

关于南海夏季风建立的大尺度 特征及其机制的讨论*

何金海 徐海明 周 兵 王黎娟

(南京气象学院, 南京 210044)

摘 要 使用 1998 年南海季风试验期间高质量资料和 NCEP/NCAR 40 年再分析资料分析了南海季风建立前后的大尺度环流特征和要素的突变及爆发过程。发现南亚高压迅速地从菲律宾以东移到中南半岛北部, 印缅槽加强, 赤道印度洋西风加强并向东向北迅速扩展和传播, 以及相伴随的中低纬相互作用和西太平洋副高连续东撤是南海夏季风建立的大尺度特征, 与此同时, 亚洲低纬地区的南北温差和纬向风切变也发生相应的突变。数值实验结果指出, 印度半岛地形的陆面加热作用在其东侧激发的气旋性环流对于印缅槽的加强有重要作用, 并进而有利于南海夏季风先于印度夏季风爆发。

关键词: 南海夏季风; 大尺度; 印缅槽; 数值实验

1 引言

亚洲季风系统由东亚季风和南亚季风两个既相互独立又相互联系的子系统组成^[1], 而东亚季风又可划分为南海—西太平洋热带季风和中国大陆东部—日本的副热带季风^[2]。这是近 20 年来季风研究的主要成果之一。

南海夏季风由于其地理位置的特殊性, 不仅是印度季风和东亚季风连结的媒介, 也是亚澳季风相互联系、相互作用的表现。Murakami 等^[3]提出, 由亚洲和澳大利亚热力差异所造成的气压梯度的大尺度季节转换比海陆热力差异所造成的大尺度季节转换敏感和强烈得多, 南海地区正是这种变化敏感的区域。因此, 关于南海夏季风建立特征的研究对于亚洲冬季风形势向夏季风形势的转换具有一种信号作用。

陶诗言和陈隆勋^[1]首先指出, 亚洲夏季风的爆发最早开始于南海北部, 然后向西向北分阶段推进。He 等^[4]则发现亚洲夏季风的建立存在两个明显的阶段: 第一阶段出现于 5 月份, 南海低层西风建立; 第二阶段发生在 6 月份, 印度西海岸出现降水和阿拉伯西南风。何金海等^[5]通过对多年 TBB 资料的分析指出, 亚澳季风区的季节转换在 4 月份就已开始, 主要特征表现为澳大利亚 TBB 高值带(对应澳大利亚高压)迅速北移和中南半岛地区对流的活跃以及副热带 TBB 高值带(对应副热带高压)在该地区的断裂, 伴随着东部 TBB 高值带的连续东撤, 南海夏季风于 5 月 4 候建立; 而西部 TBB 高值带的向西退缩则伴随着亚洲季风建立自东向西的推进过程; 东亚地区, 伴随着 TBB

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”和国家重点基础发展规划项目“我国重大气候和天气灾害形成机理和预测理论研究”G1998040901-3 共同资助

高值带和西太平洋副高的季节性北移,南海—西太平洋热带夏季风和中国大陆—日本的副热带夏季风也自南向北推进,但前者推进的经向距离远比后者小。

上述研究表明,亚洲夏季风最早于南海地区建立,且其爆发性特点特别明显。然而,在南海季风试验之前,由于南海地区处于诸项国际科学试验范围的空白区,直接观测资料缺乏,致使有关南海夏季风问题的研究还不够多或者其研究结果还缺少可靠资料的支撑,同时南海夏季风是否最早建立尚有争议,其爆发性特征需要解释,爆发性过程需要进一步揭示。南海季风试验的高质量资料及近年来可能提供的其他资料为我们进一步揭示南海夏季风建立的大尺度突变特征及其机制提供了可能。关于南海夏季风特别是1998年南海夏季风建立的大尺度特征已有许多研究^[6~9],然而本文提出的相关问题尚需进一步深入讨论。

2 资料说明

本文所用资料主要包括:南海季风试验期提供的1998年5~8月基本要素场逐日全球格点资料;CDC提供的1998年NCEP/NCAR每6小时一次的风场资料;ECMWF提供的1979~1993年850 hPa风场逐日全球格点资料;1959~1998年NCEP/NCAR 40年月平均再分析资料集;NOAA提供的1979~1993年向外长波辐射(OLR)资料。上述格点资料水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度。

3 南海夏季风建立的大尺度特征及过程

3.1 南海夏季风建立前后的突变特征

资料分析已经表明,南海夏季风最早建立于4月底,最迟建立于6月上旬,平均来说在5月中下旬(公认5月第4候)建立。这就是说,就月际尺度而言,4月份属于南海季风建立前,6月份整个亚洲夏季风形势建立,属于季风建立后,而5月份是南海夏季风建立的时期。为了揭示南海夏季风建立前后的大尺度特征,我们给出了40年平均4月和5月的高低空流场资料(图1)。如图1a所示,4月南亚高压(或称季风高压)位于菲律宾以东洋面上;500 hPa副热带高压沿 15°N 基本呈带状分布,其上有两个高中心,一个位于菲律宾上空,一个位于阿拉伯以西地区,孟加拉湾为相对低值区;850 hPa上副热带地区仍为高压控制,且孟加拉湾低值区更加明显,西太平洋副高脊线仍控制着中南半岛—南海地区。印度以西的阿拉伯地区为一反气旋中心控制。东非越赤道气流已经可见,但强度不大,虽然澳大利亚高压已显著存在,但 $105^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 地区的越赤道气流却未出现。这种大尺度流场形势表明南海夏季风尚未建立。在图1b中,5月份200 hPa南亚高压从菲律宾以东移到中南半岛北部,其东部的偏北偏东气流控制着南海地区;500 hPa和850 hPa上最明显的特征是,西太平洋副高脊线位置已明显东撤,印度以东的孟加拉湾地区出现了显著的低槽(印缅槽),与印缅槽相对应,赤道南半球一侧有气旋,低槽和气旋之间有较强的赤道西风。这支赤道西风看来是由来自阿拉伯海地区的中纬度西北气流和源自南半球的偏西气流组成。赤道西风流向中南半岛—南海地区,与西太平洋副高南侧的转向气流和源自澳大利亚高压北侧的越赤道气流汇合。显

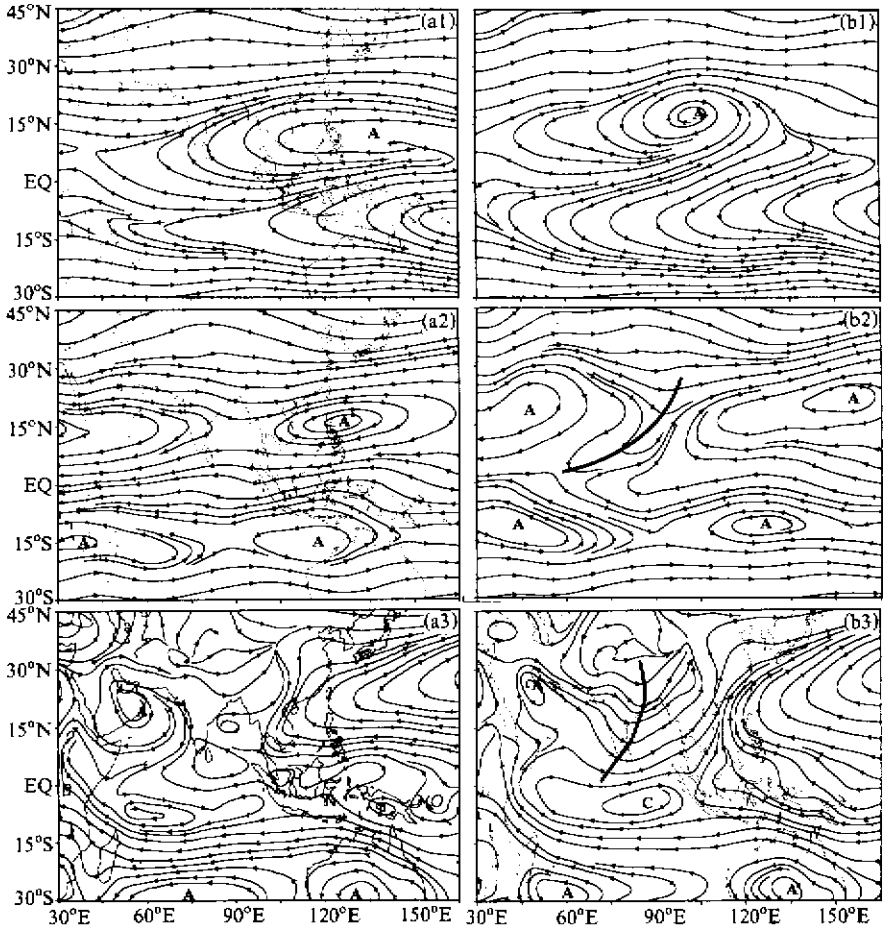


图1 40年(1959~1998)平均的4月和5月平均流场
(a1)、(a2)、(a3)和(b1)、(b2)、(b3)分别为4月和5月200、500、850 hPa
A: 反气旋; C: 气旋; 粗实线为槽线

然，南海地区低层处于三支偏南气流的汇合处，高空位于南亚高压东部偏北气流控制下。这种形势表明就月际尺度而言，5月应是南海夏季风建立期。但值得指出的是，印度地区仍为阿拉伯地区反气旋前部的西北气流控制，这表明印度夏季风尚未爆发。

与上述大尺度流场4月到5月的突变相对应，亚洲中低纬地区南北温差和纬向风切变（低层减高层）也发生了显著变化。由图2可见，平均来说（图2中实线），90°E以东的中低纬地区，南北温差在5月中下旬（27~29候）都发生了稳定的符号转变（由正到负），这种转换最早发生在中南半岛地区（100~110°E），依次是南海（110~120°E）和孟加拉湾东部（90~100°E）地区。孟加拉湾西部到印度地区（80~90°E）南北温差由正到负的转换则发生在6月上中旬（32~33候），这与印度夏季风最迟建立相对应。图2中虚线指出了1998年南北温差的演变，可以看出中南半岛和南海地区南北温差符号的转变均发生在28候附近，显然与南海夏季风建立日期基本一致。图3显示了纬向风切变的演变特征，与图2不同的是，纬向风切变由负到正转变的时间比南北

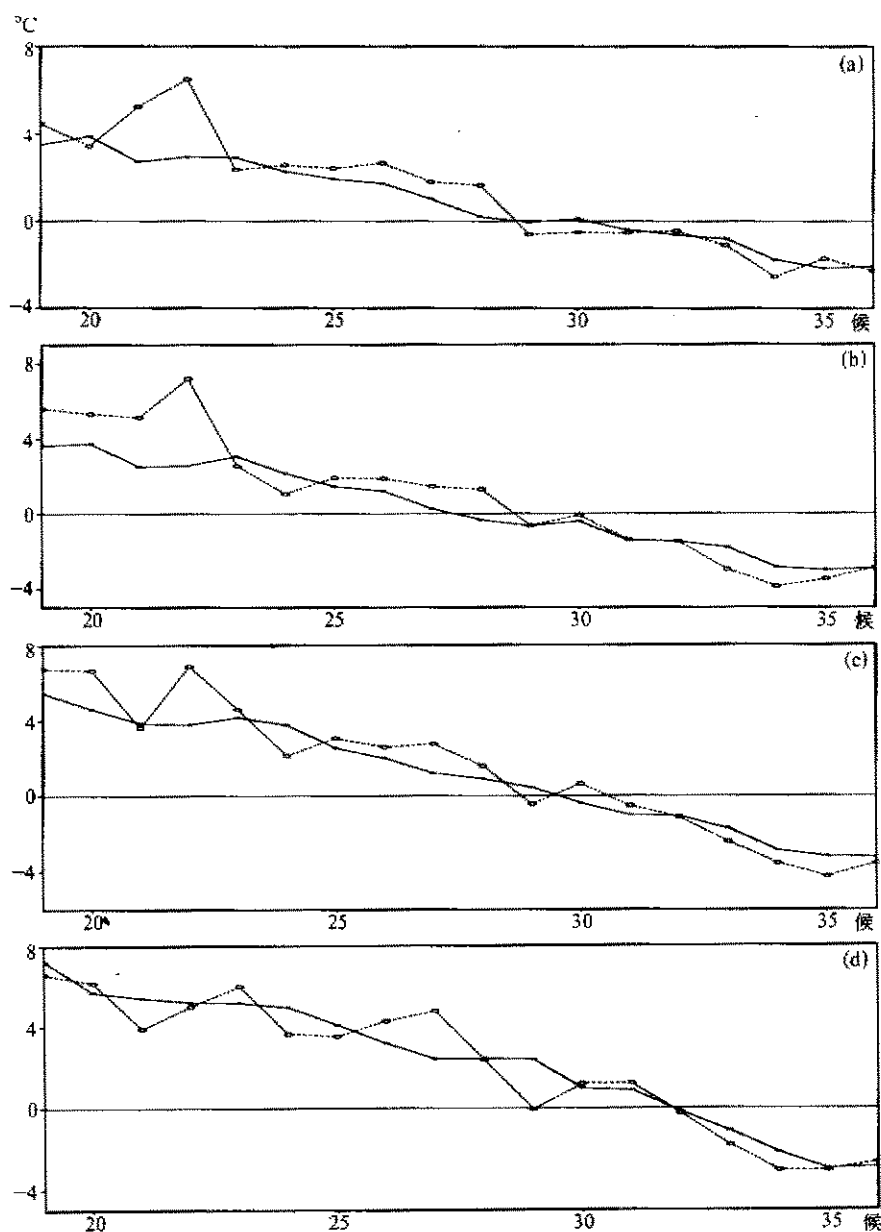


图2 500 hPa 亚洲中低纬度南北温差 (5°S~5°N 减 20°~30°N, 单位: °C) 的逐候演变

(a) 110°~120°E; (b) 100°~110°E; (c) 90°~100°E; (d) 80°~90°E

实线: 1990~1998 年平均; 虚线: 1998 年

温差转变要略早, 且西早东迟。这种特征可能与加强的印缅槽前西南风和赤道西风自西向东扩展相联系。另外, 1998 年各个区域纬向风切变由负到正的转变均较多年平均转换时间要迟, 这与 1998 年南海夏季风建立日期偏迟相吻合。

综上所述, 与大尺度流场突变相联系, 亚洲中低纬若干地区的南北温差 (纬向风切

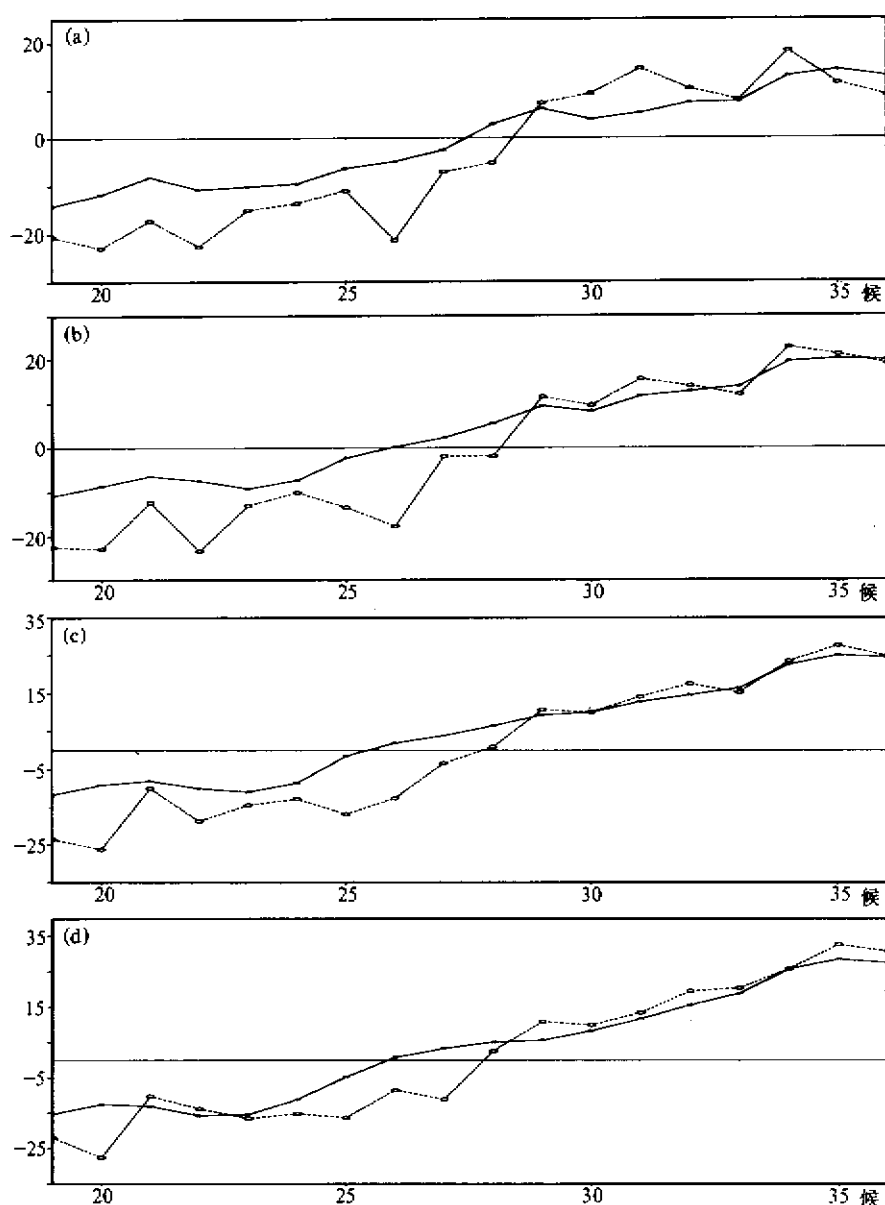


图3 亚洲低纬(10~20°N)各区域纬向风切变(850 hPa减200 hPa, 单位: m/s)的逐候演变
(a) 110~120°E; (b) 100~110°E; (c) 90~100°E; (d) 80~90°E
实线: 1990~1998年平均; 虚线: 1998年

变) 在5月中下旬(上中旬)均发生转变, 它与这些地区夏季风的建立有内在联系。然而, 分析表明, 单用某一个参数来确定特定年份南海夏季风的建立日期是困难的。

3.2 南海夏季风建立过程的分析

为了揭示南海夏季风建立过程的特征, 我们采用合成分析方法制作了季风建立前后

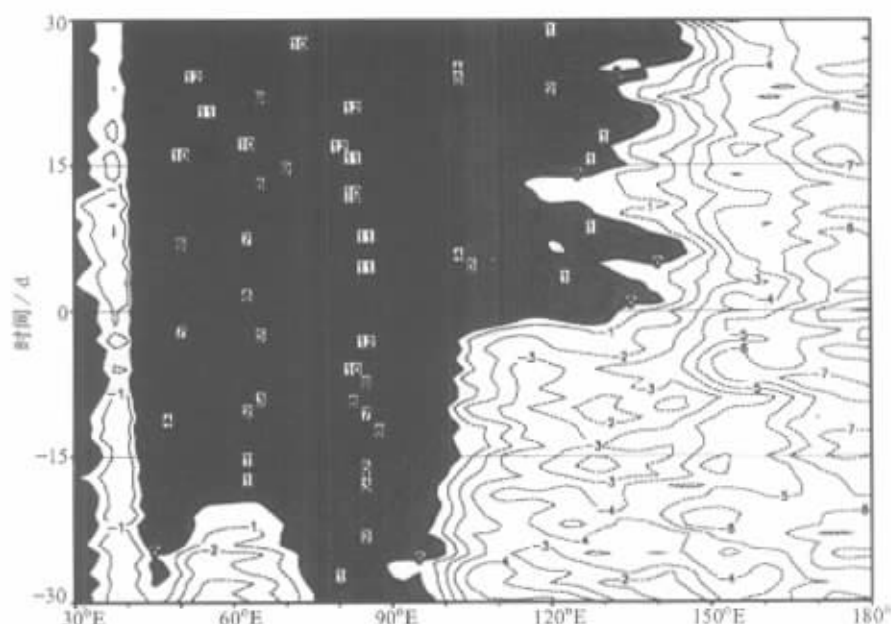


图4 南海夏季风爆发前后 $2.5 \sim 5.0^\circ\text{N}$ 平均的 850 hPa 纬向风的时间—经度剖面
 时间纵坐标 0 表示南海夏季风建立日期。正（负）值表示季风建立后（前）；
 阴影区为纬向风大于 0 的区域；等值线间隔为 1.0 m/s

沿赤道地区的 850 hPa 纬向风的时间—经度剖面（图 4）。图 4 中纵坐标 0 表示南海夏季风建立日期，其确定方法与文献[10]相同，只是采用日平均资料，所得到的南海夏季风建立日期亦与其基本相同。由图 4 可以看出，南海夏季风建立前一直为东风控制，约前 15 天（ $80 \sim 90^\circ\text{E}$ ）地区的赤道西风有一个风速稳定增长的过程，且在前 1~2 天达到最大值，随后迅速东扩。显然，这一过程对南海夏季风的建立或爆发有重要作用。

为了进一步揭示南海夏季风建立的过程特征，我们还制作了从赤道印度洋到中国华南沿海的西南—东北向的剖面图（图 5）。由图 5a 可以看出，南海夏季风建立前约 15 天，赤道印度洋（ 80°E , EQ）西风不仅稳定增长，还明显地向东北扩展和传播。当它扩展到南海地区（ 110°E , 15°N ）时，南海夏季风建立。伴随赤道西风向东北的传播，亦有一个 OLR 的低值区向东北传播（图 5b）。1998 年南海季风试验期间类似的降水剖面图（图 6）也表明，南海夏季风建立前期，从赤道印度洋地区也有明显的降水向东北传播，当它到达中南半岛地区时，南海夏季风建立。另外一个值得指出现象是，与赤道印度洋西风，对流活动和降水向东北传播的同时，均有来自中国华南地区的西风，对流和降水向南扩展。这一现象可能与华南静止锋的南扩相联系。Chang 等^[11]曾强调中纬度锋系对南海夏季风建立的触发作用，与我们的结果是一致的。

前面的分析表明，赤道印度洋西风一方面迅速东扩至南海的赤道地区，尔后向北扩展；另一方面又向东北传播和扩展，并伴随着对流和降水，与来自中纬度的西风 and 降水汇合。上述形式的中低纬相互作用导致了南海夏季风在很短时间内在南海地区南北大范围内迅速建立。这或许是导致南海夏季风建立的“爆发性”特征的原因之一。然而，我们不仅要问，赤道印度洋西风为什么在南海夏季风建立前有稳定增长的过程？它与印缅槽

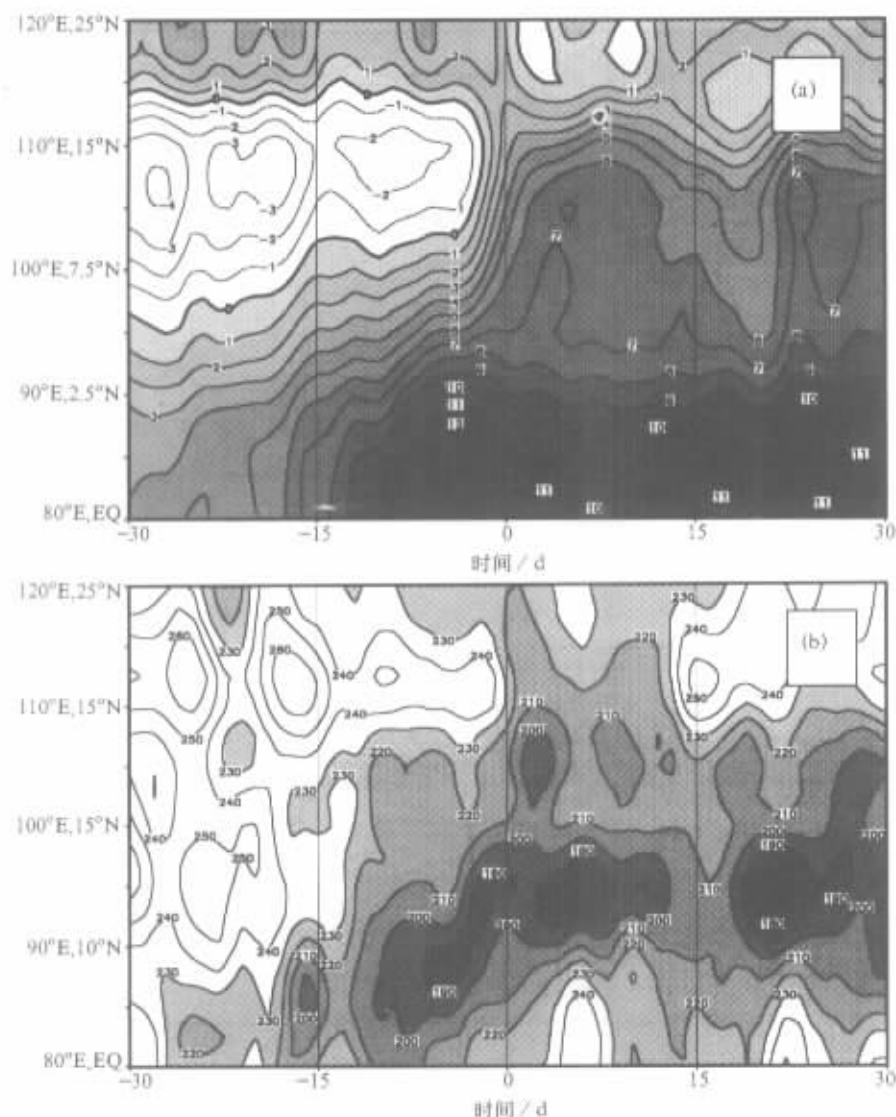


图5 南海夏季风爆发前后 850 hPa 纬向风 (a, 阴影区为纬向风大于 0 的区域) 和 OLR (b, 阴影区为 OLR 值小于 230 W/m^2 的区域) 沿 $(80^{\circ}\text{E}, \text{EQ})$ 点至 $(110^{\circ}\text{E}, 15^{\circ}\text{N})$ 点的时间演变图

的加强有何联系? 在下文中我们将要讨论这一问题。

为了揭示临近南海夏季风建立的流场变化特征, 我们制作了 1998 年 5 月中旬与 5 月上旬流场较差图 (图 7)。由图 7 可以看出, 在 200 hPa, 孟加拉湾北部地区有一显著的较差反气旋环流, 其东部和南部的较差东风气流控制着中国南海地区和亚洲低纬度地区。这一较差反气旋与南亚高压自东南向西北的迅速移动相联系; 在 850 hPa, 从赤道印度洋经中南半岛直至中国南海和菲律宾地区为一强劲的偏西南较差气流, 在赤道印度洋的南北两侧有一显著的涡旋对。根据前面的分析, 夹在涡旋对之间的强西南风较差气

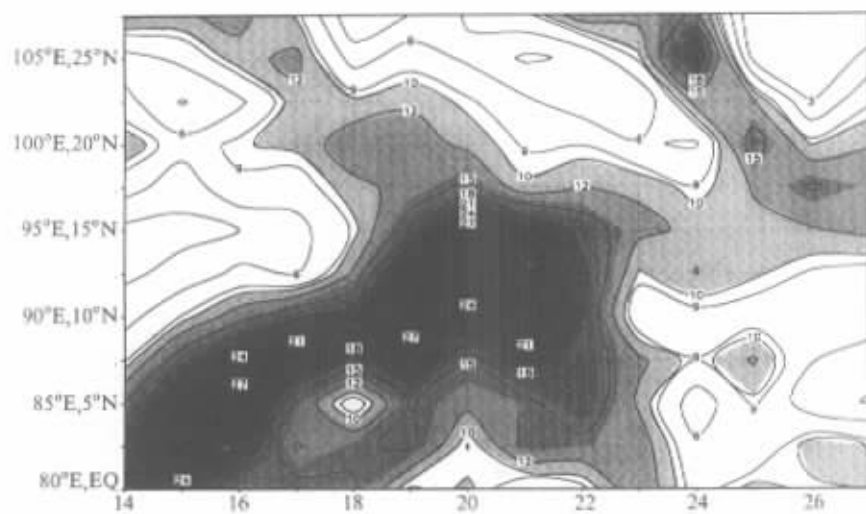


图 6 1998 年 5 月 14~27 日日降水剖面图

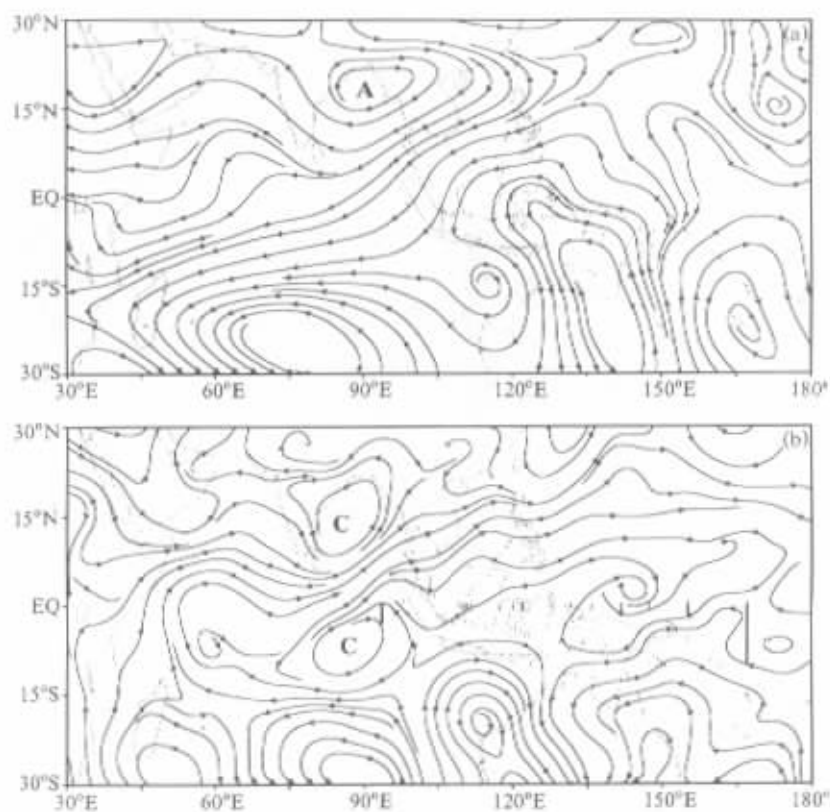


图 7 1998 年 5 月中旬与上旬流场较差图

A: 较差反气旋; C: 较差气旋。(a) 200 hPa; (b) 850 hPa

流应是触发南海夏季风建立的直接原因之一。然而, 这一涡旋对又是什么原因造成的? 这仍是一个需要回答的问题。

4 关于南海夏季风为什么早于印度夏季风建立的讨论

亚洲夏季风究竟最早在哪里建立, 这关系到冬季风形势向夏季风形势转换的最早信号问题。已有的研究^[1]认为, 夏季风最早在南海爆发, 但有的作者认为夏季风最早在孟加拉湾或中南半岛地区爆发。我们通过分析要素场的突变和 θ_{se} 垂直结构的变化指出, 1998 年亚洲夏季风首先于南海地区爆发^[12]。这说明关于南海夏季风是否最早建立尚有争议, 然而南海夏季风早于印度夏季风建立却是无可争议的事实。那么, 这又是什么机制造成的呢? 下面就来讨论这一问题。

从图 1 我们可以知道, 4 月到 5 月对流层中低层大气环流的最大变化就是副热带高压的断裂, 印缅槽的加强。有关合成分析的结果也指出, 南海夏季风建立前期伴有印缅槽加强的过程。这就是说, 孟加拉湾经中南半岛至南海地区处于印缅槽前西南气流的控制之下, 而印度地区则处于印缅槽槽后西北气流的控制下。这一基本流场的特征有利于南海夏季风偏南气流的建立, 而不利于印度地区夏季风偏南气流的建立。只有当印度地区海陆温差转换引起的偏南风足够大到能抵消上述基本流场的偏北气流后, 印度夏季风偏南气流才得以建立。因此, 南海夏季风早于印度夏季风建立应该是印缅槽引起的大尺度流场造成的结果。这与前面指出的纬向风切变转换日期较南北温差转换要早的特征也是一致的。然而, 印缅槽为什么在 5 月份得以建立和加强呢? 为了回答这一问题, 我们用 CCM3 模式^[13]做了相关的控制试验 (CTL) 和变印度半岛地形为海洋的敏感性试验 (NIT)。

CTL 的初始场采用经过多年积分以后得到的 9 月 1 日的模式场, 由此开始积分 330 天, 每 5 天取一次平均作为一次结果输出。在 NIT 试验中, 将 20°N 以南的印度半岛地形变为海洋, 同时将其变为海洋后的海温值用同纬度邻近海域的海温来代替, 其余处理均与 CTL 相同。

CTL 的结果指出, 南海夏季风平均于 5 月中旬建立。图 8a 和 b 表明, 模拟的 5 月流场与图 1 中 5 月的气候场基本相似, 即印缅槽已明显存在, 槽前西南气流与赤道印度洋西风气流汇合于中南半岛和南海地区。6 月份, 从印度到中国南海直至菲律宾以东, 已经出现了一条近似西北—东南向的亚洲季风槽, 夏季形势已完全建立。这表明模式的控制试验能较好地再现亚洲夏季风的建立。图 8c 是 CTL 与 NIT 在 5 月份的差值流场, 它反映了印度半岛地形对大气环流的影响。由图 8c 可清楚地看出, 在印缅槽地区有一个明显的气旋差值环流中心 (85°E , 18°N), 其低槽可一直伸至赤道附近。这一差值气旋环流和低槽可使印缅槽和赤道印度洋西风得到加强, 从而有利于南海夏季风的建立而不利印度夏季风的建立。

进一步的分析表明, 这一气旋性差值环流中心与印度半岛地形在由冬入夏时的陆面感热加热相联系。根据吴国雄等^[14]的理论研究结果, 当陆面加热和温度升高成同位相配置时, 在大陆东部将有气旋式环流发展。上述数值实验证实了这一观点。

一般认为, 印缅槽的存在与青藏高原大地形的作用有关^[15], 然而我们的 NIT 试验

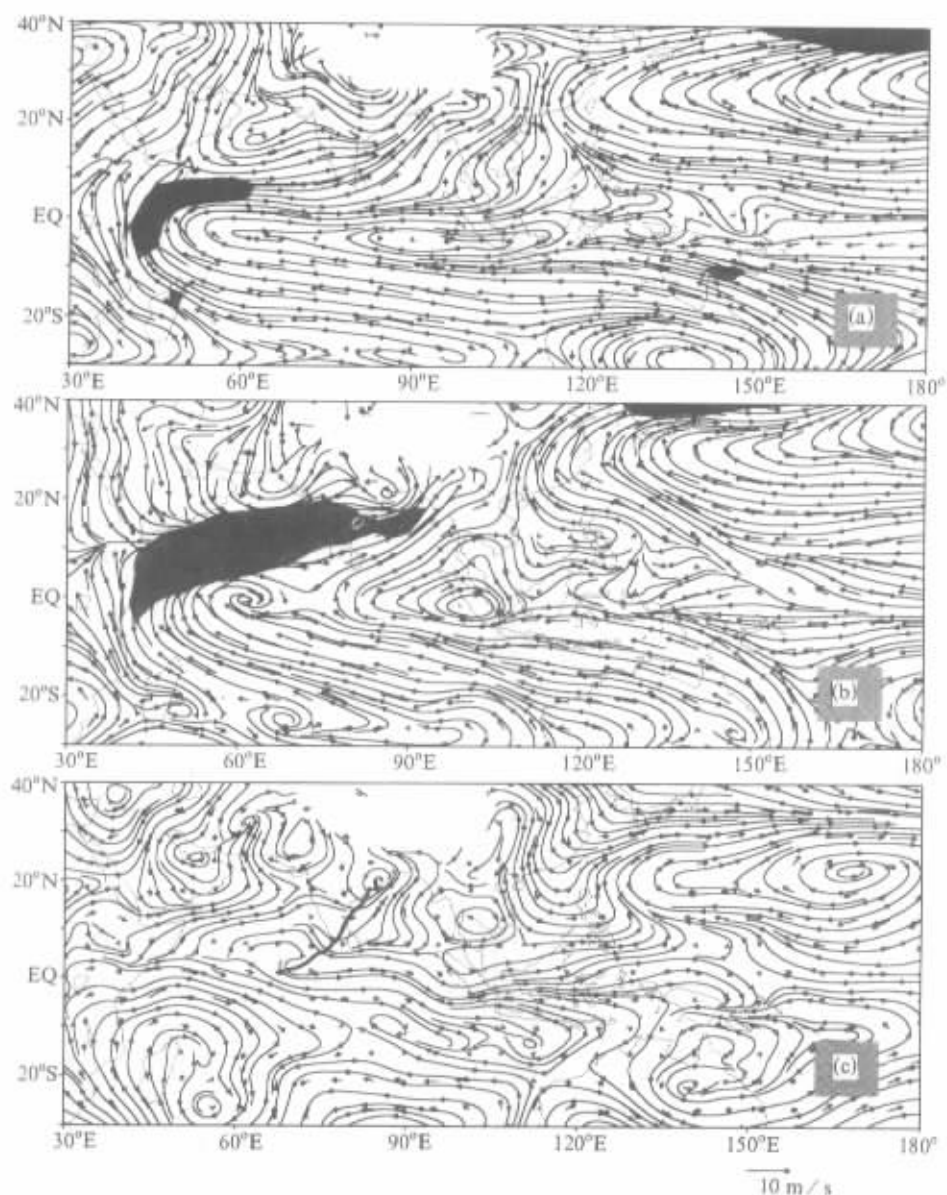


图8 CCM3 控制试验 5 月 (a)、6 月 (b) 850 hPa 流场和
5 月控制试验与无印度半岛试验 850 hPa 差值流场 (c)
阴影区为风速大于 8 m/s

结果指出印度半岛的存在及其相应的陆面加热作用对印缅槽的加强有重要作用,正是印缅槽的加强有利于南海夏季风爆发,而不利印度夏季风爆发。

5 结果讨论

根据前面的分析,我们可以得到以下结论:

(1) 有利于南海夏季风建立的大尺度形势是南亚高压迅速从菲律宾以东(4月)移到中南半岛北部(5月), 印缅槽加深加强, 其槽底偏西气流与源自南半球的赤道偏西气流汇合形成加强的赤道印度洋西风气流, 然后流向中南半岛和南海地区。

(2) 夏季风建立前后, 南海地区处于来自赤道印度洋的西南气流、西太平洋副高南侧和源自澳大利亚高压北侧的越赤道气流汇合处, 这给讨论南海夏季风的建立特征和过程带来了复杂性和更多的困难。赤道印度洋西风迅速东扩和向东北扩展以及相伴随的中低纬相互作用和西太平洋副高东撤是南海夏季风爆发的特征过程, 至少1998年表现得特别清楚。与此同时, 亚洲低纬地区的南北温差和纬向风垂直切变符号的转变也相应地发生, 并且西风急流和湿度场也有明显的突变, 但是用单一的要素场确定南海夏季风建立日期是有困难的。

(3) 数值实验结果表明, 印度半岛的存在对于亚洲夏季风的建立有重要影响。如果没有印度半岛, 南海夏季风与印度夏季风的建立日期的差别远没有现在这样显著。印度半岛在由冬入夏时的陆面加热作用在其东侧激发出的气旋性环流加强了印缅槽, 或许有利于夏季风建立前期赤道印度洋涡旋对的形成, 正是印缅槽槽后的西北气流延缓了印度夏季风的爆发, 槽前的西南气流加快了南海夏季风的爆发。

参 考 文 献

- 1 Tao Shiyun and Chen Longxun, A review of recent research on East Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, Oxford University Press, 1987, 60~92.
- 2 Zhu Qiangen, He Jinhai and Wang Panxing, A study of circulation difference between East-Asian and Indian summer monsoons with their interactions, *Adv. Atmos. Sci.*, 1986, 3(4), 466~477.
- 3 Murakami T., Longxun Chen and An Xie, Relationship among seasonal cycles, low-frequency oscillations and transient disturbances as revealed from outgoing long wave radiation data, *Mon. Wea. Rev.*, 1986, 114, 1456~1465.
- 4 He Haiyan, J. W. Mcginnis, Song Zhengshen et al., Onset of the Asian summer monsoon in 1979 and the effect of the Tibetan Plateau, *Mon. Wea. Rev.*, 1987, 115, 1966~1995.
- 5 何金海、朱乾根、M. Murakami, TBB 资料所揭示的亚澳季风区季节转换及亚洲夏季风建立的特征, *热带气象学报*, 1996, 12, 34~42.
- 6 丁一汇、薛纪善、王守荣等, 1998 年亚洲季风活动与中国的暴雨/洪涝, 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, 1~4.
- 7 李崇银、吴静波, 1998 南海夏季风的分析研究, 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, 18~24.
- 8 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.
- 9 邵 慧、钱永甫, 1998 年南海夏季风爆发前后区域环流变化的主要特征, 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, 34~42.
- 10 谢 安、刘 霞、叶 谦, 南海夏季风爆发的气候特征, 何金海、丁一汇、陈隆勋主编: 亚洲季风研究的新进展, 北京: 气象出版社, 1996, 132~142.
- 11 Chang C. P. and T. J. Chen, Tropical circulation associated with southwest monsoon onset and westerly surge over South China Sea, *Mon. Wea. Rev.*, 1995, 123, 3254~3267.
- 12 王黎娟、何金海、徐海明等, 1998 年南海夏季风建立前后的突变特征及爆发过程, *南京气象学院学报*, 1999, 22(2), 135~140.
- 13 Kiehl J. T., J. J. Hack, G. B. Bonan et al., Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3), NCAR Tech. Note, 1996, NCAR/TN-420+STR, 152pp.

- 14 吴国雄, 刘屹岷、刘平, 空间非均匀加热对副热带高压带形成和变异的影响 I: 尺度分析, 气象学报, 1999, 57, 257~263.
- 15 吴国雄、张永生, 青藏高原的热力和机械强迫作用以及亚洲季风爆发 I. 爆发地点, 大气科学, 1998, 22, 825~838.

Large Scale Features of SCS Summer Monsoon Onset and Its Possible Mechanism

He Jinhai, Xu Haiming, Zhou Bing and Wang Lijuan

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Abstract The high quality dataset from the SCS (South China Sea) Monsoon Experiment and 40-year NCEP/NCAR reanalysis data are used to investigate the large scale features and abrupt change in meteorological elements during the onset of the SCS summer monsoon. It is found that the SCS summer monsoon establishment is characterized by the South Asian High migrating swiftly from the eastern side of Philippines to the northern part of Indo-China Peninsula and the enhancement of the Indian-Burma trough and equatorial westerly over the Indian Ocean associated with the equatorial westerly expanding towards northeastward, and followed by the mid-low latitude interaction and continuous retreat eastward of the western Pacific subtropical high. Further study shows that the meridional temperature difference and the zonal wind vertical shear over the Asian lower latitudes also experience abrupt change during the onset of the SCS summer monsoon. Numerical results reveal that the Indian Peninsula acts as a critical role for the enhancement of the Indian-Burma trough with a cyclonic difference circulation excited to the east side of the peninsula through ground sensible heating in such a way that the SCS summer monsoon occurs prior to the Indian summer monsoon.

Key words: South China Sea summer monsoon; large scale feature; Indian-Burma trough; numerical experiment