

基于 GRAPES 模式模拟强台风“珍珠”数值分析

张兵 薛宇峰 管耀红 范伶俐

(广东海洋大学, 湛江 524088)

摘要 以 T213L30 模式产品及常规观测资料为基础, 采用 GRAPES 数值预报模式对强台风“珍珠”(0601)的演变过程进行了数值模拟。结果表明, GRAPES 模式对“珍珠”的加强、移动路径和产生的暴雨都有较好的预报能力, 尤其是对“珍珠”南海西行突然顺转 90°折向北行异常路径的预报较为理想, 且登陆点预报准确。通过对形势场(500 hPa 高度场、海平面气压场)、物理量场(温度、涡度、垂直速度、散度)、流场的数值模拟分析, 认为“珍珠”路径的转折变化与副热带高压的东撤南退、冷空气的变化、越赤道气流的变化、台风的非对称结构有关。

关键词 GRAPES 模式 台风 数值模拟 移动路径

引言

台风及台风暴雨每年都会在全球范围内造成严重的自然灾害, 而且一直是气象研究的一个重要领域。近年来由于气候异常变化, 更是造成了台风频发、变化异常, 如 2005 年登陆美国的超强飓风“卡特里娜”(Katrina)、2006 年登陆我国的百年一遇超强台风“桑美”(Saomai)、横扫中国南方 7 省(区)的强热带风暴“碧利斯”(Bilis)等, 都出现狂风巨浪、大范围持续性强降水天气, 导致了严重的暴雨洪涝、山洪和山地灾害, 造成了巨大的损失。因此加强对台风结构、路径及台风暴雨的研究, 应对当前气候条件下的新变化, 仍然具有重要的意义^[1]。近年来, 已有一些学者对台风变化的新特点展开了研究。程正泉^[2]用统计方法研究了我国近 40 年来热带气旋降水的时空分布特征; 谢定升^[3]利用非线性数学模型, 制作了热带气旋的路径预报; 梁军^[4]对热带气旋在黄海北部转向引发暴雨的环境场特征进行了数值分析; 本文采用中国气象局下发的 T213 数值预报产品及实时观测资料, 对登陆我国的强台风“珍珠”(Chanchu)进行数值试验研究, 以期在台风路径、台风暴雨研究方面得到一些有意义的结论。

1 台风“珍珠”的特点

2006 年 5 月 9 日 14:00(北京时, 下同)“珍珠”生成于菲律宾以东(132.1°E, 8.3°N)西太平洋洋面上, 20:00 加强为热带风暴, 向西北偏西方向移动; 13 日 08:00 在南海加强为台风; 15 日 02:00 发展为强台风(中心最大风速达到 $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 到 17 日 16:00, 中心最大风速一直维持少变; 5 月 18 日 02:15 在广东省饶平到澄海之间沿海地区登陆, 登陆时最大风速仍有 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 之后继续北行穿过福建省, 最后在东海减弱消失。

强台风“珍珠”不仅强度大, 而且来得早。“珍珠”5 月 18 日登陆广东省, 比我国热带气旋初次登陆的多年平均时间(6 月 24 日)提早了 40 天, 是近 55 年以来登陆我国最早的台风之一, 也是 1949 年以来登陆广东省最早的一个台风。另外, “珍珠”在菲律宾以东洋面形成后, 一直向西北偏西方向移动, 12~13 日穿越菲律宾群岛并造成较大的风暴灾害, 接着进入南海海面并继续向偏西方向移动。在 15 日上午, 当台风中心到达南海中部海面时, 突然 90°右折, 径直转向偏北方向移动, 向粤东沿海靠近, 出现了非常少见、怪异的移动路径。

台风“珍珠”的移动可以分为 4 个阶段: 西北行阶段(9 日 14:00 至 13 日 08:00): 从生成源地西

“GRAPES 模式在数值天气预报教学中的应用研究”课题资助

作者简介: 张兵, 男, 1957 年生, 学士, 副教授, 从事大气科学教学与研究及教学管理, Email: gdzjbz@163.com

收稿日期: 2007 年 11 月 14 日; 定稿日期: 2008 年 12 月 28 日

太平洋稳定地向西北方向移动,12 日穿过菲律宾群岛,13 日进入南海中南部,同时,强度在不断加强,中心风速从 $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 一直加强到 $33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。南海西行阶段(13 日 20:00 至 15 日 08:00):稳定缓慢向西移动,强度继续加强,中心风速从 $35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 加强到 $45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 达到强台风级别;但移速逐渐减慢,最慢时仅有 $6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 。顺时针旋转 90 折向北行阶段(15 日 08:00 至 17 日 02:00):15 日上午,在南海中部海面,台风突然右转 90 折向北行,移速逐渐加快,强度维持少变。登陆消失阶段(17 日 02:00 至 18 日 17:00):“珍珠”在北行靠近广东沿海过程中,在东移高空槽引导下,转向东北行,18 日 02:15 在广东澄海和饶平之间登陆,08:00 强台风减弱为热带风暴;之后沿着与粤东海岸线近乎平行的方向穿越福建,进入东海后减弱消亡。

2 GRAPES 模式及模拟方案设计

中国气象局主持研究开发的新一代多尺度通用数值预报模式 GRAPES (Global/Regional Assimilation and Prediction Enhanced System),采用完全可压缩的大气运动原始动力学方程组,集四维变分同化系统、有限区域中尺度数值预报系统、全球中期天气数值预报系统为一体,为气象科研人员提供了一个业务与科研共享、大气科学及相关应用基础科学数值模拟研究的共用平台。本试验利用 GRAPES 模式对 2006 年登陆我国的强台风“珍珠”(Chanchu)进行数值模拟研究,试验中模式分辨率为 $0.3^\circ \times 0.3^\circ$ 个经纬度,模式积分区域为 $5^\circ \sim 36^\circ \text{N}$ 、 $90^\circ \sim 130^\circ \text{E}$,格点总数为 133×103 个,垂直方向分为 21 层。

试验中采用了非静力平衡方案,行星边界层物理过程采用 MRF 边界层方案,可分辨的云及降水物理过程采用 NCEP3-class 简单冰相方案,次网格积云对流参数化过程采用 Kain-Fritsch 方案,长波辐射采用 RRTM 方案,短波辐射采用 Dudhia 方案。侧边界条件取 T213 数值预报产品 6 h 一次的输出结果进行嵌套,初始条件采用常规观测资料与 T213 提供的第一猜测场资料进行变分同化。模式运行时,积分时间步长为 10 min,积分 36 h,对 2006 年 5 月 12 日 20:00 到 5 月 17 日 20:00 期间的台风演变过程进行了模拟。

3 数值模拟结果分析

3.1 形势场的模拟

从 500 hPa 高度场实况分析可见,“珍珠”在西北行进入南海前阶段,副高较强,主体位于西太平洋,在华南、南海北部到中南半岛西伸出一个高压脊。此时“珍珠”主要受西太平洋副高西南侧东南气流的引导,向偏西北方向移动,移向、移速较为稳定,但强度在不断加强。“珍珠”进入南海西行阶段,副高发生了较大的变化,原位于“珍珠”北面控制华南和南海北部的副热带高压减弱断裂成两环,一环位于西太平洋,另一环位于中南半岛,副高东退南撤,引导气流明显减弱,“珍珠”北折前向西的移速逐渐减慢。另外,中南半岛副高东南侧的东北气流,西太平洋副高西侧的偏南气流,为处于东西两环副高之间的“珍珠”强度的继续加强提供了有利的环境流场。“珍珠”转向期间,中南半岛上空的副高迅速减弱,风场也由原来的偏北风转为偏西风,位于台风东北侧的西太平洋副高有所南落,与北上的赤道反气旋形成南北向的高压带,与台风之间的气压梯度明显加大,其偏南气流引导“珍珠”转向北行。在登陆到消失阶段,位于东移高空槽的槽前和西太平洋副高的西北侧的“珍珠”,在西南引导气流的作用下,快速转向东北行,于 18 日凌晨登陆后迅速减弱为热带风暴。可见,“珍珠”位置的移动变化与副高的位置和强度变化紧密相关,与曾琮^[5]等的研究结果吻合。

数值模拟的结果与实况较为符合,图 1、图 2 分别是台风转向时 500 hPa 高度场实况和 500 hPa 形

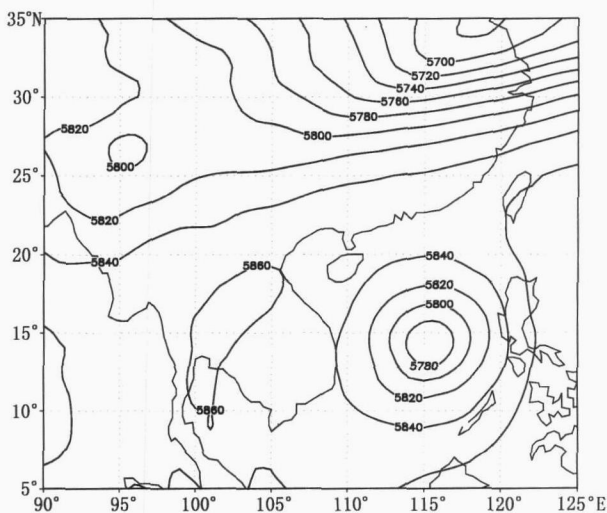


图 1 5 月 15 日 08:00 500 hPa 高度场 (gpm) 实况

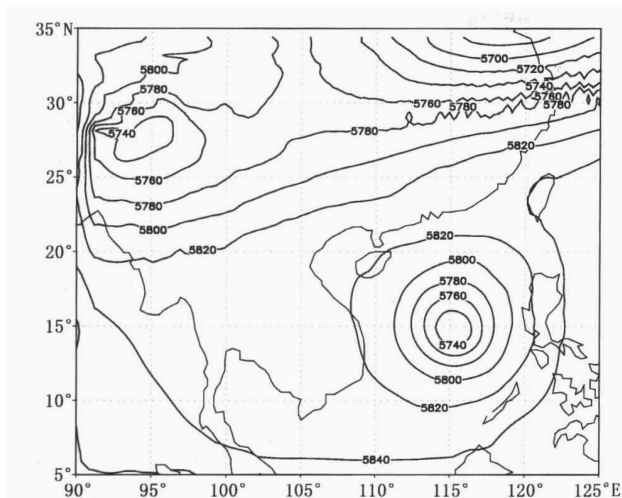


图2 5月14日20:00 500 hPa 高度场(gpm) 12 h 预报模拟

势场模拟结果,“珍珠”的中心位置与实况基本一致。副热带高压的位置、范围与实况也基本相似,只是预报强度偏弱一些,尤其是中南半岛上的副高预报得更弱些。位于安徽、湖北、贵州至云南一带的呈东北—西南走向的高空槽在预报图上十分清晰,与实况非常相近。

海平面气压场模拟结果显示,海平面气压场分布型式与实况较为一致,12日20:00至14日20:00有一股弱冷空气到达华南,冷空气在中南半岛东部

形成一个弱的高压脊(图3a),与500 hPa上位于华南到南海北部的副高高压坝共同作用,使“珍珠”向偏西方向移动。弱冷空气也增强了“珍珠”偏北象限的梯度风,气旋性环流结构更加完整,“珍珠”强度进一步加强,西移速度逐渐减慢。15日08:00~20:00冷空气已迅速减弱,中南半岛上的高压脊已消失,1010 hPa等压线明显北收(图3b)。此时,500 hPa上的副高也在华南一带断裂,“珍珠”北侧有很强的负变压和负变高产生,导致“珍珠”周围原来为东西向的引导气流向南北方向转变,使“珍珠”由西行转向北。

地面温度场模拟结果显示,地面温度场分布型式与实况较为一致。12日20:00至14日20:00有一股弱冷空气到达华南,表现在中南半岛东部有29.5℃冷舌,海南岛有29.75℃冷中心(图略)。由于西路冷空气南下,华南、中南半岛的偏北气流加强了台风“珍珠”的气旋性环流,这期间“珍珠”强度加强,西行速度减慢。而15日08:00以后冷空气已明显减弱,华南、中南半岛的北风分量迅速减小,地面逐渐回暖,15日20:00至16日20:00 30℃暖中心始终位于“珍珠”的北侧(图略),且暖中心区的长轴近似南北走向,温度高值区的这种分布及走向有利于“珍珠”的北上^[6,7]。可见在“珍珠”转向北行阶段,冷空气已明显减弱。

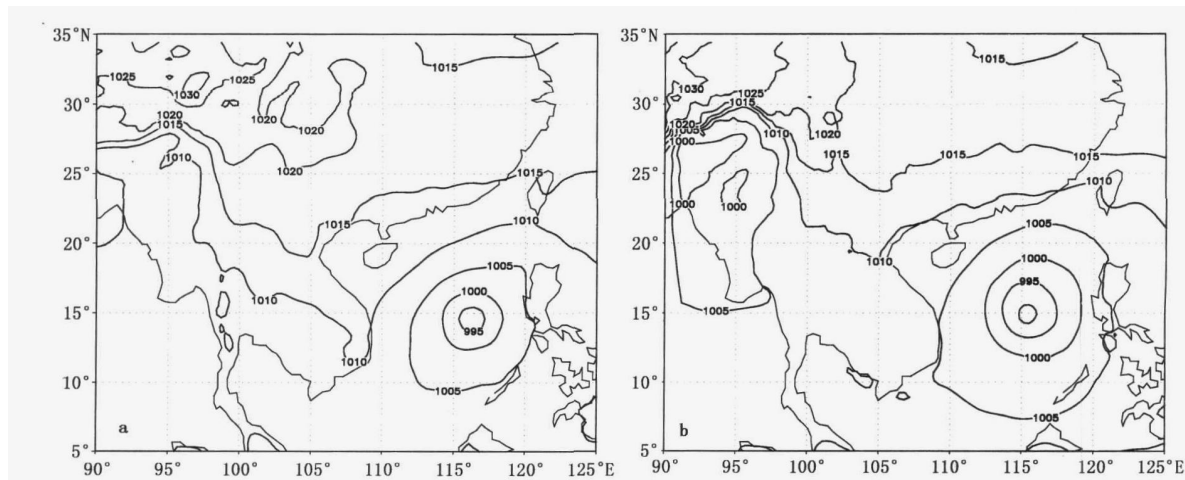


图3 GRAPES 模式预报未来12 h 海平面气压(单位:hPa):
(a) 13日20:00, (b) 14日20:00

3.2 “珍珠”路径的模拟

对台风“珍珠”移动路径的第3、4个阶段(即从2006年5月14日20:00开始到5月18日20:00结

束)的模拟结果见图4,图中实线为“珍珠”的实测移动路径,虚线为“珍珠”的模拟移动路径。从图中看出,模拟路径与实况较吻合,尤其是在“珍珠”南海西

行顺转 90° 折向北行这个时段吻合度很高,模式对台风登陆时间和登陆点预报较准确。说明该模式对“珍珠”转向预报能力较强,“珍珠”转向后东北行时较实况略偏东,而登陆后东北行时较实况略偏西。

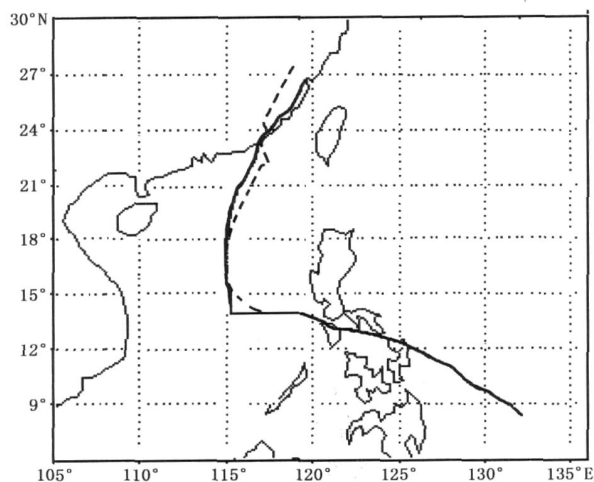


图 4 GRAPES 模式对台风“珍珠”的路径预报模拟
(实线为实测移动路径,虚线为模拟移动路径)

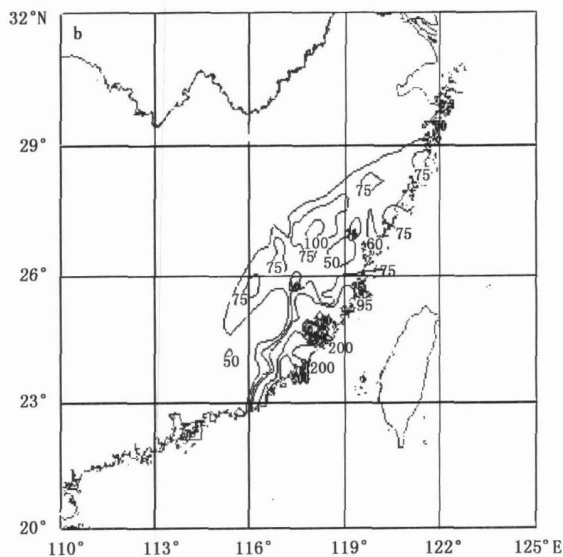
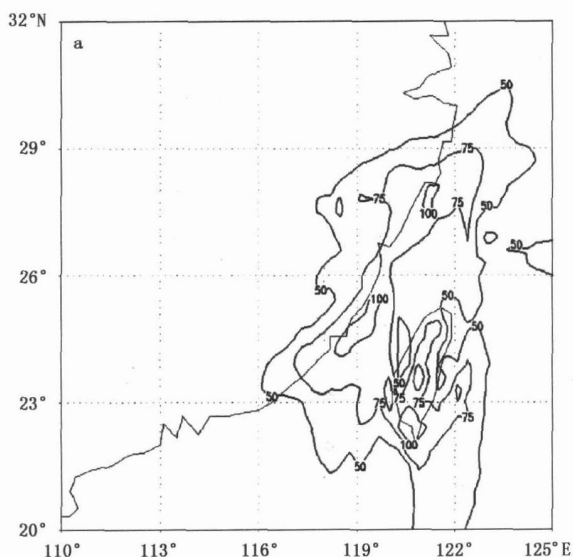


图 5 5 月 17 日 08:00 起始的 24 h 雨量(mm):(a) 模式预报,(b) 实况

3.4 “珍珠”物理量场的模拟

分析各等压面比湿的模拟结果发现(图略),5月17日开始,随着“珍珠”的东北行,海上水汽不断向陆地输送,粤东、福建、浙江及台湾等地空气湿度普遍增大,湿层也在增厚。在17日08:00 24 h 预报模拟图上对流层中下层水汽有两个高值区,一个在福建,另一个在台湾,前者从粤东,经福建伸向浙江,

3.3 “珍珠”降水的模拟

受台风“珍珠”影响,福建、广东东部、浙江、江西南部普降大到暴雨,特别是沿海地区发生了特大暴雨。受台风和冷空气的共同影响,从17日开始广东、福建、浙江各地降水强度明显加大。17日20:00的500 hPa 天气图上(图略),福建省沿海位于高空西风槽的前部,冷空气从东部沿海南下,冷空气入侵及高空槽前辐散场均有利于台风外围云系的发展,最强降水中心出现在台风东北侧的闽中南地区。

由模拟24 h 累积雨量(图5a)与降水实况资料(图5b)比较可知,5月17日08:00至18日08:00,模式预报图上呈东北—西南走向的暴雨区与实际暴雨区分布基本相似,暴雨带从浙江至福建一直延伸到粤东地区,但强降水中心出现在福建中南部沿海及粤东南,比实况偏东北,降水量级偏小。

呈东北—西南走向的带状分布,与雨区的位置配合比较一致。显然,水汽增加最多的地区,这正是降水最大的地区,降水强度与各层水汽的多寡有密切的关系,充足的水汽为“珍珠”造成持续性大范围的强降雨提供了有利条件^[8]。

陈联寿^[9]指出台风环流的动力非对称结构是影响台风运动的重要因子。由模拟垂直速度、涡度、散

度场分析可知,5月14日20:00的6h预报模拟图上台风眼四周的上升速度、正涡度都比较大(图6a),且分布较为均匀并呈现出动力准对称结构。此时“珍珠”在西行,强度在加强,移速在减慢。5月14日20:00的9h预报图上台风眼附近西北部的上升速度、气旋性涡度开始减小,东南部则为上升速度、气旋性涡度的大值区,呈现出西北—东南不对称结

构。与此同时,“珍珠”即将由西行转向北折。“珍珠”转向北上以后,这种动力不对称结构一直维持着。5月15日20:00的18h预报模拟图上动力不对称结构由原来的西北—东南不对称结构逐渐演变为南—北不对称(图6b)。这种台风环流的动力非对称结构对台风的运动及降水的不均匀分布是有影响的^[10,11]。

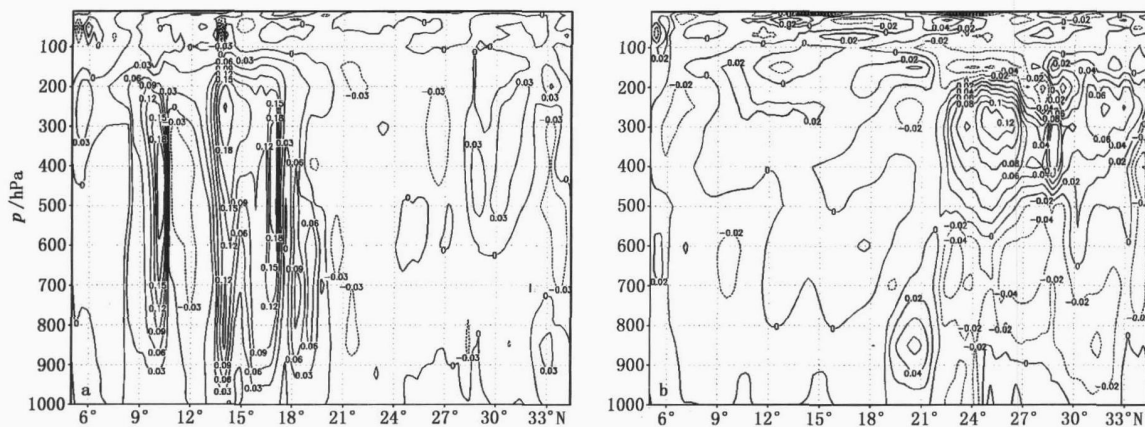


图6 GRAPES 模式模拟垂直速度场(m/s)沿115°E垂直剖面:(a)14日20:00垂直速度场6h预报,
(b)15日20:00垂直速度场18h预报

850 hPa 流场和500 hPa 流场模拟结果显示,流场分布型式与实况较为一致。在500 hPa 流场模拟图上(图略),14日20:00位于127°E赤道附近的赤道反气旋西北移,赤道反气旋西侧的越赤道气流也开始活跃,范围逐渐扩大。15日20:00,赤道反气旋中心已移至125°E、7°N附近,赤道反气旋西侧的越赤道气流已扩展到102°E,位于中南半岛上空的副热带高压环流减弱北收,源于100°E以西的赤道西风西进北上与东面的越赤道气流汇合,使“珍珠”南侧西南气流明显加强,与此同时,“珍珠”的东侧与西太平洋副高、赤道反气旋间气压梯度加大,偏南风迅速增大,这些都对“珍珠”折向北上加速移动起到明显的作用^[12]。

4 结果和讨论

应用我国新一代全球/区域数值预报模式

GRAPES 对台风“珍珠”的路径、降水等进行了模拟,并与实况进行了对比分析,试验结果表明,GRAPES 模式对台风“珍珠”的加强、路径、降水等有较好的预报能力。模拟的形势场、台风路径、物理量场与实测资料基本一致。尤其是“珍珠”在南海西行突然出现北折模拟效果较好。模式对台风暴雨区的位置、形态、走向、强度均有一定程度的预报,但强降水中心的预报与实况存在位置和强度上的差别。模拟和观测资料都显示,强台风“珍珠”在南海西行突然出现北折的异常路径,主要是副高东撤南退、越赤道气流的变化、弱冷空气的作用等综合影响所造成的;持续性大范围的强降水是由台风和冷空气共同影响所造成的。

由于该工作仅对台风“珍珠”进行模拟试验,所得结论可能存在一定局限性,GRAPES 对台风的应用与检验工作有待进一步的开展。

参考文献

- [1] Meng Zhiyong, Chen Lianshou, Xu Xiangde. Recent progress on tropical cyclone research in China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(1): 103-109.
- [2] 程正泉, 陈联寿, 刘燕, 等. 1960 - 2003 年我国热带气旋降水的时空分布特征[J]. 应用气象学报, 2007, 18(4): 427-434.
- [3] 谢定升, 翁向宇, 曾琮. 热带气旋的路径及登陆预报[J]. 气象科技, 2004, 32(1): 34-38.
- [4] 梁军, 陈联寿, 李英. 热带气旋在黄海北部转向引发暴雨的环境场特征及数值试验分析[J]. 大气科学, 2007, 31(5): 1011-1020.
- [5] 曾琮, 易爱民, 李晓娟, 等. 登陆广东热带气旋特征及其与副热带高压的关系[J]. 气象科技, 2007, 35(1): 36-39.
- [6] 端义宏. 海温变化对热带气旋强度影响的数值试验 (I) ——热带气旋强度的数值模拟和海温试验 [G]. 台风科学、业务试验和天气动力学理论的研究 (三). 北京: 气象出版社, 1996: 129-134.
- [7] 袁金南, 肖伟生. 海温变化对台风路径的影响[J]. 广东气象, 2002, (3): 1-2.
- [8] 李英, 陈联寿, 徐祥德. 水汽输送影响登陆热带气旋维持和降水的数值模拟试验[J]. 大气科学, 2005, 29(1): 91-98.
- [9] 陈联寿. 热带气旋运动研究和业务预报的现状和发展 [G]. 台风会议文集. 北京: 气象出版社, 1985: 6-30.
- [10] 陈联寿. 对非对称结构及移速突变台风的预报[J]. 广东气象, 1997, (增刊 3): 12-13.
- [11] 张胜军, 陈联寿, 徐祥德. Helen 台风 (9505) 异常路径的诊断分析与数值模拟[J]. 大气科学, 2005, 29(6): 95-104.
- [12] 杨美川. 越赤道气流对台风路径影响的数值试验[J]. 南京大学学报, 1994, (1): 286-291.

GRAPES-Based Numerical Experiment on Typhoon Chanchu

Zhang Bing Xue Yufeng Guan Yaohong Fan Lingli

(Guangdong Ocean University, Guangdong Province, Zhanjiang 524088)

Abstract : Based on the T213 numerical prediction products and the routine radiosonde and surface observation data, the development and movement of the typhoon Chanchu (No. 0601) are studied by means of the GRAPES-based numerical experiment. The results show that the GRAPES model has a good ability to forecast the intensification, moving track, and heavy rainfall caused by Chanchu. This model simulated out well the landing spot and especially the track of Chanchu, which made an abrupt clockwise turning from west to north in the central South China Sea. By analysis of the 500 hPa geopotential height and the sea-level pressure fields, as well as temperature, vertical motion and vortex, it is showed that the abrupt turning of the track was related to the adjustment of the general circulation, the movement of cold air, and its own dissymmetrical structure.

Key words : GRAPES model, typhoon, numerical simulation, moving track