

同化 QuikSCAT 资料对台风 Vongfong (2002) 数值模拟的影响^{*}

黄嘉宏¹, 李江南², 魏晓琳², 冯瑞权³, 王安宇²

(1 广西气象减灾研究所, 广西南宁 530022)

(2 中山大学大气科学系, 广东广州 510275)

(3 澳门地球物理暨气象局, 澳门)

摘 要: 利用四维同化技术和中尺度数值模式 MM5 相结合对南海台风 Vongfong (2002) 的登陆过程进行了模拟, 分析表明: 同化 QuikSca 资料主要能使模拟的台风移动路径与实况更为接近。而台风的强度变化、降水量和降水分布的模拟与对流参数化方案有密切的关系, 其中以 Betts-Miller 湿对流调整型方案最为合适。HFT 试验模拟的台风路径、强度变化、暴雨分布和降水强度与实况一致。且试验结果较好地重现了 Vongfong 的一些异常特征, 如路径突然折向北、移速先慢后快、近海强度加强、降雨量大、强暴雨中心落在台风西北侧等。利用非常规资料改善模式初始场, 有逼真的物理过程, 可以提高对台风登陆过程的预报。

关键词: 台风; 数值模拟; QuikSca 资料同化

中图分类号: P475.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2006) 04-0116-05

由于海洋上常规观测资料稀少, 模式所获得的初始场不理想制约了台风数值预报水平的提高。因此, 如何利用非常规观测资料已越来越引起人们的重视, 如: 张华^[1]用快速辐射传输模式同化 AMUS 资料后, 对台风“威马逊”的路径预报结果更加接近实况, 由此得到的台风三维结构及其变化也更加真实。Pu^[2]等利用 TRMM 微波图象同化资料明显的改善了 MM5 对台风数值模拟的结果等^[3-5]。这些工作都表明了模式中利用非常规资料有利于提高对台风的数值预报水平, 但任何一种观测手段所观测的气象要素和其所反映的物理过程都是有限的, 究竟如何对模式结果产生影响还需要更深入的研究。

QuikSCAT 资料是卫星观测的海面风场数据, 许多业务部门把 QuikSCAT 资料用于对台风的定位和强度评估, 而用在数值模拟和预报中还不多见。本文在 MM5 模式中利用牛顿张弛逼近 (Nudging) 法同化 QuikSCAT 资料, 对 2002 年第 14 号台风 Vongfong 的登陆过程进行模拟试验, 探讨同化 QuikSCAT 资料对台风的数值模拟结果有何影响。Vongfong 于 2002 年 8 月 17 日 09 时 (UTC 时间, 下同) 在南海中北部生成, 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 时后突然转向西北偏北移动。8

月 19 日 00 时, 中心最大风速加大, 8 月 19 日 06 时增强为一强烈热带风暴, 掠过海南岛东北岸后, 移向广东西部海岸, 强度加强, 于 8 月 19 日 12 时左右在广东吴川登陆。Vongfong 具有路径突然折向北、移速先慢后快、近海强度加强、降雨量大、强暴雨中心落在台风西北侧等异常特征, 因此, 以 Vongfong 作为研究对象具有较高的参考价值。

1 模拟试验设计

本文选用美国中尺度气象模式 MM5 进行模拟试验。模拟区域为三重网格嵌套, 54 km 格距的大网格区域用来模拟大尺度的环境条件, 18 km 格距的中网格区域用来反映台风中尺度系统的变化, 6 km 格距的小网格区域则是为了描述台风云尺度的内核结构。模拟区域的中心为 22°N, 111°E, 垂直方向取 25 个不等距的层, 模式顶在 100 hPa, 利用 2.5°×2.5°的 NCEP NCAR 格点再分析资料作为模式的第一猜测场, 在模式初始化的过程中, 使用了常规的探空、船舶和地面观测资料, 经客观分析形成模式的初始场。模拟时间从 8 月 18 日 00 时到 8 月 20 日 00 时, 共 48 h。

MM5 模式的四维资料同化 (FDDA) 是采用 Newtonian 松弛逼近技术来进行, 为了检验同化 QuikSCAT 资料对数值模拟结果的影响, 在模式结

^{*} 收稿日期: 2005-10-01

基金项目: 科技部基础条件平台基金资助项目 (2003DIB4J145), 广西自然科学基金资助项目 (0447020)

作者简介: 黄嘉宏 (1968 年生), 男, 工程师; 通讯联系人: 李江南; E-mail: esslin@mail.sysu.edu.cn

构和物理过程相同的情况下, 首先进行两个试验: 一个是不利用 QuikSCAT 资料, 即 CRT 试验; 另一个是在前 24 小时采用 FDDA 技术, 同化 QuikSCAT 资料, 后 24 h 不采用 FDDA 技术, 即 HFT 试验。

2 模拟结果比较分析

2.1 路径和移速

从实况来看 (图 1), Vongfong 开始是向西移动, 到 8 月 18 日 12 时, 突然转向北移, 这一转折北翘过程在 CRT 和 HFT 试验中都有响应, 时间较为一致, 但位置有一定的偏差。在 Vongfong 转折以后, CRT 试验模拟的路径与实况偏差越来越大, 最大偏差近 200 多 km; 而 HFT 试验模拟的路径与实况路径逐步靠近, 特别是在积分 24 h (19 日 00 时) 以后, HFT 试验模拟的路径与实况路径已基本吻合。从移速来看, Vongfong 在 18 日 12 时突然转向北移, 移动速度加快; 到 8 月 18 日 18 时突然减速, 移动变慢。到了 19 日 00 时, 又突然加速, 移动变快, 路径略有向西偏折; 于 19 日 12 时左右, Vongfong 在广东吴川登陆, 向西北前进。Vongfong 登陆前后的移动速度经历了一个先慢后快的过程, HFT 试验模拟出了这一过程, 而 CRT 试验与实况有较大误差, 甚至出现了先快后慢相反的过程。HFT 试验模拟的台风登陆位置与实况非常一致, 而 CRT 试验则与实况有较大偏差。显然, 同化 QuikSCAT 资料对 Vongfong 路径的模拟结果有明显的改善。

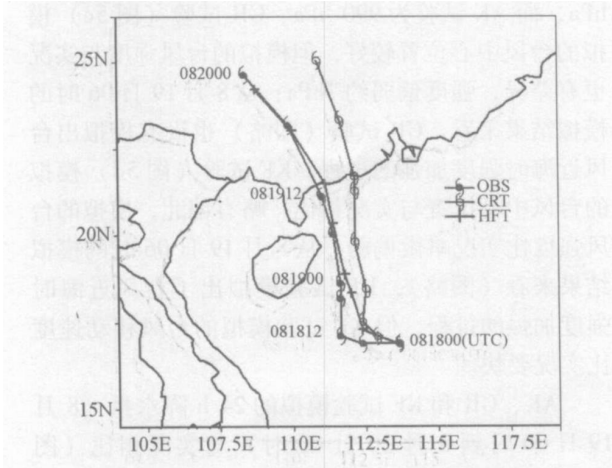


图 1 模拟的 Vongfong 路径与实况对比
Fig. 1 Comparison between the predicted and the observed tracks of Vongfong

2.2 强度变化

冯锦全等^[6]统计分析指出, 90% 以上的近海热带气旋强度减弱, 只有少量强度突增; 但

Vongfong 并非如此。从图 3 上可以看出, Vongfong 中心气压在登陆 (8 月 19 日 12 时) 之前的 12 h 反而开始加强, 在 19 日 06 时达到最强, 其中心气压最小值为 980 hPa。从 19 日 06 时到登陆 (19 日 12 时) 之前, Vongfong 一直维持这一强度, 登陆之后才迅速减弱。尽管 HFT 试验初始时的中心气压与实况有些差别, 但模拟结果还是较好地反映了 Vongfong 登陆前后强度变化的过程, 9 个时次的平均误差只有 2.7 hPa。特别是 18 日 18 时到 19 日 12 时的模拟结果与实况非常一致; 因此, HFT 试验结果很好地复制了 Vongfong 近海加强的异常特征。而 CRT 试验则没有反映出 Vongfong 登陆之前近海加强的过程。这表明同化 QuikSCAT 资料对 Vongfong 强度变化的模拟结果也有明显的改善。

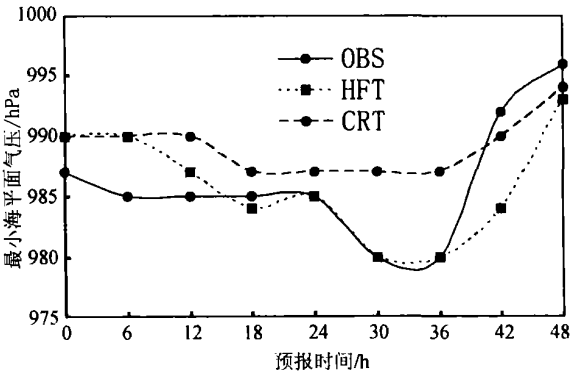


图 2 模拟的 Vongfong 强度变化与实况对比
Fig. 2 Comparison between the model predicted and the observed intensity of Vongfong

2.3 降雨

梁必骥^[7]研究表明, 南海台风普遍都会带来暴雨, 其过程降雨量一般为 100 ~ 120 mm, 但 Vongfong 登陆过程的降雨量异常偏大。在 8 月 19 日 00 时到 20 日 00 时 (图 3a), 随着 Vongfong 靠近大陆, 近海加强, 受其影响, 广东省西南部和中部偏西地区普降了大雨到大暴雨, 甚至局部地区有特大暴雨。据湛江气象学校自动站记录, 24 h 累计降雨量约有 250 mm, 这已经是一般南海台风过程降雨量的 2 倍。从暴雨分布来看, Vongfong 也表现异常。统计分析表明, 登陆桂东粤西的台风有 94% 的暴雨落区是在东侧象限; 但 Vongfong 登陆过程最大暴雨中心出现在西北侧^[7]。CRT 试验结果与实况相差甚远 (图略), 但 HFT (图 3b) 试验结果却较好地反映了这些异常特征; 无论是雨量还是暴雨中心位置都与实况非常接近。HFT 试验对第二个暴雨中心 (24 ~ 25°N, 109 ~ 110°E) 的模拟也比较理想, 无论是降雨量和暴雨中心的位置

都与实况吻合。

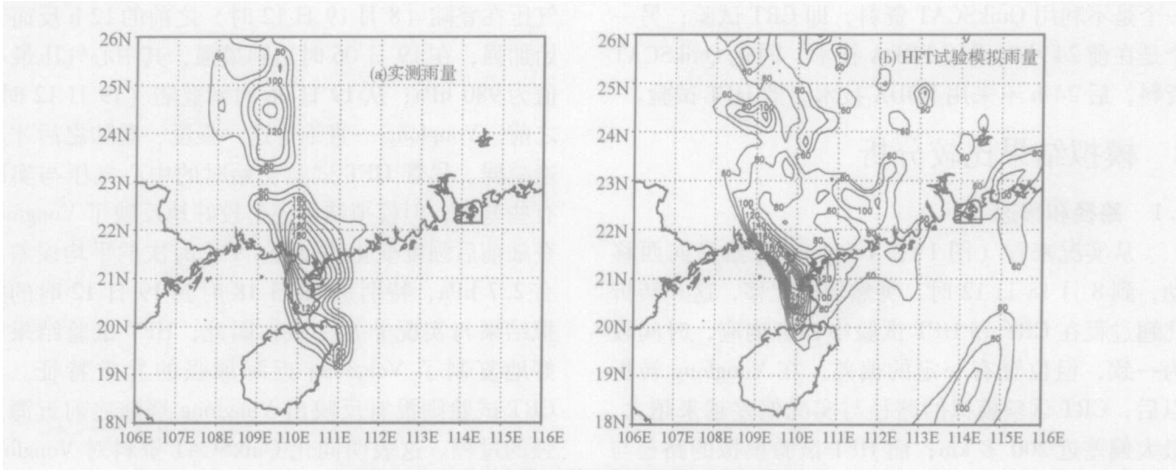


图 3 19 日 00 时到 20 日 00 时 24h 雨量对比
Fig. 3 The 24 h accumulated precipitation amounts (in mm) ending at 00 UTC 20 Aug

从暴雨过程的时间尺度进行分析，HFT 试验模拟的结果与实况也是比较一致的（图 4），Vongfong 登陆过程具有过程雨量集中，雨强大的特点。暴雨集中在 19 日 00 时（模拟时间第 24h）到 19 日 15 时（模拟时间第 39h）之间，也就是 Vongfong 的强盛阶段。暴雨在时间尺度上所显示的中尺度信息，在 HFT 试验结果中也是非常清楚的，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。

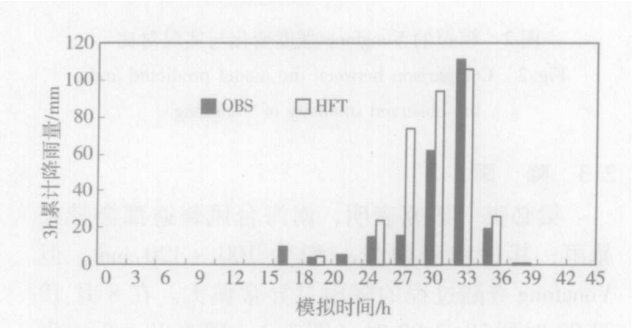


图 4 模拟和观测的最大暴雨中心每 3 h 降雨量的时间变化对比

Fig. 4 Temporal variation of the 3h precipitation amounts (in mm) near the heavy rain center

3 同化 QuikSCAT 资料如何对模式结果产生影响

上述分析表明，同化 QuikSCAT 资料明显改善了台风路径、强度和降水等模拟结果。台风过程伴随结构和强度变化，且这些变化总是相互影响的，特别是降水场的模拟结果与台风强度变化有密切的关系。而无论是气候模式还是中尺度模式，积云对流参数化方案对降水落区和降水强度的预报都很敏

感。因此，为了进一步探讨同化 QuikSCAT 资料如何对模拟结果产生影响，与 HFT 试验其它设计相同，分别选用 Anthes Kuo、Grell 和 Kain-Fritsch 对流参数化方案代替原来的 Betts-Miller 方案进行了三个试验，即 AK、GR 和 KF 试验。

与图 1 和图 2 相比可以看出，HFT 试验（图 5a）模拟的台风中心位置与实况较为吻合，模拟的强度为 980 hPa，与实况一致。AK 试验（图 5b）模拟的台风中心位置与实况略有偏差，模拟的台风强度是 992 hPa，与实况有较大差异，偏弱约 12 hPa。从 8 月 19 日 06 时的模拟结果来看（图略），此时台风已经加强，实际中心气压约为 980 hPa，而 AK 试验为 990 hPa。GR 试验（图 5c）模拟的台风中心位置较好，但模拟的台风强度与实况也有差异，强度偏弱约 7 hPa。从 8 月 19 日 06 时的模拟结果来看，GR 试验（图略）也没有模拟出台风近海时强度加强的过程。KF 试验（图 5d）模拟的台风中心位置与实况相比，略有偏北，模拟的台风强度比实况略微偏弱；从 8 月 19 日 06 时的模拟结果来看（图略），KF 试验模拟出了台风近海时强度加强的过程，但 KF 试验模拟的台风移动速度比实况要快。

AK、GR 和 KF 试验模拟的 24 h 降水量（8 月 19 日 00 时到 8 月 20 日 00 时）与实况相比（图略），AK 试验模拟的降水落区有较大误差，实际观测的暴雨中心应在台风西北侧，而 AK 试验模拟的暴雨中心落在台风东北侧；模拟的暴雨中心降水强度也偏弱，实际观测的最大降水强度超过 200 mm，而 AK 试验模拟的最大降水强度只有 140 mm。GR 和 KF 试验的模拟结果中都显示了一个虚假的大暴雨中心，位于 23°N 和 110°E 附近，这与实况有较

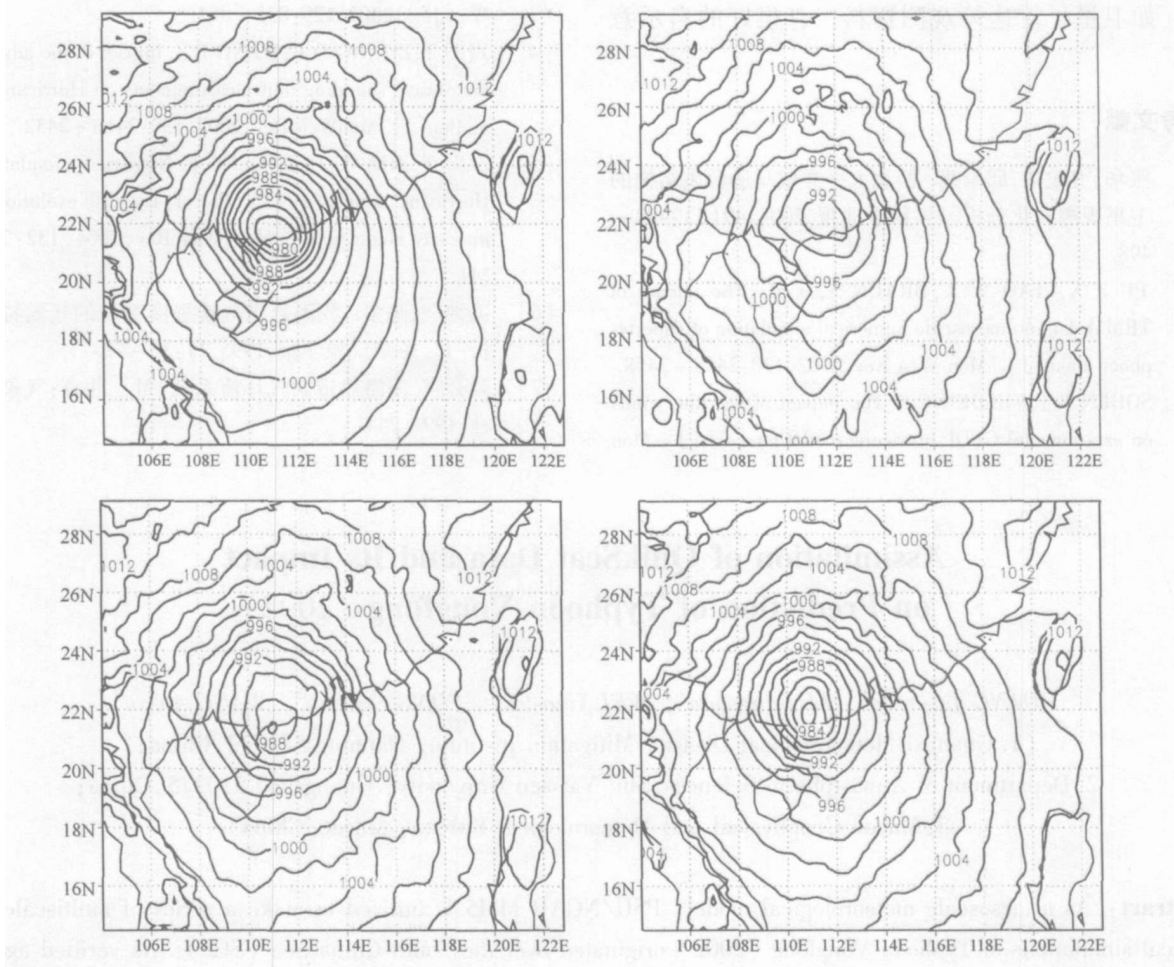


图 5 19 日 12 时模拟的海平面气压 (单位: hPa)
Fig. 5 Simulated Sea level pressure (hPa) at 12 UTC 19 Aug

大的误差。GR 试验模拟的降水强度也偏弱, 但比 AK 试验模拟的降水量略大。正是由于 AK 和 GR 试验模拟的降水偏弱, 没有反映出台风系统中的强对流特征, 也导致了两个试验都没有模拟出台风近海时强度加强的过程。

比较 HFT、AK、GR 和 KF 试验结果可以看出, 在同化 QuikSCAT 资料后, MM5 模拟的台风路径和登陆位置与实况都比较接近, 但台风的强度变化、降水量和降水分布的模拟与对流参数化方案有密切的关系。这表明, 同化 QuikSCAT 资料主要是能够改善对台风移动路径的模拟, 而要对台风强度变化作出好的预报, 必须要有合适的对流参数化方案, 对降水量和降水分布有好的预报。这是由于对流强弱和对流分布直接影响了台风的强度变化。

4 结 语

本文利用中尺度模式 MM5 对南海台风 Vongfong (2002) 的登陆过程进行了多个试验。对比分析表明:

- (1) 同化 QuikSCAT 资料对南海台风 Vongfong (2002) 的数值模拟结果有明显的改善, 这种改善主要是因为同化 QuikSCAT 资料后使得模拟的台风移动路径与实况更为接近。
- (2) 台风的强度变化、降水量和降水分布的模拟与对流参数化方案有密切的关系。由于对流强弱和对流分布直接影响了台风的强度变化, 因此, 能否对暴雨分布和降水强度作出好的预报, 直接关系到能否对台风的强度变化作出成功预报。即使在模式中利用了 QuikSCAT 资料, 选折合适的对流参数化方案仍十分重要。就 Vongfong 的试验结果来看, 在多种对流参数化方案中, 以 Betts-Miller 湿对流调整型方案更适合于台风登陆过程的预报。
- (3) Vongfong 与一般登陆华南的南海台风相比有些异常特征, 如近海时强度加强、降雨量大、强暴雨中心落在台风西北侧等, 而 HFT 试验结果较好地重现了这些特征。利用计算量不太大的牛顿张弛逼近 (Nudging) 法实现动力初始化, 提高预报效果; 这对于实际业务中如何利用一些非常规资

料, 如卫星、雷达等观测资料, 有很好的启示意义。

参考文献:

- [1] 张华, 丑纪范, 邱崇践. 西北太平洋威马逊台风结构的卫星观测同化分析[J]. 科学通报, 2004 49(5): 493 – 498
- [2] PU Z X, TAO W K, BRAUN S et al. The impact of TRMM data on mesoscale numerical simulation of supertyphoon Paka[J]. Mon Wea Rev 2002 130 2448 – 2458
- [3] SODEN B J, VELDEN C S. The impact of satellite winds on experimental GFDL hurricane model forecasts[J]. Mon

Wea Rev 2001 129 835 – 852

- [4] ZHU T, ZHANG D L, WENG F Z. Impact of the advanced microwave sounding unit measurements on Hurricane prediction[J]. Mon Wea Rev 2002 130 2416 – 2432
- [5] ZHU T, ZHANG D L, WENG F. Numerical simulation of Hurricane Bonnie(1998). Part I: Eyewall evolution and intensity changes[J]. Mon Wea Rev 2004 132 225 – 241.
- [6] 冯锦全, 陈多. 我国热带气旋强度突变的气候特征分析[J]. 热带气象学报, 1995 11: 35 – 42
- [7] 梁必骥. 南海热带大气环流系统[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 244

Assimilation of QuikScat Data and Its Impact on Prediction of Typhoon Vongfong (2002)

HUANG Jia-hong¹, LI Jiong-nan², WEI Xiao-lin², FONG Soi-kun³, WANG An-yu²

(1. Guangxi Meteorological Disaster Mitigation Institute Nanning 530022, China

2. Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

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

Abstract As a mesoscale meteorological model, PSU-NCAR MM5 is utilized to make a series of multiscale numerical simulations of Typhoon Vongfong (2002) originated over the South China Sea (SCS). As verified against various observations, Assimilation of QuikScat data into the model clearly shows an improvement in the simulation of Typhoon Vongfong. With assimilation of QuikScat data into the model, the typhoon track mainly can be simulated more over. Simulation of changes of the typhoon intensity and rainstorm distribution depend strongly on the cumulus parameterization. From the simulated results, it might be shown that Betts-Miller scheme appears to be more suitable for the simulation of landfalling process of Typhoon. Compared with the general typhoons in the SCS, Vongfong has anomalous features as enhancing inshore, slow-moving turned to fast-moving, turned suddenly to move northward, with a large amount of rainfall centralized in the northwest of the typhoon center. The model reproduced these anomalous features, such as the track, moving pace, intensity changes, rainfall and precipitation distribution. The results suggest that it may be possible to predict reasonably the track, intensity, precipitation and inner core structure of Typhoon if with good initial conditions, realistic model physics and high grid resolution are incorporated.

Key words typhoon; numerical simulation; QuikScat data assimilation