

伴随南海夏季风爆发的大尺度 大气环流演变*

李崇银 屈昕

(中国科学院大气物理研究所大气科学与地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘 要 主要基于美国 NCEP 和 NCAR 的再分析资料 (1980~1996 年), 针对南海夏季风爆发日期进行合成分析, 研究了伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变。其结果清楚地表明伴随南海夏季风爆发, 南亚和东南亚地区的对流层低层风场, 对流层高层位势高度场以及大气湿度场和垂直运动场都有极显著的变化。南亚和东南亚 850 hPa 上涡旋对的发展和活动以及 500 hPa 副高从南海地区的东撤对南海季风爆发起着重要作用。伴随南海夏季风的爆发, 在孟加拉湾到南中国海一带整层湿度和 500 hPa 垂直上升运动都出现了极明显的增加。对流层高层和对流层低层环流演变的特征也清楚表明, 南海夏季风爆发既是全球环流冬夏演变的一个部分, 又有显著的区域性特征。本文还指出南海夏季风在北部比中部和南部早建立的结论依据不足, 进而补充给出了亚洲季风爆发日期示意图。

关键词: 南海; 夏季风; 爆发 (建立); 大气环流; 演变

1 引言

在未来 15 年实施的国际“气候变化及可预报性研究 (CLIVAR)”计划中, 季风问题是重要研究内容之一^[1]。这不仅因为季风的活动和异常直接影响许多国家和人民的生产和生活, 而且季风活动的异常还对其他天气气候的重要异常事件, 例如对 El Niño 事件等有一定的影响^[2,3]。研究季风既有重要科学意义, 又有重要的实际应用前景。

亚洲季风是全世界最典型又最重要的季风系统, 尽管已有一系列的研究, 然而有关亚洲夏季风建立 (爆发) 的问题尚未完全搞清楚。80 年代中国学者的研究明确指出, 亚洲夏季风由相互联系又有其独立性的南亚 (印度) 季风系统和东亚季风系统所组成; 而亚洲夏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, 最终建立起南亚夏季风和东亚季风^[4~6]。

90 年代以来, 人们对南海夏季风活动更加注意, 已从不同角度开展了研究, 其中非常突出的问题就是关于南海夏季风的爆发。虽然目前有关南海夏季风爆发的分析结果尚有一些不一致^[7~9], 但已经揭露出一些值得注意的问题, 特别是南海季风的爆发不是孤立现象, 它是大气环流演变在南海这一特定地区的一种表现。因此, 要搞清南海夏季风的爆发问题, 首先需要分析大尺度大气环流演变的一些特征。

本文将通过资料分析, 讨论伴随南海夏季风爆发的大尺度大气环流演变特征, 为进

一步研究南海夏季风爆发机制提供线索和依据。在第 2 节将介绍分析所用的各种资料, 第 3 节将根据南海夏季风指数分析及 TBB 资料分析确定南海夏季风爆发的时间, 第 4 ~ 6 节将以每年夏季风爆发日期为基础, 对多年合成资料分析 850 hPa 流场、200 和 500 hPa 位势高度场以及湿度场和垂直运动场在夏季风爆发前到爆发后的演变特征, 第 7 节将给出本文的基本分析结果。

2 资料说明

本文分析研究所用的资料主要是美国国家环境预报中心 (NCEP) 和国家大气科学研究中心 (NCAR) 共同完成的再分析资料 (1989~1996 年), 其每日资料水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 垂直方向为 17 个等压面层, 要素包括风、位势高度、温度、湿度等。这些资料是基于常规观测和非常规的卫星观测等所获得的资料, 由 NCEP 的全球谱模式 (T26 / C28) 通过四维资料同化而得到的。

本文的分析中也涉及到欧洲中期数值天气预报中心 (ECMWF) 的分析资料和日本所获得的云顶温度资料 (TBB)。它们被用来分析计算南海夏季风指数及确定南海夏季风的爆发日期, 因为在已有的研究中我们用 ECMWF 资料计算季风指数, 在进行本研究时, 我们只用 NCEP / NCAR 再分析资料计算了几个例子与 ECMWF 资料的计算结果相比较, 发现较为一致, 从而未用再分析资料重新计算南海夏季风爆发日期。

3 南海夏季风爆发日期

根据南海夏季风活动的重要特征——经向风分量与纬向风分量, 以及南海和附近地区大尺度大气环流的最基本形势, 我们提出了用对流层上层和对流层低层散度差构成的

指数 (I_d) 能更好地描写南海夏季风的活动^[10]。而根据 I_d 的时间演变, 也可以指出南海夏季风的建立日期。作为例子, 图 1 分别给出了 1984 年和 1987 年南海夏季风指数的时间演变, 很明显, 1984 年 4 月 29 日和 1987 年 6 月 9 日其指数 I_d 都由长期的正值变成了负值, 其后出现明显振荡 (表示出夏季风的活跃和中断特征)。加之该地区 TBB 的演变也在上述时期有明显的突然改变。因此, 可以认为南海夏季风在 1984 年和 1987 年分别于 4 月 29 日和 6 月 9 日建立。

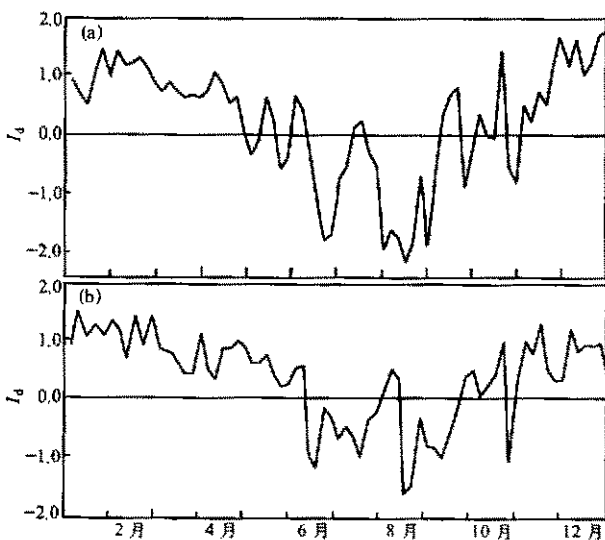


图 1 1984 年 (a) 和 1987 年 (b) 南海季风指数 I_d 的时间演变

利用卫星测得的云顶黑体温度 (TBB) 可以较好地描写热带地区

对流的活动，也可以用来研究季风的的活动，包括夏季风的爆发^[11,12]。以 1987 年南海 (105~120°E) 地区平均 TBB 值的纬度-时间剖面为例 (图 2)，可以看到在 1987 年的 6 月 8 日之前，5~20°N 范围一直是 TBB 的高值区，而其后再也见不到这种系统性持续 TBB 高值区。因此可以认为南海地区在 6 月 8 日之前对流很弱，降水很少，而其后有明显的积云对流活动；也可以认为 1987 年夏季风爆发于 6 月 8 日左右。

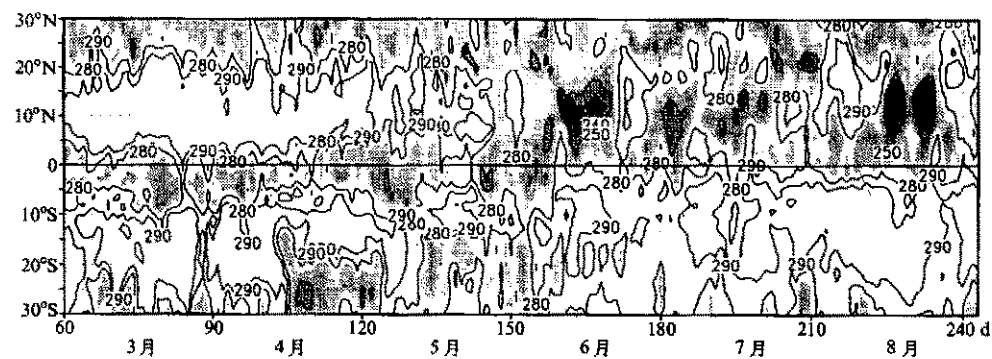


图 2 1987 年 3~8 月南海地区 (105~120°E) 平均的 TBB 值的时间-纬度剖面
图中阴影区为 TBB < 270°K，表示有较强对流活动

利用指数 I_d 所确定的南海夏季风爆发时间与用 TBB 资料所确定的夏季风爆发时间基本上是一致的 (相同或前后差一天)。据此我们确定了 1980~1991 年南海夏季风建立的具体日期 (如表 1 所示)，它表明南海夏季风的建立日期有明显的年际差异，最早可开始于 4 月末，最晚可开始于 6 月初，平均在 5 月 16 日左右。

表 1 1980~1991 年南海夏季风建立日期

年	1980	1981	1982	1983	1984	1985
建立日期	5 月 15 日	5 月 13 日	5 月 20 日	6 月 3 日	4 月 29 日	4 月 28 日
年	1986	1987	1988	1989	1990	1991
建立日期	5 月 10 日	6 月 8 日	5 月 21 日	5 月 15 日	5 月 7 日	5 月 28 日

根据上述南海夏季风爆发日期，用 NCEP 的再分析资料做 12 年夏季风爆发日及其前后时间的合成，再对合成资料进行分析，以研究南海夏季风爆发的环流特征。

4 850 hPa 流场演变

图 3 表示南海夏季风爆发前和爆发后 5 天平均的 850 hPa 流场，可以清楚地看到在夏季风爆发前，南海地区为反气旋环流 (副高脊) 控制，850 hPa 主要盛行东南风或南风。这时在华南沿海已有西南风出现，但这支西南气流来自孟加拉湾，是印巴地区的强西北气流转向而成的，不能以此认为南海夏季风已先在那里爆发。但在南海夏季风爆发前，苏门答腊地区已开始了夏季风，它由过赤道索马里气流向东扩展而成。南海夏季风爆发后，副高脊已退出南海，南海盛行西南风，而且主要有三支气流，即跨赤道索马里

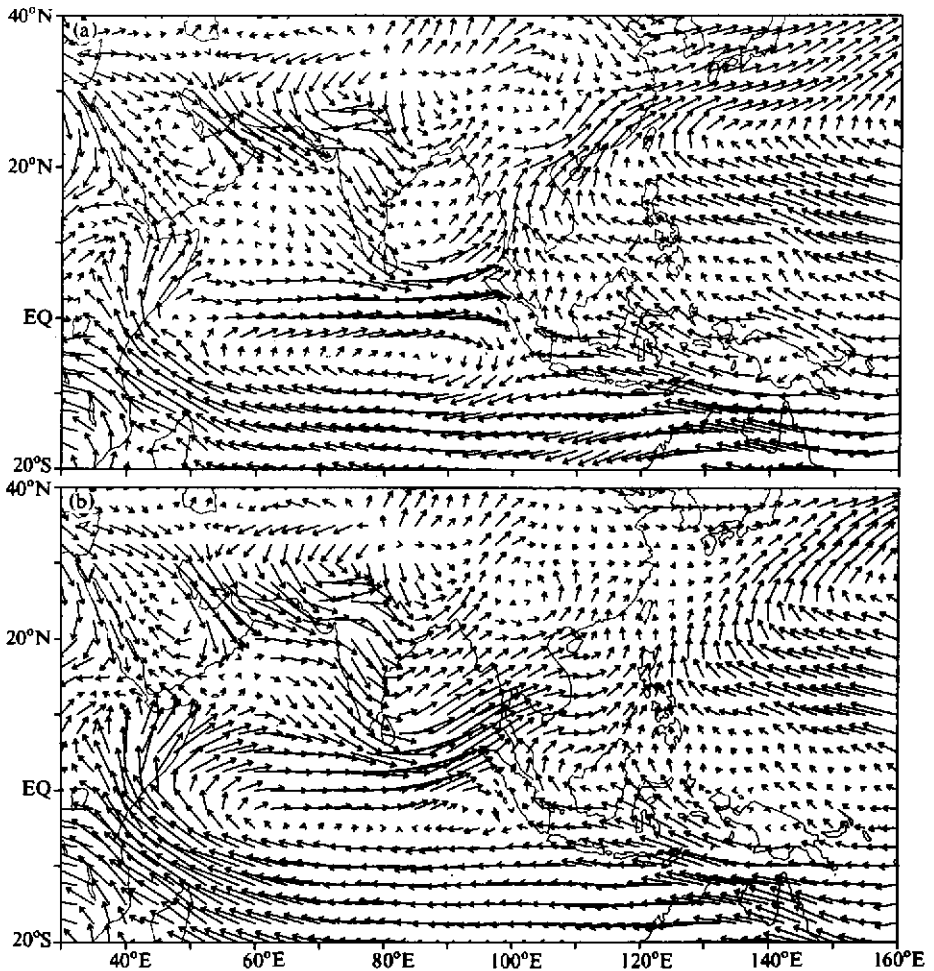


图3 南海夏季风建立前 (a) 和建立后 (b) 的 5 天平均 850 hPa 合成风场

气流形成的西南风, $110\sim 120^{\circ}\text{E}$ 地区跨赤道气流形成的偏南风以及副高西侧边缘的偏南风。

在合成的 850 hPa 流场图上可以清楚地看到伴随南海夏季风的爆发, 对流层低层环流形势的变化特征。图 4 分别给出了南海夏季风爆发前两天、前一天、当天和后一天所对应的 850 hPa 流场图。对比分析可以看到南海夏季风爆发前后的最大环流变化在南海地区, 其次是印度洋赤道附近地区。即使是在南海夏季风爆发前的一二天, 在南海广大地区仍主要是南风 and 东南风气流, 南海中部和北部仍为弱的副热带反气旋 (高压脊) 控制。就在夏季风爆发的当日, 副高脊明显东撤到了菲律宾以东, 南海地区基本上为西南和偏南气流控制。同时, 在南海夏季风爆发之前, 印度洋赤道附近地区的西风气流相对较弱, 它难以到达中国华南地区, 而到达华南地区并形成西南气流的主要是来自印度半岛的西北气流, 它在孟加拉湾地区转向而越过中印半岛。南海夏季风爆发的当天及其后, 印度洋赤道地区西风气流明显加强, 并且可以向东伸展直到南海北部地区。

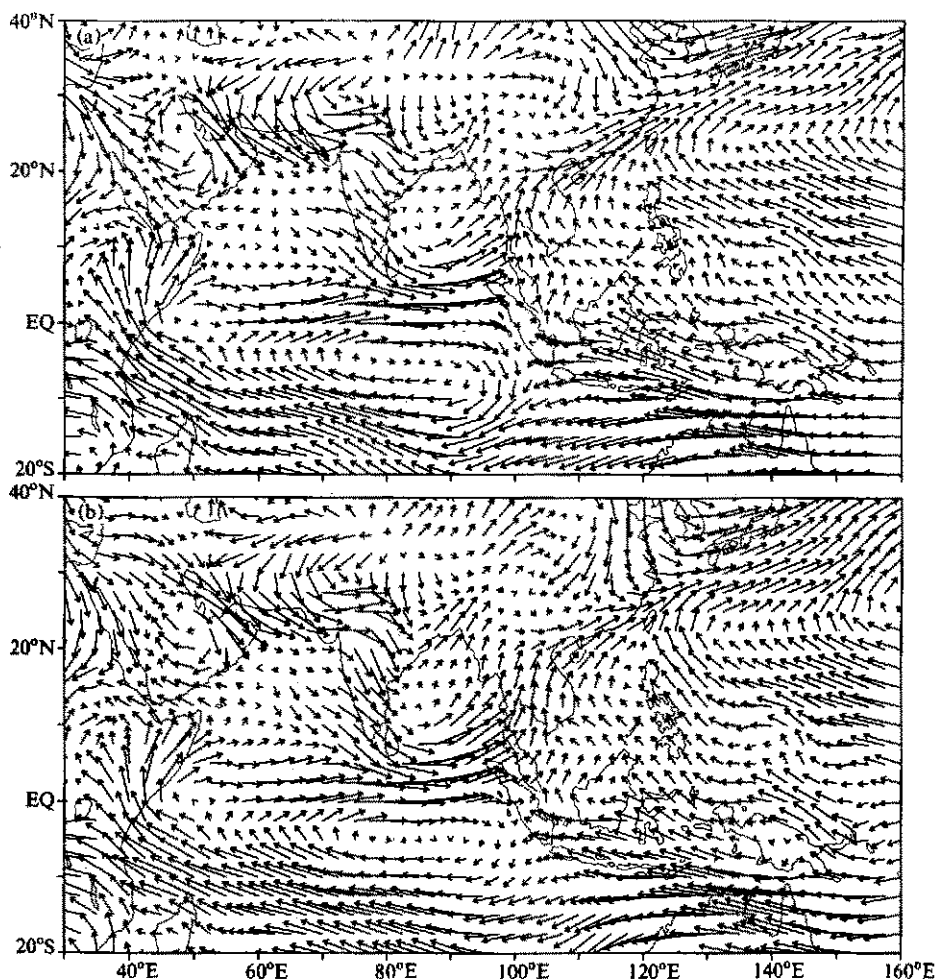


图4 合成的850 hPa 风场

(a) 南海夏季风爆发前两天; (b) 南海夏季风爆发前一天;

为了进一步揭示850 hPa流场演变的特征,我们以南海夏季风爆发前第15天到第11天的平均流场为基础(参照),分析其后(包括爆发前和爆发后)各天流场与参照流的偏差,图5就分别给出了爆发前第6天、第4天、第2天、爆发后第1天、第3天和第5天流场与参照流场的偏差流场。这些偏差流场实际上可以反映850 hPa流场的演变特征。首先,偏差流场在逐渐加强,例如在爆发前第6天,超过4 m/s的风并不多,主要在赤道印度洋东部地区;但后来,尤其是夏季风爆发后,不少地区的风速都超过4 m/s。第二点也是最有意思的一个演变特征,是伴随南海夏季风的爆发,在南亚和东南亚地区各有一个异常涡旋对的活动。爆发前第6天,85°E和130°E附近各有一个涡旋对存在,其后,东边的涡旋对缓慢向西移动,爆发后第5天它已位于115°E附近,而西边的涡旋对主要表现为向西扩展,尤其是南面的涡旋,在爆发后第5天,西边涡旋对的南面涡旋中心的主体已位于65°E附近。

随着由冬至夏的变化,“气象赤道”也有由南向北推进的特征,对于5~6月份可以大

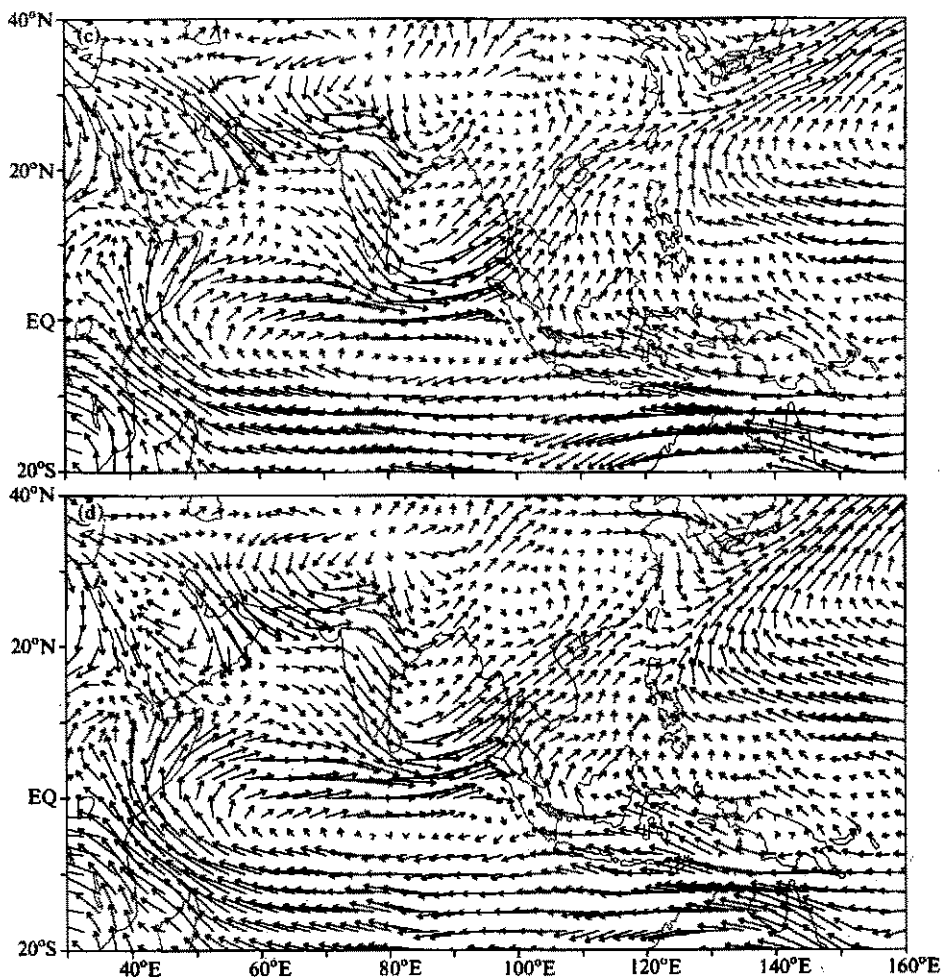


图 4 (续) 合成的 850 hPa 风场
(c) 南海夏季风爆发当天; (d) 南海夏季风爆发后一天

致认为气象赤道位于 5°N 附近。这样, 对于图 5 所示的 850 hPa 异常流场的演变, 可能反映了一种赤道 Rossby 波的活动。也可以认为南海夏季风的爆发可能与赤道 Rossby 波的活动有关, 虽然这尚需进一步研究, 尤其是动力学机制的分析。

5 对流层中高层位势高度场的演变

同 850 hPa 流场变化相类似, 伴随南海夏季风的爆发, 对流层中层 (500 hPa) 和高层 (200 hPa) 的位势高度场也有明显的改变, 只是这种变化没有 850 hPa 那么显著, 因为季风的活动主体在对流层低层。

图 6 分别给出了南海夏季风爆发前第 5 天到第 1 天平均和爆发后第 1 天到第 5 天平均的 500 hPa 高度场形势以及后者与前者的差值。其最为清楚的是伴随南海夏季风的爆发, 控制南海地区的副热带高压的东撤, 其次是东亚大槽减弱及北太平洋低压槽的减弱东移。

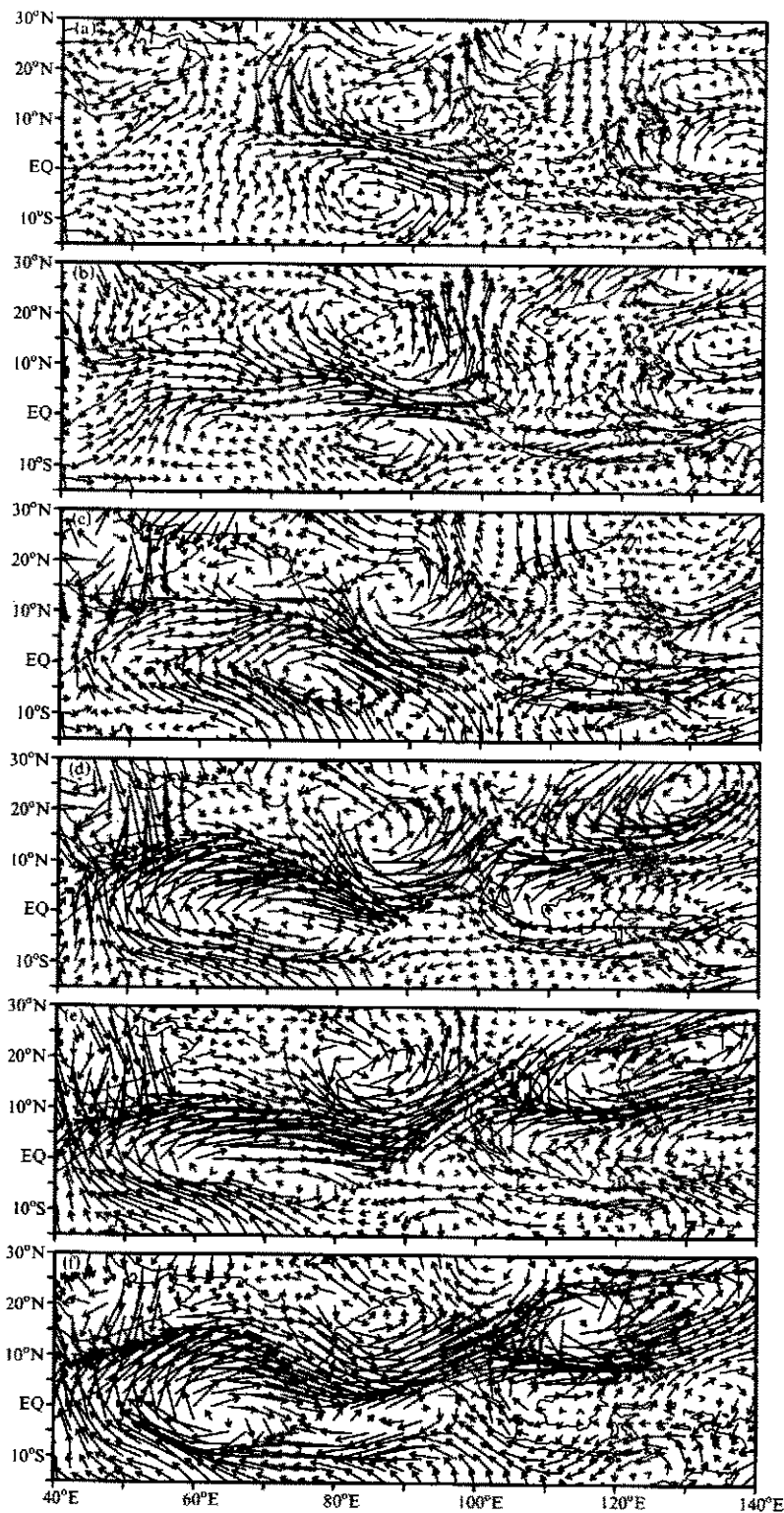


图 5 相对南海夏季风爆发前第 15~11 天的平均流场的偏差流场

(a)、(b)、(c)、(d)、(e)和(f)分别表示爆发前第 6 天、第 4 天、第 2 天及爆发后第 1 天、第 3 天、第 5 天的情况

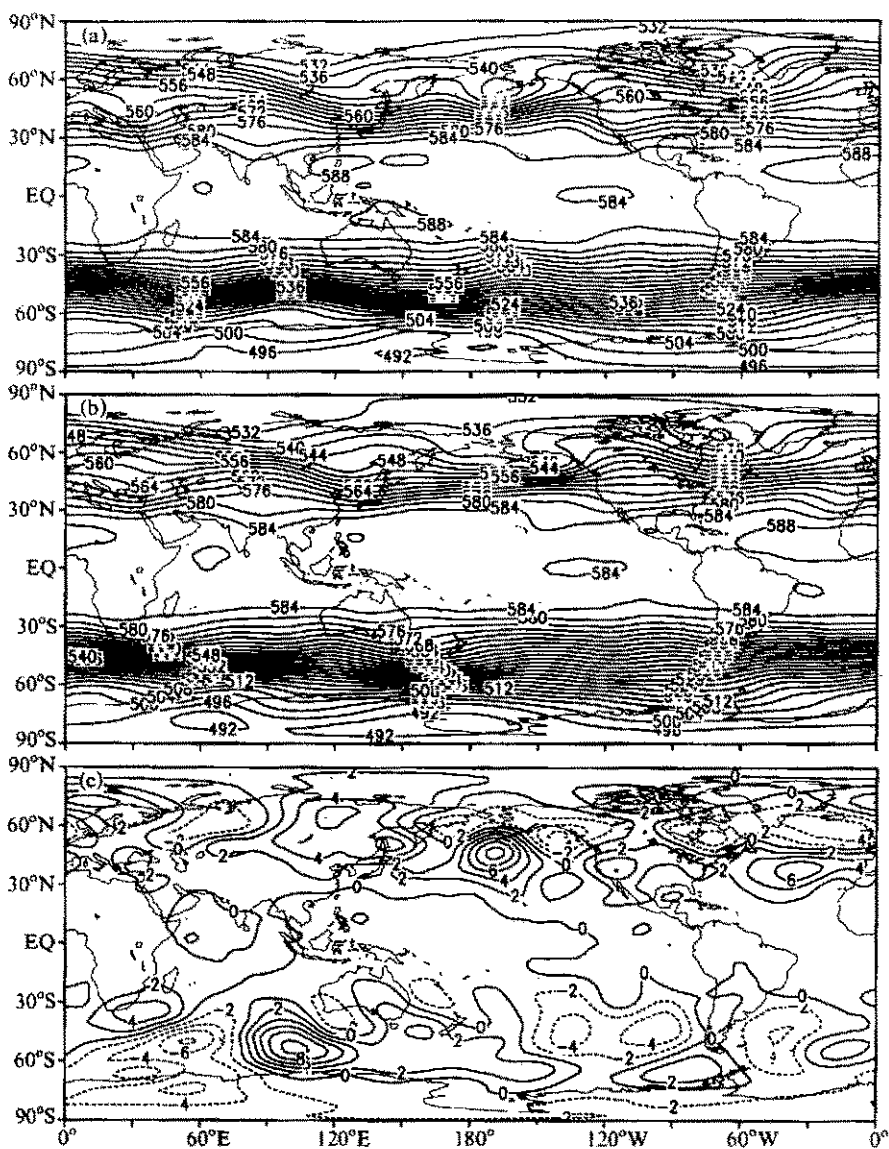


图 6 南海夏季风爆发前 5 天 (a) 和爆发后 5 天 (b) 平均的 500 hPa 位势高度场, 以及 (b) 和 (a) 的差值场 (c)

对流层上层的变化相对于对流层中层和低层的变化, 更多地反映了全球尺度的特征, 区域性特征并不明显。图 7 给出了南海夏季风爆发前第 10 天到第 6 天平均和爆发后第 6 天到第 10 天平均的 200 hPa 位势高度场形势以及后者与前者之差值。南海夏季风爆发前后 5 天平均的 200 hPa 位势高度场平均有类似图 7 的特征, 但不及图 7c 所示的差异强。图 7 反映了一个重要的特征是伴随南海夏季爆发, 200 hPa 位势高度场的变化是全球尺度的, 北半球高度增加而南半球高度减小。换句话说, 南海夏季风爆发是全球大气环流由冬向夏转换的一个组成部分, 全球大气环流由冬向夏的转换为南海夏季风

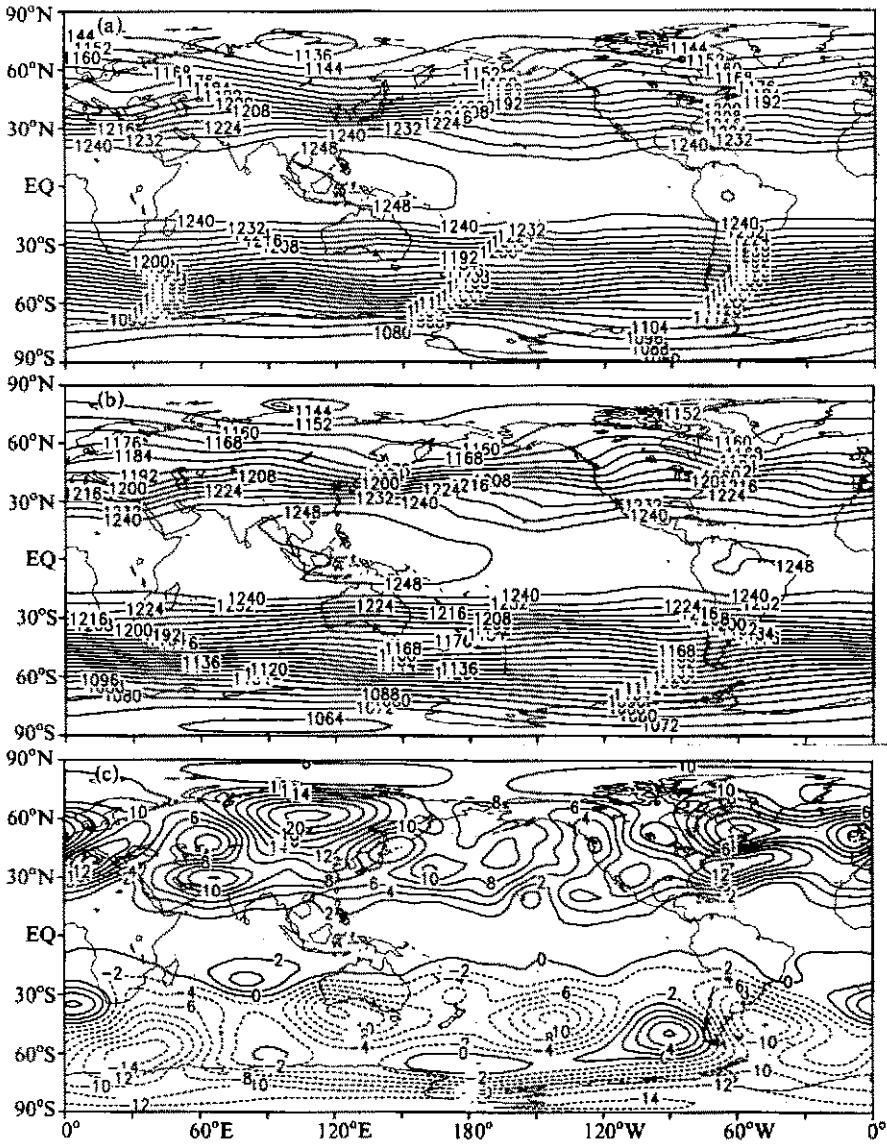


图 7 南海夏季风爆发前第 10 天到第 6 天平均 (a) 和爆发后第 6 天到第 10 天平均 (b) 的 200 hPa 位势高度场形势以及 (b) 和 (a) 之差值场 (c)

爆发提供了背景。

6 湿度场和垂直运动场的演变

夏季风的爆发也是季风区雨季的开始，因此伴随夏季风的爆发，在大气湿度场和垂直运动场上也必然有明显的变化。

图 8 分别给出了南海夏季风爆发前后整层大气可降水量的变化情况，与前面流场分

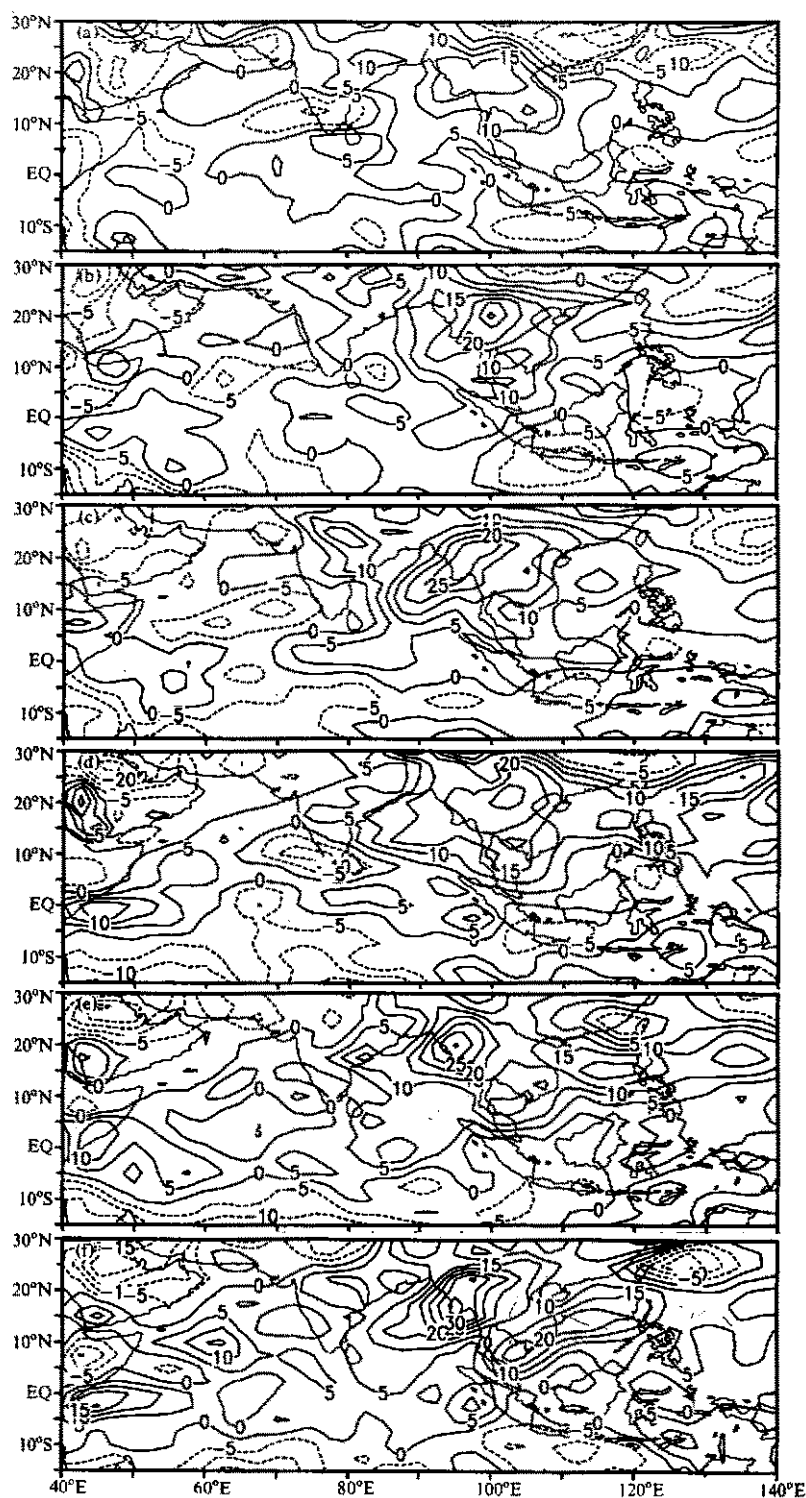


图8 相对南海夏季风爆发前第15~11天的平均整层大气可降水量的偏差 (单位: 10 g/m^2)

(a)、(b)、(c)、(d)、(e)和(f)分别表示爆发前第6天、第4天、第2天及爆发后第1天、第3天、第5天的情况

析类似, 这里也以爆发前第 15 天到第 11 天的平均值为参照量, 分析其后各天的变化。图 8a 所示的爆发前第 6 天的偏差场, 在孟加拉湾东北和缅甸地区有一最强增湿中心, 菲律宾以东有一次强增湿中心; 其后这两个增湿中心相互“打通”, 南海湿度增大 (图 8b); 到爆发前第 2 天, 在南海中部已形成一个较强的增湿中心 (图 8c); 伴随夏季风爆发, 南海大气进一步增湿, 范围扩大, 并与一直维持的孟加拉湾东北的增湿区连成一片, 形成由孟加拉湾经南海到菲律宾以东的大面积增湿区 (图 8d~f)。很显然, 南海夏季风的爆发直接联系着南海地区大气的明显增湿, 而且增湿似乎略比季风爆发要早 2~3 天; 南海大气增湿既来自孟加拉湾的影响, 也有西太平洋的作用。

降水总是与垂直上升运动相配合, 伴随南海夏季风的爆发, 大气垂直运动场也有十分明显的变化。图 9 分别给出了夏季风爆发前第 10~6 天平均、爆发前第 5~1 天平均、爆发后第 1~5 天和第 6~10 天平均的 500 hPa 垂直运动场。很明显, 在南海夏季

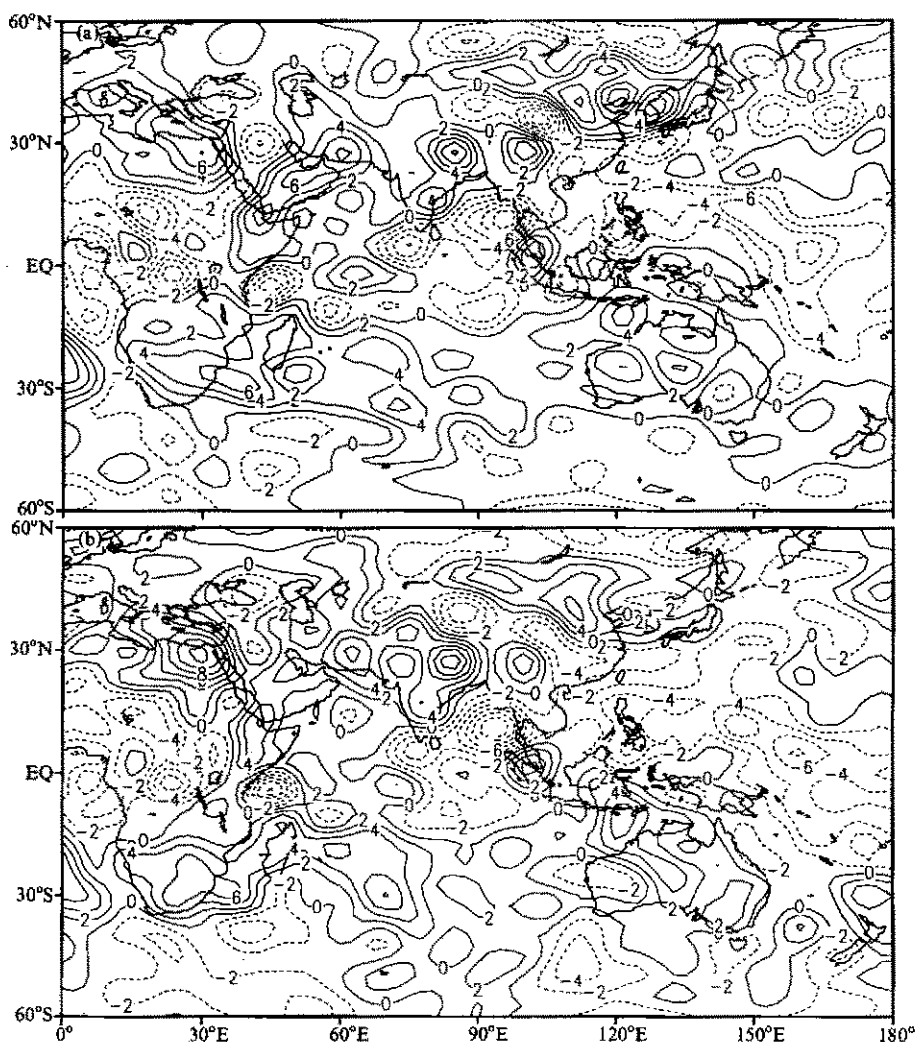


图 9 南海夏季风爆发前后 500 hPa 垂直速度 (单位: 0.01 Pa/s)

(a) 爆发前第 10~6 天平均; (b) 爆发前第 5~1 天平均;

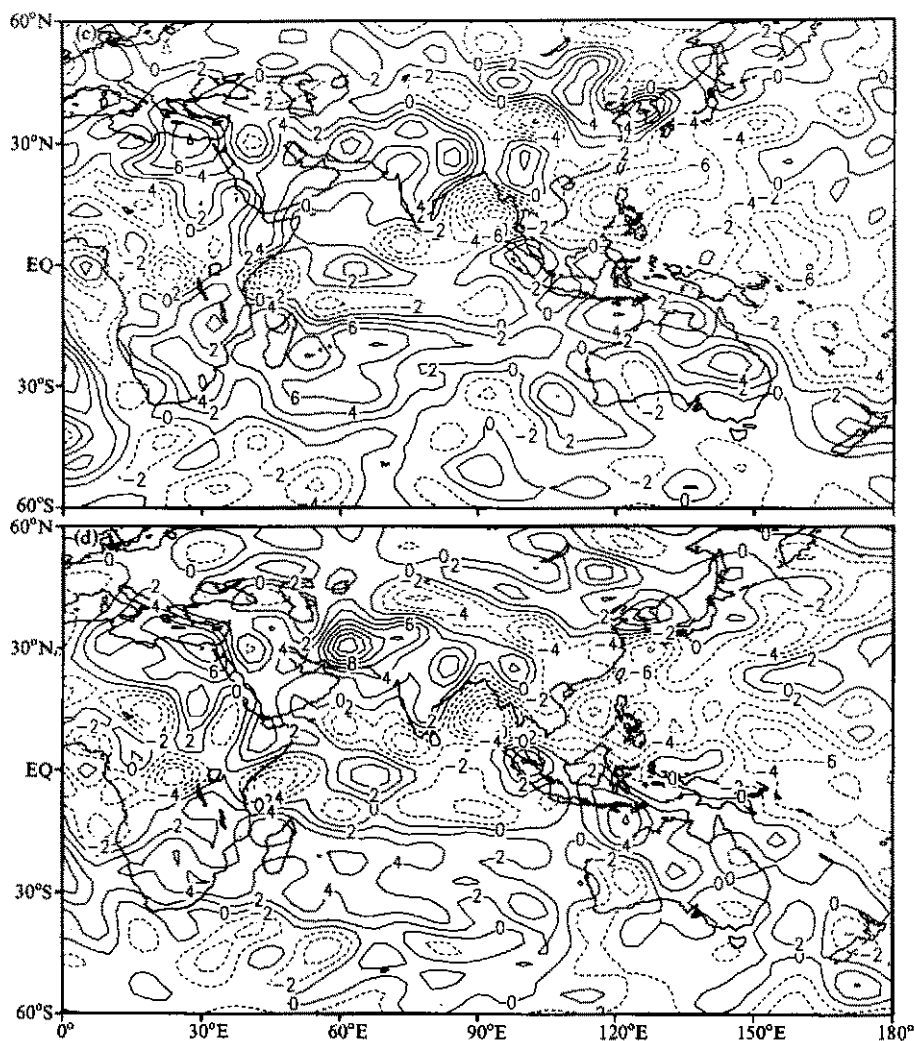


图 9 (续) 南海夏季风爆发前后 500 hPa 垂直速度 (单位: 0.01 Pa/s)

(c) 爆发后第 1~5 天平均; (d) 爆发后第 6~10 天平均

风爆发前孟加拉湾东部已有较强上升运动, 中心值达到 -0.1 Pa/s , 但是南海地区垂直速度还比较弱, 其值不到 -0.03 Pa/s (图 9a、b)。伴随夏季风爆发, 南海地区大气垂直速度明显增加 (部分来自菲律宾及以东的较强上升区向西扩展), 中心强度 -0.09 Pa/s (图 9c、d)。

7 讨论和结论

本文用 NCAR/NCEP 的再分析资料 (1980~1996 年) 对南海夏季风爆发前后的大气环流变化进行了合成分析, 比较系统地揭示了南海夏季爆发的大气环流特征形势。其主要结果可归纳如下几点:

(1) 南海夏季风爆发所对应的大气环流演变在对流层低层最明显, 850 hPa 的流场

形势在夏季风爆发前后很不一样。控制南海的副热带高压脊(反气旋环流)迅速撤出南海,南海地区迅速为西南气流控制是南海夏季风爆发在 850 hPa 环流形势变化上的最重要特征。上述环流变化十分迅速,整个南海为西南气流控制仅需 1 天时间。

(2) 伴随南海夏季风爆发,850 hPa 异常流场的演变表明在南亚到西太平洋近赤道地区有两个涡旋对的活动;这种涡旋对与“气象赤道”呈对称并缓慢地向西移动,说明南海夏季风的爆发与赤道 Rossby 波的活动有一定关系。

(3) 南海夏季风爆发在对流层高层也有大气环流的明显变化,500 hPa 位势高度场形势的变化以控制南海的副高东撤为其主要特征,同时东亚大槽的减弱以及北太平洋低压槽的减弱东移也很清楚。200 hPa 位势场形势的改变是全球尺度特征,北半球高度增加而南半球高度减小。因此,全球大气环流由冬至夏的转换为南海夏季风爆发提供了背景。

(4) 伴随南海夏季风的爆发,南海地区的大气湿度场和垂直运动场也发生了极为明显的变化,南海夏季风的爆发直接与南海地区的明显增湿相联系,而且明显增湿要比夏季风爆发早 2~3 天;伴随南海夏季风的爆发,南海地区大气垂直上升运动也有明显增强。南海地区大气的增湿和上升运动的增强,来自孟加拉湾及西太平洋的影响都有重要作用。

(5) 近年来有研究将华南前汛期锋面降水视为南海夏季风降水,从而认为南海夏季风爆发是北部先于中部和南部^[9],但这是一个十分值得商榷的问题。首先,对于亚洲季风来讲,无论南亚夏季风还是东亚夏季风,其主要系统都包括跨赤道气流、西南气流和季风槽,它们是统一整体。西南气流和降水虽然是夏季风的重要标志,但必须同跨赤道气流相联系,而不能仅以某地出现西南气流和明显降水就认为夏季风爆发。从本文的分析也可以清楚地看到,在南海夏季风爆发前我国华南沿海已有西南气流,但这支西南气流基本上是由印度半岛的西北气流在孟加拉湾转向而成的;只有当南海夏季风爆发后,南海北部及华南的西南气流才是跨赤道的索马里急流转向通过孟加拉湾南部并与 105~120°E 地区的跨赤道气流汇合而成的。而且,大气湿度场和垂直运动场的分析也没有任何信号表明南海北部夏季风爆发要早于南海中部和南部。

(6) 近年已有研究指出,亚洲夏季风最早爆发在中印半岛西南部^[13]。本文的合成分析也表明,由跨赤道气流形成的系统性西南风最早出现在苏门答腊的北部(5月5日左右),同时在加里曼丹北部也有跨赤道气流。根据本文的逐日 850 hPa 流场图并联系湿度场和垂直运动场的变化,可以将 6 月之前亚洲夏季风爆发日期用图 10 表示。它可作为文献[4]的一种补充。

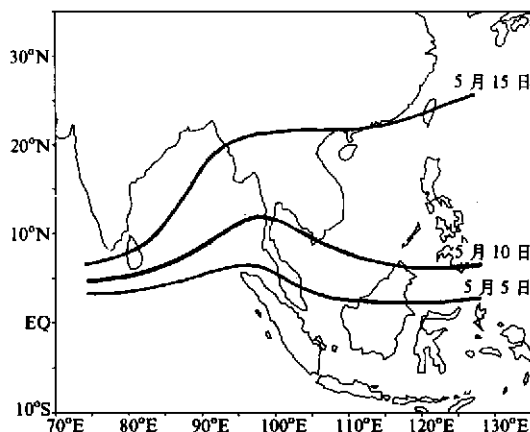


图 10 6 月之前亚洲夏季风建立日期示意图

参 考 文 献

- 690, 1995.
- 2 李崇银、陈于湘、袁重光, El Niño事件发生的一个重要原因——东亚寒潮的频繁活动, 大气科学(特刊), 1988, 125~132.
- 3 Webster, P. J. and S. Yang, Monsoon and ENSO: selectively interaction system, *Quat. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1992, 118, 877~926.
- 4 Tao Shiyun and Chen Longxun, 1987, A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China, in: *Monsoon Meteorology*, Chang C. P. and Krishnamurti T. N. Eds., Oxford University Press, 1987, 60~92.
- 5 金祖辉、陈隆勋, 夏季东亚季风系统的中期变化及与印度季风系统的相互关系, 全国热带夏季风学术会议文集, 昆明: 云南人民出版社, 1983, 204~217.
- 6 Zhu Qiangen, He Jinhai and Wang Panxing, A study of circulation differences between East Asian and Indian summer monsoons with their interaction, *Adv. Atmos. Sci.*, 1986, 3, 466~477.
- 7 谢安、张振州, 南海夏季风的推进, 气象学报, 1994, 52, 374~377.
- 8 刘霞、谢安、叶谦等, 南海夏季风爆发的气候特征, 热带气象学报, 1998, 14, 28~37.
- 9 Yan Junyue, Observational study on the onset of the South China Sea southwest Monsoon, *Adv. Atmos. Sci.*, 1997, 14, 275~287.
- 10 李崇银、张利平, 南海夏季风活动及其影响, 大气科学, 1999, 23(3), 257~266.
- 11 何金海、朱乾根、M. Murakami, TBB资料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.
- 12 金祖辉、M. Murakami, 东亚季风对流活动的年际变异及与江淮地区旱涝关系的研究, 亚洲季风研究的新进展, 北京: 气象出版社, 1996, 88~97.
- 13 Matsumoto, J., Climatological onset and withdrawal of summer rainy season over the Indochina Peninsula, International Workshop on the climate system of Monsoon Asia, 25~29, Dec. 3~7, 1996, Kyoto, Japan.

Large Scale Atmospheric Circulation Evolutions Associated with Summer Monsoon Onset in the South China Sea

Li Chongyin and Qu Xin

(State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics,
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract Mainly by using NCEP / NCAR reanalysis data (1980~1996), the large scale atmospheric circulation evolutions associated with summer monsoon onset in the South China Sea are studied based on the composite analyses corresponding to the onset dates. The results clearly show that there are very evident variations of the atmospheric circulation (especially in South Asia and Southeast Asia) associated with the summer monsoon onset in the South China Sea, such as the wind field in the lower troposphere, the geopotential height field in the upper troposphere, the humidity and vertical velocity fields in South Asia and Southeast Asia. The development and activity of the vortex pair at 850 hPa in South Asia and Southeast Asia regions and the withdrawal eastwards of the subtropical high from the South China Sea play an important role in the onset of summer monsoon in the South China Sea. There are also evident increases of the integrated humidity and vertical velocity at 500 hPa in the Bay of Bengal to the South China Sea area associated with the outbreak of summer monsoon in the South China Sea region. The atmospheric circulation evolutions show that the onset of summer monsoon in the South China Sea region is a part of global circulation evolution from winter to summer and also it has regional abnormal feature. It is still indicated that the onset of summer monsoon in the northern South China Sea is not earlier than that in the southern South China Sea. The schematic diagram on the onset dates of the Asian summer monsoon before June is also shown.

Key words: South China Sea; summer monsoon; outbreak (onset); atmospheric circulation evolution