

潘静,陈峥蓉,黄燕波,等. 基于 MOS 的广西北部湾沿海秋冬极大风速精细化预报[J]. 气象研究与应用,2022,43(1):26–30.

Pan Jing, Chen Zhengrong, Huang Yanbo, et al. Refined prediction of maximum wind speed in autumn and winter along the coast of Guangxi Beibu Gulf based on MOS[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(1): 26–30.

# 基于 MOS 的广西北部湾沿海秋冬极大风速精细化预报

潘 静<sup>1</sup>, 陈峥蓉<sup>1</sup>, 黄燕波<sup>2</sup>, 于 潇<sup>1</sup>, 张雪波<sup>1</sup>, 何 滨<sup>1</sup>

(1.钦州市气象局, 广西 钦州 535000; 2.北海市气象局, 广西 北海 536000)

**摘要:** 采用北部湾北部沿海 6 个自动站实况资料和欧洲中心细网格数值预报产品, 根据模式输出统计法 (MOS), 对广西北部湾地区 2012 年—2016 冬半年 (9 月到次年 2 月) 日极大风速建立站点秋冬季不同预报时效的多元线性回归方程, 并用 2017 冬半年的数据进行 TS 检验评分。结果表明, 秋冬季日极大风速和代表引导气流的 500hPa 蒙古槽、代表南北气压梯度强弱的地面气压差、代表南北温度梯度强弱的高空温度差、站点高空风速及相对湿度等因子有较大的相关性。冬季方程的预报效果普遍好于秋季, 大庙墩岛、青菜头岛、双墩岛、斜阳岛冬季的预报方程各级风的正确率都在 60% 以上, 涠洲岛和北海港的预报方程正确率较低, 在 60% 以下。

**关键词:** MOS 方法; 海上大风; 日极大风速; 多元线性回归

**中图分类号:** P457.5

**文献标识码:** A

**doi:** 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.1.05

## 引言

海上大风是海洋气象预报的重要影响天气之一, 目前海上大风预报主要是在 EC、T639、WRF 等模式的基础上开展解释应用, 随着精细化预报需求的提高, 很多气象学者开展了大风精细化预报方法研究。候淑梅等<sup>[1]</sup>发现 T639 预报产品对黄渤海大风具有较好的预报准确率, 当预报大风时间长且范围大时, 实况风将增大 1~2 个蒲氏风级。荣艳敏<sup>[2]</sup>等基于中尺度数值模式 WRF\_RUC 的预报产品, 采用逐步回归的 MOS 方法, 对山东 12 个精细海区代表站有关大风进行解释应用, 结果表明 MOS 预报方法对 6 级以上日最大风速有较好的预报能力, 较模式直接输出的预报结果有了明显的提高。朱智慧<sup>[3]</sup>用国家气象中心全球谱模式 T639 预报产品对上海市南汇站 24h 风速预报进行了检验, 并利用逐步回归分析方法, 结合逐步订正的 MOS 方程建模, 建立的几种风速 MOS 方程均比 T639 预报效果好。阎丽凤<sup>[4]</sup>对 MM5、WRF\_RUC 和 T639 模式在山东沿海 9 个

精细化海区代表站的日最大风速预报进行了检验, 发现各模式普遍存在小风天气预报偏大, 大风天气预报偏小的特点。精细化海区大风的预报技术在其它海域得到了广泛的应用<sup>[5-7]</sup>, 但高分辨率数值预报风速产品在北部湾海域预报检验和应用研究较少。高安宁等<sup>[8]</sup>利用气压梯度、低空锋区和引导气流 3 个因子建立了北部湾北部海面强风中后期预报方法, 进行了大风过程预报检验。本文对 EC 高分辨率数值预报产品用 MOS 方法进行解释应用, 建立精细化海区逐日极大风速预报方程, 并进行检验评估, 进一步提高北部湾海域极大风速精细化预报水平。

## 1 资料和方法

将北部湾海域按行政区划分为北海、钦州、防城港 3 个海域, 选出各海域代表站点进行研究分析。选取站点包括北海海域的涠洲岛 (59647)、斜阳岛 (N9080) 和北海港 (N9090), 钦州海域的青菜头岛 (N7610) 和大庙墩岛 (N7611), 防城港海域的双墩岛 (N9540) 等 6 个站点。实况资料采用 2012—2016 年总共 5 个冬

收稿日期: 2021-11-25

基金项目: 广西气象局气象科研计划 (桂气科 2017Z07)、广西气象局气象科研计划 (桂气科 2016M19)、钦州市科学研究与技术开发计划项目 (20204113)

作者简介: 潘静 (1986—), 女, 广西南宁人, 工程师, 主要从事天气预报服务工作。E-mail: 215810824@qq.com

半年(9月到次年2月)6个站点逐日极大风数据;模式资料采用欧洲中心细网格数值预报2012—2016年冬半年逐日08时和20时起报的高度场、海平面气压场、相对湿度场、温度场、风场等产品。

目前北部湾海面偏北大风常用预报方法主要有:天气图分析方法、完全预报方法(PPM)和模式输出统计方法(MOS)。MOS方法直接把数值预报模式的输出产品作为预报因子 $x(t)$ ,并与预报时效对应时刻的天气实况(预报对象 $Y(t)$ )建立统计关系 $Y(t)=f(x(t))$ 。MOS方法最大的优点是在建立方程时自动地考虑了数值预报的系统误差及局地气候学,同时大量利用了数值预报的物理量场,效果往往较好<sup>[9]</sup>。本文根据模式输出统计法(MOS),按秋季(9月—11月),冬季(12月—2月)分别建立广西北部湾海域6个站点24~72h不同时效的多元线性回归预报方程,并用2017冬半年的数据对预报方程进行TS检验评分。

文中预报因子与风速关系通过计算相关系数( $r$ )来表征,相关系数 $r$ 的计算公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

式中, $r_{xy}$ 表示物理量 $X$ 与 $Y$ 的相关系数, $\bar{X}$ 表示物理量 $X$ 的平均值, $\bar{Y}$ 表示物理量 $Y$ 的平均值, $X_i$ 表示第 $i$ 个物理量 $X$ 的值, $Y_i$ 表示第 $i$ 个物理量 $Y$ 的值, $n$ 表示两个物理量的样本数。相关系数为0表示两个变量无关,相关系数大于0称为正相关,相关系数小于0称为负相关,相关系数在-1与+1之间变化。

## 2 结果与分析

### 2.1 预报因子的初选

气压场、温度场、高度场、各层风场、相对湿度等预报因子与极大风速均有直接相关性,结合有关文献提出造成北部湾海面强风的3个主导影响因素<sup>[8,10-15]</sup>:即地面气压梯度、850hPa锋区强度和500hPa引导气流,以及北部湾冬季强风气候特征,本文选取了08时和20时起报的500hPa高度场、海平面气压场、700hPa和850hPa相对湿度、850hPa温度,以及200hPa、500hPa、700hPa、850hPa、925hPa、1000hPa风速、10m风速,桂林-汉口、桂林-恩施、海

口-恩施、桂林-成都、海口-桂林、海口-汉口及桂林-兴仁的1000~850hPa温度差,兰州-海口、乌鲁木齐-海口、汉口-海口、成都-海口、桂林-海口、兴仁-海口、兴仁-赣州、成都-杭州及桂林-兴仁的气压差等98个预报因子<sup>[14]</sup>。

### 2.2 预报因子与风速的相关分析

将预报量极大风速与选出的各个因子进行相关性分析,经统计分析相关系数如下:

(1)除北海港外,其它5个站点冬季(12—2月)日极大风速均与代表高空引导气流的因子存在相关,其中与500hPa蒙古槽相关系数最大,在0.3~0.4之间;

(2)代表南北气压梯度强弱的5个气压差因子均与冬半年日极大风速呈明显的正相关,相关系数在0.3~0.8之间,说明南北气压梯度是影响北部湾海面冬半年日极大风速的主要因子之一;

(3)6个站点冬季(12—2月)日极大风速与代表冷空气影响路径的东西气压梯度3个因子存在相关,但这类因子在秋季(9—11月)影响较小;

(4)代表低层南北温度梯度强弱的1000~850hPa温度差因子与6个站点冬半年日极大风速值呈正相关;

(5)高空风速与各站点冬半年日极大风速呈正相关,越往低层相关系数越大,说明日极大风速受高空风动量下传的影响,这类因子与高空风速季节性变动、数值模式初始场准确性有关;

(6)各站低层(700hPa和850hPa)湿度与冬半年日极大风速呈正相关,平均相关系数在0.2~0.3之间,比较稳定。

### 2.3 多元线性回归方程的建立

在研究过程中,分别利用逐步回归方法和多元线性回归方法建立方程。结果显示,多元线性回归方程检验评估结果明显优于逐步回归方程,因此下文主要介绍多元线性回归方法。在风速与预报因子单点相关普查的基础上,选取相关系数大而且互相独立的预报因子按不同站点、不同预报时效分别建立因子库,同一物理量的不同起报时刻作为不同因子放入同一时效方程中。根据相关系数大小,按能通过0.05显著性 $t$ 检验的标准对预报因子库进行排序筛选,剔除一些与预报量相关不大而且物理意义不明显的因子,将最后入选的因子和实况按一一对应关

系建立多元线性回归方程,并进行统计显著性检验。结果显示:在显著水平  $\alpha=0.05$  下,根据各站回归方程不同的样本得到的计算值,始终有  $F>F_{\alpha}$ ,表明回归方程通过显著检验。从 6 个站点冬季不同预报时效的回归方程参数分布图(略)可以看出:

(1)在总自由度固定的情况下,站点日极大风速值的总平方和(总离差平方和)是固定不变的。总平方和所分解的回归平方和与残差平方和成反比例,残差平方和越小,回归平方和越大,复相关系数  $R$  就越高,方程的残差均方差估计就越小。

(2)复相关系数平方  $R^2$  是反映预报因子对预报量的线性回归解释的部分,可以作为衡量回归方程拟合量的一个指标<sup>[15]</sup>。对同一站点  $R^2$  比较发现:随着预报时效增加,相关系数加大, $R^2$  减小;同一预报时效的方程  $R$  冬季大于秋季,说明回归方程拟合随着预报时效增加而减小,冬季预报方程拟合好于秋季。对各站点预报方程的  $R^2$  进行比较发现:秋季涠洲岛、大庙墩岛和青菜头岛的预报方程拟合最好,斜阳岛预报方程拟合最差;冬季双墩岛、青菜头岛和大庙墩岛的预报方程拟合最好,北海港的预报方程拟合最差,反映出北部湾冬季风速代表性好的站点相对于代表性差的站点对于预报因子更为敏感。

(3)从同时次预报方程可以看出:相关系数越高,预报因子引入减少,残差平方和升高。以涠洲岛冬季 48h 预报方程为例,相关系数由 0.5 降至 0.4 时,组成回归方程的因子数由 23 个增加到 43 个,残差平方和下降了 93.4,表明增加因子会使方程均方差缩小,有利于对风速的拟合。但当因子数增加到一定程度,残差平方和下降的幅度会变小,以涠洲岛冬季 48h 预报方程为例,相关系数由 0.3 降至 0.2 时,组成回归方程的因子数由 64 个增加到 78 个,残差平方和只下降了 56.4,说明增加因子对提高方程的精度作用减小。

## 2.4 多元线性回归方程的检验评分

采用对预报方程进行 TS 检验的方法,选择出预报效果最好的方程。对 2016 年 12 月至 2017 年 2 月(冬季)和 2017 年 9 月至 11 月(秋季)6 个站点的不同相关系数方程得出的日极大风速  $\geq 5$  级、 $\geq 6$  级、 $\geq 7$  级和  $\geq 8$  级进行 TS 评分检验,检验公式如下:

$$\text{TS 评分: } TS_k = \frac{NA_k}{NA_k + NB_k + NC_k} \quad (2)$$

$$\text{漏报率: } PO_k = \frac{NC_k}{NA_k + NC_k} \quad (3)$$

$$\text{空报率: } FAR_k = \frac{NB_k}{NA_k + NB_k} \quad (4)$$

其中  $k$  为等级,  $NA_k$  为预报正确次数、 $NB_k$  为空报次数、 $NC_k$  为漏报次数。预报正确指预报风速达到或超过 5(或 6 或 7 或 8)级,实况风速也达到或超过 5(或 6 或 7 或 8)级;空报指预报风速达到或超过 5(或 6 或 7 或 8)级,实况风速小于 5(或 6 或 7 或 8)级;漏报指预报风速小于 5(或 6 或 7 或 8)级,实况风速达到或超过 5(或 6 或 7 或 8)级。

设目标评分为正确率 80%,空报率 20%,漏报率为 0,对各个站点 48h 预报方程评分结果进行分析:

(1)涠洲岛站秋季所有预报方程中,5 级风和 8 级风 TS 评分的正确率达到 80%;冬季 5 级风的正确率达到 80%,但 7 级、8 级的漏报率都在 40%以上,说明冬季其预报方程对日极大风速级别的预报效果不好。

(2)大庙墩岛站秋季预报方程中各级风的正确率都在 40%以上,5 级和 6 级风都在 70%以上;冬季预报方程中各级风的正确率都在 60%以上,空报率都在 40%以下,漏报率在 20%以下,说明其正确率随风级变化不明显,冬季预报方程的预报效果好于秋季。

(3)青菜头岛站秋季 5 级风的正确率达到 80%,随着风级的加大正确率下降,8 级风的正确率较低在 50%以下同时漏报率较高在 40%以上;冬季预报方程中各级风的正确率都在 60%以上,空报率和漏报率在 30%以下,其中 24h 预报方程中 5 级风的正确率最高达到 90.9%,48h 预报方程中 8 级风的正确率最高达到 87.5%,为所有站点同风级中最高。

(4)斜阳岛站秋冬季预报方程结果相似,5 级和 6 级风的 48h 正确率基本上都在 80%以上,5 级和 6 级风的 48h 正确率随着预报时效增加有下降趋势,8 级风 48h 正确率在 50%左右,漏报率较高在 30%左右,其它风级 48h 都在 20%以下。

(5)北海港秋季和冬季的预报方程结果相似,5 级风的正确率均在 70%左右,其余风级都在 60%以下,并且正确率随着预报时效和风级的加大有下降趋势,总体正确率在所有站点同风级中最低,其预报效果最差。



(6)双墩岛秋季预报方程中,5 级风 TS 评分的正确率达到 80%,正确率随着风级加大有下降趋势;冬季方程预报效果普遍好于秋季,各级风速的正确率都在 60%~90%之间,正确率随着预报时效和风级的加大变化趋势不明显,冬季 72h 预报方程中 7 级风的正确率最高达到 91.7%,在各站点同风级中最高。

### 3 结论与讨论

(1)气压差、温度差和高空风速是与冬半年日极大风速相关性最大的因子,高空引导气流和低层湿度场与日极大风速存在相关。

(2)回归方程拟合度随着预报时效增加而减小,冬季预报方程的拟合度优于秋季。北部湾冬季风速代表性好的站点相对于代表性差的站点对于预报因子更为敏感。

(3)对冬半年日极大风速影响最大的因子是冷空气,文中选出的预报因子大多都是与冷空气密切相关的气压差和温度差,不考虑其它影响较小的因子,这可能导致部分预报方程 TS 评分未能达到 80%,有待进一步研究。

多数预报方程正确率随着预报时效和风级的增加有下降趋势,文中多元线性回归方程的建模时间仅有 5a,进行检验的数据为 1a,较大风级的样本量偏少,也会影响方程的预报效果。

#### 参考文献:

[1] 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,2014,31(6):48-56.

[2] 荣艳敏,闫丽风,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.

[3] 朱智慧,黄宁立.全球谱模式 T639 产品在南汇站风速预报中的统计释用[J].大气科学研究与应用,2011(1):30-37.

[4] 闫丽风,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.

[5] 王黄,李英,吴哲红,等.我国大风机理研究和预报技术进展[J].气象科技,2019,47(4):600-607.

[6] 蔡晓杰,王琴,朱智慧,等.上海沿岸海域灾害性大风特征研究与预报检验[J].海洋预报,2020,37(2):46-53.

[7] 魏晓雯,陈亮,赵蕾,等.南海港口大风的环流特征及其预报指标——以海南洋浦港为例[J].气象科技,2021,49(5):754-761.

[8] 高安宁,黄香杏,林开平.北部湾北部海面强风成因及其中期预报探讨[J].广西气象,1997,18(2):26-29.

[9] 黄嘉佑.气象统计分析与预报方法[M].北京:气象出版社,2004.

[10] 邓朝亮,孔宁谦.广西沿海的风况特征[J].海洋预报,1999,16(1):72-79.

[11] 覃庆第,邓正良,彭定宇,等.广西近海偏北大风过程极大风速分布特征[J].气象研究与应用,2018,39(2):10-13.

[12] 杨澄梅.北部湾海面冬季(11—1月)偏北大风的气候分析和预报[J].广西气象,1996,17(4):32-33,30.

[13] 陈峥蓉,黄燕波,农成万,等.北部湾沿海港口大风要素服务指标制定与应用[J].气象研究与应用,2018,39(3):80-82.

[14] 赵飞,潘静,于潇,等.钦州港海域大风日数时空分布特征分析[J].气象研究与应用,2018,39(3):26-29.

[15] 广西天气预报技术和方法编写组.广西天气预报技术和方法[M].北京:气象出版社,2012.

## Refined prediction of maximum wind speed in autumn and winter along the coast of Guangxi Beibu Gulf based on MOS

Pan Jing<sup>1</sup>, Chen Zhengrong<sup>1</sup>, Huang Yanbo<sup>2</sup>, Yu Xiao<sup>1</sup>, Zhang Xuebo<sup>1</sup>, He Bin<sup>1</sup>

(1. Qinzhou Meteorological Bureau, Qinzhou Guangxi 535000, China;

2. Beihai Meteorological Bureau, Beihai Guangxi 536000, China)

**Abstract:** Based on the data of 6 automatic stations along the northern coast of Beibu Gulf and the fine grid numerical prediction products of ECMWF, according to the mode output statistical method (MOS), the multiple linear regression equations of different prediction time effects of stations in autumn and winter were established for the daily maximum wind speed in the winter half year (September to February) from 2012 to 2016 in Beibu Gulf of Guangxi. The TS test score was carried out with the data of the winter half year of 2017. The results show that the daily maximum wind speed in autumn and winter has a great correlation with the 500hPa Mongolian trough representing the guided air flow, the ground pressure difference representing the strength of the north-south pressure gradient, the high-altitude temperature difference representing the strength of the north-south temperature gradient, and the high-altitude wind speed and relative humidity of the station. The prediction effect of the winter equation is generally better than that in autumn. The winter prediction accuracy is better than autumn. The correct rate of all-level winds in the winter prediction equation is higher than 60% in Damiaodun Island, Qingcaitou Island, Shuangdun Island, and Xieyang Island 60%, while which in Weizhou Island and Beihai Port is less than 60%.

**Key words:** MOS method; gale at sea; daily maximum wind speed; multiple linear regression