

基于数值模式的苏北浅滩海域单站最大风速和极大风速预报方程建立

亢兴, 梅杰, 王华

(国家海洋局东海预报中心, 上海 200136)

摘 要: 利用苏北浅滩海域预报和观测数据, 基于平均风速与最大风速、最大风速与极大风速的高度相关性, 以及高精度数值预报产品, 运用统计分析方法建立了苏北浅滩5个测站大风(风速 ≥ 10.8 m/s)发生时逐时最大风速和日极大风速的预报方程。通过检验发现: 单站一元一次客观预报方程能准确地预报逐时最大风速, 5个测站最大风速预报平均绝对误差为1.30 m/s, 预报评分在81~85分之间, 预报误差大于4 m/s的样本数在2%~6%之间。区分天气形势进行分析, 冷空气最大风速预报精度最优, 台风次之。日极大风速预报平均绝对误差为1.99 m/s, 预报评分在65~76分之间, 预报误差大于4 m/s的样本数在5%~10%之间。最大风速和日极大风速客观预报方程的效果都比较理想, 但是对8级风速以上(风速 ≥ 17.2 m/s)的预报结果偏小。

关键词: 数值预报产品; 平均风速; 最大风速; 极大风速

中图分类号: P732.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)02-0034-06

1 引言

大风(风速 ≥ 10.8 m/s)是江苏沿海常见的气象灾害之一^[1]。大风除了直接影响航运、渔业生产和近海养殖外, 还可能诱发“激流怪潮”^[2], 给从事滩涂养殖的人民群众带来生命威胁^[3], 因此, 开展大风预报工作十分必要。

江苏沿海大风主要由冷空气、黄海气旋和台风等天气系统引起, 其中冷空气占比近50%, 黄海气旋约17%, 台风约5%^[1, 4-5]。提高大风风速的阈值后, 台风在大风天数中的占比显著提升^[6]。

在大风预报工作中, 最大风速和极大风速的预报难度最大, 其危害也最强。在目前的观测中, 极大风速较难获得, 例如苏北浅滩海域仅有近岸站点有日极大风速观测记录。前人在最大风速和极大风速预报方面做了多方面探索。陈锦冠等^[7]通过评估气象站的10 min平均最大风速与极大风速, 发现两者具有较好的近似线性的相关关系。胡波等^[8]基

于神经网络方法, 将平均风速作为输入因子预报浙江沿海的极大风速, 平均准确率达到了70%。随着数值预报稳定性和精确性的提升, 其产品也被应用于极大风速的预报。涂小萍等^[9]使用K最邻近分类算法对欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的数值预报产品分析场进行分型, 预报了11月至次年3月近海最大风速, 取得较好效果。朱智慧等^[10]使用实测数据和数值预报产品建立了上海沿海极大风速的客观预报方程, 预报评分达到74分以上, 预报效果比较理想。此外, BP神经网络法和最小二乘法等方法也被应用于极大风速预报订正中, 提升了预报精度^[11-12]。

依托海洋公益性行业科研专项(苏北浅滩‘怪潮’灾害监测预警关键技术研究及示范应用), 国家海洋局东海预报中心在苏北浅滩海域建立了多个测站, 基于数值预报和人工研判提供日常预警报, 但是在最大风速和极大风速预报方面仍有欠缺。

收稿日期: 2021-01-26; 修回日期: 2021-06-15。

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1402103)。

作者简介: 亢兴(1983-), 女, 工程师, 硕士, 主要从事海洋气象预报工作。E-mail: seventwo_917@163.com

本文将利用苏北浅滩海域2018—2020年的日常观测和预报产品,通过一元回归统计方法,开展最大风速和极大风速的推算研究。

2 实测数据与方法

2.1 数据

(1) 苏北浅滩海域实测数据。测站包括大丰港(120.81°E, 33.29°N)、吕四(121.61°E, 32.13°N)、洋口港(121.42°E, 32.51°N)、火星沙(121.58°E, 32.43°N)和竹根沙(121.39°E, 32.82°N)。数据长度是2018年1月1日—2020年12月31日,其中吕四站在2020年9月1日后缺测。观测要素包括逐时的平均风速和最大风速以及日最大风速和极大风速。最大风速是从每日观测数据记录的10 min平均风速中挑出对应时段的最大风速,极大风速是从每日观测数据记录的3 s平均风速中挑出对应时段的最大风速^[13]。本文使用2018年和2019年的数据用于建立客观预报方程,2020年数据用于预报检验。

(2) 苏北浅滩海域预报数据。数据来自东海预报中心业务化运行气象预报系统的24 h预报产品,时间序列与实测相同。该系统基于中尺度气象模式(Weather Research and Forecast Model, WRF)建立,使用全球预报系统(Global Forecast System, GFS)每日20时(北京时,下同)的初始场开展预报,空间分辨率为3 km,时间分辨率为1 h。本文采用最近点原则从模式预报数据中提取与实测站点相应位置的预报数据。

2.2 方法

整理观测和预报数据,剔除有误记录后,提取苏北浅滩海域各测站2018—2019年的大风记录,即逐时平均风速 ≥ 10.8 m/s。样本数及相关系数见表1,各站相关系数均通过了显著性检验,显著性水平为1%(样本数 ≥ 622 ,检验临界值 $t_{0.01}=0.10$;样本数 ≥ 135 , $t_{0.01}=0.22$,下文均采用显著性水平为1%的显著性检验)。表1可见在大风条件下,逐时平均风速与最大风速以及日最大风速和极大风速之间都有非常好的相关关系。因此,确立本文的思路是通过逐时平均风速推算最大风速,再通过日最大风速推算日极大风速。设 y 为推算结果, x 为因子,建立 y

表1 苏北浅滩海域各测站风速相关性分析

Tab.1 Correlation analysis of wind speed at different stations in northern Jiangsu shoal

测站	相关系数			
	样本数	逐时平均风速 与最大风速	样本数	日最大风速和 日极大风速
大丰港	622	0.95	135	0.95
洋口港	1 274	0.95	247	0.93
吕四	1 559	0.94	269	0.97
竹根沙	1 655	0.95	270	0.97
火星沙	1 552	0.93	243	0.97

和 x 的一元 n 次回归方程:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x^i \quad (1)$$

2.3 评分方法

目前,检验风速预报精度,普遍采用预报风速和实际风速之差的绝对值 Δv 作为评分标准(V_s)^[7-8]。评分方法为:当 $\Delta v \leq 1$ m/s, V_s 为100分; $1 < \Delta v \leq 2$ m/s, V_s 为80分; $2 < \Delta v \leq 3$ m/s, V_s 为60分; $3 < \Delta v \leq 4$ m/s, V_s 为50分; $\Delta v > 4$ m/s, V_s 为0分,最后按照绝对误差占各项的比例计算预报的合计得分。

3 预报检验

在实际预报工作中,通过数值预报可以获取目标海域的未来风况。最大风速和极大风速的推算基于数值预报产品开展,因此需要首先检验预报精度。本文使用2018—2019年预报和实测逐时风速(转换到10 m高度)进行精度检验。表2为24 h风速预报误差综合分析结果,各测站相关系数在0.65~0.72之间,都通过了显著性检验;各站预报平均绝对误差在1.66~2.08 m/s之间,大丰港、吕四和火星沙平均绝对误差小于2 m/s;各站 $|\Delta v| \leq 2$ m/s的比例在55%~72%之间,大丰港比例最高; $|\Delta v| > 4$ m/s的比例在7%~13%,洋口港比例最高;各站预报评分在69~78分。综上,数值预报在单站大风预报中各站差距较小,整体预报精度较高,可以用于客观预报方程的建立。

表2 数值预报24 h风速预报误差分析

Tab.2 Error analysis of 24 h wind speed of numerical product

测站	相关系数	平均绝对误差/(m/s)	样本百分比(Δv)/%					评分
			[0,1]	(1,2]	(2,3]	(3,4]	(4,+∞)	
大丰港	0.65	1.66	45	27	15	5	8	78
洋口港	0.66	2.08	35	22	19	11	13	69
吕四	0.71	1.78	41	27	14	8	10	74
竹根沙	0.72	2.10	25	30	24	12	9	69
火星沙	0.72	1.89	32	29	22	10	7	73

4 最大风速推算

4.1 方程建立

基于2018—2019年的大风实测和数值预报产品,对逐时最大风速 y 和预报 x_{model} 进行回归分析,分别得到一元一次、一元二次、一元三次和一元四次回归方程,所有测站的拟合结果均通过了显著性检验。表3所示为竹根沙站回归计算结果 y_f 与实测 y 的相关系数,从中可以看出增加因子的指数并不能显著提升相关性,因此后续将构建一元一次客观预报方程。式(2)为各测站的预报方程。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{大丰港: } y_f = 0.55x_{\text{model}} + 6.69 \\ \text{洋口港: } y_f = 0.50x_{\text{model}} + 7.02 \\ \text{吕四: } y_f = 0.48x_{\text{model}} + 7.43 \\ \text{竹根沙: } y_f = 0.61x_{\text{model}} + 6.91 \\ \text{火星沙: } y_f = 0.55x_{\text{model}} + 7.23 \end{array} \right. \quad (2)$$

表3 竹根沙站风速相关性分析

Tab.3 Correlation analysis of wind speed of Zhugensha station

拟合方程	相关系数
一元一次	0.72
一元二次	0.72
一元三次	0.74
一元四次	0.74

4.2 误差分析

将2020年的模式预报产品代入式(2)计算最大风速。表4为各测站最大风速预报误差综合分析,预报相关系数在0.48~0.63之间,通过了显著性检验(检验临界值 $t_{0.01}=0.17$,样本数 ≥ 226);平均绝对误差在1.20~1.45 m/s之间;各站预报绝对误差 $|\Delta v| \leq 2$ m/s所占比例在75%~83%左右, $|\Delta v| > 4$ m/s的比例不超过6%;各站预报评分在81~85分之间,其中大丰港、竹根沙和火星沙的预报效果较好。综上,基于数值预报产品的单站最大风速预报取得了较好的效果,各站预报质量差距不大。

冷空气、黄海气旋和台风是引起苏北浅滩海域大风的主要天气系统。按照高发季节可将大风天气系统进行分类,其中,黄海气旋引发的大风天气主要集中在4—6月,台风大风主要发生在7—10月,冷空气大风主要发生在11—3月。以竹根沙站为例,按照天气系统类型构建最大风速预报方程并进行预报,预报误差分析如表5所示。2020年,冷空气大风样本数约占50%,黄海气旋和台风大风各占约25%。经过检验发现:冷空气的预报精度高于台风,黄海气旋的预报精度最低;预报与实测相关系数方面,冷空气相关性最高;各天气系统预报评分方面差别不大。图1为竹根沙站最大风速预报与实测曲线对比,可见预报和实测具有一致的变化。如表5所示,对于90%左右的大风样本,预报误差在3 m/s以下,剩余约10%样本的最大风速预报偏小,尤其对于8级(≥ 17.2 m/s)风力以上样本的预报误差较大。

表4 最大风速预报误差分析

Tab.4 Error analysis of maximum wind speed forecast

测站	样本数	相关系数	平均绝对误差/(m/s)	样本百分比(Δv)/%					评分
				[0,1]	(1,2]	(2,3]	(3,4]	(4,+ ∞)	
大丰港	226	0.59	1.20	57	25	9	6	3	85
洋口港	464	0.50	1.45	52	23	14	5	6	81
吕四	359	0.48	1.38	45	33	14	4	4	82
竹根沙	709	0.62	1.25	51	32	11	4	2	85
火星沙	622	0.63	1.25	56	26	10	4	4	84

表5 竹根沙站最大风速预报误差分析

Tab.5 Error analysis of maximum wind speed forecast at Zhugensha station

测站	样本数	相关系数	平均绝对误差/(m/s)	样本百分比(Δv)/%					评分
				[0,1]	(1,2]	(2,3]	(3,4]	(4,+ ∞)	
冷空气	356	0.71	1.26	52	30	11	5	2	85
黄海气旋	177	0.35	1.28	42	42	12	2	2	84
台风	173	0.52	1.22	60	25	5	6	4	85

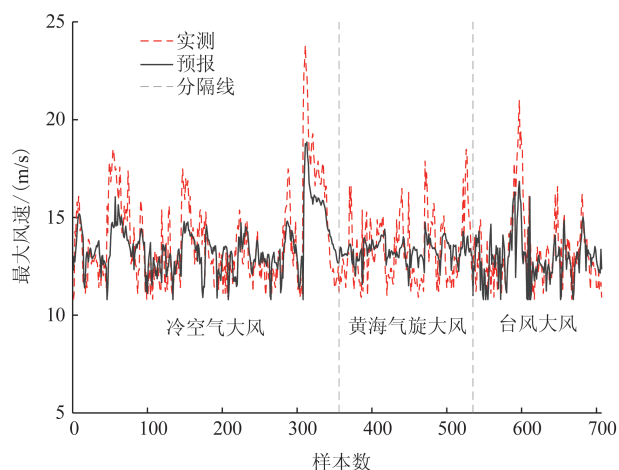


图1 竹根沙站2020年实测与预报最大风速

Fig.1 Observation and forecast of maximum wind speed at Zhugensha station in 2020

5 极大风速推算

5.1 方程建立

提取2018—2019年预报最大风速的日最大值,与观测日极大风速建立预报方程。各站样本数如表1所示,由于极大风速每日仅保存1个记录,因此

各站样本都较少。式(3)为各站日极大风速预报方程,其中 x 是预报日最大风速。

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{大丰港: } y = 0.66x + 8.84 \\ \text{洋口港: } y = 0.77x + 6.23 \\ \text{吕四: } y = 0.78x + 6.04 \\ \text{竹根沙: } y = 0.93x + 5.86 \\ \text{火星沙: } y = 0.86x + 6.32 \end{array} \right. \quad (3)$$

5.2 误差分析

将2020年的预报逐时风速相继代入式(2)和式(3)进行计算,获取各站的日极大风速预报结果,并与实测进行比对,各站样本数及综合误差分析详见表6。

预报极大风速相关系数在0.53~0.71之间,超过了样本数 ≥ 159 的显著性检验($t_{0.01}=0.20$);风速平均绝对误差在1.77~2.30 m/s之间;各站预报绝对误差 $|\Delta v| \leq 2$ m/s所占比例在42%~65%, $|\Delta v| > 4$ m/s的比例在5%~10%;综合评分来看各站预报得分在65~76之间。对于苏北浅滩海域的5个测站,日极大风速预报效果比较理想。以竹根沙站为例,图2

表 6 极大风速预报误差分析

Tab.6 Error analysis of extreme wind speed forecast

测站	样本数	相关系数	平均绝对误差/(m/s)	样本百分比(Δv)/%					评分
				[0,1]	(1,2]	(2,3]	(3,4]	(4,+ ∞)	
大丰港	161	0.68	2.30	22	20	25	23	10	65
洋口港	215	0.58	1.90	37	28	20	7	8	75
吕四	159	0.53	2.11	31	29	24	8	8	72
竹根沙	215	0.71	1.77	34	31	22	8	5	76
火星沙	207	0.63	1.85	36	28	22	8	6	75

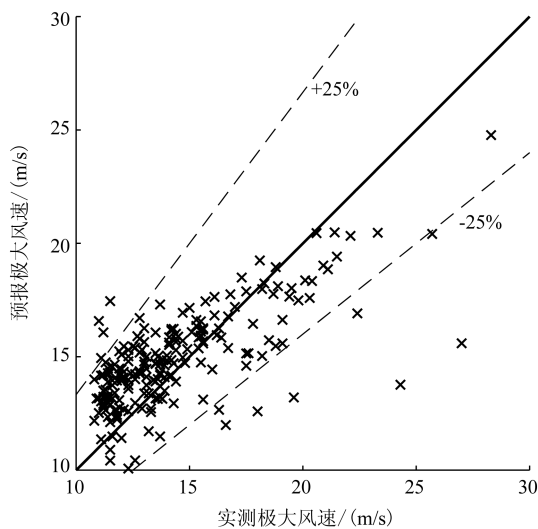


图2 竹根沙站2020年日极大风速散点图

Fig.2 Scatter chart of daily maximum wind speed at Zhugensha station in 2020

所示的该站预报和实测日极大风速散点图中,95%的样本落在 $\pm 25\%$ 范围内。当风速超过8级(≥ 17.2 m/s)时,预报整体较实测极大风速偏小。

6 结论与讨论

本文通过对苏北浅滩海域的实测和数值预报数据进行分析,并基于数值预报产品建立了最大风速和极大风速的客观预报方程。结论如下:

(1)单站一元一次最大风速和极大风速客观预报结果与实测接近且趋势一致,可应用于最大风速和极大风速的预报工作中,但是,当出现8级以上风力时,最大风速和日极大风速会出现偏小的情况,

在实际预报中需要人工研判。

(2)客观方程的预报精度依赖于数值预报精度,因此,实际工作中可考虑对多源预报产品进行客观评估,形成预报数据集。

参考文献:

- [1] 李超,魏建苏,严文莲,等.江苏沿海大风特征及其变化分析[J].气象科学,2013,33(5): 584-589.
Li C, Wei J S, Yan W L, et al. Synoptic and climatic survey of the gale in the coast of Jiangsu province[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2013, 33(5): 584-589.
- [2] 袁捷,仵彦卿,覃荣高.影响“怪潮”发生的海洋要素多变量自回归相关分析[J].海洋环境科学,2013,32(5): 707-710, 720.
Yuan J, Wu Y Q, Qin R G. Multivariable autoregression analysis for factors influencing the occurrence of Odd-tide[J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(5): 707-710, 720.
- [3] 简慧兰,秦洁.苏北浅滩“怪潮”灾害预警报体系建设的几点思考[J].海洋开发与管理,2012,29(11): 49-50.
Jian H L, Qin J. The ideas of constructing the forecasting system of Odd-tide in northern Jiangsu shoal[J]. Ocean Development and Management, 2012, 29(11): 49-50.
- [4] 陆逸,朱伟军,任福民,等.1980-2014年中国台风大风和台风极端大风的变化[J].气候变化研究进展,2016,12(5): 413-421.
Lu Y, Zhu W J, Ren F M, et al. Changes of tropical cyclone high winds and extreme winds During 1980-2014 over China[J]. Climate Change Research, 2016, 12(5): 413-421.
- [5] 孙燕,吴海英,沈树勤,等.冬春季江苏沿海大风的特征[J].南京气象学院学报,2007,30(5): 699-704.
Sun Y, Wu H Y, Shen S Q, et al. Weather characteristics of Jiangsu coast gale in winter and spring[J]. Journal of Nanjing institute of Meteorology, 2007, 30(5): 699-704.
- [6] 黄彬,代刊,钱奇峰,等.引发黄渤海大风的黄河气旋诊断研究[J].气象,2013,39(3): 302-312.
Huang B, Dai K, Qian Q F, et al. Diagnosis of Yellow River cyclone induced strong winds over Yellow and Bohai Seas[J].

- Meteorological Monthly, 2013, 39(3): 302-312.
- [7] 陈锦冠, 林少冰. 10分钟平均最大风速与极大风速评估方程的建立[J]. 气象, 2001, 27(10): 38-41.
- Chen J G, Lin S B. Relationship between maximum 10-minute average wind speed and maximum instantaneous wind speed and estimating equation[J]. Meteorological Monthly, 2001, 27(10): 38-41.
- [8] 胡波, 杜惠良. 浙江省沿海海面日极大风预报[J]. 海洋预报, 2006, 23(S1): 64-67.
- Hu B, Du H L. Daily maximum wind velocity forecast on the ZheJiang coastal sea surface[J]. Marine Forecasts, 2006, 23(S1): 64-67.
- [9] 涂小萍, 赵声蓉, 曾晓青, 等. KNN方法在11—3月中国近海测站日最大风速预报中的应用[J]. 气象, 2008, 34(6): 67-73.
- Tu X P, Zhao S R, Zeng X Q, et al. Application of an updated KNN method to daily maximum wind forecast for coastal weather station from November to March[J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(6): 67-73.
- [10] 朱智慧, 黄宁立, 秦婷. 上海沿海极大风速预报方程的建立和应用[J]. 海洋预报, 2014, 31(1): 58-62.
- Zhu Z H, Huang N L, Qin T. Establishment and application of extreme wind speed prediction equation in Shanghai coastal area [J]. Marine Forecasts, 2014, 31(1): 58-62.
- [11] 刘洁莉, 刘冬辉, 韩登云, 等. BP人工神经网络法在大同市日极大风速预报中的应用[J]. 内蒙古气象, 2019(2): 34-38.
- Liu J L, Liu D H, Han D Y, et al. The application of BP neural network to daily maximum wind velocity forecast in Datong[J]. Meteorology Journal of Inner Mongolia, 2019(2): 34-38.
- [12] 武丰民, 吴舒婷. 最小二乘法在洞头区极大风速订正预报中的应用[J]. 浙江气象, 2020, 41(3): 1-7.
- Wu F M, Wu S T. The application of the least square method in the revised prediction of extreme wind speed in Dong Tou area[J]. Journal of Zhejiang Meteorology, 2020, 41(3): 1-7.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 14914-2006 海滨观测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T 14914-2006 The specification for offshore observation[S]. Beijing: Standards Press of China, 2006.

Establishment of a forecast equation for maximum and extreme wind speed based on numerical models in the northern Jiangsu Shoal

KANG Xing, MEI Jie, WANG Hua

(East China Sea Forecast center, Shanghai 200136 China)

Abstract: Based on the mean wind speed, maximum wind speed, high correlation between the maximum wind speed and extreme wind speed of the forecast and observation data in the northern Jiangsu shoal, a forecasting equation is established for hourly maximum wind speed and daily extreme wind speed at 5 observation stations when the gale with wind speed equal or greater than 10.8 m/s occurs using statistical analysis method. The validation results show that linear regression equation can accurately forecast the hourly maximum wind speed. The mean absolute error of maximum wind speed forecast at the 5 stations is 1.30 m/s with the forecast scores between 81 and 85, and the proportion of the samples with absolute error greater than 4 m/s is between 2% and 6%. The forecast accuracy under different weather conditions is analyzed, which reveals that the maximum wind speed forecast accuracy of cold air is optimal followed by the typhoons. The mean absolute error of daily extreme wind speed is 1.99 m/s with the forecast scores between 65 and 76, and the proportions of the samples with absolute error greater than 4m/s is between 5% and 10%. In summary, the effects of objective forecast equation for maximum wind speed and daily extreme wind speed are relatively satisfactory. However, the forecast result is smaller when the wind force scale exceeds eight (wind speed equal or greater than 17.2 m/s).

Key words: numerical product; mean wind speed; maximum wind speed; extreme wind speed