

全球数值模式中的台风初始化 I : 方案设计^{* 1}

瞿安祥¹ 麻素红¹ LIU Qingfu² 李娟¹ 胡江凯¹
QU Anxiang¹ MA Suhong¹ LIU Qingfu² LI Juan¹ HU Jiangkai¹

1. 国家气象中心,北京,100081

2. National Centers for Environmental Prediction/Environmental Modeling Center, Camp Springs, MD, USA

1. *National Meteorological Center, Beijing 100081, China*

2. *National Centers for Environmental Prediction/Environmental Modeling Center, Camp Springs, MD, USA*

2008-08-28 收稿,2008-10-22 改回.

Qu Anxiang, Ma Suhong, Liu Qingfu, Li Juan, Hu Jiangkai. 2009. The initialization of tropical cyclones in the NMC global model Part I : Scheme design. *Acta Meteorologica Sinica*, 67(5):716-726

Abstract Due to lack of valid observational data over the tropical oceans, TC (tropical cyclone) initialization for numerical models is one of major difficulties in accurate TC track forecasting. Since TC numerical prediction model at National Meteorological Center of China (NMC/China) was put into operation in 1996, it has always been applied an empirical and statistical method which imposes a scale-selective sophisticated filtering to remove shallow vortex from the initial field and inserts bogus vortex into it, constructed by a few observed parameters such as central pressure, position, and maximum sustained wind. In fact, TC structure varies from one form to another for different TCs and even the same TC in different time of life, which is not directly related to these observed parameters. The spatial and temporal variability of TC structure are not represented by bogus vortex with a few observed parameters. Recently, a new TC initialization scheme based on NMC global analysis-forecast cycle has been developed successfully. The new scheme is composed of three procedures: vortex formation, vortex relocation, and vortex modification. Specifically, an appropriate vortex (generated by global model forecast) is inserted into background field when TC occurs at first time (it is called vortex formation). In the next forecast time, there must be a little weak and misplaced vortex in the background (6-h forecast at first time), what all we need to do is to move the vortex to correct position and modify it close to observed parameters by relative dynamic formula (it is called vortex relocation and modification). It can be seen that initial vortex of the new scheme is mostly formed with the integration of the global model and is compatible with the dynamics and physics of the global model. Using the new scheme of TC initialization, a series of experimental forecasts were performed for TC Kaemi (0605) that occurred in the western North Pacific in 2006. From study it is found that the new scheme can produce the reasonable and realistic vortex in the initial field and produced much more accurate TC track prediction compared with operational bogus one. It indicates that mean track forecast biases can be reduced effectively by new TC initialization scheme.

Key words TC initialization, vortex formation, vortex relocation, vortex modification.

摘要 由于缺少大量有效的观测资料,台风初始化对数值天气预报业务模式而言,仍然是一个悬而未决的难题。中国国家气象中心自从1996年将台风数值预报系统投入业务运行以来,一直使用经验的人造 bogus 涡旋台风初始化技术。实际上,不同时期的台风有着不同的环流结构,即使同一个台风在不同的生命期也具有不同的结构特征,而这些结构特征的差异并不能依靠现有的 bogus 涡旋技术体现出来,这种主观方法的统一性与台风在时空上的差异性形成了强烈的反差。最近,基于国家气象中心全球资料分析同化-预报循环系统,设计和发展了一套新的台风初始化业务方案,它主要由初始涡旋形成、涡旋重定位和涡旋调整3部分过程组成。相比于业务中使用的人造 bogus 涡旋台风初始化方案,新方案在很大程度上减少了人为因素

* 资助课题:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2009CB421500)和国家气象中心课题(07ZK2006-02)。

作者简介:瞿安祥,主要从事台风数值业务预报工作。E-mail: quax@cma.gov.cn

对台风涡旋结构的影响,而更多地是依靠数值模式自身的动力和物理过程来协调约束产生三维空间的涡旋结构。应用新方案,文中对生成于西北太平洋的 2006 年 0605 号台风格美(Kaemi)进行了数值试验,初步分析表明,新方案在实现台风涡旋环流结构的初始化方面效果较好,同时,对台风格美多个时次的预报结果也显示,相比于业务使用的 bogus 方案而言,新方案对台风路径平均预报误差有了大幅度的降低。

关键词 台风初始化, 涡旋形成, 涡旋重定位, 涡旋调整

中图法分类号 P457.8

1 引言

由于洋面上缺少大量有效的观测资料,台风涡旋的初始化对全世界各大数值天气预报业务中心而言,仍然是一个悬而未决的难题。为了能使数值天气预报模式对台风产生一个客观的、合理的路径和强度预报产品,目前普遍采用的方法是基于有限的观测资料和分析数据,利用相关统计经验公式和动力学模型构建一个半主观半经验的台风涡旋结构嵌入到模式初始场中(Davidson, et al, 2000; Mino, et al, 2001; Kurihara, et al, 1998)。中国国家气象中心自从 1996 年将台风路径数值预报业务系统投入到业务运行以来,为了提高初始场中台风涡旋的描述质量,一直采用的是在初始场中消除浅涡旋并嵌入人造台风 bogus 涡旋技术方案(王国民等, 1996; 王诗文, 1999; Ma, et al, 2007)。该方案利用的观测资料很少(仅有中心气压、最大风速和大风半径等几个参数),台风涡旋的绝大部分三维结构特征是基于人为的主观因素构建的。实际上,在不同时期生成的台风有不同的环流结构,而且即使同一个台风在不同的生命期也具有不同的结构特征,这些环流结构特征并不能仅仅依靠中心气压、最大风速和大风半径等这几个有限参数就能体现出来, bogus 方案这种主观方法的统一性与台风在时空上的差异性形成了强烈的反差。

众所周知,在世界各大数值预报业务中心的全球资料分析同化-预报循环系统中,某个时刻资料分析同化阶段所需的背景场是来自上一个时刻的预报场(国家气象中心资料分析时间间隔为 6 h,即为上一时刻的 6 h 预报场),根据这一特性,只要在台风最初成形时刻在数值模式初始场中有一个正确的涡旋环流系统,那么模式的 6 h 预报场(即下一个时刻资料分析阶段的背景场)就会存在一个相应的涡旋系统。如果数值模式能够完美模拟天气系统演变特征的话,下一个时刻背景场中的涡旋系统就能准确

反映当时的台风三维结构特征,但是实际上这只能是一种理想化的假设,大多数情况下,背景场中涡旋系统的结构特征与实际观测的台风信息并不匹配,往往主要表现在强度太弱、位置不准确这两个病态特征上。当含有病态涡旋的背景场进入资料分析同化过程后,由于目前洋面上缺少有效密集的台风观测资料,这种病态的涡旋系统并不能在分析同化阶段得到订正和改善,绝大部分情况下,输出的分析场中涡旋仍然存在病态特征。再进一步而言,当含有这个病态涡旋的分析场继续作为全球数值模式的初始场代入模式积分后,就会影响到台风预报的准确率和再下一个时刻的分析。如此分析-预报循环下去,一直到有足够密集的观测资料来订正它或台风消亡,这种恶性循环才会结束。针对背景场中如果出现病态的弱涡旋的情况,目前国家气象中心台风数值预报业务系统上采取的方案是,应用平滑滤波技术消除它,然后再嵌入人造的台风 bogus 涡旋环流系统(Ma, et al, 2007)。实际上,背景场中的涡旋系统不但融合了上一个时刻分析同化阶段台风附近的有限观测资料(特别是洋面上的卫星探测资料、近海区域的观测资料)的演变信息,而且也包含了模式本身对台风的模拟演变特征,因而会含有更多有价值的涡旋环流信息(瞿安祥等, 2007; Liu, et al, 2000; Ueno, 1995),我们在滤除掉背景场涡旋系统的同时,很多有价值的涡旋结构信息也被剔除掉了。如果有一种技术方案,能够有效纠正每个分析-预报时刻背景场中涡旋的病态问题,就会在很大程度保留这些有价值的信息。美国 NCEP/EMC 的 Liu 等(2000)在其数值预报业务试验中发现,如果将背景场中的弱台风涡旋重新定位到实际台风的位置,而不是将其滤除掉,就会大大提高台风路径的预报水平。

针对中国国家气象中心目前台风数值业务发展的现状,本文提出了一套完整可行的台风初始化数值方案(文中台风是指对最大阵风强度不小于

18 m/s 的热带气旋), 主要由初始涡旋形成、涡旋重定位和涡旋调整三部分组成; 基于中国国家气象中心的全球资料分析同化-预报循环系统平台, 完成了该方案的具体实现过程; 应用新设计的台风初始化方案, 对 2006 年生成于西北太平洋的 0605 号台风格美(Kaemi)进行了数值模拟, 详细分析了该方案在实现台风涡旋环流结构方面的效果和能力。本文分别利用新方案和 bogus 方案对 0605 号台风格美(Kaemi)进行了多个时刻的预报试验, 并对试验结果进行分析比较。

2 台风初始化方案

2.1 方案简介

台风初始化对数值天气预报业务模式而言, 一直是一个比较棘手的问题, 尽管目前随着卫星探测技术的飞速发展, 我们可以接收到越来越多的探测辐射率资料, 但是对于台风这个本身具有深厚云团和强烈降水的中尺度系统而言, 卫星探测的“范围”还不够全面, 要想完全依靠卫星资料来实现台风初始化过程, 在实时业务应用上还面临诸多技术上的难题。本文设计的新的台风初始化方案由三部分组成: 初始涡旋形成、涡旋重定位和涡旋调整。

(1) 在台风形成的第 1 次编报时刻, 判断当前预报时刻背景场中的浅台风涡旋是否存在。

① 如果存在涡旋环流, 首先判断其中心位置与实际观测是否吻合, 不吻合的情况下, 应用重定位技术将背景场中的涡旋环流平移到实际观测位置; 然后再判断其强度与范围是否太弱, 如果太弱的话, 再在背景场中嵌入一个与观测接近、与模式协调的涡旋环流(利用初始涡旋形成技术过程生成)。

② 如果不存在, 在背景场中直接嵌入一个与观测接近, 并且与模式协调的涡旋环流(利用初始涡旋形成技术过程生成)。

③ 将调整好的背景场代入全球资料分析同化系统, 然后再进行全球数值模式积分预报。

(2) 经过第 1 次预报时刻的调整, 不管怎样, 在第 2 个预报时刻的全球资料分析同化阶段, 背景场(即第 1 个时刻的 6 h 预报场)中就会存在台风涡旋环流系统, 只是这种涡旋与当前时刻的观测稍有差别, 主要表现在强度弱、位置不准确, 我们所要做的是:

① 判断背景场的涡旋环流中心位置是否与观

测吻合, 如果不吻合的话, 利用重定位技术将台风涡旋环流平移到当前时刻的实际台风观测位置。

② 利用当前观测的台风特征数据(预报员实时分析的台风中心海平面气压、最大风速和大风半径等)对背景场中的涡旋环流进行部分调整, 使之强度和结构与实际观测分析数据接近。

③ 将调整好的背景场代入全球资料分析同化系统, 然后进行全球数值模式积分预报。

(3) 在第 3 个、第 4 个、第 5 个……滚动预报时刻, 利用与第 2 个时刻同样的方法对背景场中的台风涡旋进行初始化, 周而复始, 只要台风不消亡, 这样的技术方案就会作用于以后每个滚动预报时刻。

可以看出, 相对于目前业务上所用的人造台风 bogus 涡旋方案而言, 新的台风初始化方案在很大程度上减少了人为主观因素对台风三维结构的影响, 而更多的是依靠和利用模式动力与物理过程在业务的循环滚动预报中产生涡旋结构, 这样产生的涡旋结构不但与周围环流形势比较协调, 而且涡旋自身的各种物理量在动力属性上也比较平衡, 在很大程度上降低了模式积分过程中与模式的协调过程以及对周围形势场的负面影响。

2.2 初始涡旋形成技术

众所周知, 台风最初的雏形是表现在热带地区洋面上产生的一个小扰动, 当这个小扰动经过一段时期的发展, 到达一定的强度后, 预报员才会进行初始编报, 也只有从这时候开始, 数值预报业务模式台风初始化方案才会启动(当然理想状态下, 如果观测资料信息足够多的话, 台风初始化过程就不会存在), 也才会输出专门的台风数值预报产品供预报员参考。所以实际上当台风第一次编报时, 涡旋环流系统已经存在了“一段时期”了(时间长短因不同热带扰动系统形成发展过程而异), 这种情况下, 全球数值模式循环滚动预报中提供的背景场有时会含有一个涡旋环流, 绝大部分情况下, 这个涡旋强度非常弱, 中心位置也偏离实际观测较远。在这种情况下, 我们将这个涡旋系统用重定位技术平移到观测分析位置上去, 然后判断其强度与范围是否太弱, 如果太弱的话, 再对背景场进行台风涡旋初始化。如果台风初始编报时, 背景场中并不存在弱的涡旋环流, 也就是全球数值模式对台风的扰动发生发展阶段没有任何反应能力, 在这种情况下, 为了能得到比较好的台风预报和形势场预报, 我们也必须对背景场进行

台风涡旋初始化。

无论怎样,台风第 1 次编报时刻对背景场进行台风初始化目标是在背景场中产生一个合理的台风涡旋环流系统,该系统不但三维结构要完整,而且还要与周围环境场比较协调。为此,我们设计了一个初始涡旋环流产生技术。

(1) 根据预报员提供的实时台风特征数据(中心气压、大风半径,最大风速等),构造一个合理的涡旋系统,构造的方案主要依靠现行业务中的人造台风 bogus 涡旋技术,具体的细节详见相关文献(王国民等,1996;王诗文,1999;)。

(2) 将构造好的三维涡旋结构嵌入到背景场中作为初始场,然后利用全球数值模式对这个含有构造涡旋的初始场进行 36 h 的积分预报,这样在输出的各个间隔时次(6、9、12、15...36 小时)的预报场中就会产生一个个演变的台风涡旋环流系统。

(3) 从各个时次的预报场中挑选出一个与观测分析的台风特征数据最接近的涡旋环流系统,然后从预报场中分离出来。

(4) 将分离出来的台风涡旋环流嵌入到最初的背景场中,形成初始的台风涡旋环流系统。从以上的步骤中我们可以看出,新设计的初始涡旋产生方案在间接依靠 bogus 技术的同时,更多的是利用全球数值模式来约束积分产生一个涡旋环流系统,相比于业务上直接嵌入 bogus 涡旋而言,新的涡旋环流系统不但三维结构比较完整,而且其动力属性与模式本身也比较协调,大大减少了预报初始积分过程中产生的振荡问题。实际上,利用模式自身产生的台风涡旋进行初始化方案已经在科研中取得了不错的模拟成果(Liu, et al,1997)。

2.3 涡旋重定位技术

经过台风初始编报时刻的处理,在下一个时刻(即第 2 个时刻)的滚动预报中,背景场就会存在一个涡旋环流系统,大部分情况下,这个涡旋系统与实际观测数据是不吻合的(归咎于全球数值模式对台风的模拟预报性能上),往往表现在位置偏离,强度较弱。这种情况下,我们采取的方案就是将涡旋系统重定位到观测位置,然后依靠强度调整技术手段,对重定位后的涡旋强度进行调整以向台风观测分析的特征数据接近,最终将包含有调整后涡旋的背景场引入资料分析同化系统和模式积分预报中。在第 3 个预报时刻,我们采取与第 2 个预报时刻相同的

重定位和强度调整技术来完成台风初始化方案,并一直贯穿到台风消亡。

当背景场中的台风涡旋环流位置与当前时刻的观测位置不匹配时,必须将台风涡旋系统从背景场中分离出来,并且平移到实际观测的位置,这就是涡旋重定位技术。本文采用的重定位技术是基于美国 NCEP/EMC 数值预报业务系统应用比较成熟的台风涡旋分离技术(Kurihara, et al, 1993; Kurihara, et al, 1995)基础之上发展起来的。

(1) 判断和寻找背景场中台风涡旋环流的中心位置。台风的识别主要依靠一些业务上的经验统计数据作为判据,如海平面气压梯度、近地面风速大小以及热带气旋在近地面垂直方向上的一些物理属性特征;台风中心位置定位则依据海平面气压、近地面涡度中心来综合确定。

(2) 选取一个以台风涡旋为中心的水平经纬网格区域,对所选区域利用 3 点平滑算子进行平滑,通过变化的平滑系数分别重复作用于经圈方向和纬圈方向,将背景场分成基本场和扰动场两部分。需要指出的是,这里分离出的扰动场不但包含台风涡旋环流场,还包括部分的大尺度形势场环流。背景场为基本场与扰动场之和。

(3) 确定台风涡旋环流的范围:计算在以涡旋中心为圆心的圆柱坐标系中,扰动场中分布在 24 个方位角度上的近地面切向风速值及其梯度值,然后根据一些经验判据(切向风速及其梯度值)来确定台风涡旋环流在 24 个方位角度上的半径范围,限定最大的半径不超过 1200 km。

(4) 从扰动场中分离出非台风涡旋环流的大尺度形势场部分:在以台风涡旋中心为圆心的 24 个方位角度上,确定台风涡旋环流与非涡旋环流部分的 24 个边界点,并将这 24 个点所在的扰动场值作为该点的非涡旋环流的值,然后利用最优插值方法,以初值为 0 来计算出台风涡旋区域内各点的大尺度形势场值(即扰动场中包括的那部分大尺度形势场)。具体细节可参考相关文献(Kurihara, et al, 1995)。

(5) 计算出完全的涡旋场:将上一步从扰动场分离出来的部分大尺度形势场叠加到基本场上,就得到了不包含涡旋的环境场。从背景场中扣除环境场,就得到了台风涡旋环流场。环境场为基本场与部分大尺度形势场之和。台风涡旋环流场为背景场与环境场之差。

(6) 使用三次样条插值技术, 将计算出的台风涡旋环流场平移到实际台风观测的位置, 完成台风重定位技术。

如果有多个同时发生的台风, 重复应用上面的步骤。

2.4 涡旋调整技术

实际上, 在目前实时业务中, 由于洋面上缺少相应密集有效的台风观测资料, 经过重定位后背景场中的台风涡旋系统在全球资料分析同化阶段并没有得到有效的调整与改进, 其强度与范围在很大程度上仍然依靠背景场提供的信息来维持。从另外一个角度来说, 由于目前全球数值模式的分辨率和物理过程性能还不足以对中尺度的台风涡旋内部结构进行有效地描述和预报, 如果我们不对背景场中的涡旋系统强度进行调整与加强, 其涡旋环流系统会在后继几个时刻的分析同化-预报循环中逐渐减弱甚至消失, 这种情况在台风初始发展的前期阶段显得尤为明显。因此, 为了能使全球数值模式对台风和周围的环流形势场产生一个合理的预报, 必须对重新定位后背景场中的台风涡旋进行调整与改进。依据目前现有的技术和手段, 本文提出了一个简单有效的涡旋调整方案, 其基本思路是: 在保持背景场台风涡旋空间结构的前提下, 利用相关的经验和动力学关系式, 调整涡旋气压场和风场, 使得其强度和范围向台风观测分析的特征数据拟合。

2.4.1 气压场的调整

假设台风涡旋环流的海平面气压场分布遵循 Fujita(1952) 公式 (Xiao, et al, 2000; Zou, et al, 2000):

$$P_h(r) = P_\infty - (P_\infty - P_c) \left[1 + \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (1)$$

P_∞ 是离台风无限远处的海平面气压, P_c 是台风中心的海平面气压, R_0 是一个常数 (其值为台风中心附近海平面气压最大梯度值所在半径的 $\sqrt{2}$ 倍), r 为距离热带气旋中心的径向距离。假设背景场中的涡旋中心气压为 P_b , 而实际观测分析的台风中心海平面气压强度为 P_{obs} , 则背景场中涡旋与实际台风的海平面气压场分布都可用如下的两个公式表示

$$P_h^b(r) = P_\infty - (P_\infty - P_b) \left[1 + \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (2)$$

$$P_h^*(r) = P_\infty - (P_\infty - P_{obs}) \left[1 + \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (3)$$

将上面的两个公式相减, 就会得到

$$P_h^*(r) = P_h^b(r) - (P_b - P_{obs}) \left[1 + \left(\frac{r}{R_0} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (4)$$

$$r < R_{TC}$$

$P_h^*(r)$ 即为调整后的海平面气压场, R_{TC} 为所需调整热带气旋的径向距离范围, 其大小由台风强度与 7 级风圈半径决定。由此式可以看出, 在已知背景场海平面气压中心强度 P_b 和实际中心气压强度 P_{obs} 的前提下, 基于背景场中涡旋的海平面气压分布结构, 我们可调整涡旋海平面气压的强度, 使其更接近于实际台风的观测数据。

2.4.2 风场的调整

一般来说, 台风涡旋附近环流的风场与气压场分布遵循的梯度风平衡关系。

$$\frac{V^2}{r} + fV = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P(r)}{\partial r} \quad (5)$$

假设背景场中的涡旋风场分布为 $V^b(r)$, 则背景场中涡旋环流的风场和气压场可表示为如下关系式:

$$\frac{V^{b^2}(r)}{r} + fV^b(r) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_h^b(r)}{\partial r} \quad (6)$$

类似地, 实际的风场分布 $V^*(r)$ 与调整后的气压场 $P_h^*(r)$ 也遵循如下的关系式:

$$\frac{V^{*2}(r)}{r} + fV^*(r) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial P_h^*(r)}{\partial r} \quad (7)$$

联合上面两个关系式, 在求出实际气压场 $P_h^*(r)$ 分布情况后, 就可以求得调整后的风场分布。

在实际应用的过程中, 调整方案是在全球数值模式 $\delta (= p/p_s)$ 垂直坐标系空间中实现的, 海平面气压的调整会带来表面气压 p_s 的相应调整, 从而台风涡旋三维空间各点的气压场得到了变化调整。然后根据三维空间各点的气压值变化, 再计算出台风涡旋空间各点的风场变化。这样就会使得整个三维空间的台风涡旋强度都得到有效调整。

综上所述, 我们可以看出, 新提出的涡旋调整方案在很大程度上保留了涡旋结构与模式本身的协调性, 它在不改变背景场涡旋空间结构的情况下, 使得涡旋强度逐步向观测数据拟合, 既兼顾了涡旋与周围环境场的动力平衡, 又考虑到了涡旋自身的强度与台风观测分析特征数据的接近。在目前业务上没有足够观测资料来对三维空间的台风结构进行初始化的情况下, 新提出的涡旋调整技术不失为一个有效的解决方案。

3 试验分析

为了检验新设计的一整套台风初始化方案对实际台风的模拟和路径预报能力,本文基于国家气象中心的全球资料分析同化-预报循环系统,选取了2006年0605号台风格美(Kaemi)进行了数值模拟预报试验。

0605号台风格美于2006年7月19日06时(世界时,下同)在菲律宾中部以东大约1600 km的西北太平洋洋面上生成,强度逐渐增强,并逐渐向台湾省东南部沿海靠近,24日15时在中国台湾省台

东县沿海登陆,登陆时中心附近最大风速40 m/s,而后台风中心穿过台湾海峡,并于25日07时在福建省晋江市沿海再次登陆,最大风速仍有33 m/s。受格美和西南季风以及冷空气的共同影响,中国台湾、福建以及浙江北部等地出现了大到暴雨,其中台湾南部、福建东北部和南部等地的部分地区还出现了大暴雨或特大暴雨,给人民生命财产带来了巨大损失。从开始编号到停止编号,0605号台风格美生命史共维持了7 d左右的时间,在此期间,全球数值模式每天连续滚动运行4次(00、06、12、18时),每次输出120 h的台风路径定位产品。

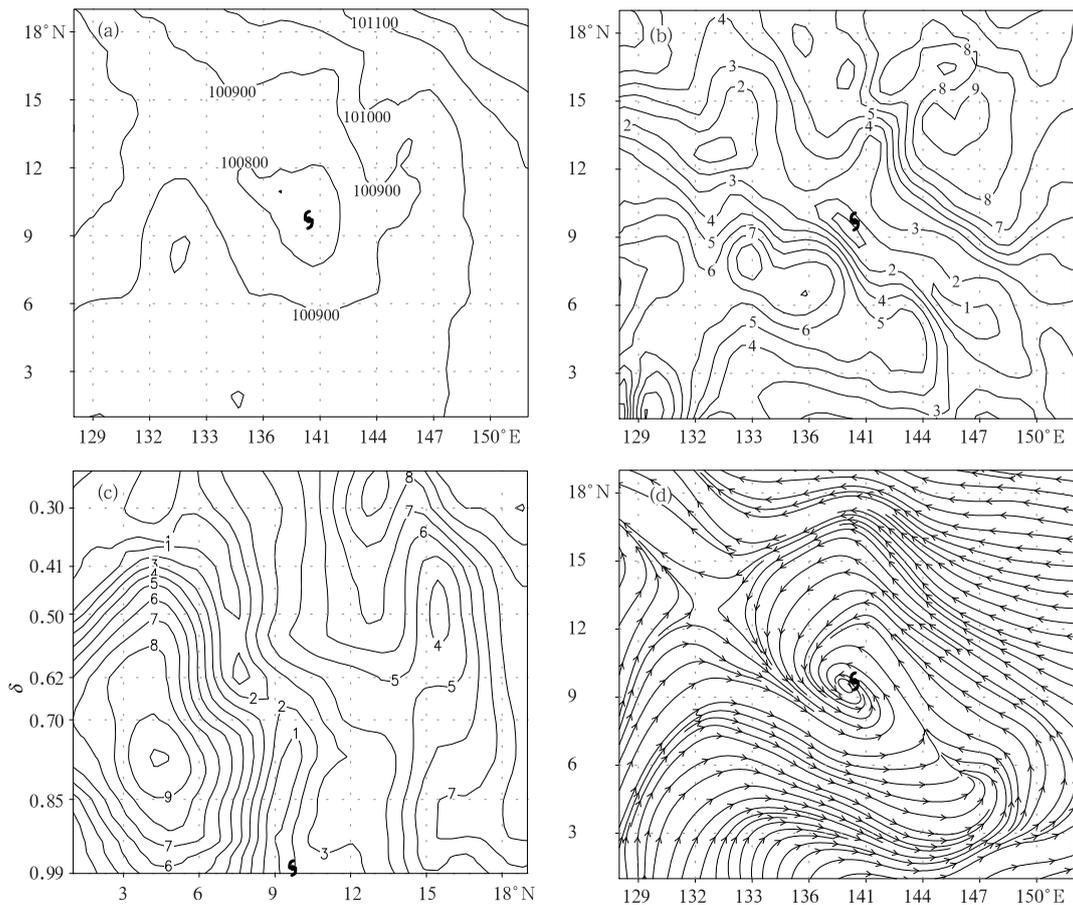


图1 2006年7月19日06时资料分析时刻的背景场涡旋
(a. 海平面气压场(Pa), b. 海平面风场(m/s), c. 垂直风场(m/s)剖面(纬向,沿135.0°E), d. 海平面流场)

Fig. 1 Background field of (a) sea level pressure (Pa), (b) sea surface wind (m/s), (c) vertical wind field along 135.0°E (m/s), (d) sea surface wind streamline at 06:00 UTC 19 July 2006

0605号台风第1次起编的预报时刻为2006年7月19日06时,按照新方案的流程设计,系统首先判断当前时刻的背景场中是否存在涡旋系统,利用台风

追踪和定位的程序包搜索发现,当前时刻的背景场中已经存在一个涡旋系统(图1),只是这个涡旋系统非常弱,搜寻所得中心海平面气压只有1008 hPa,比起

预报员实际提供的观测数据 998 hPa 相差 10 hPa, 同时, 海平面气压场的闭合线表现的非常稀疏(图 1a); 分析图 1b、1c 风场可见, 涡旋环流的形势也不是很明显, 尽管风流线场有初步的锥形(图 1d), 但是无论从低层和垂直剖面来看, 风速量级都很小。同时, 从中心位置对比来看, 背景场涡旋的环流中心位于 (9.7°N, 140.4°E), 而实际观测的台风中心位于 (11.7°N, 140.7°E), 两者偏离较多(约 200 km)。如果不对背景场中这样的涡旋进行初始化调整, 势必会影响到模式积分输出场中台风涡旋预报和其周围形势场预报的正确性, 从而也会影响到下一个时刻分析阶段中背景场涡旋的质量。

应用本文提出的重定位技术, 我们将背景场的浅涡旋环流平移到了观测的位置, 来解决中心位置

偏移的问题; 利用初始涡旋形成技术, 依靠模式自身激发出一个合理的、动力平衡的涡旋系统, 嵌入到背景场中去, 替代过弱的涡旋环流系统。图 2 就是利用涡旋形成技术产生的新的涡旋系统, 从图中可以看出, 比起原背景场的浅涡旋系统, 新的涡旋环流系统台风特征明显清晰, 强度和范围得到了有效的加深, 这一点在垂直风场结构特征上表现得尤为明显。从数据分析来看, 新嵌入的台风涡旋系统海平面中心气压为 999 hPa, 海平面最大风速为 19 m/s, 与预报员分析的观测数据非常接近(预报员分析的实际海平面中心气压为 998 hPa, 最大风速为 18 m/s)。实际上, 利用这种方案产生的涡旋系统, 既能保持自身结构的完整性, 也具有与模式系统更好的协调性, 因而会产生一个合理的预报效果。

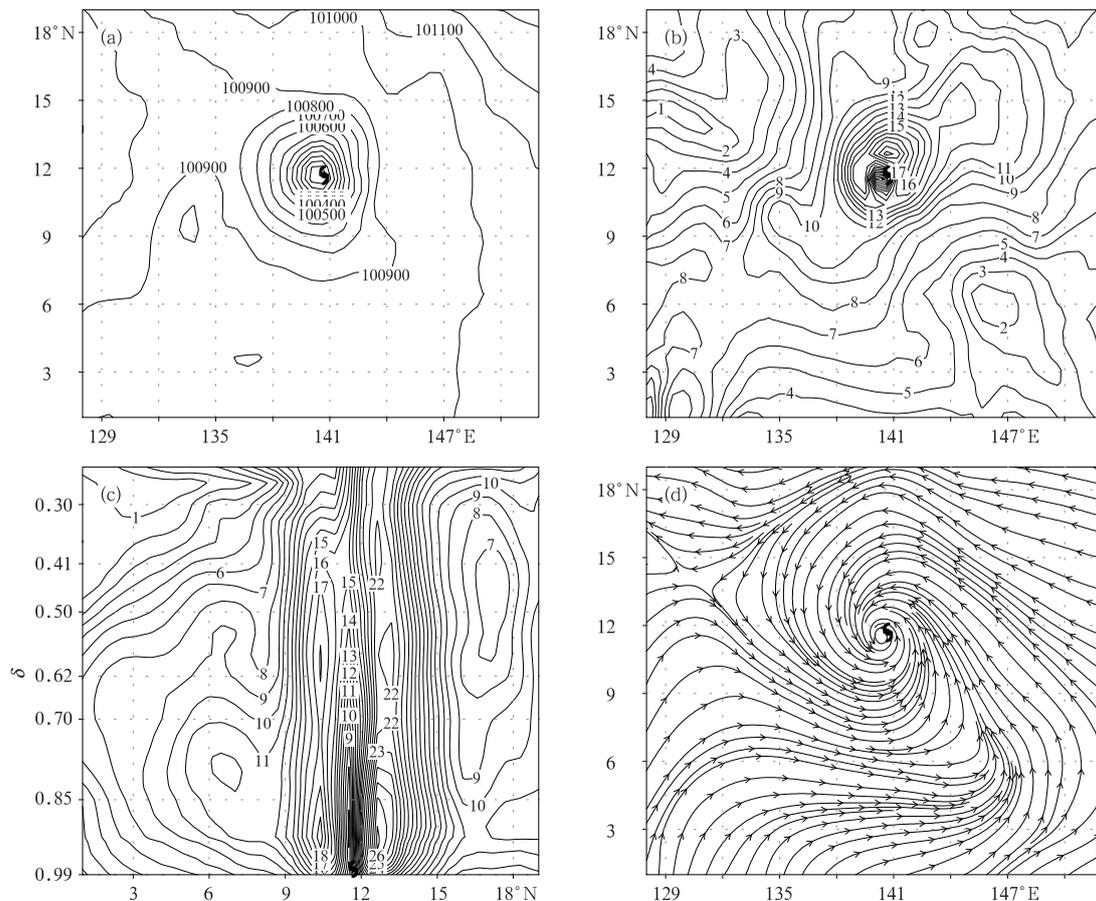


图 2 2006 年 7 月 19 日 06 时资料分析时刻的背景场中的涡旋(嵌入台风涡旋后)

(a. 海平面气压场(单位:Pa), b. 风场(单位:m/s), c. 垂直风场剖面(纬向,沿 140.7°E,单位:m/s), d. 海平面流场)

Fig. 2 Background field of (a) sea level pressure (Pa), (b) sea surface wind (m/s), (c) vertical wind slice along 140.7°E (m/s), (d) sea surface wind streamline at 06:00 UTC 19 Jul 2006 (after inserting vortex)

在下一个分析-预报循环时刻(6 h后),背景场(来自第 1 个时刻的 6 h 预报场)中就有了一个合理完整的涡旋系统,但由于现有模式本身的不完美性,这个背景场中的涡旋系统在大部分情况下是与当前时刻的观测有偏差的,同样主要表现在位置和强度上,只是与第 1 次不同的是,这时候的涡旋系统结构比较完整,环流形势也比较明显。这种情况下采取的措施是,应用前面提到的重定位技术来纠正背景场涡旋位置 and 实际观测的偏差,然后利用新提出的涡旋调整技术来订正重定位后的涡旋环流,使得涡旋强度逐步向观测数据靠近。同样的,在接下来的第 3 个、第 4 个滚动预报时刻,用类似的方法订正背景场的涡旋系统,一直到台风消亡为止。

2006 年 7 月 21 日 00 时背景场中涡旋的中心位置位于(14.9°N, 135.0°E),而实际台风格美的观测位置在(15.4°N, 134.3°E),两者相距 80 km 左右。对比应用重定位技术前后背景场中的涡旋系统,我们可以看出,在应用重定位技术后,海平面气压场(图 3a)最低值的中心位置发生了明显的变化,向西北方向平移了几十公里的距离,伴随着周围的气压场也进行了整体平移,同时也可以看出,这种平移只限于涡旋系统气压梯度比较密集的区域,外围气压场几乎没有什么变化,这一点从洋面的风场中也可以看出(图 3b、图 3d)。另外从图 3c 垂直风场纬向剖面图对比分析来看,经过重定位处理后,整个垂直空间的涡旋环流风场都从低纬度向高纬度进行

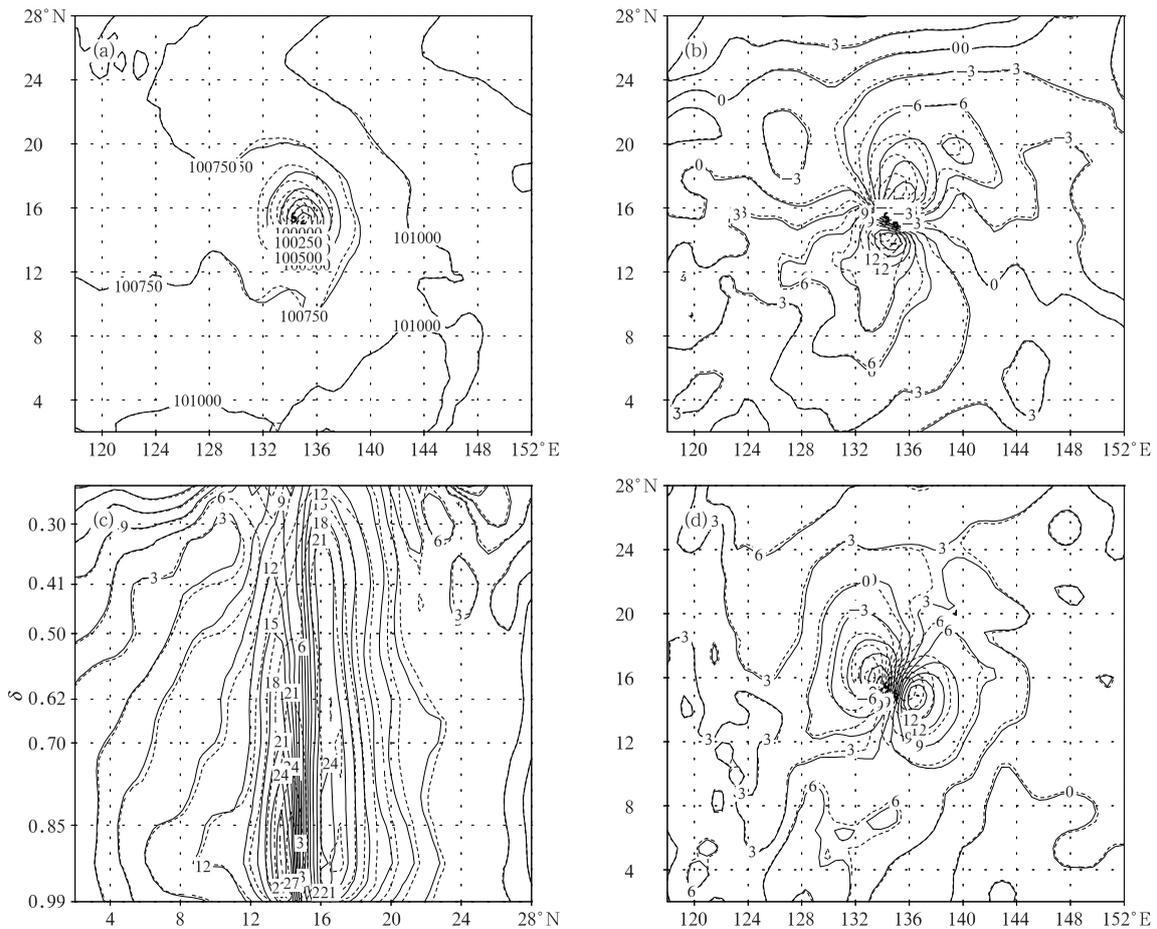


图 3 2006 年 7 月 21 日 00 时资料分析时刻背景场中的台风涡旋重定位前后的比较

(实线代表重定位前,虚线代表重定位后;a. 海平面气压场(Pa), b. 海平面东西向风场(m/s),
c. 垂直风场(m/s)剖面(纬向,沿 135.0°E), d. 海平面南北向风场(m/s))

Fig. 3 Comparison of background field of (a) sea level pressure (Pa), (b) the meridional sea surface wind U (m/s), (c) vertical wind slice along 135.0°E (m/s), (d) the zonal sea surface wind V (m/s) between before vortex relocation (solid line) and after vortex relocation (dashed line) at 00:00 UTC 21 July 2006

了整体平移,而且平移也几乎只发生在涡旋柱中心的核心区域,外围的风场结构平移前后几乎未发生变化,类似地,也可以从经向的剖面图中得到相同的结论(图略)。这说明,本文采用的基于滤波技术的重定位方案在实际应用效果上是比较成功的,它可以使背景场中的涡旋整体发生明显的平移现象,而且这种平移基本只作用在涡旋环流系统内部,台风涡旋外围的形势场基本没有发生变化。

经过重定位处理后的涡旋强度与实际观测数据仍然具有较大差别。实际上,此时的背景场涡旋的海平面气压最低值仅有 993 hPa,而实际预报员分析的观测数据为 975 hPa。这种情况下,我们必须利用强度调整技术来调整背景场涡旋,使其强度向观测数据接近。

从海平面气压场来看(图 4a),经过强度调整后,海平面气压梯度明显加深,实际数据分析显示,此时的强度已经达到了 978 hPa,十分接近预报员的分析数据。从洋面风场(图 4b、4d)中我们也可以看出,经过台风强度调整方案处理后,台风涡旋的风场强度明显加深,特别在台风涡旋中心区,同等值的风场闭合线得到了有效的扩大,相应的风速的量值也明显加强。从实际的数据分析来看,未进行调整前,背景场台风涡旋洋面风场的最大风速为 21 m/s,经过调整方案过后,台风中心最大风速增强到 32 m/s,相比于预报员分析的 33 m/s 而言,后者更接近于实际观测数据。类似地,从经过台风中心的垂直风场的纬向剖面(图 4c)和经向剖面图(图略)也可以看出涡旋环流的结构和强度的明显加深。经

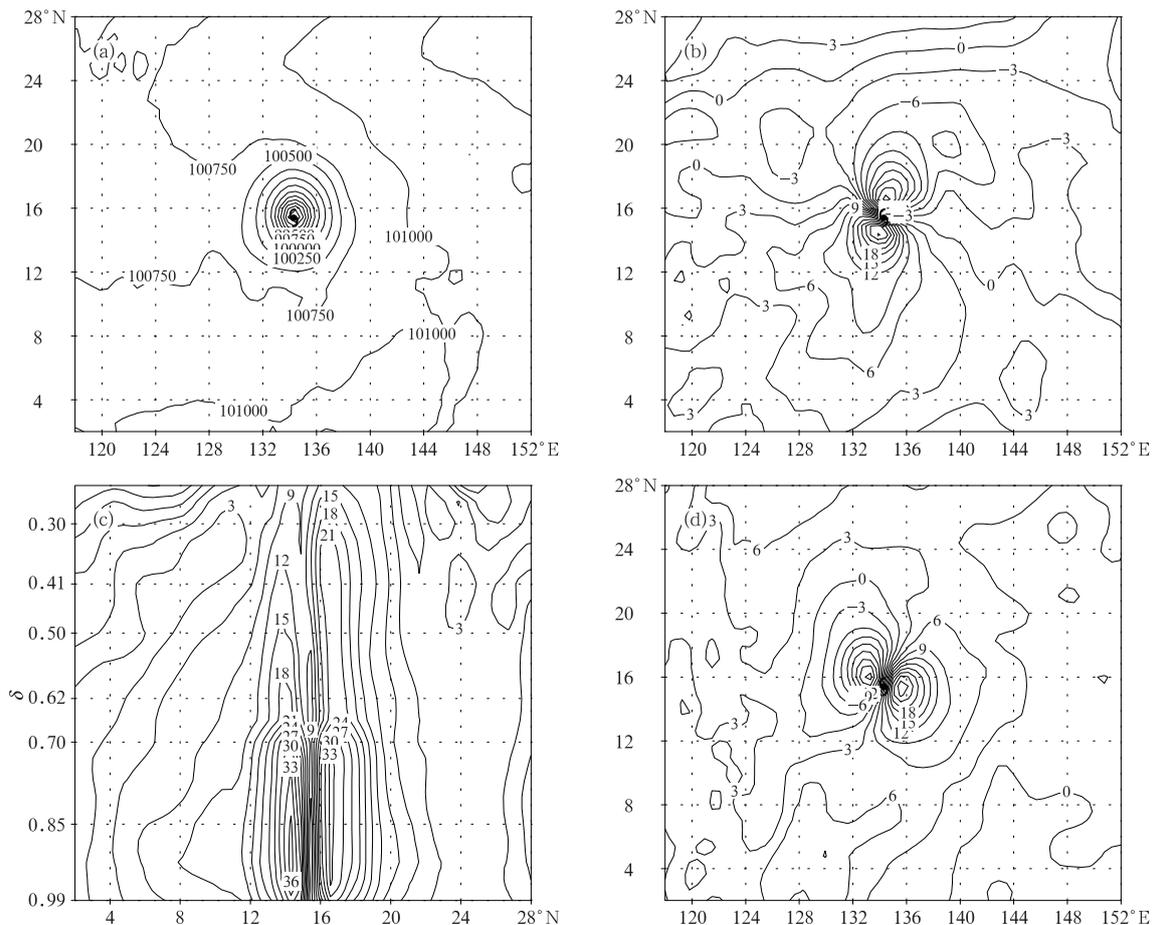


图 4 经过调整后的 2006 年 7 月 21 日 00 时资料分析时刻的背景场涡旋

(a. 海平面气压场(Pa), b. 海平面东西向风场(m/s), c. 垂直风场(m/s)剖面(纬向,沿 135.0°E), d. 海平面南北向风场(m/s))

Fig. 4 Background field of (a) sea level pressure (Pa), (b) the meridional sea surface wind U (m/s),

(c) vertical wind slice along 135.0°E (m/s), (d) the zonal sea surface wind V (m/s) at

00:00 UTC 21 July 2006 (after vortex modification)

过上面分析,可以看出,经过调整后的背景场涡旋更能代表实际台风的状况,这也正是我们设计新方案的目的所在。

4 试验结果比较

为了对比检验新提出的台风初始化方案对 0605 号台风的路径预报情况,基于国家气象中心全球数值模式(T213L31)系统,本文也应用了目前业务中使用的人造 bogus 涡旋台风初始化方案进行了平行试验,分两种方案进行,一种为控制试验,即应用业务中的 bogus 初始化方案;一种为新方案,应用前面所述新开发的一整套台风初始化方案进行路径预报,最后将他们预报的结果进行对比,来检验新方案的优劣好坏。

图 5 显示了在 0605 号台风格美整个生命史中,

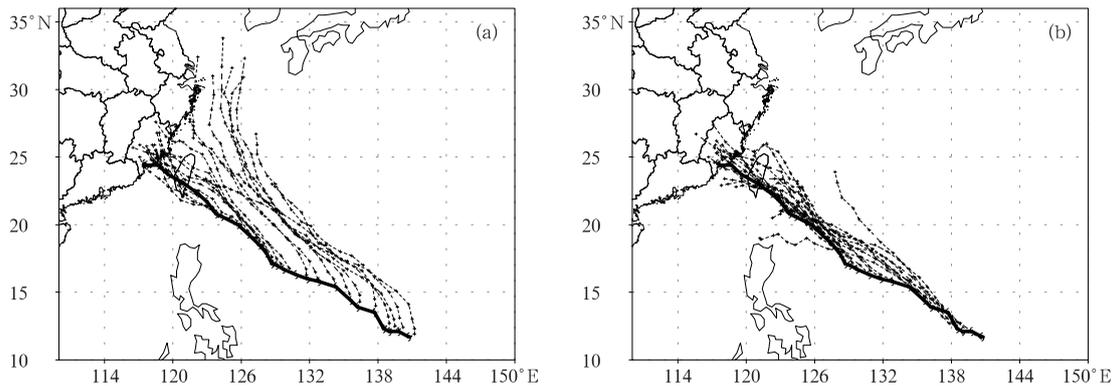


图 5 分别基于(a)bogus 方案和(b)新台风初始化方案的全球数值模式预报的 0605 号台风移动路径和实况
(实线代表观测路径,虚线代表全球模式每个时刻的预报路径)

Fig. 5 Tracks of typhoon Kaemi (0605) predicted by global model with bogus scheme (a) and with new scheme (b) compared with the observed track
(The solid line indicates the observed track, and the dashed lines indicate the forecast track from each global model run)

5 结论和讨论

基于中国国家气象中心全球资料分析同化-预报循环系统,本文设计开发了一套新的台风初始化方案,包括涡旋形成、涡旋重定位和涡旋调整三部分内容。相比于目前业务上应用的 bogus 方案而言,新方案在很大程度上减少了主观因素对台风三维结构的影响,而更多的是依靠模式动力与物理过程在业务的循环滚动预报中产生涡旋环流,这样产生的涡旋结构不但与周围环流形势比较协调,而且涡旋

分别应用 bogus 方案和新台风初始化方案预报的台风路径和实际观测路径的对比情况。从图 5a 中可以看出,bogus 方案在台风格美生命史期间,大部分时刻预报的台风路径都产生了明显的北偏现象,甚至早期多个时刻的预报都产生了后期路径转向的错误趋势,与实际移动路径相差甚远。而从图 5b 中可以看出,应用新台风初始化方案后,全球数值模式预报的路径北偏现象得到了有效的纠正,并且在台风格美的生命史初期,模式预报就已经很好地把握了其最终会登陆的趋势,而其中后期的预报已经完全能正确地展示台风会经历在台湾岛和福建省两次登陆的过程。实际的检验数据也显示了这点,整个生命史中 bogus 方案的 72、96、120 h 的平均路径预报误差为 390、540、768 km,而新方案平均路径预报误差仅为 189、251 和 410 km。

自身的各种物理量在动力属性上也比较平衡,在很大程度上降低了模式积分过程中对周围形势场的负面影响。

对 0605 号台风的个例试验分析表明,新提出的台风初始化方案有效地解决了国家气象中心全球数值模式(T213L31)初始场中台风涡旋的初值化问题,极大改善了初始场中台风环流的描述能力,使得应用全球数值模式实现对台风的正确预报变为可能。同时,多个时次的试验结果也显示,相比于目前业务上应用的 bogus 方案而言,新的台风初始化方

案在对台风路径数值预报上有着不俗的表现, 120 h 时效内的平均路径预报误差有了不同程度的降低。

实际上, 本文新提出的台风涡旋初始化方案在实际业务中具有普遍的应用意义。一方面, 它主要的空间环流结构是基于模式约束积分建立起来的, 这种方法产生的涡旋环流在动力结构和物理属性上很好的解决了与模式自身的协调性问题。另一方面, 新的台风初始化方案在很大程度上又贴近了观测数据, 无论是在重定位技术上还是在初始强度调整上, 都充分考虑并吸收了现有的有限观测数据信息。在目前还没有有效的、全方位的观测资料对台风进行初始化前, 本文新提出的台风初始化方案既考虑了模式对台风涡旋环流的表达能力, 又兼顾了现有的比较成熟的经验技术对台风位置和强度的调整。

本文目前所做的工作也只是实际运用的第一步, 所关注的也仅仅是新的台风初始化方案对台风个例的数值预报表现能力。实际上, 新台风初始化方案能否提高中国国家气象中心的台风路径数值预报效果? 能否将我们国家的台风路径数值预报水平迈向一个新的台阶? 这些疑问都需要进一步的试验去证实。

References

- Davidson N E, Weber H C. 2000. The BMRC high-resolution tropical cyclone prediction system: TC-LAPS. *Mon Wea Rev*, 128: 1245-1265
- Kurihara Y, Bender M A, et al. 1995. Improvements in the GFDL hurricane prediction system. *Mon Wea Rev*, 123: 2791-2801
- Kurihara Y, Bender M A, Ross R J. 1993. An initialization scheme of hurricane model by vortex specification. *Mon Wea Rev*, 121: 2030-2045
- Kurihara Y, Tuleya R E, Bender M A. 1998. The GFDL hurricane prediction system and its performance in the 1995 hurricane season. *Mon Wea Rev*, 126: 1306-1322
- Liu Qingfu, Tim Marchok, et al. 2000. Improvements in Hurricane Initialization and Forecasting at NCEP with Global and Regional (GFDL) model. *Technical Procedures Bulletin*, NOAA, SN: 472
- Liu Y, Zhang D L, Yau M K. 1997. A multiscale numerical study of Hurricane Andrew (1992) Part I: Explicit simulation and verification. *Mon Wea Rev*, 125: 3073-3093
- Ma Suhong, Qu Anxiang, Wang Y. 2007. The performance of the new tropical cyclone track prediction system of the China National Meteorological Center. *Meteor Atmos Phys*, 97: 29-39
- Mino H, Nagata M. 2001. Outline of the new typhoon prediction models at JMA. *RSMC Tokyo-Typhoon Center Technical Review*, 4: 1-13
- Qu Anxiang, Ma Suhong. 2007. The design of asymmetric bogus vortex scheme and preliminary experiment. *Quart J Appl Meteor (in Chinese)*, 18(3):380-387
- Ueno M. 1995. A study on the impact of asymmetric components around tropical cyclone center on the accuracy of bogus data and the track forecast. *Meteor Atmos Phys*, 56: 125-134
- Wang Guomin, Wang Shiwen, Li Jianjun. 1996. A bogus typhoon scheme and its application to a movable nested mesh model. *J Tropic Meteor (in Chinese)*, 12(1): 9-17
- Wang Shiwen. 1999. Advances on typhoon numerical model of NMC and applied experiments. *Quart J Appl Meteor (in Chinese)*, 10(3): 347-353
- Xiao Q, Zou X, Wang B. 2000. Initialization and simulation of a landfalling hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *Mon Wea Rev*, 128: 2252-2269
- Zou X, Xiao Q. 2000. Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *J Atmos Sci*, 57: 836-860

附中文参考文献

- 王国民, 王诗文, 李建军. 1996. 一个人造台风方案及其在移动套网格模式中的应用. *热带气象学报*, 12(1):9-17
- 王诗文. 1999. 国家气象中心台风数值模式的改进及其应用试验. *应用气象学报*, 10(3):347-353
- 瞿安祥, 麻素红. 2007. 非对称台风 bogus 方案的设计和初步试验. *应用气象学报*, 18(3):380-387