

南海夏季风爆发与大气对流低频振荡的年际变化

何有海 彭楚明 关翠华 林锡贵 王东晓

(中国科学院南海海洋研究所, 广州 510301)

摘 要 根据 1980~1991 年云顶黑体温度 (TBB) 相位和强度的变化确定了南海夏季风爆发的时间, 分析研究了夏季风爆发期间 TBB 场和 850 hPa 风场的变化过程及其与海温的关系。结果表明: 南海夏季风爆发平均时间是 5 月第 4 候, 它爆发的时间和强度有显著的年际变化, 并与大气的低频振荡及前期海洋的热力状况有密切关系。南海夏季风爆发早年 (4 月第 6 候), 副热带高压较弱, 撤离南海较快, 从赤道东印度洋到赤道西太平洋, 大气对流活动较强, 夏季风爆发南海早于孟加拉湾, 季风爆发时 90~100°E 区域过赤道气流显著加强。夏季风爆发晚年 (6 月第 1 候) 情况相反。南海夏季风爆发早晚与大气 30~60 天振荡到达南海的位相有关, 前冬和早春南海海温的高低和 4 月中旬至 5 月中南半岛强对流区的出现时间, 是南海夏季风爆发年际变化的前期征兆。根据前冬南海海温预测 1998 年南海夏季风爆发的时间和强度与实际相符。

关键词: 夏季风爆发; 对流活动; 低频振荡; 海温; 年际变化

1 前言

南海夏季风爆发是东亚季节转变和雨季来临的标志, 对我国东部夏季降水量有重要影响。西南气流在南海地区建立, 大气低层吹西南风, 高层吹东北风, 大气对流活动加强和大气热源中心在南海上空形成等是南海夏季风爆发的基本特征。南海水文气象调查的观测事实表明, 西南季风潮的到来往往伴有强降水。自 80 年代以来已有许多作者利用风场和降水或 OLR 和云顶黑体温度 (TBB) 研究夏季风^[1~6]。然而海洋上风 and 降水实测资料稀缺, 给研究工作带来困难。热带降水主要是对流性降水, OLR 和 TBB 能较好地表示大气散度场和对流活动状况, 且 TBB 资料分辨率较高。因此, 本文主要用 1980~1991 年 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格候平均 TBB 以及 850 hPa 风场资料, 讨论南海夏季风爆发期间大气低频振荡过程及其年际变化特征, 同时研究了季风爆发与海温的关系。

2 南海夏季风的爆发时间

大气季节内振荡对华北和江淮流域汛期雨量影响显著^[7,8]。南海地区海气系统季节

1998-12-29 收到, 2000-03-13 收到再改稿

* 本研究得到中国科学院“九五”重大应用基础研究项目 KZ951-A1-203、国家自然科学基金资助项目 49875015、国家重点基础研究发展规划项目 (G199043806) 和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的资助

内振荡与夏季风爆发关系尚待研究。我们的初步分析表明,南海夏季风爆发和变化与表征对流活动的 TBB 强度变化有关,因此可用 TBB 的 30~60 天振荡强度和负相位在南海的出现时间来确定各年南海夏季风爆发的时间。本文采用二阶 Butterworth^[9]带通滤波器,对各网格点上 TBB 距平序列进行 30~60 天低频滤波,结果较好地反映了 4~6 月南海夏季风爆发期间大气对流活动强度的变化,现仅以 1980、1985、1987 和 1991 年为例进行说明。图 1a、b、c、d 分别是上述 4 年 TBB 距平 6~12 候带通滤波的纬度-时间剖面图(110~120°E 平均)。图 1a 显示 1980 年 TBB 距平 30~60 天带通滤波场 5 月 1~2 候之间在 15°N 附近发生突变,一候之间 TBB 距平由 4 K 降至 -4 K,再过一候出现了 -10 K 负距平中心,此后强对流云带向北传播,6 月初到达长江流域。6 月中旬南海又有强对流发生,7 月初向北传到长江流域。1984、1985 年南海地区大气强对流活动开始较早,4 月第 6 候出现了 ≤ -8 K 的 TBB 负距平,但是这两次大气强对流活动的来源不完全相同。1984 年 4 月下旬的强对流活动(≤ 270 K)主要来自华南以北,它在向南传播的过程中强度加强,于 4 月第 6 候到达南海 15°N 附近的区域出现了 ≤ -8 K 的 TBB 距平中心。1985 年 4 月中旬末有 TBB 负距平分别从赤道和华南地区向南海地区传播(图 1b),其中由赤道地区向北传播的大气对流活动强度较强(TBB 距平 ≤ -4 K),并在向南海地区传播的过程中强度加强,出现了 ≤ -8 K 的 TBB 距平中心,于第 6 候到达 15°N 附近的区域。与 1980 年 5 月的情况不同,1984 和 1985 年 4 月南海地区出现较强 TBB 负距平以后,它并没有直接向南海以北传播。图 1c 显示 1987

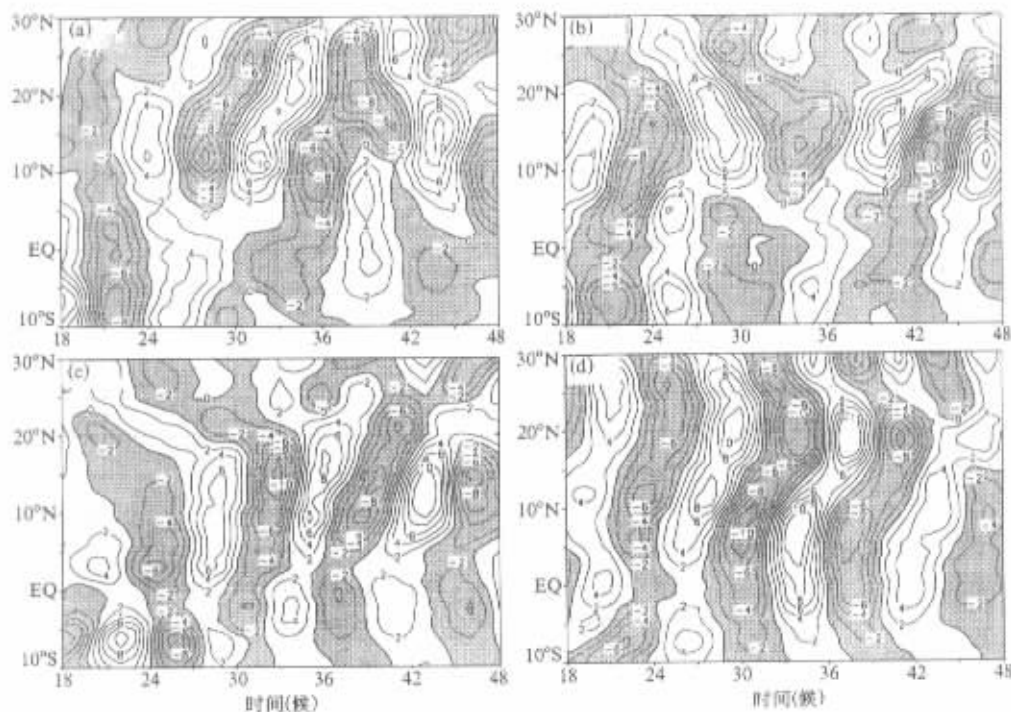


图 1 TBB 6~12 候带通滤波的纬度-时间剖面图(110~120°E 平均)

阴影部分为负值

(a) 1980 年; (b) 1985 年; (c) 1987 年; (d) 1991 年

年 5 月底至 6 月初有 TBB 负距平分别从华南和赤道以南传入南海, 大气对流活动在到达南海以后强度加强, 6 月初南海上空 TBB 距平达到 -8 K 以下。图 1d 表明 1991 年 6 月初有 TBB 负距平跨过赤道进入南海, 在向北传播的过程中对流活动加强, 在南海南部上空出现了 -10 K 的 TBB 距平, 在 $10\sim 15^{\circ}\text{N}$ 之间对流活动有所减弱, 在继续向北传播的过程中与来自华南的强大气对流活动在南海北部相遇, 对流活动再次加强, TBB 距平达到 -10 K 以下。

据上述分析, 以 4 月中旬至 6 月中旬南海 TBB 距平 6~12 候带通滤波场负相位到达南海上空, 且 TBB 距平 $\leq -8\text{ K}$ 出现的时间(候) 定为南海夏季风的爆发时间, 结果列于表 1。表中还给出 TBB 30~60 天振荡的来源, 以 TBB 负距平表示的振荡强度和变化。由表看出, 与南海夏季风的爆发有关的大气对流活动 30~60 天振荡来自华南和(或) 赤道地区较多(12 年中占 10 年); 夏季风的爆发与这种振荡到达南海地区时强度明显增强有密切关系; 各年季风爆发时间不同, 平均为 5 月 4 候, 与已有结果基本一致; 80 年代后期大气对流活动较前期强。值得注意的是在 ENSO 事件发生的次年(如 1983、1987 和 1991 年) 南海夏季风爆发时间偏晚, 这与 ENSO 事件发生以后西太平洋副热带高压加强西伸以及西太平洋暖池区对流较弱有关^[10]。

表 1 南海夏季风爆发期间大气的低频振荡特征

年份	爆发时间	振荡来源	振荡强度 ($\leq\text{ K}$)	强度变化
1980	5 月第 2 候	中部自生	-8	增强不明显
1981	5 月第 4 候	南海南北	-10	增强
1982	5 月第 5 候	北部自生	-8	增强不明显
1983	6 月第 1 候	南海以北	-8	增强明显
1984	4 月第 6 候	南海以北	-8	增强明显
1985	4 月第 6 候	南海南北	-8	增强明显
1986	5 月第 2 候	南海南北	-10	增强明显
1987	6 月第 1 候	南海南北	-10	增强明显
1988	5 月第 4 候	南海以北	-14	增强明显
1989	5 月第 3 候	赤道地区	-10	增强明显
1990	5 月第 2 候	南海南北	-8	增强明显
1991	6 月第 1 候	南海南北	-10	增强明显

3 夏季风爆发的年际变化特征

在 12 年中, 1984 和 1985 年南海夏季风爆发最早, 在 4 月第 6 候, 是季风爆发早年; 1983、1987、1991 等 3 年南海夏季风爆发最晚, 在 6 月第 1 候, 是季风爆发晚年。下面以此为依据对季风爆发早晚年的海气状况进行分析讨论。

3.1 大气低层(850 hPa) 风场的变化

图 2 是用 NCEP/NCAR 再分析资料绘制的南海夏季风爆发早晚年 850 hPa 候平均风场图。春末夏初夏季风爆发之前南海地区常受西太平洋(南海) 副热带高压影响, 大气中、低层主要吹偏东风, 高层吹西风。由图可见, 在夏季风爆发之前(4 月第 5 候) 副热带高压减弱, 夏季风爆发时副热带高压撤出南海, 大气低层转吹南-西南风,

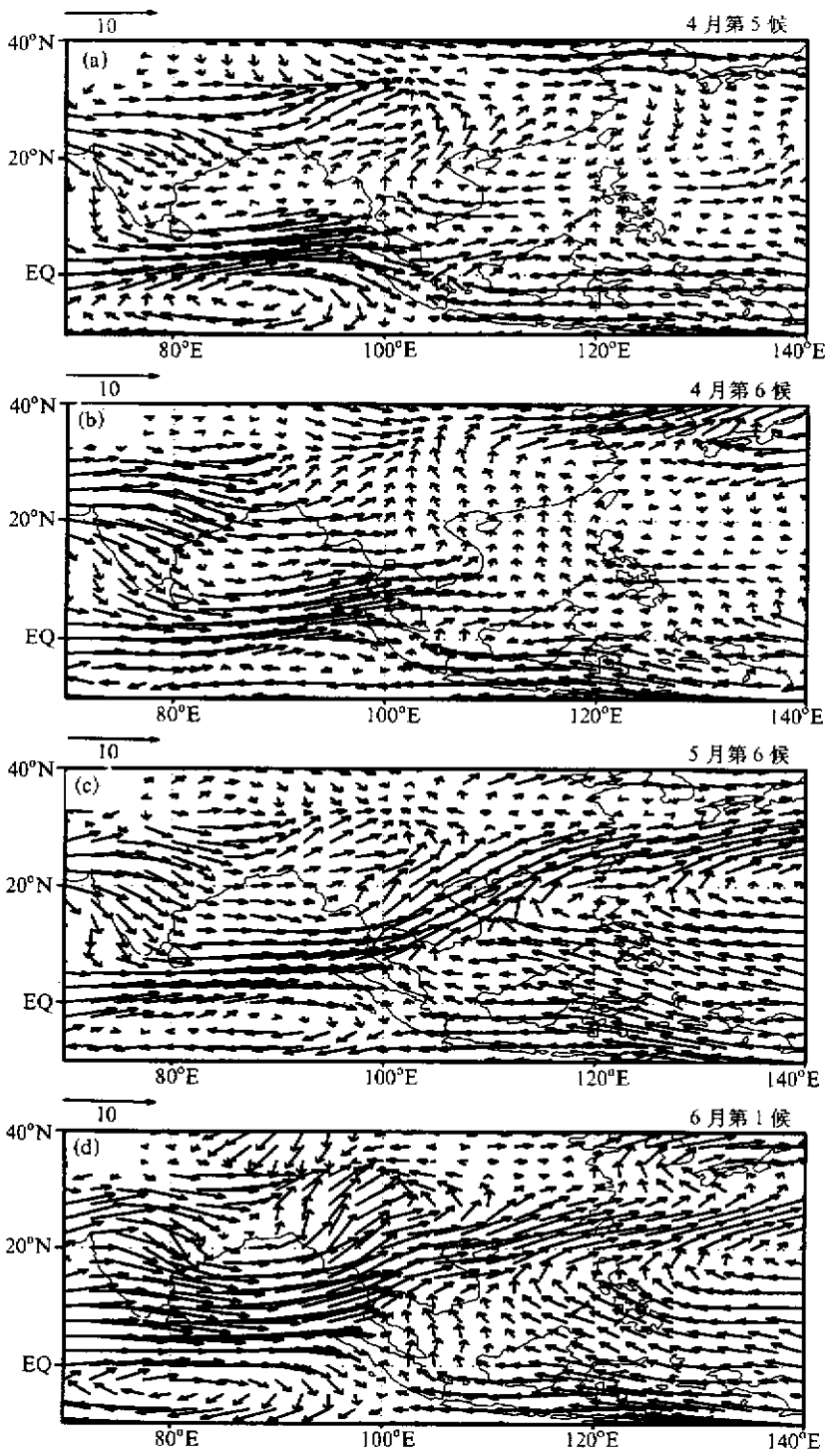


图2 季风爆发时及其前一候 850 hPa 候平均风场
(a)、(b) 早年; (c)、(d) 晚年

但是夏季风爆发早年和晚年 850 hPa 风场的变化有显著的差别。夏季风爆发早年副热带高压撤离南海上空较快, 从赤道印度洋到南海南部吹较强的偏西风, 南海北部吹偏南风。夏季风爆发晚年, 副热带高压撤离南海上空较慢, 从孟加拉湾到南海北部吹较强的偏西风, 南海南部吹偏南风。图 3 是南海夏季风爆发早晚年 850 hPa 候平均风场的偏差图, 是根据季风爆发时的候平均风与其前一候的差值绘制。由图可见, 无论季风爆发早晚, 季风爆发时孟加拉湾的西风都显著加强; 南海季风爆发早年, 从孟加拉湾到南海西风气流比较平直, 且与其上游西风带的加强有关; 南海季风爆发晚年, 孟加拉湾气旋环流加强, 西风气流的加强与索马里急流有关; 南海季风爆发早年, 赤道东印度洋和菲律宾东南方气旋环流加强, 过赤道气流在 90~100°E 之间显著加强; 南海季风爆发晚年, 赤道东印度洋反气旋环流加强, 过赤道气流加强主要发生在索马里急流区域以及 100~110°E 之间。

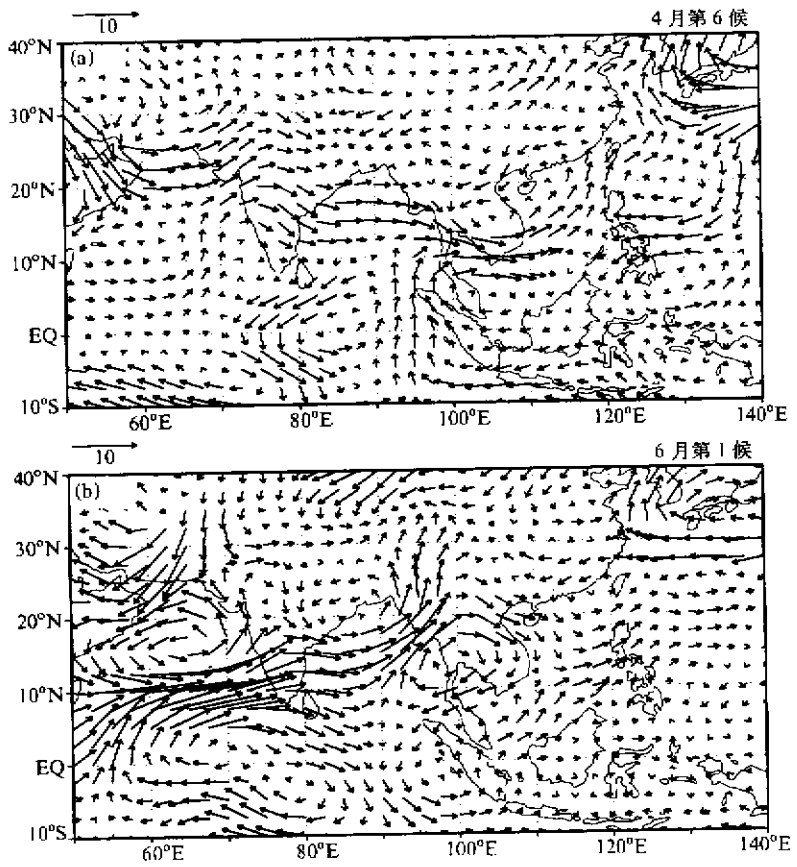


图 3 季风爆发时与其前一候 850 hPa 候平均风场偏差
(a) 早年; (b) 晚年

3.2 TBB 的分布和变化

图 4 和图 5 分别是季风爆发早年 4 月第 3 候至第 6 候和季风爆发晚年 5 月第 4 候至 6 月第 1 候 TBB 合成分布。图中阴影部分 ($TBB \leq 270$ K) 代表大气对流活动较强区,

TBB 的 280 K 等值线与副热带高压的范围基本一致 (图略)。如以 $TBB \geq 290$ K 和 $TBB \geq 280$ K 高值区分别代表副热带高压的强度和影响范围, 则可看出南海强对流的爆发时间与 TBB 高值区 (西太平洋副热带高压) 在南海的活动密切相关。季风爆发早年, 4 月第 4 候 290 K 线在南海上空消失, 副热带高压迅速减弱, 强对流区扩大, 中南半岛有强对流 ($TBB \leq 270$ K) 出现, 赤道东印度洋和赤道西太平洋大气对流活动显著增强。TBB 下降了 10~20 K, 分别出现了 $TBB \leq 240$ K 和 ≤ 260 K 的强对流区; 往后西太平洋副热带高压继续减弱, 向东收缩, 而南亚高压依然较强, 至第 6 候 $TBB \geq 280$ K 区主要存在孟加拉湾和菲律宾以东的洋面上, 中南半岛对流加强, 南海北部和西部有强对流发展, 南海夏季风开始爆发; 南海地区夏季风爆发早于孟加拉湾。而季风爆发晚年, 至 5 月第 4 候从孟加拉湾经南海到热带西太平洋依然有大片 $TBB \geq 280$ K 的高值区, 与季风爆发早年 (4 月第 3 候) 相比, 赤道地区大气对流活动较弱, 范围也较小; 往后, 副热带高压减弱, 大气对流活动加强, 这种状况在孟加拉湾发展较快, 至 5 月第 6 候从赤道印度洋至孟加拉湾东部到南海西南部出现了强对流, 这个强对流区迅速扩张覆盖了整个孟加拉湾至南海西北部; 但这种状况在南海-西太平洋地区发展较慢, 至 6 月初 $TBB \geq 280$ K 高值区依然覆盖在赤道西太平洋上, 所以南海夏季风爆发受孟加拉湾季风爆发的影响较显著。因此南海夏季风爆发晚年西太平洋副热带高压较强, 东撤较晚, 大气对流活动的 30~60 天振荡较弱。上述现象与风场分布的变化相一致。还须指出, 无论南海夏季风爆发早晚, 南海夏季风爆发前两候中南半岛首先有强对流

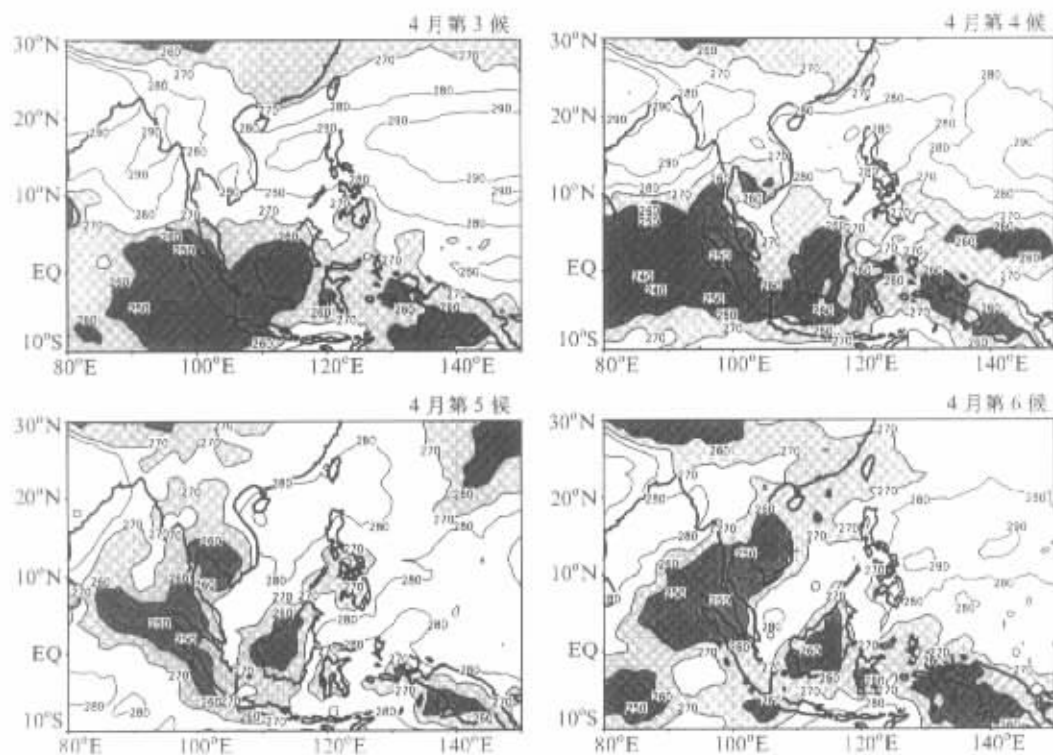


图 4 季风爆发早年 4 月第 3 候至第 6 候 TBB 合成分布
等值线间隔为 10 K。阴影部分 $TBB \leq 270$ K

($TBB \leq 270 \text{ K}$) 出现, 与 OLR 的结果一致^[5]。

3.3 大气对流活动的纬向传播特征

图 6 是季风爆发早 (a) 晚 (b) 年 TBB 距平带通滤波场沿 $8 \sim 10^\circ \text{N}$ 的经度-时间剖面图。由图可见, 无论季风爆发早晚都有大气低频振动从热带印度洋和西太平洋分别

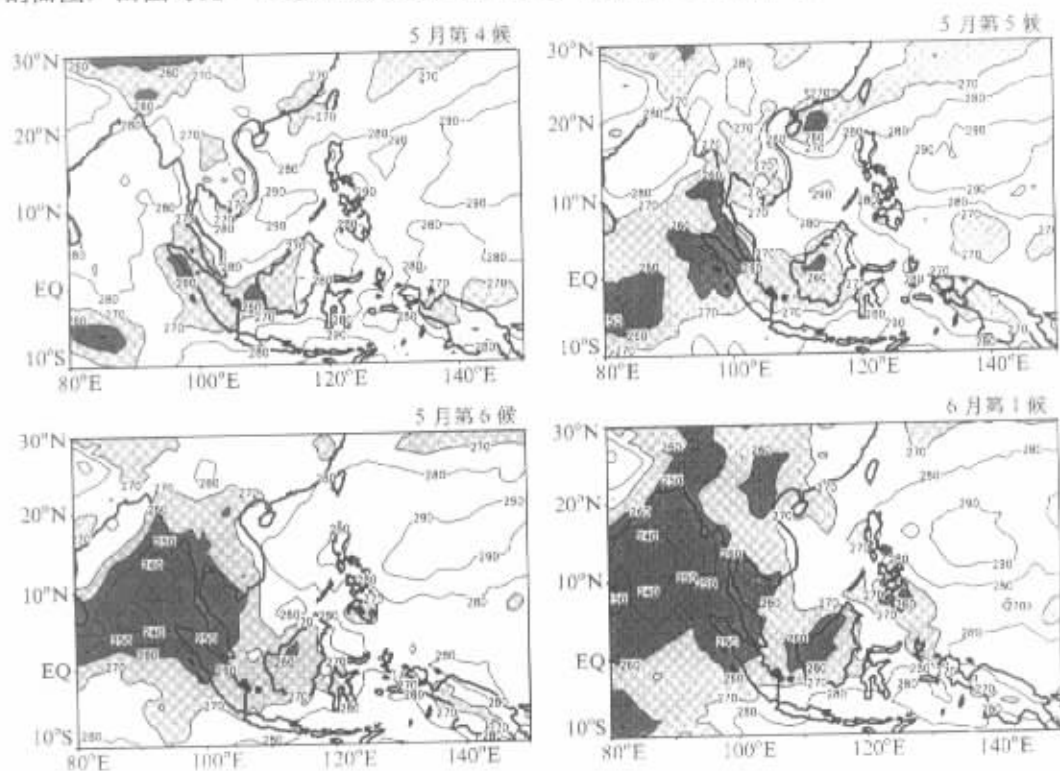


图5 季风爆发晚年5月第4候至6月第1候 TBB 合成分布
等值线间隔为 10 K, 阴影部分 $TBB \leq 270 \text{ K}$

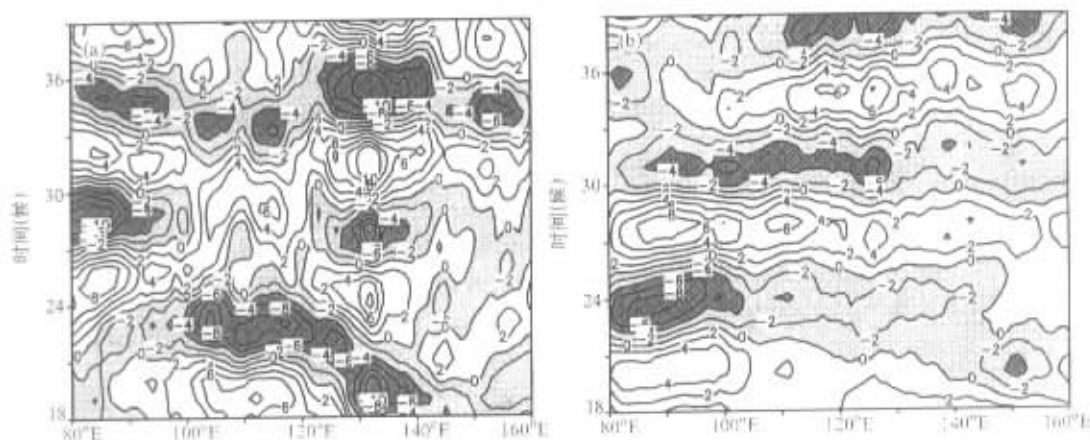


图6 季风爆发早 (a) 晚 (b) 年 TBB 距平带通滤波场沿 $8 \sim 10^\circ \text{N}$ 的经度-时间剖面图
等值线间隔为 2 K, 阴影部分为负值

向东、向西传播进入南海。季风爆发早年, 4 月中、下旬即有对流活动自东、西两面向南海地区传播, 其中来自热带西太平洋的对流活动较强, 传播速度较慢, 当它们到达南海地区时, 强度加强, 因此南海地区大气低频振荡较强。季风爆发晚年, 来自热带太平洋对流活动较弱, 传播速度较快, 因而南海地区大气低频振荡也较弱。比较图 6a 和 b 还可看到, 季风爆发早(晚)年同一时期南海和西太平洋地区大气低频振荡的相位有显著差别, 季风爆发早年与晚年大气低频振荡的相位基本相反。

3.4 前期海温的分布特征

图 7 是季风爆发早晚年 1 月 $80^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 热带海域的 SST 距平分布。由图可见, 南海与西太暖池 SST 的年际变化呈反相位, 季风爆发早年从印度洋东北部经南海到台湾以东洋面 SST 为负距平, 西太平洋暖池 SST 为正距平; 而夏季季风爆发晚年却相反, 从印度洋东北部经南海到台湾以东洋面 SST 为正距平, 西太平洋暖池 SST 为负距平; 这种状态可持续 3~4 个月(图略)。图 8 是夏季季风爆发早(虚线)晚(实线)年 1~36 候西沙 SST 曲线。由图可以看出, 夏季季风爆发早年 4 月份西沙 SST 海温升高较快, 到 4

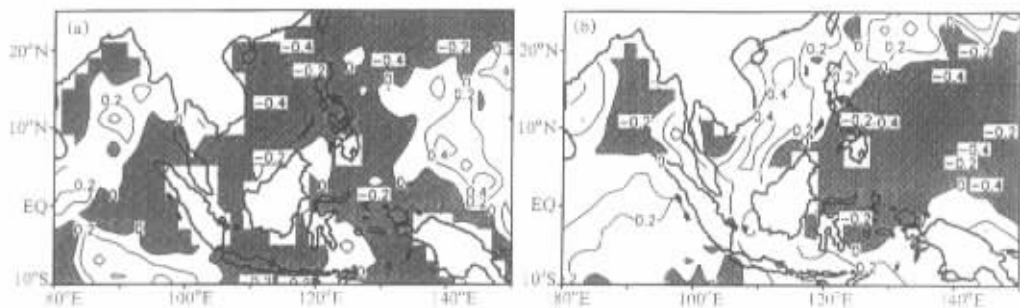


图 7 季风爆发早(a)晚(b)年 1 月 $80^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{E}$ 热带海域的 SST 距平分布
等值线间隔为 0.2°C , 阴影部分为负值

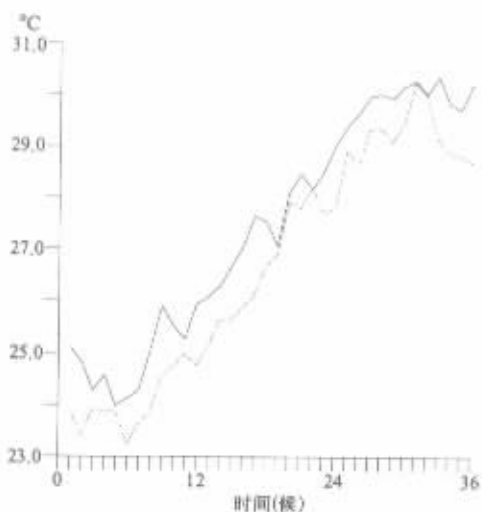


图 8 夏季季风爆发早(虚线)晚(实线)年 1~36 候西沙 SST 曲线

月中、下旬季风爆发早晚年的海温差异已不明显。但是, 夏季季风爆发晚年的晚冬和初春期间(1~3 月), 南海海温偏高。这与该时期副热带高压加强西伸进入南海以及入侵南海的冷空气较弱有关^[10]。研究表明, 冬季南海海温偏高, 春末夏初西太平洋副热带高压(南海高压)偏强^[10,11], 南海地区为下沉气流控制, 不利于大气对流活动的发展; 而且南海海温偏高年西太平洋暖池海温偏低, 热带西太平洋地区大气对流较弱, 西传进入南海地区的对流活动也较弱, 因此不利于大气对流发展。南海夏季季风爆发较晚。所以, 南海夏季季风爆发的时间和强度也与南海及其周围海域海洋的热力状况有密切关系。

4 结果和讨论

本文用 1980~1991 年的 TBB 资料, 根据 4~6 月 TBB 30~60 天带通滤波的相位变化和强度, 确定南海夏季风的爆发时间, 同时分析了大气对流、850 hPa 候平均风场和海温的变化特征。结果如下:

(1) 南海夏季风爆发时间有显著的年际变化。夏季风爆发与 TBB 高值区(西太平洋副热带高压)撤出南海的时间以及大气对流活动的低频振荡向南海地区传播的特征有密切关系。夏季风爆发早年, 大气对流活动较强, 其中来自西太平洋暖池的大气强对流尤为显著, 南海夏季风爆发早于孟加拉湾。夏季风爆发晚年情况相反。无论南海夏季风爆发早晚, 在它爆发之前, 中南半岛首先有强对流产生, 南海夏季风爆发早年, 中南半岛的强对流出现也早。

(2) 南海夏季风爆发时间的年际变化与前期海洋的热力状况有密切关系。1~3 月南海及其周围海域海温偏低, 当年夏季风爆发偏早; 反之, 当年夏季风爆发偏晚。据此我们提前两个季度预测 1998 年南海夏季风爆发时间偏晚和强度偏弱。实况是 1998 年南海夏季风 5 月第 5 候爆发, 强度偏弱, 副热带高压位置偏南, 8 月锋面仍在长江流域徘徊, 长江流域多雨, 而华北、华南少雨, 与 1991 年的情形有相似之处。当然南海夏季风的预测是一个复杂的问题, 还有待继续进行研究。

(3) 夏季风爆发时南海地区转吹南-西南风。850 hPa 的候平均风场偏差表明南海夏季风爆发早年, 90~100°E 越赤道气流显著加强; 南海夏季风爆发晚年, 100~110°E 以及索马里地区越赤道气流较强。由于资料所限, 这一点还有待进一步证实。

致谢: 李崇银教授提出宝贵意见, 谨致以衷心的感谢。

参 考 文 献

- 1 嵇建华、罗会邦, 1981年初夏东南亚地区大气热源结构及其对经向环流的影响, 热带气象, 1986, 2(2), 99~108.
- 2 Tao Shiyun and Chen Longxun, A review of recent research on the east Asian summer monsoon in China, *Monsoon Meteorology*, C. P. Chang and T. N. Krishnamurti, Eds., Oxford University Press, 1987, 60~69.
- 3 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.
- 4 谢安、张振洲, 南海夏季风的推进, 气象学报, 1994, 52(3), 374~378.
- 5 谢安、刘霞、叶谦, 南海夏季风爆发的气候特征, 亚洲季风研究的新进展, 何金海等主编, 北京: 气象出版社, 1996, 132~142.
- 6 陈隆勋、宋毅、村上胜人, 夏季风爆发时期对流云团的变化特征, 亚洲季风研究的新进展, 何金海等主编, 北京: 气象出版社, 1996, 54~64.
- 7 李崇银, 华北地区汛期降水的一个分析研究, 气象学报, 1992, 50, 41~49.
- 8 金祖辉、村上胜人, 东亚季风区对流活动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, 何金海等主编, 北京: 气象出版社, 1996, 88~97.
- 9 Masato Murakami, Large-scale aspects of deep convective activity over the GATE area, *Mon. Wea. Rev.*, 1979, 107, 994~1013.
- 10 何有海、关翠华、甘子钧, 南海南部海洋上层的热振荡, 海洋学报, 1992, 14 (3), 19~28.
- 11 何有海、关翠华, 华南前汛期降水低频振动初步分析, 灾害性气候的过程和诊断, 黄荣辉等主编, 北京: 气

象出版社, 1996, 217~224.

Interannual Variations of the Onset of the South China Sea Summer Monsoon and Low-Frequency Oscillation of Convective Activities in the Atmosphere

He Youhai, Peng Chuming, Guan Cuihua, Lin Xigui and Wang Dongxiao

(South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301)

Abstract The onset time of the South China Sea Summer Monsoon (SCSSM) is defined by the changes in phase and strength of temperatures of block body (TBB) at cloud top, and the process of change of TBB and wind field at 850 hPa, as well as its association with sea surface temperatures during SCSSM onset time is analysed. The main results are as follows. The mean onset time of SCSSM is the fourth pentad of May for the period of 1980 to 1991. There exists a significant interannual variation in the onset time and strength of SCSSM which is closely related to low-frequency oscillation of the atmosphere and the heat states of ocean before the SCSSM onset time. In the years of early onset of SCSSM (the sixth pentad of April) deep convective activities are observed over the region from the eastern equatorial Indian ocean to the western equatorial Pacific ocean, in association with the fast eastwards retreat of the weak western Pacific subtropical high, and the onset time of summer monsoon is earlier over the South China Sea than over the Bay of Bengal. The stronger cross-equatorial flow over the 90~100°E region during the onset time is observed, and vice versa in the years of late onset of SCSSM (the first pentad of June). The onset time of SCSSM is associated with the phase of 30~60 day oscillation of atmosphere arriving over SCS. High or low SST of SCS during the prior winter and early spring and the time of the strongly convective weather occurrence over the Indo-China from middle of April to May are indicators of interannual variations of onset of SCSSM. Prediction of the onset of 1998' SCSSM based on SST during the prior period in SCS is consistent with the fact.

Key words: summer monsoon onset; convection activities; low-frequency oscillation; sea surface temperature; interannual variation