

EC细网格10 m风场产品在渤、黄海海域的预报能力 检验与评估

连喜虎¹, 刘桂艳¹, 高松¹, 王彬¹, 白志鹏²

(1. 国家海洋局北海预报中心, 山东 青岛 266033; 2. 中国人民解放军61741部队, 北京 100083)

摘要: 基于ECMWF(EC)细网格的24 h、48 h和72 h预报的10 m风场资料,与选取的渤、黄海海域9个浮标的10 m实测风速和风向进行对比检验。结果表明:(1)EC细网格24 h预报的10 m风速与各浮标站的实测风速预报偏差中位数在0.11~0.52 m/s之间,EC预报的10 m风速在渤、黄海水域预报结果总体略偏大,但在黄海中部预报效果优于渤海和黄海北部海区;(2)EC细网格预报的10 m风速与实测风速相关性较好,选取的9个浮标站中8个浮标站的24 h预报风速和实测风速相关系数达到0.85以上,预报偏差离散度小,预报效果较好;(3)不同风速条件下,EC细网格的5级风预报结果与实测风速最为接近,对大于5级风的预报结果偏小,而小于5级风的预报结果偏大;风速越小,风向预报偏差样本的离散度越大。不同风向条件下,各向的24 h预报风向平均偏差在-20°~12°之间,48 h和72 h平均偏差分别为-22°~14°和-20°~15°之间,24 h预报风向结果优于48 h和72 h预报风向。在实况为偏北向风时,风向平均偏差较大,实况为偏南向风时,风向平均偏差较少。

关键词: 10 m风;EC细网格;平均偏差;相关系数

中图分类号: P732.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2020)06-0074-09

1 引言

海上大风是引起海洋灾害的重要原因之一。海浪和风暴潮的预报准确度在很大程度上依赖于海面风场的预报能力,因此海面风场的准确预报是海洋防灾减灾的基础工作。提高海面风的预警能力,尤其是大风预报精确度,对避免或减少海上大风灾害有重要意义。早期学者对海上大风的预报主要通过经验预报和统计预报^[1-6]。随着数值预报技术的发展,数值预报产品的丰富和改进以及计算机能力的提高,高分辨率的数值预报产品和先进的数值释用方法已成为近年来的研究热点,并取得了一定的成果^[7-10]。欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Fore-

casts,ECMWF)的大气模式确定性预报产品是高时空分辨率的气象数值预报资料^[11-12](以下简称“EC细网格”)。该模式使用了先进的四维变分同化系统,预报产品精确度较高。目前已有学者对EC细网格数值预报资料中的降水、气温以及海面风等气象要素进行了详尽的检验和分析^[13-14]。例如方艳莹等^[15]针对不同天气系统下EC细网格对浙江沿海10 m风预报性能进行了评估,指出预报场和观测站点的相关性与站点地理位置、海拔高度及地形等都有较大关系;吴俞等^[16]对EC细网格10 m风场在南海的预报能力进行了检验,并详细分析了南海4个海岛站的风速预报偏差;杨亦萍等^[17]利用EC细网格对不同天气形势下影响浙江台风的路径预报进行了详细评估;万瑜等^[18]利用EC细网格数值预报产品

收稿日期: 2019-09-12; 修回日期: 2019-12-27。

基金项目: 海洋环境安全保障专项(2017YFC1405004); 东亚海洋合作平台项目。

作者简介: 连喜虎(1986-),男,工程师,硕士,主要从事海洋环境数值预报和资料同化工作。E-mail: lianxiyu@ncs.mnr.gov.cn

通讯作者: 刘桂艳(1986-),女,工程师,硕士,主要从事海洋气象数值预报和资料同化工作。E-mail: liuguiyan@ncs.mnr.gov.cn

对一次东南大风过程进行诊断分析和预报释用,发现细网格资料在预报时空的分辨率和预报性能等方面均有提高,提高了预报的准确性,对东南大风预报具有指示意义。但是目前针对EC细网格10 m风场数据在渤、黄海海域的预报能力检验与评估工作尚不多见。

随着计算机技术和数值预报技术的发展,为广大预报员提供的数值预报产品越来越多,EC细网格数值预报是目前预报员使用的主要数值预报产品之一。为了更好地开展黄、渤海海面风的预报服务,提高该海域海面风的预报水平,本文拟对EC细网格的10 m风场在黄、渤海海域的预报能力进行初步检验与评估,充分发挥数值预报产品在海洋预报服务中的作用,以期为做好海上风场预报、保障广大渔民及渔业生产安全,以及今后进一步开展海洋预报服务提供有价值的预报参考。

2 资料与方法

考虑到数据的连续性,本文选取2018年1—12月的EC细网格数据资料进行统计(EC细网格数值预报产品分辨率为 $0.125^\circ \times 0.125^\circ$,时间分辨率为3 h),检验10 m风场数值预报产品在黄、渤海海域的预报准确度。观测资料采用10 m大型海洋观测浮标观测的10 m风速和风向,数据通过严格质量控制。选取渤海中部2个(N01、N02)、渤海海峡1个

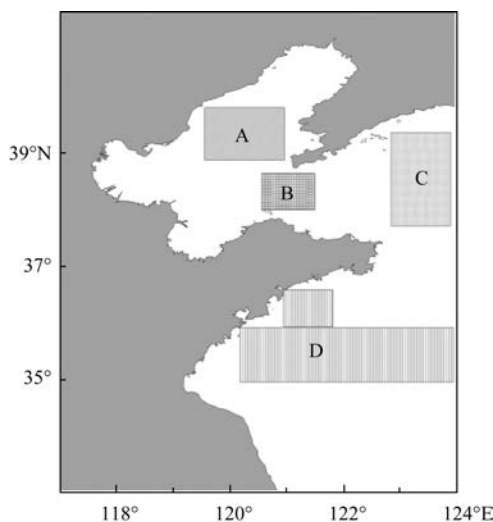


图1 站位示意图(其中渤海中部浮标在A区,渤海海峡浮标在B区,黄海北部浮标在C区,黄海中部浮标在D区)

(N03)、黄海北部2个(N04、N05)和黄海中部4个(N06、N07、N08、N09)浮标共计9个海上大型浮标观测的10 m风速和风向数据(站位见图1),与EC细网格10 m风速和风向数值预报产品进行直接对比,并利用双线性插值法将EC细网格数据插值到观测站点进行误差统计。误差统计方法如下:

$$\text{相对误差: } RE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{(d_{oi} - d_{fi})}{d_{oi}} \right|}{N} \quad (1)$$

$$\text{平均偏差: } BIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (d_{oi} - d_{fi})}{N} \quad (2)$$

$$\text{均方根误差: } RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (d_{oi} - d_{fi})^2}{N}} \quad (3)$$

式中: d_{oi} 为检验海域实测的海面10 m风速; d_{fi} 为检验海域预报的海面10 m风速; N 为检验样本数。

3 误差分析

3.1 风速预报误差分析

将EC细网格预报的24 h、48 h和72 h的10 m风场资料插值到9个浮标站与实测风速进行对比分析。利用箱线图能直观体现不同预报时效下EC细网格10 m风场数据与观测数据预报偏差的离散程度和数据的集中趋势(见图2)。各浮标站的风速24 h预报偏差中位数在0.11~0.52 m/s之间(表略),预报风速比实际风速略偏大。黄海中部浮标(N07、N08、N09)24 h预报偏差离散度最小且风速偏差的中位数接近0,渤海浮标(N01、N02)预报偏差离散度较大。同时,各浮标站预报偏差离散度随着预报时效的增长而不断增大,且48 h和72 h预报大于24 h预报偏差。从以上分析可以看出,EC细网格24 h预报的10 m风速在黄、渤海海区预报结果总体略偏大,但在黄海中部预报效果优于渤海及黄海北部海区,随着预报时效的增大,预报偏差离散度增大。

为了进一步对比分析EC细网格预报的10 m风速与实测风速,图3给出了24 h预报和观测的散点图及相关系数、相对误差和均方根误差。由图中可以看出,除渤海的N01浮标外,EC细网格预报的24 h 10 m风速和实测风速的相关系数均达到0.85及以

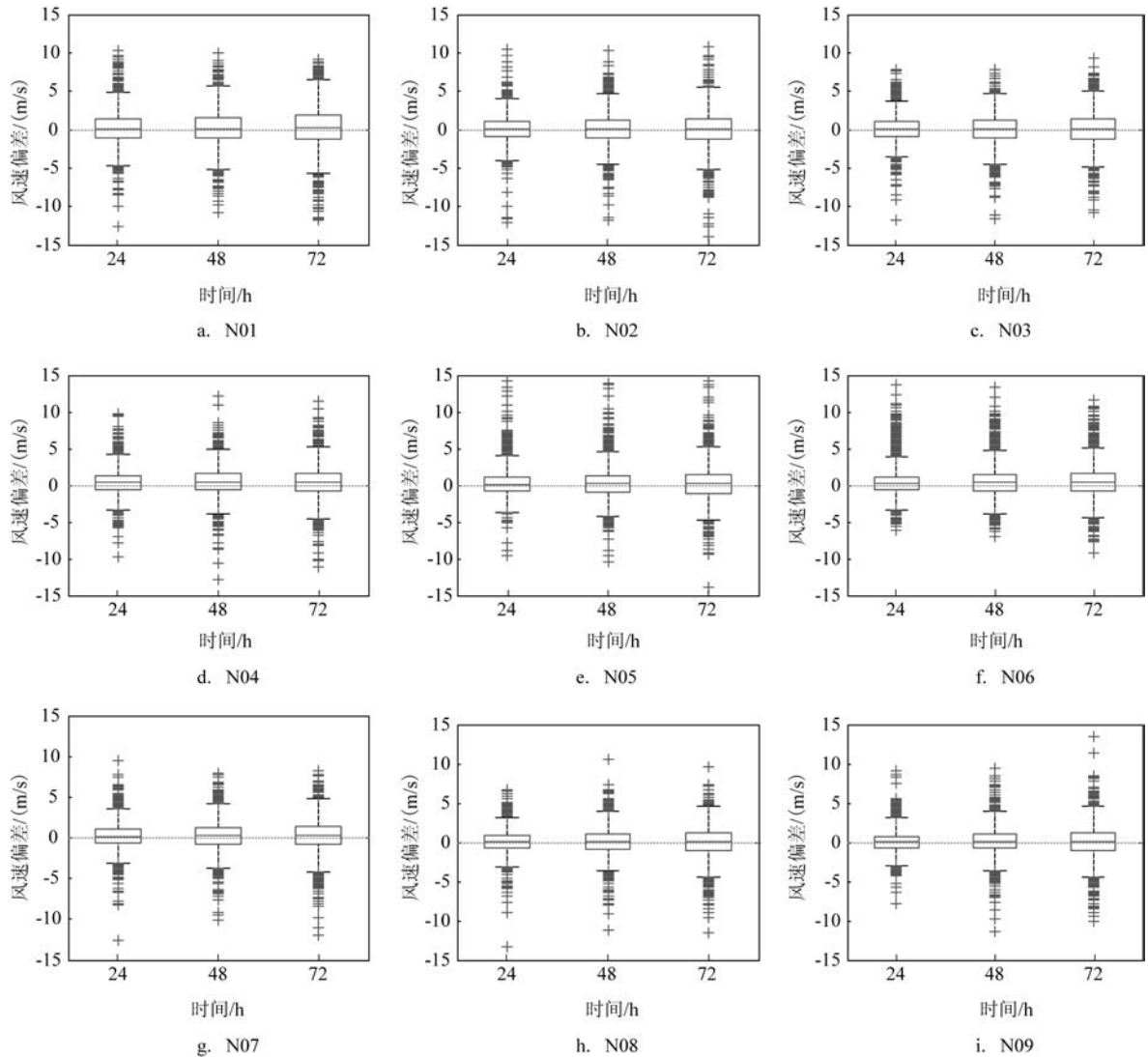


图2 EC细网格24 h、48 h和72 h预报的10 m风速与各浮标站实测风速预报偏差箱线图(箱中黑色实线代表预报偏差中位数;箱中的中位数代表数据的集中趋势;箱子长短和虚线长短代表数据的离散程度)

上,相关性较好。黄海中部浮标N08和N09的24 h预报与观测风速相关系数最大,分别为0.9和0.91。各浮标站24 h预报的10 m风速(本文只统计了不低于5级风的风速)相对误差平均约为12%,均方根误差平均约为1.63 m/s,其中黄海中部浮标N08和N09的相对误差和均方根误差最小,预报效果最好,这可能与该浮标站离岸线较远、开阔海域受陆地海拔高度等要素影响较小有关。各浮标站的相对误差和均方根误差随着预报时效的增长而增大,相关系数随着预报时效的增长而减小。各浮标站48 h预报的10 m风速相对误差平均约为14%,均方根误差平均约为1.88 m/s;72 h预报的10 m风速相对误差

平均约为16%,均方根误差平均约为2.11 m/s(图略)。总体而言,EC细网格预报的10 m风速在渤海和黄海海域预报效果较好,可以为该海域的风速预报订正提供有价值的参考。

图4为各浮标站不同风速等级下EC细网格24 h预报数据的均方根误差和平均偏差。表1为不同风速等级条件下的有效样本数。由图4可以看出,各浮标站在5级风时均方根误差和平均偏差最小,平均偏差约为0.07 m/s,均方根误差约为1.41 m/s,而且有效样本数在5级风力下最多,平均约为730个,这说明在5级风速条件下的有效样本离散程度最小;当风速<5级(8.0 m/s)时,各浮标站平均偏差均

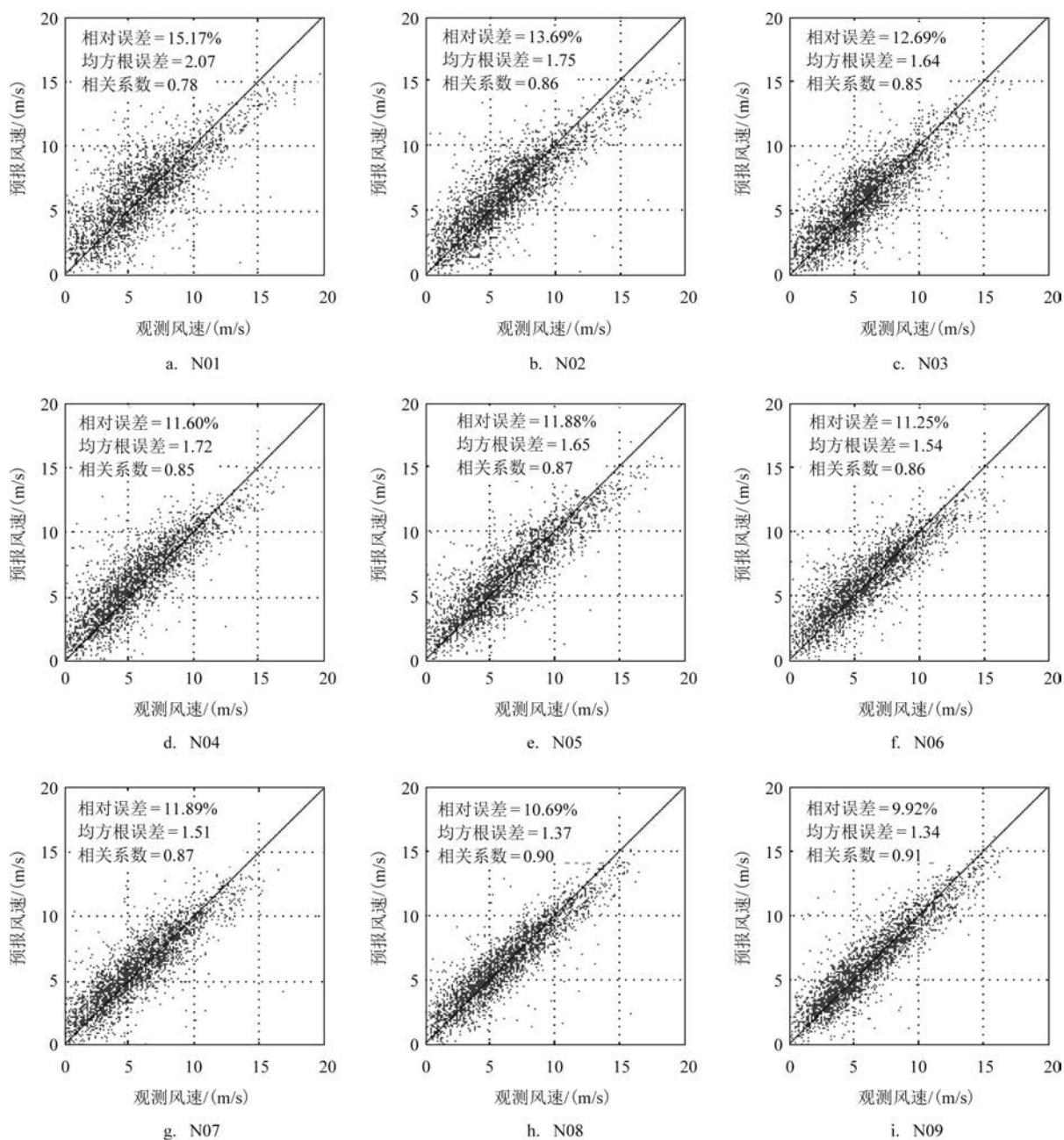


图3 各浮标站24 h预报风速和实测风速散点图、相对误差、均方根误差和相关系数

为正值,说明EC细网格对小于5级风风速的预报偏大;当风速 >5 级(8.0 m/s)时,平均偏差变为负值,说明EC对大于5级风风速的预报偏小;当风速 >8 级时,平均偏差绝对值和均方根误差随着风速的增大而快速增大,这可能与有效样本数太少有关,可信度需进一步验证。图5为风速平均偏差分布直方图,从图中可以看出,风速平均偏差分布多集中在 $-0.5\sim 0.5$ m/s之间,其次为 $-1.5\sim -0.5$ m/s和

$0.5\sim 1.5$ m/s之间。随着预报时效的增长,不同风速等级下EC细网格48 h和72 h预报数据的均方根误差和平均偏差也随之增大(图略),与上文结论相同。

3.2 风向预报误差分析

为了更全面地评估EC细网格预报的10 m风场在黄、渤海海域的预报性能,图6给出了不同浮标站EC细网格24 h预报的风向和观测风向的频率分布

表1 各浮标站不同风速等级样本数

站号	N01	N02	N03	N04	N05	N06	N07	N08	N09
1级	44	6	10	20	108	140	10	5	10
2级	147	135	163	161	136	151	177	151	128
3级	346	394	458	457	332	426	444	364	415
4级	668	699	810	785	612	672	686	710	716
5级	714	828	752	644	655	700	803	751	711
6级	480	447	402	464	490	440	474	476	498
7级	158	162	156	154	242	148	151	214	226
8级	55	80	36	37	49	19	18	42	67
9级	9	12	/	/	3	/	1	/	/
10级	/	1	/	/	1	/	/	/	/

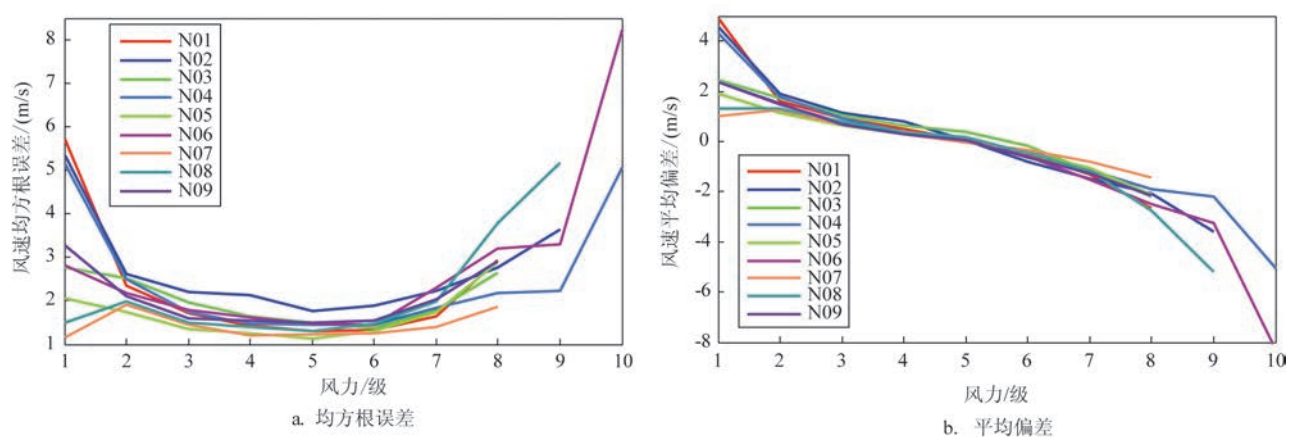


图4 各浮标站不同风速等级下EC细网格预报数据的均方根误差和平均偏差

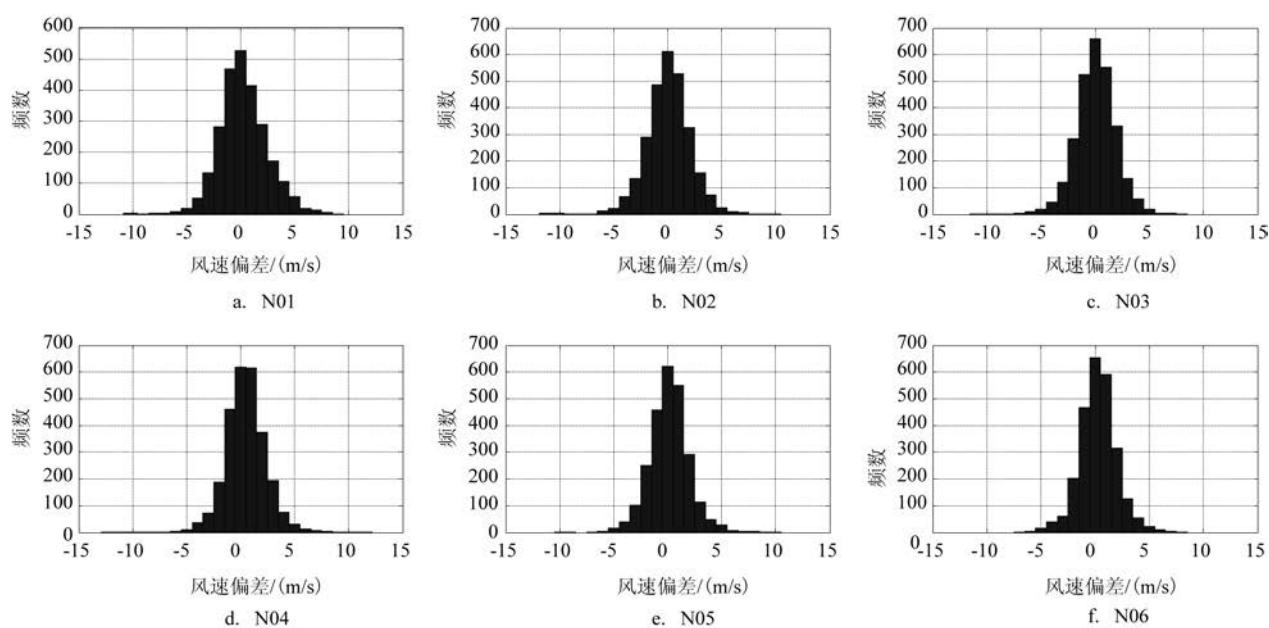


图5 风速平均偏差分布直方图

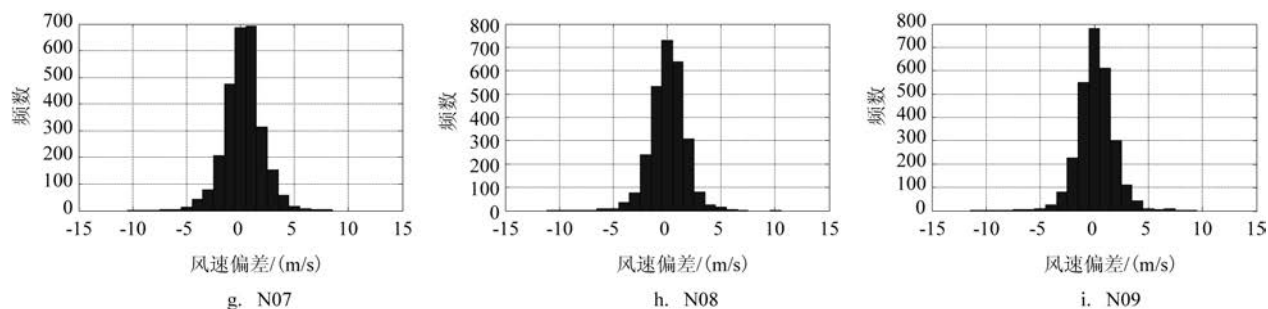


图5 (续)

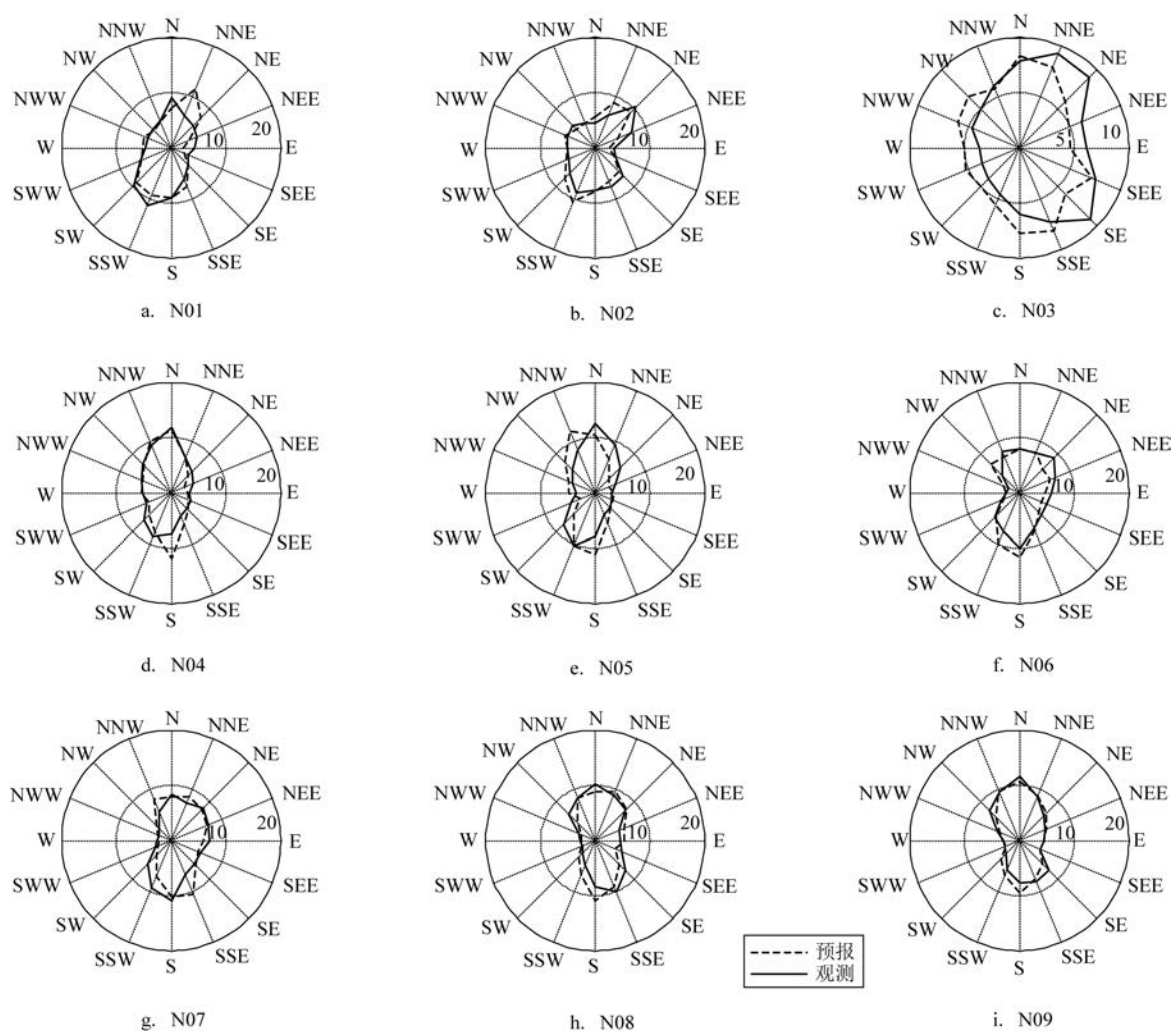


图6 EC细网格10 m风向24 h预报结果与观测风向的频率分布

对比图。从图中可以看出,对于渤海和渤海海峡的浮标,N02浮标EC细网格预报风向与实测风向基本一致;N03浮标预报的主导风向与实测风向相比略有差异,预报的主导风向为N,实测主导风向为

NNE;N01预报主导风向为NNE,次主导风向为SSW,实测主导风向为SSW,次主导风向S,这可能与该浮标离岸较近、受陆地影响较大有关。黄海域的N04、N06和N09浮标预报的主导风向与实测

风向一致;N07预报主导风向为SSE,实测主导风向为S;N08浮标预报主导风向为S,次主导风向为NNE,实测主导风向为N,次主导风向为SSE;N05浮标预报主导风向和次主导风向分别为S和N,实测主导风向和次主导风向分别为N和SSW。48 h和72 h预报的主导风向与24 h预报的主导风向基本一致(图略)。从以上分析可以看出,预报和实测风向概率分布虽然在数值上存在一定的差异,但分布形式基本一致。预报数据可以反映出实际风向的分布情况。

图7给出了不同风速下24 h预报风向和实测风向的平均偏差分布。风向平均偏差统计方法参考

吴俞等^[16],即以不同风速下的风向作为起点 0° ,偏于该风向左边(逆时针方向)的为负值,变化范围为 $-180^{\circ}\sim 0^{\circ}$,偏向右边(顺时针方向)的为正值,变化范围为 $0^{\circ}\sim 180^{\circ}$ 。图中可以看出,预报风向和实测风向的平均偏差基本集中在 $-45^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间,风速越小,风向预报偏差样本的离散度越大。相较而言,黄海的3个浮标(N07、N08、N09)风向预报偏差离散度最小,样本最集中。图8为不同风向条件下24 h预报风向与实测风向的平均偏差。各向的24 h预报风向平均偏差在 $-20^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 之间,48 h和72 h各向风向平均偏差分别为 $-22^{\circ}\sim 14^{\circ}$ 和 $-20^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 之间(图略),24 h预报风向结果优于48 h和72 h。由图中还

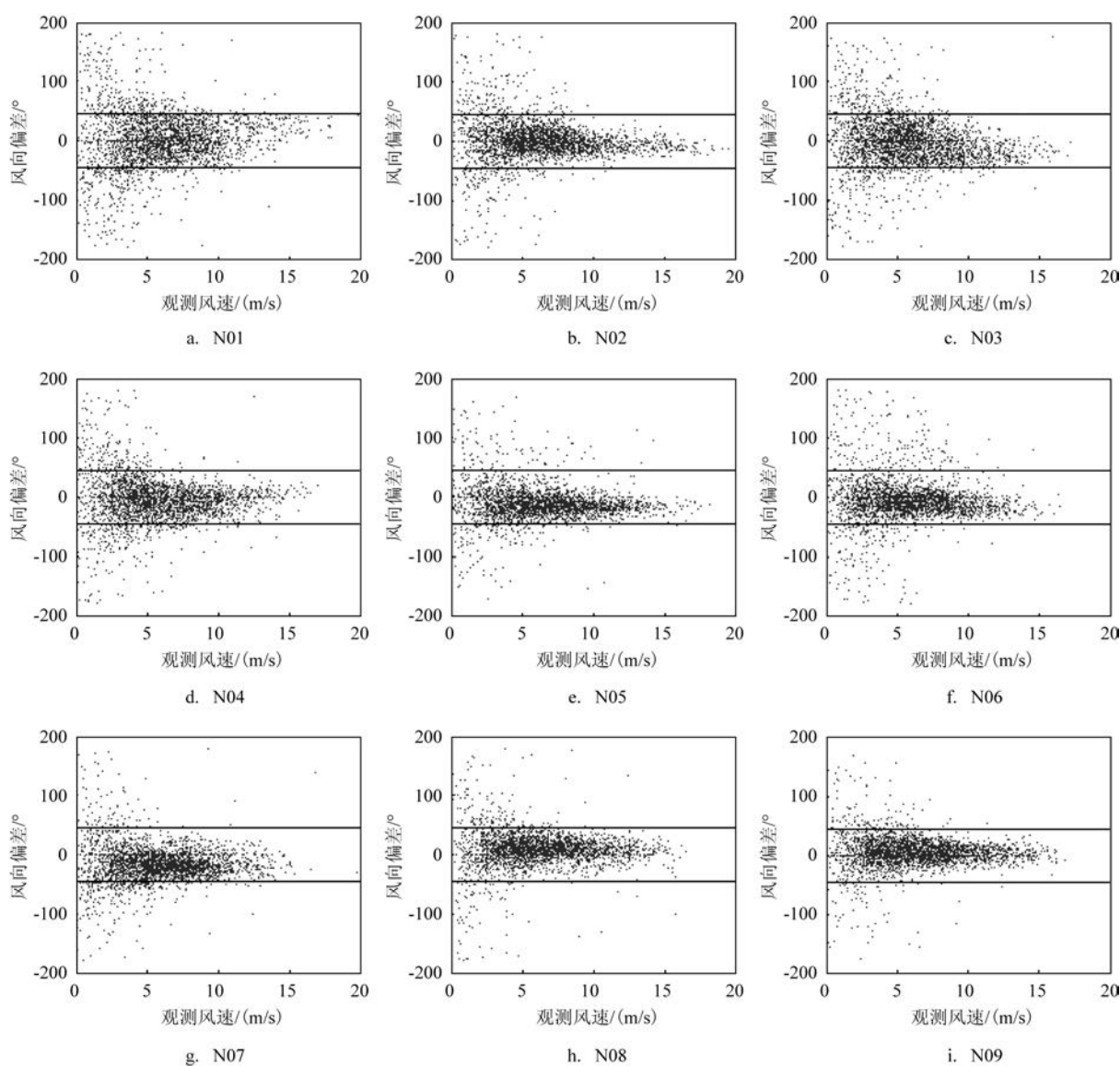


图7 不同风速条件下24 h预报的风向预报偏差散点图

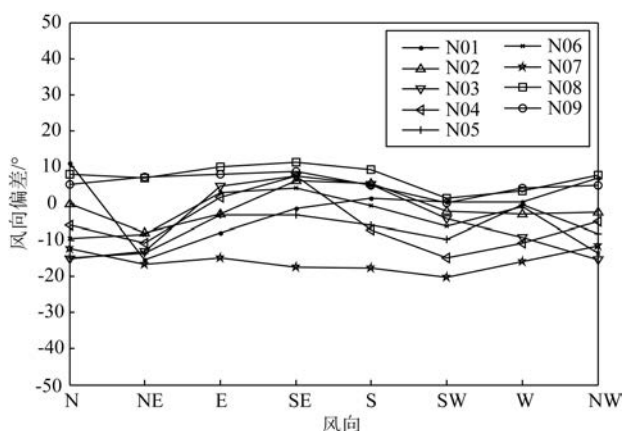


图8 不同风向条件下的风向预报平均偏差

可以看出,在实况为偏北向风时,风向平均偏差较大;实况为偏南向风时,风向平均偏差较少。这说明EC细网格在渤海和黄海海域对偏南向风预报效果较好。这可能是由于偏北向风时,海上浮标观测的风向受北部陆地影响较大。

4 结论

本文通过对2018年1—12月EC细网格24 h、48 h和72 h的10 m风速和风向数据进行检验,结论如下:

(1)EC细网格24 h预报的10 m风速与各浮标站的实测风速预报偏差中位数在0.11~0.52 m/s之间,预报的10 m风速在黄、渤海海区预报结果总体略偏大,但在黄海中部预报效果优于渤海以及黄海北部海区。随着预报时效的增长,风速预报偏差变大。

(2)EC细网格24 h预报的10 m风速与实测风速相关性较好,对比的9个浮标站中有8个站相关系数达到0.85及以上。各浮标站24 h预报的10 m风速相对误差平均约为12%,均方根误差平均约为1.63 m/s;48 h预报的10 m风速相对误差平均约为14%,均方根误差平均约为1.88 m/s;72 h预报的10 m风速相对误差平均约为16%,均方根误差平均约为2.11 m/s。48~72 h预报各浮标站风速和实测风速误差增大。总体而言,EC细网格预报的10 m风速在渤海和黄海海域预报效果较好,可为该海域的风速预报订正提供有价值的参考。

(3)不同风速条件下,EC细网格的5级风预报结果与实测风速最为接近,预报效果最好。预报和

实测风向的平均偏差基本集中在 $-45^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 之间,风速越小,风向预报偏差样本的离散度越大。EC细网格对5级风预报效果最好,其次为4级和6级风。EC细网格对小于5级风风速的预报偏大,对大于5级风风速的预报偏小;风速大于8级时,由于样本数量有限,可信度需进一步验证。各向的24 h预报风向平均偏差在 $-20^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 之间,48 h和72 h各向风向平均偏差分别为 $-22^{\circ}\sim 14^{\circ}$ 和 $-20^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 之间,24 h预报风向结果优于48和72 h预报风向。在实况为偏北向风时,风向平均偏差较大,实况为偏南向风时,风向平均偏差较少。

本文仅对EC细网格10 m风速和风向的预报性能进行了初步研究,以期为日后进行的实际风速和风向的预报订正和释用提供有意义的参考。

参考文献:

- [1] 李敏,王辉,金啟华. 中国近海海面风场预报方法综述[J]. 海洋预报, 2009, 26(3): 114-120.
- [2] 毛绍荣,林镇国,梁健,等. 广东沿海强东北季风的概率预报方法[J]. 热带气象学报, 2003, 19(1): 94-100.
- [3] 颜梅,范宝东,满柯,等. 黄渤海大风的客观相似预报[J]. 气象科技, 2004, 32(6): 467-470.
- [4] 周伟隆,陈往溪,肖巍. 粤东海面冷空气强风的统计分析预报[J]. 广东气象, 2005(4): 20-22.
- [5] 刘京雄,唐文伟,朱持则,等. 浙闽沿海和台湾海峡海域冬季大风风速计算方法探讨[J]. 台湾海峡, 2004, 23(1): 8-13.
- [6] 张新玲,吴增茂. 渤海海上测风与沿岸实测风的对比分析[J]. 海洋预报, 1998, 15(4): 24-31.
- [7] 孟雷,何宜军,伍玉梅. 一种改进海面风速反演的分类神经网络方法[J]. 海洋与湖沼, 2009, 40(2): 122-128.
- [8] 宋艳敏,阎丽凤,盛春岩,等. 山东精细化海区风的MOS预报方法研究[J]. 海洋预报, 2015, 32(3): 59-67.
- [9] 陈豫英,陈晓光,马金仁,等. 风的精细化MOS预报方法研究[J]. 气象科学, 2006, 26(2): 210-216.
- [10] 薄文波,高山红,王永明. 基于WRF模式的渤海海面风的预报与订正[J]. 海洋湖沼通报, 2013(3): 37-44.
- [11] Isaksen L, Janssen P A E M. Impact of ERS scatterometer winds in ECMWF's assimilation system[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2004, 130(600): 1793-1814.
- [12] Leutbecher M, Lock S J, Ollinaho P, et al. Stochastic representations of model uncertainties at ECMWF: state of the art and future vision[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2017, 143(707): 2315-2339.
- [13] 徐文文,陈申鹏,李晴岚,等. 2012年深圳前汛期降水EC与HAPS模式检验[J]. 广东气象, 2013, 35(5): 6-9.
- [14] 曾瑾瑜,韩美,吴幸毓,等. WRF、EC和T639模式在福建沿海冬

- 半年大风预报中的检验与应用[J]. 海洋科学, 2015, 39(7): 75–85.
- [15] 方艳莹, 申华羽, 涂小萍, 等. ECMWF 细网格对浙江沿海 10 m 风预报性能评估[J]. 中国农学通报, 2019, 35(13): 119–125.
- [16] 吴俞, 冯文, 李勋, 等. ECMWF 细网格 10 m 风场产品在南海海域的预报检验[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(9): 204–212.
- [17] 杨亦萍, 刘力源, 倪钟萍, 等. ECMWF 对不同天气形势下影响浙江台风的路径预报评估[J]. 海洋预报, 2019, 36(2): 68–76.
- [18] 万瑜, 曹兴, 窦新英, 等. ECMWF 细网格数值预报产品在乌鲁木齐东南大风预报中的释用[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(1): 32–38.

Evaluation of the ECMWF forecast skills for the 10 m wind field in the Bohai Sea and the Yellow Sea

LIAN Xi-hu¹, LIU Gui-yan¹, GAO Song¹, WANG Bin¹, BAI Zhi-peng²

(1. North Sea Marine Forecast Center of State Oceanic Administration, Qingdao 266033 China; 2. Chinese People's Liberation Army 61741 troops, Beijing 100083 China)

Abstract: The 10 m wind field from ECMWF are evaluated by comparing with the 10m wind speed and direction observed by the 9 buoys in the Bohai Sea and the Yellow Sea. The results show that the median deviation of the 10m wind speed between ECMWF forecast and bouy obervation is 0.11~0.52 m/s. The 10 m wind speed predicted by ECMWF is generally larger than that of the observation in the Bohai Sea and the Yellow Sea, and the forecast accuracy is higher for the central Yellow Sea compared to the Bohai Sea and the northern Yeallow Sea area. The 10 m wind speed predicted by ECMWF correlates well with that of the bouy observation, with correlation coefficient above 0.85 for 24-hours wind speed prediction in 8 bouy stations, and the dispersion of forecast deviation is small. Under different wind speed conditions, the ECMWF prediction for the 5-level wind is most closest to the observations. The wind speed is under predicted by ECMWF for the wind above the level of 5, while it is over predicted for the wind below the level of 5. The smaller the wind speed, the larger the dispersion of the wind direction forecast deviation samples. Under different wind direction conditions, the average deviation of the 24-hour, 48-hour and 72-hour forecast is $-20^{\circ}\sim 12^{\circ}$, $-22^{\circ}\sim 14^{\circ}$ and $-20^{\circ}\sim 15^{\circ}$, respectively. The wind direction forecast accuracy of 24 hours is higher than that of the 48 and 72 hour forecast wind directions. The deviation of wind direction is larger under northerly wind condision, while it is lower under southerly wind condision.

Key words: 10 m wind; EC fine mesh; mean deviation; correlation coefficient