

南海夏季风爆发机制的数值实验研究*

朱乾根 徐国强

(南京气象学院, 南京 210044)

摘 要 通过 3 个数值实验和对 1998 年及 1996 年南海夏季风爆发的对比分析以及多年资料统计研究发现, 南海夏季风何时爆发与南海局部地区的海温高低和南海经度上南北海温差异的大小关系不密切, 主要决定于南海及其周围大范围地区的环流形势。南海季风爆发前 10 天内, 其环流特征是低层 850 hPa 上, 西太平洋副热带高压脊经菲律宾西伸控制南海, 南亚至东南亚为宽广的低槽区所控制, 高空 200 hPa 上, 南亚高压位于阿拉伯海至南海一带, 中心位于孟加拉湾东侧和中南半岛西侧的低纬地区, 广大北方为西风气流所控制。

关键词: 数值实验; 南海夏季风; 海温; 环流

1 引言

关于南海夏季风爆发机制历来存在不同的观点。一种观点强调了南北半球大尺度大气热源的热力差异和亚洲大陆与其周围海洋的热力差异对大范围环流的影响, 进而影响南海夏季风的爆发。丁一汇等^[1]指出, 与孟加拉湾和南海—太平洋热源相对应的冷源中心分别位于南半球的非洲马达加斯加和澳大利亚地区, 前者是印度季风的主要驱动因子, 后者驱动了东亚季风系统。陶诗言等^[2]发现南半球的寒潮过程有利于南海夏季风的中期变化和季节变化进程。何金海等^[3]通过数值实验证实了南半球冷涌对北半球夏季风的作用, 杨修群和黄土松^[4]的数值实验证明马斯克林高压变化后, 东亚也会发生相应的环流变化。陈隆勋等^[5]强调了赤道 125°E 处越赤道气流对南海季风的作用。朱乾根、胡江林^[6]和胡江林、朱乾根^[7]则强调了青藏高原大地形及其感热和潜热热源对东亚季风形成的作用。贺海晏等^[8]发现, 伴随着南海夏季风的爆发, 大气环流经历了由春到夏的第 1 次突变。Matsumoto^[9]发现, 伴随南海夏季风的爆发, 中南半岛的高压反气旋突然向东北方向移动, 低层副热带高压突然东撤。朱乾根、何金海^[10]和何金海、朱乾根^[11]发现, 赤道 TBB 南海经度上低值带的突然北进与南海夏季风的突然爆发是一致的。以上的研究都着眼于外部环境和大气环流变化对南海夏季风爆发的作用。但也有作者着眼于南海及其附近局地海温变化的作用。He 等^[12]发现, 南海 0~100 m 水层月平均海温在 3~4 月存在一个海温暖中心, 中心数值为 23°C, 到 5~6 月迅速增加到 27°C 可以促进南海夏季风的爆发。郭品文^[13]指出, 在季节转换的晚期阶段, 在南海经度上气压场呈现北低南高的分布, 湿湿场则呈现出北高南低的分布, 但 ITCZ 仍位于赤道附近, 这可能表明, ITCZ 向南海地区的北跳不但与这种南海地区局地条件的建立有关, 而且和整个大尺度的环流型有关, 一旦大尺度环流形势发生变化, 南海夏季风即发生全面爆发。

但这只是一种推测, 究竟哪一种因子重要, 尚需提出更充分的论据。为此, 本文拟通过数值实验的方法对此问题进行研究。

2 数值实验方案的设计

根据上面的讨论, 本文提出如下问题: 南海夏季风爆发究竟是取决于周围大尺度大气环流的变化, 还是取决于南海海温的升高和经向海温梯度的增强, 如果两者不一致, 究竟以哪一因素最为重要? 我们根据这一问题设计了 3 个数值实验方案。

实验 1: 采用 NCEP 1998 年 5 月的逐日大气资料作为模式的初始场和边界条件, 取 NCEP 1998 年 5 月的 OISST 逐日资料作为下边界的热力强迫。1998 年南海夏季风爆发于 5 月 22 日, 平均海温最高值出现于 5 月 21 日左右。

实验 2: 采用 NCEP 1996 年 5 月的逐日大气资料作为模式的初始场和边界条件, 海温所用资料同实验 1。1996 年南海夏季风爆发较早, 在 5 月 7 日左右爆发。

实验 3: 采用 NCEP 1998 年 5 月的逐日大气资料作为模式的初始场和边界条件, 而以 1998 年 5 月 10 日~6 月 9 日的海温作为模式实验的海温序列。这意味着相对于大气资料, 海温资料提早了 10 天, 亦即相对于模式大气, 最高海温提前出现于 5 月 11 日左右。

数值实验所采用的模式是 RegCM2, 模式范围是 ($10^{\circ}\text{S}\sim 30^{\circ}\text{N}$, $90\sim 140^{\circ}\text{E}$)。这一范围包括赤道以南的部分地区, 其目的是考察越赤道气流的作用。

3 1998 年南海夏季风爆发特征及其模拟

1998 年南海夏季风的爆发时间存在两种不同的意见。一是认为于 5 月第 5 候爆发于南海南部, 随后向北推进; 另一是认为是 5 月中旬爆发于南海北部, 然后向南推进。

图 1a 是 1998 年 5 月 115°E 850 hPa 纬向风的时间-纬度剖面图。由图可以清楚地看出, 较强的纬向西风在 5 月初开始发生于中国江南地区 ($25\sim 30^{\circ}\text{N}$), 然后逐日向南传播, 5 月中旬到达南海北部, 5 月 22 日扩展到 10°N 以南地区, 南海夏季风全面爆发。但这并不意味着南海热带夏季风是由北向南爆发的, 实际上从江南开始发生的强西风是副热带夏季风, 热带夏季风 (偏西风) 于 5 月 22 日前后爆发于低纬 5°N 左右, 然后向北传播, 两者于 5 月 27 日交汇于 14°N 左右。关于副热带夏季风的爆发和传播问题将另文研究, 这里不予讨论。

图 2 为 1998 年南海热带夏季风爆发前后的 850 hPa 5 天平均流场。由图 2a 可以看到, 从孟加拉湾经中南半岛、南海北部至华南为一致的 SW 气流, 但南海南部仍为副高西南侧的 SE 气流所控制, 南海热带夏季风尚未爆发。南海热带夏季风爆发后 (图 2b), 副热带高压脊已向东退出南海, 整个南海为 SW 和 W 风所控制。南海南部的 SW 气流主要来自 105°E 附近的越赤道气流, 这与陈于湘^[14]指出的南海越赤道气流的主要通道是一致的。而北部的偏西气流则主要来自孟加拉湾。图 3a 为 1998 年 5 月 115°E 上空 200 hPa 纬向风的时间-纬度剖面, 由图可见, 在 5 月 22 日之前, 中纬西风带西风一直伸到 15°N 以南地区, 5 月中旬虽然在 15°N 以北一度出现东风, 但很快消失,

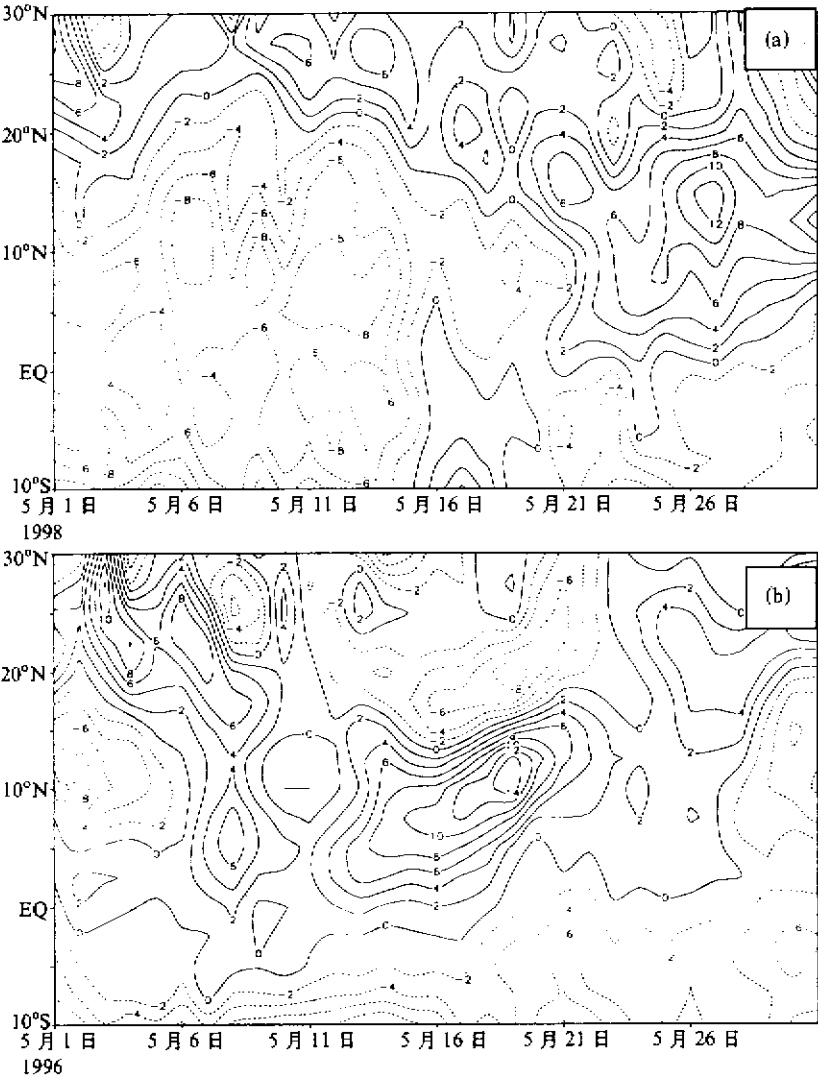


图 1 115°E 850 hPa 纬向风的时间-纬度剖面
(a) 1998 年; (b) 1996 年。单位: m / s

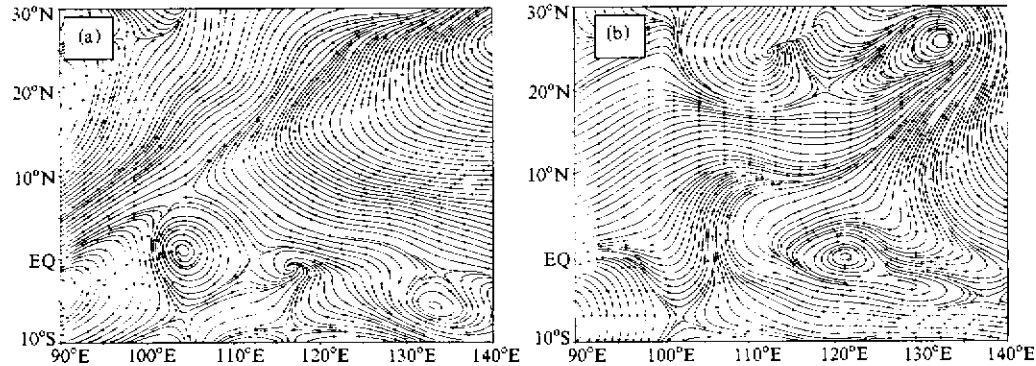


图 2 1998 年南海热带夏季风爆发前 (a)、后 (b) 850 hPa 的 5 天平均流场

5月22日后, 低纬东风一直扩展到 15°N 以北并较持久稳定。这意味着在低层南海热带夏季风爆发后, 高空环流也发生了转变。南海热带夏季风爆发前后, 南海 SST 也发生了显著变化。由图 4a 可见, 1998 年在南海夏季风爆发前, 南海 SST 较低, 但从 5 月初开始 SST 不断上升, 至爆发的前夕达到了 30.5°C , 以后一直维持较高的温度。由图还可发现, 南海以南的赤道和南半球低纬 ($15^{\circ}\text{S}\sim 5^{\circ}\text{N}$) 在夏季风爆发前 SST 也较低, 但从 5 月 6 日开始不断升高, 5 月 21 日后又急剧下降, 致使南北方向 SST 梯度不断加大。因此, 南海 SST 的不断升高和南半球 SST 梯度的不断加大可能与越赤道气流的加强和南海热带夏季风的爆发有关。

为了研究的需要, 首先对 1998 年 5 月的南海夏季风爆发进行数值模拟 (试验 1)。图 5a 为模拟的 1998 年 5 月 115°E 850hPa 纬向风的时间-纬度剖面图。比较图 5a 与图

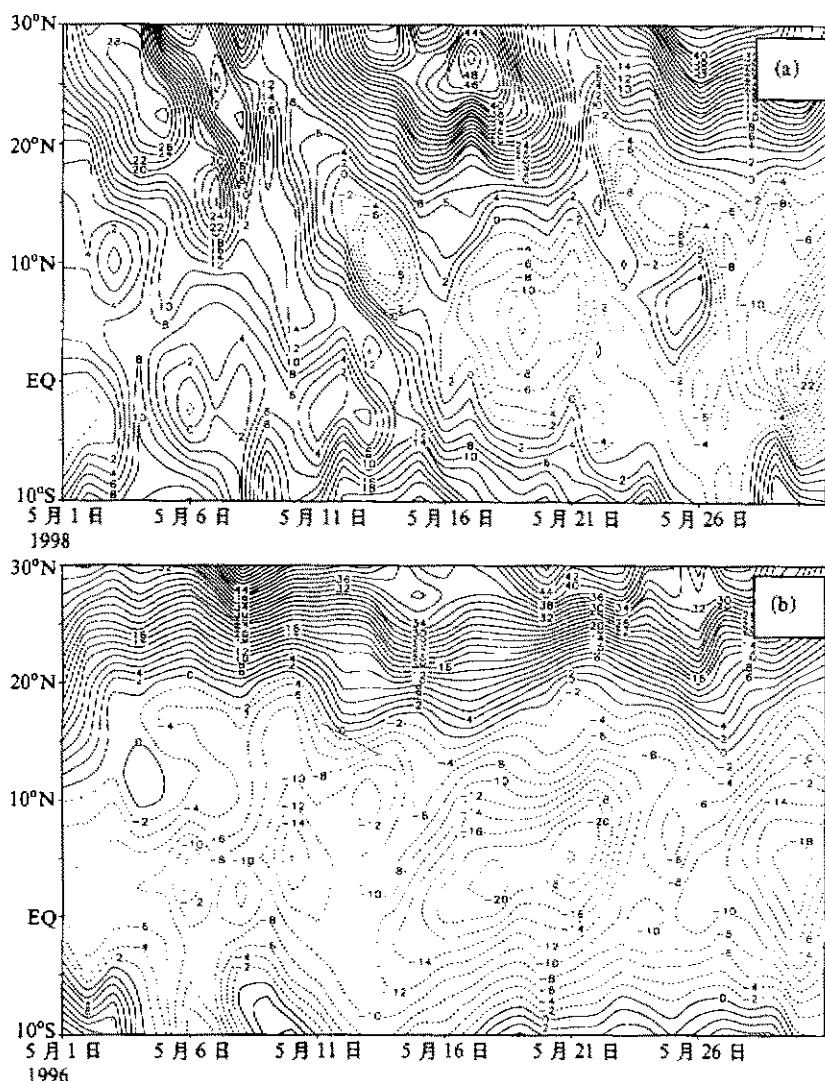


图 3 115°E 200hPa 纬向风的时间-纬度剖面

(a) 1998 年; (b) 1996 年。单位: m/s

1a 可见, 两者的东西风变化趋势基本一致, 中纬西风向南传播, 热带 SW 夏季风也爆发于 5 月 22 日左右。图 6a 为模拟的 1998 年 5 月沿 115°E 200 hPa 纬向风的时间-纬度剖面图, 与图 3a 比较可见, 两者基本相似, 模拟的南海高空东风带也于 5 月 22 日左右开始出现, 所不同的是时有西风侵入, 但时间短暂。

由上可见, 用 RegCM2 在低纬模拟南海热带夏季风是可行的, 它可以模拟出南海热带夏季风的基本特征。

4 数值实验方案 2 的分析和结果

由图 1b 可见, 1996 年南海夏季风爆发较早, 中纬偏西风约于 5 月 6 日扩大至 15°N 以南直到赤道附近, 此后南海南部出现了以 14 m/s 为中心的强西风区, 5 月下旬传播至南海北部地区。只是在 5 月 12~23 日华南及其沿海地区出现了偏东气流, 但这不影响 5 月 6 日南海夏季风爆发日期的确定。从图 3b 可以明显地看到, 5 月初 200 hPa 西风带迅速向北退出南海, 东风带则迅速向北扩展到南海北部, 此后, 这一基本形势持续维持, 此高空东风带与其低层的 SW 季风相对应, 这是南海夏季风爆发后的高空环流特征。因此, 1996 年南海夏季风爆发于 5 月 6 日左右是可信的。图 4b 是 1996 年 5 月南海经度的南北方平均 SST 的演变曲线, 与图 4a 比较可见, 它比 1998 年 5 月南海 SST 低, 5°N 以北低 0.6°C 左右, 5°N 以南低 1.0°C 左右。从图中还可看到, 5 月 22 日以前南北半球海温基本相等, 5 月 22 日以后相差达 1.4°C 以上。综合图 4a 和图 4b 可见, 南海海温低的年份夏季风反而爆发早, 而且爆发于南北半球海温差很小的时候。这似乎表明海温高低和南北海温差的大小不是决定南海夏季风爆发的因子。但这只是两次个别年份的情况, 是否有普遍意义尚不得而知。为此, 本文进行了实验 2 的数值实验。

实验 2 是以 1996 年 5 月的大气环流场为初始场和边界条件, 而以 1998 年同期的 SST 为海温场进行的数值实验。图 5b 是数值实验 2 所获得的 5 月份 115°E 纬向风的时间-纬度剖面, 将其与图 1a 和图 1b 比较可见, 其纬向风的变化特征与 1996 年 5 月基

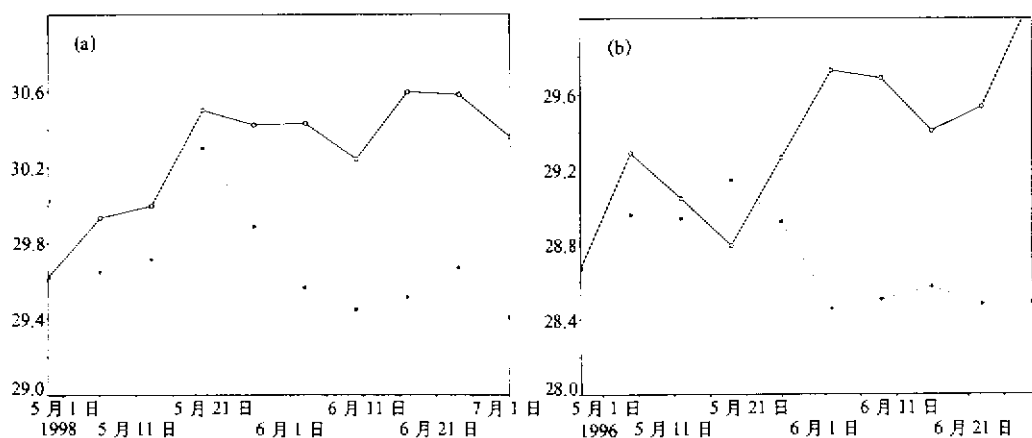


图 4 1998 年 (a) 和 1996 年 (b) 南海及南海以南区域平均 SST 演变

实线: 南海区域 ($110\sim120^{\circ}\text{E}$, $5\sim15^{\circ}\text{N}$); 虚线: 南海以南 ($110\sim120^{\circ}\text{E}$, $15^{\circ}\text{S}\sim5^{\circ}\text{N}$). 单位: $^{\circ}\text{C}$

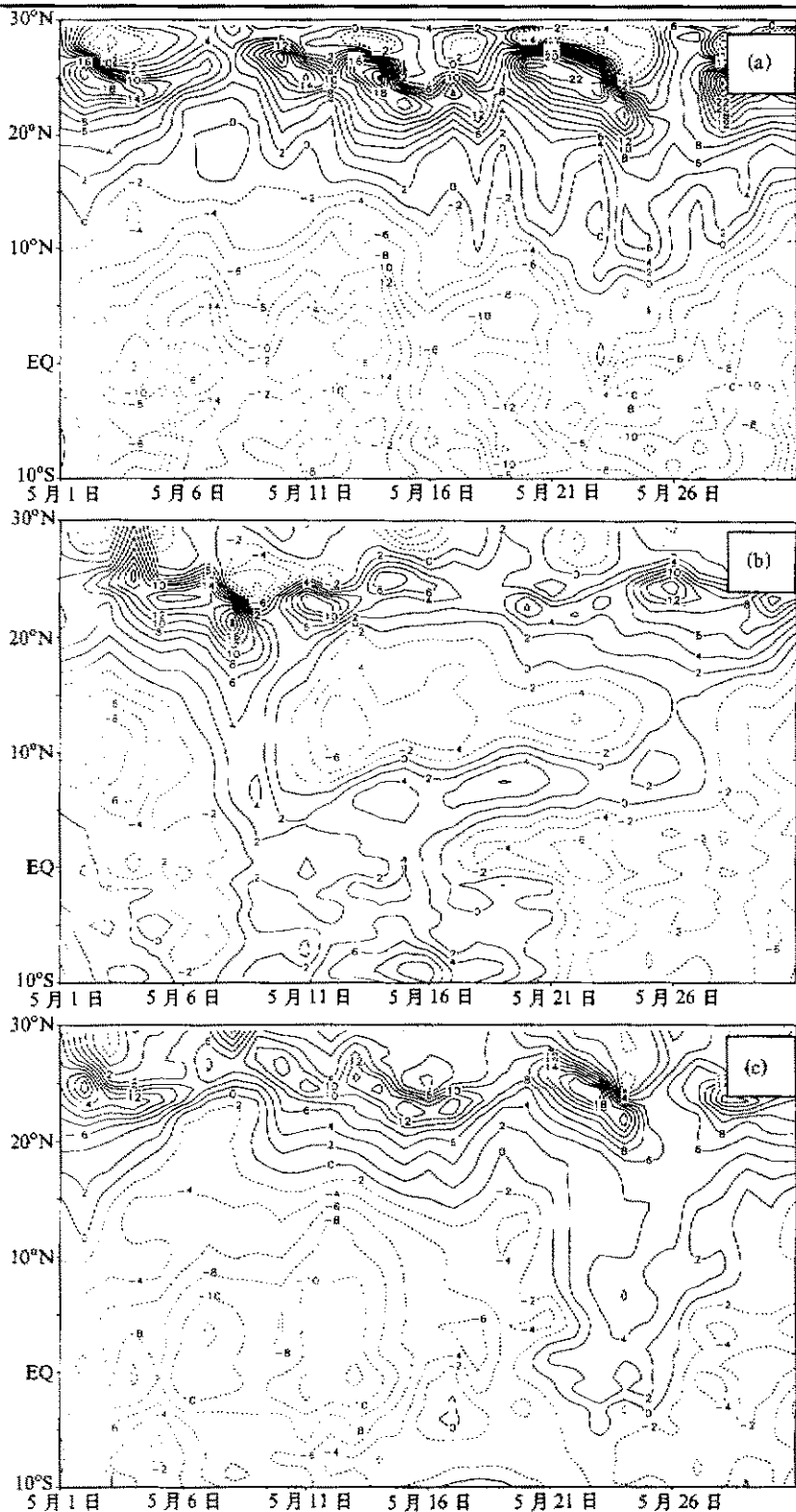


图5 3个实验模拟的1998年115°E 850 hPa 纬向风的时间-纬度剖面

(a) 实验1; (b) 实验2; (c) 实验3。单位: m/s

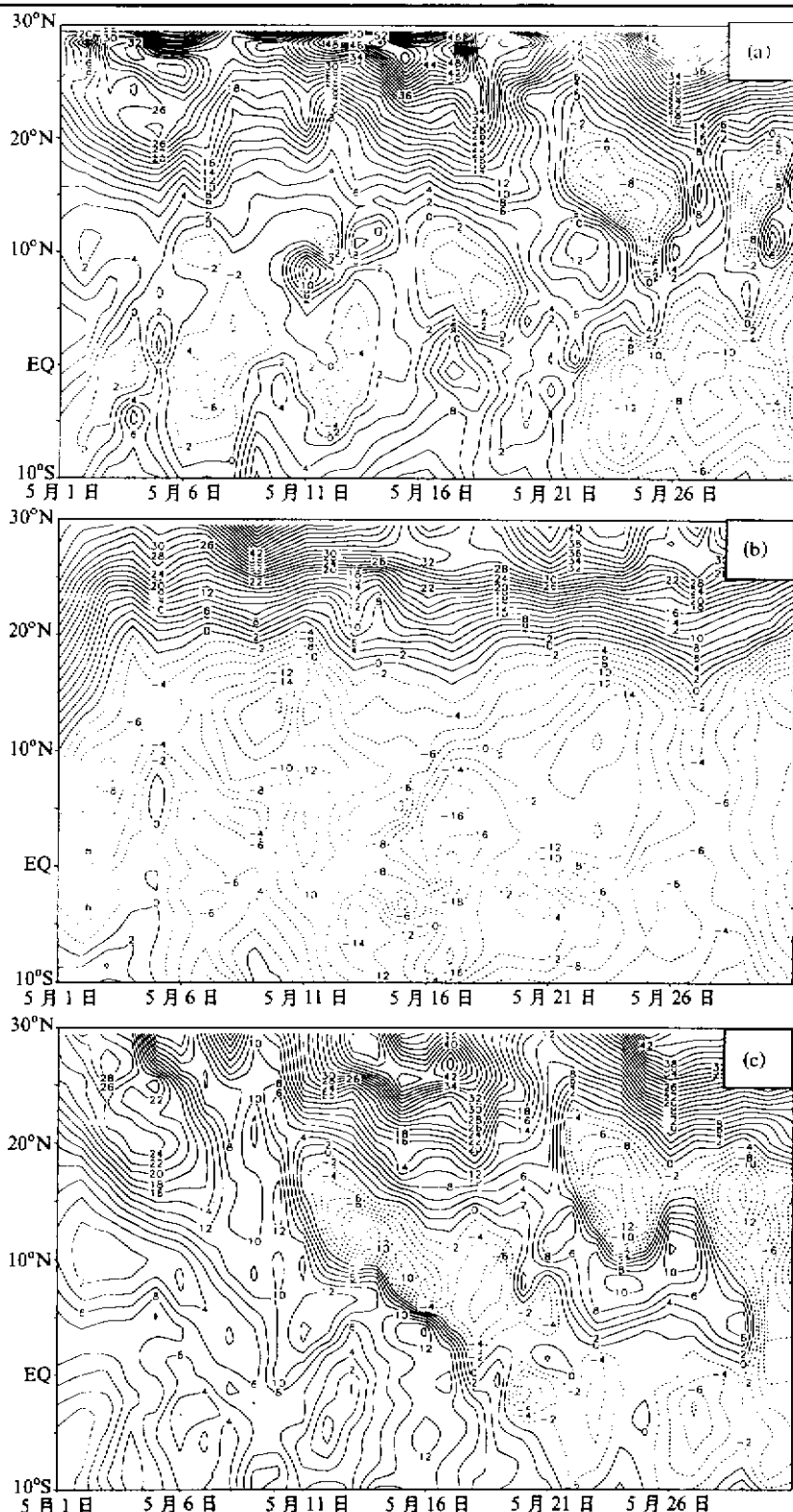


图6 3个实验模拟的1998年115°E 200 hPa 纬向风的时间-纬度剖面

(a) 实验1; (b) 实验2; (c) 实验3. 单位: m/s

本相似,而与 1998 年 5 月相差很明显。其夏季风的爆发日期大约在 5 月 8 日左右,也与 1996 年相似,而比 1998 年提前 14 天左右。不过与 1996 年(图 1b)相比,其在南海的东风区范围要大且持续时间较长。但是,若将其 200 hPa 纬向风剖面图(图 6b)与 1996 年实测的 200hPa 纬向风剖面图(图 3b)相比较,则可发现两者特征非常相似,而与 1998 年实测的纬向风剖面图(图 3a)完全不相似。

根据上述分析可得如下结论:

(1) 由于 1998 年 5 月比 1996 年 5 月南海海温高,而实验 2 所获得的夏季风爆发时间反而比 1998 年早,而与 1996 年相近。这个事实表明南海海温高低不是确定夏季风爆发早晚的重要原因。

(2) 由于实验 2 所获得的夏季风爆发时间在南海南北方 SST 梯度很小时,而不是很大时,而实验 1 所获得的夏季风爆发时间,南海南北方 SST 梯度大,因此南海经向 SST 梯度大小也不是南海夏季风爆发的重要原因。

(3) 由于 1996 年夏季风爆发时间比 1998 年早,比实验 1 夏季风爆发时间也早,而实验 2 南海夏季风爆发时间比 1998 年早,而与 1996 年相似。由此可见,周围大气环流的初始场和边界条件对南海夏季风爆发具有重要影响,是南海夏季风爆发的重要原因。也就是说周围大气环流的季节进程,决定了南海夏季风的爆发时间。

5 数值实验方案 3 的分析和结果

数值实验方案 3 是以 1998 年 5 月的大气环流资料作初始场和边界条件,而将 SST 向前移 10 天,即最高 SST 向前提早 10 天出现进行的实验。图 5c 是实验 3 所获得的 115°E 850 hPa 纬向风的时间-纬度剖面图,将其与图 5a 相比可见,两者的形势变化基本相似,夏季风爆发时间也基本相同,只是爆发后南海南部的风速更大一些。与图 5b 则完全不相似。

图 6c 是实验 3 所获得的 115°E 200 hPa 纬向风的时间-纬度剖面图,将其与控制实验(实验 1)图 6a 相比较可见,两者基本相似,20°N 以北基本皆为西风带,并不断向南传播,5 月 22 日后南海上空皆出现了东风带并一直维持。稍有不同的是,实验 3 从 5 月 11 日起,南海南部出现东风带并向南传播进入南半球,而在控制实验中东风带出现稍晚,强度较弱。图 6c(实验 3)与图 6b(实验 2)相比则有明显不同。由上分析可见:(1)即使南海最高 SST 和南北海温差提前 10 天出现,南海夏季风爆发时间并未提前,因此南海海温高低和经向大的海温差出现早晚对南海夏季风爆发早晚皆不发生明显影响;(2)与实验 2 相比可见,当 SST 仍保持 1998 年不变而环境大气改为 1996 年时,则南海夏季风提早半个月出现,可见相对来说,周围大气环流的变化对南海夏季风爆发具有重要影响。

6 南海热带夏季风爆发的环流变化特征

上文已经指出,南海夏季风爆发的早晚主要决定于周围环境大气环流的影响,南海海温的高低和南北梯度是次要的。那么,什么样的环境大气环流才能促使南海夏季风爆

发呢? 下文将以 1998 年和 1996 年两年为例, 揭示南海夏季风爆发前的环流场特征。前者爆发较晚 (5 月 22 日), 后者爆发较早 (5 月 6 日)。图 7 和图 8 分别为 1998 年和 1996 年南海夏季风爆发前 10 天的 850 hPa 和 200 hPa 平均环流图。由图 7 可见, 1998 年和 1996 年南海夏季风爆发前环流的主要特征非常相似, 其共同特征是, 在 850 hPa 西太平洋副热带高压脊西伸控制南海地区, 其西侧为一低槽区, 槽线位于孟加拉湾, 低槽南侧为小的反气旋性环流系统所控制, 在此形势下, SW 气流从孟加拉湾南部向东北延伸经中南半岛、南海西北部、华南至日本一带。东南气流从菲律宾以东洋面上进入南海南部。南海夏季风爆发后 (图略), 这两年的副热带高压脊皆向东退出南海, 整个南海为 SW 季风所控制, 越赤道气流由 105°E 越过赤道进入南海 (参见图 2b)。图 8 给出了相应的 200 hPa 环流场, 由图可见, 1998 年和 1996 年南海季风爆发前 10 天的平均环流形势也很相似, 尤其是从阿拉伯海经孟加拉湾至南海一带皆为反气旋环流 (南亚高压) 所控制, 环流中心在孟加拉湾东部和中南半岛西部的低纬地区。 $15\sim 50^{\circ}\text{N}$ 的广大地区皆为西风气流所控制, 只是在菲律宾东南方的洋面上环流略有不同, 但此区域很小, 大范围地区的环流是相似的。南海夏季风爆发后, 孟加拉湾反气旋中心向东北移至

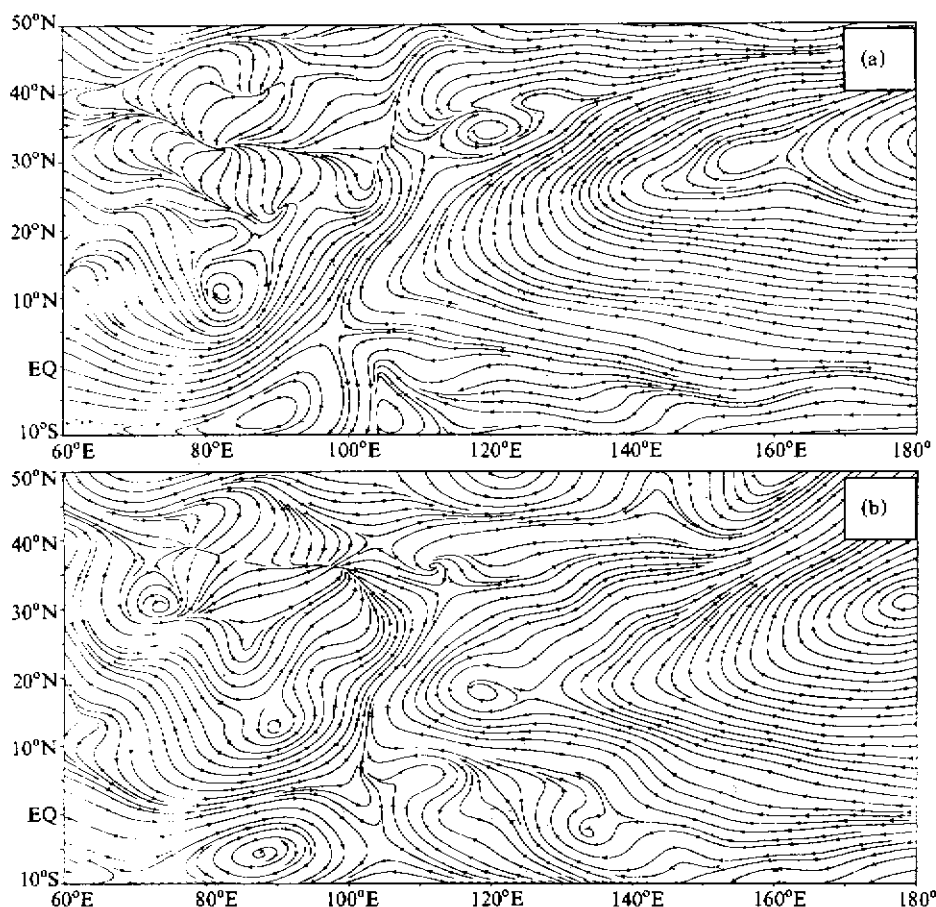


图 7 南海夏季风爆发前 10 天的 850 hPa 平均环流图

(a) 1998 年; (b) 1996 年

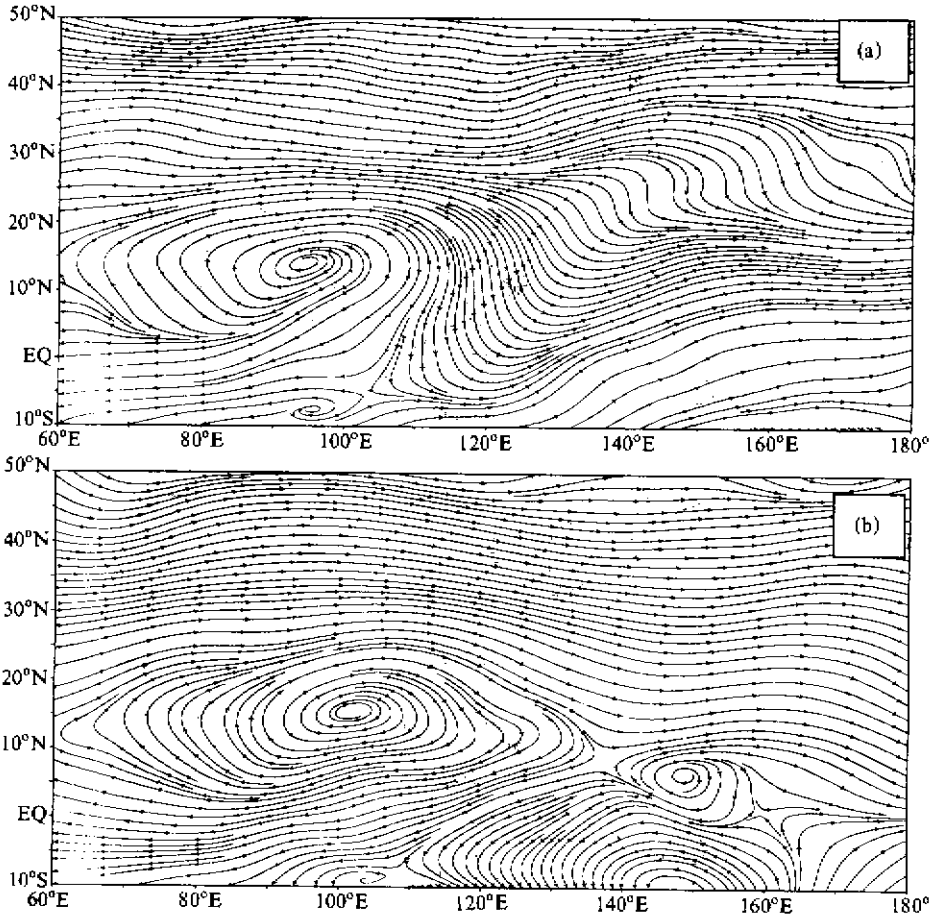


图8 南海夏季风爆发前 10 天的 200 hPa 平均环流图
(a) 1998 年; (b) 1996 年

中南半岛东北部 (图略)。

1998 年和 1996 年南海夏季风爆发时间虽然相差达 16 天之久, 而其爆发前后的环流形势却如此相似。这意味着 1996 年环流的季节进程比 1998 年早半个月。同时也说明, 不管南海夏季风爆发早晚, 其爆发前后的环流形势是非常相似的。也不管海温高低, 海温经向梯度大小, 只有在这种环流形势下, 才有利于南海夏季风的爆发。

7 讨论和结论

由于以上分析是通过两年个例对比进行的, 虽然控制实验模拟基本是成功的, 但由于数值实验积分时间还不太长, 其结论是否可信仍是一个值得考虑的问题。为此, 本文还从气候统计的角度对此进行了进一步的分析。在文献[13]中已经给出了多年 4 月份南海夏季风爆发早、晚年地 (海) 表温度距平图 (图略), 该图显示, 南海夏季风爆发早年的 4 月份, 亚洲大陆南部和西部为地 (海) 表温度的正距平区, 中国北方和东海岸以

东的洋面上以及南印度洋和澳大利亚为负距平区。这种海陆分布型直接影响南海夏季风提前爆发, 同时也有利于马斯克林冷高压和澳大利亚冷高压的加强, 进而影响南海夏季风提前爆发; 反之, 则爆发推迟。该距平图还显示出, 南海夏季风爆发早年的 4 月份, 赤道西太平洋及其东北和东南方的洋面上空为正距平, 这种分布型有利于副热带高压较早北移, 因而也有利于南海夏季风提早爆发; 反之, 则爆发推迟。但在南海地区南海夏季风爆发早、晚年, 海温距平数值很小, 经向海温距平梯度也很弱, 因而与南海夏季风爆发早晚的关系不密切。

总结前文分析, 可以获得如下几点结论:

(1) 南海夏季风爆发早晚与南海海温高低、经向海温梯度的关系不密切, 个别年份甚至相反, 如 1998 年南海海温较高、经向海温梯度大, 爆发推迟; 1996 年南海海温较低、经向海温梯度弱, 爆发提前。

(2) 1998 年南海夏季风爆发晚, 1996 年南海夏季风爆发早, 但其爆发前的环流形势是相似的。南海夏季风爆发前, 其主要环流特征是: 在 850 hPa, 西太平洋副热带高压脊由菲律宾西伸进入南海, 南亚、东南亚地区为低槽所控制, 槽线位于孟加拉湾。在 200 hPa, 阿拉伯海至菲律宾为南亚高压所控制, 高压中心位于孟加拉湾和中南半岛的低纬地区, 广大北方为西风气流所控制。

参 考 文 献

- 1 丁一汇, 马鹤年, 东亚季风的研究现状, 何金海主编, 亚洲季风研究的新进展, 北京: 气象出版社, 1996, 1~13.
- 2 陶诗言等, 1979 年夏季风试验期间东亚地区夏季风爆发的观测研究, 大气科学, 1983, 7, 347~355.
- 3 何金海, 罗京佳, 南海季风爆发和亚洲夏季风推进特征及其形成机制的探讨, 何金海主编, 亚洲季风研究的新进展, 北京: 气象出版社, 1996, 74~81.
- 4 杨修群, 黄士松, 马斯克林高压的强度变化对大气环流影响的数值试验, 气象学报, 1989, 9, 125~138.
- 5 陈隆勋, 南半球气流对南海和北太平洋西部大气环流的影响, 大气科学 (试刊), 1976, 16~27.
- 6 朱乾根, 胡江林, 青藏高原大地形对夏季大气环流和亚洲夏季风影响的数值试验, 南京气象学院学报, 1993, 16, 120~129.
- 7 胡江林, 朱乾根, 青藏高原感热加热对七月份大气环流和亚洲季风影响的数值模拟研究, 热带气象, 1993, 9, 78~84.
- 8 He Haiyan, John W. Mo, Song Zhengshen and Mihio Yanai, Onset of the Asian summer monsoon in 1979 and the effect of the Tibetan Plateau, *Mon. Wea. Rev.*, 1987, 115, 1966~1995.
- 9 J. Matsumoto, Climatological onset and withdrawal of summer rainy season over the Indochina Peninsula, *International Workshop on the Climate System of Monsoon Asia*, Kyoto, Japan, 1996, 25~28.
- 10 朱乾根, 何金海, M. Murakami, TBB 资料所揭示的亚洲季风之季节循环特征和年际异常, 应用气象学报, 1996, 7, 129~137.
- 11 何金海, 朱乾根, M. Murakami, TBB 资料所揭示的亚洲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 He Y. H., C. H. Guan and Z. J. Gan, Heat oscillation in the upper ocean of South China Sea, *Acta Oceanologica Sinica*, 1992, 11, 375~388.
- 13 郭品文, 亚洲热带夏季风爆发的特征、机制及南海海气耦合低频振荡, 南京气象学院博士学位论文, 1997, 90~105.
- 14 陈于湘, 西太平洋地区夏季越赤道气流的谱分析, 大气科学, 1980, 4, 363~368.

The Numerical Experiment Research of the Summer Monsoon Onset Mechanism in SCS

Zhu Qiangen and Xu Guoqiang

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract In the context of 3 numerical experiments and the comparison of SCS summer monsoon onset in 1998 and 1996 as well as secular statistical data, results show that the onset time mainly depends on the circulation feature around SCS rather than the SST and its meridional gradient in SCS. In the last 10 days before the SCS summer monsoon onset, the circulation feature over 850 hPa level presented that the subtropical ridge is in west Pacific ocean and extends westward from the Pacific Ocean through the Philippines to SCS. There are a wide low trough from the Arabian Sea to Indo-China. The south Asia high over 200 hPa level was located at the Arabian Sea and SCS and its center was located at the low latitude of the Bay of Bengal east side and Indo-China west side. The northern region was control of west wind.

Key words: numerical experiment; summer monsoon of SCS; SST; circulation