

南海夏季风爆发的数值预报模拟实验^{*}

吴池胜¹⁾

冯瑞权²⁾

古志明²⁾

王安宇¹⁾

侯尔滨²⁾

林文实¹⁾

1) 中山大学大气科学系, 广州 510275

2) 澳门地球物理暨气象局, 澳门大潭山

摘 要 1998年5月21日00时(UTC), 对流层上部200 hPa的南亚反气旋中心位于(16°N, 94°E)附近, 850 hPa南海的中南部仍为副热带反气旋控制; 到21日12时, 200 hPa的南亚反气旋中心迅速移到(21°N, 94°E)附近, 同时850 hPa的南海副热带反气旋减弱东撤, 南海的中南部由东南风转变为西南风, 南海夏季风爆发。本文利用美国国家大气研究中心和宾西法尼亚州大学联合研制的中尺度模式(MM5V2)模拟预报这一过程, 同时通过敏感性实验研究了区域边界条件和水平分辨率对季风预报模拟实验的影响。

关键词: 南海夏季风爆发; 数值模拟; 侧边界条件; 水平分辨率

1 引言

中国处于亚洲季风区, 季风的的活动直接影响大范围的降水分布甚至旱涝灾害的发生^[1]。国家经济建设的发展和社会的进步迫切需要有关季风活动的预报。然而, 由于资料的缺乏以及问题的复杂性, 长期以来这方面的进展相当困难。80年代以来, 数值模式的发展以及资料的增多, 使得季风的数值研究有了许多进展^[2~4], 但有关南海季风爆发的数值模拟和预报的研究仍比较少。1998年南海夏季风爆发于5月第5候^[5]。图1b是5月21日00时(UTC, 下同)的850 hPa流场, 由图可见, 南海的中南部仍为副热带反气旋控制; 与此同时, 200 hPa的南亚反气旋中心位于(16°N, 94°E)附近(图2a)。到5月21日12时, 上述南亚反气旋中心已跳跃式地北移至(21°N, 94°E)附近(图2b), 与此同时, 850 hPa南海副热带反气旋迅速减弱东撤, 南海的中南部由先前的东南风转为西南风(图1c), 即南海夏季风全面爆发; 此后西太平洋副热带高压脊继续减弱, 南海的季风槽进一步发展(图1d), 同时南亚反气旋中心继续增强(图2c)。本文利用MM5对这一季风爆发过程作预报模拟实验, 并通过敏感性实验, 探讨水平分辨率和区域侧边界条件对模拟的影响。

2 模式简介和实验方案

实验采用美国国家大气研究中心和宾西法尼亚州大学联合研制的第5代中尺度模式(MM5V2)。模式包含比较完善的物理过程。其中, 积云对流参数化采用KF方案, 行

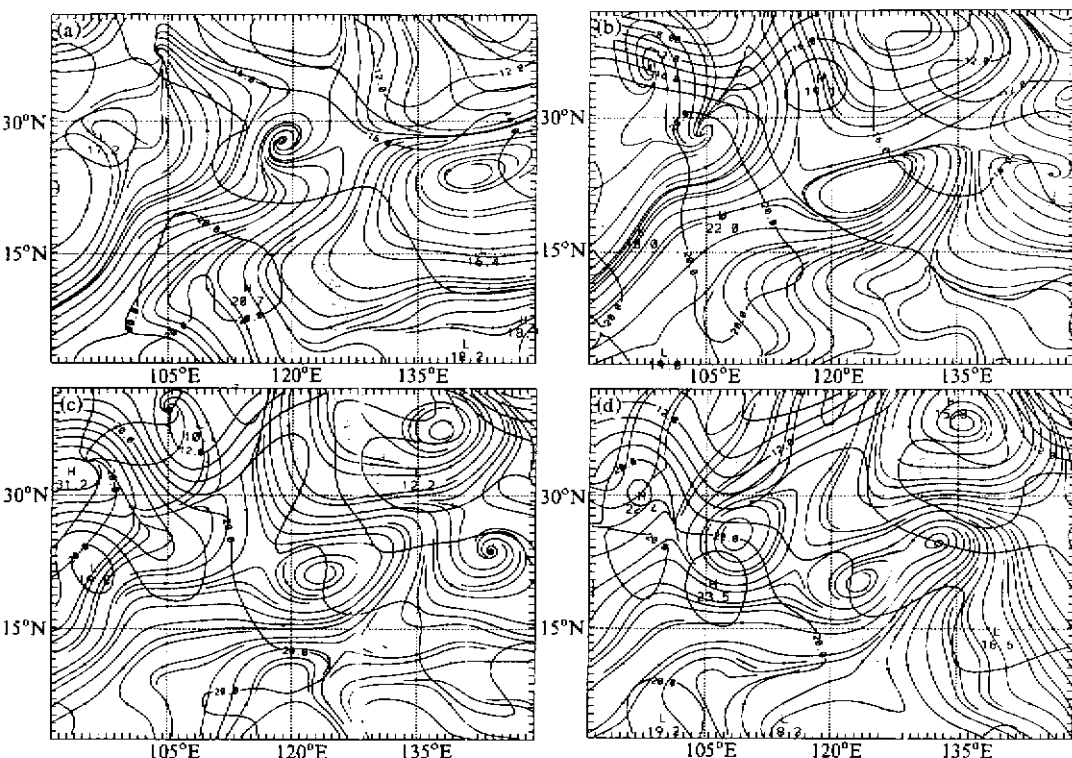


图1 客观分析的850 hPa流场和温度场(等温线间隔为2℃)

(a) 20日00时; (b) 21日00时; (c) 21日12时; (d) 22日00时

星边界层的物理过程采用 NMC (NCEP) 的中期预报模式 (MRF) 方案, 辐射过程采用经 Dudhia 修改的方案^[6], 其他有关 MM5 的详细描述见文献[7]。

我们共设计了如下3个实验方案:

(1) 控制实验 (CNTL): 采用麦卡托地图投影, 水平格距为 108 km, 预报区域范围 (90~150°E、2~41°N) 内共有 45×61 个格点。把 NCEP 的 2.5°×2.5° 的再分析资料插值到网格点上作为初值。侧边界条件采用时变的张弛边界条件。从 5 月 20 日 00 时积分到 5 月 23 日 00 时。

(2) 敏感性实验 A (SNTA): 采用不随时间变化的侧边条件, 其余的与 CNTL 的相同。

(3) 敏感性实验 B (SNTB): 水平网格距取为 36 km, 其余的与 CNTL 的相同。

3 结果分析

3.1 夏季风环流的建立

图 3 给出实验 CNTL 的 5 月 21 日 00 时~5 月 22 日 00 时的 850 hPa 流场和温度场。比较图 3 与图 1, 可以看出, 模式对 850 hPa 南海副热带反气旋的减弱东退和南海西南风的建立均模拟得相当好, 南海中南部风向转换的时间与实况吻合, 但模拟的巴士

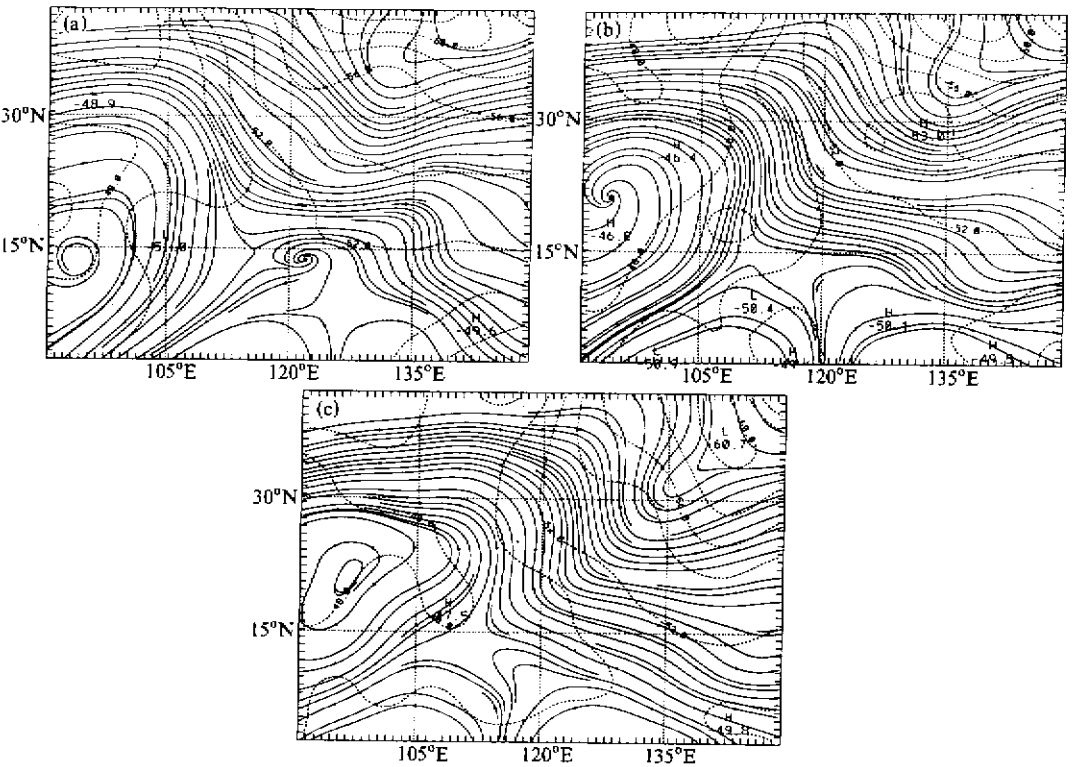


图2 客观分析的200 hPa流场和温度场(等温线间隔为2℃)
(a) 21日00时; (b) 21日12时; (c) 22日00时

海峡东面的气旋性环流比实况弱,模拟不出其中的中尺度气旋性涡旋。图4是CNTL模拟的200 hPa流场和温度场,南亚反气旋中心在21日00时位于约(16°N, 103°E),到21日12时(季风爆发时)已北跃至(22°N, 104°E)附近。对照图4与图2,可见模拟的南亚反气旋中心在西南季风爆发过程中的迅速北移与实况相当一致。

已有的一些研究结果表明,亚洲夏季风的建立与30°N以南的东亚地区对流层经向温度梯度的转向密切相关^[8,9]。图5是1998年5月20日00时至23日00时的500~200 hPa气层间平均的温度水平分布图。由图5a可见,约在(100~120°E, 10~30°N)区域上的水平温度梯度是指向南(南暖北冷)的,这种分布与多年平均的季风爆发前状态是一致的^[9];此后,该区域的水平温度梯度逐渐演变成指向北(南冷北暖)的形势(图5b,其余时次的图略);伴随着水平温度梯度的转向,南海季风爆发。图6是实验CNTL模拟的500~200 hPa气层间平均温度的水平分布图。比较图6与图5,可以看出,模拟的水平温度梯度在季风爆发前后的转向过程与实况颇为一致。

图7是CNTL模拟的南海及其附近地区5月21日06时~21日12时的6小时降水量分布图。图8是5月21日12时的红外卫星云图。比较图7与图8,可见模拟的从西太平洋经菲律宾北部到南海中部的东北—西南走向的雨带、中南半岛南部的雨区、孟加拉湾东岸的雨区以及副热带高压南侧(印度尼西亚北侧)的ITCZ降水带均与卫星云图上的云区分布相当一致。

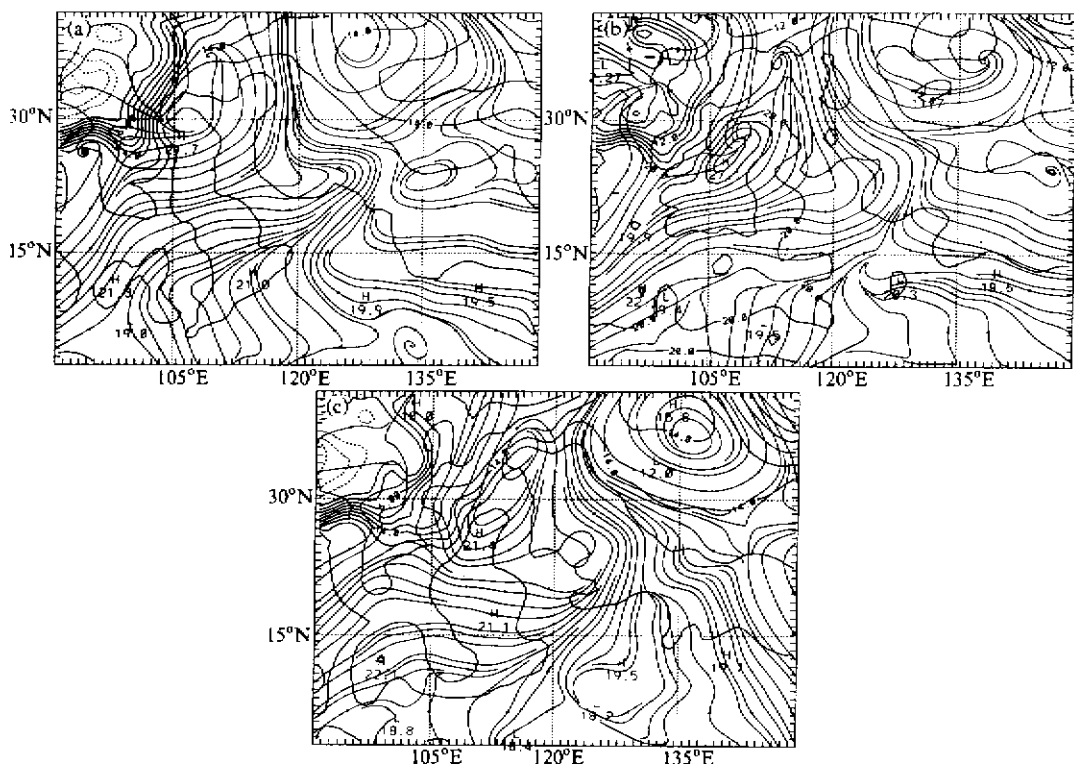


图3 CNTL 模拟的 850 hPa 流场和温度场 (等温线间隔为 2℃)

(a) 21 日 00 时; (b) 21 日 12 时; (c) 22 日 00 时

以上的分析结果表明, 我们对 1998 年 5 月南海夏季风爆发过程中主要环流系统的演变和降水分布的模拟是成功的。

3.2 侧边界条件的影响

图 9 是实验 SNTA 的 5 月 21 日 12 时的 850 hPa 流场和温度场。由前述可知, 此刻 (即 5 月 21 日 12 时) 南海夏季风全面爆发 (图 1、2), 但图 9 上南海的副热带反气旋仍相当强大, 其脊线约在 15°N, 南海的中南部盛行东南风。也就是说, 此时图 9 上南海季风尚未爆发。南海的副热带反气旋直到 22 日 06 时后才逐渐撤出南海, 南海的中南部转吹西南风 (图略)。也就是说, 在随时间不变的 (即固定的) 边界条件下, 南海西南季风的爆发时间被推迟约 18 个小时。

此外, 我们还分别做了取区域的西边界和南边界为固定边界的实验, 也得到类似于 SNTA 的结果, 其中, 前者导致西南季风爆发时间推迟约 18 个小时, 后者约推迟 12 个小时。由此可见, 边界条件对季风爆发模拟的影响是相当大的。

南海夏季风爆发时, 南海西南风的来源一直是人们感兴趣的问题。有人认为它是由越赤道气流的强迫所致, 也有人认为南海西南季风爆发初期来自孟加拉湾^[10]。在 SNTA 中, 由于在初始时刻 (20 日 00 时) 850 hPa 上约 100°E 以东的南边界上均为偏东风 (图 1a), 因此, 在固定的边界条件下, 22 日 06 时后南海中南部的西南风不可能是南半球的越赤道气流北上的结果。因此, 这似乎意味着南海季风爆发时, 其西南气流

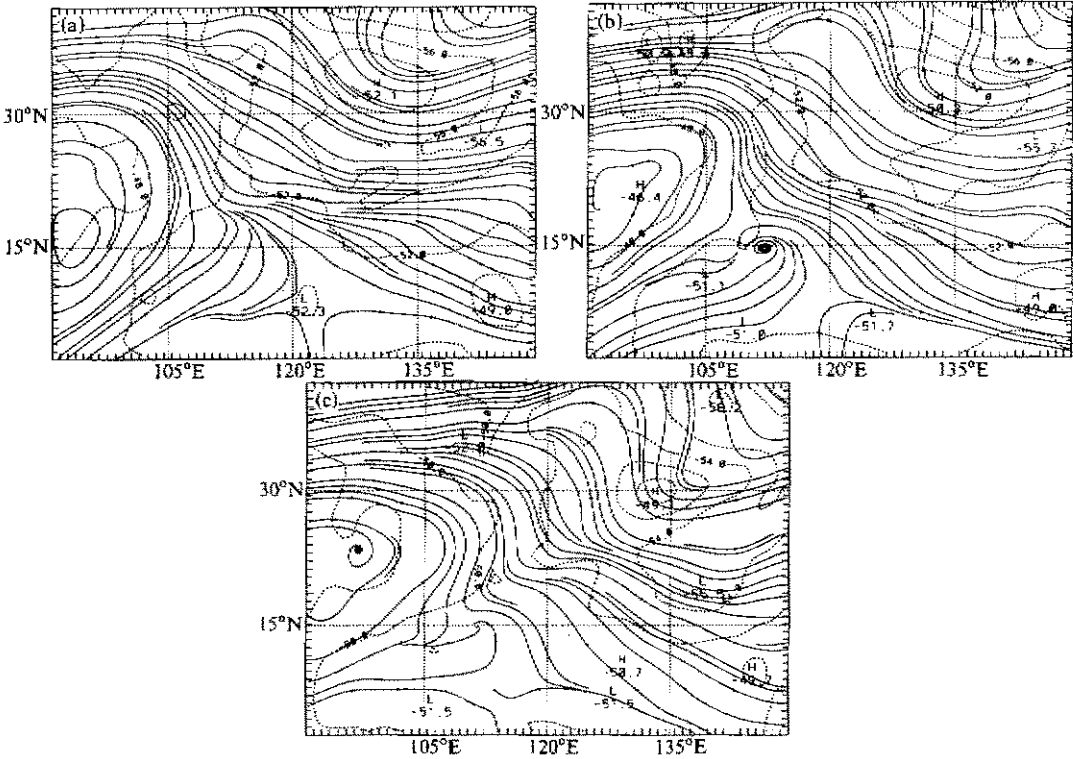


图4 CNTL 模拟的 200 hPa 流场和温度场 (等温线间隔为 2℃)
(a) 21 日 00 时; (b) 21 日 12 时; (c) 22 日 00 时

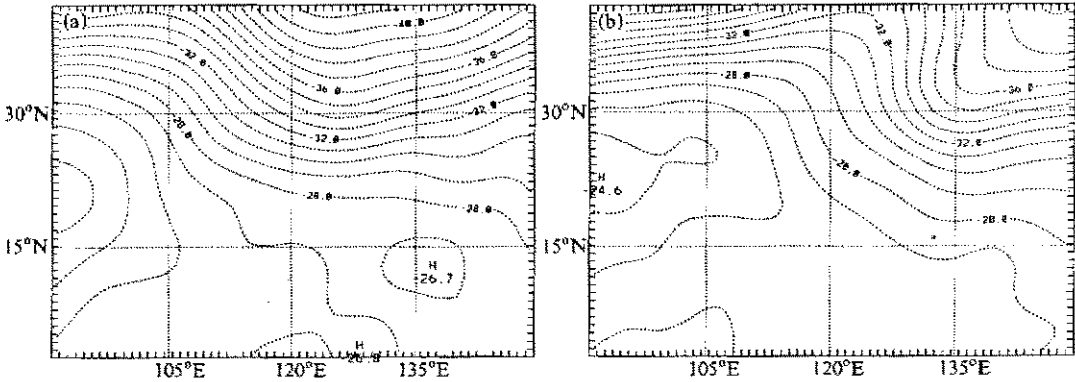


图5 500~200 hPa 气层间的平均温度水平分布 (等值线间隔为 1℃)
(a) 20 日 00 时; (b) 22 日 00 时

不一定是来自南半球的。

3.3 水平分辨率的影响

图 10 和图 11 分别是实验 SNTB 模拟的 850 hPa 和 200 hPa 流场和温度场。把图 10 和图 11 分别与图 1、图 3 和图 2、图 4 相比较。可以看出，从整体上来说，SNTB 对西南季风爆发过程的模拟与 CNTL 的基本相同，并能模拟出台湾东南面的中尺度低

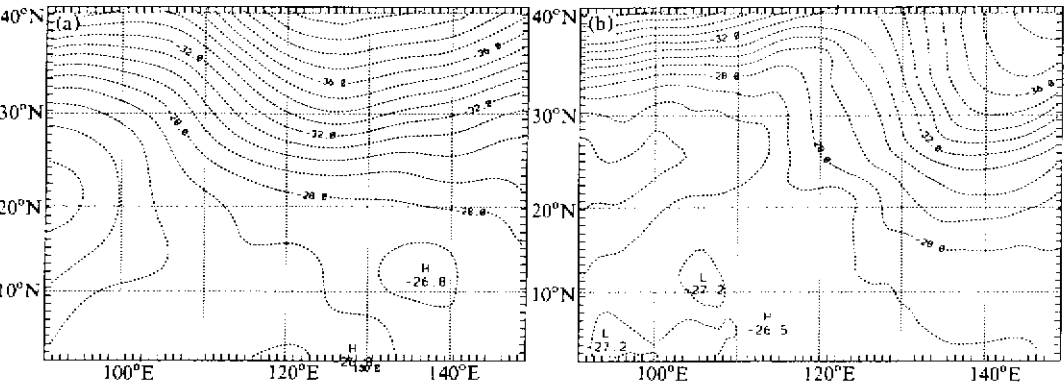


图6 CNTL 模拟的 500~200 hPa 气层间的平均温度水平分布 (等值线间隔为 1°C)
(a) 20 日 00 时; (b) 22 日 00 时

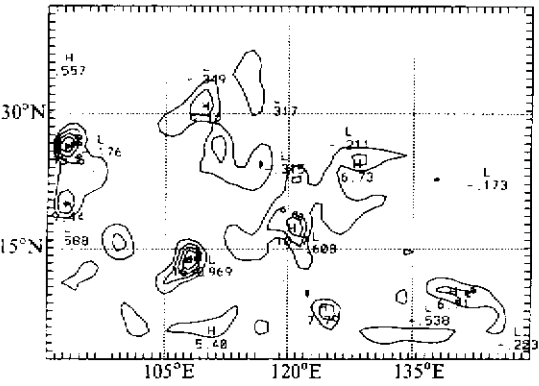


图7 CNTL 模拟的 5 月 21 日 06 时~21 日 12 时
累积降水量 (等值线间隔为 3 mm)

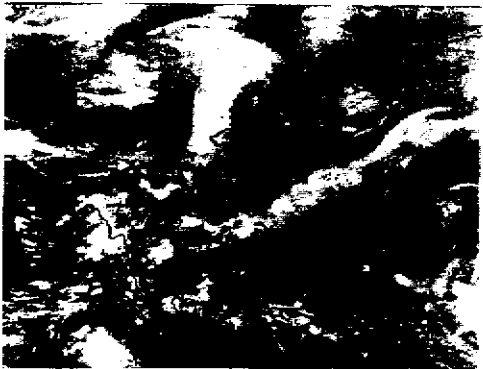


图8 1998 年 5 月 21 日 12 时的红外卫星云图

压环流 (CNTL 模拟不出此低压环流); 但模拟的南亚反气旋中心位置与实况偏差较大 (约偏北 4 个纬度), 不如 CNTL 的准确。因此, 对大尺度环流系统的预报 (模拟) 来说, 并不是模式的水平分辨率越高 (格距越小) 预报 (模拟) 的效果就越好。Sperber 也曾得到类似的结果, 他比较了 ECMWF 的 T21、T42、T63 和 T102 对亚洲夏季风环流模拟的结果, 发现对大尺度季风环流特征 (包括 200 hPa 的速度势、低空越赤道气流以及降水分布) 的模拟, 以 T21 的结果为最佳^[3]。张大林认

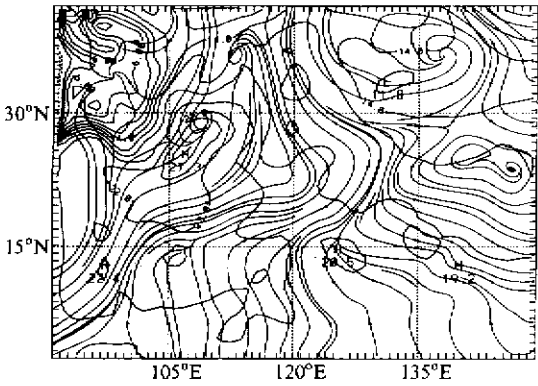


图9 SNTA 模拟的 5 月 21 日 12 时 850 hPa
流场和温度场 (说明同图 1)

为, 网格距的减少使可分辨尺度的辐合辐散加强, 加之非线性作用造成的部分能量折回以及小尺度地形的强迫, 容易出现局地的强环流以及第二类条件不稳定的失真发展^[1]。仔细分析对比实验 SNTB 和 CNTL 的每 6 小时的降水量分布, 发现在中南半岛的西部和北部地区 SNTB 的雨量比 CNTL 的多约 1/3 (图略)。因此, SNTB 的由于积云对流潜热释放引起的加热也必然比 CNTL 的大得多。这可能是造成 SNTB 的 200 hPa 温度偏高 (图 11b) 和南亚反气旋中心位置偏北的主要原因。此外, 与前述的水平侧边界条件相比, 水平分辨率对模拟结果的影响是较小的, 这与 Anthes 的结果^[12]是一样的。

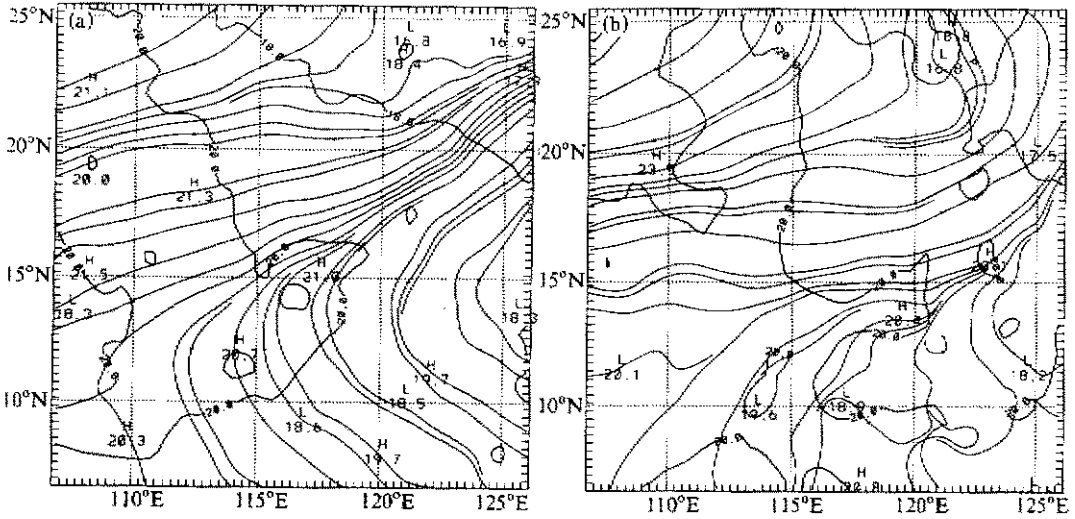


图 10 实验 SNTB 模拟的 850 hPa 流场和温度场(说明同图 1)
(a) 21 日 00 时; (b) 21 日 12 时

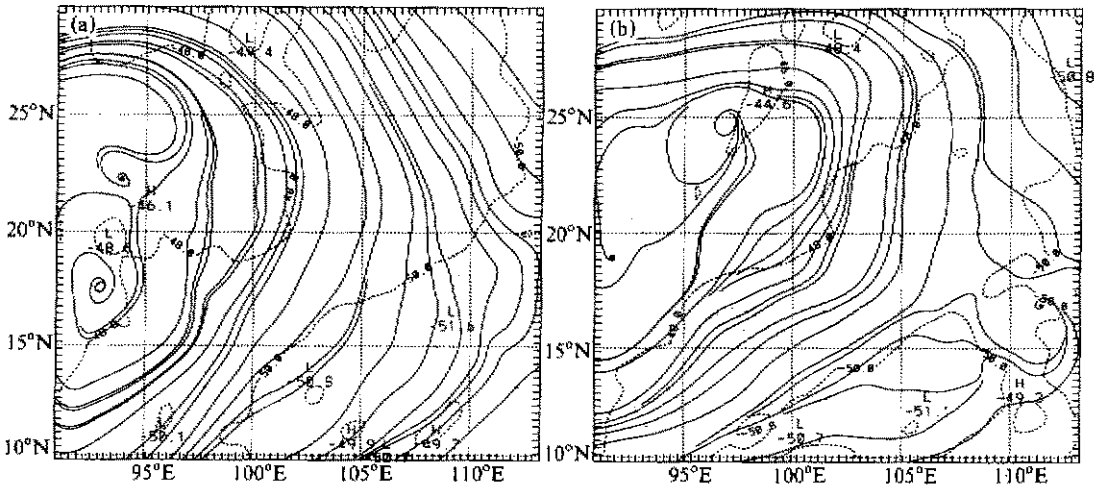


图 11 实验 SNTB 模拟的 200 hPa 流场和温度场(说明同图 1)
(a) 21 日 00 时; (b) 21 日 12 时

4 小结与讨论

(1) 实验 CNTL 成功地模拟出 1998 年 5 月 21 日前后南海夏季风的爆发过程, 模拟的副热带高压的减弱东退和南海风向的转换以及南亚反气旋的跳跃式北上过程与实况相当一致。至于影响季风爆发的物理因子, 限于篇幅, 我们将另文讨论。

(2) 对有限区域模式来说, 不随时间变化的侧边界条件对时间尺度为 3 天左右的季风爆发过程的模拟有重要的影响, 它使南海副热带高压的东退和西南风建立的时间推后十几个小时。另一方面, 考虑到在初始时刻区域的南边界上盛行偏东风, 模拟结果也似乎意味着南海西南季风爆发时, 其西南气流不一定是来自南半球的。

(3) 相对于侧边界条件来说, 水平格距的大小对季风环流建立的模拟结果的影响是比较少的。对于大尺度季风系统的运动特征, 网格距为 108 km 的模拟结果明显优于格距为 36 km 的。因此, 并不是水平分辨率越高, 预报(模拟)的效果就越好。

参 考 文 献

- 1 丁一汇、马鹤年, 东亚季风的研究现状, 亚洲季风研究的新进展——中日亚洲季风机制合作研究论文集, 北京: 气象出版社, 1996, 1~13.
- 2 Chen, S. and L. Delidoro, Numerical experiment on the sensitivity of the monsoon circulation to differential heating, *Quart. R. Meteor. Soc.*, 1986, **112**, 93~112.
- 3 Sperber, K. R., S. Hameed and G. L. Potter et al., Simulation of the northern summer monsoon in the ECMWF model: sensitivity to horizontal resolution, *Mon. Wea. Rev.*, 1994, **122**, 2461~2481.
- 4 罗丕瑜、王安宇、吴池胜, 1994 年 6 月东亚季风的数值模拟, 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, 176~181.
- 5 李崇银、吴静波, 1998 年南海夏季风爆发的分析研究, 南海夏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, 18~23.
- 6 Dudhia, J., Numerical study of convection observed during the winter monsoon experiment using a mesoscale two-dimensional model, *J. Atmos. Sci.*, 1989, **46**, 3077~3107.
- 7 Grell, C. A., J. Dudhia and D. R. Stauffer, A description of the fifth generation Penn State-NCAR mesoscale model (MM5), NCAR Tech. Note, NCAR/TN-398+STR, 1994, 138p.
- 8 陈隆勋、朱乾根、罗会邦等, 东亚季风, 北京: 气象出版社, 1991, 80~81.
- 9 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, 亚洲季风研究的新进展——中日亚洲季风机制合作研究论文集, 北京: 气象出版社, 1996, 74~81.
- 10 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——中日亚洲季风机制合作研究论文集, 北京: 气象出版社, 1991, 54~64.
- 11 张大林, 各种非绝热物理过程在中尺度模式中的作用, 大气科学, 1998, **22**(4), 548~561.
- 12 Anthes, R. A., Kuo Y.-H., Hsieh Y.-Y., et al., Estimation skill and uncertainty in regional numerical models, *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 1989, **115**, 763~806.

Numerical Simulation of the South China Sea Summer Monsoon Onset in 1998

Wu Chisheng¹⁾, Fong Soi-kun²⁾, Ku Chi-meng²⁾,
Wang Anyu¹⁾, Hao I-pan²⁾ and Lin Wenshi¹⁾

1) *Department of Atmospheric Sciences, Zhongshan University, Guangzhou 510275*

2) *Macau Meteorological and Geophysical Services, Macau*

Abstract Based on NCEP / NCAR daily reanalyzed data, on 0000 UTC 21 May in 1998, at 850 hPa the Western Pacific subtropical high ridge (WPSHR) was just over the South China Sea Region (SCS). In the upper troposphere (200 hPa), the center of subtropical anticyclone located near (16°N, 94°E). By 1200 UTC the WPSHR retreated suddenly eastward from SCS and weakened. On the meantime, in the lower troposphere (850 hPa) in the SCS the southeasterly vanished and the southwesterly prevailed, i.e. the SCS summer monsoon onset happened. In the upper troposphere (200 hPa) the subtropical anticyclone, being an important characteristic of SCS summer monsoon onset, shifted abruptly northward to the northern Indo-China Peninsula (21°N, 94°E). Using the NCEP / NCAR reanalyzed data and NCAR / PENN MM5V2 model, some numerical experiments about the summer monsoon onset in SCS had been performed. The control experiment is capable of reproducing above-mentioned summer monsoon onset process in SCS. The results of sensitivity experiments show: (1) The lateral boundary conditions have an important influence on the monsoon onset time in SCS. (2) Using lower model horizontal resolution (108 km), the model can produce better large-scale monsoon circulation features than that using higher resolution (36 km).

Key words: onset of South China Sea summer monsoon; numerical experiment; lateral boundary condition; horizontal resolution