

黄海、东海海域出海气旋发展过程中尺度数值模拟

周明煜¹ Hsiaoming Hsu² 袁耀初³

1 国家海洋环境预报中心,北京 100081

2 National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO 80307, U. S. A.

3 国家海洋局第二海洋研究所,杭州 310012

摘要 利用 MM5 中尺度模式对 1999 年 6 月两个出海气旋发展过程进行数值模拟. 数值模拟的气旋出海后移动路径与实际情况基本一致. 在数值模拟基础上重点讨论了出海气旋发展过程潜热通量和感热通量的分布及其演变情况. 气旋出海后在气旋中心区南方和东方存在负潜热通量和感热通量区. 出海气旋的东移和发展,其前方强大正热通量区的存在可能是重要原因之一.

关键词 数值模拟 出海气旋 潜热通量 感热通量 黄海、东海海域

文章编号 0001 - 5733(2003)02 - 0175 - 04 中图分类号 P404 收稿日期 2001 - 01 - 17,2002 - 06 - 20收修定稿

MESO-SCALE NUMERICAL SIMULATION IN DEVELOPING PROCESS OF CYCLONE MOVED TO SEA IN YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA

ZHOU MINGYU¹ HSIAOMING HSU² YUAN YAOCHU³

1 National Center for Marine Environmental Forecast, Beijing 100081, China

2 National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO 80307, U. S. A.

3 Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou 310012, China

Abstract A numerical simulation was made for developing processes of two cyclones going to sea in June 1999 by using the MM5 meso-scale model. The calculated moving pathes of the cyclones over ocean area is consistent with the observations. The distribution and variation of latent and sensible heat fluxes of the cyclones were discussed based on the numerical simulation. There are negative latent and sensible heat fluxes in south and east of the cyclone central area after it moved to ocean. A strong positive heat flux area in the front of cyclone may be one of important reasons for eastward movement and development of cyclone going to sea.

Key words Numerical simulation, Cyclone going to sea, Latent heat flux, Sensible heat flux, Yellow Sea and East China Sea.

1 引言

从中国大陆东移入海的气旋由于海气相互作用往往很快发展,有的可成为爆发性气旋. 气旋出海后爆发性发展过程对海上生产和交通运输带来极大危害,它是重要的海洋灾害天气过程之一. 这种爆发性气旋主要来自黄海气旋、江淮气旋和东海气旋,

其中江淮气旋最多,以 5~6 月发生的频率最高^[1]. 至今对气旋出海后发展的物理过程还不十分清楚. 国外学者在这方面的研究主要在大西洋,对太平洋海域的研究极少,国内学者对中国近海爆发性气旋有过一些研究^[2-6],但主要集中在统计学分析和动力学诊断分析等方面.

为了更好地了解出海气旋发展的海气相互作用过程,1999年6月在黄、东海海域进行了入海气旋

基金项目 国家自然科学基金重点项目(49736200).

作者简介 周明煜,男,研究员. 专长于大气边界层物理和海气相互作用的研究. E-mail: mingyuzhou@yahoo.com

发展过程的海洋大气同步观测. 从观测资料的分析得到一些有意义的结果, 例如, 在出海气旋发展过程出现海面负的感热通量和潜热通量^[7]. 由于海上观测为船舶走航观测, 在观测时间和海域有一定的局限性. 为了克服这些局限性, 本文对 1999 年 6 月海上调查时期两个出海气旋发展个例进行中尺度数值模拟, 以对出海气旋发展过程有更全面的了解.

2 数值试验设计

本文中所用的数值模拟是非静力美国宾夕法尼亚州立大学国家大气研究中心的 MM5 中尺度模式. 一个简单的显示云微物理处理方法和具有长波和短波辐射与云、降水和地面相互作用的辐射方案被选用于模式中. 近来已将国家环境预报中心 (NCEP, National Center for Environmental Prediction) 中期预报模式中的行星边界层参数化方法用于中尺度模式.

所有的模拟是在一个水平三重套网格中完成. 它们的外、中和内区域的水平格距分别为 81, 27 和 9km, 格点分别为 91×91 , 121×121 和 175×175 . 在套网格上模拟时是相互作用的. 垂直方向具有 35 个计算层, 模式顶层位于 35hPa 以上.

实施 MM5 时所需的三维场首先从全球同化资料 (2.5° 分辨率) 内插, 然后应用有效的探空和地面观测资料通过 MM5 预处理器进行提升. 背景海面温度是从 NCEP 全球 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 同化分析 (全球资料同化系统 GDAS, Global Data Assimilation System) 中获得. 模式设计的指导性原则是从计算区域以外获得尽可能多的天气信息并在计算区域内进行中尺度数值模拟.

3 数值模拟结果

1999 年 6 月 10 ~ 11 日有一气旋在长江下游形成, 从长江口附近出海, 出海后东移发展^[7]. 模式计算结果表明, 1999 年 6 月 10 日 08:00 时 (北京时, 下同) 在江苏、浙江一带有一气旋形成, 在日本西南海域有一范围很大的正潜热通量 (Q) 区, 中心区的 Q 值可达 240W/m^2 . 在黄海、东海海域潜热通量都很小. 感热通量分布大致与潜热通量类似, 但其值明显低于潜热通量. 6 月 10 日 14:00 时气旋出海, 在长江口以东海域可看到气旋性环境 (见图 1a), 气旋

中心海面风速有所增大. 在气旋中心附近海域出现负潜热通量区, 中心区的值略低于 -30W/m^2 . 该区的感热通量也为负值, 但非常微弱 (感热通量图略, 下同). 在日本西南海域仍为正潜热通量区, 其范围比 08:00 时有所扩大, 强度有所加强, 中心区的值可达 260W/m^2 以上. 日本西南海域正感热通量区分布与潜热通量相似, 感热通量中心区的值约 30W/m^2 , 比潜热通量小一个量级. 6 月 10 日 20:00 时气旋继续东移 (见图 1b), 气旋中心位于 30°N , 124°E 附近, 气旋范围有所扩大. 在气旋中心区存在负潜热通量区, 在气旋中心东南和西南方各有一负潜热通量中心, 西南方中心负潜热通量更低, 其值可达 -50W/m^2 , 东南方中心潜热通量为 -30W/m^2 . 负感热通量区位于气旋中心南方, 其中心区值约 -50W/m^2 . 在浙江以东海域感热通量也为负值, 其值约 -60W/m^2 . 在日本西南海域正潜热通量区与 14:00 时相比其范围更向西北方向伸展, 中心区的潜热通量值可达 300W/m^2 以上. 该区域的感热通量区也有类似的变化, 中心区的值可达 80W/m^2 以上. 此后气旋继续东移, 6 月 11 日 02:00 时气旋中心到达 30°N , 125°E . 在气旋中心西南方仍有负潜热通量区, 但强度有所减弱, 中心区的值为 -15W/m^2 左右. 负感热通量区也位于气旋中心西南, 其中心区值约 -30W/m^2 . 在日本西南海域仍为正潜热通量, 其强度还在加强, 中心区的值可达 360W/m^2 (图略). 该区域的感热通量也有所加强, 其中心区值达 130W/m^2 以上. 6 月 11 日 08:00 时气旋中心已移到 29°N , 130°E (见图 1c). 此时该气旋中心附近的负潜热通量区已消失. 日本西南海域正潜热通量区有所东移, 中心区的值为 240W/m^2 , 与 02:00 时相比明显下降. 该区域的感热通量没有减弱, 还略有增强, 中心区的值可达 180W/m^2 以上. 此后该气旋东移, 移出该研究领域.

数值模拟上述出海气旋移动路径与实际情况基本符合. 6 月 10 日 14:00 时至 6 月 11 日 02:00 时调查船曾穿越该气旋, 在此期间观测到负的感热通量和潜热通量, 其值接近 30W/m^2 . 6 月 11 日 08:00 时以后调查船位于气旋中心区以外海域曾观测到较强的潜热通量 (达 100W/m^2). 这可定性地验证数值模拟结果的可靠性.

1999 年 6 月 16 ~ 17 日又有一气旋出海发展的例子. 对这个例子模拟结果表明, 6 月 16 日 02:00 时有一气旋从山东一带开始出海 (见图 1d). 在山东以东海域直到长江口以东海域为一范围很大的负潜热通量区, 具有二个负值中心, 其中之一位于山东以

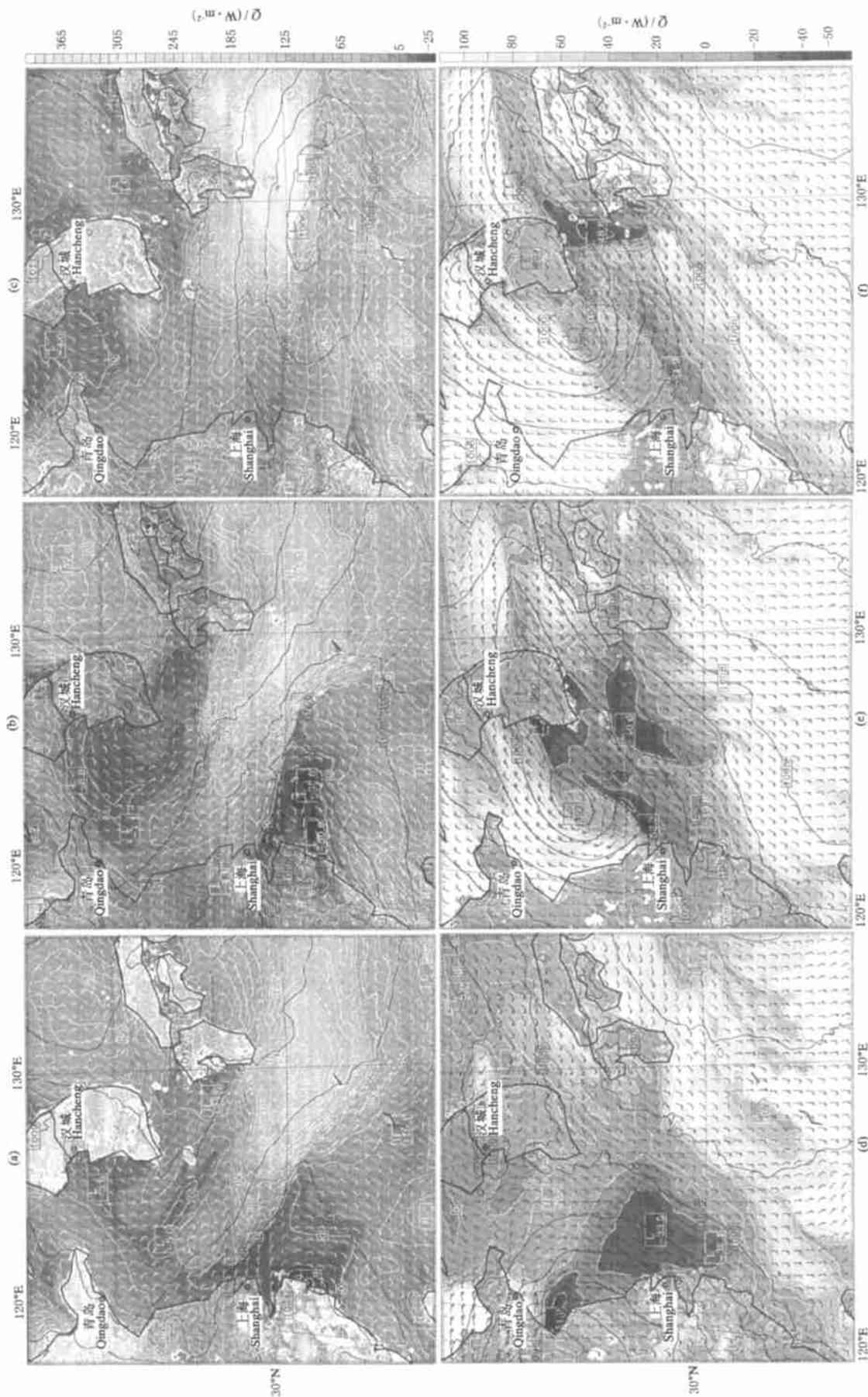


图 1 MMS 中尺度模式计算的 1999 年 6 月海面风场和潜热通量 Q 分布图(时间为北京时间)
 (黑色曲线为气压等值线, 白色曲线为潜热通量 Q 等值线, 箭头为风矢量)(a) 06-10-14:00; (b) 06-10-20:00; (c) 06-11-08:00; (d) 06-16-02:00; (e) 06-17-02:00; (f) 06-17-08:00.
 Fig. 1 Sea surface wind field and distribution of latent heat flux calculated by MMS meso-scale model(Black curve-pressure contour, white-latent heat flux, arrow-wind vector)

东海域,中心区潜热通量约为 $-50\text{W}/\text{m}^2$,另一中心位于长江口以东海域,中心区潜热通量低于 $-30\text{W}/\text{m}^2$. 黄、东海其余海域为较弱的正潜热通量区,其值为 $10\sim 40\text{W}/\text{m}^2$. 日本西南海域也为正潜热通量区,其中心区值为 $80\text{W}/\text{m}^2$ 左右. 气旋出海后不断发展,6月17日02:00时气旋中心移至 $34^\circ\text{N}, 123^\circ\text{E}$ (见图1e),黄、东海海域风速明显增大. 在气旋中心南方、东南方和东方为一大范围的负潜热通量区,具有若干个负值中心,中心区的潜热通量值一般为 $-40\text{W}/\text{m}^2$ 或 $-50\text{W}/\text{m}^2$ 左右,黄海其余海域和日本西南海域为正潜热通量区,其较大范围高值区通量值为 $80\text{W}/\text{m}^2$ 左右. 6月17日08:00时气旋已于韩国西南部登陆(见图1f). 此时,在韩国和日本之间海域有一负潜热通量区,其中心区值为 $48\text{W}/\text{m}^2$,在长江口以东海域为一弱负潜热通量区,其中心区值为 $-22\text{W}/\text{m}^2$. 数值试验区内其他海域为正潜热通量区,其值大都为 $60\sim 80\text{W}/\text{m}^2$,此后该气旋越过韩国向东北方移动. 在此出海气旋发展过程中感热通量的分布大致与潜热通量相似,但其值低于潜热通量.

在6月16~17日期间调查船调查海域离气旋中心有一定距离,位于气旋中心的东南方向. 观测资料显示了5次负的感热通量和潜热通量,其值一般在 $-20\sim -30\text{W}/\text{m}^2$. 这与数值模拟结果显示气旋南方和东南方有大范围负潜热通量是一致的. 数值模拟的气旋移动路径也与实际情况基本一致. 综合以上两个实例的模拟结果可以发现,在气旋出海发展过程中都存在潜热通量和感热通量负值区,其值一般为负几十 W/m^2 . 这两个气旋出海后移动方向不同. 6月10~11日个例,气旋从长江口附近出海,出海后向东略偏南方向移动,在气旋出海后移动方向前方,日本西南海域存在一范围和强度都很大的正潜热通量和感热通量区. 6月16~17日个例,气旋从山东一带出海,出海后向东偏北方向移动. 此气旋在海上发展过程中正热通量区较弱,其值明显低于前一个例. 出海气旋东移路径一般与上层大气背景形势有关. 但6月10~11日个例出海气旋向东略偏南方向移动,在其移动方向前方强大的热通量区从海洋向大气输送大量的热量和水汽可能是使其东移的重要原因之一.

4 结 论

应用 MM5 中尺度模式成功地模拟了 1999 年 6

月两个出海气旋发展过程,重点讨论了出海气旋发展过程潜热通量和感热通量的分布及其演变情况. 在这两个出海气旋发展过程中热通量分布和强度有很大差异. 在气旋出海后,气旋中心区存在负的潜热通量和感热通量区. 6月10~11日期间气旋出海发展过程在日本西南存在一强大的正热通量区. 在出海气旋移动过程中除了上层大气背景形势外在气旋移动前方强大的正热通量区,从海洋向大气大量输送热量和水汽可能对气旋东移产生重要作用.

参考文献

- [1] 史树森. 我国沿海气旋大风天气气候分析. 气象, 1990, 13(11): 33~38
SHI Shusen. Climatic analysis of cyclone strong wind weather in coastal area of China. *Meteorology*, 1990, 13(11): 33~38
- [2] 谢柳森, 王彬华, 左中道. 黑潮加热场对气旋发展影响的动力分析. 海洋学报, 1985, 7(2): 154~164
XIE Liusen, WANG Binhua, ZUO Zhongdao. Dynamic analysis of effect of Kuroshio heating field on cyclone development. *Acta Oceanologica Sinica*, 1985, 7(2): 154~164
- [3] 杜俊, 余志豪. 中国东部一次入海气旋的次级环流分析. 海洋学报, 1991, 13(1): 43~50
DU Jun, YU Zhihao. Secondary circulation analysis of a cyclone going to sea in Eastern China. *Acta Oceanologica Sinica*, 1991, 13(1): 43~50
- [4] 仪清菊, 丁一汇. 东海地区温带气旋爆发性发展的动力学分析. 气象学报, 1992, 50(2): 152~166
YI Qingju, DING Yihui. Dynamic analysis of explosive development of the temperate zone cyclone in East China Sea. *Acta Meteorologica Sinica*, 1992, 50(2): 152~166
- [5] 吕筱英, 孙淑清. 气旋爆发性发展过程的动力特征和能量学研究. 大气科学, 1996, 20(1): 90~100
LU Xiaoying, SUN Shuqing. The study on dynamic characteristics and energy analysis of cyclone explosive developing process. *Acta Atmospherica Sinica*, 1996, 20(1): 90~100
- [6] 徐祥德, 丁一汇, 谢以扬等. 不同垂直加热率对爆发性气旋发展的影响. 气象学报, 1996, 54(1): 102~107
XU Xiangde, DING Yihui, XIE Yiyang, et al. The influence of different vertical heating rate on cyclone explosive development. *Acta Meteorologica Sinica*, 1996, 54(1): 102~107
- [7] 钱粉兰, 周明煜, 李诗明等. 黄海、东海海域出海气旋发展过程的气象场特征和热通量的观测研究. 海洋学报(专刊), 2002, 24(增1): 77~83
QIAN Fenlan, ZHOU Mingyu, LI Shiming, et al. Observational study on the meteorological characteristics of the cyclone developing process over the Huanghai Sea and the East China Sea area. *Acta Oceanologica Sinica*, 2002, 24(Suppl.): 77~83