

Doi:10.11840/j.issn.1001-6392.2023.05.003

常规海面风预报质量检验的实现

姚圣康, 潘灵芝, 郑晓琴, 梁颖瑜, 于芸, 郇海, 马卫军

(自然资源部东海预报减灾中心, 上海, 200136)

摘 要: 常规海面风预报内容是“文字加字符”形式, 实况数据是间隔均匀的数据序列, 所以常规海面风预报无法像数值预报一样直接应用实况数据进行预报质量的检验评估。本文在详细调研全国海洋预报机构发布的海面风预报产品基础上, 针对不同的常规预报内容, 制定了一套客观、合理、标准化的处理方法, 成功实现了对常规海面风预报的检验, 并应用东海区实况数据对常规海面风预报进行了检验测试, 通过对存在的问题进行研讨与论证, 完善了检验评估规则, 提升了其实用性、合理性和适用性。

关键词: 海洋环境预报; 海面风; 检验评估

中图分类号: P731.3; P456

文献标识码: A

文章编号: 1001-6932(2023)05-0508-09

Inspection methods of sea surface wind forecast products

YAO Sengkang, PAN Lingzhi, ZHENG Xiaoqin, LIANG Yingyu, YU Yun, GAO Hai, MA Weijun

(East China Sea Forecasting and Disaster Reduction Center, Ministry of Natural Resources, Shanghai 200136, China)

Abstract: Words and symbols are the common forms of the conventional sea surface wind forecast. As the observed data are the spaced data series, sea surface wind forecast cannot be directly inspected while comparing to the numerical forecast in the forecast quality inspection. Based on thorough investigation of the sea surface wind forecast products released by marine forecast agencies in the whole country, an objective, reasonable and standardized quality inspection method for the sea surface wind forecast was established in different forecast contents. The inspection of the conventional sea surface wind forecast had been successfully realized, and the inspection methods had been tested by using the observed data of the East China Sea. After emerging problems were discussed and fixed, the method was improved, with enhanced practicability, rationality, and applicability.

Keywords: marine environment forecasting; the sea surface wind; verification and evaluation

海洋环境预报是海洋活动安全的重要保障, 是降低海洋灾害影响、促进沿海经济可持续发展的主要措施。高质量的海洋环境预报对保护人民生命财产安全至关重要, 是制定科学防灾对策的关键因素, 海洋环境预报质量是海洋预报机构能力评价、预报人员分类定级的重要标准。因此, 海洋环境预报质量检验, 应成为环境预报服务工作的重要环节。

海面风是海洋环境预报的基础要素。在国内,

气象预报机构对风预报的质量检验起步较早, 2005年, 中国气象局预测减灾司下发《中短期天气预报质量检验方法(试行)》, 给出了6级以上大风空报、漏报、预报正确的检验方法; 2014年, 中国气象局发布的行业标准《风预报检验方法》(QX/T 229-2014)^[1], 给出了风的确定性预报检验方法; 中国国家标准化管理委员会于2017年发布数值预报风的检验规范^[2], 2019年新发布的国家标准^[3-4], 进一步完善了风的预报检验方法, 并给

收稿日期: 2021-09-29; 修订日期: 2022-07-27

基金项目: 全国海洋标准化技术委员会推荐性制修订计划(20140698-T-418)

作者简介: 姚圣康(1964—), 高级工程师, 主要从事东海海洋环境预警预报工作, 电子邮箱: yaoshengkang@ecs.mnr.gov.cn

通信作者: 潘灵芝, 博士, 高级工程师, 主要从事近海环境动力模拟预测与海洋灾害风险评估研究, 电子邮箱: panlingzhi@

ecs.mnr.gov.cn

出了台风强度预报误差的检验方法。常规海面风预报内容是一段含字符文字（比如：NE5~6▽7夜里→SE7~8▽9），无法与数值预报产品一样直接应用实况数据开展预报质量检验。此外，由于海上实况数据匮乏，海面风的预报质量检验一直采用人工定性检验法，即基于每日逐3 h东亚地面天气实况分析图和志愿船实况风速观测数据，据经验判定海面风预报的准确性，主观性较大。随着我国离岸观测系统建设加快，海上浮标逐渐增多，基本覆盖125°E以西的中国近海海域，实况数据日益丰富，为定量检验海面风预报质量奠定了基础。但是，国内各级海洋预报机构对海面风预报的方式差异较大，常见预报为单一风速、风向值和风级区间、风位两种方式；对趋势性的预报，常见预报趋势变化且描述变化时段和预报趋势变化但不描述变化时段两种方式。现有风预报检验方法^[2-3]无法适用于常规海面风预报产品现状的复杂性，故国内至今未形成一套客观、科学、量化、普适的海面风预报质量检验方法，不利于预报技术水平发展与提高。在国外，海面风预报的质量检验^[5-6]多针对数值预报结果，常使用绝对误差、相对误差、均方根误差等检验指标，针对常规海面风预报质量检验的方法尚未见报道。

本文在深入调研我国海洋预报机构常规海面风预报发布情况的基础上，系统分析了海面风预报的内容、格式与时效，多次征求海洋气象预报机构、科研机构、涉海企事业单位及行政管理单位与专家的意见，针对关键性技术反复论证、研讨后，制定了一套常规海面风预报内容的预处理规则和方法，成功实现了对常规海面风预报产品质量的检验与评估，并在自然资源部东海局下属9家海洋预报机构开展了应用。

1 预报内容处理规则

为提升该方法的适应性，满足海洋防灾减灾需求，对待检验的预报内容制定相关规定和处理规则。

1.1 检验规定

1.1.1 检验要素

检验要素包含风级、风速、风向，因实况数据只有10 min平均风，故仅检验整点平均风，不

检验阵风。

1.1.2 预报时段

常规海面风预报中，预报时段出现频率较高，早期时段范围无明确规定，预报质量检验采用2020年国家标准^[7]：（1）以CTS（北京时间）05:00/18:00为界，把一天分为白天、夜间2个时间段，即（05:00~18:00）和（18:00~05:00），分别包含12小时13时次；（2）以CTS 05:00为起点，把一天分为8个常用时段，早晨（05:00~08:00）、上午（08:00~11:00）、中午（11:00~14:00）、下午（14:00~17:00）、傍晚（17:00~20:00）、上半夜（20:00~23:00）、半夜（23:00~02:00）和下半夜（02:00~05:00），分别包含3小时4时次。

1.1.3 实况数据

检验所用海面风的实况数据采用整点前10 min平均风，须符合《海洋观测规范 第2部分：海滨观测》（GB/T 14914.2-2019）^[8]对风速、风向的规定，且换算至海面10 m。若预报海区无实况数据，不作预报质量检验，若存在多站实况数据，取代表性最好站点参与检验。

依据蒲氏风速与风级间关系式^[9]，将实况风速换算为对应的实况风级。

$$\bar{V}_N = 0.1 + 0.824N^{1.505} \quad (1)$$

式中：N为风级，无量纲； $\bar{V}_N$ 为风级N对应的平均风速，单位为m/s。

1.2 预报要素处理

不同预报机构对于海面风的预报内容多样，预报质量检验前须进行标准化处理，把预报风级、风速、风向转化为检验风级、风速、风向，与实况数据量纲统一。

1.2.1 检验风级

假定预报风级为“ $N_1 \sim N_2$ ”，则检验风级N可取为 $N_1 \sim N_2$ 之间的任意值；通过出现频率最高的5~6级、6~7级、7~8级3个预报风级进行准确性测试，本文建议采用以下公式：

$$N = (N_1 + N_2) / 2 \quad (2)$$

式中： N_1 为预报风级下限， N_2 为预报风级上限，常规预报风级与对应检验风级见表1。

1.2.2 检验风速

预报风速为单一风速值时，预报风速即检验风速，单位与实况数据统一；预报风速为风级区间时，处理为检验风级，再依据蒲氏风速与风级

表 1 常规海面风预报风级与检验风级、检验风速对照表

风级预报表达形式			检验风级/级	检验风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
1			1.0	1.0
1~2			1.5	1.6
2			2.0	2.6
2~3	2~3▽4		2.5	3.3
3	3▽4		3.0	4.5
3~4	3~4▽5		3.5	5.5
4	4▽5	4▽5~6	4.0	6.7
4~5	4~5▽6	4~5▽6~7	4.5	8.1
5	5▽6	5▽6~7	5.0	9.4
5~6	5~6▽7	5~6▽7~8	5.5	10.9
6	6▽7	6▽7~8	6.0	12.3
6~7	6~7▽8	6~7▽8~9	6.5	14.0
7	7▽8	7▽8~9	7.0	15.5
7~8	7~8▽9	7~8▽9~10	7.5	17.3
7~9			8.0	19.0
8	8▽9	8▽9~10	8.0	19.0
8~9	8~9▽10	8~9▽10~11	8.5	20.8
8~10			9.0	20.8
9	9▽10	9▽10~11	9.0	22.6
9~10	9~10▽11	9~10▽11~12	9.5	24.6
9~11			10.0	24.6
9~12			10.6	28.9
10	10▽11	10▽11~12	10.0	26.5
10~11	10~11▽12	10~11▽12~13	10.5	28.6
10~12			11.0	30.6
10~13			11.6	33.0
11	11▽12	11▽12~13	11.0	30.6
11~12	11~12▽13	11~12▽13~14	11.5	32.8
11~13			12.0	34.8
11~14			12.6	37.3
12	12▽13	12▽13~14	12.0	34.8
12~13	12~13▽14	12~13▽14~15	12.5	37.1
12~14			13.0	39.2
12~15			13.5	41.3
13	13▽14	13▽14~15	13.0	39.2
13~14	13~14▽15	13~14▽15~16	13.5	41.7
13~15			14.0	43.8
13~16			14.6	46.5
14	14▽15	14▽15~16	14.0	43.8
14~15	14~15▽16	14~15▽16~17	14.5	46.4

间关系式将检验风级换算为检验风速。

1.2.3 检验风向

预报风向为单一风向值（单位为 $^{\circ}$ ）时，预报风向即检验风向；预报风向为方位时，依据《气

象要素特征值》（QX/T 515-2019）^[10]附录 A.1 方位特征值，将预报风向转换为检验风向。在常规海面风预报中，海洋预报机构经常混用 NNE 与 N-NE，检验时，二者等同。

1.3 预报趋势处理

在天气系统发生变化时, 常规海面风预报会描述趋势变化, 灾害系统来袭, 趋势变化较快, 有时会预报两次趋势变化。不同海洋预报机构对预报趋势、变化时段的描述各不相同, 须先将预报时效划分为趋势变化前时间段、趋势变化后时间段和变化时段, 再把预报要素分段处理为检验要素。

1.3.1 有趋势变化且明确发生时段

如预报风级、风速与风向有趋势变化且明确发生时段, 则预报时效内、变化时段之前为趋势变化前时间段, 对应时次的预报要素取变化前检验值; 预报时效内、变化时段之后为趋势变化后时间段, 对应时次的预报要素取变化后检验值, 其中趋势变化时段检验要素的各种误差均取为4个时次中的最小值。

以某日08时发布的24 h海面风预报“NE5~6▽7下午→SW6~7▽8”为例。预报时效为09:00至次日08:00, 趋势变化时段为下午(14:00~17:00), 根据处理规则: 趋势变化前时间段为09:00~14:00, 检验风级为5.5级(对应风速10.8 m/s), 检验风向45°; 趋势变化后时间段为17:00至次日08:00, 则14:00至次日08:00对应的检验风级为6.5级(对应风速13.9 m/s), 检验风向为225°。

1.3.2 有趋势变化不明确发生时段

如预报风级、风速与风向有趋势变化不明确发生时段, 则预报时效内第2时段起, 若某时次实况数据达到趋势变化后预报值, 则其前1时次所属时段为趋势变化时段; 若没有实况数据达到趋势变化后预报值, 则把预报时效内最后2个时段规定为趋势变化时段、趋势变化后时段。趋势变化前、后时间段和变化时段的检验要素, 采用有趋势变化且明确发生时段的规则处理。

2 检验评估规则

2.1 检验规则

常规海面风预报要素处理后, 应用平均误差检验预报风级、风速和风向的误差倾向, 计算公式如下:

$$D_{me} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - M_i) \quad (3)$$

式中: D_{me} 为某海区预报风级、风速和风向平均误差; n 为预报时效内时次数; i 为预报时次标记, $i=1, 2, \dots, n$; F_i 为第 i 个预报时次对应的检验风级、检验风速、检验风向; M_i 为第 i 个预报时次对应的实况风级、实况风速、实况风向; 风级、风速和风向单位分别为级、m/s和°。检验风向时, $F_i - M_i$ 与 D_{me} 变量范围为 $(-180, 180]$ 。

应用平均绝对误差检验预报风级、风速和风向的误差幅度, 计算公式如下:

$$D_{ame} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |F_i - M_i| \quad (4)$$

式中: D_{ame} 为某海区预报风级、风速和风向的平均绝对误差。

应用相对误差检验预报风速的可信程度, 计算公式为:

$$D_{rme} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|F_i - M_i|}{M_i} \times 100\% \quad (5)$$

式中: D_{rme} 为某海区预报风速的相对误差。

应用均方根误差检验预报风级、风速和风向的误差大小, 计算公式如下:

$$D_{sme} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (F_i - M_i)^2} \quad (6)$$

式中: D_{sme} 为某海区预报风级、风速或风向的均方根误差。

2.2 评估规则

为了更直观明了地展示海洋预报机构与预报员的预报质量情况, 基于常规海面风预报质量检验误差, 制定预报风级、风向评估规则, 风级评分如下:

(1) 风级绝对误差 ≤ 1 时, 预报风级评分计满分为100分;

(2) 风级绝对误差 >1 且 ≤ 2 时, 每相差0.1 m/s扣1分;

(3) 风级绝对误差 >2 且 ≤ 3 时, 每相差0.1 m/s扣2分;

(4) 风级绝对误差 >3 时, 预报风级评分计0分。

风向评分方法如下:

(1) 风向绝对误差 ≤ 1.5 个方位, 预报风向评分计满分100分;

(2) 风向绝对误差 >1.5 个方位且 ≤ 2 个方位, 每偏差1°扣1.5分;

(3) 风向绝对误差>2个方位，每偏差1°扣2分，直至0分；

(4) 旋转风预报正确，预报风向评分计100分，预报错误，计0分。

单个海域常规海面风预报得分为该海域所有时次得分均值，单份预报得分为所有预报海域得分均值。

3 问题讨论

利用东海海域2009年浮标QF205、QF206的实况数据检验所在5海区（长江口杭州湾海域）、9海区（台湾海峡南部海域）海面风预报质量，结果见表2。

表2 2009年东海预报中心5海区、9海区常规海面风预报检验结果统计表

检验海区	平均绝对误差			平均相对误差/%	
	风级/级	风速/(m·s ⁻¹)	风向/°	风级	风速
5海区	2.00	5.28	31.69	1.36	3.19
9海区	2.09	5.58	26.34	1.12	2.69

从检验结果看，预报质量不理想。为此，详细分析了不同天气系统影响过程中检验结果变化，

发现检验规则不能完全客观地反映天气系统现状，经意见征询、讨论与研究，从以下几点对检验规则进行补充完善，以增强其适用性。

3.1 最低预报风级

分析检验结果发现，实况风速0~4级小风情况是常规海面风预报误差大的一个主要来源。小风情况大都处于弱天气过程影响，风向多变是其主要特征，常见预报时效内实况数据出现6~9个方位^[1](图1)；此外，我国近海海域小风出现频次较高，尤其在每年5~8月西北太平洋受副高控制期间。据舟山外海浮标2009—2018年实况数据统计，4级（6.7 m/s）以下小风平均每年出现3 562时次，年出现频率为47.3%（表3）。常规海面风预报时，出于预警目的，大多海洋预报机构会设定4~5级或5~6级的最低预报风级，将0~4级包含在最低风级的发布习惯有其存在的合理性；灾害过程风级跨度较大，受篇幅限制，为完成预警目的预报风级无法覆盖低风级，而且常规海面风预报最多能描述2~3个方位。显然，小风情况下预报误差受预警目的、预报现实的影响而出现偏差，检验结果不能客观反映预报的准确性。

针对此种情况，检验中制定最低预报风级规

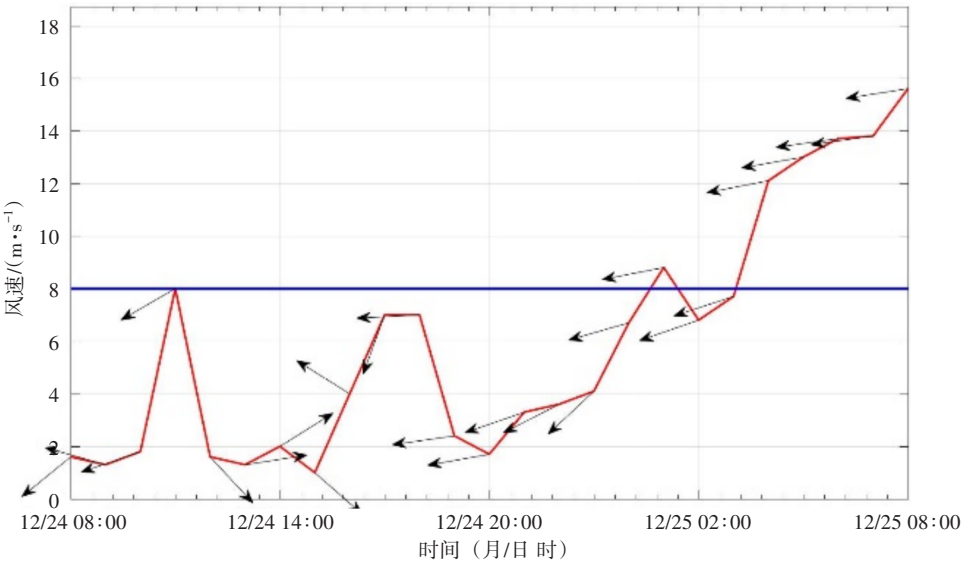


图1 2021年12月23—25日科技浮标风速风向实况图

表3 2009—2018年间舟山外海浮标4级（6.7 m/s）以下风速时次统计表

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	平均	概率
4级以下时次/次	1 129	1 760	3 523	3 800	5 853	3 518	4 272	4 261	4 137	3 365	4 139.6	47.3%

注：2009年、2010年浮标数据每日有8时次（02:00时、05:00时、08:00时、11:00时、14:00时、17:00时、20:00时、23:00时），统计时进行标准化转换。

则,当实况风级小于或等于最低风级时,取为最小风级、风速进行检验,风向的检验误差为0。应用实例:2021年12月24日08时,发布东海7海区24 h预报“NE4~5▽6下半夜→6~7▽8”,对比该海区海洋浮标观测风速风向过程图(图1)可见,预报与实况趋势基本一致;但当天09时至20时期间以4级以下小风为主,风级、风速与风向的逐时平均绝对误差分别为1.44级、3.32 m/s和61.1°,预报准确性检验结果较差,与实际预期偏差较大。如某海洋预报机构海面风最低预报风级设为4~5级,对应检验风级4.5级、检验风速8.1 m/s,应用本规则后,风级、风速与风向的逐时平均绝对误差分别为0.09级、0.28 m/s和17.8°(表4),预报准确性检验结果与预报情况基本吻合。

3.2 最高预报风级

分析检验结果发现,实况风速10级以上大风情况也是常规海面风预报大误差的一个主要来源。大风情况多受台风等灾害天气系统影响,风力常达12级以上,由于2000年以前大多风速仪测定范围在2~40 m/s之间,且蒲氏风级表最高为12级(2000年开始增补13~17级),所以海洋预报机构有预报风级不超12级的习惯;此外,灾害大风过程中最大风级出现时间较短,仅1~2个时次,出于不漏报灾害过程的预警目的,常规海面风预报时会预报可能出现的最大风级。所以,灾害天气系统影响时,出于安全预警需求的预报实用性强,但检验结果较差。

针对这种情况,检验中制定最高预报风级规

表4 2021年12月24日08时东海预报中心7海区常规海面风预报质量检验结果表

时间	实况			预报			绝对误差(单位同实况)					
	风向/°	风级/级	风速/(m·s ⁻¹)	风向/°	风级/级	风速/(m·s ⁻¹)	无最低设定			最低风级设定4.5级		
							风向	风级	风速	风向	风级	风速
24日09时	106	1.3	1.3	22.5	4.5	8.1	83.5	3.2	6.8	0	0	0
24日10时	71	1.6	1.8	22.5	4.5	8.1	48.5	2.9	6.3	0	0	0
24日11时	60	4.5	8	22.5	4.5	8.1	37.5	0	0.1	0	0	0
24日12时	317	1.5	1.6	22.5	4.5	8.1	65.5	3	6.5	0	0	0
24日13时	261	1.3	1.3	22.5	4.5	8.1	121.5	3.2	6.8	0	0	0
24日14时	238	1.7	2	22.5	4.5	8.1	144.5	2.8	6.1	0	0	0
24日15时	311	1.1	1	22.5	4.5	8.1	71.5	3.4	7.1	0	0	0
24日16时	122	2.8	4	22.5	4.5	8.1	99.5	1.7	4.1	0	0	0
24日17时	20	4.1	7	22.5	4.5	8.1	2.5	0.4	1.1	0	0	0
24日18时	87	4.1	7	22.5	4.5	8.1	64.5	0.4	1.1	0	0	0
24日19时	82	2	2.4	22.5	4.5	8.1	59.5	2.5	5.7	0	0	0
24日20时	80	1.6	1.7	22.5	4.5	8.1	57.5	2.9	6.4	0	0	0
24日21时	71	2.5	3.3	22.5	4.5	8.1	48.5	2	4.8	0	0	0
24日22时	63	2.6	3.6	22.5	4.5	8.1	40.5	1.9	4.5	0	0	0
24日23时	47	2.9	4.1	22.5	4.5	8.1	24.5	1.6	4	0	0	0
25日00时	74	4	6.7	22.5	4.5	8.1	51.5	0.5	1.4	0	0	0
25日01时	79	4.8	8.8	22.5	4.5	8.1	56.5	0.3	0.7	56.5	0.3	0.7
25日02时	71	4	6.8	22.5	6.5	14	48.5	0.3	1	48.5	0.3	1
25日03时	72	4.4	7.7	22.5	6.5	14	49.5	0.3	1	48.5	0.3	1
25日04时	79	5.9	12.1	22.5	6.5	14	56.5	0.3	1	48.5	0.3	1
25日05时	80	6.2	13	22.5	6.5	14	57.5	0.3	1	48.5	0.3	1
25日06时	82	6.4	13.7	22.5	6.5	14	59.5	0.1	0.3	59.5	0.1	0.3
25日07时	82	6.5	13.8	22.5	6.5	14	59.5	0	0.2	59.5	0	0.2
25日08时	81	7	15.6	22.5	6.5	14	58.5	0.5	1.6	58.5	0.5	1.6
平均值							61.1	1.44	3.32	17.8	0.09	0.28

注:表中02~04时为趋势变化时段,风级、风速、风向的绝对误差分别取4个时次中的最小值。

则,当实况风级大于或等于最高风级时,采用大风预报准确性检验规则,不计入常规检验结果,据海洋预报机构意见取10级为最高预报风级。以1808号超强台风“玛莉亚”为例,2018年7月10日08时,发布东海7海区24h预报“SE4~5V6傍晚↑10~12下半夜↑13~15级”,对比该海区海洋浮标观测风级风向过程图(图2)可见,通过2次趋势变化预报了台风逐渐进入7海区的过程,起报风级4~5级增大至13~15级,实况风级也从5级

增大至14级;此外,11日04:00—08:00时台风中心仍位于7海区,风力维持在12级左右,此时浮标已位于台风中心后侧,故其实况风力开始逐渐减小低于10级以下。可见对于台风过程的预报和预警作用很成功,但预报准确性检验结果很差,风级误差高达2.4级。若设定10级为最高预报风级,应用本规则后,风级、风速与风向的逐时平均绝对误差分别为1.1级、3.7 m/s和45°(表5),预报准确性检验结果能较为客观地反映预报质量。

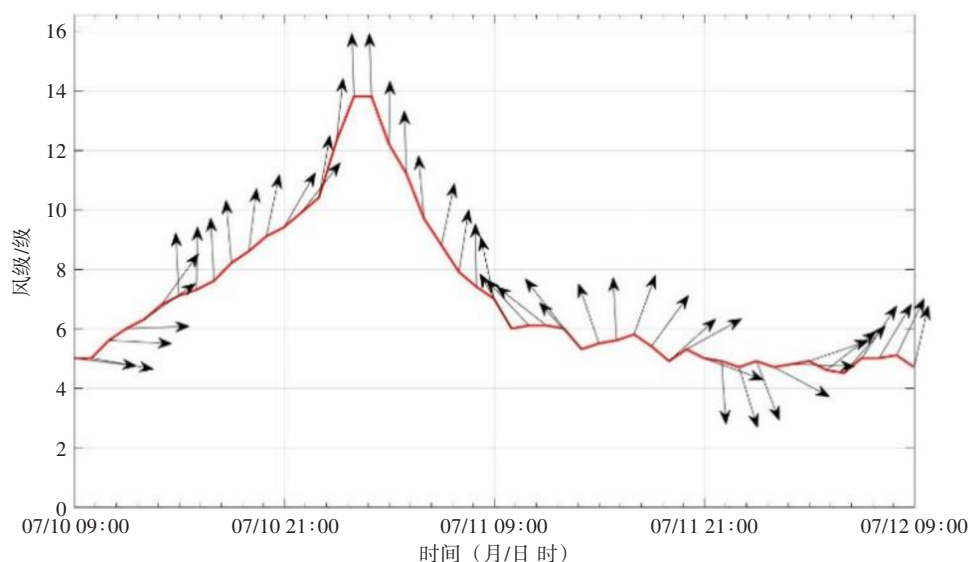


图2 2018年7月10日09时至12日09时科技浮标风速风向实况图

表5 东海预报中心2018年7月10日08时至11日08时7海区常规海面风预报质量检验结果统计表

最高风级设定	平均绝对误差		
	风向/°	风级/级	风速/(m·s ⁻¹)
不设最高预报风级	104	2.4	9.4
设定最高预报风级(10级)	45	1.1	3.7

3.3 气旋预报检验

在热带气旋或温带气旋影响时,有些预报机构会使用旋转风进行预报。旋转风是指风向呈顺时针或者逆时针旋转的风过程,但到目前为止,气象与海洋预报机构都没有给出旋转风发生的判定条件。为此,在仔细分析2010—2012年期间影响长江口外海、温州外海2个浮标的1007“圆规”、1105“米雷”、1109“梅花”、1205“泰利”、1210“达维”、1211“海葵”共6个台风实况风向的基础上,结合海洋预报现状,制定了旋转风发生的判定条件:①连续12h内出现7个及以上不同方位;②连续24h内出现11个及以上不同方

位;③预报时效内,气旋中心进入预报海域。

旋转风检验指标采用预报正确、错误。预报风向:(1)仅含旋转风时,则预报海域实况数据满足判别条件的三者之一,即认定为预报正确;若三个判别条件均不满足,则为预报错误。(2)含旋转风与常规风但无发生时段时,则将预报时间段分成若干个连续M时次的时间段,12≤M≤17,若任一时间段内预报海域实况数据满足判别条件①或判别条件③,即认定为预报正确;否则,认定为预报错误。(3)含旋转风与常规风有发生时段,在旋转风预报时间段内,预报海域实况数据满足判别条件①或判别条件③,即认定为预报正确;否则,认定为预报错误。

预报时段内旋转风预报正确,对应所有时次的预报风向评分计100分;预报错误,则预报风向评分计0。

3.4 海上大风准确性检验

据国家标准《海上大风预警等级》(GB/T

27958-2011)^[12]规定,当海面风级 ≥ 7 级时,发布海上大风警报,同时启动大风预报准确性检验,检验指标采用预报正确率、漏报率与空报率。

漏报,以预报最高风级的最大风速为检验风速,若检验风速低于实况风级2级为漏报;空报,以预报最低风级的最小风速为检验风速,若检验风速高于实况风级2级为空报;若非空报和漏报,则为预报正确。以大风警报“7~8▽9”为例,依据判别标准:漏报的判别风速为预报最高风级8级的最大风速20.7 m/s,若实况风级高于10级的最大风速28.4 m/s为漏报;空报的判别风速为预报最低风速7级的最小风速13.9 m/s,若实况风级低于5级的最小风速8.0 m/s为空报。

当预报风级 ≥ 7 时,启动预报正确、空报的判别与准确性检验;当实况风级 ≥ 7 时,启动预报正确、漏报的判别与准确性检验。对单次预报,准确性检验指标采用预报正确、空报和漏报。对月度、季度或年度预报而言,准确性检验指标采用准确率(TS)、空报率(FAR)、漏报率(PO)。计算公式如下:

$$TS = \frac{NA}{NA + NB + NC} \times 100\% \quad (7)$$

$$FAR = \frac{NB}{NA + NB + NC} \times 100\% \quad (8)$$

$$PO = \frac{NC}{NA + NB + NC} \times 100\% \quad (9)$$

式中:NA、NB与NC分别为预报正确、空报、漏报次数。

3.5 观测点代表性问题

常规海面风预报主要针对区域预报,而浮标、岛屿或岸基观测站是点,观测数据仅能代表所在小范围海况;在预报质量检验时,点与面的矛盾无法回避。在平稳或弱天气系统影响时,采用观测点实况检验区域预报质量是可行的,但受热带或强温带气旋影响时,气旋近中心风速最大,自中心向外延伸风速急剧减小,采用观测点实况数据检验海区预报质量不够科学,结果不客观,此时应根据气旋中心与观测点的位置关系分析检验结果的合理性与有效性^[13]。

应用东海西北部2个3米标和大戢山、余山、滩浒岛、嵎山海洋观测站2007—2020年间海面风实况数据,针对影响该海域的108个台风过程开展预报质量检验,应用舟山外海、温州外海、宁

德外海、科技(宁德外东侧)等海洋浮标的海面风实况数据,对2011—2020年5个典型台风过程(1105“米雷”、1109“梅花”、1205“泰利”、1211“海葵”、1808“玛莉亚”)开展预报质量检验,逐一分析不同观测点每个过程检验结果的合理性。基于研究结果,对热带或温带气旋影响预报海区时,观测点是否具有代表性制定以下判断规则:

(1) 预报时效内,气旋7级风圈外缘距预报海域边缘 >250 km,观测点具有代表性;

(2) 预报时效内,气旋7级风圈外缘距预报海域边缘 ≤ 250 km,且气旋中心距观测站点 ≤ 40 km,观测点具有代表性;

(3) 预报时效内,气旋7级风圈外缘距预报海域边缘 ≤ 250 km,但气旋中心距观测站点 > 40 km,观测点不具代表性;

(4) 预报时效内,气旋中心经过观测站点时,观测点不具代表性。

若观测点具有代表性,则检验结果有效,当检验结果判为无效,则该结果应从检验结果中剔除。

4 结论

在详细调研全国海洋预报机构海面风预报产品内容与形式基础上,针对主流常规预报情况,制定了一套把预报风级、风速与风向拆解为逐时检验风速、风级与风向的标准化处理规则,应用相对误差和绝对误差采用东海海域2009年5海区、9海区实况数据开展预报质量检验。通过系统性分析大误差的来源特点及其合理性,在遵循海洋预报客观规律、保证安全预警目标的基础上,补充了最低、最高预报风级检验规则,完善了海上大风以及气旋等灾害天气过程的检验方法,并对气旋影响期间观测点代表性与检验结果有效性进行讨论。最终,形成了一套相对客观、合理、标准化的常规海面风预报质量检验方法,成功实现了对常规海面风预报质量的检验评估,本文研究内容具有非常客观的实用价值。

2013年,该方法在自然资源部东海局下属9家海洋预报机构中开始试用运行,每月初发布上月度预报质量检验报告,不同预报员、预报机构

在各个海区的预报质量得以量化。预报质量报告的发布,促进了海洋预报员之间的技术交流,提升了海洋预报机构的整体预报保障能力;此外,为海洋预报机构能力评价、预报人员分类定级提供了重要依据,从而健全了海洋预报机构的预报质量管理体系。常规海面风评估方法与海表温、海浪、风暴潮与海冰的评估方法成果,已形成国家标准《海洋预报结果准确性检验评估方法》(GB/T 41165-2021)^[14],于2022年7月实施。其中,海上大风准确性检验规则,实践应用样本数量相对较少,仍有待在使用过程中发现问题并加以修改完善。

参 考 文 献

- [1] 中国气象局. 风预报检验方法: QX/T 229-2014[S]. 2014.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 数值天气预报产品检验规范: GB/T 34303-2017[S]. 2017.
- [3] 国家市场监督管理总局. 天气预报检验 风预报: GB/T 37302-2019[S]. 2019.
- [4] 国家市场监督管理总局. 天气预报检验 台风预报: GB/T 38308-2019[S]. 2019.
- [5] RODWELL M J, RICHARDSON D S, HEWSON T D. A new equitable score suitable for verifying precipitation in numerical weather prediction[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2010, 136(650): 1344-1363.
- [6] HAIDEN T, RODWELL M J, RICHARDSON D S, et al. Intercomparison of global model precipitation forecast skill in 2010/11 using the SEEPS score[J]. Monthly Weather Review, 2012, 140(8): 2720-2733.
- [7] 国家市场监督管理总局. 海洋预报术语: GB/T 39628-2020[S]. 2020.
- [8] 国家市场监督管理总局. 海洋观测规范 第2部分: 海滨观测: GB/T 14914.2-2019[S]. 2019.
- [9] 陆忠汉, 王婉馨. 简明气象词典[M]. 长沙: 湖南科技出版社, 1984.
- [10] 中国气象局. 气象要素特征值: QX/T 515-2019[S]. 2019.
- [11] 于茜倩, 谢冬梅, 陈永平, 等. 1979—2019年影响中国沿海的热带气旋与 ENSO 变化关系初探[J]. 海洋通报, 2022, 41(1): 29-38.
- [12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 海上大风预警等级: GB/T 27958-2011[S]. 2011.
- [13] 谭海燕, 邵珠晓, 梁丙臣, 等. ERA5 风场与 NCEP 风场在黄海、东海波浪模拟的适用性对比研究[J]. 海洋通报, 2021, 40(5): 524-540.
- [14] 国家市场监督管理总局. 海洋预报结果准确性检验评估方法: GB/T 41165-2021[S]. 2021.

(本文编辑: 王少朋)