

# “非 bogus 初值”热带气旋数值预报及其性能\*

闫敬华<sup>1)</sup> 丁伟钰<sup>1)</sup> 徐建平<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> (广州热带海洋气象研究所, 广州 510080)    <sup>2)</sup> (广东省气象局, 广州 510080)

## 摘 要

从高分辨模式特点及精细预报的需要出发,尝试了用“非 bogus 初值”开展热带气旋精细数值预报的方案。即直接采用四维同化形成的热带气旋(TC)初值,而不再加入“人造台风”(BOGUS)信息,以图避免人为理想结构带来的虚假信息,对热带气旋路径、强度、结构等有更为精细和准确的预报。用2001年所有影响华南的TC实例,对方案的可行性进行了分析。结果表明,本方案可以较好地预报TC的生成;路径预报准确率较高,对疑难路径及局地效应反映较为细致,路径预报误差随时效增大不显著;强度趋势预报指示意义强,准确率较高;尤其是能很好地反映TC的云、雨、风等的非对称结构、螺旋结构等特征的时空演化,对TC中尺度结构的刻画能力和预报可用性较强。显示了方案的优越性和发展潜力,也意味着“非 bogus 初值”方案应该作为未来TC数值预报发展的一个主要技术方向。分析表明目前条件下本方案还存在一些不足之处,主要表现在因初始信息的不足,当在TC过弱、初生或远离大陆等情况下,常会出现初始场中TC位置和强度与实况偏差过大,容易造成较大预报误差。

关键词: 热带气旋 数值预报 初值 四维同化

## 引 言

目前热带气旋数值预报中TC初值的形成方案可简单分为纯“bogus”和非“bogus”两种类型。如德国、英国等不采用bogus,而日本、中国等采用bogus。TC的初值处理技术会很大程度地影响TC的数值预报,因此,TC初值技术已成为近年国际上极为关注的一个重大问题。近些年的研究和实践表明,在当时洋面资料奇缺,探测手段和四维同化手段严重不足的情况下,bogus技术的引入能明显地改善TC路径<sup>[1~2]</sup>乃至强度的预报<sup>[3]</sup>,如同多年前对流参数化的引入能改善降水预报一样。但随着近年探测和模式及四维同化技术的不断提高,纯bogus方案的一些不足逐渐显露,(1)研究和集合预报试验表明<sup>[4~5]</sup>,TC路径预报对TC结构(水平和垂直)敏感,但bogus技术无法充分刻画真实TC及其环境结构;(2)TC产生的天气(强风、暴雨、风暴潮等)直接决定于TC的具体结构和强度的演化情况,单一的路径预报已不能满足业务需求,需要对强度、风雨分布等作出精细的预报,而理想化的bogus方案对此缺乏能力;(3)区域高分辨模式范围小,难以实施bogus方案;(4)随着分辨率的提高和模式物理的精细化,模式对理想bogus所带来的一些虚假效

\* 本文由国家“973”(中国暴雨试验研究)项目资助。

2002-11-29收到,2004-03-20收到再改稿。

应变得更为敏感,容易造成预报偏差。

另一方面,随着近年探测系统和模式及同化技术的发展<sup>[6]</sup>,海上天气系统的四维同化(包括常规同化及动力初值化、物理初值化等)结果越来越准确。由于四维同化过程的信息递推特性及大气模式反映了支配大气运动的动力、热力过程,同化场中往往可以更好更细地反映 TC 的实际结构和环境,要素场更为协调,因而有可能对 TC 的风雨结构、强度等作出更为精细和准确的预报。近年国际上已注意到纯 bogus 方案的缺陷,开始用“同化”手段来解决 TC 初值问题<sup>[7-9]</sup>。这些研究通过不同的同化手段引入一些资料的应用,从而改进 TC 的综合预报。即使是一些使用了 bogus 信息的方案,也结合同化处理使变量协调,即淡化了人造的成分,而强化了大气内部动热力过程的成分<sup>[10-13]</sup>,从而避免纯 bogus 方案的缺陷。所有这些都说明,在强调 TC 要素精细预报的今天,传统的纯 bogus 方案的缺陷越来越显现,而“非 bogus 初值”方案的优点逐渐显露。对 bogus 方案各方面性能,过去已有大量的分析论述,而对目前已开始尝试的“非 bogus 初值”方案的性能和存在问题,除了针对个别例子或因因子进行过一些分析外,目前还缺乏系统性的分析和论述。基于这些考虑,本文尝试用“非 bogus 初值”方案对 2001~2002 年所有影响华南的 TC 过程进行预报试验,并从路径、强度、结构、要素、生成等方面对其性能进行系统性的分析,以阐明该方案的性能特点及存在问题。值得一提的是,本文只用一种较高性能的非 bogus 初值方案为例进行分析,旨在从大的方面论述这类方案的性能特性。而实际上“非 bogus 初值”方案是一种类型,而不仅限于某个具体的方案,而且如一些研究所预示<sup>[9,11]</sup>,随着探测信息的丰富和同化技术的提高,本类方案对 TC 预报的性能将会不断提高。

## 1 方案和样本

试验所用的数值预报模式为广州高分辨模式(GZHM),其基本动力框架从德国天气局引进,并结合华南特点进行了改进<sup>[14]</sup>,模式主要特点为:水平分辨 $0.125^\circ$ ( $\approx 14\text{ km}$ );垂直混合坐标分 31 层;物理过程完整,包括:4 阶线性水平扩散方案,并对总热量的扩散进行地形订正;考虑参数化云微物理效应的网格尺度降水;根据 Tiedtke(1989)的质量通量对流参数化方案;近地层垂直扩散用 Louis(1979)方案,以上用 Mellor 和 Yamada(1974)的二阶矩行星边界层方案;Ritter Geleyn(1992)的长短波通量二流辐射方案,包含完整的云辐射反馈;Jacobsen 和 Heise(1982)的三层土壤模式,复杂植被效应。

试验初值采用“非 bogus 初值”,即德国天气局全球业务模式 GME(水平分辨约为 $55\text{ km}$ )的四维同化场,该模式物理过程先进(基本与 ECMWF 一致),采用 6 h 周期的间歇同化方案,自 1985 年冷启动以来,一直循环四维同化至今,同化技术先进,同化场具有良好的质量。有人专门针对我国及北美地区的降水预报对国际上 ECMWF、NCEP、JMA、GME 等几大模式的预报进行过比较分析,结果表明 GME 模式对两地的预报准确率都名列第一<sup>[15]</sup>,从一个侧面反映了该模式同化场的良好质量。

本方案中高分辨模式往往区域很小,在 TC 预报中必然涉及边界问题。一个关键问题是必须具备优良的侧边界嵌套方案,保证天气信息通畅无阻地移入或移出边界,无明显的阻尼和变形,才能满足区域模式 TC 预报的需要。为此,本文采用了如下的物理量型松

弛方案,即 Davies(1976)型方案

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = R_{HS} - \mu_R (\phi - \phi_R)$$

其中  $\phi$  为预报要素,  $R_{HS}$  为预报方程的右端项(未考虑边界松弛),  $\mu_R$  为边界嵌套松弛系数,  $\phi_R$  表示驱动模式确定的边界值。通过对松弛项的隐式处理可避免边界嵌套不稳定的出现,即

$$\frac{\phi^{t+\Delta t} - \phi^{t-\Delta t}}{2\Delta t} = R_{HS} - \mu_R (\phi^{t+\Delta t} - \phi_R^{t+\Delta t})$$

$$\phi^{t+\Delta t} = (1 - \alpha) \phi^{t-\Delta t} + \alpha \phi_R^{t+\Delta t}$$

其中  $\phi^{t+\Delta t} = \phi^{t-\Delta t} + 2\Delta t R_{HS}$ , 不考虑边界松弛的预报,

$$\alpha = \frac{2\mu_R \Delta t}{1 + 2\mu_R \Delta t}, \quad \mu_R = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \frac{1}{2\Delta t}$$

上式表明边界松弛效应是区域模式预报 ( $\phi^{t+\Delta t}$ ) 与驱动模式预报 ( $\phi_R^{t+\Delta t}$ ) 的组合。其中权重系数  $\alpha$  的值由区域模式边界处为 1 递减至内区为 0,  $\alpha$  的值由下式确定:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_i = 1 - \tanh(0.5 \frac{d_i}{\Delta}) \quad i = 1, 2, \dots, 8 \\ \alpha_0 = 1 \end{array} \right.$$

$d_i$  为点  $i$  到边界的距离,  $\Delta$  为格距。边界缓冲区取 8 圈。

为有效刻画 TC 环流在边界区的出入,不产生变形,本文取驱动模式(GME)每 3 h 更新一次边界值  $\phi_R$ ,对其间的每一时间步,通过线性插值得到  $\phi_R$ 。分析表明本方案能很好地保证 TC 在边界区的过渡问题。

试验样本选取了 2001 年影响华南地区的全部 TC 过程,共 9 个过程,总预报次数为 59 次。每次预报时效为 0~72 h,分析每 12 h 的预报性能。另外,对强不对称性等问题,还增加了 2002 年的 3 个 TC 过程样本。

分析内容也与一般路径预报不同,还包括了降水、强度、风雨云结构等的分析。

## 2 结果分析

### 2.1 路径预报

路径预报会直接影响高分辨模式的要素预报,因此中尺度模式路径预报同样重要。本文定义模式预报的热带气旋中心为 850 hPa 位势高度场的低值中心,在低涡附近采用双抛物线插值得到。定位为全自动程序计算,在每步初估低涡附近一定范围内扫描并插值计算。表 1 给出 2001 年 TC 路径预报误差的详细列表,其中上标“\*”表示此时预报或实况已经登陆,上标“#”表示此时 TC 位置在距模式边界 200 km 的区域以内。由表可见,总体而言,72 h 以内的预报误差都不太大,平均误差在 108~288 km 之间。若排除可能过于敏感的已登陆或近模式边界的部分(表中带“\*”或“#”的),则平均误差在 114~189 km 之间。明显低于一般 bogus 方案的误差(见图 1 对比)。

仔细分析本方案路径误差情况,有如下特点:(1)初值误差过大,达 22~285 km,平均

表 1 2001 年广州中尺度模式 TC 路径预报误差统计

TC 序号	初始时间	英文名	误差 00h		误差 12h		误差 24h		误差 36h		误差 48h		误差 60h		误差 72h	
0101	5-11-00:00	CIMARON			235.9		208.1		66.5		271.8					
0101	5-11-12:00	CIMARON	232.9	198.0	200.1	204.3	167.6 #	203.9	138.6 #	102.6						
0101	5-12-00:00	CIMARON	186.3		169.7		286.0 #	208.1 *				271.8				
0101	5-12-12:00	CIMARON	174.8 #	209.6 *	211.5 #	201.9 *			66.5 *							
0102	6-22-12:00	CHEBI	73.3	73.3	157.0	157.0										
0103	6-29-12:00	DURIAN	\$		\$		294.0		269.9		426.7 *		567.1 *		784.8 *	
0103	6-30-00:00	DURIAN	\$		254.2		223.6		234.9 *		353.0 *		358.9 *			
0103	6-30-12:00	DURIAN	172.4	84.8	47.5	90.1	54.4	181.0	54.4	258.3	368.7 *					
0103	7-01-00:00	DURIAN	35.0		59.4		181.7		247.4 *			382.8		463.0		784.8
0103	7-01-12:00	DURIAN	59.4	88.9 *	53.2 *	117.4 *	151.3 *	188.4 *		269.9 *						
0103	7-02-00:00	DURIAN	72.5 *		45.4 *											
0104	7-01-12:00	UTOR														100.1
0104	7-02-00:00	UTOR										128.0				31.2
0104	7-02-12:00	UTOR									33.4		53.2			121.5
0104	7-03-12:00	UTOR					103.4		129.3		69.9		78.5			33.4 *
0104	7-04-00:00	UTOR		56.4	21.0	106.1	33.4	141.5	78.5	207.4	88.4	180.7	146.0 *	170.5	250.6 *	136.3
0104	7-04-12:00	UTOR	45.9		56.6		56.6		56.5		128.9 *		342.5 *		281.1 *	
0104	7-05-00:00	UTOR	49.1	65.7 *	111.7	105.2 *	144.9 *	122.5 *	257.7 *	161.4 *	364.4 *	63.9 *	374.7 *	86.6 *		84.3 *
0104	7-05-12:00	UTOR	102.2		111.7 *		233.4 *		340.8 *		398.9 *					
0104	7-06-00:00	UTOR	32.7 *		60.9		260.0		381.4							
0104	7-06-12:00	UTOR	40.9 *		239.5		158.9									
0104	7-07-00:00	UTOR	67.5 *		141.4											
0107	7-24-00:00	YUTU	146.2		300.3		255.1 *		376.5 *							
0107	7-24-12:00	YUTU	142.5	87.3	76.2	170.6	162.0	213.1	331.6	349.2	556.8 *					
0107	7-25-00:00	YUTU	83.9		191.7		219.0 *		339.5 *							
0107	7-25-12:00	YUTU	30.4	100.8 *	156.5 *	189.4 *	216.2 *	162.0 *		331.6 *		556.8 *				
0107	7-26-00:00	YUTU	33.4 *		128.1 *											
0110	8-09-00:00	USAGI					101.3									
0110	8-09-12:00	USAGI		209.1		185.5	374.3 *	237.8	319.5 *	319.5						
0110	8-10-00:00	USAGI	209.1	209.1 *	185.5	185.5 *	101.3 *									
0114	8-26-00:00	FITOW														145.7
0114	8-26-12:00	FITOW											107.0			86.7
0114	8-27-00:00	FITOW									143.3					139.0
0114	8-27-12:00	FITOW							344.9 *		333.7 *		322.2 *			220.4 *
0114	8-28-00:00	FITOW		65.5		214.0	61.1	246.8	290.0 *	336.6	542.1 *	403.0	582.3 *	377.1	474.8 *	213.3
0114	8-28-12:00	FITOW			110.0		290.6		459.0 *		547.9 *		363.2 *			
0114	8-29-00:00	FITOW	77.8	69.8 *	63.7	167.8 *	73.3	193.2 *	261.2	345.5 *	457.9 *	143.3 *	742.8 *	126.1 *		123.8 *
0114	8-29-12:00	FITOW	98.4		115.4		285.3		234.5 *		393.2 *					
0114	8-30-00:00	FITOW	33.3		381.9		255.8		429.8							
0114	8-30-12:00	FITOW	74.0 *		415.6 *		514.7 *									
0114	8-31-00:00	FITOW	44.5		197.1 *											
0116	9-16-12:00	NARI	37.5		34.9		24.5		\$		195.4		\$		\$	
0116	9-17-00:00	NARI	120.2		236.5		\$		163.8		\$		\$		262.8	
0116	9-18-00:00	NARI	\$	69.5	275.3 #	164.1	\$	154.1	\$	240.2	293.7 *	270.8	312.3 *		308.3 *	285.6
0116	9-18-12:00	NARI	97.9		\$		\$		190.1 *		237.7 *		259.7 *	286.0		
0116	9-19-00:00	NARI	\$	85.2 *	\$	137.1 *	223.3 *	24.5 *	317.2 *	163.8 *	356.5 *	195.4 *				262.8 *
0116	9-19-12:00	NARI	\$		180.5 *		233.5 *		289.8 *							
0116	9-20-00:00	NARI	22.2 *		93.2 *		134.9 *									
0119	9-23-00:00	LEKI MA	53.5 #		136.3		309.9									
0119	9-23-12:00	LEKI MA	63.9		328.7 #		174.8 #		94.4 #							
0119	9-24-00:00	LEKI MA	126.1 #		68.7 #		156.8 #									
0119	9-24-12:00	LEKI MA	141.9 #				194.4 #		247.7 #		212.1 #		156.8		129.8	
0119	9-25-00:00	LEKI MA	104.8 #	160.3		155.6	306.3 #	170.0	283.0 #	168.3	208.2 #	225.9	261.8 #	223.5	217.4 #	184.9
0119	9-25-12:00	LEKI MA	211.2 #		205.1 #		102.6		143.4		150.5		158.7		115.2	
0119	9-26-00:00	LEKI MA	234.2 #	162.5 *	278.9 #	103.8 *	188.9	148.3 *	200.3	134.6 *	245.6 #	228.3 *	193.5	217.1 *	91.9	178.4 *
0119	9-26-12:00	LEKI MA	285.5		59.2		97.8		216.9 #		225.2		100.4		54.4	
0119	9-27-00:00	LEKI MA	153.3		83.6		142.3		101.9		152.3		184.9		500.7	
0119	9-27-12:00	LEKI MA	189.7		108.5		144.9		104.5		267.6		508.4			
0119	9-28-00:00	LEKI MA	199.0		59.2		51.4		122.7		345.7					
平均误差			108.5 (114.2)		154.6 (139.2)		187.0 (154.6)		235.3 (189.4)		288.6 (176.7)		280.4 (165.0)		217.5 (148.3)	

\* 表示该位置位于陆地, # 表示该位置位于模式边界, 标记 \$ 表示无实况位置来计算误差, 空白处为强度太弱, 没有定位信息, 或实况已经减弱, 没有定位。

为 108 km, 这是目前条件下“非 bogus 初值”方案的最大缺陷。尤其当气旋过弱, 远离大陆或形状很不规则时, 如 8 月 10 日 00:00 UTC 天兔(USAGI)初生很弱, 初值误差达 209 km。(2) 预报误差随预报时效增长缓慢, 甚至有时误差减小。这也是本方案可行的一个重要根据, 即对较长时效而言, 其路径误差并不大。例如 7 月 3 日 12:00 UTC 尤特(UTOR)的预报和 9 月 25 日 12:00 UTC 利奇马(LEKI MA)的预报, 其 72 h 预报误差分别仅

为 33 km 和 115 km。这是由于虽然初始误差偏大,但动、热力结构、环境场配置、要素协调性等比较真实,模式“旋转增长”(spin up)的结果有利于 TC 位置向实况方向靠拢。另外,驱动模式较为准确的大形势场演变过程,通过本文所叙述的有效的边界嵌套驱动高分辨模式的环境场演变,再与协调的 TC 环流相作用,有利于 TC 路径向真实的方向发展。此外,也可以用非线性“吸引子”理论来解释。(3)对不同类型 TC 的预报误差差异显著,一般而言,对较规则和较强 TC 误差较小,如 UTOR 等;而对不规则结构或较弱的 TC 误差较大,如 YUTU 等。(4)对登陆后或近模式边界的 TC 误差较大,如榴莲(DURIAN)登陆后的预报。

为进一步说明问题,图 1 给出本方案路径预报与广州区域气象中心台风业务数值预报模式(GZTM,采用 bogus 初值方案,水平分辨为 55 km)同期预报的比较。GZTM 是我国指定对外业务发布 TC 路径预报的三个台风模式(都采用 bogus 方案)之一,官方评估表明,近年其预报水平一直名列前茅。例如,对 2001~2002 年度的预报评估认为其对南海台风的预报质量排名第一,其它年份也类似。说明 GZTM 基本反映了目前我国 TC 路径数值预报的大致水平。因此,用它来代表我国一般 bogus 方案的预报与本方案相比较是有意义的。由图可见,平均而言,本方案(GZHM)的误差始终比 GZTM 小,尤其是长时效(48,72 h)的预报,误差较 GZTM 减小更为显著。特别是当本方案中剔除了登陆和近边界的敏感成分后,72 h 的误差可以同 24、48 h 相当。

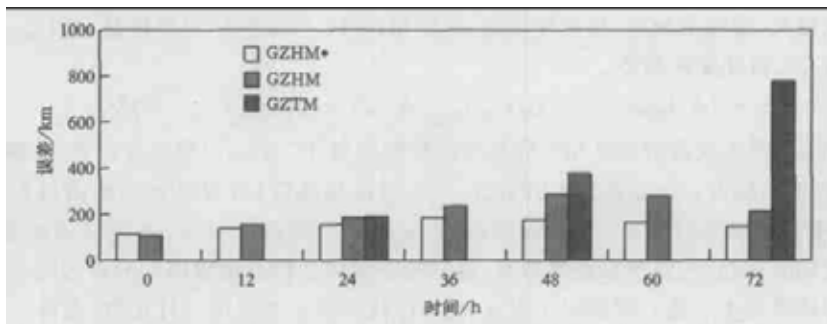


图 1 2001 年广州中尺度模式(GZHM)与台风模式(GZTM)热带气旋路径预报误差比较(\*表示剔除了近边界和已登陆的样本)

从具体情况看,本方案尤其对疑难路径有良好的指示能力,例如较准确地预报了 0116(NARI)后期的突然西折登陆路径,0119(LEKIMA)的前期徘徊转北行路径和 0212(KAMMURI)的西行东折路径等。

## 2.2 TC 生成预报

TC 生成(包括从侧边界移入)预报也是衡量方案性能的一个重要方面。为此统计了 2001 年全年及 2002 年 9 月 15 日以前影响华南 TC 的生成预报情况(表 2)。表中,“生成”定义为在预报过程中从初始时无典型 TC 环流逐渐加强发展形成典型 TC 环流和强度,提前时间表示预报提前小时数;“移入”定义为在模式外围一个正在形成或已经形成的 TC 通过侧边界逐渐进入中尺度模式。由表可见,共成功预报了 7 个 TC 过程的生成和移入过程,提前时间达 24~72 h,其中对许多过程是多次预报了其产生情况。提前预报 TC

过程生成的准确率达 7/10(不包括 NARI 消减后重新加强)。如在初始场毫无扰动信息的情况下,模式提前 72 h 就报出 FITOW 形成并登陆海南。尤其是南海 TC,其特点是形成快,登陆快,若等编报后再用 bogus 方案对 TC 进行预报,为时已晚。本方案能对大部分南海 TC 的生成提前进行有效预报,如 DURIAN、USAGI、FITOW、KAMMURI、HAGUPIT 等,对实际预报具有重要意义。

### 2.3 强度预报

由于强度预报的影响因子较为复杂,目前为止国际上对这一问题的研究还处于较低水平。相对于近年路径预报的显著进步,强度预报的进展并不明显<sup>[16]</sup>。强度预报问题已成为当前 TC 研究的一个主要问题。

“非 bogus 初值”方案能较好地反映 TC 的结构特征(下节讨论)和环境场,再加上模式分辨率足够高(14 km),因此有可能对强度趋势作出较好的预报。如前所述,本方案中 TC 初始位置和强度有时误差会较大,对各试验结果的分析也发现,直接的强度预报很大程度上会受到初始误差的影响,结果稳定性较差,但在预报过程中的强度变化趋势却有很好的指示意义,准确率较高,稳定性较强,可以用作 TC 强度变化的指标量。因此,定义模式预报的 TC 强度变化趋势:

$$\Delta S = (\Delta H_{850})_{t+n} - (\Delta H_{850})_t \quad \text{或} \quad \Delta S = (Hc_{850})_{t+n} - (Hc_{850})_t$$

其中  $\Delta H_{850}$  为模式预报的 850 hPa 环境场位势高度与 TC 中心位势高度之差,反映了 850 hPa TC 环流的强度;  $Hc_{850}$  为 850 hPa TC 中心的位势高度(由双抛物线插值得到),反映 TC 低压中心的强度;  $T = t + n$  为预报时效,  $n$  为时间间隔。可见,本定义描述的是 TC 预报强度的变化趋势,而不是强度本身,这是根据模式的特性确定的。分析表明两种定义所得出的结果基本一致。根据以上定义,对 TC 初始强度偏差进行订正后,也可以得到具体的强度预报。

表 3 给出了强度趋势预报的准确率情况,其中强度趋势分为加强、维持、减弱 3 级,实况以中心海平面气压值变化为准,预报以 850 hPa TC 中心的位势高度变化为准(以 5 hPa 为临界值)。预报与实况相符得 1 分,差 1 级得 0.5 分,相反得 0 分。即评分大于 0.5,则有预报技巧和参考价值,小于 0.5 则无参考价值。由表可见,12~48 h 的评分都大于 0.6,准确率较高,参考价值较大,其中 36 h 预报准确率最高。72 h 预报评分小于 0.5,故无参考价值。

表 3 2001 年广州中尺度模式台风强度(12~72 h) 预报评分

	12 h	24 h	36 h	48 h	60 h	72 h
总分数	23.5	22.5	21.0	12.0	6.0	2.5
预报次数	39	33	27	19	13	8
平均分数	0.603	0.682	0.778	0.632	0.462	0.313

表 2 GZHM 模式对 TC 生成的预报情况统计

TC 序号	名称	生成	移入	提前(h)
0101	CIMARON	Y		-6
0103	DURIAN	Y		24
0104	UTOR		Y	72
0107	YUTU	Y		-24
0110	USAGI	Y		24
0114	FITOW	Y		72
0116	NARI	Y*		12
0119	LEKIMA	Y		-9
0212	KAMMURI	Y		36
0214	VONGFONG		Y	72
0218	HAGUPIT	Y		60

图 2 给出 0103 号强热带风暴 DURIAN 强度预报的结果,其中预报为 850 hPa 中心位势高度,实况为海表中心气压,均为标准化后的值。可见,模式较好地预报了 TC 强度前期加强,后期减弱的趋势。

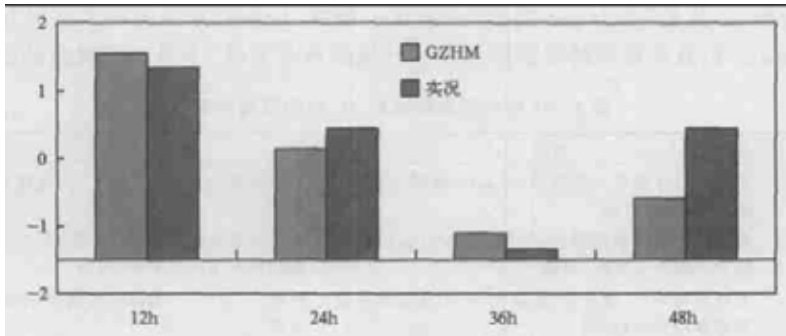


图 2 GZHM 台风强度预报(TC0103, 2001-06-30-12:00 UTC)

表 4 给出本方案对 2001 ~ 2002 年影响华南的热带气旋强度趋势的预报简况描述,表明该方案的预报能较好地反映强度变化的一些重要特征,如气压变化、风速变化、变化快慢等,尤其是能给出阵风极值的量值,因此有较大的参考应用价值。

表 4 2001 ~ 2002 年广州中尺度模式对各 TC 强度趋势预报简况

TC 名称	强度趋势	预报
CIMARON	998 ~ 985 hPa, 18 ~ 25 m/s, 缓慢加强	加强, 大风极值 ~ 50 m/s
DURIAN	998 ~ 970 hPa, 18 ~ 33 m/s, 极值 48 m/s, 迅速加强	生成和加强, 大风极值 ~ 50 m/s
UTOR	~ 965 hPa, ~ 35 m/s, 极值 52 m/s, 长期维持	强度变化小, 大风极值 ~ 65 m/s
TRAMI	~ 996 hPa, ~ 18 m/s, 维持, 突然消散	发展不起来, 风速极值 16 m/s
YUTU	996 ~ 975 hPa, 18 ~ 33 m/s, 极值 42 m/s, 迅速加强后维持	缓慢有所加强, 大风极值 24 m/s
USAGI	990 ~ 994 hPa, 18 ~ 23 m/s, 加强后减弱	先报加强, 后报减弱, 风极值 20 m/s
FITOW	998 ~ 988 hPa, 12 ~ 20 m/s, 加强后减弱	28 日前报加强, 极值约 40 m/s, 29 日后报衰减, 极值约 24 m/s, 前后期预报强度差异明显
NARI	后期 998 ~ 980 hPa, 18 ~ 30 m/s, 极值 ~ 40 m/s, 迅速加强登陆	迅速加强, 极值 32 m/s, 登陆前不加强
LEKI MA	995 ~ 970 hPa, 20 ~ 38 m/s, 25 日以前缓慢加强, 26 日以后缓慢减弱	26 日以前报加强, 27 日后报减弱, 极值 56 m/s
KAMMURI	990 ~ 975 hPa, 18 ~ 30 m/s, 极值 33 m/s, 快速加强	迅速加强, 大风极值 32 m/s
VONGFONG	988 ~ 980 hPa, 18 ~ 30 m/s, 极值 35 m/s, 缓慢加强	加强, 极值 40 m/s
HAGUPIT	992 ~ 985 hPa, 18 ~ 30 m/s, 极值 35 m/s, 迅速加强	加强趋势, 极值 30 ~ 50 m/s, 前后期预报差异明显

## 2.4 要素分布预报

本文讨论 TC 区域风、雨、云等天气要素的分布情况和结构特征,对 TC 内部的三维热力结构问题(该问题将另文讨论)不作讨论,但此处的结果必然与其三维结构密切相关。为讨论方便,此处将“要素分布”粗分为有关要素的非对称性、螺旋结构、眼等几方面。列表进行简要说明,仅列出结构特征明显的过程(表 5)。可见,在大部分情况下,本方案

可较细致地反映 TC 的要素分布特征,包括风、雨、云等要素的非对称性和螺旋结构等分布及其演变特征。对有的 TC 过程,本方案的 0~48 h 预报的逐时螺旋云带演变过程可以同逐时卫星云图上的螺旋结构演变基本一致(包括位相),例如对 UTOR 的预报(图略,将在另文分析)。这是“非 bogus 初值”方案较一般纯“bogus”方案的一大重要优势所在。原因是非 bogus 初值有更好的要素协调性和环境结构真实性,不易出现虚假的要素分布。

表 5 广州中尺度模式对 TC 结构预报概况

TC 名称	实况 <sup>*</sup>	预报
DURIAN	中心附近及偏东大风极值 48 m/s,范围小;有云雨螺旋结构,有眼	大风极值 50 m/s,范围小;云雨螺旋结构清晰,有眼
UTOR	南东象限强风范围较大,极值 52 m/s;云雨螺旋结构+偏东非对称,有眼	中心及偏东象限强风,极值 60 m/s;云雨螺旋结构+偏东非对称,有眼
YUTU	大风范围较小,偏东北,极值 42 m/s;仅南部外围局部暴雨和云;有眼	风弱,≈24 m/s,南象限弧状强不对称暴雨;无眼
NARI	中心附近及偏东,强风极值≈40 m/s,范围较小,西北—东南向长条状暴雨	风弱,≈24 m/s,西北—东南向长条状暴雨
KAMMURI	强风中心在台湾东部、北部(地形效应),广东极值 33 m/s,云雨强不对称分布于南、东象限,无眼	偏东南象限大风极值 30 m/s,暴雨位于南、东象限,无眼
VONGFONG	中心附近及以东大风,范围较大,极值>35 m/s,中心附近特大暴雨,以东有暴雨	中心附近及以东大风,范围较大,极值 40 m/s,中心附近大暴雨,以东有暴雨
HAGUPIT	中心附近较小范围强风极值 35 m/s,中心暴雨到大暴雨,以东分散暴雨,无眼	中心附近强风极值 50 m/s,中心及以东暴雨,无眼

\* 实况大风极值仅根据陆地报及 QuickScat 卫星观测估计。

### 3 小结与讨论

(1) “非 bogus 初值”方案通过受大气内部动、热力学过程制约的高性能四维同化获取 TC 信息,而没有对 TC 进行人为的理想化模型初值处理,有效避免了纯 bogus 方案可能带来的虚假结构,也避免了虚假结构所造成的预报偏差。分析表明,在当今探测技术和同化技术获得了飞速发展的前提下,“非 bogus 初值”方案有可能对 TC 的产生、路径、强度、要素分布、天气等做出比 bogus 方案更好的预报。方案尤其对较长时效的预报有优越性。

(2) 本文提出了一种“非 bogus 初值”方案下 TC 强度趋势预报的有效方法,具有较好应用价值。

(3) 两年的 TC 实例试验已表明本方案的 TC 预报具有较高的准确率,预报功能较一般纯“bogus”方案丰富,包括路径、强度、风雨结构等内容。因此,在初始同化场已能较好反映 TC 环流的情况下,业务预报中可采用本方案。

本文“非 bogus 初值”方案的优越性可以归结为四维同化初值的合理、高分辨模式的高精度(包括物理过程)和嵌套方案的有效。由此可以对未来 TC 的数值预报技术的发展提出一种方向,即有可能通过发展高精度的资料四维同化技术而非 bogus 技术来提高 TC 的综合数值预报水平。另外,值得注意的是,“非 bogus 初值”方案是一种类型,而不仅限于本文的具体方案,随着探测信息的丰富和同化技术的提高,本类方案对 TC 预报的性能



将会不断提高。目前本类方案的初始误差还较大,需进一步研究改进。因此,近年有人采取了 bogus 与同化技术相结合的方案,如文献[10,11,13],以一定程度弥补纯 bogus 方案的缺陷,取得了一些进步。但更深入的研究<sup>[7~9]</sup>及本文的分析说明,随着探测技术和同化技术的迅速发展,非 bogus 初值方案的优越性将日渐显著,将是未来 TC 初值技术发展的一个主流方向。

### 参 考 文 献

- 1 Ueno M, OKnogi K. Improvement in the Operational Typhoon Bogussing Method. Escape/ WMO Typhoon Committee Technical Conference on SPECTRUM, 1991.
- 2 何安国,王康玲. 南海异常台风预报的数值试验. 热带气象学报, 1993, 9(2): 133 ~ 141.
- 3 万齐林. 南海台风模式 TC 强度预报分析. 粤港澳重要天气研讨会, 香港, 2000.
- 4 Flatau M, Schubert W H, Stevens D E. The role of baroclinic processes in tropical cyclone motion: The influence of vertical tilt. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1994, 51: 2589 ~ 2601.
- 5 周霞琼, 端义宏, 朱永禔. 热带气旋路径集合预报方法研究: 正压模式结果的初步分析. 热带气象学报, 2003, 19: 1 ~ 8.
- 6 陈德辉. 热带气旋数值预报新进展. 气象科技, 1995, (3): 7 ~ 12.
- 7 Tadashi Tsuyuki. Variational data assimilation in the tropics using precipitation data. Part II: 3D model. *Monthly Weather Review*, 1996, 124: 2545 ~ 2561.
- 8 Shi J J, Chang S, Raman S. Impact of assimilations of dropwindsonde data and SSM/I rain rates on numerical predictions of hurricane florence (1988). *Monthly Weather Review*, 1996, 124: 1435 ~ 1448.
- 9 Marshall J F L. Tropical cyclone forecasts using high resolution satellite data and 4D Var. Proceedings of the Fifth International Workshop on Tropical Cyclones (I WTC-V), Cairns, Queensland, Australia. 2002.
- 10 Davidson N E, Puri K. Tropical prediction using dynamical nudging, satellite-defined convective heat sources, and a cyclone bogus. *Monthly Weather Review*, 1992, 120: 2501 ~ 2522.
- 11 Zou Xiaolei, Xiao Qingnong. Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2000, 57: 836 ~ 860.
- 12 Goerss J S, Jeffries R A. Assimilation of synthetic tropical cyclone observations into the navy operational global atmospheric prediction system. *Weather and Forecasting*, 1994, 9: 557 ~ 576.
- 13 Kwon H J, Won S-H. GFDL-type typhoon initialization in MM5. *Monthly Weather Review*, 2002, 130: 2966 ~ 2974.
- 14 闫敬华. 广州中尺度模式局地要素预报性能分析. 应用气象学报, 2001, 12(1): 21 ~ 29.
- 15 陈德辉. 世界数值预报发展动态与中国数值预报发展设想. 全国数值预报与并行计算研讨会论文汇编, 重庆, 2000. 1 ~ 11.
- 16 端义宏. 热带气旋强度变化研究进展. 第十二届全国热带气旋科学讨论会论文摘要, 宁波, 2002. 11 ~ 14.

## “NON-BOGUSSING” INITIALIZATION FOR TROPICAL CYCLONE NUMERICAL PREDICTION AND ITS FEATURES

Yan Jinghua<sup>1)</sup> Ding Weiyu<sup>1)</sup> Xu Jianping<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> ( *Guangzhou Institute of Tropical & Marine Meteorology, CMA, Guangzhou 510080* )

<sup>2)</sup> ( *Guangdong Meteorological Bureau, Guangzhou 510080* )

### Abstract

For the demand of fine prediction and based on the features of high resolution models, the “non-bogussing” initialization was tested to make fine prediction of tropical cyclones (TC), i.e., the initial fields from 4-dimensional assimilation was adopted, without adding the TC bogussing, to avoid illusive information induced from idealized TC structure, and to acquire finer or more accurate prediction to the track, intensity and structure of TCs. The feasibility of the scheme was evaluated by using all TC cases which affected the South China in 2001. The results show that the scheme has a better capability to predict the genesis of TCs, and higher accuracy for track prediction, with prediction errors unremarkably increasing with integral time, and especially reflects better the complicated track and local effects. While it shows a higher skill for TC intensity prediction in terms of intensity change. In addition, it reflects well the asymmetric and spiral structures of cloud, rainfall and winds for the TCs, showing well practicability. All of these revealed the advantages and developing potentials of the scheme, which implies that “non-bogussing” initialization should be one of the main approaches for the TC numerical prediction techniques in the future. However, at the current condition, the scheme possesses some insufficiencies. The main problem is that due to the lack of observational information, larger errors may often occur in the initial TC position or intensity, which may cause larger prediction errors, when the TC is too weak, newly arising or far away from the mainland.

**Key words:** Tropical cyclone Numerical prediction Initialization 4-dimensional assimilation