

南海夏季风爆发的数值预报试验*

骆美霞 杨 辉

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 分析了 1986 年南海夏季风爆发的环流演变特征, 由经向风速剖面图看出, 南风首先在中南半岛迅速加强, 然后向南海发展, 南海夏季风爆发同孟加拉湾低压的发展密切相关。通过地形和非绝热单因子敏感性数值预报试验表明, 地形作用和凝结潜热等非绝热作用对南海夏季风的爆发都是很重要的, 包含有这两种作用在内的控制试验成功地预报出了南海夏季风爆发的中期演变过程, 单独的地形作用或非绝热作用都不能预报出南海夏季风的爆发。

关键词: 南海夏季风; 爆发; 数值预报试验; 地形作用; 凝结潜热

1 引言

李崇银等^[1]、宋正山等^[2]、金祖辉^[3]、谢安等^[4]的一系列研究指出, 南海夏季风爆发的时间每年各不相同, 有明显的年际变化, 平均时间大约是在 5 月中旬。他们的研究还指出, 标志南海夏季风爆发的重要特征是, 对流层高层 200 hPa 的南亚高压中心从 10°N 的菲律宾西移北跳到 15°N 以北的中南半岛, 中低层的西太平洋副高由中南半岛、南海上空东撤到菲律宾以东, 南海及其邻近地区低空盛行西南气流并伴随大范围降水。

目前, 关于南海夏季风爆发的数值预报研究还不多见。本文目的是针对南海夏季风爆发的上述环流演变特征, 对 1986 年南海夏季风爆发个例, 通过一系列地形与非绝热加热作用的单因子数值试验, 探讨地形和非绝热加热对南海夏季风爆发的作用, 为进一步研究南海夏季风爆发机制提供线索和依据。

2 数值模式及试验方案

大气中的凝结现象有两种, 一种由大尺度上升运动产生, 西风带锋面降水多属于这种性质, 另一种是由积云对流产生, 尺度小, 热带降水多属于这种。本文应用的全球谱模式 T42L9^[5,6]包含了上述由积云对流、大尺度上升运动引起的凝结过程, 并考虑了降水过程中的蒸发现象, 还包含有地形、辐射、垂直扩散、地面感热和蒸发潜热等较全面的物理过程。

为了考察地形和大气中的凝结潜热对南海夏季风爆发的作用, 我们设计了 4 种数值试验方案 (见表 1)。表 1 列出的 4 种试验方案之间的差别在于是否考虑地形作用和由

1999-07-15 收到, 1999-10-09 收到修改稿

* 中国科学院 KZ951-B1-408 项目资助

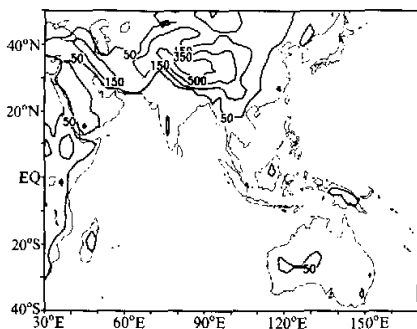


图1 地形高度分布图(单位: 10 m)

积云对流、大尺度上升运动产生的凝结潜热等非绝热过程, 它们都包含有辐射、地面感热和蒸发潜热及其他非绝热过程。本文以下提到的有无非绝热作用主要是指是否包含由积云对流、大尺度上升运动产生的凝结过程释放的凝结潜热。全球谱模式所用地形资料来自欧洲中期预报中心, 全球地形的最大高度超过 5000 m (见图 1)。图 1 只给出了本文分析范围 ($40^{\circ}\text{S} \sim 50^{\circ}\text{N}$, $30^{\circ} \sim 170^{\circ}\text{E}$) 的地形高度分布, 单位为 10 m。

表1 数值试验方案

方 案	包含内容
方案 1 (控制试验)	有地形作用和包含积云对流、大尺度降水在内的完整的非绝热过程
方案 2	有地形作用, 无积云对流、大尺度降水等非绝热过程
方案 3	无地形作用, 有积云对流、大尺度降水等非绝热过程
方案 4	无地形作用, 无积云对流、大尺度降水等非绝热过程

我们以 1986 年 5 月 8 日 12 时 (世界时) 的气象场 (u 、 v 、 z 、 q) 为初值进行了 4 种试验, 时间步长为 30 min。大气初值资料来自中国科学院大气物理所资料中心提供的 NCAR 资料。

3 实况环流演变特征

3.1 低空环流特征

图 2 给出了 1986 年 5 月不同日期的 850 hPa 实况流线及风向杆图。5 月 8 日 (图 2a), 南海受西太平洋副热带高压控制, 偏东气流占主导地位, 在孟加拉湾和中南半岛交界附近有一低压, 低压中心位于孟加拉湾。此后, 该低压中心向东北方向移动并发展, 10 日 (图 2b), 低压中心已移到中南半岛上空, 西太副高主体已明显东移, 南海上空已建立起西南风。到 12 日 (图 2c), 南海上空西南风范围扩大并明显加强。

由于经向风分量 (v) 是南海夏季风活动的重要特征, 南海夏季风爆发一定要有相当强度的南风出现。因此, 图 3 给出了 850 hPa 经向风分量 (v) 在不同纬度上的时间-经度剖面图, 观察季风爆发前后的演变特征。由图 3a 看出, 在对流层低层, 5 月 7 日, 在中南半岛 ($100^{\circ} \sim 105^{\circ}\text{E}$, 15°N) 地区已出现弱的南风, 风速达 4 m/s , 而在南海地区 ($110^{\circ} \sim 115^{\circ}\text{E}$, 15°N) 南风风速约为 2 m/s , 中南半岛地区的南风比南海海域强。7 日以后, 中南半岛上的南风迅速加强, 到 5 月 9 日达到最大, 其最大值达 16 m/s , 这是孟加拉湾气旋发展的结果。此时, 南海海域的南风也有所加强, 达 4 m/s , 在本文分析范围内的最大南风中心位于中南半岛。5 月 9 日以后, 中南半岛的南风则明显减弱, 而南海海域的南风则逐渐加强, 南风的最大值向南海方向移动。到 5 月

10 日, 在南海地区的南风明显加强, 达 $6 \sim 7 \text{ m/s}$ 。到 11 日, 中南半岛的南风迅速减弱为 4 m/s , 南风大值区已位于南海, 而不是在中南半岛。以上情况表明, 南风首先在中南半岛得到迅速加强, 然后才向南海发展。另外, 从图 3b 可看到, 在 5 月 8~9 日, 在 105°E 附近的跨赤道的南风约为 5 m/s , 到 10 日突然加强, 超过 6 m/s 。通过对图 3 的分析可认为, 1986 年南海夏季风爆发时的低空西南风主要由 105°E 附近的跨赤道气流和孟加拉湾气旋前部的西南风组成。

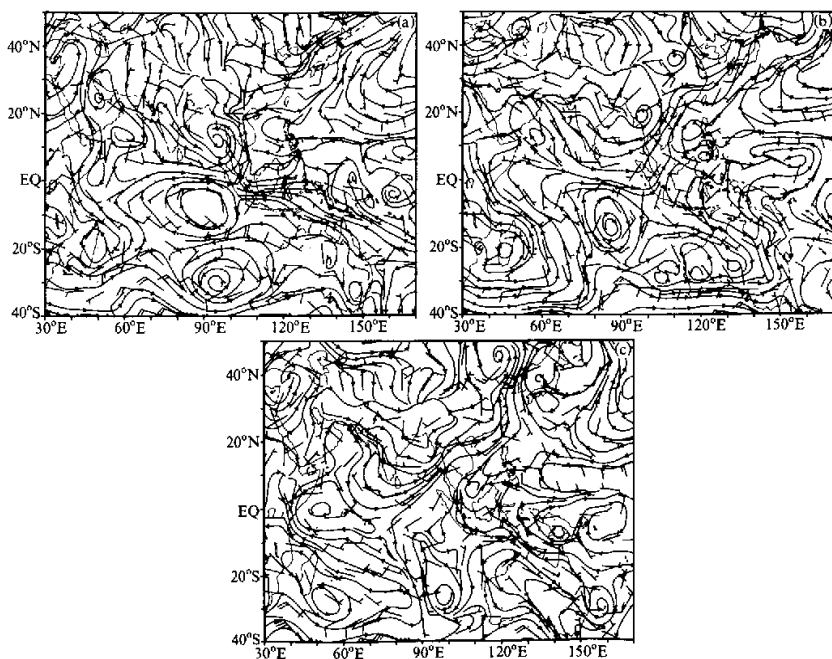


图 2 1986 年 5 月不同日期的 850 hPa 实况风场

(a) 8 日; (b) 10 日; (c) 12 日

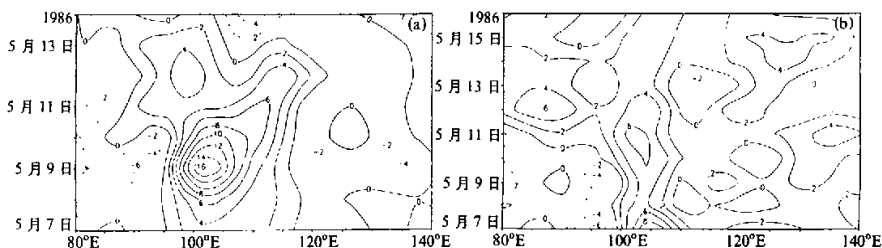


图 3 850 hPa 经向风分量 (v) 的时间-经度剖面图

(a) 沿 15°N ; (b) 沿赤道。单位: m/s

3.2 高空环流特征

图 4 给出对流层高层 200 hPa 实况流线及风向杆分布图。由图 4a 看出, 5 月 8 日对流层高层 200 hPa 上南亚高压环流很弱, 其高压中心位于中南半岛的南端 10°N 附近, 沿 105°E 线观察, 高压中心北部的强西风带位于 15°N 附近, 中心南部的东风气流很弱。到 5 月 10 日, 南亚高压中心向西北方向移动到 15°N 以北, 高压中心北部的强西风带北移到 25°N , 中心南部的东风气流明显加强 (见图 4b), 这是南海夏季风爆发的重要环流特征之一。此后, 高压中心则稳定少动, 高压中心仍维持在 15°N 以北的中南半岛上空 (见图 4c)。

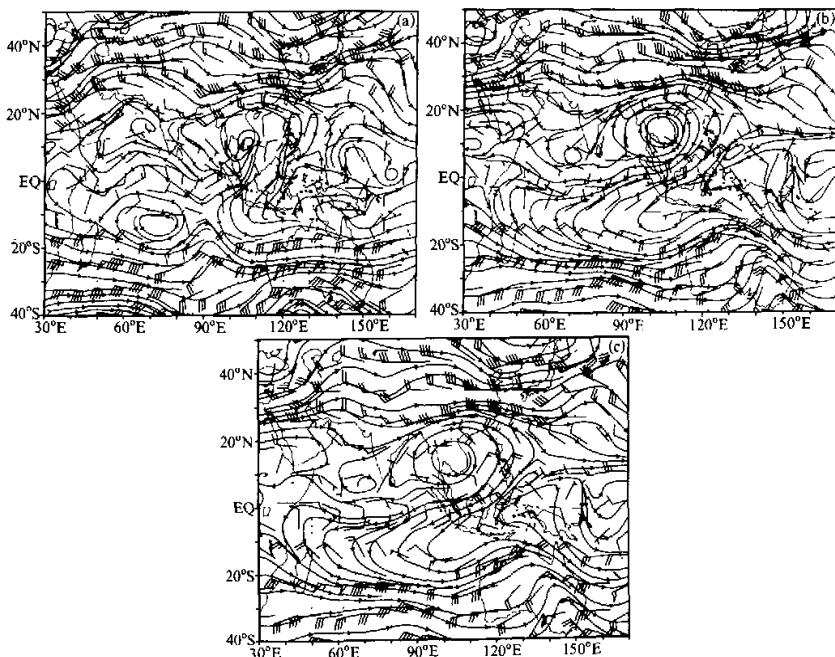


图 4 1986 年 5 月不同日期的 200 hPa 实况风场
(a) 8 日; (b) 10 日; (c) 13、14 日 2 天平均

根据以上实况演变特征, 我们可以认为 1986 年南海夏季风爆发日期是 5 月 10 日。在这一天, 对流层低层和高层的环流都发生了突变, 显示出夏季风爆发时的环流特征。这个日期同李崇银等^[1]和谢安等^[4]给出的日期一致。李崇银等^[3]利用对流层上层和对流层低层散度差构成的指数的时间演变以及日本的云顶温度资料 (TBB) 给出的 1986 年南海夏季风的爆发日期是 5 月 10 日。谢安等^[6]将南海夏季风爆发时间定义为: 当南海区域平均的候平均 OLR 值降至 235 W/m^2 , 同时区域平均的纬向风由东风转为西风。按照他们定义的标准, 给出的爆发日期为 5 月 2 候。另外, 我们认为 1986 年南海夏季风的爆发同孟加拉湾低压的发展密切相关, 由于孟加拉湾低压的发展, 中南半岛的西南

风明显加强, 南风首先在中南半岛加强, 然后向南海发展。南海夏季风爆发时的西南风一部分来自孟加拉湾低压前部的西南气流, 还有一部分来自沿 105°E 附近的跨赤道气流。

为了将 1986 年和其他年份的情况作比较, 图 5 给出了 1987 年和 1989 年 850 hPa 经向风分量 (v) 沿 15°N 的时间-经度剖面图。李崇银等^[1]给出的 1987 年的爆发日是 6 月 8 日, 属于季风爆发偏晚的年份。1989 年的南海夏季风爆发日是 5 月 15 日。由图 5 看出, 季风爆发前, 1987 年和 1989 年在中南半岛都有明显的南风加强过程, 但不像 1986 年那样明显的朝东向南海方向传播, 这表明 1986 年属于中南半岛的南风向南海传播的典型年份。已有的研究指出, 统计平均而言, 季风爆发时南海地区的南风分量是明显的, 但 1989 年的情况有所不同, 在这一年, 西太平洋热带气旋活动频繁, 季风爆发时 (5 月 15 日), 南海为气旋控制, 南海地区的南风分量并不明显 (见图 5b), 这反映了季风爆发时, 不同年份的环流演变特征有很大的差异。已有的研究还指出, 统计平均而言, 南海季风爆发时, 南亚高压中心位于 20°N 附近。本文的实况资料分析表明, 与平均情况相比, 1986 年的南亚高压中心位置偏南 (见图 4), 1987 年南亚高压主体偏西, 6 月 8 日季风爆发时高压中心位于 (22°N , 93°E) (图略), 1989 年 5 月 15 日季风爆发时, 高压中心位于 (19°N , 106°E) (图略), 接近平均位置。这些表明南海季风爆发时, 南亚高压中心位置的年际差异是十分明显的, 不同年份的环流特征差异较大。下面我们具体讨论 1986 年数值预报试验的结果。

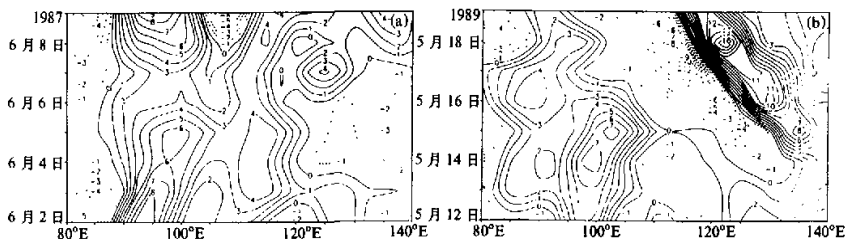


图 5 850 hPa 经向风分量 (v) 沿 15°N 的时间-经度剖面图
(a) 1987 年; (b) 1989 年

4 数值试验结果

以 1986 年 5 月 8 日的大气场为初值, 我们进行了 4 种方案的数值预报试验, 每种方案都进行了 10 天数值积分, 以观察预报模式是否能预报出 5 月 10 日南海夏季风爆发的环流特征, 并探讨地形和非绝热对南海夏季风爆发的作用。本文提到的非绝热是指由积云对流和大尺度上升运动产生的凝结过程释放的凝结潜热。

4.1 对流层低层 850 hPa 环流

图 6 给出了积分第 3 天和第 4 天的两天平均的 850 hPa 流线图, 它对应于 5 月 11

日和 12 日的两天平均预报结果, 可以和图 2c 给出的 5 月 12 日实况相比较。需要指出的是, 在图 6 中地形高度在 1500 m 以下区域 (即图 1 中等值线为 1500 m 所包含的区域, 对 850 hPa 而言, 它位于地底下) 的预报风场是插值得到的, 是虚假的。由图 2 所示的南海夏季风爆发后的一些重要环流特征, 如 100°E 附近的自南向北的跨赤道气流, 西太副高主体东移到菲律宾以东, 中南半岛和南海地区盛行西南气流等特征, 在控制试验中均得到了较好的预报 (图 6a)。为了考察地形的作用, 图 6b 给出了方案 2 的预报结果, 可以看出, 在地形的纯动力作用下, 100°E 附近的跨赤道气流, 西太副高主体的东移, 孟加拉湾低压的发展等均得到了较好的预报。但南海地区的西南气流没有预报出来, 仍为一个小高压环流控制, 这与图 2c 所示的实况有较明显的差别。这也从一个侧面说明了地形作用对 100°E 附近跨赤道气流的形成, 孟加拉湾低压的发展有重要作用。为了考察凝结潜热等非绝热作用, 图 6c 给出了方案 3 的预报结果。可以看出, 西太副高的东移被很好预报出来, 南海为低槽控制, 但 100°E 附近自南向北的跨赤道气流未被预报出来, 而且孟加拉湾及中南半岛为反气旋环流控制, 这些与实况 (图 2c) 相反, 总的环流形势与图 2c 所示实况有明显的差别。图 6d 还进一步给出了方案 4 (无地形和无凝结潜热等非绝热作用) 的预报结果。方案 4 虽然不包含凝结潜热等非绝热作用, 仍包含有辐射、地面感热和蒸发潜热等非绝热过程。由图 6d 看出, 虽然西太平洋副高的东移被预报出来了, 但总的环流形势与图 2c 所示实况差别很大。 100°E 附

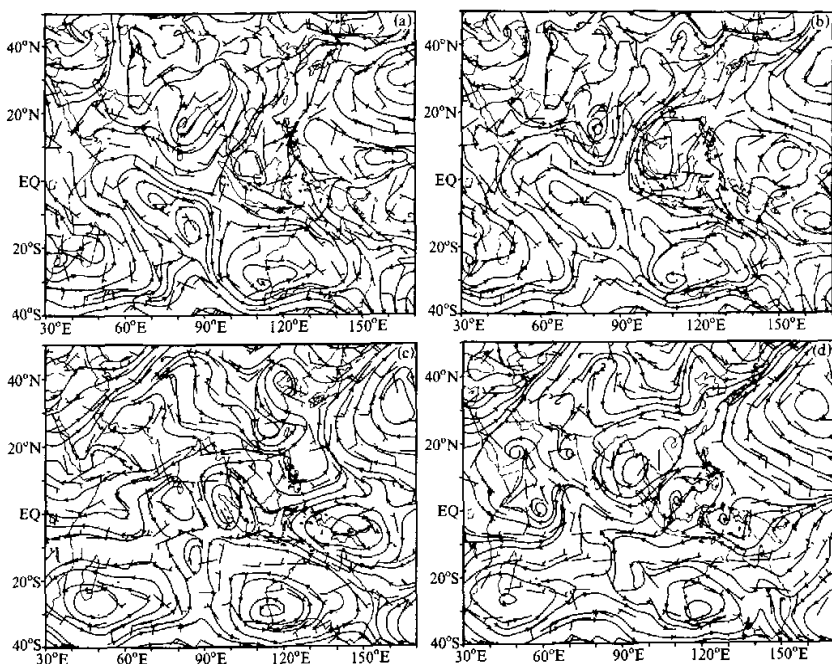


图 6 预报的第 3 天至第 4 天两天平均的 850 hPa 流线及风向杆图

(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

近的跨赤道气流以及孟加拉湾和中南半岛上的低压环流完全没有被预报出来, 南海上空为偏东气流控制, 与实况相反。

图 7 给出了不同试验方案预报的 850 hPa 经向风分量 (v) 沿 15°N 的时间-经向剖面图。将图 7 与图 3a 所示的实况相比较可以看出, 图 7a 所示的控制试验的结果与图 3a 所示的实况符合最好, 图 7d 所示的结果最差。由图 7a 所示的预报结果看出, 5 月 9 日在中南半岛地区南风分量 (v) 迅速加强的过程 (见图 3a) 被很好地预报出来了, 预报的南风分量达 10 m/s , 比实况 (16 m/s) 稍弱。另外, 南风大值区由中南半岛移向南海的演变过程也被预报出来。预报的 10 日的南风分量在南海地区 (110°E 附近) 加强到 4 m/s , 这与图 3a 所示南海地区的南风在 5 月 10 日明显加强的实况相符, 只是预报的南风风速比实况 (6 m/s) 弱。也就是说, 南风首先在中南半岛加强, 然后向南海发展的实况被很好预报出来。由图 6b~d 所示的方案 2~4 的预报结果看出, 虽然 5 月 9 日南风在中南半岛的加强过程在一定程度上被预报出来了, 但 10 日在南海地区南风的加强过程没有预报出来, 其中方案 4 最差, 预报的经向分量在南海地区为北风与实况完全相反。以上结果表明, 地形作用和由积云对流、大尺度降水释放的凝结潜热对南海地区南风的建立和加强起着重要作用。

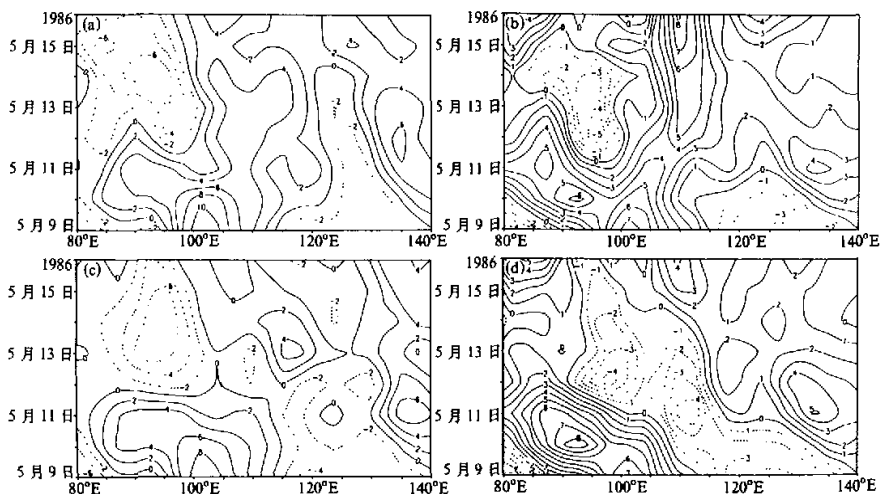


图 7 预报的 850 hPa 经向风分量 (v) 沿 15°N 的时间-经向剖面图

(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

4.2 对流层高层 200 hPa 环流

图 8 给出了不同方案预报的第 5 天 (对应 5 月 13 日) 至第 6 天 (对应 5 月 14 日) 两天平均的 200 hPa 风场。将预报结果 (图 8a~d) 和实况 (图 4c) 进行对比可看出, 图 8a 所示的控制试验的效果最好, 中纬度 ($30\sim 40^{\circ}\text{N}$) 的两槽一脊形势 ($75\sim 80^{\circ}\text{E}$ 为一槽, 130°E 为另一槽, 100°E 附近为脊), 南亚高压的北跳, 高压中心的位置及 $80\sim$

90°E 附近的自北向南的跨赤道气流均被很好地预报出来。由图 8b 所示的地形作用的预报结果看出, 南亚高压中心的位置与实况符合较好, 但 80~90°E 附近的向南的跨赤道气流未被预报出来。由图 8c 所示的凝结潜热等加热作用的预报结果可看出, 预报的南亚高压中心的位置比实况偏北和偏东, 80~90°E 附近的向南的跨赤道气流未被预报出来。由图 8d 可看出, 无地形和无凝结潜热等加热作用的预报结果最差, 预报的南亚高压环流很弱, 中心偏南与实况差别很大, 向南的跨赤道气流也未被预报出来。

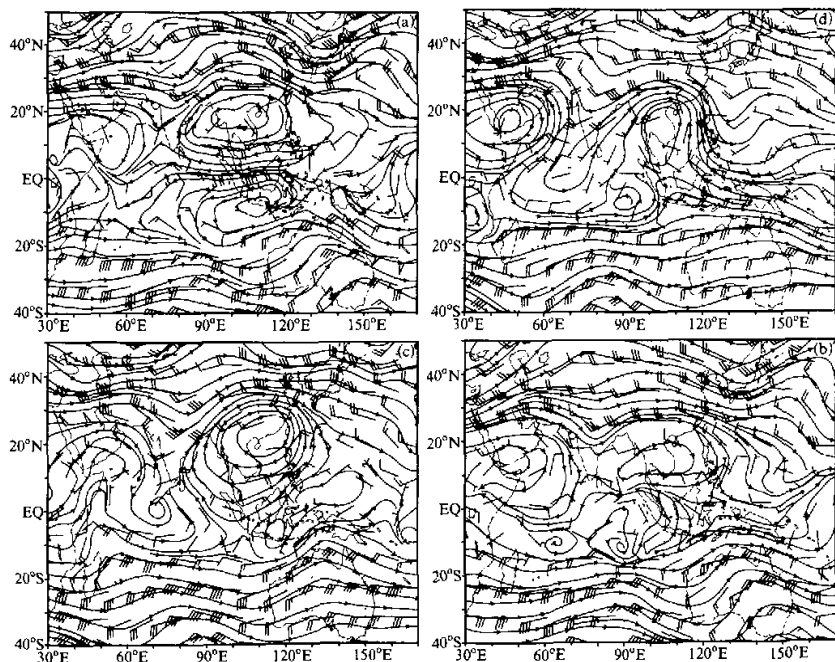


图 8 预报的第 5 天至第 6 天两天平均的 200 hPa 流线及风向杆图
(a) 方案 1; (b) 方案 2; (c) 方案 3; (d) 方案 4

以上试验结果表明, 由大尺度降水和积云对流作用释放的凝结潜热等非绝热作用和地形作用对南海夏季风的爆发都是很重要的, 包含有这两种作用的控制试验能成功地预报出南海夏季风爆发的中期过程。而缺少其中一种作用的数值试验(指方案 2~3)都不能预报出南海夏季风的爆发。

5 结语

本文图 2~4 所示的实况环流演变特征表明, 1986 年南海夏季风爆发同孟加拉湾低压的发展密切相关, 南风首先在中南半岛迅速加强, 然后向南海发展, 夏季风爆发时南海的西南风主要由孟加拉湾低压前部的西南气流和沿 105°E 附近的跨赤道气流共同组

成。

对 1986 年个例, 通过地形和凝结潜热单因子敏感性试验表明, 凝结潜热等非绝热作用和地形作用对南海夏季风的爆发都是很重要的。包含有这两种作用在内的控制试验成功地预报出南海夏季风爆发的中期演变过程, 单独的地形作用或非绝热作用都不能预报出南海夏季风的爆发。对于不同的季风环流系统, 它们的相对重要性有所不同。对于 850 hPa 孟加拉湾低压的发展及东移, $100^{\circ}\sim 105^{\circ}\text{E}$ 附近自南向北跨赤道气流的建立, 地形作用似乎重要一些。而对于低层西太副高的东撤, 凝结潜热似乎重要一些。但地形和凝结潜热的相对重要性也许有年际变化, 它们对大气的作用同大气本身的状态有关。

虽然本文敏感性试验的结论是从 1986 年个例试验得到的, 我们对与 1986 年实况环流演变特征有较大差异的 1987 年和 1989 年也进行过数值预报试验, 试验结果同样说明地形和凝结潜热等非绝热作用对南海夏季风的爆发都是很重要的, 这可能说明 1986 年个例的敏感性试验的结论还是有一定代表性的。今后将对更多的个例进行分析。本文讨论的是全球范围的地形和非绝热加热作用, 没有按区域讨论某地形或某区域范围内的加热对南海夏季风爆发的作用, 未能给出大气中凝结潜热的分布图, 也没有讨论由积云对流和大尺度上升运动产生的两类不同凝结过程释放的潜热的相对重要性, 估计热带积云对流作用是主要的, 这些都有待进一步研究。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 宋正山、鲍媛媛、杨辉, 初夏东南亚季风建立的气候特征及年际变化, 东亚季风和中国暴雨, 北京: 气象出版社, 1998, 250~264.
- 3 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.
- 4 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, 北京: 气象出版社, 1996, 132~142.
- 5 纪立人、陈嘉滨、张道民、吴万里、沈如金、盛华、黄伯银、赵高祥, 一个包含非绝热物理过程的全球谱模式及其初步结果, “中期数值天气预报研究”成果汇编, 北京: 气象出版社, 1990, 27~40.
- 6 Zhang Daomin, Li Jinlong and Ji Luren et al., A global spectral model and test of its performance, *Advances in Atmospheric Sciences*, 1995, 12(1), 67~78.

A Numerical Forecast Experiment on the Onset of the Summer Monsoon over the South China Sea

Luo Meixia and Yang Hui

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract The characteristics of atmospheric circulation change of the South China Sea summer monsoon onset in 1986 are analyzed. The cross section of the v component of the wind vector in the lower troposphere shows that the south wind is intensified quickly first over the Indo-China Peninsula, then progressed to the South China Sea. The onset of the summer monsoon over the South China Sea may be closely related to the intensifying of low-pressure located in the Bay of Bengal. Based on the results of various sensitive numerical forecast experiments, it is show that the dynamic effects of the topography and the effects of condensation latent heat are both very important to the onset of the summer monsoon over the South China Sea. The major change processes of the onset of the summer monsoon over the South China Sea are well predicted when the effects of the topography and the diabatic heating are both included in the control experiment, but could not be predicted only by the dynamic effects of the topography or by the diabatic heating effects.

Key words: South China Sea summer monsoon; onset; numerical forecast experiment; effect of topography; condensation latent heat