

# EC模式在青岛地区及其沿海地区风场 预报中的适用性

官明晓<sup>1,2</sup>, 马艳<sup>3</sup>, 付业理<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>山东省青岛市即墨区气象局, 山东 青岛

<sup>2</sup>山东省青岛市气象灾害防御工程技术研究中心, 山东 青岛

<sup>3</sup>山东省青岛市气象台, 山东 青岛

收稿日期: 2023年2月16日; 录用日期: 2023年3月16日; 发布日期: 2023年3月27日

## 摘要

为更好地开展青岛及其沿海地区的风场服务, 本文对2017~2018年的ECMWF细网格产品模式的10米风场预报在青岛及其沿海地区的适用性进行检验评估。结果表明: EC预报整体偏小, 预报效果陆地站优于岸基站优于海岛站。分不同风速等级分析得出, 风速误差随着风速等级增加而增大, 预报准确率随风速等级增加而降低。3级以下, 预报偏小, 4~5级, 岸基站和海岛站预报偏小, 6级以上, 内陆站预报偏大, 海岛站预报偏小。且3级以下的风速预报, EC预报风速等级和实测风速等级相差在-1~0级之间, 占65%。4~5级风速预报, 内陆站、岸基站风速等级差主要集中在0~1级之间, 而海岛站风速差主要集中在-1~0之间, 均达到65%, 6级以上陆地站风速等级差主要分布在0~1级之间, 占近30%, 岸基站分布在1~2级之间, 占44%, 而海岛站分布在-2~-1之间, 占53%。利用风速等级差对2019~2020年EC预报风速进行订正后, 风速准确率均有一定程度的提升, 尤其对于6级以上的风速准确率提升最高, 整体提高38%以上。

## 关键词

EC, 风速, 误差, 准确率

# Applicability of EC Model in Wind Field Forecasting in Qingdao and Its Coastal Areas

Mingxiao Gong<sup>1,2</sup>, Yan Ma<sup>3</sup>, Yeli Fu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Jimo Meteorological Service, Qingdao Shandong

<sup>2</sup>Qingdao Municipal Meteorological Disaster Prevention Engineering Technology Research Center, Qingdao Shandong

<sup>3</sup>Qingdao Meteorological Service, Qingdao Shandong

Received: Feb. 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 16<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 27<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

In order to better develop the wind field service in Qingdao and its coastal areas, this paper tests and evaluates the applicability of the ECMWF fine grid products and the 10-meter wind field forecast of the GFS model in Qingdao and its coastal areas in 2017~2018. The results show that the overall EC forecast is relatively small, and the forecast effect of land stations is better than that of shore stations and island stations. According to the analysis of different wind speed levels, the wind speed error increases with the increase of the wind speed level, and the forecast accuracy decreases with the increase of the wind speed level. Below level 3, the forecast is too small, for levels 4~5, the forecast for shore base stations and island stations is small, and for levels above 6, the forecast for inland stations is too large, and the forecast for island stations is small. And for the wind speed forecast below level 3, the difference between the EC forecast wind speed level and the measured wind speed level is between -1 and 0, accounting for 65%. 4~5 wind speed forecast, the difference in wind speed between inland stations and shore base stations is mainly between 0 and 1, while the difference in wind speed at island stations is mainly between -1 and 0, both reaching 65%. The wind speed grade difference between the stations is mainly distributed between 0 and 1, accounting for nearly 30%, the shore base stations are distributed between 1 and 2, accounting for 44%, and the island stations are distributed between -2 and -1, accounting for 53%. After correcting the 2019~2020 EC forecast wind speed by using the wind speed grade difference, the wind speed accuracy has been improved to a certain extent, especially for the wind speed above level 6, the accuracy has been improved the most, with an overall increase of more than 38%.

## Keywords

EC, Wind Speed, Deviation, Accuracy

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

数值预报技术的发展给天气预报提供了重要的技术支撑，成为天气预报不可缺少的重要工具。近年来，各种数值模式对于风场预报的可参考性越来越高，预报员对于预报产品的依赖程度也越来越高。而各种模式预报的风场各有优劣，为更好地利用数值模式来提高风场预报的准确性，学者们已经对数值预报在不同区域的适用性进行了很多对比分析和检验[1]-[6]。曾瑾瑜等[7]对 WRF、EC 和 T639 模式在福建沿海冬半年大风预报进行检验，结果表明 WRF 和 EC 细网格对福建沿海冬半年大风的预报效果很好，而 T639 的可参考性不高。进而高聪晖等[8]利用线性回归方法对福建宁德海区的 WRF 模式的预报产品进行订正，订正后风场准确率有明显提升，其中对东北风的预报准确率最高，东南风预报效果最差。荣艳敏等[9]基于中尺度数值预报 WRF\_RUC 模式的预报产品，采用逐步回归的 MOS 方法对山东 12 个精细化海区的大风进行了检验应用，结果表明 MOS 预报方法对 6 级以上日最大风速有很好的预报能力，但对 4 级以下小风预报能力较差。阎丽凤等[10]利用 MM5、WRF-RUC 和 T639 模式对山东沿海风场的预报进行了分级检验，结果表明：T639 模式预报风力偏弱，对于 4 级以下的风预报评分较高，而对于 8 级以上大风几乎没有预报能力。侯淑梅等[11]就 T639 数值预报产品对黄渤海沿海地区大风的预报准确率进行统计，发现 T639 数值预报对黄渤海沿海大风具有较好的预报准确率，漏报率较低，但对于台风类的预报能力偏

差,且预报数值比实况偏小。当预报有气旋或预报时间长、范围大的大风场时,实况风速将增大 1~2 个量级。

青岛作为我国东部重要沿海城市,连接着全球超过 180 个国家和地区的 700 余个港口,是连通“一带一路”的重要港口枢纽城市,被定位为“新亚欧大陆桥经济走廊主要节点城市”和“海上合作战略支点”,同时青岛也是我国重要的海洋捕捞、海水养殖和港口城市,因而对青岛风场的预报研究具有重要意义。由于风的复杂多变及其局地性强等特点[10][12],风的预报依然是个难点,因此对不同地区的模式预报风进行针对性的检验分析,才能有效地提高风的预报准确率。本文对青岛及其沿海地区的 EC 细网格数值预报模式进行检验分析,分不同区域、不同风速等级,分析 EC 在青岛地区的适用性,然后对其进行订正,给出风场的订正参考值,为青岛及其沿海地区风场的预报提供一定的参考意义。

## 2. 资料和数据处理方法

### 2.1. 实况数据

本文选取的是 2017 年~2020 年青岛及其沿海地区的 83 个考核站点的逐小时内的最大 10 分钟平均风速作为对比研究对象,分析 2017~2018 年 EC 预报风场在青岛地区的适用性,同时根据对比分析结果提出检验方法,对 2019 年~2020 年 EC 风场预报进行订正检验。83 个考核站点(见图 1)中包括 67 个陆地站点,8 个岸基站和 7 个海岛站,基本涵盖了青岛全部区域和沿海地区不同地理位置,能真实的反映青岛地区的风场的变化特征。

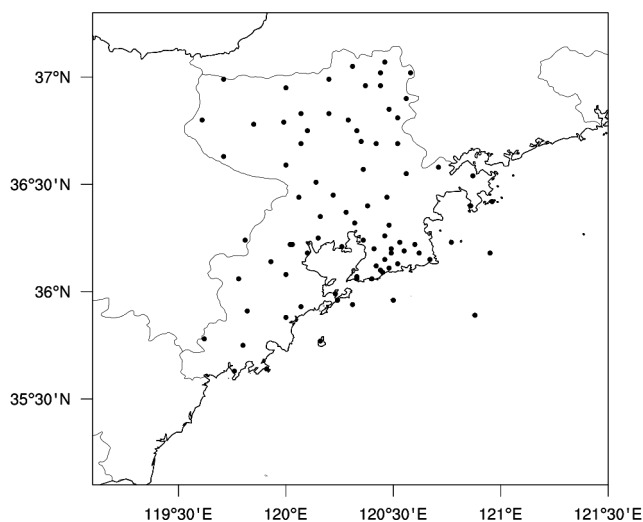


Figure 1. Qingdao regional station distribution map

图 1. 青岛区域站点分布图

### 2.2. 模式数据

本文采取的欧洲中期天气预报中心(ECMWF)细网格(下文简称 EC)风场数据是由中央气象台下发的,经转化后的 Micaps 第 4 类数据格式的格点数据(按照从西到东,从南到北逐个格点排列),空间分辨率为  $0.125^\circ \times 0.125^\circ$ ,时间分辨率为 3 h。资料时间为 2017 年~2020 年,每日 2 次。

### 2.3. 数据处理

为了统一预报时效,选取 EC 模式 20:00 (北京时)起报的 24 h 时效内的 10 m 风场,利用双线性插值

的方法将模式的格点资料插值到 83 个站点上。对模式风场而言，因输出的是 10 m 风场平均风，取其预报的最大风速值作为该时效内的最大风预报，风向即为该最大风速值对应的风向[7]。对实况风场而言，即取时效内的最大风速值用作对比分析，风向为此最大值对应的风向。

数据对比检验主要采用指标有 3 个：平均偏差(BIAS)，平均绝对偏差(RMAE)和准确率(T)。为计算风速预报的准确率，设定若预报风速和观测风速处于同一风速等级，则判断为预报正确，计算准确率 T。具体公式如下：

$$\text{平均偏差: } BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)}{n} \quad (1)$$

$$\text{平均绝对偏差: } R_{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - B_i|}{n} \quad (2)$$

$$\text{准确率 } T: T = C/n \quad (3)$$

其中，A 为模式风场的最大风速或风向，B 为站点实测的最大风速或风向，i 为第 i 个样本，C 为预报风速等级与实测风速等级相同的样本个数，n 为样本量。

### 3. 模式预报风场误差综合分析

将站点分为陆地站，岸基站，海岛站三类，分别将三类站点 EC 预报最大风速及其对应的风向与站点实测风场数据的最大风速及其对应的风向进行对比分析。从表 1 可以看出：就风速来说，陆地站，岸基站和海岛站 EC 预报的最大风速与实测的最大风速平均误差分别为-0.3 m/s，-0.9 m/s 和-1.4 m/s，绝对误差分别为 1.4 m/s，2.4 m/s 和 3.1 m/s，风速预报准确率分别为 43.0%，38.2%和 21.3%。可以看出 EC 预报最大风速平均误差较小，且均为负值，即 EC 预报最大风速较实测风场整体偏小，平均误差和绝对误差均为陆地站 < 岸基站 < 海岛站，从风速准确率来看，整体预报准确率不高，三类站点均低于 50%，且陆地站 > 岸基站 > 海岛站。

**Table 1.** Comparison and analysis of wind speed and wind direction

**表 1.** 分区风速风向对比分析

	风速平均误差	风向平均误差	风速绝对误差	风向绝对误差	风速准确率	风向准确率
内陆站	-0.3	-1.1	1.4	38.8	47.7%	43.0%
岸基站	-0.9	-1.9	2.4	45.1	38.2%	41.0%
海岛站	-1.4	-9.4	3.1	37.9	21.3%	49.4%

从风向来看，陆地站，岸基站，海岛站预报的风向与实测风向平均误差分别为-1.1°，-1.9°和-9.4°，绝对误差分别为 38.8°，45.1°和 37.9°，风向准确率分别为 43.0%，41.0%和 49.4%。可以看出，风向预报陆地站优于海岛站优于岸基站。

## 4. 不同风速条件下风速预报误差和准确率分析

### 4.1. 不同风速等级下 EC 预报风速误差和准确率分析

按实测风场的风速等级将 EC 预报的最大风场分 3 级以下，4~5 级和 6 级以上三个不同风速等级进行对比分析(见表 2)，结果发现 EC 风速和风向误差和准确率与风速大小有较大关系，本章节主要分析风速风向误差及准确率与风速等级之间的关系。

**Table 2.** Comparison and analysis of wind speed and direction in different wind speed grades  
**表 2.** 不同风速等级风速风向分区对比分析

		风速平均误差	风向平均误差	风速绝对误差	风向绝对误差	风速准确率	风向准确率
3 级以下	内陆站	-0.5	-1.0	1.2	43.5	50.5%	38.8%
	岸基站	-1.3	-0.9	1.9	51.7	44.4%	36.1%
	海岛站	-1.5	-6.9	2.3	50.6	23.4%	40.6%
4~5 级	内陆站	0.1	-1.5	1.7	28.4	42.2%	52.3%
	岸基站	-0.7	-4.0	2.8	41.3	34.0%	44.5%
	海岛站	-1.4	-11.0	3.3	34.7	20.8%	51.6%
6 级以上	内陆站	6.1	-26.5	6.7	94.4	14.4%	23.9%
	岸基站	0.1	10.5	4.7	32.8	15.4%	50.5%
	海岛站	-1.6	-11.6	4.7	32.8	17.3%	62.3%

将实测最大风速分为 3 级以下, 4~5 级以及 6 级以上三个等级, 分别分析不同等级的风速风向预报的平均误差, 绝对误差和准确率。从风速来看, 风速等级在 3 级以下时, 陆地站, 岸基站, 海岛站的 EC 预报平均误差较小, 分别为 $-0.5$  m/s,  $-1.3$  m/s,  $-1.5$  m/s, 均为负值, 即 3 级以下的风场 EC 风速预报整体小于实测风速, 绝对误差分别为 1.2 m/s, 1.9 m/s 和 2.3 m/s, 准确率对应的分别为 50.5%, 44.4% 和 23.4%, 预报结果陆地站优于岸基站优于海岛站。而风速等级在 4~5 级, 陆地站, 岸基站, 海岛站平均误差分别为 0.1 m/s,  $-0.7$  m/s 和  $-1.4$  m/s, 绝对误差分别为 1.7 m/s, 2.8 m/s 和 3.3 m/s, 准确率分别为 42.2%, 34.0% 和 20.8%, 可以看出对于 4~5 级风速预报, 内陆站 EC 预报略偏大于实测风速, 岸基站和海岛站 EC 预报较实测风速偏小, 预报准确率趋势同 3 级以下均为陆地站优于岸基站优于海岛站, 但较 3 级以下准确率均偏低, 虽然平均误差较 3 级以下偏小, 但是从绝对误差和准确率看, 4~5 级风速预报效果不如 3 级以下。而对于 6 级以上风速, 陆地站, 岸基站和海岛站平均误差分别为 6.1 m/s, 0.1 m/s 和  $-1.6$  m/s, 可以看出陆地站 EC 预报风速小于实测风速, 且平均误差较大, 而海岛站 EC 预报风速大于实测风速, 岸基站误差平均较小, 但三者绝对误差均较大, 准确率均低于 20%, 且预报准确率海岛站大于岸基站大于陆地站。可见, 6 级以上风速预报效果较差。

总体来看, 风速等级越大, 误差越大, 预报准确率越低。3 级以下和 4~5 级风速误差均较小, 准确率陆地站优于岸基站优于海岛站。6 级以上, 准确率均较低, 且海岛站优于岸基站优于陆地站。且对于陆地站而言, 3 级以下 EC 预报偏小, 6 级以上 EC 预报偏大。岸基站 3 级以下和 4~5 级 EC 预报均偏小。海岛站所有等级均偏小。可以看出, 3 级以下, 预报均偏小, 4~5 级, 岸基站和海岛站预报均偏小, 6 级以上, 内陆站预报, 海岛站预报偏小。而 4~5 级内陆站和 6 级以上岸基站, 平均误差 0.1 m/s 太小, 暂不判断。

对风向而言, 风向绝对误差和准确率与风速规律相反。对于海岛站和岸基站, 风速越大, 误差越小, 预报准确率越高, 且海岛站准确率高于岸基站。而对于内陆站, 6 级以上准确率最低, 其次为 3 级以下, 4~5 级最高。因实际业务中风向的准确率是以风速准确为前提, 故后文暂且以风速预报分析为主。

#### 4.2. 不同风速等级下 EC 预报风速等级差分布

利用平均误差方法判断 EC 预报较实际偏大或者偏小容易受平均的影响, 因而除了计算准确率外, 另外分析了 EC 风速等级与实测风速等级差分布, 分别计算了 EC 风速等级与实测风速差 $\pm 1$  级,  $\pm 2$  级的概率, 从图 2 和表 3 可以看出, 对于 3 级的风速预报, EC 预报风速等级和实测风速等级差异主要集中在  $-1$  至 1 级之间, 占 80% 以上, 且主要集中在  $-1$  至 0 级之间, 占 65% 以上。对于 4~5 级风速预报, 准确

率略低于 3 级以下，内陆站、岸基站风速预报等级与实测风速差主要集中在 0 至 1 级之间，而海岛站风速差主要集中在-1 至 0 之间，均达到 65%以上。而对于 6 级以上风速，准确率很低，不足 20%。陆地站和岸基站整体预报偏大，海岛站偏小。陆地站 EC 风速等级与实测风速等级差主要分布在 0 至 1 级之间，占近 30%，岸基站分布在 1 至 2 级之间，占 44%，而海岛站分布在-2 至-1 之间，占 53%。

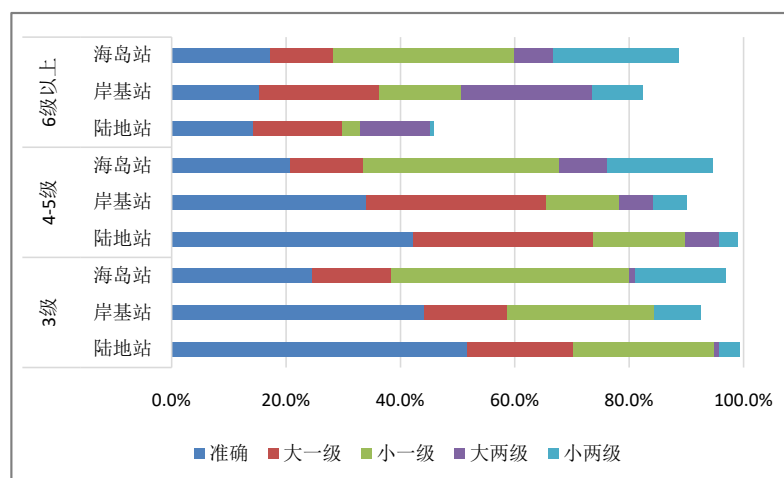


Figure 2. The accuracy ratio of different wind speed grades

图 2. 不同风速等级分区准确率占比图

Table 3. Accuracy analysis of different wind speed grades

表 3. 不同风速等级分区准确率分析

		正确	小一级	大一级	小两级	大两级
3 级以下	内陆站	51.6%	24.6%	18.6%	3.6%	0.9%
	岸基站	44.2%	25.6%	14.6%	8.2%	0.1%
	海岛站	24.6%	41.5%	13.9%	15.8%	1.1%
4~5 级	内陆站	42.2%	16.1%	31.6%	3.3%	5.9%
	岸基站	34.0%	12.6%	31.6%	5.9%	6.0%
	海岛站	20.8%	34.2%	12.7%	18.5%	8.4%
6 级以上	内陆站	14.4%	3.2%	15.4%	0.5%	12.2%
	岸基站	15.4%	14.3%	20.9%	8.8%	23.1%
	海岛站	17.3%	31.6%	11.0%	21.9%	6.8%

在实际预报中风速预报一般为 3~4 级，4~5 级等的形式，所以利用上述等级分布特征，在实际预报中可以将 EC 预报最大风速 3 级以下的风速预报为 EC 预报最大风速等级(后文用 D 代替)减 1 级至 D，即 (D - 1) - D。具体订正方案如表 4:

Table 4. Revised schemes for different wind speed grades

表 4. 不同风速等级分区订正方案

	陆地站	岸基站	海岛站
3 级	D 至 D + 1	D 至 D + 1	D 至 D + 1
4~5 级	D - 1 至 D	D - 1 至 D	D 至 D + 1
6 级以上	D - 1 至 D	D + 1 至 D + 2	D - 2 至 D - 1



## 5. 订正与检验

**Table 5.** Comparison of wind speed accuracy before and after correction  
**表 5.** 订正前后风速准确率对比

风速等级	分类	原始	订正
3 级	内陆站	51.6%	80.5%
	岸基站	54.5%	79.6%
	海岛站	24.5%	64.8%
4~5 级	内陆站	43.7%	72.8%
	岸基站	37.8%	67.5%
	海岛站	20.4%	55.8%
6 级以上	内陆站	35.9%	71.7%
	岸基站	21.7%	50.6%
	海岛站	13.0%	55.6%

利用上一章中风速等级订正的方法,对 2019~2020 年 EC 预报最大风速进行订正及检验。分区域和分风速进行,从表 5 可以看出,订正后准确率明显高于订正前。3 级以上,4~5 级和 6 级以上总准确率从 50.1%,37.7%和 18.4%提升至 78.8%,68.5%和 56.8%。其中,EC 预报 3 级,陆地站、岸基站准确率从 50%以上提升至 80%左右,而海岛站从 24.5%提升至 64.8%。4~5 级,准确率也皆提升接近 30%以上。6 级以上,陆地、岸基和海岛站分别提升了 35.9%,28.9%和 42.6%。可以看出,订正后整体准确率皆有一定程度的提升,而对于 6 级以上的风速准确率提升最高,整体提高 38%以上。

## 6. 结论

经过 2017~2018 年的 EC-thin 模式预报 10 米风场数据与青岛区域及其沿海 83 个站点的实测 10 米风场数据的对比分析,及 2019~2020 年模式预报风场的订正检验,EC 数值预报最大风场在青岛地区的特征主要有:

1) 总体来看,对于最大风速的预报 EC 预报结果普遍较实际风速偏小,且风速准确率陆地站优于岸基站优于海岛站。对风向的预报,绝对误差基本介于 30°~45°之间,风向准确率陆地站优于海岛站优于岸基站。

2) EC 预报风速误差和准确率受风速大小的影响较大。分风速等级分析结果显示:风速等级越大,误差越大,预报准确率越低。3 级以下和 4~5 级风速误差均较小,准确率陆地站优于岸基站优于海岛站。6 级以上,准确率均较低,且海岛站优于岸基站优于陆地站。具体表现为:3 级以下,预报均偏小,4~5 级,岸基站和海岛站预报均偏小,6 级以上,内陆站预报,海岛站预报偏小。风向绝对误差和准确率与风速规律相反。对于海岛站和岸基站,风速越大,误差越小,预报准确率越高,且海岛站准确率高于岸基站。而对于内陆站,6 级以上准确率最低,其次为 3 级以下,4~5 级最高。

3) 通过计算 EC 预报风速等级与实际风速对比分析得出,3 级以下的风速预报,EC 预报风速等级和实测风速等级相差在-1~0 级之间,占 65%以上。对于 4~5 级风速预报,准确率略低于 3 级以下,内陆站、岸基站风速预报等级与实测风速差主要集中在 0~1 级之间,而海岛站风速差主要集中在-1~0 之间,均达到 65%以上。而对于 6 级以上风速,准确率很低,不足 20%。陆地站和岸基站整体预报偏大,海岛站偏小。陆地站 EC 风速等级与实测风速等级差主要分布在 0~1 级之间,占近 30%,岸基站分布在 1~2 级之间,占 44%,而海岛站分布在-2~-1 之间,占 53%。

4) 利用等级订正的方法对 2019~2020 年的 EC 预报进行订正, 准确率有了明显的提升, 总体准确率从 45.3% 提升至 74.9%, 提升幅度为 29.5%。内陆站、岸基站和海岛站分别提升至 78.2%, 72.5% 和 58.2%, 3 级以下, 4~5 级和 6 级以上 3 个风速等级预报准确率分别提升至 78.8%, 68.5% 和 56.8%。订正后整体准确率皆有一定程度的提升, 尤其对于 6 级以上的风速准确率提升最高, 整体提高 38% 以上。

## 参考文献

- [1] 康志明. 2009 年 6-8 月 T639, ECMWF 及日本数值模式中期预报性能检验[J]. 气象, 2009, 35(11): 143-149.
- [2] 万夫敬, 赵传湖, 马艳, 等. ECMWF 模式气温预报在青岛地区的检验与评估[J]. 气象科技, 2018, 46(1): 112-120.
- [3] 王焕毅, 谭政华, 杨萌, 等. 三种数值模式气温预报产品的检验及误差订正方法研究[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(1): 22-29.
- [4] 张亚妮, 张金艳. 2010 年 12 月至 2011 年 2 月 T639 与 ECMWF 及日本模式中期预报性能检验[J]. 气象, 2011, 37(5): 633-638.
- [5] 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(13): 22.
- [6] 周昆, 郝元甲, 姚晨, 等. 6 种数值模式在安徽区域天气预报中的检验[J]. 气象科学, 2010, 30(6): 801-805.
- [7] 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.
- [8] 高聪晖, 曾瑾瑜. 基于 MOS 方法的宁德海区风的预报检验分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(4): 17-24.
- [9] 荣艳敏, 闫丽凤, 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.
- [10] 阎丽凤, 盛春岩, 肖明静, 等. MM5、WRF-RUC 及 T639 模式对山东沿海风力预报分级检验[J]. 气象科学, 2013, 33(3): 340-346.
- [11] 侯淑梅, 张少林, 盛春岩, 等. T639 数值预报产品对黄渤海沿海大风预报效果检验[J]. 海洋预报, 2014(6): 48-56.
- [12] 马艳, 郭飞燕, 郭丽娜, 等. 基于 1899-2015 年观测资料的青岛风环境变化特征[J]. 山东气象, 2018(3): 67-74.