

南海台风 Vongfong (2002) 的数值模拟试验^{*}

李江南¹, 龚志鹏², 王安宇¹, 李国丽¹, 侯尔滨³

(1. 中山大学大气科学系, 广东 广州 510275;

2. 珠海市气象局, 广东 珠海 519075;

3. 澳门地球物理暨气象局, 澳门)

摘要: 利用美国国家大气研究中心和宾夕法尼亚州立大学联合研制的第 5 代中尺度气象模式 MM5 对南海台风 Vongfong (2002) 进行了数值模拟试验, 通过路径和移速、强度变化、地面最大风速、降水量和暴雨分布以及云系和螺旋雨带等方面的比较验证表明, MM5 模式对台风 Vongfong 的模拟是比较成功的。模式运行中使用了 QuikScat 海面风资料 and 四维资料同化技术, 四维资料同化技术对模拟结果有很好的改善。

关键词: 南海台风; 四维同化; 数值模拟

中图分类号: P444 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) 03-0085-05

台风是一种强烈的中尺度灾害性天气现象, 台风灾害所造成的损失高居十大自然灾害之首。对台风的研究一直是气象学者的重大课题之一。在近 10a 的台风研究中^[1], 对台风运动突变、结构和强度突变、台风暴雨的突然增幅和台风路径预报的方法研究等方面都取得了新的进展。由于台风系统不仅受大尺度环流的影响, 而且存在着中小尺度甚至云尺度环流系统的相互作用, 要取得时间和空间分辨率都较高、动力上又连续的观测资料是十分困难的, 所以, 气象和海洋学者经常用理论和数值模式来对台风进行研究。

然而, 前的台风模式都有某些方面的局限, 如: 平衡近似、轴对称假设、低分辨率、静力、粗糙的物理参数化、理想的初始条件和没有考虑多尺度运动的相互作用等, 所以, 许多模式只能模拟台风路径、强度、风眼、眼壁、螺旋雨带、最大风速半径和登陆等特征的某些方面。这表明, 要加强对台风的全面模拟, 需要有更高分辨率, 包含更成熟微物理过程参数化的模式。近几年国内外许多气象学者利用美国国家大气研究中心和宾夕法尼亚州立大学联合研制的第 5 代中尺度气象模式 MM5 对台风进行了成功的模拟研究^[2-4], 目前该模式已在国内外得到了广泛的应用, 关于 MM5 模式的详细介绍见参考文献^[5]。

虽然利用 MM5 模式对台风进行研究的工作越来越多, 但对于南海台风, 又登陆华南, 特别是登

陆桂东粤西地区的台风, 进行模拟研究的工作还是少见。南海台风由于所处海域较小, 邻近亚洲大陆, 低层季风活跃, 中层受西太平洋副热带高压的影响, 高层存在东风急流, 其尺度、强度、生命史、云系和动力热力结构与西太平洋等海域的台风都有差异^[6]。当台风受中层西太平洋副热带高压南侧东风气流所引导时, 台风西移, 而当台风受低层西南季风所引导时, 路径会偏折北翘^[7]。对于登陆桂东粤西地区的南海台风, 还要受特殊地形的影响, 如海南岛, 云雾山, 十万大山等, 而这些地区的后汛期降水量主要是由台风系统所调节的^[8]。正是这些特殊条件增加了预报难度。为了更好地理解南海台风登陆过程的特征和内在机制, 提高对这类台风的预报水平, 我们利用 MM5 模式对登陆广东吴川的台风 Vongfong (2002) 进行数值模拟研究, 研究中不使用任何的 Bogus 方案, 而采用了 MM5 提供的四维资料同化 (FDDA) 技术, 对气象卫星 QuikScat 所观测的 25km 分辨率的海面风资料进行同化处理, 以探讨 FDDA 技术对数值预报有何影响。

1 台风 Vongfong (2002) 简介

0214 号台风 Vongfong 于 2002 年 8 月 17 日 09 时 (UTC 时间, 下同) 在我国南海中北部生成, 并向西北偏西推进。8 月 18 日 00 时增强为一热带风暴, 但移动速度较慢。8 月 18 日 12 时后再转向西北偏

* 收稿日期: 2003-07-21

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (ZKCXZ-SW-210); 社会公益研究专项资金资助项目

作者简介: 李江南 (1968 年生), 男, 博士生; E-mail: nanjiang.Li@163.com

北移动, 强度变化不大。8 月 19 日 00 时, 中心最大风速加大, 继续向西北偏北移动, 8 月 19 日 06 时增强为一强烈热带风暴, 中心风力约为 25 m/s, Vongfong 掠过海南岛东北岸后, 移向广东西部海岸, 最大风速还在增大, 强度加强, 于 8 月 19 日 12 时左右在广东吴川登陆, 登陆后强度迅速减弱, 8 月 20 日 00 时变为热低压。为了研究台风登陆华南前后的路径、强度变化和风雨分布, 我们以 8 月 18 日 00 时为模式初始时刻, 积分至 8 月 20 日 00 时, 共 48h, 包括了 Vongfong 路径偏折、登陆前强度加强、登陆后强度减弱和最后消亡的所有过程。

2 资料和试验设计

我们利用水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的 NCEP 全球格点分析资料作为模式的第一猜测场, 在模式初始化的过程中, 不仅使用了常规的探空、船舶和地面观测资料, 并使用了非常规的 QuikScat 卫星海面风资料, 最终形成模式的初始场, 没有采用任何 BOGUS 方案。模式中采用了双重嵌套, 纬度 22°N , 经度 111°E 是模拟区域的中心位置。粗网格区域有 84×62 个格点, 格距为 54 km; 细网格区域有 100×118 个格点, 格距为 18 km。模式垂直方向的分分辨率取为不等距的 25 个层, 依次为 0.00, 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.75, 0.80, 0.85, 0.89, 0.93, 0.96, 0.98, 0.99, 1.00, 模式顶取为 100 mb。粗、细网格区域的时间积分步长分别为 120s 和 40s。从 2002 年 8 月 18 日 00 时积分到 8 月 20 日 00 时, 共 48h。在模式中粗细网格区域都采用了 Betts Miller 的深浅对流参数化方案; 对于计算格点尺度的饱和降水, 粗细网格区域分别采用了简单冰相方案和 Reisner 2 方案; 边界层物理过程都采用 Blackadar 方案。对于辐射过程, 粗网格区域采用了 CCM2 参数化方案, 细网格区域则未考虑辐射的影响; 粗网格区域选用张弛侧边界条件, 细网格区域选用时变侧边界条件。

我们选用的 MM5 V3.5 版本在四维资料同化处理上更为方便, 为了验证 MM5 对登陆华南台风的模拟能力, 同时得到与实况最为接近的模式输出结果以进行后续的研究, 设计了 2 个试验方案, 其中一个采用了 12 h 一次的四维资料同化方案, 简称 Y 方案, 另一个则没有采用四维资料同化方案, 简称 N 方案。

3 结果验证

本文主要从台风路径、中心气压、地面最大风

速、降水量和降水分布、云系和螺旋雨带等方面对模式输出结果与实况进行比较验证。由于细网格区域可以直接反映台风系统的中尺度特征, 所以, 下面的讨论主要是采用细网格区域的模拟结果。

3.1 路径和移速

图 1 是中国国家气象中心 (NMCC) 定位的 Vongfong 实况路径和 2 个试验方案模拟的路径图, 其中有实心台风标志的实线是实况路径, 有空心台风标志的实线是 Y 方案模拟的路径, 而有空心台风标志的虚线是 N 方案模拟的路径。由图可以看出, 利用四维资料同化技术 (Y 方案) 对模拟结果有明显的改善, 特别是 $T+24\text{ h}$ (T 指模式积分初始时间, 下同) 以后, Y 方案模拟的路径与实况基本吻合, 台风登陆时间、台风登陆地点以及登陆前后台风的移动速度都与实况十分一致。从实况路径可以看到, Vongfong 不仅在移动方向上出现大的偏折北翘现象, 而且在移动速度上有明显的变化, 如在 8 月 18 日 12 时, 台风路径偏折北翘后, 台风移速突然加快, 到 8 月 18 日 18 时, 台风移速突然变慢, 而到 8 月 19 日 00 时, 台风移速又明显加快。对比 Y 方案的模拟路径可以看到, 虽然在 Y 方案中台风偏折的位置与实况有些差别, 但台风偏折的时间, 尤其是台风移速的跳跃性变化在 Y 方案模拟结果中有很好的反映, 而在 N 方案中则没有反映出台风移速的这种跳跃性变化。

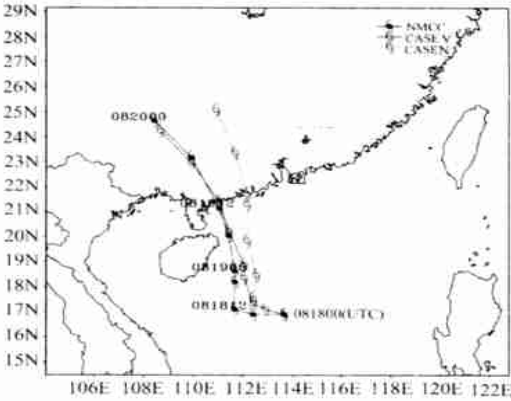


图 1 台风 Vongfong 的模拟路径和实况路径
Fig. 1 Comparison of the simulated track and the observed track

3.2 强度变化

台风中心在登陆之前就对陆地的存在有反应。Brand 和 Yamashita 等人的工作表明, 台风接近陆地时, 往往强度减弱, 并认为这种结果是由地形引起的, Tuleya 和 Jones 等人的数值模拟试验又证实了这种结果^[9]。但 Vongfong 的强度变化并非如此。图

2 是中国国家气象中心 (NMCC) 分析的 Vongfong 海平面气压和 2 个试验方案模拟的海平面气压变化图, 由图可以明显看出, N 方案没有反映出 Vongfong 海平面气压的变化特征, 而在 Y 方案中非常好地模拟出了 Vongfong 登陆前加强和登陆后减弱的过程, 其中 $T+24$ 到 $T+30$ h 的海平面气压加深率都为 0.84 hPa/h , 只有在初始阶段, 由于初始场与实况分析数据有一定的误差, 使得模拟结果与实况有稍微的差别, 但图中 9 个时次的平均误差也只有 2.7 hPa 。

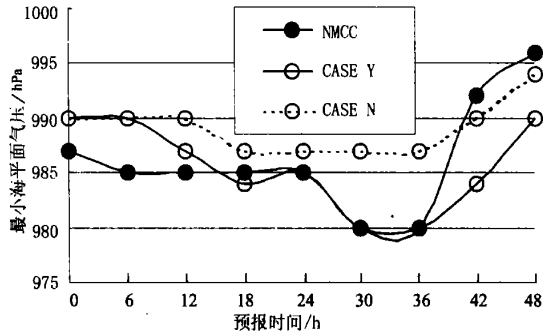


图 2 最低海平面气压的时间变化 (间隔 6 h)
Fig 2 Comparison of the simulation and the analysis of the SLP of Vongfong center at 6 h intervals

3.3 地面最大风速

从以上对台风路径和强度变化的分析已经可以看出, 采用四维资料同化技术对模拟结果有了明显的改善, 所以, 后面的讨论将主要利用 Y 方案的结果展开。图 3 是中国国家气象中心 (NMCC) 分析的 Vongfong 地面最大风速和 Y 方案模拟的地面最大风速变化图。可见, Y 方案对地面最大风速大小和变化过程的模拟都与实况分析较为相似, 从地面最大风速的大小来说, 图中 9 个时次的平均误差不到 1 m/s 。同时, 当 Vongfong 在 $T+12 \text{ h}$ 路径从西北偏西转向西北偏北以后, 地面最大风速逐步加大, 到登陆时刻 $T+36 \text{ h}$, 有 30 m/s 的最大值, 登陆后迅速减小, 这些变化过程在 Y 方案模拟中都得到了重现。

3.4 降水量和暴雨分布

南海台风普遍都会带来大到暴雨, 过程降雨量一般为 $100 \sim 120 \text{ mm}$ ^[9]。从广东省气象局提供的地面常规观测站 24 h 累计降雨量来看, 在 48 h 模拟中的前 24 h, 由于 Vongfong 离大陆较远, 没有带来很强的降雨过程, 其最大降雨量等值线也只有 60 mm (图略), 但在后 24 h, 伴随 Vongfong 加强登陆, 在台风的左前方, 雷州半岛北部, 形成了一个大的暴雨中心, 其最大降雨量等值线接近 200 mm 。

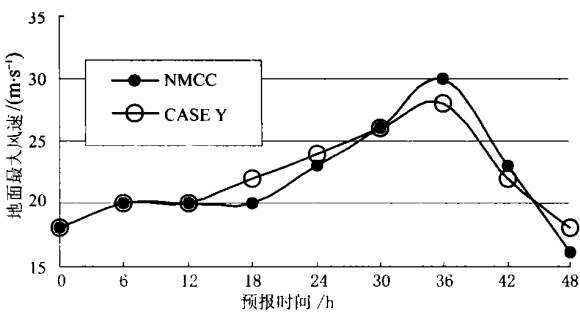


图 3 最大地面风速的时间变化 (间隔 6 h)
Fig 3 Comparison of the simulation and the analysis of the maximum surface wind at 6 h intervals

(图 4a), 而且实况暴雨中心区域的湛江气象学校自动站 (站点编号 G2420) 观测的数据约有 250 mm 。显然, 从降雨量来说, Vongfong 比一般的南海台风要大很多。从暴雨分布来看, Vongfong 也比较特殊, 根据统计表明^[10], 登陆桂东粤西的台风, 有 94% 的暴雨落区是在东侧象限, 而 Vongfong 的暴雨落区是在西北象限。

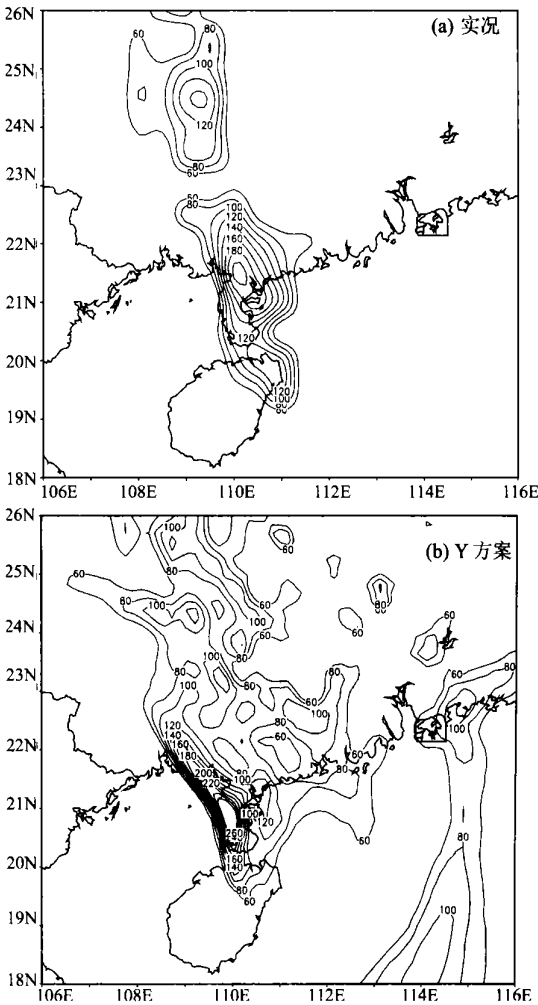


图 4 19 日 00 时到 20 日 00 时的 24 h 降水
Fig 4 1900Z—2000Z 24 h precipitation

对于这样 24 h 降雨量和暴雨落区都有些异常的台风过程用经验统计方法作出预报是十分困难的,而在 Y 方案中,对后 24 h 的暴雨却有比较成功的模拟。如图 4b 所示,模拟的最大降雨中心位置与实况非常接近,只是降雨量比实况略有偏大。对实况图中的第 2 个暴雨中心模拟结果也比较理想,无论是降雨量和暴雨中心的位置都与实况比较吻合。从这两个暴雨中心的范围来看有明显中- α 尺度的特征。在模拟的结果中还可以看到一些 100~200 km 中-尺度的降水,而在实况中,由于观测站有限,分布较稀疏,难以看到中-尺度的降水特征,这也是在业务预报中,如果仅利用天气形势图很难对一些 小范围暴雨做出预报的原因之一,所以有时候必须对天气形势进行中小尺度的滤波分析。

从产生暴雨过程的时间尺度进行分析,模拟的结果与实况也是比较一致的。由于模拟的最大暴雨中心与实况相比,位置略微偏向西南,我们选择纬度 21.01N, 经度 109.8E 的格点。

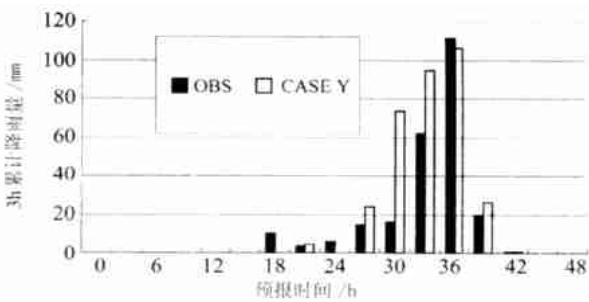


图 5 3 h 累计降雨量的时间变化
Fig 5 Comparison of the simulated and the observed 3 h precipitation

3.5 云系和螺旋雨带

模拟结果与湛江气象学校自动站 (纬度 21.22N, 经度 110.4E) 的观测数据来比较分析,图 5 是两者每 3 h 累计降水量的时间变化图,在整个模拟时间域里,两者相关系数达到 0.89,通过了 99% 的信度检验。暴雨集中在 $T+36$ h 之前 (也就是 Vongfong 登陆之前) 的 6~9 h,这种暴雨时间尺度的中尺度特征在模拟结果中也是非常清楚的。

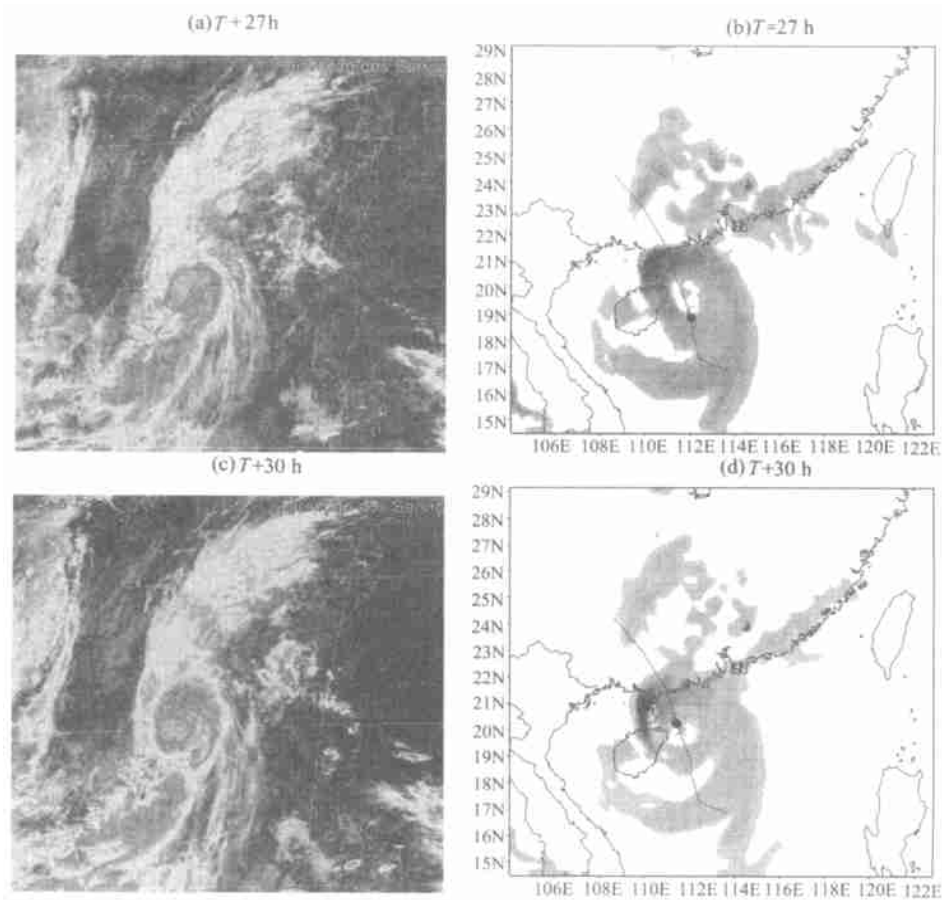


图 6 卫星云图和降水率 (单位: mm/h)
Fig 6 Satellite images and precipitation rate (unit: mm/h)

根据卫星云图分析(图略),像一般的南海台风一样,Vongfong的云系结构不完整,眼区不太清楚,没有典型的台风云系结构,而且云型不稳定。在 $T+27\text{ h}$ 之前都没有清楚的螺旋结构,但随着台风登陆之前的逐步加强,还是有不对称的螺旋云带出现。图6是 $T+27$ 和 $T+30$ 两个时刻的卫星云图和模拟的3 h平均降水率(阴影部分大于 2 mm/h),从图上可以看出,模拟结果比较好地再现了卫星云图的特征。不仅是模拟结果中的螺旋雨带与台风外围云团的螺旋结构比较吻合,而且强降雨中心和深对流云团在两个时刻的气旋式旋转也是一致的,都在台风外围的西北象限略有气旋式旋转,这与台风环流系统本身的自转运动是分不开的。此外,卫星云图中的水汽都是从西南象限卷入台风系统,这在模拟结果中也是清晰可见的。除了台风系统之外,模拟结果还展现了台风系统周围其它的一些云团特征,如在 $T+27$ 时刻的卫星云图上,台湾岛西南偏南的洋面,粤东近海沿岸和内陆地区等,存在一些小而强的深对流云团或浅薄的云系,这在模拟结果中都有比较好的反映。

4 结 语

本文利用MM5模式对南海台风Vongfong(2002)登陆广东吴川的整个过程进行了48 h的模拟,并通过代表台风系统中尺度特征的细网格模式结果与各种实况资料,从路径和移速、强度变化、地面最大风速、降水量和暴雨分布以及云系和螺旋雨带等方面进行了比较验证,分析表明MM5模式对Vongfong的模拟是比较成功的,MM5对南海台风同样具有很好的模拟能力。对比试验表明四维资料同化技术对数值模拟结果有明显的改善。

Vongfong有一般南海台风的很多特征,但也有些异常之处,如登陆前的强度变化、降雨量和暴雨分布等。可喜的是,模拟结果中抓住了这些特征。我们将利用模式输出的、较高分辨率的、动力上又连续的结果对Vongfong登陆过程的其它科学问题进行更深入的探讨。

参考文献:

- [1] 陈联寿,孟智勇.我国热带气旋研究十年进展[J],大气科学,2001,25(3):420—432.
- [2] LIU Y, ZHANG D L, YAU M K. A multiscale numerical study of Hurricane Andrew(1992). Part I: Explicit simulation and verification[J], Mon Wea Rev, 1999, 125(12): 3073—3093
- [3] FONG S K, WU C S, WANG A Y. Numerical prediction experiment on typhoon Maggie(9903)[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 20(2): 171—181
- [4] 李江南,王安宇,侯尔滨.台风Fitow降雨的数值预报试验[J].热带海洋学报2004, 23(1): 16—24.
- [5] GRELL G A, DUDHIA J, STAUFFER D R. A description in the fifth generation PSU/NCAR mesoscale model (MM5)[C], NCAR Tech. Note, NCAR/TN 398+STR, 1994.
- [6] 梁必骐.南海热带大气环流系统[M].北京:气象出版社,1991:244.
- [7] 陈联寿,丁一汇.西太平洋台风概论[M].北京:科学出版社,1979:440.
- [8] 李江南,王安宇,蒙伟光,等.广东前汛期和后汛期降水的气候特征[J].中山大学学报(自然科学版),2002, 41(3): 91—94.
- [9] ELSBERY R L. 热带气旋全球观[M].北京:气象出版社,1994:340.
- [10] 吴兴国.两广登陆台风暴雨增幅天气型落区的特征分析[J].广西气象,1994, 15(4): 100—102.

Numerical Experiments of the South China Sea Typhoon Vongfong (2002)

LI Jiang nan¹, GONG Zhi peng², WANG An yu¹, LI Guo ti¹, Hao I pan³

(1. Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Zhuhai Meteorological Bureau, Guangdong Zhuhai 519075, China;

3. Macao Geophysical and Meteorological Bureau, Macao, China)

Abstract: A numerical experiment is conducted on Typhoon Vongfong (2002) by MM5 models. As verified against various observations, the model captures reasonably well the evolution of the track, intensity change, the surface maximum wind, detailed mesoscale precipitation distributions, cloud and spire rainband associated with Typhoon Vongfong which made landfall over Wuchuan, Guangdong. The sensitivity experiments showed that FDDA can improve the results of simulation.

Key words: the South China Sea typhoon; four dimensional data assimilation; numerical simulation