

台风“卡努”的数值模拟试验

邢建勇, 宋学家, 杨学联, 赵 洪

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘 要: 台风“卡努”(Khanun, 200515) 是近年来登陆台风中给沿途造成重大灾害的台风之一。本文以第五代中尺度气象模式(MM5V3)为基础, 采用三重嵌套的高分辨率网格设置, 分别用四种初始化方案, 对台风“卡努”进行了数值模拟试验, 分析和探讨了模式的初始化对预报效果的影响。结果表明, MM5 模式对台风的模拟预报具有一定的能力, 按照常规的方法利用 Bogus 人造台风涡旋对初始场进行调整以及加入常规观测资料, 路径和强度的预报效果都有明显的改进; 再加入 Quikscat 卫星海面风非常规资料, 能够减小台风路径预报逐小时预报误差, 台风的强度预报也有所改善。

关键词: 数值模拟; 初始化; MM5 模式; Bogus; Quikscat 卫星资料

中图分类号: P731 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003 - 0239 (2006) 2 - 0001 - 09

1 引言

台风是热带海洋大气中的一种急速旋转的涡旋。根据专家统计, 台风是全球最为严重的几种自然灾害之一。西太平洋是全世界台风最易生成的海区, 全球台风有三分之一左右发生在这个区域, 而且强度最大。我国是西北太平洋沿岸国家中受台风袭击最多的国家^[1]。据统计, 每年单纯因台风造成灾害的经济损失达 246 亿元, 平均每年死亡人数高达 570 人^[1]。“卡努”是 2005 年登陆台风中强度最大的一个, 它于 9 月 11 日 14 时 50 分(北京时间, 下同)在浙江省台州登陆, 其时近中心最大风力达到 59m/s 以上, 超过登陆台风风力历史最高水平; 9 月 12 日 22 时左右, “卡努”从江苏北部移出海, 在其北移过程中, 给浙江、江苏、安徽三省造成严重自然灾害, 带来巨大的经济损失和人员伤亡。

近年来, 数值模拟越来越多地应用在台风预报中, 而数值模式的初始化已经成为改进台风预报效果的重要手段之一。由于台风发生在洋面上, 它的观测资料十分稀少, 能用于数值模式网格的有效资料就更加缺乏, 于是人们使用静处理的方法将大尺度背景场中弱的或不准确的涡旋滤掉, 利用人造台风 Bogus 技术, 在初始场中加入一个基本反映台风结构的人造涡旋, 从而改进初始场^[2]; 目前, 随着计算机技术的进步和观测技术的发展, 各种观测资料和卫星资料也不断应用于数值模式^[3]。本文以中尺度气象模式 MM5 为基础, 采用三重嵌套的高分辨率网格设置, 分别用四种初始化方案对台风“卡努”进行了 72h 数值模拟后报试验, 对试验结果进行了对比分析。

2 模拟方案和运行环境

2.1 模拟方案

MM5^[4] 是美国国家大气研究中心 (NCAR) 和美国宾州大学 (PSU) 联合研制的第五代有限区域中尺度大气模式, 它包括多重嵌套的能力、非静力动力模式、以及四维同化的能力和更多的物理选项。目前, MM5 已经被广泛地应用于各种中尺度天气系统的科研和业务中, 其中包括对海面风场的预报^[5] 和台风的预报^[6~8], 这些科研和业务预报, 都证明了 MM5 对海上的中小尺度天气现象有很好的模拟和预报能力。

本文使用的是 MM5V3 版本, 考虑到台风“卡努”整个路径为中纬地区, 地图投影设置为兰勃托投影, 网格设置为三重高分辨率网格嵌套(见图 1), 其水平分辨率分别是 54km、18km、6km, 区域 1(D01)包括了东亚和西太平洋, 有 120×120 个格点; 区域 2(D02)包括了我国东部地区及西北太平洋, 有 193×160 个格点; 区域 3(D03)包括了我国华东地区及东部海域, 有 301×292 个格点。分别使用分辨率为 10、5 和 2 的全球地形资料作为 3 个区域的地形。这里 D01 包括了青藏高原, 西边界取在青藏高原的外围, 而 D02 和 D03 则不包括高原。采用美国国家环境预报中心 (NCEP) 再分析资料作为模式初始场和 D01 的侧边界, D02 和 D03 的侧边界在模式中分别由它们的母区域提供。

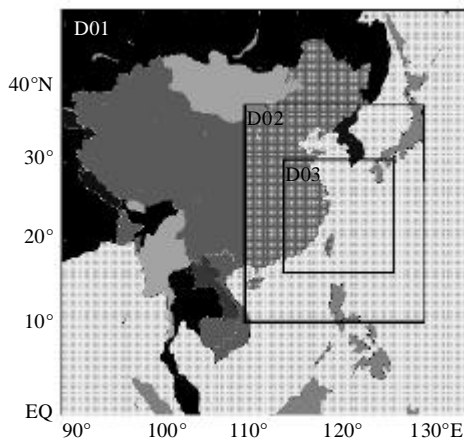


图 1 网格区域示意图

模式垂直分层为不等距 31 层, 顶层气压为 10hPa。D01 采用了 Anthes-Kuo 积云对流参数化方案, 该方案基于水汽辐合, 应用于较大的格点尺度 (大于 30km), 倾向于产生较多的对流降雨和较少的可分辨尺度降水, 以及产生指定的加热廓线和依赖于相对湿度的增湿廓线。D02 采用了 Grell 积云对流参数化方案, 该方案基于不稳定化或准平衡的速率, 具有上升和下沉气流以及补偿运动的简单单云方案, 决定加热/水汽廓线, 对较小的格点尺度 (10~30km) 有用, 平衡可分辨尺度降水和对流降水, 考虑了对降水效率的切变效应。D03 没有用积云对流参数化方案 (MM5 模式推荐在小于 5~10km 时, 不使用积云对流参数化方案)。边界层参数化方案均采用高分辨率行星边界层方案, 该方案基于 Troen-Mahrt 针对充分混合 PBL 中的反梯度项和 K 廓线理论的描述, 其垂直扩散使用一个隐式方案以实现更大的时间步长。本试验采用了简单冰显式水汽方案、云辐射方案以及 5 层土壤模式。D01 积分时间步长为 54s, D02 和 D03 积分时间步长分别为 27s 和 9s。从 2005 年 9 月 9 日 20 时起报, 预报时效皆为 72h。

我们分别用四种不同的初始化方案对台风“卡努”进行了数值模拟试验。

方案一,初始场中不加任何观测资料,直接利用 NCEP 再分析资料获得初始场;

方案二,利用 Bogus 技术^[2]将初始时刻的中央气象台的台风观测数据加入初始场,形成新的初始场;

方案三,在方案二的基础上加入 GTS(全球电信系统)资料利用 Cressman 逐步订正的方法进行客观分析,形成新的初始场;

方案四,在方案三的基础上加入 QuikScat 卫星海面风资料,利用 Cressman 逐步订正的方法进行客观分析,形成新的初始场。

QuikScat 卫星是 NASA(美国航天航空局)1999 年发射的一颗气象应用卫星,它所搭载的电子散射仪,具有观测海面风场的能力,水平分辨率达 25 km,风速测量范围是 3~20m/s,精确度是 2m/s,风向精度为 20°。本文选取的 Quikscat 卫星在初始时刻(9 月 9 日 12 时)这个时间段内扫过的区域(见图 2)。

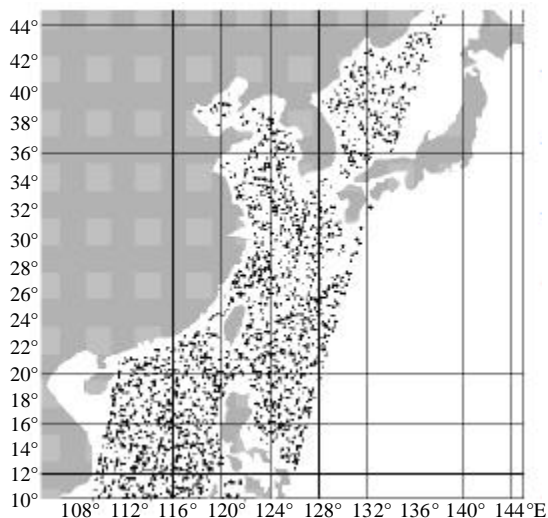


图 2 Quikscat 卫星在初始时刻时间段扫过的区域示意图

2.2 运行环境

硬件环境为拥有 80 个 CPU 的 IBM RS6000 高性能计算集群,单 CPU 主频为 1.7G,操作系统为 AIX5.2 系统,编译环境为 xlf 编译器,采用 MPI+OMP 混合并行方式(MIX)进行运算。

3 模拟结果的对比分析

本文主要从台风的路径、中心海平面最低气压、地面近中心最大风速、初始场以及垂直结构等几方面对模式的输出结果进行对比分析,并主要分析 D03 的模拟结果。

3.1 路径分析

图 3 是四种初始化方案台风路径的 72h 预报(方案 1~4) 以及中央气象台定位的台风路径(OBS)即实况路径比较图, 标有“Δ”号的为实况路径; 标有“+”号的为方案 1 (仅用 ncep 资料的初始场)的预报结果; 标有“□”号的为方案 2(加有 Bogus 台风涡旋的初始场)的预报结果; 标有“X”号的为方案 3 (加有 Bogus 台风涡旋和 GTS 资料的初始场)的预报结果; 标有“○”号的为方案 4 (加有 Bogus 台风涡旋和 GTS 资料, 又加入 QuikScat 卫星海面风资料的初始场)的预报结果。图示说明, 在分析场中加入 Bogus 涡旋, 对路径预报有明显的改善, 而加入更多的观测资料, 能使得模拟预报路径跟实况更好地接近。虽然该试验在 42~48h 预报的登陆位置与实况有差别, 但台风的路径趋势是正确的, 而且方案 4 中 42h 预报(登陆前 1h)的路径误差仅为 95.9km。表 1 为台风“卡努”72h 模拟预报的路径误差。可以看出, 在不加任何资料改善初始场的情况下(方案 1), 台风的路径误差都比较大; 而加入 Bogus 涡旋以后(方案 2), 各小时预报台风中心位置都有明显改善; 再加入 GTS 观测资料(方案 3), 台风中后期的路径预报误差明显减小; 在初始场中再加入 Quikscat 卫星风场资料(方案 4), 其 72h 的路径预报误差仅为 184.3km。由此可见, 加入更多有效的资料调整台风的初始场, 对改善台风的路径预报会有很好的效果。

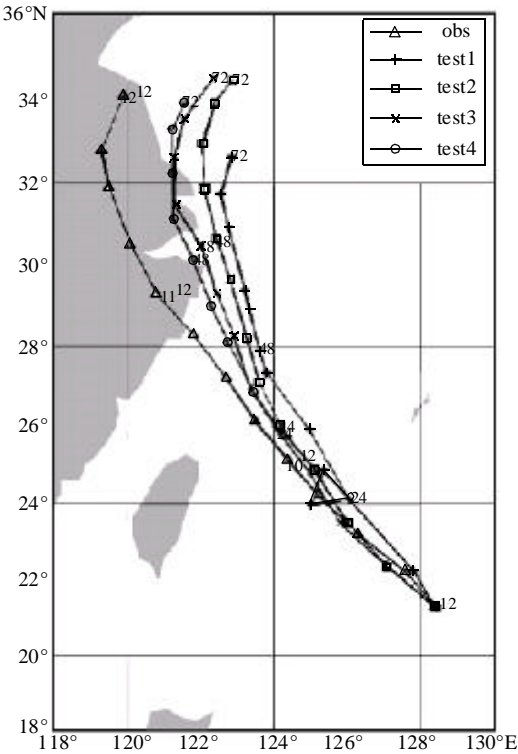


图 3 台风“卡努”的模拟路径和实况路径对比

表 1 台风“卡努”72h 模拟预报的路径误差

	6h	12h	18h	24h	30h	36h	42h	48h	54h	60h	66h	72h
方案 1	23.3	212.5	35.5	215.3	163.4	123.4	246.9	348.8	366.4	377.7	379.4	365.2
方案 2	57.4	44.43	72.5	103.2	111.3	126.7	186.7	236.3	268.5	306.9	364.2	335.2
方案 3	63.6	65.03	71.6	81.9	95.4	118.4	131.9	188.7	172.1	216.1	262.7	275.4
方案 4	64.3	55.8	71.9	106.7	82.9	99.7	95.9	145.7	147.1	197.8	223.2	184.3

3.2 台风中心海平面最低气压分析

我们一般用台风中心海平面最低气压来表征台风的强度。图 4 是四种方案模拟台风“卡努”72h 预报的台风中心海平面气压随时间的变化(说明同图 3)。从图中可以看出，仅用 ncep 再分析资料作为初始场(方案 1) ,没有反映出台风中心海平面气压的变化特征，而且气压偏高；但在初始场中加入 Bogus 涡旋(方案 2)，再加入 GTS 资料(方案 3) 以及 Quikscat 卫星资料(方案 4) 后，台风中心海平面气压的逐小时预报都有明显的加深，方案 2 的结果是台风中心海平面气压较深,但后期因为其路径在海上，所以气压趋势没有明显的上翘现象；方案 3 的结果是台风中心海平面气压稍微偏高，变化平缓；而方案 4 的结果大致表现出台风中心海平面气压的变化趋势。

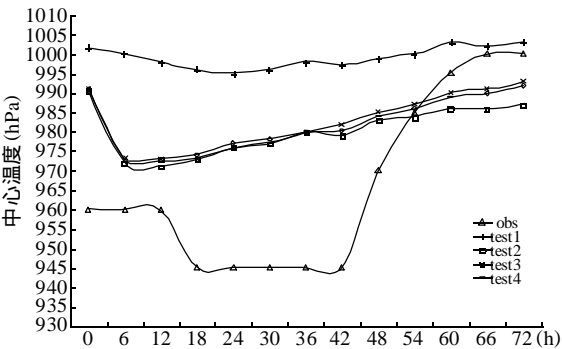


图 4 台风“ 卡努 ”中心最低气压
模拟和实况对比

由于 ncep 再分析资料中台风的强度一直偏高，所以在用其作为初始场做模拟预报时就会出现台风强度的模拟跟实况有很大差距的情况。本试验表明，在初始场中加入 bogus 涡旋，对台风中心进行订正后台风中心海平面气压的预报效果有所改进；加入更多的观测资料和卫星资料也可以在预报中使得台风中心的强度加深，但距离实况的强度还有一定距离，主要原因是我们很难得到一个客观的背景场作为初始场和模式运行的侧边界，这就大大影响了台风强度的预报效果。

3.3 台风近中心最大风速分析

台风中心周围的风场也是台风预报中最关键的要素之一，预报的好坏直接影响到海浪和风暴潮预报以及台风登陆后近地面大风的预报。图 5 是四种方案模拟台风“卡努”72h 预报的台风近中心最大风速随时间的变化与实况的对比(说明同图 3)。从图中可以看出，仅用 ncep 再分析资料作为初始场(方案 1) ,台风近中心最大风速偏小，但其变化趋势与实况基本一致；在初始场中加入 Bogus 涡旋(方案 2)、再加入

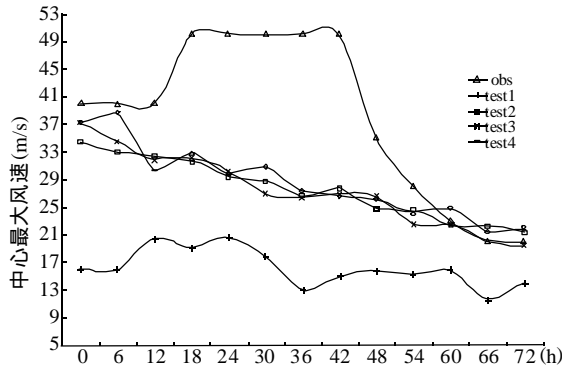


图 5 台风“ 卡努 ”近中心最大风速
模拟和实况对比

GTS 资料(方案3)以及 Quikscat 卫星资料(方案4)后,台风近中心最大风速有明显增大,方案2的结果是台风近中心最大风速随时间变化较平缓;方案3的结果与方案2的结果相差不大,方案4的结果是四种结果中最为理想的,台风近中心最大风速和实况有同样的变化趋势。

由于ncep再分析资料中台风中心风力偏小,而台风中心实际的风速资料很少,Quikscat 卫星海面风资料的风速范围在 $3\sim 20\text{m/s}$,因而初始场台风中心的风速的调整仍然不够,模拟预报过程中便出现风速偏小的情况。

3.4 台风的初始场分析

图6~9分别是四种方案的初始场的情况。从图中可以看出,仅有ncep再分析资料的初始场(方案1),台风中心海平面气压偏高,等压线略微呈现非对称的结构,台风最大风速区位于台风的东北方位,但最大风速只有 16.45m/s ,与实况差距较大;加入Bogus 涡旋的初始场(方案2),等压线更为密集,非对称性也有所增加,从等风速线看,大风区域仍集中在台风的东北方位,最大风速超过 34m/s ,而眼区风速在 1.79m/s 以下,与实况比较接近;再加入GTS资料的初始场(方案3),等压线延伸至菲律宾岛链,非对称性表现更为明显,最大风速超过 37m/s ,与实况更为接近;再加入Quikscat 卫星海面风资料的初始场(方案4),与方案3的结果区别不大,因为该卫星海面风资料只有一层,而且在该时刻卫星扫过的区域只有我们所选区域的西半部分,而在台风中心附近正好没有大风资料用来优化,因而从图中看不到明显的风场调整,但从预报结果来看,加入一定的Quikscat 卫星海面风场资料,对预报效果有一定的改进。

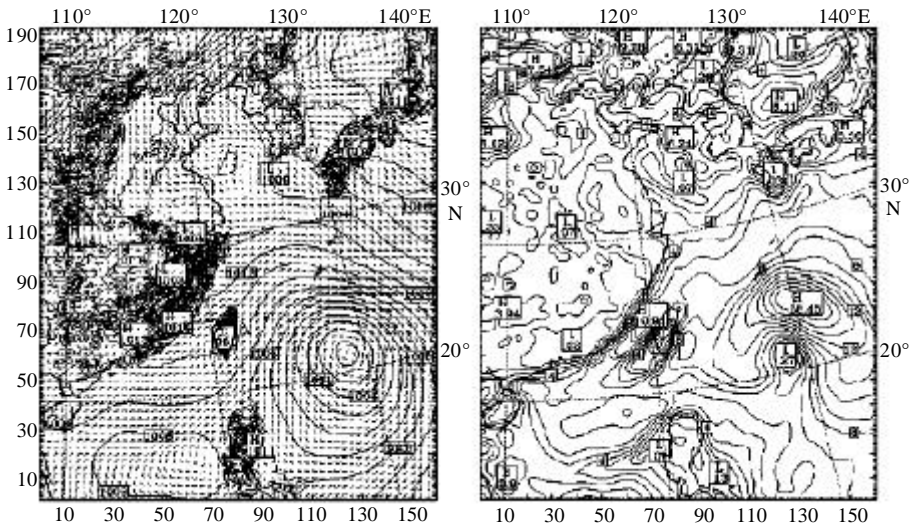


图6 方案1的初始场

(左图实线为海平面等压线,风向杆表示海面10m 高处的风;右图实线为等风速线)

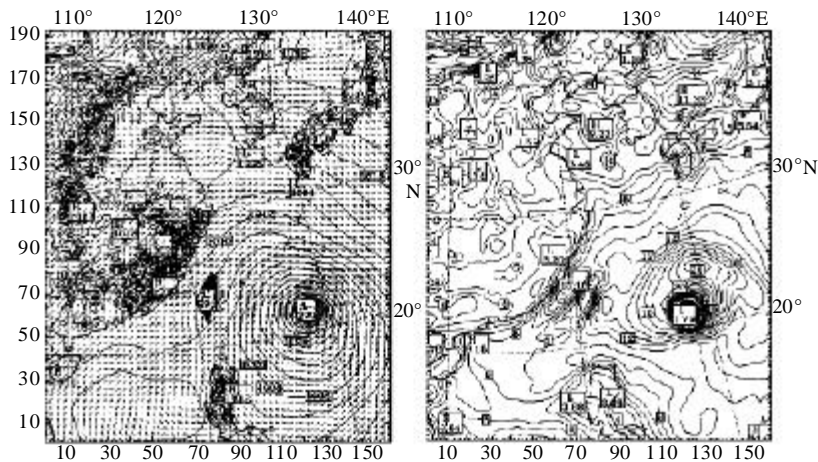


图 7 方案 2 的初始场 (说明同图 6)

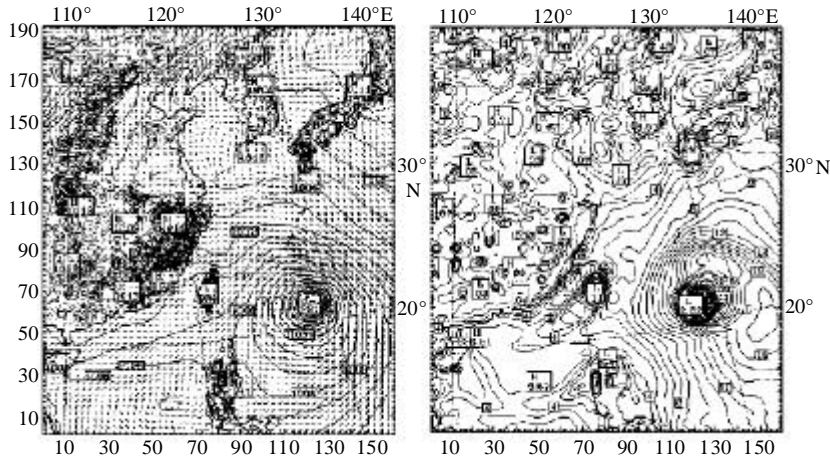


图 8 方案 3 的初始场 (说明同图 6)

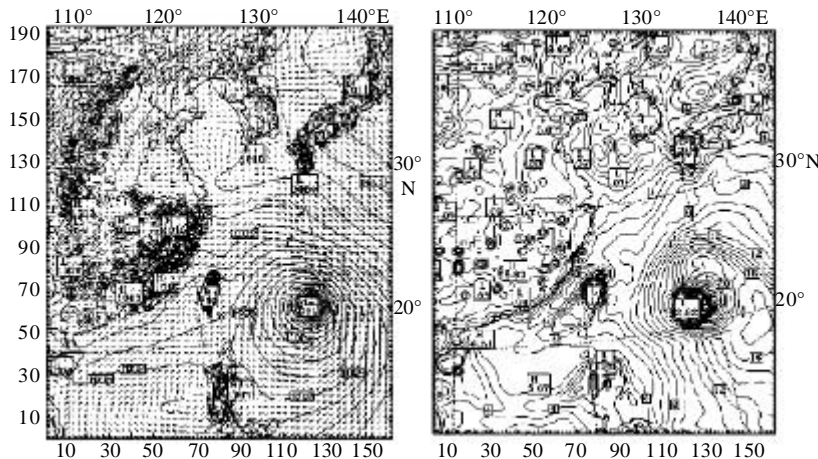


图 9 方案 4 的初始场 (说明同图 6)

3.5 台风中心的垂直结构分析

图 10 是四种初始化方案的初始场中台风中心的相当位温垂直剖面图,可以看出未加 Bogus 涡旋和各种资料时的初始场相当位温等值线较稀疏,高值中心较弱;加入 Bogus 涡旋后,相当位温等值线较密,而且能体现出台风的暖心结构和非对称结构;加入 GTS 资料后,涡旋中心海面的相当位温变强,等值线变密,表明 GTS 资料对底层温度场的调整起到一定作用;而再加入 Quikscat 卫星资料后,由于该资料为海面 10m 风资料,因而对温度场的调整基本没有表现出来。

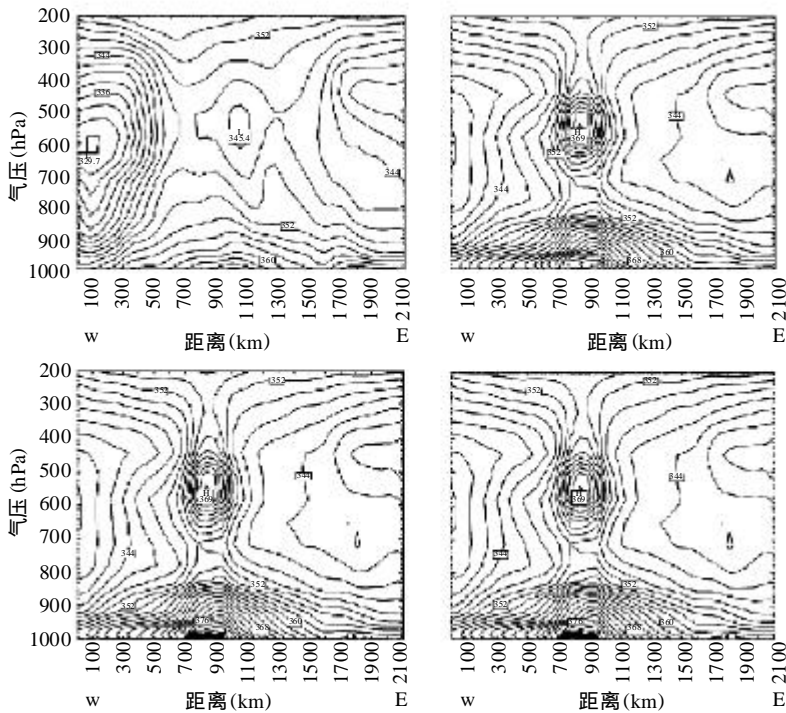


图 10 4 种初始化方案的初始场台风中心相当位温垂直剖面图 (单位 k)

4 结语

本文利用 MM5 模式,采用三重嵌套,分别用四种初始化方案对登陆台风“卡努”进行了 72h 的数值模拟预报,可得出以下结论:

- (1) MM5 模式对台风的路径预报具有一定的能力,但对其强度的预报还不尽如人意;
- (2) 按照常规做法,加入 Bogus 人造台风涡旋以后,能够对初始场进行很好的调整,在路径和强度的预报上也有明显的改善,再加入 GTS 常规观测资料,使初始场更接近实况,预报路径和强度的能力也有所提高;

(3) 在前面方案的基础上,再加入 Quikscat 卫星海面风非常规资料,路径预报逐小时误差减少,强度有所改善。本文所用的 Quikscat 卫星资料并没有覆盖台风中心,但对

整个初始场仍然有一定的调整作用,从而在路径和强度预报上都有好的表现。

可见,要得到一个好的初始场,需要多种方法结合使用,包括利用人造台风涡旋、加入常规和非常规资料,这正是提高台风路径和强度预报的有效方法之一。目前,Quikscat 卫星资料有时效性,用它对台风初始场进行调整要依赖于卫星扫描的轨迹,因此,怎样将卫星资料合理应用到台风的预报中,也是一个我们需要解决的问题。

参考文献:

- [1] 陈联寿,等. 热带气旋动力学引论 [C]. 北京: 气象出版社, 2002.
- [2] Christopher A. Davis and Simon Low-Nam, The NCAR-AFWA Tropical Cyclone Bogussing Scheme, National Center for Atmospheric Research Boulder, Colorado, May 22, 2001.
- [3] 杨学联,等. 卫星遥感资料在台风数值预报中的应用 [J]. 海洋预报, 2001, 18(4): 1~8.
- [4] Geory A. Grell et al. A description of the fifth-Generation Penn State/NCAR Mesoscale model (MM5V2). NCAR/TN-398+STR [J]. NCAR TECHNICAL NOTE, 1995.
- [5] 凌铁军,等. 中尺度数值预报模式 (MM5) 在海面风场预报中的应用 [J]. 海洋预报, 2004, 21(4): 1~9.
- [6] 李江南,等. 南海台风 Vongfong (2002) 的数值模拟试验 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2004, 43(3): 85~89.
- [7] 吴启树,等. “碧利斯”台风暴雨物理量场诊断分析 [J]. 海洋预报, 2005, 22(2): 59~66.
- [8] 陈训来,等. 台风 Utor 登陆广东过程的数值研究 [J]. 中山大学学报 (自然科学版), 2005, 44(2): 102~1106.

NUMERICAL SIMULATION EXPERIMENTS ON TYPHOON KHANUN

XING Jian-yong, SONG Xue-jia, YANG Xue-lian, ZHAO Hong

(Nation Marine Environment Forecasting Center, Beijing 100081 China)

Abstract : Typhoon Khanun (200515) is one of the landfall typhoon which made the serious disaster on the way in recent years. This paper is based upon the fifth-generation NCAR/Penn State Mesoscale Model (MM5V3), using high resolution triple-nested domain. We have experimented with the typhoon Khanun by four kinds of initialization respectively, analyzed and discussed the influence of the initialization of the model to the forecast effect. The results show that the MM5 model has the certain ability to the simulation forecast of typhoon. In according to the usual way, bogussing vortex and the routine observation data is put into the initial field of MM5, the effect of track and intensity forecast can be improved obviously. When the unconventional data such as the quikscat satellite sea surface wind is put into the initial field, the forecast track error can be reduced, the effect of the intensity forecast can be ameliorated too.

Key words : Numerical simulation ; initialization ; MM5 model ; Bogus ; Quikscat satellite data.