

2019年8—10月长江口近岸海上风电场风浪预报

邓心怡¹, 黎北梅¹, 王晓春², 陈智强³, 陈旻豪³, 刘城⁴, 袁飞⁴

(1. 南京海维斯海洋信息服务有限公司, 江苏 南京 210000; 2. 南京信息工程大学, 江苏 南京 210044; 3. 上海海洋中心气象台, 上海 200000; 4. 重庆海装公司, 重庆 404100)

摘 要: 针对长江口近岸海上风电场, 利用2019年8—10月NCEP全球天气预报产品和第三代海浪模式Wave Watch III的全球预报产品做上海长禁五号、长江口灯船和东海浮标站的单点预报, 利用这些站点的观测数据, 针对风电场的需求评估预报精度。结果表明: 全球天气预报产品中的风速预报对区域内的单站预报结果有一定参考价值, 大于6 m/s风速的24 h预报准确率达到46.3%; 使用递减平均法可以使风速预报的均方根误差减少10%~14%, 预报准确率提高为57.0%。全球海浪预报结果在长江口近海较精确, 长江口灯船站48 h预报有效波高均方根误差在0.25 m以下, 相关系数高达0.80。在台风极端天气条件下, 全球天气预报产品对长江口风速仍有一定的预报技巧, 但最大风速的出现时间滞后6 h左右。全球海浪预报产品的预报技巧与无台风情况下没有明显差别。

关键词: 长江口近岸; 均方根误差; 风电场; 预报评估

中图分类号: P732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2021)04-0045-08

1 引言

海上风电具有风机发电量大、单机装机容量大和不占用土地资源等优势^[1], 近年来在国内得到了极大发展。2018年, 全球海上风电装机量新增4.50 GW, 其中国内新增装机量1.66 GW, 较2017年增长42.7%, 累计装机4.45 GW^[2]。在“21世纪海上丝绸之路”计划中, 凭借丰富的风能资源及其他因素的综合考量, 沿海上丝绸之路关键节点的风能利用也提上了议程^[3-4]。我国东部沿海属于经济发达地区, 海岸线长, 整体用电需求量大, 可开发利用的风电资源储备空间巨大^[5]。在东部沿海地区, 特别是江苏沿海及长江口地区近年来建设了许多风电场, 截至2019年, 江苏并网容量423万kW, 占总装机72.7%, 居全国首位^[6]。

海上风电业的发展, 对海洋预报及天气预报也

提出了新的要求。例如, 海上风电机组的故障率较高, 需经常维修, 根据风电行业规范, 海上风电机组每年须进行1~4次常规巡检, 然而由于海上风电机组处于复杂莫测的海上环境或投入使用前缺乏跟踪记录, 实际检修次数会更多^[7]。海上风电运维成本约占海上风电场发电成本的20%~35%^[8]。根据我国海上风电运维船数据, 每台海上风电机组在一年期间最少会出现40次故障, 且需要保持每30台机组使用一艘运维船进行维护^[9]。目前, 大多数普通钢制运维船的航行波高为0.5~1.5 m, 出现台风等特殊海况时则需根据波高使用更高指标的海上风电运维船舶, 不同性能指标运维船的使用成本有所差别, 根据海上风电场的波高预报选择安全性合适的运维船可以降低运维成本^[10]。为降低海上风电机组运维成本, 提高运维施工的安全系数, 减少不必要的出海检修, 需要利用海洋和天气状况信息辅

收稿日期: 2020-04-29; 修回日期: 2020-06-28。

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC1401600)。

作者简介: 邓心怡(1997-), 女, 学士, 主要从事海洋预报工作。E-mail: 3045447886@qq.com

通讯作者: 王晓春(1966-), 男, 教授, 博士, 主要从事大尺度海气相互作用、海洋模式研发及应用和区域海洋动力过程研究。E-mail: xcwang@nuist.edu.cn

助运维决策,因而拥有准确的海洋和天气预报十分重要。海上运维时机一般依据天气来决定,其中风与浪是最重要的天气要素^[11]。

以重庆海装为例,海上风电运维分为计划性维护和非计划性维护,其中,后者对天气预报的精准度要求相对较高。计划性维护是风机每年都必须进行的常规维护,通常会根据风场所属区域以往年份的天气情况进行数据分析,选择“枯风”季节进行,以减少发电量的损失。计划性维护会参考很长一段时间的天气预报,选择风速较低的时段,风浪小,发电量损失低。例如,如果有连续5 d小风天气,可安排2台机组的年度维护工作;如果有连续7 d小风天气,则可安排3台机组的年度维护工作。如果在原计划工作过程中,天气情况和预报情况产生偏差,例如风速增大到7 m/s(有些公司采用10 m/s),则可中断维护工作,机组恢复运行。总而言之,计划性维护对天气预报的精准度要求不高,海上风电场维护人员会参考长时间段的天气预报来做出海维护计划,对发电量的影响不大,对现场人员的安全风险较小。非计划性维护指的是临时性或突发性的维护工作,例如故障检修。当有非计划维护工作时,维护人员则需要较多地依靠天气预报来制定工作计划,以保障维护人员在安全的风浪环境下出海进行作业,同时保证在风浪环境恶化之前安全撤离。

现在,公益性的风浪预报研究已有很多。王亚男等^[12]分析了几种误差订正方法,并对渤海区域10 m风速预报进行了误差订正,取得了良好成果;韩雪等^[13]基于水动力模型在南黄海海域建立了重点岸段的风暴潮数值预报模型,台风风暴潮的后报平均相对误差为14%,温带风暴潮24 h预报平均相对误差为12.9%。但风电场从建设到运维对风浪信息的需求与公益性预报有很多不同。在风电场规划及选址阶段,需要对大面积海域的风候特征进行分析,郑崇伟等^[14]利用1979—2014年的欧洲中期天气预报中心(European Center for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)的资料分析了海上丝绸之路涉及海域的风候特征,为其建设提供科学依据和辅助决策。在确定选址并建设风电机组之后,重要的是风电场的运营,其中在风电场运维阶段,需要针对运维需求提供不同时效和精度的风浪预报以提高运维安全系数并降低成本。2019年8—10月,海维

斯公司为重庆海装公司提供了长江口风电场附近的风浪预报,以探索风浪预报在风电场运维中的有效应用途径。这段时间内,风电场附近风速及有效波高的预报对重庆海装公司制定运维施工计划提供了依据,提高了运维的安全系数,同时也降低了运维成本。

本文利用2019年8—10月风浪预报产品及台站观测资料,针对海上风电场的运维需求对风速及波浪的预报技巧进行了评估。为提高风速的预报精度,我们使用递减平均法对风速预报进行了订正。这段时间内,台风“米娜”经过这一海域,我们也分析了台风过境前后的预报精度。

2 资料与方法

2.1 预报产品及观测资料

本文使用2019年8—10月的风场及有效波高预报产品。风场预报来自于美国国家环境预报中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的全球预报系统(Global Forecast System, GFS, 网址: <https://www.emc.ncep.noaa>)。该预报系统基于有限体积网格(Finite Volume Dynamical Core, FV3),网格分辨率13 km,垂直方向64层。GFS预报产品插值到全球1/4°网格上提供给用户使用。有效波高来自NCEP的波浪集合预报系统(Global Ensemble Ocean Wave Forecast System),系统分辨率为0.5°,风场来自NCEP的全球集合预报系统。日常业务预报使用20个集合样本,使用第三代海浪模式Wave Watch III(WW3)^[15]。

验证预报产品的3个站点分别为上海长禁五号(121.7°E, 31.42°N)、长江口灯船(122.53°E, 31.1°N)和东海浮标(124.5°E, 31°N)。站点的实测数据每10 min测一次,风为10 min平均风速和10 min平均风向。为和6 h一次的预报风场匹配,我们将实测风场数据做6 h平均后和预报产品进行比较。由于上海长禁五号为小浮标,海拔为3 m,所以在中性层结假定下将实测风调整到10 m高度^[16]。调整使用的公式为:

$$|V_{10}| = \left[\frac{\log(10/z_0)}{\log(z/z_0)} \right] |V| \quad (1)$$

式中, V_{10} 为 10 m 处的风, V 为高度 z 处的风, 粗糙度 z_0 采用式(2)计算:

$$z_0 = z \exp \left[-c_0 + c_1 \log \left(\frac{ak^2 V^2}{gz} \right) \right] \quad (2)$$

式中, a 为 0.032; k 为 0.40; 重力常数 g 为 9.81 m/s^2 ; c_1 为 0.165。全球预报产品在水平方向上插值到观测站点位置, 并和观测数据进行比较, 插值使用最邻近观测站点的 4 个经纬度网格, 插值权重与网格点和观测站点之间的距离成反比。全球波浪预报在个别情况下不能产生某个格点的预报, 此时可忽略缺测网格点, 而用其余的网格点进行插值计算, 若 4 个格点全为缺测值, 则这一时刻不产生预报。2019 年 9 月 28 日—10 月 4 日, 台风“米娜”经过长江沿海(见图 1), 本文特别分析了台风“米娜”过境前后风及浪的预报精度。

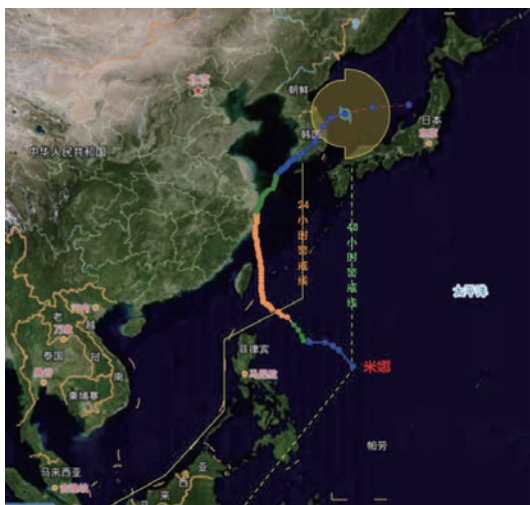


图 1 2019 年 9 月 28 日—10 月 4 日台风“米娜”路径
(不同颜色表示不同强度, 引自: 中央气象台台风网 <http://typhoon.nmc.cn/web.html>)

2.2 资料处理

在海上风电维修时, 有时需要高空作业与吊装, 考虑到施工人员在作业时的施工难度和安全问题, 在风速大于 6 m/s 时停止作业(有些公司采用 8 m/s 或 10 m/s)。据此标准, 我们将风速分为 $0 \sim 6 \text{ m/s}$ 和 6 m/s 以上来对预报产品进行评价。通过将预报时间和观测时间相匹配, 我们把预报分为 $0 \sim 24 \text{ h}$ 和 $24 \sim 48 \text{ h}$ 分别进行分析和讨论。

在出海维修时, 还需要考虑到海浪的状况。根

据《中国海洋灾害公报》的数据分析, 在所有海洋灾害里造成最多人员伤亡的就是海浪灾害。近岸海域, 当海浪的有效波高达到 2.5 m 以上时, 威力比较大且会造成灾害^[17]; 出现 3 m 以上大浪会对小型渔船和游艇产生威胁, 有效波高达到 $4 \sim 6 \text{ m}$ 的巨浪会对近海航行的船舶产生威胁。有效波高越大, 威胁越大, 会造成更多的海洋灾害, 由海浪引起的灾害是各类海洋活动需要面对的自然灾害, 也是各种涉海工程设计、实施和运营维护工作需要考虑的因素^[18]。根据有效波高可将海浪分为 10 个波级: 0 级 ($H=0 \text{ m}$) 为无浪情况下的海面状态, 有效波高为 0 m , 1 级有效波高为 $0 \sim 0.1 \text{ m}$, 2 级有效波高为 $0.1 \sim 0.5 \text{ m}$, 3 级有效波高为 $0.5 \sim 1.25 \text{ m}$, 4 级有效波高为 $1.25 \sim 2.5 \text{ m}$, 5 级有效波高为 $2.5 \sim 4.0 \text{ m}$, 6 级有效波高为 $4.0 \sim 6.0 \text{ m}$, 7 级有效波高为 $6.0 \sim 9.0 \text{ m}$, 8 级有效波高为 $9.0 \sim 14 \text{ m}$, 9 级为有效波高 14 m 以上的海浪状况^[19]。由于长江口海上风电机组位于近海区域, 考虑该区域的情况, 本文依据以上海浪波级来讨论 3 个站点在 2019 年 8—10 月的波级分布情况。同时, 将长江口近海的预报和实测数据进行对比, 统计上海长禁五号、长江口灯船和东海浮标站点 $0 \sim 24 \text{ h}$ 预报和 $24 \sim 48 \text{ h}$ 预报与实测数据的误差, 以此来分析海浪的预报精度。

3 结果

3.1 风速预报

在对数据进行匹配后, 我们得到了预报时间段内的预报和实测数据, 通过对这两组数据的对比来评价风的预报技巧。将预报地区的风速按照蒲氏风级进行分级(见图 2), 我们可以看出, 8—10 月长禁五号和长江口灯船站点风速主要分布在 3 级 ($3.4 \sim 5.4 \text{ m/s}$), 东海浮标主要在 4 级 ($5.5 \sim 7.9 \text{ m/s}$)。长禁五号、长江口灯船和东海浮标风速在 6 m/s 以下的占比分别为 81.64% 、 76.04% 和 46.5% , 由于预报区域风速在 6 m/s 以下的情况较多, 因此在预报区域可以出海进行风电维修的时机可以达到 50% 以上。对预报和实测数据求平均绝对误差 (Mean Absolute Error, MAE)、均方根误差 (Root Mean Square Error, RMSE) 和偏差 (Bias) (见表 1 和图 3), 总体来说

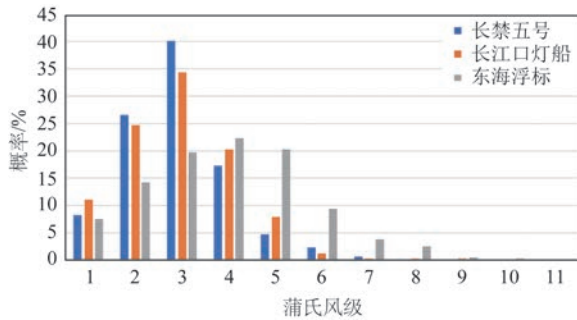


图2 2019年8—10月3个浮标站点实测数据
风级分布概率图

表1 2019年8—10月3个浮标站点风速预报与
实测数据误差

浮标名称	预报 时效/h	MAE/ (m/s)	RMSE/ (m/s)	Bias/ (m/s)
长禁五号	0~24	3.79	4.57	2.74
	24~48	3.76	4.55	2.75
长江口灯船	0~24	3.91	4.78	2.97
	24~48	3.87	4.73	2.74
东海浮标	0~24	4.53	5.80	1.55
	24~48	4.49	5.70	1.50

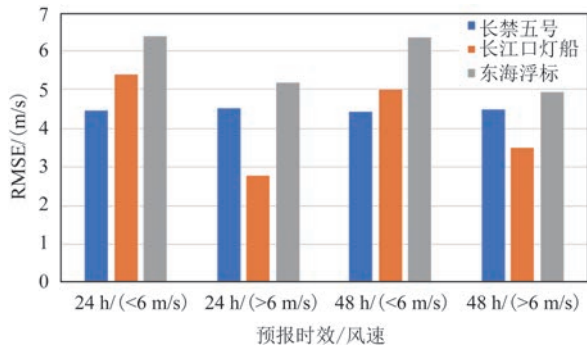


图3 2019年8—10月3个浮标站点预报和
实测风速的RMSE

MAE在3.5~4.5 m/s之间, RMSE一般在4.5~6 m/s之间, Bias在1.5~3 m/s之间。将预报和实测数据以6 m/s分界, RMSE一般在3~5.5 m/s之间, 甚至可以达到6 m/s以上, 若预报和实测同时小于6 m/s或大于6 m/s则视为预报正确。在预报区域, 24 h的预报准确率达到46.3%, 24~48 h预报准确率达43.6%(见表2), 这一预报精度对于制定出海维修方

案还有一定差距, 因此下面将使用递减平均法对原始预报结果进行校正以提高预报精度。

表2 0~48 h预报时效以6 m/s分界的各种情况出现次数
(括号内为订正后数据)

预报时效	预报风速	实测 < 6 m/s	实测 > 6 m/s
0~24 h	< 6 m/s	148(224)	75(86)
	> 6 m/s	276(193)	155(146)
24~48 h	< 6 m/s	137(220)	79(94)
	> 6 m/s	280(203)	141(132)

3.2 使用递减平均法订正风速预报

王亚男等^[12]提出使用“递减平均法”对预报场进行误差订正, 取得了较好的订正效果, 说明“递减平均法”的使用效果良好。本文使用此方法对风场进行订正。递减平均法的误差累计公式为:

$$B(t) = (1 - w)B(t - 1) + w(f(t) - a(t)) \quad (3)$$

式中, w 为权重; $B(t)$ 为累加后的误差, $B(t - 1)$ 为上一个时次(6 h前)的误差; $f(t)$ 为预报数据; $a(t)$ 为实测数据。最终得到订正预报 $f_c = f(t) - B(t)$ 。

随着权重 w 变化, “递减评价法”对误差的订正效果也不同。定义误差订正量来比较不同 w 对订正结果的影响, 误差订正量为订正前与订正后的RMSE之差与订正前RMSE的比值。以24 h预报为例, 图4为不同权重系数时各站点的误差订正量, 表3为取最佳的权重系数时, 24 h预报校正前后的RMSE与订正量。同时, 重新统计0~24 h的预报准

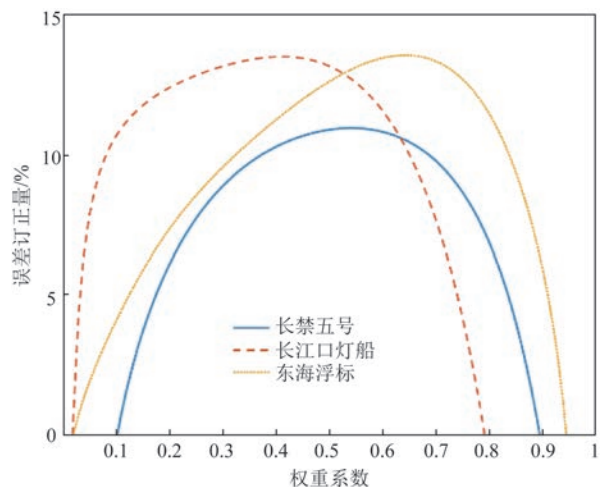


图4 不同权重系数时3个浮标站点风速的
误差订正量

确率发现,订正后的预报准确率由46.8%提高为57.0%,24~48 h预报准确率由43.6%提高为54.2%,预报结果有了明显改善。

表3 各站点24 h风速预报最佳订正值

浮标名称	RMSE/(m/s)		误差订正值/%
	校正前	校正后	
长禁5号	4.57	3.98	10.92
长江口灯船	4.78	4.14	13.47
东海浮标	5.80	5.02	13.52

以上分析表明,使用全球风速预报产品进行区域预报,在长江口海域误差较大,难以满足海上风电场的运维需求,对于海上风电维修施工决策可能只有一定的指导性。与全球预报产品相比,区域预报系统可以提供预报技巧更高的风速预报。王亚男等^[12]利用区域海洋和大气模式(Regional Ocean and Atmosphere Model, ROAD)对渤海区域10 m风速预报进行误差订正,订正后12~72 h预报的均方根误差在2.4~3.3 m/s之间。分辨率6 km海气浪区域耦合模式的预报试验也表明,在无台风的情况下,10 m风场预报的RMSE为1~2 m/s。因此,建立一个海上风电区的区域性海洋和天气预报系统很有必要,对于海上风电维修意义重大。

3.3 有效波高预报

中国东海区的月平均波高在1.0~2.5 m之间,最大波高在5.0~12.5 m之间,10月—翌年2月波高较大^[20]。夏末秋初时,该海区受到太平洋副热带高压控制,盛行东南季风,波高的总体平均值不大,但是随着副高的东退和西进,也会存在明显的变化过程^[21]。中国近海是遭受台风灾害最严重的海区,台风经常引起波高4 m以上的灾害性海浪,对近岸活动、海上作业、海上工程和船舶航行等具有极强的破坏性。海浪预报对海上各种生产活动和规避灾害性海浪非常重要。

长江口是我国最大的入海口,具有三级分汊、四口入海的特征^[22]。该海域的地形和海岸线分布导致海浪状况多变。图5为2019年8月1日—10月31日期间长江口海域的长禁五号、长江口灯船和东海浮标3个站点实际观测数据的波级分布结果。从图中可以看出3个站点的有效波高基本分布在2~4

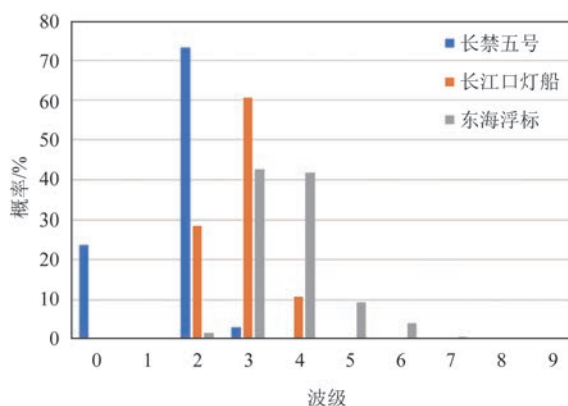


图5 2019年8—10月3个站点有效波高波级分布

级,即波高分布范围为0.1~2.5 m。长禁五号的有效波高极大部分为2级浪高,概率高达70%以上,小部分出现0级浪高,概率在25%左右,偶有3级浪高出现。长江口灯船主要为3级浪高,概率为60%左右,部分为2级浪高,概率为30%左右,很小一部分为4级浪高,概率为10%左右。东海浮标站的有效波高主要分布在3~4级,概率分别都高达40%以上,而且有6~7级的海浪,即4.0~9.0 m高的海浪。6~7级海浪是极具破坏性的,如不依据预报提前防范,极容易发生海浪灾害,威胁海上及近海的生产活动,造成难以估计的生命财产损失。

全球海浪预报产品在长江口近海具有较高的预报技巧。以长禁五号浮标站为例,2019年8月12日—10月31日期间该站有效波高0~24 h和24~48 h的预报和观测比对结果显示(见图5),预报结果与实测结果吻合程度较好,很好地预报了有效波高的变化趋势。0~24 h预报与实测的均方根误差为0.25 m,相关系数(R)为0.82(见图6a)。24~48 h预报与实测的均方根误差为0.24 m,误差结果与0~24 h接近,相关系数为0.81(见图6b),相关系数比0~24 h低。预报与观测随时间变化趋势大体一致,拟合程度较高,预报效果较好。

统计分析2019年8—10月长禁五号、长江口灯船和东海浮标3个站点预报与观测数据的MAE、RMSE和Bias(见表4和图7),可以看到海浪预报质量较好,0~24 h和24~48 h的MAE和RMSE都在0.36 m以下,偏差较小。长禁五号的RMSE最大,在0.35~0.40 m之间,其次为东海浮标,在0.30~0.35 m之间,长江口灯船的RMSE最小,在0.25 m左右。

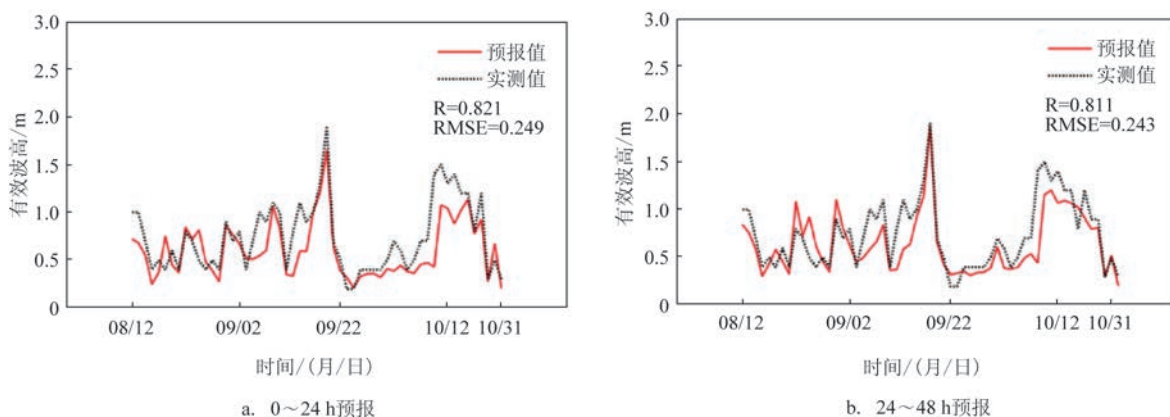


图6 2019年8—10月长江口灯船浮标有效波高预报与实测对比

表4 2019年8—10月3个站点波浪预报与实测数据的误差

浮标名称	预报时效/h	MAE/m	RMSE/m	Bias/m	R
长禁五号	0~24	0.30	0.36	0.30	0.74
	24~48	0.32	0.37	0.31	R
长江口灯船	0~24	0.18	0.25	-0.13	0.82
	24~48	0.19	0.29	-0.15	0.80
东海浮标	0~24	0.20	0.33	-0.08	0.96
	24~48	0.20	0.30	-0.02	0.97

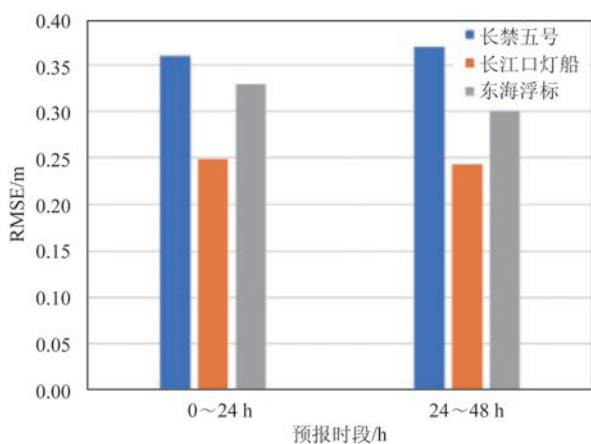


图7 2019年8—10月3个浮标站点波浪预报与实测数据的RMSE

3.4 台风情况下的预报精度

2019年10月初第18号台风“米娜”在长江口预报区域过境。为分析台风极端天气下全球风浪预报产品在这一区域的精度,我们将筛选此时间段的数据,评价台风极端天气下风浪的预报效果。图8和图9分别为2019年10月2日台风过境前后东海

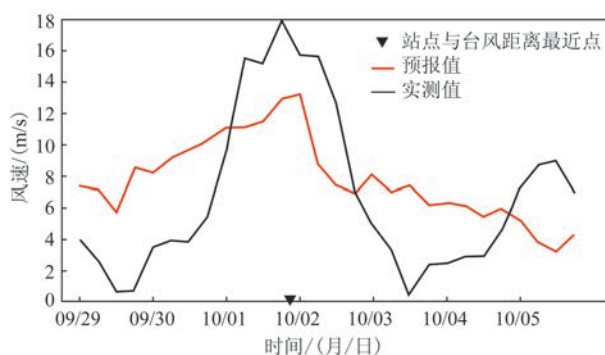


图8 2019年10月2日第18号台风“米娜”过境前后东海浮标站风速预报与实测值对比

浮标站风速及波浪预报与实测值的对比。可以注意到,在台风极端天气下,全球预报产品对风速极大值出现时间的预报结果有6 h左右的误差,台风过后,风速预报与观测很接近。波浪预报结果与实测结果吻合程度高,有效波高的变化趋势与观测相比在时间上也高度一致。整体预报结果的时间变化较实测滞后几小时。在台风和站点距离最近的时间点前后,预报和实测波高都达到峰值,在有效波高到达峰值前,预报值比实测值偏小,到达峰值

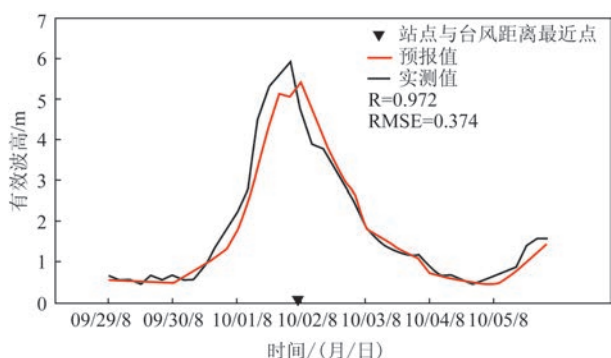


图9 2019年10月2日第18号台风“米娜”过境前后东海浮标站波浪预报与实测值对比

后,实测值比预报值偏小,峰值附近大小差别最明显。但两者的RMSE不大,为0.37 m,相关系数达0.97,可见即使在台风天气情况下,海浪预报的精度也非常高。

4 总结

2019年8—10月长江口海域风浪的预报技巧分析表明,由于风变化较大且预报产品为全球性预报,所以对区域的预报结果并不理想,但是使用递减平均法对预报进行校正后,相对误差校正量可以达到13.52%,校正结果较好。波浪预报精度高,效果好,波形变化趋势一致,拟合度高,RMSE在0.40 m以下。在台风极端天气下,风速预报结果反映了大尺度形势,但最大风速的出现时间滞后。波浪预报与实测数据的RMSE为0.37 m,相关系数高达0.97,有效波高时间变化与观测高度一致,与无台风情况下差别不大。在没有区域海洋和天气预报产品的情况下,全球预报产品可以为海上风电场的运维决策提供一定的参考依据。更高精度的预报将依赖于高分辨率的全球产品或区域预报系统。本研究针对长江口海上风电场运维的实际需求分析了两个月内的风浪预报,得到的结果还需要更多的验证工作,如何将公益性的预报产品进行深度加工以满足特定行业的需求也仍有大量工作要做。

参考文献:

[1] 李英,王森.我国海上风电发展面临的挑战与法律建议[J].大众用电,2019,34(6):6-7.

[2] 马宇坤,张勤杰,姜晓昌.海上风电势头正劲海工装备扬帆起航[J].船舶物资与市场,2019(8):8-11.

[3] 郑崇伟,潘静,孙威,等.经略21世纪海上丝绸之路之海洋环境特征系列研究[J].海洋开发与管理,2015,32(7):4-9.

[4] 郑崇伟.21世纪海上丝绸之路:风能资源详查[J].哈尔滨工程大学学报,2018,39(1):16-22.

[5] 邓达弘,陆军.浅析海上风电施工与运维装备[J].机电工程技术,2019,48(8):45-47.

[6] 时智勇,王彩霞,李琼慧,等.“十四五”中国海上风电发展关键问题[J].中国电力,2020,53(7):8-17.

[7] 曾佑清.海上风电运维服务探索之运维船[N].中国能源报,2017-06-05(18).

[8] 高焱.海上风电运维工作要点分析[J].无线互联科技,2018,15(19):121-122.

[9] 李绿琴.海上风电运维船的发展探究[J].科技创新与应用,2019(34):77-78.

[10] 李达.福建省海上风电场运维船论证研究[J].海峡科学,2016(12):68-71.

[11] 芮晓明,谢鲁冰,李帅,等.面向可及度的海上风电机组维修策略研究[J].华北电力大学学报,2019,46(5):92-99.

[12] 王亚男,苏杭,胡田田,等.ROAD模式渤海10 m风场预报误差订正[J].气象科技,2019,47(6):934-940.

[13] 韩雪,盛建明,潘锡山,等.南黄海海域风暴潮精细化数值模式研究[J].海洋预报,2019,36(1):52-58.

[14] 郑崇伟,李训强,高占胜,等.经略21世纪海上丝绸之路之海洋环境特征:风候统计分析[J].海洋开发与管理,2015,32(8):4-11.

[15] The WAVEWATCH III Development Group (WW3DG), 2016: User manual and system documentation of WAVEWATCH III, version 5.16[M]. USA: NOAA/NWS/NCEP/MMAB: College Park, MD, USA, 2016: 326.

[16] Atlas R, Hoffman R N, Ardizzone J, et al. A cross-calibrated, multiplatform ocean surface wind velocity product for meteorological and oceanographic applications[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2011, 92(2): 157-174.

[17] 陶爱峰,沈至淳,李硕,等.中国灾害性海浪研究进展[J].科技导报,2018,36(14):26-34.

[18] 孙燕,申友利,边启明,等.中石化广西液化天然气项目灾害性海浪特征参数数值推算[J].海洋湖沼通报,2019(5):49-56.

[19] 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 19721.2-2017 海洋预报和警报发布 第2部分:海浪预报和警报发布[S].北京:中国标准出版社,2017.

[20] 孙湘平.中国近海区域海洋[M].北京:海洋出版社,2006.

[21] 徐丽丽,肖文军,石少华,等.WaveWatch III和SWAN模型嵌套技术在业务化海浪预报系统中的应用及检验[J].海洋通报,2015,34(3):283-294.

[22] 刘莲,黄秀清,王百顺,等.长江口岛沙概况及其海岛界定研究[J].海洋开发与管理,2012,29(11):41-45.

Wind and ocean wave forecasts for the offshore wind farms near the Changjiang River estuary from August to October 2019

DENG Xin-yi¹, LI Bei-mei¹, WANG Xiao-chun², CHEN Zhi-qiang³, CHEN Min-hao³,
LIU Cheng⁴, YUAN Fei⁴

(1. Nanjing Hevis Ocean Information Services Co., Ltd, Nanjing 210000 China; 2. Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044 China; 3. Shanghai Marine Meteorological Center, Shanghai 200000 China; 4. CSIC (Chongqing) Haizhuang Windpower Equipment Co., Ltd, Chongqing 404100 China)

Abstract: This paper makes single-point forecasts for the Shanghai Changjin No 5 ship, one light house at Changjiang estuary and one moored buoy station in the East China Sea using the products of NCEP Global Forecast System and Wave Watch III from August to October 2019, and the observation data of these stations are used to evaluate the accuracy of global wind and significant wave height prediction near the Changjiang River estuary according to the needs of a local wind farm. The results show that the wind speed of the global weather forecast products provides certain reference for the single-point forecast near the Changjiang River estuary. The accuracy of the 24-hour forecast for wind speed greater than 6 m/s reaches 46.3%. The use of the decaying averaging method can reduce RMSE of the wind speed forecast by 10%~14% and increase the forecast accuracy to 57.0%. The RMSE of the significant wave height for 48-hour forecast at the light house is less than 0.25 meters with a correlation coefficient of 0.80. Under extreme typhoon weather conditions, the global weather forecast products still show certain skills in forecasting wind speed near the Changjiang River estuary even though the maximum wind speed is about 6 hours behind. Nevertheless, the forecasting skill of global wave forecasting products under typhoon condition is not significantly different from that under no-typhoon condition.

Key words: Changjiang River estuary; RMSE; wind farms; forecast evaluation