)相关,该海区海温距平偏低,导致当年南海夏季风偏强,爆发偏早;而季风强,爆发早,又使得海温持续降低,这与已有的研究结果基本一致^[8,15]。而赤道中东太平洋海温异常与南海季风的的关系则显示了 ENSO 现象与亚洲季风气候异常的密切联系,南海夏季风爆发

之前, 赤道中东太平洋海温距平偏低, 使南海夏季风偏强; 而南海夏季风偏强又使得赤道中东太平洋海温距平偏高, 不像受季风直接影响的南海及邻近海区那样海温距平持续偏低, 说明赤道中东太平洋海温异常与南海夏季风的关系是一种遥相关。上述分析表明, 不同海区的海温异常与南海季风活动的关系比较复杂, 其物理机制还有待于进一步的研究。

考虑相关系数的显著性检验, 实际上各海区海温异常与南海夏季风的相互作用是有差别的。就南海季风爆发日期而言, 赤道中东太平洋和南美沿岸海温异常对南海夏季风爆发有显著的作用, 其中以中太平洋最为显著; 南海的临近海区中, 东印度洋的显著性最好, 南海海区只有 1 月和 4~6 月通过了信度检验, 西太平洋都没有通过信度检验。值得注意的是, 南海季风爆发之后对各海区海温异常的影响只有东印度洋通过了信度检验。就南海夏季风强度而言, 南海夏季风爆发前, 赤道中太平洋、赤道东太平洋、南海及东印度洋 1~3 月的海温异常与南海夏季风强度都有显著的反相关; 南海夏季风爆发之后, 东太平洋海温异常与南海夏季风强度正相关, 通过了信度检验; 南海及东印度洋也通过了信度检验。另外, 南海季风爆发之前, 赤道东太平洋和西太平洋暖池与南海季风强度的作用是相同的, 都是反相关, 只是通过信度检验的月份赤道东太平洋为 1~3 月, 西太平洋暖池为 3~5 月, 二者有一个位相差; 南海季风爆发之后, 赤道东太平洋和西太平洋暖池作用是相反的, 赤道东太平洋是正相关, 西太平洋暖池是反相关。综合以上分析可以认为, 东印度洋和东太平洋海温异常与南海夏季风活动的相互作用最为显著。

5 结论

(1) 通过分析南海区域低层风场与对流活动的关系, 看出仅用低层流场资料就能够确定长序列的南海季风爆发日期和强度指数。本文定义南海中南部 ($105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$, $5^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{N}$) 纬向风平均值大于零且维持 2 候 (含 2 候) 以上时为南海夏季风爆发; 南海夏季风强度指数定义为, 从季风爆发开始到 8 月底结束, 当纬向风速大于 0 时, 累加南海区域上各网格点的全风速值, 再经标准化处理后的数值。

(2) 南海季风爆发日期和强度指数呈显著的反相关: 爆发早, 夏季风偏强; 爆发晚, 夏季风偏弱。50 年来的气候趋势是, 爆发时间逐渐偏晚, 强度指数逐渐减弱。两者都存在着明显的年际和年代际变化, 但都不是气候突变。南海夏季风强度指数与东亚夏季风强度指数呈显著的正相关, 说明南海季风与东亚季风的关系是密切的。

(3) 从子波分析的结果看, 南海季风爆发日期和强度指数比较强的振荡模落在 4 个频段内, 分别是 2 年、4~7 年、10~16 年以及 32 年。季风强度 (或爆发日期) 在不同阶段上的波动是各种尺度振荡叠加的结果, 而年代际尺度具有非常重要的作用。

(4) 东印度洋和东太平洋海温异常与南海夏季风活动的相互作用最为显著。东印度洋海温异常在南海夏季风爆发前后, 均与南海夏季风强度指数呈显著的反相关。东太平洋海温异常在南海夏季风爆发之前, 与强度指数反相关, 而爆发之后, 与强度指数正相关, 这是南海夏季风活动与 ENSO 事件相关的具体表现。

参 考 文 献

- 1 Tao Shiyang and Chen Longxun, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Oxford University Press, 1987, 60~92.
- 2 金祖辉, TBB 资料揭示的南海夏季风爆发的气候特征, 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用, 北京: 气象出版社, 1999, 57~65.
- 3 罗会邦, 南海夏季风爆发及相关雨带演变特征, 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用, 北京: 气象出版社, 1999, 25~29.
- 4 阎俊岳, 南海西南季风爆发的气候特征, *气象学报*, 1997, 55(2), 176~184.
- 5 李崇银, 南海夏季风活动及其影响, *大气科学*, 1999, 23(3), 257~265.
- 6 卢孟明, 南海夏季风爆发早晚之年际变化机制探讨, 第四届东亚及西太平洋气象与气候研讨会论文摘要汇编, 1999, 111~114.
- 7 谢安等, 南海夏季风爆发的气候特征, 亚洲季风研究的新进展, 北京: 气象出版社 1996, 132~142.
- 8 梁建茵等, 南海西南季风强度变化特征及其与海温的耦合关系分析, 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用, 北京: 气象出版社, 1999, 133~139.
- 9 陈隆勋等, 南海及其邻近地区热带夏季风爆发的特征及其机制的初步研究, *气象学报*, 1999, 57(1), 16~29.
- 10 谢安等, 上游赤道西风在南海夏季风爆发中的重要作用, *应用气象学报*, 1998, 9(2), 129~140.
- 11 王绍武, 赵宗慈, 我国旱涝 36 年周期及其产生机制, *气象学报*, 1979, 37(21), 64~73.
- 12 郭其蕴, 东亚夏季风强度指数及其变化的分析, *地理学报*, 1983, 38(5), 207~217.
- 13 施能等, 近 40 年东亚夏季风及我国夏季大尺度天气气候异常, *大气科学*, 1996, 20(5), 575~583.
- 14 黄刚, 东亚夏季风环流异常指数与夏季气候关系的研究, *应用气象学报*, 1999, 10(增刊), 61~69.
- 15 赵永平等, 南海—热带印度洋海温年际变异与南海季风关系的初步分析, 南海季风爆发和演变及其与海洋的相互作用, 北京: 气象出版社, 1999, 117~120.

Interannual and Interdecadal Variations of Summer Monsoon Activities over South China Sea

Dai Nianjun, Xie An and Zhang Yong

(Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871)

Abstract The relationships between wind field at low level and convection activities over the South China Sea (SCS) are investigated based on pentad wind and OLR data from NCEP. The onset time and intensity of SCS summer monsoon are determined by area-averaged zonal wind component over central and south SCS. So we possess long-term time sequence of SCS summer monsoon activities for the period of 1949~1998. Interannual and interdecadal variations are examined by using this time series. The results show that onset time of SCS summer monsoon is significantly negative related with its intensity. Climatic tendency for 50-year manifests that the onset date of SCS summer monsoon gradually gets delayed and its intensity gets weak. Both of them displays considerable interannual and interdecadal variability, they are the results that many waves interact on a wide range of timescales, among them do interdecadal timescale waves play important roles. Whether before SCS summer monsoon bursts or not, the correlation between surface sea temperature anomalies (SSTA) over the East Indian Ocean and intensity index of SCS summer monsoon are remarkably negative. However, the correlation of SSTA over the East Pacific with SCS summer monsoon intensity index is negative before onset, but after onset their correlation become positive. These reflect that SCS summer monsoon activities have close relationships with ENSO events.

Key words: South China Sea summer monsoon; onset date; intensity index; interdecadal feature