

NCEP数值预报产品浪向客观预报检验评估

孙一妹^{*#}, 钟 剑, 吴玉琴, 张哲良, 农冬飞雪

中国卫星海上测控部, 江苏 无锡

收稿日期: 2026年7月24日; 录用日期: 2026年8月15日; 发布日期: 2026年8月25日

摘 要

利用2021年各海域船舶实况观测和业务中主用的NCEP全球海浪数值预报产品, 从不同预报时效、海区、月份、起报时间和方向, 开展客观、定量的海浪数值预报产品浪向要素检验评估。检验结果分析可知: 在南印度洋、南太平洋和夏半年, 顺时针预报偏差较多; 在热带印度洋、热带太平洋和冬半年, 逆时针预报偏差较多; 春秋季误差相对冬夏季偏低; 偏西和西南方向多为逆时针浪向预报误差, 其余方向多顺时针误差; 误差最高的浪向是偏北方向, 最低为偏南方向; 不同预报时效和起报时次的浪向预报误差相似, 实际预报中可不考虑其影响。

关键词

数值预报产品, 浪向, 检验评估

Verification of Wave Direction Forecasts from NCEP Numerical Prediction Products

Yimei Sun^{*#}, Jian Zhong, Yuqin Wu, Zheliang Zhang, Dongfeixue Nong

China Satellite Maritime Tracking and Control Department, Wuxi Jiangsu

Received: July 24, 2026; accepted: August 15, 2026; published: August 25, 2026

Abstract

Using ship observations from various sea areas throughout 2021 and the NCEP global wave numerical prediction, an objective and quantitative verification of the wave direction was conducted with respect to different forecast times, areas, months, initial times, and directions. The verification reveals the following. In the South Indian Ocean, the South Pacific, and the summer half-year, clockwise forecast biases occur more frequently; in the tropical Indian Ocean, the tropical Pacific, and the

^{*}第一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 孙一妹, 钟剑, 吴玉琴, 张哲良, 农冬飞雪. NCEP 数值预报产品浪向客观预报检验评估[J]. 统计学与应用, 2026, 15(8): 289-294. DOI: 10.12677/sa.2026.158198

winter half-year, counterclockwise biases are more common. Errors in spring and autumn are lower than in winter and summer. For westerly and southwesterly directions, the forecast errors are mostly counterclockwise, whereas for other directions, they are clockwise. The largest errors occur for northerly waves, and the smallest for southerly waves. For different forecast lead times and initial times, the wave direction errors are similar, so their influence can be disregarded in practical forecasting.

Keywords

Numerical Prediction Products, Wave Direction, Verification

Copyright © 2026 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

随着海洋开发和利用的不断深入,海上航行、涉海工程、渔业作业、海洋资源开发等海洋经济快速发展以及保障人民生命财产安全,对海浪预报的准确性要求越来越高。海浪数值预报产品是海浪保障的基础性、支撑性数据,对其开展检验评估有助于提升数值预报产品的效能发挥。

日常业务中对海浪预报的检验评估主要依赖于主观判断,少数学者对海浪保障开展了客观检验评估。孙玉娟[1]、吴欢[2]、尹汉军[3]分别检验了自然资源部第一海洋研究所发展的 MASNUM 海浪模式;梁颖瑜[4] (常规海浪预报定量化检验评估方法研究)针对常规文字产品制定了检验评估方法的处理规则,重点解决评估波高最小值设定、观测点与预报海域之间的关系、同一海域多点实况资料选取等定量化检验评估中的关键技术难点;丁骏[5]基于近海浮标检验了国家海洋环境预报中心自主研发的妈祖海浪模式,24 h 预报有效波高的均方根误差在近海区域为 0.29~0.40 m。目前,对于远洋保障中最为常用的 NCEP 全球海浪数值预报数据,其检验评估工作还处于起步阶段。

2. 资料及方法

本文采用实际业务中最常用的美国国家海洋和大气管理局 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)/NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 2021 年全年 GRIB2 格式全球海浪数值预报产品,以及近远海船舶走航式观测实况,完成了数据完整性、结构一致性和极值检查三方面质量控制和预处理,通过质量控制和预处理,采用双线性插值将预报网格数据插值到船舶实况站点,累计获得不同时效的浪向预报值和实况配对数据样本 114,128 组。船体遮挡、设备经度可能给实况观测带来系统偏差,但考虑船舶航向多样性和样本数量较大,上述偏差对数值产品检验评估的影响有限,但对于样本数量较小的误差分析(例如不同月份的检验评估),后续研究中将进一步增大样本采样量。

本文构建了客观、定量的海浪数值预报产品浪向要素检验评估方法,浪向误差检验统计量包括偏差、平均误差、平均绝对误差、均方根误差和均方误差等,以便客观、定量地给出预报系统的整体表现。经数据收集、预处理、对比分析等流程,从不同预报时效、不同海区、不同月份、不同起报时间、不同浪向五个方面,开展 NCEP 数值预报产品浪向客观预报检验评估。

3. 浪向误差检验统计量分析

3.1. 不同预报时效的浪向预报对比分析

表 1 为不同预报时效浪向预报误差统计分析量。除 168 小时预报时效外,预报平均误差为 2°左右,

误差中位数为 -1° 左右,说明有一定逆时针预报偏差的数量相对较多,但顺时针预报偏差的量值更大,平均绝对误差为 $39^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。随着预报时效的延长,预报浪向较实况向顺时针偏转程度略有增大。随着预报时效增大,平均误差、平均绝对误差、误差标准差、误差方差等均基本持平且略有增大。可见,168小时内浪向误差离散程度总体上为略有增加,预报不确定性与预报时效有一定关系但幅度有限,浪向预报误差对时效不敏感。

Table 1. Statistics of wave direction forecast errors for different forecast lead times
表 1. 不同预报时效浪向预报误差统计量

时效	平均误差	平均绝对误差	误差标准差	误差方差	误差中位数	绝对误差中位数
24 h	1.83	39.11	59.13	3497.02	-1.02	19.78
48 h	2.33	39.27	59.38	3526.48	-0.82	20.09
72 h	1.68	38.56	58.36	3406.17	-0.69	19.56
96 h	2.31	38.828	58.61	3435.48	-0.75	19.74
120 h	2.54	39.389	59.50	3540.57	-1.30	19.85
144 h	2.58	40.70	60.463	3656.41	-1.07	20.92
168 h	0.78	40.92	60.22	3626.86	-2	21.91

3.2. 不同海区的浪向预报对比分析

考虑南北半球天气系统变化特点不同,中纬度系统与赤道热带系统也存在很大差异。本节将区分西北太平洋、热带印度洋、热带太平洋、南印度洋、南太平洋五个海域,从平均误差、平均绝对误差和均方根误差三个方面,综合分析 NCEP 数值预报误差情况。分析图 1 可知,平均误差方面,南印度洋和南太平洋分别为 14.6° 和 8.53° ,顺时针预报偏差明显,南半球中纬度海域广阔,热带气旋、温带气旋和冷空气交替影响,增大了风向预报的不确定性;热带印度洋和热带太平洋平均误差分别为 -5.04° 和 -8.64° ,存在逆时针预报偏差;西北太平洋存在轻微的顺时针预报偏差。平均绝对误差和均方根误差方面,南印度洋误差最小,南太平洋最大。不同海域的预报误差差异明显,证明了浪向预报误差对于海区的敏感性,在业务工作中必须进行差别性的分析。

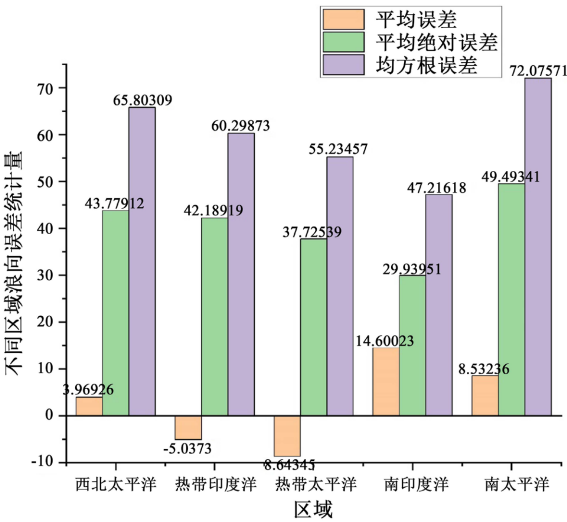


Figure 1. Verification statistics of wave direction errors for different sea areas
图 1. 不同海区的浪向误差检验统计量

3.3. 不同月份的浪向预报对比分析

Table 2. Verification statistics of wave direction errors for different months
表 2. 不同月份的浪向误差检验统计量

起报时次	样本个数	平均误差	平均绝对误差	均方跟误差	均方误差
1	9722	-4.39	42.19	61.93	3835.91
2	7766	-11.05	38.85	58.23	3391.13
3	11,224	4.35	38.43	61.41	3771.76
4	6323	-2.31	20.33	32.44	1052.07
5	10,270	10.91	41.52	62.68	3929.05
6	9903	7.99	51.91	71.83	5159.93
7	12,990	-7.14	44.06	66.53	4426.09
8	8761	20.11	45.17	63.84	4076.05
9	9901	6.48	33.16	50.99	2600.37
10	9552	-4.72	38.60	58.38	3408.72
11	8762	14.87	35.90	51.25	2626.62
12	8843	-11.69	35.90	52.70	2777.43

考虑不同季节天气系统变化特点不同,各月份和季节之间存在很大差异。本节将区分 12 个不同月份,从平均误差、平均绝对误差、均方根误差和均方误差四个方面,综合分析 NCEP 数值预报浪向误差情况。如表 2 所示,不同月份和季节的误差统计量分布特征存在明显差异。平均误差方面,各有 6 个月存在正误差和负误差,其中 12、1、2 月均为负误差,冬半年逆时针浪向误差偏多,5、6、8、9 月均为负误差,夏半年顺时针误差偏多。平均绝对误差和均方根误差方面,4、9 月前后(即春秋季节)误差量偏低。总体来说,4、9 月前后(即春秋季节)各类误差统计量相对较低,冬夏季节各类误差统计量相对偏高。不同月份的预报误差差异明显,证明了浪向预报误差对于月份和季节的敏感性,在业务工作中必须进行差别性的分析。

3.4. 不同起报时间的浪向预报对比分析

如表 3 所示,不同起报时间的数值预报误差检验统计量分布特征基本一致。浪向平均误差在 2.0°左右,有轻微顺时针偏差,平均绝对误差均位于 39.5°左右,均方根误差均位于 59.5°左右,均方误差均位于 3500 附近。不同起报时间的预报误差差异不明显,证明了浪向预报误差对于起报时间不敏感,在业务中可不考虑不同起报时间误差的差异性。

Table 3. Verification statistics of wave direction errors for different directions
表 3. 不同起报时间的浪向误差检验统计量

起报时次	样本个数	平均误差	平均绝对误差	均方跟误差	均方误差
0	57,065	2.15	39.43	59.30	3516.92
12	57,064	1.90	39.71	59.67	3560.23

3.5. 不同方向的浪向预报对比分析

考虑方向可能对误差产生影响,将区分 8 个方向的实况浪向,从平均误差、平均绝对误差和均方根误差三个方面,综合分析浪向数值预报误差情况。如图 2 所示,浪向平均误差方面,除了偏西和西南方向为负偏差(即逆时针误差),其余方向均为正偏差(即顺时针误差)。浪向误差统计量最高的是偏北方向,且明显大于其他方向,平均误差、平均绝对误差、均方根误差、均方误差分别为 13.91° 、 81.02° 、 99.10° 和 9820.88 ,其次为西北和偏西方向;误差最低的为偏南方向,平均误差、平均绝对误差和均方根误差分别为 1.77° 、 32.57° 、 48.30° 和 2333.06 ,其次为西南和东北方向。不同方向的浪向预报误差差异非常明显,偏北浪向数值预报误差最大,可能与北半球天气系统南下通常为快速转折过程有关,客观预报无法直接应用,在实际预报业务工作中应予以甄别和订正。

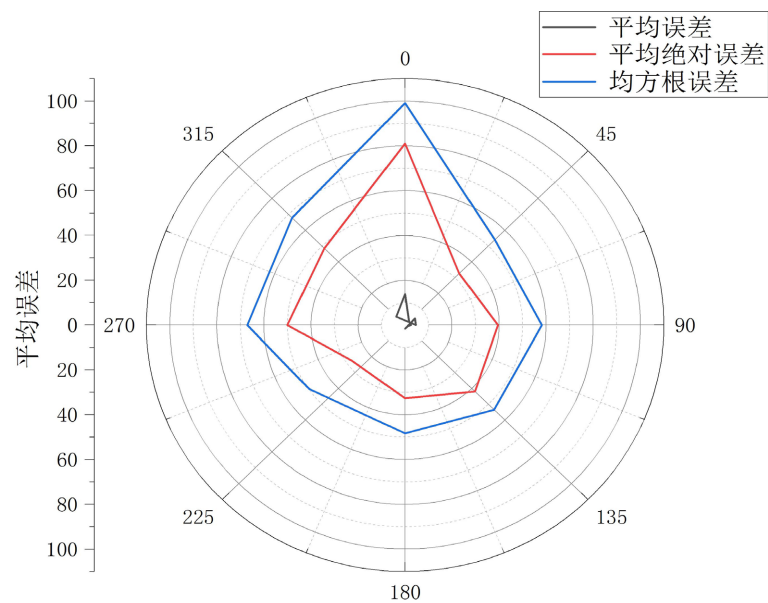


Figure 2. Verification statistics for wave-direction errors for different wave directions
图 2. 不同方向的浪向误差检验统计量

4. 小结

本文基于稀缺的海上实况观测数据和远洋气象保障中常用的 NCEP 海浪数值预报产品,设计并实施了质量控制和预处理流程,针对气象要素“浪向”,从不同预报时效、不同海区、不同月份、不同起报时间、不同方向多角度,开展了检验应用,相关结论可用于指导海区预报订正业务。南印度洋和南太平洋顺时针预报偏差较多;热带印度洋和热带太平洋逆时针预报偏差较大。冬半年逆时针浪向误差偏多,夏半年顺时针浪向误差偏多。春秋季节误差相对较低,冬夏相对偏高。偏西和西南方向多为逆时针浪向预报误差,其余方向多顺时针偏差。误差最高的是偏北方向,最低为偏南方向。不同海域、月份、方向的浪向预报误差差异非常明显,偏北浪向数值预报误差最大,客观预报无法直接应用,在实际预报业务工作中应予以甄别和订正;随着预报时效延长和起报时次变更,预报误差变化不大,预报保障业务中可不考虑其影响。

参考文献

- [1] 孙玉娟, 乔方利, 王关锁, 等. MASNUM 海浪数值模式业务化预报与检验[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(3): 281-

294.

- [2] 吴欢, 汪一航, 滕涌, 等. 浙江海域 MASNUM 海浪模式在台风“达维”“海葵”及“布拉万”过程的波浪数值模拟[J]. 应用海洋学学报, 2017, 36(2): 249-259.
- [3] 尹汉军, 谢波涛, 黄必桂, 等. 渤海中部海浪的同步观测与数值预报检验[J]. 海岸工程, 2023, 42(2): 131-139.
- [4] 梁颖瑜, 徐丽丽, 徐婷婷, 等. 常规海浪预报定量化检验评估方法研究[J]. 海洋预报, 2024, 41(1): 10-20.
- [5] 丁骏, 高元勇, 侯放, 等. 妈祖海浪模式在浙江海域的业务化应用及检验[J]. 海洋预报, 2026, 43(2): 21-31.