

钱奇峰, 张长安, 高拴柱, 等. 台风路径集合预报的实时订正技术研究[J]. 热带气象学报, 2014, 30(5): 905-910.

文章编号: 1004-4965(2014)05-0905-06

台风路径集合预报的实时订正技术研究

钱奇峰¹, 张长安², 高拴柱¹, 张玲¹, 董林¹

(1. 国家气象中心, 北京 100081; 2. 福建省气象台, 福建 福州 350001)

摘 要: 在台风业务预报中, 由于模式运行、后处理及资料传输等原因, 数值模式指导产品包括集合预报都存在一定时间的滞后, 若直接使用会造成数值模式或集合预报平均的预报效果降低。利用 ECMWF 集合预报台风路径和中央气象台(简称中央台)实时业务定位, 在统计分析的基础上, 提出一种业务上可用的针对单模式集合预报的台风路径实时订正技术。结果表明, 该方法明显优于单模式集合预报平均和确定性预报, 在对 2012 年的预报试验中, 24、48、72、96 h 的时效路径预报误差分别比集合平均提高了 15%、6%、10%、8%。同时其路径误差优于目前我国业务路径预报, 2012 年平均 24、48、72、96 h 的路径误差分别减小 7、7、11、10 km。

关键词: 集合预报; 台风; 路径预报; 实时订正

中图分类号: P456.7

文献标识码: A

Doi: 10.3969/j.issn.1004-4965.2014.05.010

1 引 言

集合预报是 1990 年代末以来迅速发展并广泛应用的一种数值预报方法^[1-2], 它为了解决单一确定性预报存在不确定性的问题提供了一条新途径^[3]。集合预报可以取得在平均意义上比单一确定性预报更好的效果, 提高预报可用性^[4-6], 并且集合预报能通过多成员预报结果获得未来天气发生的相对概率, 这是在单一的确定性预报中无法做到的。因此集合预报为数值预报开创了新纪元, 世界气象组织(WMO)已将集合预报作为未来数值预报领域的四个发展战略之一, 显示其强大的生命力。

集合预报释用技术作为集合预报系统中的重要组成部分, 目的是从近似海量的集合预报数据中提取有用信息, 以形成便于预报员使用的数据、图像等产品。目前, 许多发达国家已将集合预报产品应用于气象业务预报或研究中。如欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的集合预报产品应用非常广泛, 并不断开发新的产品(www.ecmwf.int),

美国国家环境预报中心(NCEP)不仅开展集合预报产品的研究和检验, 而且从传统利用模式的单向过程向双向过程转变, 即利用集合预报产品判断重要天气的不确定性, 并在上游实施特殊的加密观测, 以期减小下一时次的不确定性^[7]。集合预报应用于热带气旋(TC)路径预报中主要是发展集合预报系统, 包括对 TC 初值扰动的生成研究, 以期改善预报。这方面我国起步较晚, 主要为近 10 年针对构造 TC 的各种扰动方法生成集合成员^[8-15]。由于业务预报的时效性要求, 这些方法较难直接应用于实时预报, 国家气象中心在 T_{213} 全球模式基础上, 利用增长模繁殖法建立了 7 对扰动成员加控制预报共 15 个成员的集合预报系统^[16], 并业务运行生成多种产品, 对我国台风预报提供了业务支持, 然而其预报准确率与国际先进水平仍有一定差距^[17]。

本文将从业务应用的角度出发, 介绍一种针对单模式集合预报的实时订正技术, 2012 年国家气象中心利用该方法对 ECMWF 集合预报进行了业务试用, 取得不错的成效。

收稿日期: 2013-05-22; 修订日期: 2014-06-22

基金项目: 中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2013M62); 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006008)共同资助

通讯作者: 钱奇峰, 男, 江苏省人, 工程师, 博士, 主要从事热带气旋预报研究。E-mail: qianqf@cma.gov.com

1 资料介绍

本文使用的数据为ECMWF全球集合预报系统(GFS) 2011—2012年的预报资料,取自全球天气业务中心(GFSC)的IT数据交换网站(<http://www.cwvra.ecmwf.int/products/HORRTX/IT/3025x.html>)。该资料采用国际热带气旋信息交换标准格式(Cyclone XML,简称CXML),包含TC的中心位置、最低海平面气压及中心附近最大风速。

ECMWF全球集合预报系统(GFS)于2007年12月投入业务应用^[1],最初一阶段仅做3天预报,综合32个集合成员用于中期预报,并采用 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的水平分辨率(约250 km,垂直分辨率19层),经过不断发展和完善,至今已实现2次(00 UTC到12 UTC)对3~30个集合成员做逐层,模式分辨率水平升级为 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$ (约100 km),模式性数据将十分充足^[2]。

图1是2007—2012年ECMWF GFS台风路径集合预报平均(MEAN)相对于中央气象台(简称中央台)定位的台历年路径误差。由于本文研究的方法主要针对台风业务预报使用,因此图1中的路径实际位置都使用中央台业务定位,即本文所有路径误差都是相对于中央台业务定位。

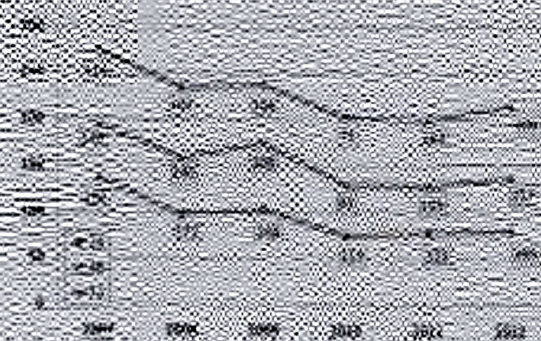


图1 2007—2012年ECMWF GFS台风路径集合预报平均(MEAN)相对于中央台定位的台历年路径误差。单位: km。资料来源:ECMWF。

由图1可见,2010年误差为24、48、72 h路径预报误差明显偏大,事实上,2010年初ECMWF GFS进行了重大调整^[3],其中包括提高模式水平分辨率并引入新的集合资料同化技术,因此,考虑到模式的不稳定性,本文仅针对

2010—2012年西北太平洋的所有台风进行研究。

3 方法研究

3.1 方法介绍

随着集合预报系统分辨率的提高,集合预报的预报准确率从某种程度上已经超过高分辨率确定论预报,尤其在中期时效上,集合平均要比确定论预报多1 d左右的可预报期。因此,在业务预报包括台风预报中,集合预报也越来越广泛使用,而如何发掘一种好的集合预报实用方法已成为当前提高业务台风预报准确率的、防灾减灾的可行手段。

在实际业务预报中,由于模式运行、后处理及资料传输等原因,集合预报资料的获取存在一段时间的滞后(表1),如在00 UTC中作24 h的预报,参考的集合预报制作时间为前一次00 UTC,即相当于模式跑36 h的预报,如果考虑这种延时,集合预报的路径误差将明显增加(表3),且路径误差与中央台主观预报路径误差相比并无明显优势,中央台主观预报误差在2012年的平均(绝对)甚至略优于前者。然而,集合预报的优势在于涵盖预报的各种可能性,通过分析近几年台风路径集合预报发现,除少数例外,在位MWF集合预报的51个成员中,总能找到一些成员与实际路径非常接近(2010—2012年每在预报都能从ECMWF集合预报中找到误差最小的成员,24 h平均路径误差为22 km)。当然,在实际预报中无法知道台风未来的实际路径,但可通过卫星云图客观定量手段得到台风的当前位置,通过最新的台风位置,对集合预报进行客观修正,本文称之为集合预报实时修正方法(Ensemble forecasts Real-time Correction Method, ERCCM)。

3.2 修正模型设计

本文设计了两种修正模型。

模型一,根据台风实时位置(经纬度)客观定位,选择最新集合预报(不到预报周期结束集合预报成员已收敛到台风路径中最新成员)的N个成员进行算术平均AVE,得到修正后的位置路径误差 δ_{ave} ,选择集合预报成员中误差比

位置(PE)与台风当前定位(P0)的距离(式(1)),式(1)中函数 $\text{Min}(0)^N$ 表示取集合成员是距离最小的 N 个成员,函数 AVE 表示对这些成员的预报路径进行平均, Δt 是最新集合预报距当前起报时刻的时差,函数 F_{mean} 表示根据选取的 N 个成员的平均路径, $F_{\text{mean_lag}}$ 表示考虑资料延时后的预报路径。

$$\begin{cases} F_{\text{mean}} = \text{AVE}[\text{Min}|Dis(PE - P0)|_i^N] \\ F_{\text{mean_lag}}(t) = F_{\text{mean}}(t + \Delta t) \end{cases} \quad (1)$$

模型二：同模型一，但使用反距离权重(λ)的加权平均(WAVE),

$$\begin{cases} F_{\text{mean}} = \text{AVE}[\lambda_i \cdot \text{Min}|Dis(PE - P0)|_i^N] \\ \lambda_i = (1/Dis_i) / (\sum_1^N (1/Dis_i)) \\ F_{\text{mean_lag}}(t) = F_{\text{mean}}(t + \Delta t) \end{cases} \quad (2)$$

这里的预报频次与中央台预报频次相同,即 48 h 警戒线^[19]以外每天 4 次(00、06、12、18 UTC)预报,48 h 警戒线以内每天 8 次预报(间隔 3 h)。图 3 是当选择不同的平均路径数目时两种订正模型客观预报的 2010、2011 年两年平均误差的变化。两种模型的平均误差都随 N 的增大先快速减小、后缓慢增大,因此存在使得误差最小(或接近最小)的 N 区间。特别地,当模型一中 $N=51$ 时,

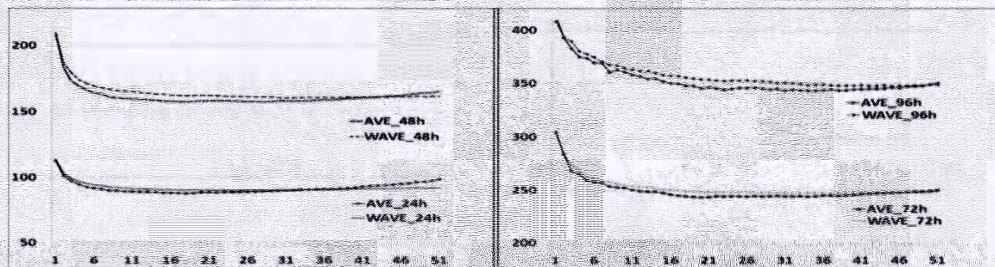


图3 WAVE、AVE 订正模型的不同集合预报成员数(N ,横坐标)时计算的各预报时效 2010、2011 年两年平均路径误差 单位: km。预报频率同中央台主观预报,24、48、72、96 h 预报样本数分别为 858、643、457、295。

从两种模型的误差对比来看,在订正模型中采用反距离权重后(WAVE)计算的各时效误差极小值比采用算术平均(AVE)的极小误差要大,因此,在集合预报成员中并非初始误差越小该成员的路径预报就越好。但是由于误差曲线存在极小值区间,这意味着从统计的角度来看,选择一组更接近实时位置的集合预报路径作平均比选择其余成员组的效果要好。因此,从业务使用的角度,我们预先确定订正模型和不同预报时效使用

模型预报退化为集合预报平均。因此,在台风路径预报中使用集合平均并非是一个最好的选择。

表1 业务预报中不同起报时刻的集合预报台风路径资料的延时

主观预报时刻/UTC	模式起报时刻	延时/h
00	前一天 12 时	12
03	前一天 12 时	15
06	前一天 12 时	18
09	当天 00 时	9
12	当天 00 时	12
15	当天 00 时	15
18	当天 00 时	18
21	当天 12 时	9

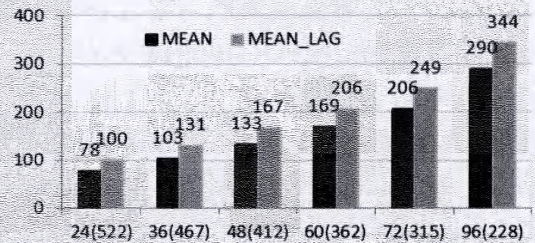


图2 2010—2012 年 ECMWF 集合平均预报路径误差(MEAN)及实际预报中考虑资料获取时间(表1)后利用最新集合预报平均作同样本预报的路径误差(MEAN_LAG)柱状图上方数字为路径误差,单位: km;横坐标括号内数字为各预报时次的样本数,下同。

的平均成员数为 N ,在业务定位产生之后,根据最新集合预报台风路径,生成基于集合订正方法的台风路径客观预报,供业务预报参考。

由于预报样本的未知性,我们无法事先得到订正模型参数 N 的最佳选择,然而从图 3 可见,在误差极小值附近,随 N 的变化误差波动范围很小,因此,可以事先确定使误差接近最小的 N 。这里采用模型 AVE(算术平均),将 24、48、72、96 h 预报时效的 N 分别定为 15、20、20、20,

由此确定 ERCM 模型。

4 路径误差及显著性检验

为了对该方法进行检验,首先使用 2012 年西北太平洋全年台风样本进行平均误差检验。另外,由于本文定义的 ERCM 中有两个关键因素,一为集合成员的选取,另一个为使用的台风实况定位。因此,将分别对这两个方面进行显著性检验。

4.1 2012 年试验结果

利用上文确定的 ERCM 模型对 2012 年所有台风作与中央台同频次的路径预报,图 4 是该预报与中央台主观预报和利用集合预报平均(MEAN)或确定性预报(DTM)的同样本误差对比。首先,ERCM 各预报时效误差比集合平均或确定性预报都小,特别是 24 h 路径预报误差较集合平均减少 15%。因此在业务预报中,采用 ERCM 预报路径比集合预报平均路径的效果有明显改善,主要原因是利用最新台风实况对集合预报成员进行一定的筛选后,统计上能滤掉一些预报较差的成员,保留一些对当前台风模拟较好的成员,因此得到的预报性能有所提高。其次,ERCM 各预报时效误差都小于中央台主观预报,其中 24、48、72、96 h 预报距离误差分别减小 7、7、11、10 km,因此将其作为业务预报参考,有助于提高台风预报准确率。

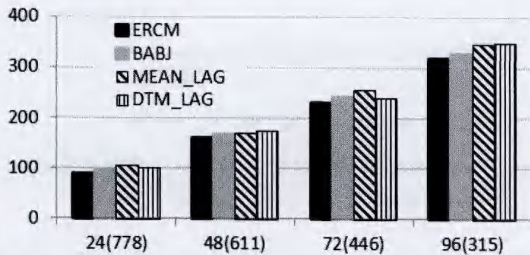


图 4 订正模型作 2012 年台风业务预报的误差(ERCM)与中央台主观预报和采用 ECMWF 集合预报平均(MEAN)或确定性预报(DTM)作同样本路径预报的比较 单位: km。

这里给出 ERCM 模型在 2012 年 7 个登陆台风中的预报表现(图 5), 7 个登陆台风分别为: “杜苏芮”(1206)、“韦森特”(1208)、“苏拉”(1209)、“达维”(1210)、“海葵”(1211)、“启德”(1213)、“天秤”(1214)。与 2012 年全年平均误差(图 4)相比,

ECMWF 模式对其中的 7 个登陆台风的预报效果更好,特别是 72、96 h 的预报效果明显提高。在模式整体性能不变的情况下,造成这种差异的原因在于台风的个体特征。同样,在登陆台风的预报中,与 ERCM 路径误差同样比中央台主观预报、集合平均和确定性预报路径的误差都要小。因此,ERCM 方法对登陆台风的路径预报同样具有良好的性能。

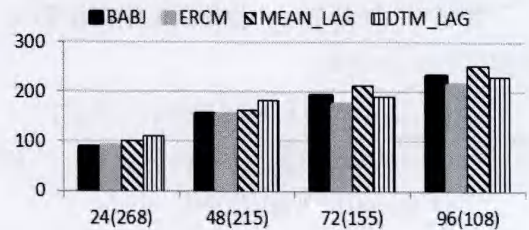


图 5 同图 4, 但为 2012 年 7 个登陆台风的平均误差

4.2 集合成员选取的显著性检验

为了检验本文订正模型对集合预报成员的选取是否具有显著性,采用蒙特卡罗(Monte Carlo)检验方法^[20]进行检验。根据上文确定的各预报时效成员数 N , 随机选取集合预报中不重复的 N 个成员作算术平均,得到该预报时效的预报位置。对 2012 年全年中央台主观业务预报时刻作随机选择成员的所有台风预报路径,作为一次随机预报(每次预报的各个预报时效都进行随机选择,比如某时刻的 48 h 预报为利用随机的 $N=20$ 个成员平均后得到的预报位置),公式如下:

$$\begin{cases} F_{\text{monte}} = \text{AVE}[\text{Random}(F_{\text{gefs}})_1^N] \\ F_{\text{monte_lag}}(t) = F_{\text{monte}}(t + \Delta t) \end{cases} \quad (3)$$

式中 F_{gefs} 为 ECMWF 集合预报各成员的预报路径,函数 $\text{Random}()_1^N$ 表示从集合预报成员中随机挑选 N 个不重复的成员,对于各预报时效 N 与 ERCM 模型一致, F_{monte} 表示随机预报路径,其余含义同式(1)。

重复上述步骤 1 000 次,计算每次随机预报的年平均路径误差,排序后求得各预报时效误差的 0%、25%、50%、75%、100% 的五个四分位点(图 6)。由图 6 可见,上文得到的订正模型 2012 年平均的 24、48、72、96 h 路径预报距离误差都比 1 000 次随机预报的最小误差要小(可以证明,

在EC集合预报31个成员中选择 N 个随机路径的组合共有 $C(31, N)$ 个,这是非常大的数,远大于这里的样本数。不过由于随机路径的误差服从 F 分布,因此可近似估计分布,显然本文的订正模型在成员的选取上具有统计意义上的显著性。

4.3 台风定位的显著性检验

在业务预报中,台风实时位置是通过气象卫星等多种资料的分析得出的,各预报中心确定的台风中心有一定差异,甚至同样的资料不同的人确定的位置也不尽相同^[17],因此有必要进行定位扰动的敏感性试验。

对中央台业务定位的经纬度进行 $\pm 1^\circ$ (业务定位误差一般不超过 1°)、间隔 0.1° (主观定位精度为 0.1°)的重新定位,然后使用新的定位进行集合预报订正,得到2012年全年样本的路径预

报,计算定位扰动后的预报相对于中央台原定位的路径预报误差,反映了本文ERCIM方法对于台风定位的敏感性,图7是对使用台风定位扰动后,得到的全年路径预报平均误差的变化。

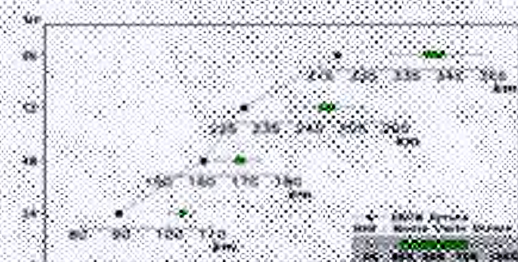


图6 验证订正模型显著性,利用Monte Carlo方法随机选择相应个数的集合预报成员对2010和2011年所有中央台主观预报时次进行1000次扰动,得到24、48、72、96h预报时次的0%、25%、50%、75%、100%五个百分位点(虚线)以及订正模型对应的平均路径误差(实线)。各预报时次误差与中央台预报对比。

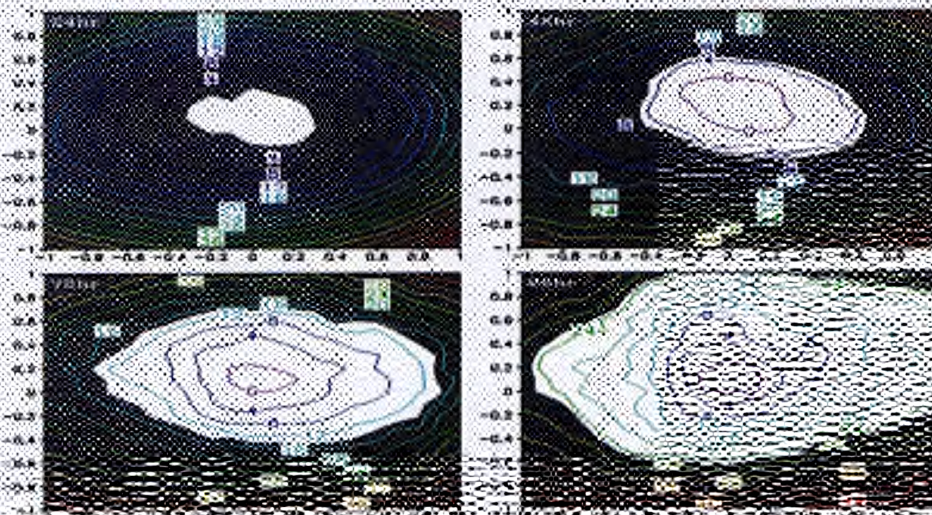


图7 台风定位扰动后的台风路径订正结果对比。a. 原始路径; b. 扰动1度后的台风路径; c. 扰动0.1度后的台风路径; d. 扰动0.01度后的台风路径。图中阴影部分为台风定位扰动后,集合预报订正后的台风路径误差分布。

首先,ERCIM对业务定位的台风定位业务误差,如图7所示,将定位误差 0.5° 扰动,则集合路径误差增大地 1.4 倍,误差 0.2° ,则集合误差增大约为原来的0.5倍,误差 0.1° ,由于路径误差与集合误差增大的前成正比,从误差角度来讲,误差对敏感对定位的精度要求,误差与显著性误差的误差减小。

其次,从图7来看,误差分布的分布是正态分布,即新误差分布很小(有时误差小值接近于零),于

误差,误差的分布是正态分布,外侧误差分布增大地,在业务中,因而,在业务预报中使用中央台业务定位是合理的。

5 结 论

(1) 随着集合预报成员数目的增多,集合模式对台风的预报能力在不断增强,然而由于模式误差,此外,集合预报成员数目的增多,并不能使预报精度而提高,因此,在业务中,这种简单

地参考模式预报并不能取得好的效果。本文利用台风实况对集合预报成员进行筛选的 ERCM 技术,能显著提高客观预报水平,在对 2012 年预报试验中,24、48、72、96 h 时效路径误差分别比集合平均(MEAN)提高了 15%、6%、10%、8%。

(2) 与中央台主观路径预报相比,ERCM 路径预报具有一定优势,2012 年平均 24、48、72、

96 h 路径误差分别减小了 7、7、11、10 km。因此,ERCM 客观路径预报可作为业务预报的参考。

(3) ERCM 中各预报时效选取的平均成员数过少或过多都无法得到较好的路径预报,其成员数取 15~20 个左右时具有最佳的预报效果,而在成员平均时使用反距离权重未能获得更好的预报效果。

参 考 文 献:

- [1] 麻巨慧,朱跃建,王盘兴,等. NCEP, ECMWF 及 CMC 全球集合预报业务系统发展综述[J]. 大气科学学报, 2011, 34(3): 370-380.
- [2] 陈静,陈德辉,颜宏. 集合数值预报发展与研究进展[J]. 应用气象学报, 2002, 13(4): 497-507.
- [3] 杜钧,陈静. 单一预报向概率预报转变的基础: 谈谈集合预报及其带来的变革[J]. 气象, 2010, 36(11): 1-11.
- [4] MURPHY J M. The impact of ensemble forecasts on predictability[J]. Q J Roy Meteor Soc, 1988, 114(480): 463-493.
- [5] PURI K, BARKMEIJER J, PALMER T N. Ensemble prediction of tropical cyclones using targeted diabatic singular vectors[J]. Q J Roy Meteor Soc, 2001, 127(572): 709-731.
- [6] BUIZZA R, ISAKSEN L, LEUTBECHER M, et al. Ensemble prediction and data assimilation at ECMWF[C]//EGU General Assembly Conference Abstracts. Wien: European Geosciences Union General Assembly, 2010: 10 477.
- [7] SZUNYOGH I, TOTH Z, ZIMIN A V, et al. Propagation of the effect of targeted observations: The 2000 winter storm reconnaissance program[J]. Mon Wea Rev, 2002, 130(5): 1 144-1 165.
- [8] 朱永湜,程戴晖. 热带气旋路径动力释用预报的集合预报方案[J]. 气象科学, 2000, 20(3): 229-238.
- [9] 周霞琼,端义宏,朱永湜. 热带气旋路径集合预报方法研究 I——正压模式结果的初步分析[J]. 热带气象学报, 2003, 19(1): 1-8.
- [10] 周霞琼,张秀珍. 滞后平均法(LAF)在热带气旋路径集合预报中的应用[J]. 气象科学, 2003, 23(4): 410-416.
- [11] 黄燕燕,万齐林,袁金南,等. 基于 BDA 扰动法的台风路径集合预报试验研究[J]. 热带气象学报, 2006, 22(1): 49-54.
- [12] 袁金南,万齐林,黄燕燕,等. 南海热带气旋路径集合预报试验[J]. 热带气象学报, 2006, 22(2): 105-112.
- [13] 王晨樾,梁旭东. 热带气旋路径集合预报试验[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 586-593.
- [14] 谭燕,梁旭东. 一次登陆台风的集合预报试验[J]. 热带气象学报, 2010, 26(4): 401-408.
- [15] 王秋良,刘家峻,张立凤. 台风路径集合预报试验[J]. 气象科学, 2012, 32(2): 137-144.
- [16] 田华,邓国,姚明明,等. T_{215} 全球集合预报的研究进展[C]//中国气象学会 2005 年年会论文集. 北京: 中国气象学会, 2005: 5 580-5 585.
- [17] 陈国民,汤杰,曾智华. 2011 年西北太平洋热带气旋预报精度评定[J]. 气象, 2012, 38(10): 1 238-1 246.
- [18] BUIZZA R, HAGEDORN R, ISAKSEN L, et al. Recent changes of the ECMWF ensemble prediction system[C]//10th EMS Annual Meeting. Zurich: European Meteorological Society, 2010: 469.
- [19] 钱传海,端义宏,麻素红,等. 我国台风业务现状及其关键技术[J]. 气象科技进展, 2012, 2(5): 36-43.
- [20] MULLEN S L, BAUMHEFNER D P. Monte Carlo simulations of explosive cyclogenesis[J]. Mon Wea Rev, 1994, 122(7): 1 548-1 567.

REAL-TIME CORRECTION METHOD FOR ENSEMBLE FORECASTING OF TYPHOON TRACKS

QIAN Qi-feng¹, ZHANG Chang-an², GAO Shuang-zhu¹, ZHANG Ling¹, DONG Lin¹

(1. National Meteorological Center, Beijing, Beijing 100081, China;

2. Fujian Meteorological Observatory, Fuzhou 350001, China)

Abstract: Due to the time consumed on model running, post-processing and data transmission, there are always time lags between numerical prediction and operational forecast, which will cost the model forecast. Based on statistics, we propose a real-time correction method using ECWFM ensemble prediction of typhoon tracks and operational positioning of CMA for the operational track forecast. Results show that its average track errors are less than that of both ensemble mean track and deterministic forecast of ECMWF. Particularly, homogeneous errors in 24、48、72、96 h ensemble mean forecasts of 2012 were reduced by 15%、6%、10%、8%, respectively. Compared with the corresponding domestic operational forecasts, the track errors with this method reduced 7、7、11、10 km respectively in the above forecasts. In summary, this method has good potential in operational application.

Key words: ensemble forecasting; typhoon; track prediction; real-time correction