

南海夏季风爆发的环流特征及指标研究^{*}

张秀芝 李江龙 闫俊岳 丁一汇

(国家气候中心, 北京 100081)

P425 A

摘 要 使用美国 NCEP/NCAR 高度场和风场资料及外逸长波辐射 (OLR) 资料, 分析了 4~7 月南亚和东亚上空环流场, 给出了南海夏季风爆发的定义及 1953~1999 年季风爆发的时间序列, 指出季风爆发存在 3 种类型的环流场, 发现东印度洋赤道两侧涡旋对的出现对季风爆发有很好的指示意义。综合季风爆发过程中热力学和动力学要素的特征, 建立了适合南海夏季风爆发的指数计算经验公式。

关键词: 南海夏季风; 环流场; 涡旋对; 爆发指标

1 引言

近年来关于南海夏季风爆发 (Summer Monsoon Onset, SMO) 的研究取得了很大的进展, 专家们从不同的角度对南海 SMO 进行了定义: 如陶诗言和陈隆勋^[1]用季风降水的多寡定义 SMO, 谢安等^[2]及梁建茵等^[3]则综合外逸长波辐射 (OLR) 值和 850 hPa 风确定 SMO 指标, 李崇银等^[4]采用对流层高低层散度差为 SMO 指标, 闫俊岳^[5]根据南海周边 9 个探空站测风及降水资料确定 SMO 时间。由于各自使用的资料不同, 确定的 SMO 时间存在一定差异, 原因是多方面的, 如使用降水资料定义 SMO 除去非季风天气系统降水很麻烦, 高低层散度差和高度差与低空西南风有时不匹配, 使用单站资料不能全面反映环流的转换状况等。本文使用美国 NCEP/NCAR 1953~1999 年 4~7 月 850 hPa 和 200 hPa 候平均高度场和风场资料, 1975~1999 年 4~7 月候平均 OLR 资料, 分析 SMO 的环流场, 在此基础上确定各种判别指标, 建立 SMO 指数计算经验方程, 为进一步研究季风提供准确的气候背景, 以期对季风监测和预报业务化进程有所推进。

2 南海夏季风爆发的环流特征

2.1 气候平均场

南海西南季风主要活动在对流层下层, 500 hPa 以上盛行风向已完全改变, 本文以 850 hPa 和 200 hPa 作为环流场分析的代表层。

850 hPa 风场和高度场的多年平均显示, 4 月第 6 候[简称 4(6), 下同]大气环流开始向夏季型调整, 印度洋赤道西风出现, 副热带高压控制中南半岛东部和南海 (图 1a)。

2000-09-10 收到, 2002-07-15 收到修改稿

^{*} 国家科技部攀登项目 A“南海季风试验研究”和国家气候中心开放课题 99-6YW-01 资助

与之对应的 200 hPa 南亚高压中心跳至中南半岛南部, 南海上空转为偏北风 (图 1b)。相应的深对流 ($OLR \leq 230 \text{ W m}^{-2}$) 范围突然在赤道东印度洋扩大, 并北伸到泰国南部 (图 1e)。5 月第 1 候阿拉伯海高压西缩, 其北侧西风气流从波斯湾向东沿印度西部近海南下汇入赤道西风, 索马里越赤道气流出现西分量, 赤道西风开始加强。第 3 候阿拉伯海高压西移至阿拉伯半岛, 马斯科林高压西伸至非洲, 索马里越赤道气流和阿拉伯海的偏北气流同时加强, 赤道西风进一步加强, 副高明显东撤, 200 hPa 南亚高压中心约达 17°N , 南海上空东北风加强。第 4 候 850 hPa 马斯科林高压加强北抬, 索马里急流明显加强, 副高撤至西太平洋, 南海出现西南风 (图 1c), 从孟加拉湾至南海 $OLR \leq 230 \text{ W m}^{-2}$ (图 1f), 季风爆发。第 6 候 200 hPa 南亚高压中心到达 20°N 左右, 低层南海西南风进一步加强。

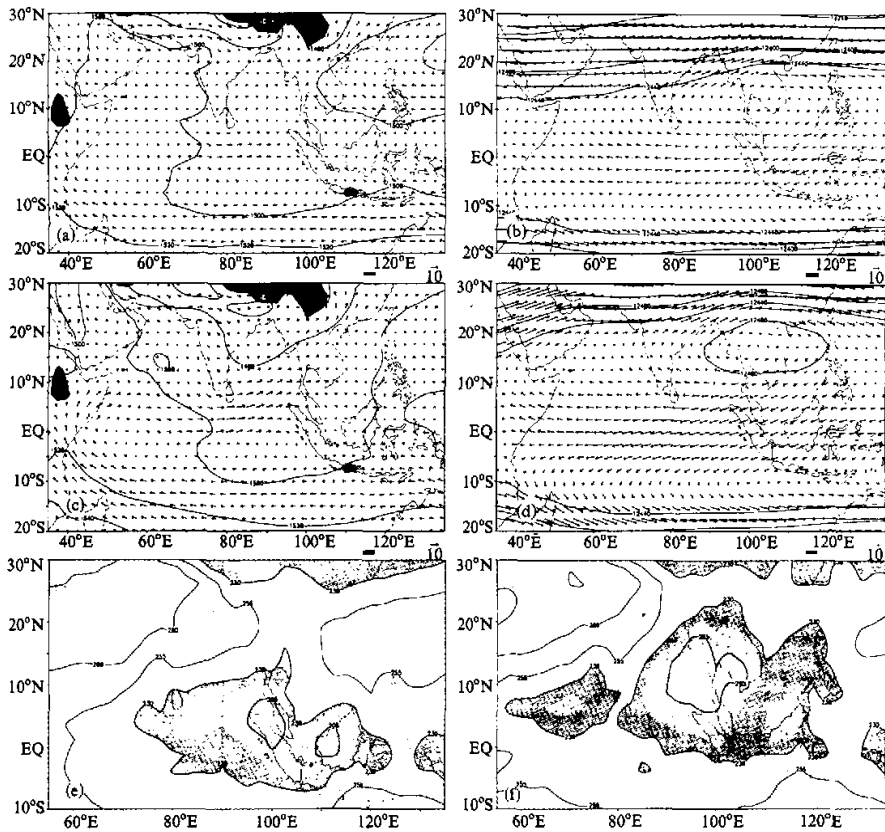


图 1 1958~1999 年候平均环流形式及 OLR 分布图

(a) 4 月第 6 候 850 hPa; (b) 4 月第 6 候 200 hPa; (c) 5 月第 4 候 850 hPa;
(d) 5 月第 4 候 200 hPa; (e) 4 月第 6 候 OLR; (f) 5 月第 4 候 OLR

根据上述分析, 南海 SMO 可定义为: 1) 850 hPa 副热带高压撤出南海, 南海上空受西到西南风控制, 同时必须满足索马里或 (和) $70^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流存在, 标志着夏季环流已基本建立; 2) 200 hPa 高压环流控制中南半岛, 中心位置到达 17°N 以北, 南海处于东北气流控制之下; 3) 南海上空大范围深对流出现。

依据该定义, 对 850 hPa、200 hPa 的风场、气压场和 OLR 场逐年逐候进行分析, 初步建立 SMO 时间序列 (见表 1 第 2 列)。同时发现 SMO 存在 3 种不同的环流形式: 全面爆发、北部首先爆发和南部首先爆发。

2.2 全面爆发

副热带高压完全撤出南海, SW 风在南海全面出现。47 年中 38 次全面爆发 (包括第 2 次爆发), 其中 54% 发生在 5 月 3~5 候, 27% 为 5 月第 6 候至 6 月第 2 候, 少数发生于 5 月第 2 候以前。选出其中环流形式相似的 15 年, 以爆发候为中心候 (下同) 进行合成。其环流特征是: -4 候南海副热带高压西伸到中南半岛, $70^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 赤道西风开始加强 (图 2a); -2 候索马里越赤道气流突然增强, 东印度洋赤道两侧涡旋对发展 (不论哪种类型爆发前都会出现), 南印度洋涡旋西侧越赤道气流的加入使得赤道西风更加强大 (图 2b); -1 候副热带高压继续东撤, 孟加拉湾季风槽建立, 阿拉伯海偏北气流于槽后南下与索马里急流相汇合使得槽前西南风大大增强 (图 2c); 0 候 (爆发) 副高完全撤出南海, 孟加拉湾西南风突然增强, SW 风在南海全面爆发 (图 2d)。

分析中发现, 有热带气旋由西太平洋移入南海或菲律宾附近, 或热带气旋在南海北部生成, 同时索马里或 $70^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流出现, 常导致西南风在南海全面爆发 (图略)。

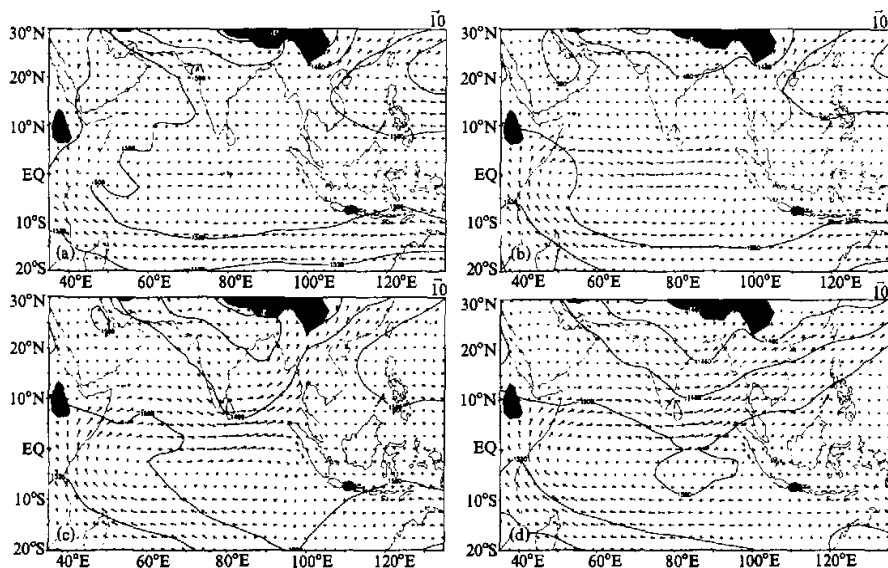


图 2 南海夏季风全面爆发 850 hPa 环流合成图

(a) -4 候; (b) -2 候; (c) -1 候; (d) 季风爆发候

表 1 各种指标确定的爆发时间(候)

年份	图分析	850 hPa	200 hPa	OLR	<i>I</i>	综合结果	涡旋对
1953	5(5)	5(5)	5(3)			* 5(5)	4(6)
1954	5(2), 6(1)	5(2), 6(1)	4(5)			§ 5(2), * 6(1)	5(5)
1955	5(2), 5(5)	5(2), 5(5)	5(3)			* 5(5)	5(2)
1956	5(1), 5(4)	5(1), 5(4)	5(2)			§ 5(2), * 5(4)	4(5), 5(3)
1957	5(3)	5(4)	5(5)			± 5(4)	5(1)
1958	5(2), 5(5)	5(2), 5(5)	5(3)			* 5(5)	5(1), 5(4)
1959	5(6)	5(6)	5(5)			* 5(6)	
1960	5(4)	5(4)	5(3)			§ 5(4)	5(4)
1961	5(3)	5(4)	5(2)			* 5(4)	5(2)
1962	5(4)	5(4)	5(3)			* 5(4)	5(3)
1963	5(6)	5(6)	5(6)			* 5(6)	5(5)
1964	5(4)	5(4)	5(3)			* 5(4)	5(1)
1965	5(2), 5(5)	5(2), 5(5)	5(3)			* 5(5)	5(1), 5(5)
1966	5(1)	5(1)	5(1)			* 5(1)	4(6)
1967	5(5)	5(5)	5(4)			* 5(5)	5(2)
1968	5(5)	5(1), 5(5)	5(5)			* 5(6)	5(1)
1969	5(5)	5(5)	5(3)			± 5(5)	5(3)
1970	5(3), 6(2)	5(3), 6(2)	5(1)			* 5(3), * 6(2)	5(2), 6(2)
1971	5(3), 6(1)	5(3), 6(1)	5(2)			§ 5(3), * 6(1)	4(6), 5(6)
1972	5(2)	5(2)	5(4)			± 5(2)	5(1)
1973	5(2), 6(2)	5(2), 6(2)	5(1)			* 6(2)	4(6), 5(3)
1974	5(5)	5(1), 5(6)	5(6)			* 5(5)	5(5)
1975	5(3)	5(4)	5(2)	5(2), 5(5)	5(6)	* 5(6)	5(1)
1976	5(3)	5(4)	5(1)	5(1), 5(5)	5(4)	* 5(4)	4(6)
1977	5(4)	5(4)	5(3)	6(1)	5(4)	* 5(4)	5(2)
1978	5(5)	5(4)	5(4)			* 5(5)	5(1)
1979	5(3)	5(3)	5(3)	5(3)	5(3)	* 5(3)	5(1)
1980	5(4)	5(4)	5(4)	5(4)	5(4)	* 5(4)	
1981	5(3), 6(1)	5(3), 5(6)	5(4)	5(2)	5(3), 6(1)	± 5(3), * 6(1)	5(3), 5(5)
1982	5(6)	5(1), 5(6)	5(2)	5(6)	6(1)	* 6(1)	4(6), 5(5)
1983	5(5)	5(3), 5(5)	5(5)	5(5)	5(5)	± 5(5)	5(3)
1984	4(6), 5(5)	5(1), 5(6)	4(6), 5(4)	4(6), 5(4)	4(6), 5(6)	± 4(6), * 5(6)	4(5), 5(2)
1985	4(5), 5(6)	5(1), 5(6)	5(5)	4(4), 5(3)	5(6)	* 5(6)	4(4), 5(4)
1986	5(3)	5(3)	5(3)	5(2)	5(3)	* 5(3)	5(1)
1987	6(2)	6(2)	5(6)	5(6)	6(2)	* 6(2)	6(1)
1988	5(5)	5(5)	5(4)	4(6), 5(3)	5(5)	* 5(5)	5(2)
1989	5(4)	5(5)	5(3)	5(3)	5(5)	* 5(4)	5(2)
1990	5(4)	5(4)	5(4)	5(3)	5(4)	§ 5(4)	5(2)
1991	6(2)	6(2)	4(6), 5(5)	5(5)	6(2)	* 6(2)	5(6)
1992	5(4)	5(4)	6(1)	6(1)	5(4)	± 5(4)	5(2)
1993	5(6)	5(6)	5(5)	5(5)	5(6)	± 5(6)	5(4)
1994	5(1)	5(1)	5(1)	5(1)	5(1)	* 5(1)	4(6)
1995	5(3)	5(3)	5(4)	5(2)	5(3)	* 5(3)	5(1)
1996	5(2)	5(2)	5(1)	5(3)	5(2)	* 5(2)	4(6)
1997	5(4)	5(4)	5(4)	5(4)	5(4)	* 5(4)	5(2)
1998	5(4)	5(4)	5(5)	5(4)	5(4)	± 5(4)	5(3)
1999	4(5), 5(5)	4(5), 5(5)	4(4), 5(5)	4(5), 5(2)	4(5), 5(5)	§ 4(5), * 5(5)	4(2)

注: 综合结果列中, * 为全面爆发, § 为南部首先爆发, ± 为北部首先爆发

200 hPa-3 和-2 候中南半岛上空高压环流已形成, 中心位于 12°N 左右, 南海中南部为东北风所控制。-1 候高压加强北上, 0 候高压中心抵达 19°N 左右, 南海至赤道东印度洋为强劲的东北风 (图 3a)。

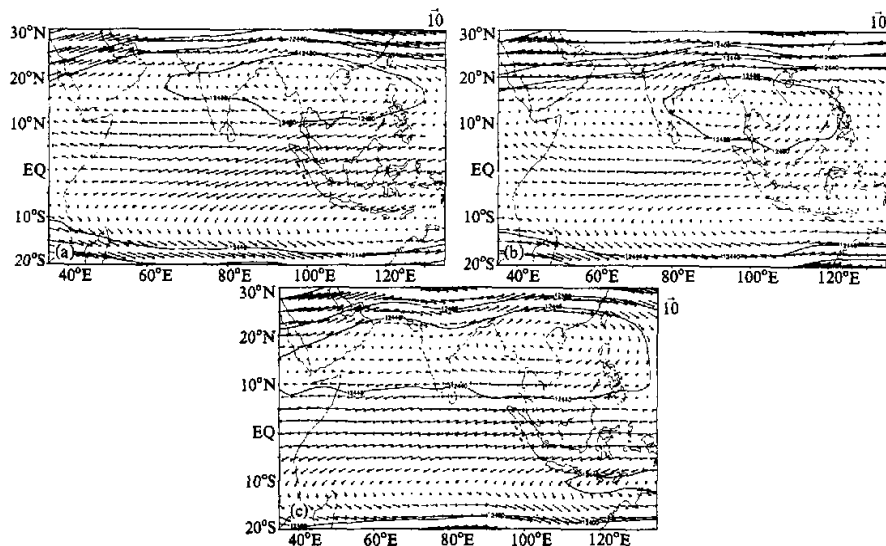


图3 南海夏季风爆发 200 hPa 环流合成图
(a) 全面爆发; (b) 北部首先爆发; (c) 南部首先爆发

2.3 北部首先爆发

副高控制南海中南部, 西南风首先在南海北部出现, 并维持 1~2 候, 然后西南风在南海全面加强。该类共出现 9 次, 以 5 月 2~3 候居多, 最早为 4 月第 6 候, 早于全面爆发。图 4a 和 4b 为 850 hPa 环流合成图, 与全面爆发相比存在 3 大差别: 1) 爆发候副高仍然控制南海中部以南区域; 2) 索马里越赤道气流较弱, $70^{\circ}\sim 90^{\circ}\text{E}$ 附近的越赤道气流与阿拉伯海偏北气流起主要作用; 3) 由于爆发较早, 环流场仍处于调整期, 有时季风易中断, 一般经过 1~2 候的调整后再度加强。200 hPa 层-2 候高压环流在中南半岛形成, 中心位置达 13°N 左右, 南海中南部为较强的东北风, 爆发候高压中心跳至 16°N , 南海东北风加强 (图 3b)。

2.4 南部首先爆发

副高控制南海东北部, 西南风首先在南海南部出现。该类共 6 例, 5 月第 1~2 候较多, 4 月 5、6 候各出现过 1 次, 是 3 种类型中最早的。季风爆发前一候索马里越赤道气流和孟加拉湾西南风加强, 副高控制南海北部, 南部出现弱西风 (图 4c); 爆发候副高仍控制南海东北部, 越过中南半岛的西南气流在南海西北部受阻, 并形成气流辐合, 南海南部西风加强, 之后副高东撤, 西南风逐渐在南海全面加强 (图 4d)。

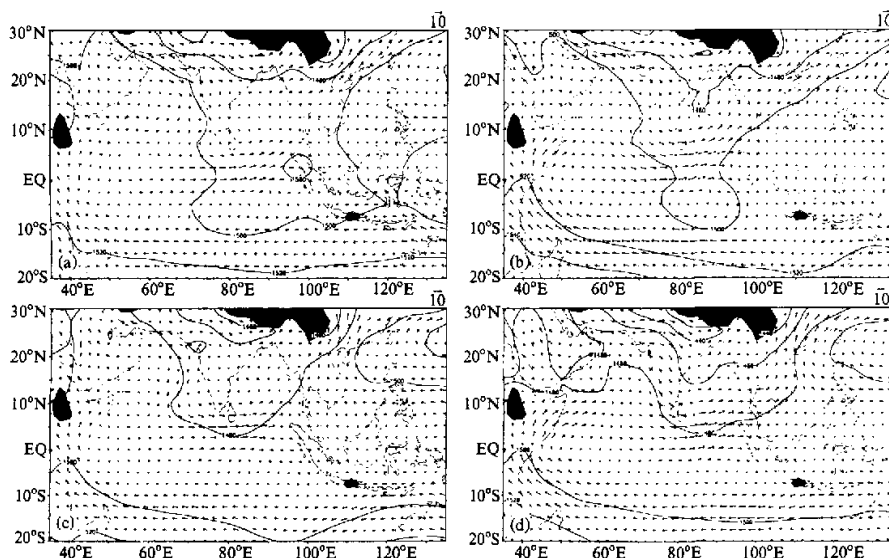


图4 北部和南部首先爆发环流合成图

(a) 北部首先爆发-2候; (b) 北部首先爆发候; (c) 南部首先爆发-1候; (d) 南部首先爆发候

200 hPa 爆发候高压中心突然在中南半岛形成, 南海上空形成较强的东北风 (图3c)。3 种类型比较, 全面爆发南海南部至赤道东印度洋东北风特别强, 而北部和南部爆发赤道东印度洋为强偏东风。

3 季风爆发的先兆信号

环流场分析中发现, 季风爆发前在东印度洋赤道两侧会同时生成一对气旋环流, 这里称之为涡旋对。图5为6个典型涡旋对从生成到消亡的合成图, 开始70~95°E 赤道上空西风出现, 第2候索马里越赤道气流出现东分量, 同时阿拉伯海偏北气流加强, 赤道西风进一步加强, 两侧气旋环流加强。第4候索马里越赤道气流进一步加强, 涡旋对达到最强, 第5候南海夏季风全面爆发, 涡旋对消失。

除了图5典型分布形式外, 涡旋对还有几种不同的分布形式。图6a 涡旋对的位置偏西, 图6b 则为孟加拉湾涡旋强而南半球涡旋弱, 图6c 南半球涡旋强而孟加拉湾为一低槽, 这几种形式往往下一候南海夏季风出现全面爆发; 有时孟加拉湾为一深槽南半球只有弱的涡旋环流 (图6d), 其下一候多为北部爆发; 有时两个涡旋中心不在同一经度上, 而是东北-西南或西北-东南。

无论涡旋对为何种形式, 但其发展过程及对SMO的作用是一致的。即赤道西风加强引起由赤道向两侧的风速切变, 并导致赤道两侧正涡度出现, 进而产生上升运动; 上升运动的出现吸引索马里越赤道气流出现向东的分量和阿拉伯海偏北气流加强, 并进一

步促使赤道西风加强, 两侧气旋环流发展, 上升运动加强; 最终索马里越赤道气流加强并北推到 10°N 左右, 涡旋对达到强盛, 与此同时副高撤出南海, 赤道西风迅速进入南

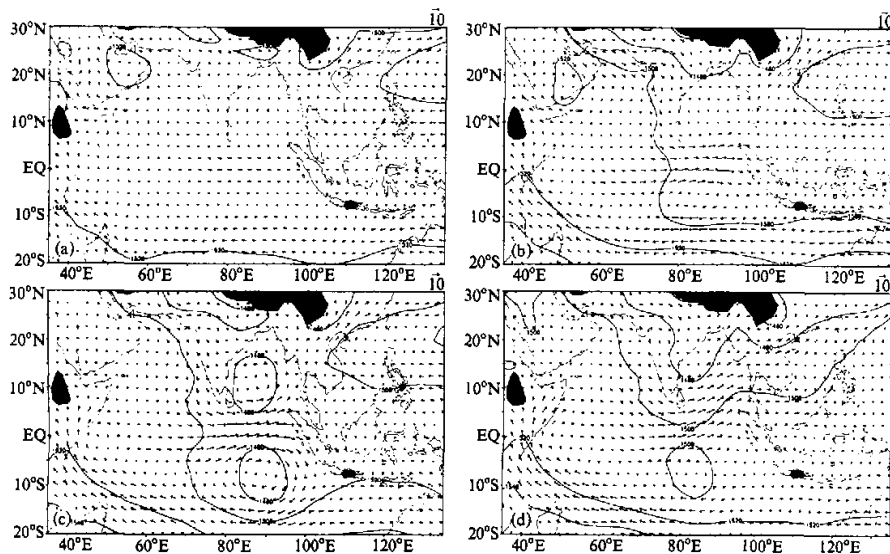


图 5 典型涡旋对生消过程合成图
(a) -3 候; (b) -2 候; (c) 涡旋对最强候; (d) +1 候

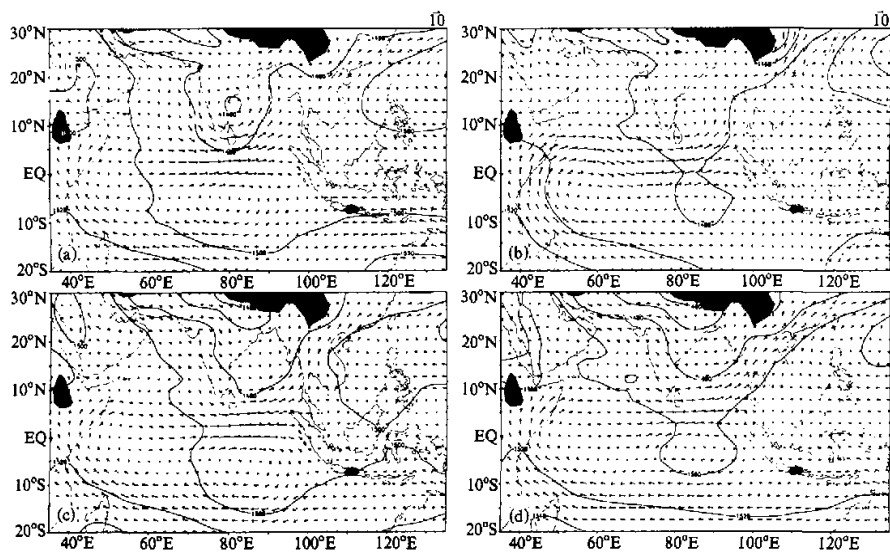


图 6 不同形式的涡旋对合成图

海、季风全面爆发。

统计表明, 涡旋对候平均涡度合计值 ≥ 2.0 与季风爆发同一候出现的约占 11%, 提前 1、2、3 候的分别为 32%、30% 和 19% (见表 1 第 8 列)。它的出现对于季风爆发具有重要的指示意义。

4 南海夏季风爆发的判据指标

以上分析可见, 南海上空风场的转换与加强是季风是否爆发的关键, 深对流发展则反映大气中水汽和对流不稳定, 是季风爆发的重要特征。然而这仅是一些定性的概念模型, 确定时往往因人而异。本文试图将能够充分表征低空南海西南风的建立、赤道西风的强度、越赤道气流的建立、高层南亚高压的中心位置以及对流发展强弱等因素进行数值化处理, 建立一种判据指标, 将人工复杂定性的分析变为简单的计算机处理, 使之简化和定量。

4.1 选择关键区域确定临界指标

在 850 hPa 层上选择了 7 个区域 (见图 7) 计算其平均风向和风速, 分别检测整个南海、南海南部、中部和北部的西南风, 赤道西风、索马里和 $70^{\circ}\sim 95^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流。200 hPa 层则选择中南半岛和整个南海, 分别计算其平均位势高度、风向和风速, 揭示南亚高压和南海东北风的建立。OLR 场选择了整个南海和南海北部、中部、南部, 计算其区域平均 OLR 值, 检测这些区域的深对流发展状况。

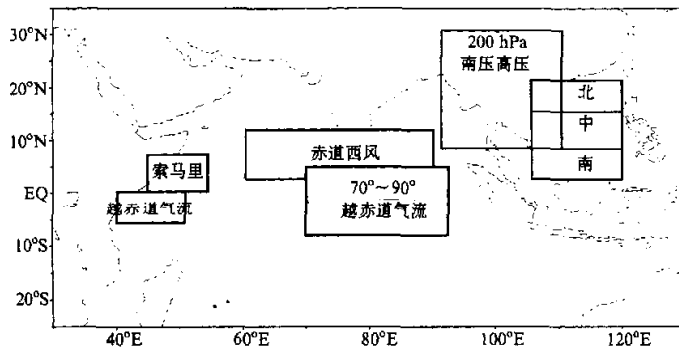


图 7 南海夏季风爆发指标计算区域图

指标确定过程中, 紧紧抓住南海上空 850 hPa 西南风建立、200 hPa 东北风建立和深对流出现等关键问题, 首先结合逐年环流图的分析结果分别确定其临界值。确定 850 hPa 整个南海风向达到 $200\sim 270^{\circ}$ 、风速 $\geq 3.0\text{ m s}^{-1}$ 、平均位势高度 < 1500 位势米作为 SMO 的临界指标值, 它标志着副热带高压撤出南海, 较强的西南风建立。同时要求索马里越赤道气流或 $70\sim 90^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流存在, 赤道西风建立, 以证实南海西南风建立确为大气环流已基本调整为夏季型。根据上述临界指标确定的 1953~1999 年 SMO 的

时间(见表 1 第 3 列)与图分析结果一致率达 86%, 差一候的占 13%, 能很好地表征 SMO。

200 hPa 中南半岛平均位势高度 ≥ 12440 位势米, 高压中心到达 17°N 以北, 南海上空风向转为 $10\sim 90^{\circ}$, 风速 $\geq 4.5 \text{ m s}^{-1}$, 表明南亚高压在中南半岛稳固建立, 南海强东北风出现, 高层大气环流已基本完成了由夏至冬的调整。达到这一临界指标的时间(见表 1 第 4 列)与 850 hPa 图分析时间同步的占 31%, 提前 1~2 候的达 48%, 落后 1~2 候约为 19%。可见在确定 SMO 过程中, 200 hPa 指标只能作为辅助条件。

南海 OLR 平均值 $\leq 230 \text{ W m}^{-2}$ 作为与季风爆发相伴随深对流降水出现的指标, 为使季风对流降水与北方天气系统南下引起对流降水相区别, 附加一条条件, 即在南海 OLR 平均值 $\leq 230 \text{ W m}^{-2}$ 出现之前或同时孟加拉湾 OLR 平均值 $\leq 230 \text{ W m}^{-2}$ 为判据, 达到这一指标的时间见表 1 第 5 列。与 850 hPa 图分析结果比较发现, 时间同步的 10 次, 早 1 候 9 次, 早 2~3 候 6 次, 晚 1~2 候的 2 次。对于早 2~3 候的情况, 可能为非季风天气系统所为, 因此在确定季风爆发过程中 OLR 指标也只能作为次要条件。

4.2 指标集成

由表 1 发现, 各指标确定的时间存在差异, 因此需进行指标集成。根据上述各临界指标的分析, 决定以南海上空 850 hPa 转西南风作为季风爆发的先决条件, 其平均风速和 OLR 值作为特征量, 200 hPa 南海风向转为 $10\sim 90^{\circ}$ 和 850 hPa 索马里越赤道气流或 $70\sim 90^{\circ}\text{E}$ 越赤道气流存在作为控制条件。由于风速和 OLR 的度量单位不同, 首先需进行无量纲化处理。

$$X_i = (x_i - \bar{x}_i / a) / \sigma_x, \quad i = 1, 2$$

式中, x_1 为 850 hPa 南海候平均风向 $200\sim 270^{\circ}$ 的平均风速, x_2 南海 OLR (240 W m^{-2} -候平均 OLR 值) 序列。参数 a 为 850 hPa 风速、OLR 序列的调节系数, 分别取 1.9、3.8, 其作用使每个序列中凡达到指标的特征值 > 0 , 便于集成计算, σ_x 为风速和 OLR 序列的标准差。

集成方程确定时充分考虑各特征量对季风爆发的重要性, 给予不同的权重系数。850 hPa 风对季风爆发的重要性及表征能力最强, 权重系数为 1。OLR 虽能综合反映季风爆发时南海的对流强度、热源和热汇及降水状况, 但考虑到难以区别非季风天气系统的影响, 权重系数取为 0.65。集成方程为

$$I = \bar{v}_{850} + 0.65R,$$

式中, $\bar{v}_{850}$ 和 R 分别为经无量纲化处理的 850 hPa 平均风速和 OLR。综合分析后确定, $I \geq 0$ 作为 SMO 的指标。确定爆发时间中约定: 连续两候达到指标, 或一候达到第二候弱但第三候又满足指标为季风爆发, 北部首先爆发需北部和中部同时达到指标, 南部首先爆发需中部和南部同时达到指标。确定的 SMO 时间与图分析结果相比, 80% 一致, 20% 晚 1~2 候, 多为南海候平均风速太小所致, 体现了本方法的客观性。一些特殊情况 I 无法表达, 当季风爆发南海有热带气旋出现时, 由于气旋中心两侧风向相反, 区域平均后往往风向风速均达不到指标, 如 1989 年 5 月第 4 候, 索马里越赤道气流、200 hPa 和 OLR 均符合季风爆发的标准, 巧遇 8903 号台风由西太平洋移入南海北部,

850 hPa 候平均风向 293° , 风速 2.3 m s^{-1} , 不够季风爆发的标准, 这时以图分析结果为准。

4.3 结果比较

收集了李崇银等^[4] (1980~1991 年)、谢安等^[2] (1979~1997 年)、金祖辉^[6] (1980~1991 年) 和闫俊岳^[5] (1968~1997 年) 确定的 SMO 时间 (表略), 对 1979~1997 年进行同期比较发现, 多数年份爆发时间基本一致。1983、1993、1995 年差别较大, 其中前 2 年为北部首先爆发, 并且 1983、1993 年索马里越赤道气流较强, 无论环流场和 OLR 场均符合 SMO 的标准; 1995 年为全面爆发, 索马里越赤道气流较弱, 但环流场和 OLR 场符合 SMO 的标准。

5 南海夏季风爆发的年际和年代际变化特征

由表 1 可以看到, SMO 的年际变化很大, 最早为 4 月第 5 候, 最晚为 6 月第 2 候。为了弄清其年际和年代际变化规律, 对 1953 以来南海夏季风爆发时间进行了子波分析 (图 8)。由图可见, 季风爆发时间存在 2 年、4~7 年的变化周期, 20 世纪 50 年代后半期至 60 年代前半期, 70 年代末至今存在 12~22 年的变化周期。这与热带平流层低层准 2 年振荡 (QBO)、ENSO 3~7 年变化周期, 太平洋海温准 10 年和年代际变化周期, 太阳黑子 11 年变化周期, 太阳磁场 22 年周期是一致的, 这也正是季风变率问题复杂的原因所在, 同时也是我们继续研究的目标。

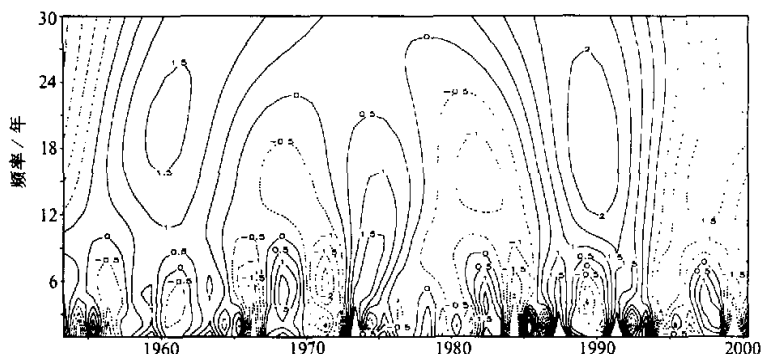


图 8 南海夏季风爆发时间子波分析图
横坐标: 年份; 纵坐标: 频率 (单位: a)

6 小结

(1) 根据本文分析, SMO 可定义为: 1) 850 hPa 副热带高压基本撤出南海, 南海上空受西到西南风控制 ($\geq 3.0 \text{ m s}^{-1}$), 同时必须满足索马里或 (和) $70^\circ\sim 95^\circ\text{E}$ 越赤道气流存在, 表明夏季环流已基本建立; 2) 200 hPa 高压环流控制中南半岛, 中心位置到达 17°N 以北, 南海处于东北气流控制之下, 风速 $\geq 4.5 \text{ m s}^{-1}$; 3) 南海上空大范围深

对流出现, OLR 值 $\leq 230 \text{ W m}^{-2}$ 。SMO 存在全面爆发、北部首先爆发和南部首先爆发 3 种不同的环流形式。

(2) $70\sim 90^\circ\text{E}$ 赤道西风加强导致赤道两侧涡旋对发生和加强, 进而激发南海季风爆发。涡旋对候平均涡度合计值 ≥ 2.0 可作为 SMO 的预报指标。

(3) 提出的季风指数经验公式, 综合了 SMO 发展过程中热力学和动力学要素的变化特征, $I \geq 0$ 可作为 SMO 的判别指标。

(4) 季风爆发平均时间为 5 月 4~5 候, 最早为 4 月第 5 候, 最晚为 6 月第 2 候; 爆发时间存在 2 年、4~7 年、12~22 年的变化周期。

参 考 文 献

- 1 Tao Shiyun and Chen Longxun, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Edited by C. P. Cheng and T. N. Krishnamurti, Oxford university Press, 1987, 60~92
- 2 谢安、刘霞、叶谦, 南海夏季风爆发的气候特征, 亚洲季风研究新进展, 北京: 气象出版社, 1996, 132~141.
- 3 梁建茵、吴尚森, 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, 133~140.
- 4 李崇银、屈昕, 南海夏季风爆发的大气环流演变特征, 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, 5~12.
- 5 闫俊岳, 南海西南季风爆发的气候特征, 气象学报, 1997, 176~185.
- 6 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.

A Study of Circulation Characteristics and Index of the South China Sea Summer Monsoon

Zhang Xiuzhi, Li Jianglong, Yan Junyue, and Ding Yihui

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract Based on the height and wind data of NCEP/NCAR and OLR data, patterns of upper air circulation from April to July has been analyzed, and the South China Sea (SCS) Summer Monsoon Onset (SMO) have been defined. The empirical formula fitting to the onset index of the SCS SMO has been established, and the onset time and the intensity index sequence of monsoon during 1953–1999 were given by the analysis of characteristic of thermodynamics and dynamics factors during the process of SMO. The emergence and development of symmetric vortex pair at both sides of the equator in the tropical East Indian Ocean, which may excite the SCS SMO, can be taken as a short-term prediction indicator of SMO.

Key words: summer monsoon onset; circulation field; vortex pair; monsoon intensity index