

2007年国内台风模式路径预报效果评估

马雷鸣 李佳 黄伟 梁旭东

(上海台风研究所, 200030)

提 要: 使用中央气象台提供的台风中心定位报文资料、国内台风业务预报部门提供的台风模式路径预报报文资料和台风所气候持续性方法路径预报报文资料等, 对2007年中央气象台编号的热带气旋对国内5种台风业务数值预报模式的路径预报效果进行了检验评估, 检验内容主要包括距离误差、技巧评分和稳定度指标等。结果表明: (1) 国内各模式24h/48h预报平均距离误差最小值为122.8km/246.3km, 最大值为180.7km/304.4km。各模式24h/48h预报最大误差为1429.7km/1003.7km, 最小误差为11.2km/10.1km。24h/48h预报平均距离误差为147km/267km。平均而言, 导致路径预报误差最大的是0707号热带气旋帕布, 误差在其登陆后尤为明显。(2) 相对于上海台风研究所路径预报气候持续法做了各种数值预报方法的技巧评分: 各模式24h/48h预报平均技巧评分为32%/43%, 最高的技巧评分为48%/54%, 最低的技巧评分为3.17%/33.53%。其中4个模式的24h/48h技巧评分高于36%/33%。(3) 检验了距离稳定度、方向稳定度、有效稳定度等指标, 以全面评估各模式的路径预报性能。该评估结果在一定程度上反映了当前国内台风路径数值预报相对于常用气候统计方法的优越性, 同时也表明, 尽管国内台风数值预报模式对于热带气旋在海上时的路径预报有一定的稳定性, 但对热带气旋登陆后转向过程的预报表现出了较大误差。因此, 在模式开发的下一步工作中, 除台风初始化之外, 还应结合登陆台风的特点, 对边界层和陆面过程参数化等作针对性的研究。

关键词: 台风模式 路径预报 检验评估

Verification on Typhoon Track Forecast by Operational Typhoon Numerical Models of China in 2007

Ma Leiming Li Jia Huang Wei Liang Xudong

(Shanghai Typhoon Institute, 200030)

Abstract: Verification of typhoon track forecast in 2007 was conducted to understand the performance of five operational typhoon numerical models of China. The datasets include the ty

研究受2006年中国气象局新技术推广项目“我国区域业务数值天气预报模式评估”、国家科技支撑计划项目“灾害天气精细数值预报系统及短期气候集合预测研究”子课题“我国新一代数值预报系统GRAPES的应用开发”和上海市科委重大项目06DZ12011联合资助。

收稿日期: 2008年1月10日; 修定稿日期: 2008年8月25日

phoon center location data officially issued by CMA and the associated prediction of typhoon track provided by five typhoon operational forecast centers of China. The evaluation includes distance error, skill score and index of stability, etc. The result shows that: 1) the minimum (maximum) case—averaged 24h/48h distance error, the minimum(maximum) 24h/48h distance error for the best(worst) case prediction and 24h/48h model—averaged distance error are 122.8km/246.3km (180.7km/304.4km), 11.2km/10.1km (1429.7km/1003.7km) and 147km/267km, respectively. Pabuk (No. 0707 numbered by CMA) brought big difficulty to a majority of typhoon models; 2) the model—averaged skill score against the climatic—persistent statistical track prediction approach of Shanghai Typhoon Institute (STI) is 32%/43% for 24h/48h prediction; 3) stability indexes in terms of distance, direction of movement and availability are also presented to give an overall evaluation. Significant advantage of numerical model is identified against the traditional statistical method in typhoon track prediction. However, it is also recognized that most of the typhoon models witness deficiency in the case of landfall, particularly when typhoon making abrupt turning. This suggests that, in addition to vortex initialization, more attention should be paid on improving the physics parameterization of boundary layer and land surface in typhoon numerical model.

Key Words: Typhoon numerical model track prediction evaluation

引 言

数值预报模式是目前国内外台风路径业务预报所使用的主要工具。如美国海洋大气局(NOAA)地球流体动力实验室有限区域数值预报模式(GFDL)、英国气象局全球谱模式(UKMET)、美国海军全球大气预报模式(NOGAPS)、日本气象厅(JMA)全球谱模式(GSM)和有限区域谱模式(TYM)等都已投入业务使用。国内自 1990 年代起,国家气象中心、上海区域气象中心、广州区域气象中心^[1]、沈阳区域气象中心等也已建立了台风数值预报业务系统。国家气象中心的台风预报模式基于全球谱模式建立,于 1997 年投入业务运行^[2]。广州区域气象中心也在“八五”期间在热带有限区业务模式 TC10 基础上建立了南海台风路径预报系统^[3]。上海区域气象中心(上海台风研究所)在“八五”国家科技攻关期间基于 MM4 模式建立了东海区域数

值预报系统^[4]。上海台风研究所于 2005 年在 MM5 模式和涡旋同化技术基础上建立了上海台风模式;基于中国自主开发的 GRAPES 模式,建立了热带气旋路径预报系统 GRAPES-TCM^[5],并业务运行。为提高台风预报能力,近年来国内结合卫星资料进行了一系列关于台风数值模拟和资料同化的研究^[6-12],部分成果已在业务中使用。

尽管国内也曾作过热带气旋路径主客观预报方法的评价或分析^[13-14],但针对国内多个台风模式的检验研究甚少。为了解目前国内台风路径数值预报水平,初步发现数值模式中所存在的问题,使预报员更好地使用台风数值预报产品,亟待对这些模式的预报效果进行评估。

1 国内台风业务模式简介

分析国内 5 种台风业务模式的主要技术特点(表 1)可见,各模式间的差异体现在动

力框架、涡旋初始化方法、分辨率等各方面。BJTM、SGTM 的动力框架主要采用了谱模式,而 SHTM、GZTM 和 SYTM 采用了格点模式;涡旋初始化主要采用消除背景场浅台风、加入人造涡旋、常规和卫星资料同化等实

现;背景场则主要由国家气象中心 T213 模式和美国 NCEP/GFS 全球模式提供;水平分辨率约为 25~50km。以上台风模式每日预报两次(北京时间 08 时/20 时起报),预报时效 0~48h。

表 1 国内台风业务模式的主要技术特点

	模式动力框架	台风涡旋初始化方法	水平/垂直分辨率
国家气象中心(简称 BJTM)	全球谱模式	T213 背景场+消除浅台风+嵌入轴对称的 bogus 涡旋	0.46875°/15 层
上海 GRAPES-TCM(简称 SGTM)	GRAPES	NCEP/GFS 背景场+消除浅台风+循环涡旋重定位+常规资料、云迹风同化	0.25°/31 层
上海台风模式(简称 SHTM)	MM5	NCEP/GFS 背景场+常规资料同化+人造涡旋四维变分同化	45km/21 层
广州台风模式(简称 GZTM)	原始方程模式	T213 背景场+常规资料同化+藤田台风模型+台风初始移动速度	50km
沈阳台风模式(简称 SYTM)	MM5	NCEP/GFS 背景场+人造涡旋	50km/23 层

2 路径预报效果检验

2.1 检验方法

以下检验方法根据中国气象局《台风业务和服务规定》(第三次修订版)中热带气旋定位和预报质量评定方法确定。预报数据使用了业务上传到国家气象中心的路径预报报文资料,实况数据统一采用了国家气象中心台风定位资料。

a. 距离误差

$$\Delta R = 6371 \times \arccos\{\sin\varphi_F \sin\varphi_R + \cos\varphi_F \cos\varphi_R \cos(\lambda_F - \lambda_R)\} \quad (1)$$

其中, φ_F 、 λ_F 为预报纬度和经度(弧度), φ_R 、 λ_R 为中央台最佳定位纬度和经度(弧度)。

b. 预报技巧水平

$$\text{某方法的技巧水平} = [(\text{气候持续性法平均误差} - \text{该方法平均误差}) / (\text{气候持续性法平均误差})] \times 100\% \quad (2)$$

式中的气候持续性法为上海台风研究所建立的路径客观预报方法。技巧水平若是正值,表示某方法有正技巧,正值越大,技巧水平越高;反之,负值表示无技巧,负值越大,预报性

能越差。

c. 距离稳定度

表示预报误差小于规定的距离误差上限次数与总有效预报次数的比值,公式为:

$$DS_h = \frac{m_h}{M_h} \quad (h = 24, 48 \cdots \text{小时}) \quad (3)$$

其中 m_h 为 24、48…小时预报误差分别小于某距离误差域值的次数, M_h 为总有效预报次数。

d. 方向稳定度

将预报路径分为西北型、转向型和东北移动型,若预报型与上一次预报型一致且与实况类型相符,记得分一次,否则不得分,公式为:

$$PS = \frac{\text{得分次数}}{\text{有效预报总次数}} \quad (4)$$

e. 有效稳定度 ES

在方向稳定度连续得分的情况下,其预报的距离误差应比上一次减少,如增大则不该超过某一域值,符合这一条件的计得分一次,否则不得分,公式为:

$$ES = \frac{\text{得分次数}}{\text{有效预报总次数}} \quad (5)$$

2.2 检验评估结果

2.2.1 路径预报距离误差

表 2 根据式(1)给出了国内台风数值预报模式 2007 年路径预报平均距离误差。由表 2 可见,各模式台风路径 24h/48h 预报平均距离误差最小值为 122.8km/246.3km,最大值为 180.7km/304.4km。各模式 24h/48h 预报最大误差为 1429.7km/1003.7km,最小误差为 11.2km/10.1km。其中导致路

径预报误差最大的是 0707 号热带气旋帕布,登陆后受到东退的副高和热带气旋蝴蝶的双重影响,帕布强度减弱为热带低压后又重新加强为热带风暴,强度变化反反复复,路径预报误差也因而明显加大。另外,有些台风(如 0713)在登陆过程中位置恰好位于南北两支引导气流(南支引导台风西移,北支引导台风北上)的交界位置附近,模式初始位置很小的误差也可能导致预报后期路径误差的迅速增长。

表 2 国内台风数值预报模式 2007 年路径预报平均距离误差(单位:km)

	24h 预报					48h 预报				
	TC 个数	次数	平均误差	最大误差	最小误差	TC 个数	次数	平均误差	最大误差	最小误差
BJTM	17	237	152.2	428.5	22.2	14	175	255.6	724.1	10.1
				0707	0716			0707	0709	
SHTM	16	178	137.7	411.1	11.2	14	134	246.3	818.4	20.4
				0706	0709			0707	0716	
SGTM	16	180	142.4	652.7	11.2	14	134	265.5	1003.7	24.6
				0707	0705			0720	0704	
GZTM	12	70	180.7	1429.7	11.2	9	41	304.4	656.8	14.9
				0713	0713			0704	0713	
SYTM	3	12	122.8	180.5	38.8	2	7	264.0	393.4	193.3
				0707	0704			0704	0704	

注:最大、最小误差栏内自上而下依次为误差和热带气旋国内编号

2.2.2 技巧水平

根据式(2)给出了国内各种数值预报模式的路径距离预报相对于上海台风研究所气候持续性方法的技巧水平(表 3)。各模式 24h/48h 预报平均技巧评分为 32%/43%,最高的

技巧评分为 48%/54%,最低的技巧评分为 3.17%/33.53%。其中 4 个模式的 24h/48h 技巧评分高于 36%/33%。这一结果表明,目前国内的台风路径数值预报方法相对于常用的气候统计方法有较明显的优越性。

表 3 国内各种数值预报模式相对于气候持续性方法的技巧水平

	24h 预报			48h 预报		
	次数	平均距离误差/km	技巧水平/%	次数	平均距离误差/km	技巧水平/%
BJTM	179	150.8	36.72	125	262.9	44.12
SHTM	135	135.2	36.68	97	239.3	44.30
SGTM	136	133.5	38.05	96	248.0	42.07
GZTM	51	180.8	3.17	29	289.7	33.53
SYTM	11	122.4	48.74	6	259.7	54.26

2.2.3 稳定度指标

根据 2.1 中的检验方法,对路径预报的方向稳定度(图 1)、有效稳定度(图 2)、距离

稳定度(图 3)等进行了检验分析。方向稳定度主要反映了模式对台风移动方向的把握能力。由图 1 可见,各模式的评分大体相当,

24h/48h 一般在 0.8/0.6 以上。需要注意的是,有些数值模式距离预报误差虽然较大(表 2),但方向稳定度评分却较高,这可能是由于对移速的把握不够。而结合有效稳定度(图 2)和距离稳定度(图 3)的检验能够综合反映模式的预报能力。

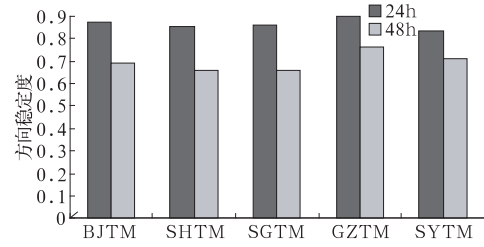


图 1 方向稳定度检验

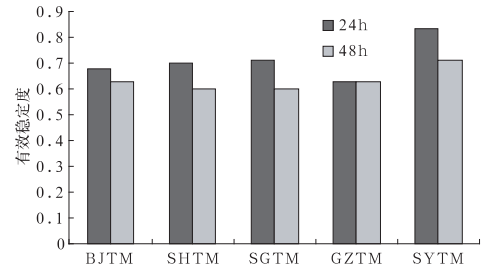


图 2 有效稳定度检验

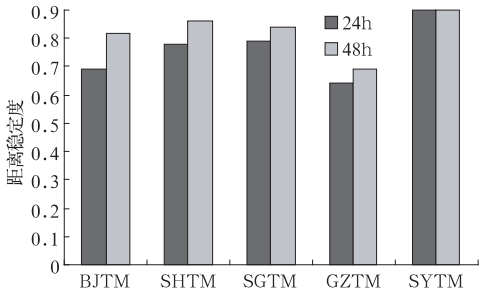


图 3 距离稳定度检验

2.2.4 同样本检验

为更为客观地检验不同方法的预报效果,也进行了同样本检验(表 4~5)。由表 4~5 可见,同样本检验的结果与表 2 基本一致。其中以沈阳台风数值预报模式(SYTM)为例,尽管其预报样本数较少(主要针对北上的台风),但与其他模式相比,对这些样本的预报距离误差都偏低(约 31.8~55.9km/24h)。同时对 SGTM 和 SHTM 间的比较可以看出,虽然 SGTM 的 24h 路径预报性能较高,但随着预报时效的增长(如 48h),其预报稳定性相对 SHTM 有明显下降,说明,除台风初始化之外可能还有其他方面需要改进。

表 4 24h 预报距离误差(km)同样本检验 *

	BJTM		SHTM		SGTM		GZTM		SYTM	
BJTM	237	152.2	—	—	—	—	—	—	—	—
	152.2	0	—	—	—	—	—	—	—	—
SHTM	174	133.7	178	137.7	—	—	—	—	—	—
	152.2	-18.6	137.7	0	—	—	—	—	—	—
SGTM	176	139.3	164	135.6	180	142.4	—	—	—	—
	154.5	-15.2	137.1	-1.6	142.4	0	—	—	—	—
GZTM	66	178.4	64	180.2	65	177.4	70	180.7	—	—
	134.8	43.6	147.1	33.2	162.8	14.6	180.7	0	—	—
SYTM	12	122.8	12	122.8	12	122.8	10	112.1	12	122.8
	170.1	-47.3	160.7	-37.9	154.6	-31.8	168	-55.9	122.8	0

* 注:表 4 中,以 SHTM(第二列)和 SGTM(第三行)的 24h 预报误差比较为例,共有相同样本 164 次,SHTM 的 24h 预报误差为 137.1 km,SGTM 的 24h 预报误差为 135.6km,SHTM 比 SGTM 的 24h 预报误差大 1.6km,下同。

表 5 48h 预报距离误差同样本检验

	BJTM		SHTM		SGTM		GZTM		SYTM	
BJTM	175	255.6	—	—	—	—	—	—	—	—
	255.6	0	—	—	—	—	—	—	—	—
SHTM	130	242.7	134	246.3	—	—	—	—	—	—
	253.7	-11.1	246.3	0	—	—	—	—	—	—
SGTM	130	261.8	125	265.7	134	265.5	—	—	—	—
	256.4	5.4	245.7	20	265.5	0	—	—	—	—
GZTM	37	304.6	38	298.5	38	297.1	41	304.4	—	—
	212.6	92	238.6	59.9	287.5	9.6	304.4	0	—	—
SYTM	7	264	7	264	7	264	4	283.6	7	264
	360.2	-96.2	221.2	42.8	352.2	-88.2	345.2	-61.6	264	0

3 结论和讨论

对 2007 年国内台风数值预报业务模式的台风路径预报效果进行了检验评估。结合路径预报距离误差、相对于气候持续性预报方法的技巧水平、稳定度检验等分析表明,国内目前的台风业务模式有一定的台风路径预报能力,24h/48h 预报平均距离误差为 147km/267km。在台风登陆后,模式的路径预报较不稳定,这一方面依赖于模式对台风与其他天气系统相互作用的复杂性的描述(如 0707 号帕布),一方面依赖于对台风自身结构和强度的刻画。因此,对于不同个例、不同模式的台风路径预报误差差异也非常大。如 24h/48h 预报最大误差为 1429.7km/1003.7km,最小误差为 11.2km/10.1km。台风模式相对于传统的气候统计方法有明显的优越性,明确了数值模式在台风预报中的作用和发展趋势。Bogus 人造涡旋技术仍然是国内目前用于台风模式初始化的重要手段,如沈阳台风数值预报模式采用 Bogus 技术达到了较好的效果。需要指出的是,台风初始化并不是唯一决定模式能力的方面,模式的物理过程参数化,尤其是边界层、陆面过程参数化,需要结合登陆我国台风的气候特点、下垫面粗糙度特征等进行针对性的研究,这对于切实提高我国的台风数值预报水平有

着非常重要的科学价值和实际意义。

该检验工作还是初步的,评价结论并不是官方最终公布结果,仅供预报员和研发人员参考;为了更客观地反映模式的能力,还需要结合多种检验方法对不同类型的台风、登陆过程的不同阶段、不同的预报要素等进行更为细致、深入的分析。另外,近年来国家气象中心、广州热带海洋研究所对台风模式进行了一系列的改进,取得了很好的效果,但由于这些改进模式在 2007 年尚未业务发报,没有在文中涉及。总体而言,近年来国内的台风模式路径预报取得了长足的进步,24h 预报已逐步接近发达国家水平,但在更长时效(如 48h 以后)的预报与发达国家(如日本)仍有相当差距。

致谢:感谢国家气象中心和广州热带海洋气象研究所、沈阳大气环境研究所等单位和相关研究人员提供了有关的模式说明和数据。

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] 王诗文.国家气象中心台风预报模式的改进及其应用试验[J].应用气象学报,1999,10(3):347-353.
- [3] 王康玲.南海区域台风路径数值预报业务模式研究实验//85-906 项目组.台风、暴雨业务数值预报方法和技术研究[M].北京:气象出版社,1996:44-51.
- [4] 雷小途,殷鹤宝.正规模初始化及其在东海台风模式中的实验//85-906 项目组.台风、暴雨业务数值预报方法和技术研究[M].北京:气象出版社,1996:59-66.

- [5] 黄伟, 端义宏, 薛纪善等. 热带气旋路径数值模式业务试验性能分析[J]. 气象学报, 2007, 65(4), 578-587.
- [6] Ma Lei-Ming, J. C. L., Chan, N. E. Davidson, et al. Initialization with diabatic heating from satellite-derived rainfall[J]. Atmospheric Research, 2007, 85:148-158.
- [7] Ma Lei-Ming, Z. Qin, Y. Duan, et al. Impacts of TRMM SRR assimilation on the numerical prediction of tropical cyclone[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2006, 25(5):14-26.
- [8] Ma Lei-Ming, Y. Zhu, Y. Duan. The structure and rainfall Features of Tropical Cyclone Rammasun (2002) [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2004, 21(6):951-963.
- [9] Liang Xu-Dong, B. Wang, J C L, Chan, et al. Tropical cyclone forecasting with model-constrained 3D-Var. I: Description[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2007, 133(622):147-153.
- [10] Liang Xu-Dong, B. Wang, J C L, Chan, et al. Tropical cyclone forecasting with model-constrained 3D-Var. II: Improved cyclone track forecasting using AMSU-A, QuikSCAT and cloud-drift wind data[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2007, 133(622):155-165.
- [11] Wang Dong-Liang, X. Liang, Y. Duan, et al. Impact of Four-Dimensional Variational Data Assimilation of Atmospheric Motion Vectors on Tropical Cyclone Track Forecasts[J]. Weather and Forecasting, 2006, 21:663-669.
- [12] Zeng Z., Y. Duan, X. Liang, et al. The Effect of Three-Dimensional Variational Data Assimilation of QuikSCAT Data on the Numerical Simulation of Typhoon Track and Intensity[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2005, 22(4):534-544.
- [13] 许映龙, 刘震坤, 董林, 等. 2002 年西北太平洋和南海热带气旋路径主客观预报评价[J]. 气象, 2005, 31(6):43-46.
- [14] 杨元琴. 热带气旋路径预报的 MCE 客观综合决策方法研究[J]. 气象, 2003, 29(5):3-8.