

胡海川,黄彬,魏晓琳,2017.我国近海洋面 10 m 风速集合预报客观订正方法[J].气象,43(7):856-862.

# 我国近海洋面 10 m 风速集合预报 客观订正方法\*

胡海川<sup>1</sup> 黄彬<sup>1</sup> 魏晓琳<sup>2</sup>

1 国家气象中心,北京 100081

2 深圳市气象局,深圳 518040

**提 要:** 利用 2013—2015 年 ECMWF 集合预报 10 m 风场及我国沿岸和近海 88 个代表站点风速实况观测,建立基于 ECMWF 集合预报众数的我国近海洋面 10 m 风速客观订正方法。集合预报众数正确率及稳定性高于中值及平均值,因此基于集合预报众数,综合考虑历史数据的预报概率及集合预报各个成员的分布情况进行客观订正,可以提高订正效果。订正后的 6~7 级、8~9 级风速偏小的误差及 TS 评分有明显改进,其中 72~120 h 预报时效的 8~9 级风速预报的 TS 评分由 0.04 增加到 0.44,能够有效提高中长期时效大量级风速的预报能力。订正的风速产品对于我国近海冷空气及台风大风天气过程有较好的预报效果。

**关键词:** 集合预报,10 m 风速,众数,风速订正

**中图分类号:** P413

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.07.009

## Objective Correction Method of Ensemble Forecast of 10 m Winds on Chinese Offshore

HU Haichuan<sup>1</sup> HUANG Bin<sup>1</sup> WEI Xiaolin<sup>2</sup>

1 National Meteorological Centre, Beijing 100081

2 Shenzhen Meteorological Bureau, Shenzhen 518040

**Abstract:** An objective correction method is established by making use of ensemble forecast of 10 m wind speed from 2013 to 2015 and wind speed observation from 88 representative stations. The accuracy and stability of the mode are equal or greater than the average values. Thus fully considering the prediction probability of historical data and collecting the distribution of each member of ensemble forecasts could improve the correction effect. Small error and TS score are significantly improved by correction. Specifically, TS score of 8—9 magnitude of wind speed forecast within 72—120 h lead time increases from 0.04 to 0.44, which can effectively promote the forecasting ability of medium and long-term timeliness and high volume of wind speed. The corrected forecasts could bring good effectiveness for cold air and typhoon weather in the offshore areas of China.

**Key words:** ensemble forecast, 10 m winds, mode, wind speed correction

### 引 言

洋面 10 m 风是海洋气象预报的重要要素之

一,其预报主要依据数值预报,而单一确定性的数值模式中的 10 m 风速预报产品是由物理方程直接计算得到,因模式自身分辨率及计算精度等的影响,数值模式中的 10 m 风速预报产品存在着不可避免的

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206001)和环渤海区域科技协同创新基金(QYXM2016)共同资助

2016 年 4 月 29 日收稿; 2017 年 7 月 6 日收修定稿

第一作者:胡海川,主要从事海洋预报研究. Email:huhc1988@sina.com

系统性误差(Toth et al,2001)。常用的风速订正方法有局地非参数的加权回归订正方法(Rozas-Larraondo et al,2014)、MOS 预报法(荣艳敏等,2015)、风速的高斯统计预报方法(Monahan,2013)、神经网络方法(黄凤新等,2013)等,但这些订正方法均是针对陆地观测站点密集、观测资料多的情况下开展的技术方法,洋面 10 m 风由于受洋面观测资料少的限制,对其的数值预报订正技术一直没有进展。集合预报技术在过去的二十多年取得了巨大进步,现已成为数值天气预报的重要组成部分,相比于确定性模式,集合预报不仅能够提供更多的概率信息,而且集合成员的初始扰动信息可以很好地诠释预报偏差,并且可以量化由初始误差或模式误差引起的不确定性,因此被广泛应用于实际业务预报中,同时也部分地弥补了海洋观测资料的不足。越来越多的基于集合预报的客观订正方法被广泛地应用于温度、降水等气象要素及台风(路径)、暴雨等灾害性天气预报之中(李莉等,2011;王敏等,2012;钱奇峰等,2014;杜钧和李俊,2014),基于集合预报 10 m 风速订正方法的研究工作开展相对较少(赖鑫等,2016)。集合预报中常用的 10 m 风速预报产品主要有风速最大值、平均值、百分位数等,这些产品只是对集合预报 10 m 风速预报产品的简单释用,并不能从根本上降低集合预报 10 m 风速预报产品的系统性误差。

本文基于 ECMWF 集合预报数据,利用集合预报的概率特性,采用众数方法,建立适用于我国近海海域风速客观预报订正方法,减小集合预报受初始值扰动引起的系统偏差,提高风速的预报准确率,为我国近海风速预报提供参考。

## 1 资料

本文采用 2013—2015 年 ECMWF 集合预报 10 m 风场资料,起报时刻为 12 UTC(世界时),分辨率  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ,预报时效为 12~120 h,间隔 12 h。2013—2015 年地面风速实况观测资料采用中央气象台近海风速质量检验办法中的 88 个沿岸及近海代表站点作为洋面风速预报检验代表站(图 1)。利用 2013—2014 年 ECMWF 集合预报 10 m 风场资料进行误差特征分析及订正方程中误差参数的计算,2015 年 ECMWF 集合预报 10 m 风场资料用于回算检验和订正效果分析。

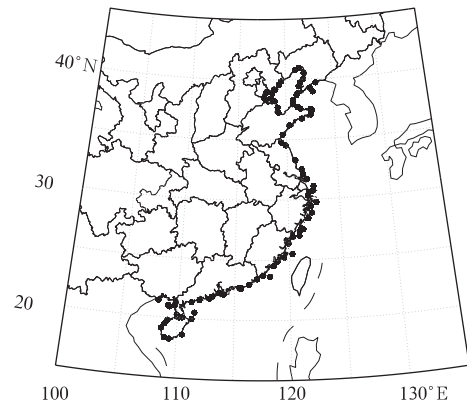


图 1 沿岸及近海代表站点分布  
Fig. 1 Distribution of representative stations on coast and offshore

## 2 方法

### 2.1 众数

众数是指统计分布中具有明显集中趋势点的数值,体现集合预报的概率特性。集合预报中的众数可以反映出各个预报成员的集中趋势,即预报概率最大的位置,相比于中位数和平均值,众数受极值的影响相对较小,表现更为稳定(时娟,2002)。集合预报众数经验公式已在温度要素的预报中得到了应用,此经验公式仅适用于准正态分布,而风速分布呈现明显的右偏分布,即变量在高值处比低值处有较大的偏离中心的趋势(弗诗松和贺思辉,2010),不适用众数求解的经验公式。由于风速分布的右偏和众数可能不存在或者多于一个的特性,因此,基于集合预报 10 m 风速众数的订正方法需要对集合预报各个成员按照风速大小排序并进行分组,参照下限公式(罗晓娟,2003)求解唯一的众数值。众数求解的下限公式如下:

$$M_0 = L + \frac{f_0 - f_1}{(f_0 - f_1) + (f_0 - f_2)} K \quad (1)$$

式中, $L$  表示众数组(众数所在区间)下限值, $f_0$ 、 $f_1$ 、 $f_2$  分别表示众数组及与众数组相邻的前一组及后一组的频数, $K$  表示众数组的组距。众数组的划分对于平均误差及偏差概率的计算有较大的影响,众数组划分过大会导致订正效率的降低,而众数组划分过小又不能反映出众数的特性,因此需要根据样本量大小及观测范围选用合理的区间划分。经过样本统计计算,计算风速众数采用等间距分组,组距为

$3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。对于如何更准确地确定众数在众数组中的位置,目前仍存在着一定的争议。因此在使用上述众数求解公式时需要基于众数组内数据是均匀分布的假设(张保林,2014),即假设众数组内各个预报成员为均匀分布。风是矢量,不利于众数的求解与平均误差的确定,因而本文仅考虑基于风速的订正,风向则采用集合预报的平均风向。

## 2.2 订正方法

基于集合预报  $10 \text{ m}$  风速众数订正方程可以表示为如下:

$$Y = M_0 + f(M'_0) \quad (2)$$

式中, $Y$  为订正后风速值, $M_0$  为所预报时刻集合预报众数值。 $f(M'_0)$  为订正误差, $M'_0$  为求解集合预报历史数据中的众数。对于不同预报时效、不同风速量级,预报的偏差概率及偏差程度均不相同,对应的订正量也不同。同时,为避免对  $M_0$  造成盲目订正,通过集合预报历史数据中众数值的预报概率将众数进行分组,计算不同等级风速、不同预报时效的  $f(M'_0)$ ,按照预报正确、预报偏大、预报偏小 3 种情况分别进行考虑。将  $f(M'_0)$  写成如下分段函数:

$$f(M'_0) = \begin{cases} 0 & \\ -e_{d-1} & M_0 \in (L_1, L_1 + P_d \cdot K) \\ -e_{x+1} & M_0 \in (L_2 - P_x \cdot K, L_2) \end{cases} \quad (3)$$

式中, $e_{d-1}$  和  $e_{x+1}$  分别为集合预报历史数据中众数在某一预报时效中对某一量级风速的相邻量级风速预报的平均偏大误差和平均偏小误差, $L_1$  和  $L_2$  分别表示该级别风速上限及下限值, $P_d$  和  $P_x$  分别表示历史数据中众数值对该量级、该预报时效预报的偏大率和偏小率, $K$  表示组距宽度(取  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ )。当偏大率或偏小率越大时,所对应的区间宽度也就越大,表明众数预报偏大或偏小的可能性也就越大,因此对其订正的概率也就越大;当众数不在偏大或偏小区间内时,则认为众数预报正确,不进行订正。一个较大的风速实况通常对应一个较小的众数预报值,而一个众数值却对应多个可能出现的实况观测值。为了使统计误差具有明显的规律性,需要以实况为基准计算众数的误差,但是将这种误差直接带回公式是不合理的,因此假设众数落在订正区间是由相邻风速量级预报偏大、偏小造成。偏大率及偏小率计算公式如下:

$$P_d = \frac{NB_k}{NA_k + NB_k + NC_k} \quad (4)$$

$$P_x = \frac{NC_k}{NA_k + NB_k + NC_k} \quad (5)$$

式中, $P_d$  和  $P_x$  为预报偏大率和预报偏小率, $NA_k$  为预报正确次数, $NB_k$  为预报偏大次数, $NC_k$  为预报偏小次数。平均偏大误差及平均偏小误差则根据平均误差及平均绝对误差计算得到,公式如下:

$$e_d = \frac{\bar{b} + |\bar{b}|}{2} \quad (6)$$

$$e_x = |\bar{b}| - e_d \quad (7)$$

式中, $e_d$  和  $e_x$  分别表示平均偏大误差及平均偏小误差, $\bar{b}$  和  $|\bar{b}|$  则分别为历史预报数据中众数的平均误差和平均绝对误差。

## 2.3 众数预报特性分析

利用 2013—2014 年集合预报数据进行相应的预报误差及预报概率的检验,集合预报风速数据按照  $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  组距进行划分。众数在各个预报时效的预报准确率均略高于中值、平均值,中期预报时效表现相对明显。如图 2 所示,在  $96 \sim 120 \text{ h}$  预报时效,众数预报正确率高于中值,明显高于集合平均,因此基于众数进行风速订正要优于基于中值或平均值,可以有效提高订正后的预报效果。

众数对于小于  $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的风速预报存在  $0.4 \sim 2.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的平均偏大误差,大于  $9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  风速的预报明显偏小,并随预报时效延长、量级的增加,偏小的程度加大。 $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上风速的预报,偏小误差均在  $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,当预报时效增加到  $84 \text{ h}$  时,偏小误差可达  $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上(图 3)。众数预报的平均偏小率同样随风速量级增大、预报时效延长而增加, $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  以上的风速预报其偏小率基本达

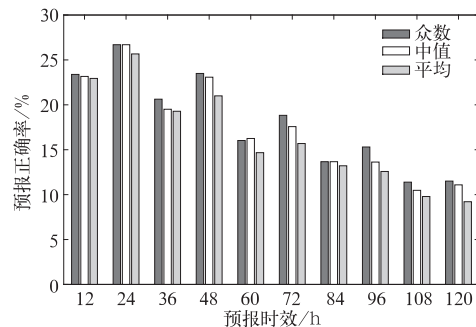


图 2 2013—2014 年 ECMWF 集合预报  $10 \text{ m}$  风速众数、中值、平均值  $12 \sim 120 \text{ h}$  预报正确率  
Fig. 2 The mode, median and average forecast accuracy of ECMWF ensemble  $10 \text{ m}$  wind speed from  $12$  to  $120 \text{ h}$  in  $2013-2014$

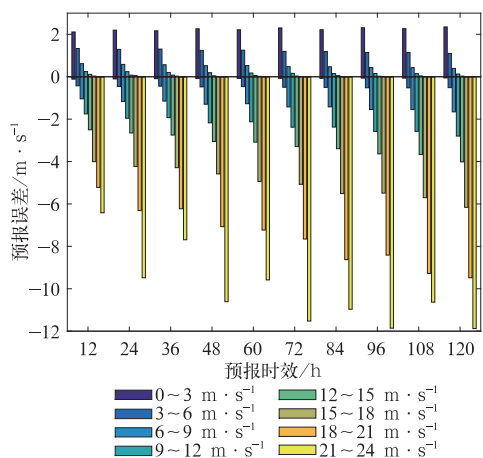


图 3 2013—2014 年 ECMWF 集合预报 10 m 风速众数预报误差

Fig. 3 The mode forecasting error of ECMWF ensemble 10 m wind speed in 2013—2014

到 90% 及以上,对于 21 m · s<sup>-1</sup> 以上风速的预报,预报偏小概率为 100% (表 1)。在短时效或风速较小时,预报偏差由预报偏大和偏小共同造成;但当预报时效延长或所预报风速增大时,预报偏差主要由预报偏小造成。

### 3 结果与检验

#### 3.1 站点检验

利用 2015 年 ECMWF 集合预报 10 m 风场资料及代表站点对于订正后结果进行检验,并按照风速级分别为 2~3 级、4~5 级、6~7 级、8~9 级的划分计算订正前 ( $M_0$ ) 与订正后 ( $Y$ ) 的平均误差及 TS 评分。

表 1 2013—2014 年 ECWFM 集合预报 10 m 风速众数预报偏小概率 (单位: %)

Table 1 The mode forecasting small probability of ECWFM ensemble 10 m wind speed in 2013—2014 (unit: %)

预报时效 /h	3~6 m · s <sup>-1</sup>	6~9 m · s <sup>-1</sup>	9~12 m · s <sup>-1</sup>	12~15 m · s <sup>-1</sup>	15~18 m · s <sup>-1</sup>	18~21 m · s <sup>-1</sup>	21~24 m · s <sup>-1</sup>
12	7	24	43	61	90	100	100
24	8	29	46	61	89	94	100
36	8	28	47	66	93	97	100
48	8	32	50	69	92	96	100
60	9	31	50	72	95	100	100
72	9	36	54	74	94	100	100
84	10	35	54	75	98	100	100
96	10	39	57	78	96	100	100
108	10	38	58	78	97	100	100
120	9	43	61	81	99	100	100

通过计算订正前后平均偏小误差的减小率可以看出(表 2): 风速 2~3 级和 4~5 级的订正效果并不明显,平均偏小误差的减小率基本为 0,而对于风速 6~7 级和 8~9 级的风速偏小误差有明显改进,其中 12~120 h 预报时效的 6~7 级风速预报的偏小误差减小率平均为 21%, 8~9 级风速偏小误差减小率平均为 55%。订正效果与众数预报误差是相一致的,众数对于 2~3 级和 4~5 级风速的预报效果相对较好,订正后效果不明显;但众数对于 6~7 级和 8~9 级预报效果较差,订正后偏小误差改进效果较大。

利用代表站点进行订正前后 TS 评分对比结果(图 4)表明,订正后对大于 72 h 预报时效的 6 级以上风速的 TS 评分提高明显。订正后 72~120 h 预

表 2 2015 年 ECMWF 集合预报 10 m 风速众数订正前后平均偏小误差减小率 (单位: %)

Table 2 The average small error reduction rate of ECMWF ensemble 10 m wind speed before and after correction in 2015 (unit: %)

预报时效 /h	2~3 级	4~5 级	6~7 级	8~9 级
12	0	-1	11	51
24	0	-1	14	47
36	0	-1	15	73
48	0	0	20	64
60	0	0	19	73
72	0	0	26	52
84	0	1	23	46
96	0	2	27	51
108	0	2	26	43
120	0	3	29	51

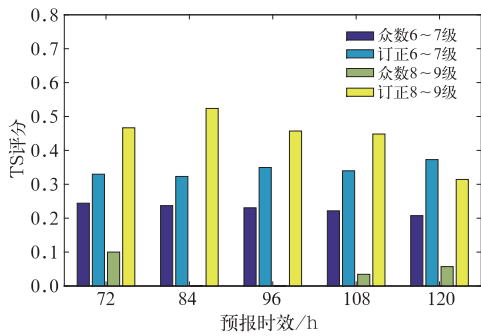


图 4 2015 年 ECMWF 集合预报 10 m 风速众数订正前后 6~7 级和 8~9 级风速预报的 TS 评分

Fig. 4 TS score of 6-7 and 8-9 magnitude of ECMWF ensemble 10 m wind speed before and after correction in 2015

报时效的 6~7 级和 8~9 级风速预报的 TS 评分明显高于订正前。6~7 级风速预报的平均 TS 评分由 0.23 提高到 0.34; 8~9 级风速的订正效果更为明显, 平均 TS 评分由 0.04 提高到 0.44。

### 3.2 个例检验

为了进一步验证该订正方法对于我国近海大风过程的预报性能, 选取 2015 年 11 月 6—7 日冷空气及 2015 年 10 月 3 日 1522 号台风彩虹洋面大风天气过程进行对比分析。

2015 年 11 月 6—7 日, 受入海气旋及冷空气的影响, 造成我国渤海、渤海海峡、黄海等海域出现大风天气过程, 观测的最大平均风速达 9 级。图 5 为 15 年 11 月 7 日 08 时(北京时, 下同)实况观测及 10 时 ASCAT 卫星反演风场。ASCAT 卫星反演风场已被逐渐应用于洋面风的业务预报(张增海等, 2014; 姚日升等, 2016), 以弥补洋面实况观测资料的稀少。由于 ASCAT 的反演原理及风的瞬时性, 导致 ASCAT 反演风场与实况会存在一定的偏差。杨晓君和张增海(2014)利用北方海域的 6 个观测站点进行 ASCAT 反演风场的对比检验, 当风力在 6~7 级时卫星呈现出低估现象, 风力在 8 级以上时卫星低估现象明显加剧。在图 5 中, 我国渤海海域出现了较大范围  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的 ASCAT 反演风场, 因而实际中渤海海域风速要大于  $20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。对比业务预报中使用的日本、GFS、EC 确定性模式 36 h 预报可以看出(图 6b、6c 和 6d), 3 家模式对渤海海域大风预报明

显偏弱。用众数订正风场的 36 h 预报(图 6a)在渤海地区预报出了较大范围的  $20 \sim 22 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  的风速区域, 与 ASCAT 反演风场更为接近, 可以更有效的对此次大风天气过程起到预报指示作用。

2015 年 10 月 3 日 20 时, 1522 号台风彩虹中心位于  $19.4^\circ \text{N}$ 、 $113.5^\circ \text{E}$ , 中心附近最大风速  $38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。通过对比订正后风场与 EC 确定性模式 2 日 20 时 24 h 预报风场可以看出(图 7), 众数方法订正后台风中心的风场预报为  $32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , EC 确定性模式的预报为  $26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 订正后的风速与实况更为接近。

## 4 结 论

集合预报 10 m 风速众数在各个预报时效的预报正确率要高于集合中值及平均值, 基于集合预报众数建立的洋面风速订正方法可以对集合预报产品有更好的释用。综合考虑历史数据的预报概率及集合预报各个成员的分布情况进行客观订正, 可减少不必要的订正或错误订正的出现。

风速的订正效果与众数预报误差特征相对应, 订正后 72~120 h 预报时效的 6~7 级和 8~9 级风速预报的 TS 评分明显高于订正前。6~7 级风速预报的平均 TS 评分由 0.23 提高到 0.34, 8~9 级风

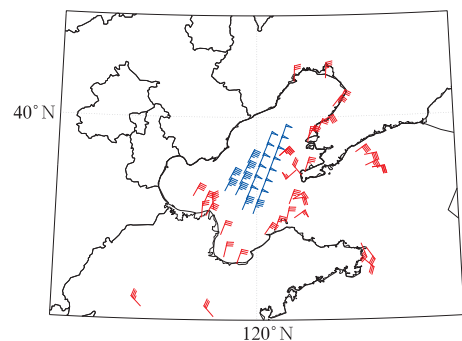


图 5 2015 年 11 月 7 日 08 时自动站观测实况及 10 时 ASCAT 反演风场 (红色为自动站实况观测, 蓝色为 ASCAT 卫星反演风场)

Fig. 5 Automatic station observation at 08:00 BT and ASCAT retrieved sea surface wind at 10:00 BT 7 November 2015 (Red represents the automatic station observation and blue represents ASCAT sea surface wind)

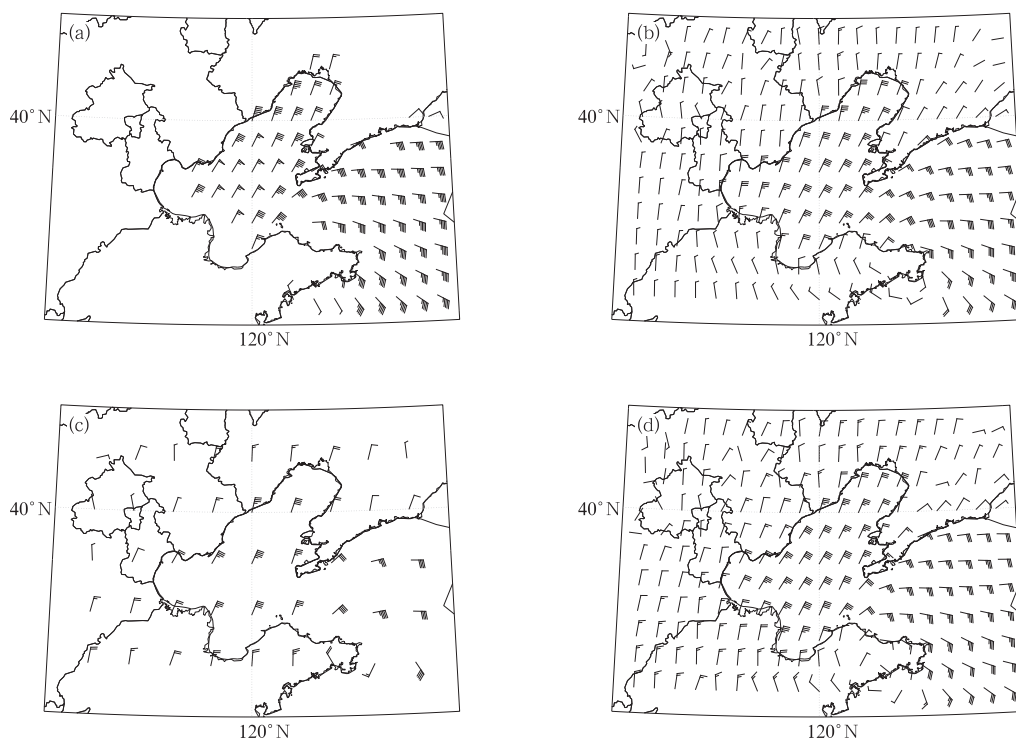


图 6 2015 年 11 月 5 日 20 时 ECMWF 集合预报订正(a)、日本模式(b)、GFS 模式(c)、EC 确定性模式(d)36 h 预报时效 10 m 风场

Fig. 6 36 h lead time 10 m wind of ECMWF ensemble correction (a), Japan (b) and GFS (c) and EC model (d) at 20:00 BT 5 November 2015

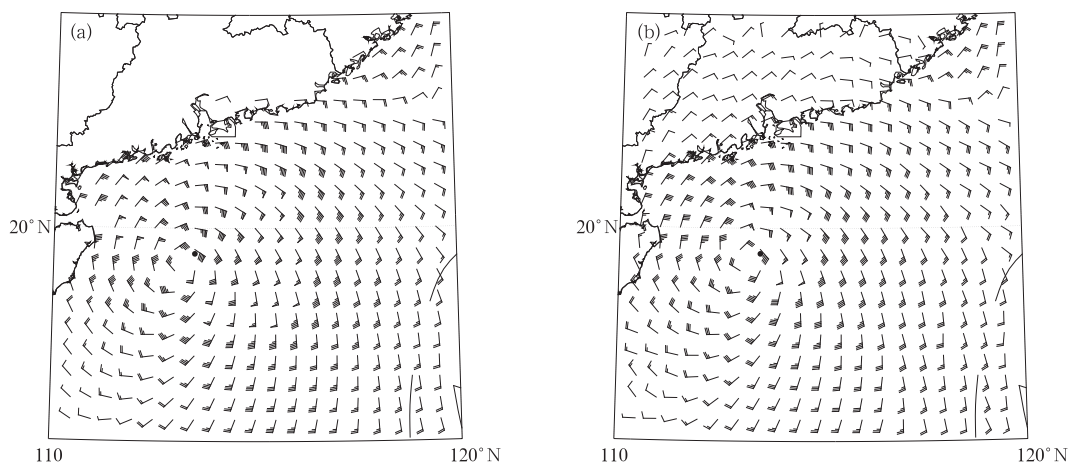


图 7 2015 年 10 月 2 日 20 时 ECMWF 集合预报订正(a)、EC 确定性模式(b)24 h 预报时效 10 m 风场 (图中圆点为 10 月 3 日 20 时中央气象台台风中心位置定位)

Fig. 7 The 24 h lead time 10 m wind of ECWME ensemble correction (a) and EC model (b) at 20:00 BT 2 October 2015

(Dot represents the location of typhoon center at 20:00 BT 3 October, NMC)

速的订正效果更为明显,平均 TS 评分由 0.04 提高到 0.44,能够有效提高中长期时效和大量级风速的预报能力。该订正方法中的订正参数均是由沿岸及

近海的代表站点统计得到,因此代表站点的选取对于订正效果有着重要影响,在实际业务中应根据不同的适用区域选用合理的代表站点。

## 参考文献

- 杜钧,李俊,2014.集合预报方法在暴雨研究和预报中的应用[J].气象科技进展,4(5):6-20.
- 黄凤新,刘寿东,祝赢,等,2013.基于滚动极值处理的BP神经网络的WRF模式预报风速订正[J].科学技术与工程,13(7):1768-1771.
- 赖鑫,王德立,江崑,等,2016.南中国海10 m风和海面动态粗糙度特征研究[J].气象,42(12):1531-1539.
- 李莉,李应林,田华,等,2011.T213全球集合预报系统性误差订正研究[J].气象,37(1):31-38.
- 罗晓娟,2003.浅议众数计算公式[J].西北民族学院学报,24(1):21-22.
- 茆诗松,贺思辉,2010.概率论与统计学[M].武汉:武汉大学出版社.
- 荣艳敏,阎丽凤,盛春岩,等,2015.山东精细化海区风的MOS预报方法研究[J].海洋预报,32(3):59-67.
- 钱奇峰,张长安,高拴柱,等,2014.台风路径集合预报的实时订正技术研究[J].热带气象学报,30(5):905-910.
- 时娟,2002.众数公式的积分证明[J].兰州教育学院学报,(2):49-54.
- 王敏,李晓莉,范广洲,等,2012.区域集合预报系统2 m温度预报的校准技术[J].应用气象学报,23(4):395-401.
- 杨晓君,张增海,2014.ASCAT洋面风资料在中国北方海域的真实性检验[J].海洋预报,31(5):8-12.
- 姚日升,涂小萍,蒋璐璐,等,2016.浙江近海冬季大风风速推算和ASCAT风速订正方法探讨[J].气象,42(5):621-627.
- 张保林,2014.组距式数列众数估算方法的修正[J].统计与决策,412(16):75-78.
- 张增海,曹越男,刘涛,等,2014.ASCAT散射计风场在我国近海的初步检验与应用[J].气象,40(4):473-481.
- Monahan A H, 2013. The gaussian statistical predictability of wind speeds[J]. J Climate, 26(15):5563-5577.
- Rozas-Larraondo P, Inza I, Lozano J A, et al, 2014. A method for wind speed forecasting in airports based on nonparametric regression[J]. Wea Forecasting, 29(6):1332-1342.
- Toth Z, Zhu Yuejian, Marchok T, 2001. The use of ensembles to identify forecasts with small and large uncertainty[J]. Wea Forecasting, 16(4):463-477.