

两种海面风场的对比及对海浪模拟的影响

周凯¹, 陈希¹, 李妍¹, 毛科峰¹, 王楼², 陆正民³

(1. 解放军理工大学气象学院, 江苏 南京 211101; 2. 北海舰队水文气象中心, 山东青岛 266000;
3. 解放军91528部队, 上海 200436)

摘 要:海面风场在海浪模拟研究和预报中起着关键性的作用,再分析风场数据可为海浪模式提供长时间的大范围、高时空分辨率海面风场。利用日本浮标站资料和卫星高度计资料对再分析风场 QuickSCAT/NCEP(Q/N)混合风场和 ERA 风场进行验证分析,并利用 WAVEWATCH-III 模式进行连续 12 个月的数值模拟试验。对比风场和计算得到的海浪场得出结论:在风速较小的时候,ERA 和 Q/N 风场较实测风场大,在风速较大的时候,ERA 和 Q/N 风场较实测风场小;ERA 风场模拟浪高较浮标观测波高偏小;Q/N 混合风场模拟的浪高更接近实测浪高。

关键词:QuickSCAT/NCEP 混合风场;ERA 风场;WAVEWATCH-III

中图分类号:P732 **文献标志码:**A **文章编号:**1003-0239(2012)03-0009-06

1 引言

V.J. Cardone^[1]指出海面风场在海浪模式的评估、改良和应用中有着限制性的作用,获取一个高精度的海面风场可以提高海浪模拟、研究和预报的能力。利用海浪能谱模式模拟中国近岸海区海浪场,在很大程度上与模式输入的风场密切相关^[2]。

获取海面风场的资料主要通过调查观测船、海上浮标、沿岸和岛屿气象台站的观测系统及卫星遥感和模式计算。船只浮标和气象台站观测受海上复杂的海况和天气条件的限制,并且空间分辨率达不到要求,而卫星遥感可以获取大面积的海面风场信息,加强了海面风场和海浪研究和预报的能力。随着空间遥感技术的发展,卫星遥感资料现具备了覆盖范围大、时空分辨率高、可连续观测等优点,在海面风场资料的观测和获取中起着极为重要的作用。通过模式计算分析也可获取海面风场,如美国国家环境预报中心和国家大气研究中心联合执行的全球大气 40 年资料再分析

计划向外发布的 NCEP 分析数据。

2 风场及浮标资料的介绍

2.1 QuickScat/NCEP 混合风场

卫星遥感分为微波散射计、高度计和微波辐射计,其中只有微波散射计可以在日夜晴空和有云条件下给出海面风矢量(风向和风速)。美国宇航局于 1999 年 6 月 19 日发射了 QuickScat,其上装载一台散射计(Sea Winds),Sea Winds 为 Ku 波段主动雷达,通过测量海面散射截面来反演海面风矢量。虽然 QuickScat 能全天时、全天候的测量全球近海面的风速和风向,但不能输出同一区域连续时次的海面风场^[3]。

NCEP 分析数据的海面风场每隔 6 h 一次,空间上包括 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 、 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 和纬向 1.875° ,经向 1.905° 三种。如果天气过程中包含台风过程,NCEP 风场就不能有效刻画海面风场,导致台风风速偏小。因而,不论从时空分辨率,还是精度来说,用 NCEP 分析数据的海面风场来模拟中国近岸海区台风浪场有较大的局限性。

收稿日期: 2011-06-24

作者简介: 周凯 (1989-),男,在读硕士研究生,主要从事物理海洋数值模拟方面研究。E-mail: ocean_zhoukai@163.com

QuickScat/NCEP 混合风场^[4]是对高分辨率的 QuickSCAT 卫星散射计观测数据和全球天气中心 (NCEP) 分析数据的时—空混合分析的结果, 该处理方法保留了 QuikSCAT 的沿轨风场数据而在其空白区域加入 NCEP 海面风场实况分析数据场。通过在空间上对卫星观测风场和 NCEP 实况分析数据进行插值分析得到 Q/N 混合风场, 它提供距海面 10m 处风场沿经向和纬向的速度分量, 具有较高的分辨率: 时间间隔为 6 h, 空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 覆盖了全球从 88°S — 88°N 的范围。

2.2 ERA-Interim 风场

欧洲中尺度天气预报中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) 是由 34 个国家和地区合作成立的研究中尺度天气的政府组织。

1979 年 ECMWF 开始并为全球大气研究方案 (GARP) 提供了第一次再分析资料, 之后又提供全球大气环境再分析资料 ERA-15 (1979—1993 年) 和 ERA-40 (1957—2002 年)。当前, ECMWF 提供的 ERA-Interim 是一个 1989 年至今的全球大气环境再分析资料, 现每月更新一次, 它在观测资料的应用及同化上较 ERA-40 产品有很大改进。风场 (本文中称之 ERA 风场) 是 ERA-Interim 产品中的一部分, 时间间隔为 6 h, 空间分辨率为 $1.5^{\circ} \times 1.5^{\circ}$, 覆盖全球。

2.3 日本浮标站资料

日本气象厅 (JMA) 于 1978 年在 ($126^{\circ}20'\text{E}$, $28^{\circ}20'\text{N}$) 布放浮标 22001, 在 ($134^{\circ}32'\text{E}$, $37^{\circ}55'\text{N}$) 布放浮标 21002 (见图 1), 提供浮标处的风向、风

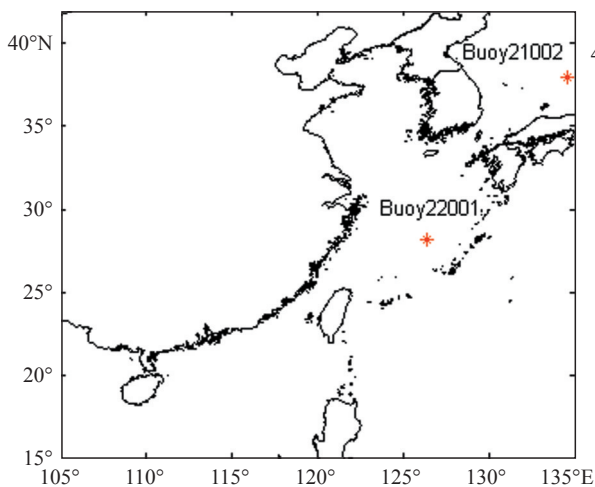


图 1 浮标的地理位置示意图

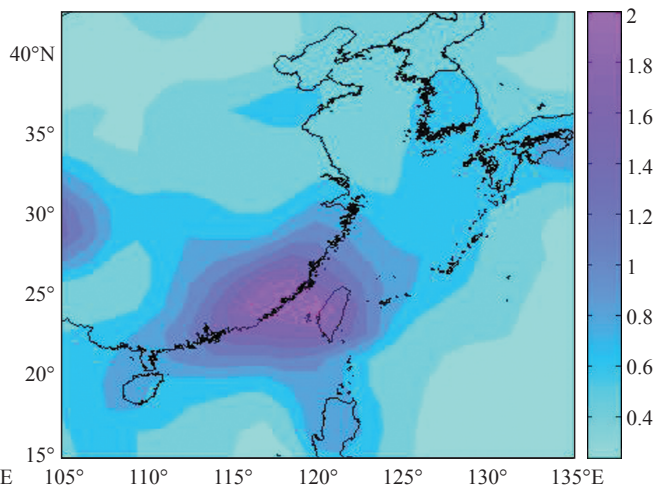


图 2 Q/N 同 ERA 风场在中国近海年平均差异 (m/s)

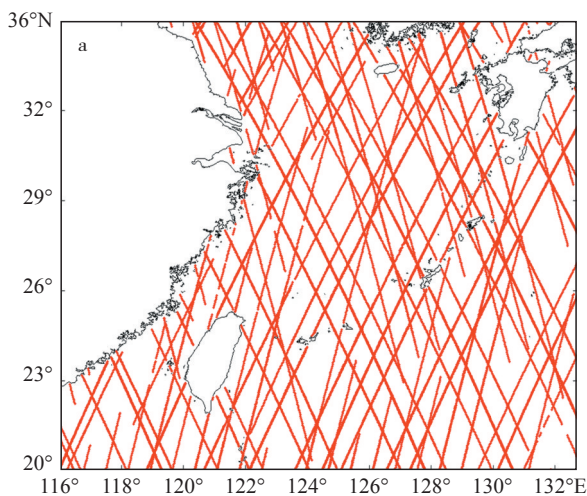


图 3 1999 年 8 月—2000 年 7 月卫星轨迹

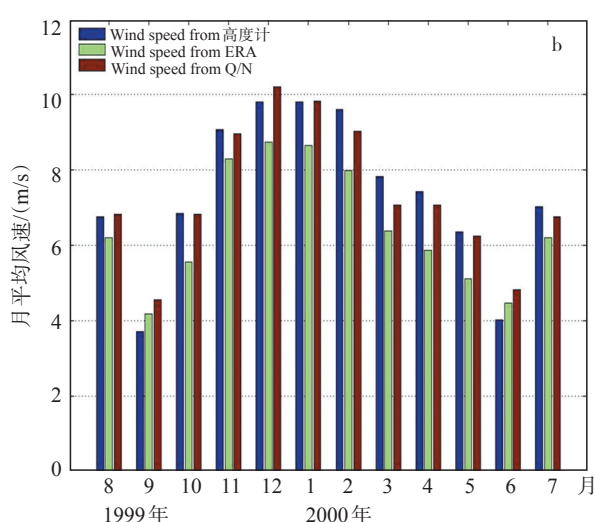


图 3 ERA 和 Q/N 风场同高度计风速月平均对比

速、气温、湿度、有效波高、波周期、波向等要素,每三个小时发布一次。风向风速是平台顶部(海面上7.5 m处)的风速仪测得,浪高和周期是接近海平面水平的船体内部一起测得。由于受到海况和天气状况的影响,部分时间的浮标资料缺省。

3 风场特征对比分析

3.1 区域风场特征分析

从图2上看,ERA风场同Q/N混合风场年平均差异在台湾岛周围海域及南海东北部外最大,最

大风速偏差最大可达2 m/s;在东中国海年平均风速偏差在0—0.6 m/s之间。

ERA与Q/N风场的时间分辨率为6 h,选取对应时次(0、6、12、18时前后半个小时)经过海域(20°—35°N, 105°—135°E)的卫星(ERS-2, TOPEX, Poseidon, GEOSAT Follow-On)的高度计资料,其卫星轨道见图3a。ERA风场在研究海域月平均风速小于卫星高度计观测风速,Q/N风场在研究海域月平均风速与卫星高度计观测风速非常接近。

表1列出了ERA风场与Q/N风场同高度计观

表1 ERA风场与Q/N风场同高度计观测的统计量

	均值	偏度	均方根误差	平均绝对误差	平均相对误差	相关系数
Q/N风速	7.75	-0.14	2.54	1.76	0.22	0.77
ERA风速	6.98	-0.91	2.52	1.81	0.23	0.80

测的统计量的值,ERA风场和Q/N风场均与高度计观测之间存在一定的误差,除偏度外的其余统计量都非常接近。如果将对应时次的时间窗口缩短,误差会降低很多。

3.2 站点风场特征分析

将ERA和Q/N混合风场插值到浮标所在的经纬度上,然后利用风速高度订正公式^[5](1)将风速订正到浮标风速仪7.5 m的高度上得到ERA和Q/N站点风速并与浮标观测得到的风速资料进行对比分析。

$$U_z = U_{10} \left(1 + \ln \frac{z}{10} \times C_{10}^{1/2} / k \right) \quad (1)$$

式中, U_{10} 为10m高度处的风速, C_{10} 为 U_{10} 对应的阻力系数^[6]。当 $U_{10} < 7$ m/s时, $C_{10} = 0.00104$;当 $U_{10} > 20$ m/s时, $C_{10} = 0.00254$;当处于中间风速时 C_{10} 随 U_{10} 增大, $C_{10} = 0.0015 \times \left[1 + \exp \left(-\frac{U_{10} - 1.25}{1.56} \right) \right]^{-1} + 0.00104$ 。

图4为1999年8月—2000年7月12个月的22001浮标观测风速同ERA和Q/N风场的站点风速

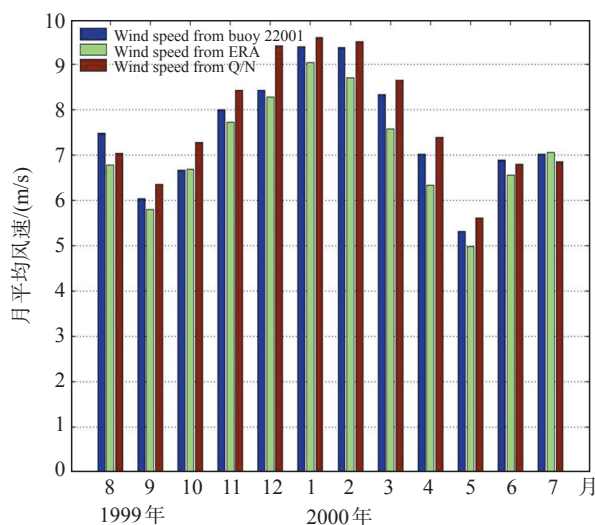


图4 22001浮标观测风速同ERA和Q/N风场的站点风速月平均比较

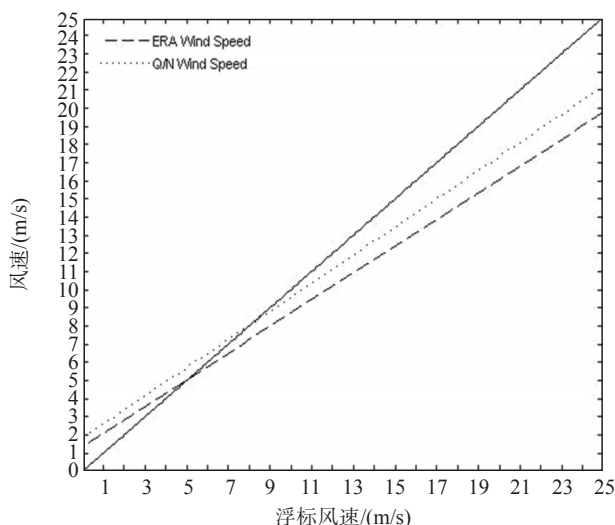


图5 ERA和Q/N风速同浮标风速一阶多项式拟合直线图

月平均比较,除2000年7月外ERA风场的站点风速较浮标观测风速月平均值都偏小;Q/N混合风场的站点风速较浮标观测风速月平均值夏季偏小,春、秋、冬季偏大。

将Q/N混合风场和ERA风场在浮标22001和21002处的站点风速 U_{ERA} 和 $U_{Q/N}$ 同浮标观测风速 U_{buoy} 进行线性拟合,得到多项式:

$$U_{ERA} = 0.7350 \times U_{buoy} + 1.3530 \quad (2)$$

$$U_{Q/N} = 0.7750 \times U_{buoy} + 1.8225 \quad (3)$$

表2 Q/N站点风速同浮标22001、21002观测风速统计分析

浮标站	时次	风速 (m/s)						相关系数
		平均值 (buoy)	平均值 (Q/N)	偏差 (Q-b)	均方根误差	平均绝对误差	平均相对误差	
22001	1464	7.43	7.73	0.3	1.90	1.52	0.21	0.83
21002	1096	7.55	7.42	-0.13	2.04	1.63	0.22	0.85
All	2560	7.48	7.6	0.12	1.96	1.57	0.21	0.84

表3 ERA站点风速同浮标22001、21002观测风速统计分析

浮标站	时次	风速 (m/s)						相关系数
		平均值 (buoy)	平均值 (ERA)	偏差 (E-b)	均方根误差	平均绝对误差	平均相对误差	
22001	1464	7.43	7.18	-0.25	1.55	1.20	0.16	0.89
21002	1096	7.55	6.78	-0.77	2.05	1.64	0.22	0.86
All	2560	7.48	7.0	-0.48	1.78	1.38	0.19	0.87

从表2、表3上看,由于ERA风场的分辨率比Q/N混合风场的低得多,从均值和偏差上看,Q/N站点风速较实测风速偏大,ERA站点风速较实测风速偏小,Q/N更贴近实测风场。从平均绝对误差、平均相对误差上看,ERA站点风速与浮标实测风速吻合更好,而且ERA风场较Q/N混合风场能更好地描述实际风场的变化趋势。如果ERA风场的分辨率更高,与实际风场的差距更小。

4 海浪数值试验及分析

4.1 数值试验设计

本文模拟的海浪过程的起始时间为1999年8月1日00时,结束时间为2000年7月31日23时,分别用上述的Q/N混合风场和ERA风场模拟这个海浪过程。WAVEWATCH-III模式采用风输入波动能、非线性的波一波相互作用、白帽耗散和底摩擦等物理过程,相应的经验参数采用默认值。海浪模式模拟的区域范围为:20°—35°N,116°—132.75°E,空间分辨率为15'×15',格点总数为68×

图5为ERA和Q/N站点风速同浮标观测风速在(0.25 m/s)范围内比较。在风速较小的时候,ERA和Q/N站点风速较观测风速大,当 $U_{buoy} > 6$ m/s时, $U_{ERA} > U_{buoy}$,而且 $U_{buoy} > 25$ m/s时, $U_{ERA} > 20$ m/s;当 $U_{buoy} > 9$ m/s时, $U_{Q/N} > U_{buoy}$,而且 $U_{buoy} > 25$ m/s时, $U_{Q/N} = 21$ m/s,在 $U_{buoy} < 6.5$ m/s时, U_{ERA} 比 $U_{Q/N}$ 更贴近实测风速;当 $U_{buoy} > 7.5$ m/s时 $U_{Q/N}$ 比 U_{ERA} 更贴近实测风速。在刻画大风风速方面Q/N混合风场和ERA风场均存在很大偏差。

61。海浪谱为25×24,其中频率分布从0.0418 HZ—0.41 HZ,共25个频段,共24个波向,分辨率为15°。模式由计算时刻的风场和JOWNSWAP谱初始化,最小源函数积分步长为600 s,最大全局时间步长为900 s。

4.2 数值试验结果分析

在数值试验中,分别采用前面提到的Q/N混合风场和ERA风场,得到每小时的波高波向分布,本文中分析的波高若不特别说明,为有效波高(下面简称波高)。

从图6a、b上看,浮标观测浪高同Q/N混合风场和ERA风场模拟的站点浪高变化趋势能相当好的吻合,但Q/N混合风场和ERA风场均不能模拟出10 m的浪高。

从表4模拟浪高同浮标实测浪高的统计误差上看Q/N混合风场模拟浪高平均值同浮标观测浪高平均值较小;从误差和相关系数看,Q/N混合风场和ERA风场在海浪模式应用中都能比较好的模拟海浪的变化趋势。

表4 ERA与Q/N风场模拟浪高同浮标22001观测浪高统计分析

时次		有效波高 / m												
		平均值			偏度		均方根误差		平均绝对误差		平均相对误差		相关系数	
		buoy	ERA	Q/N	E-b	Q-N	E-b	Q-N	E-b	Q-N	E-b	Q-N	E-b	Q-N
22001	1464	1.59	1.31	1.64	-0.20	0.05	0.55	0.55	0.41	0.38	0.26	0.24	0.87	0.85

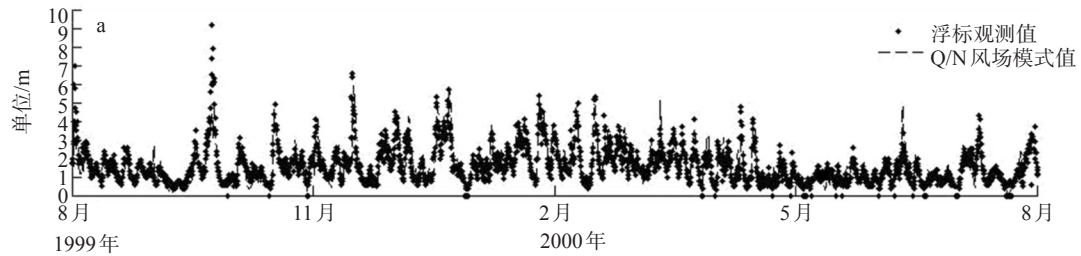


图6 22001浮标观测浪高同Q/N混合风场模拟的站点浪高对比

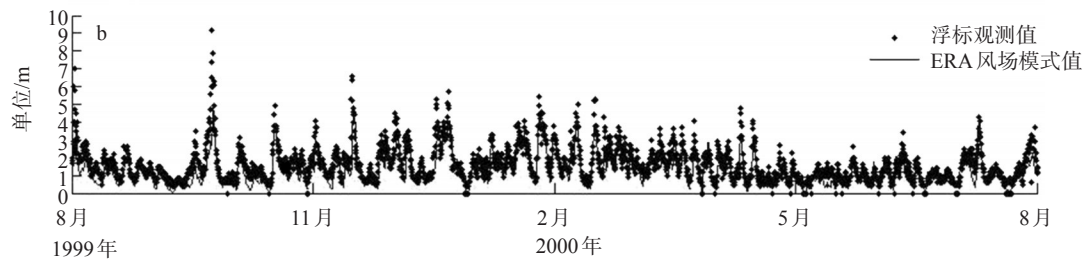


图6 22001浮标观测浪高同ERA风场模拟的站点浪高对比

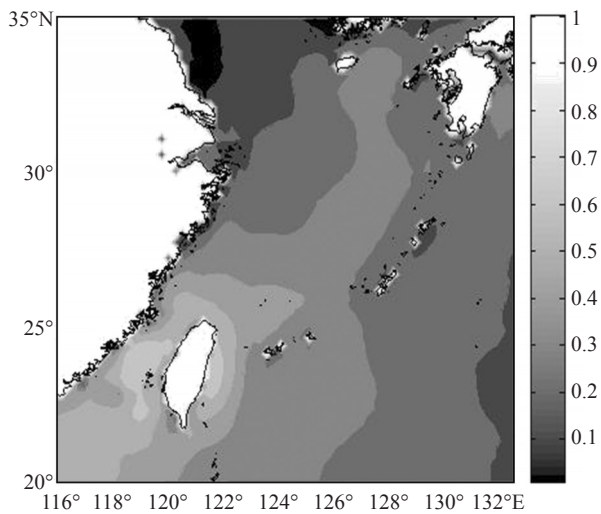


图7 Q/N风场同ERA风场模拟浪高差值的年平均分布

图7为Q/N风场同ERA风场模拟浪高差值年平均分布图,因为风场的不同而导致了模拟浪高的差异,年平均差值在台湾岛周围海域及南海东北部外最大,最大浪高偏差最大可达0.8 m,在东中

国海年平均浪高差值在0—0.3 m之间。

5 结论

本文针对海面风场在海浪模拟应用中的重要性,分析了Q/N混合风场和ERA风场在中国近海区域的差异,并利用日本浮标站观测风速及实测波高资料验证Q/N混合风场和ERA风场的准确性,得到结论如下:

(1) ERA风场同Q/N混合风场年平均差异除在台湾岛周边及南海东北部海域经向风、纬向风偏差达1.2 m/s外其它海域的经纬向风偏差均在0—0.6 m/s;

(2) 在风速较小的时候,ERA和Q/N风场较实测风速大,在风速较大的时候,ERA和Q/N风场较实测风速小;

(3) 在中国近海海域内ERA风场模拟浪高较Q/N混合风场模拟浪高偏小,而且在台湾岛周围及南海东北部海域偏差最大;

(4) ERA风场模拟浪高较浮标观测波高偏

小, Q/N混合风场模拟的浪高更接近实测浪高;

(5) 虽然 ERA 风场较 Q/N 混合风场能更好地描述实际风场的变化趋势, 但由于 ERA 风场的分辨率太低, 在海浪的模拟中产生较大的偏差。

参考文献:

- [1] Cardone V J, Cox A T, Harris E L, et al. Impact of QuikSCAT Surface Marine Winds on Wave Hindcasting, Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science[J]. 2005, 1-24.
- [2] Komen G J, Cavaleri L, Donelan M, et al. Dynamics and Modeling of Ocean Waves [M]. Cambridge Univ. Press, 1994.
- [3] 周良明, 郭佩芳. 利用卫星高度计风速资料研究海面粗糙度[J]. 海洋湖沼通报, 2005, 17(4): 10-14.
- [4] Q/n 风场数据下载 <http://dss.ucar.edu/datasets/ds744.4>.
- [5] 文圣常, 余宙文, 等. 海浪理论与计算原理[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [6] Garratt, J R. Review of drag coefficient over oceans and continents [J]. Monthly Weather Review, 1977, 105(7): 915-929.

Comparison between two sea surface wind fields and their influence on the wave simulations

ZHOU Kai¹, CHEN Xi¹, LI Yan¹, MAO Ke-feng¹, WANG Lou², LU Zheng-min³

(1. Institute of Meteorology, PLA Univ. of Sci. & Tech. Nanjing 211101, China; 2. Hydrological and Meteorological Center of Beihai Marine. Shandong Qingdao 266000 China; 3. No. 91528 Army of PLA, Shanghai 200436 China)

Abstract: Reanalysis wind data can provide a large scale and high spatial-temporal resolution sea surface wind field, and plays a pivotal role in the wave simulation and forecast. Based on the wind field data from QuickSCAT/NCEP(Q/N) and ERA validated by the data from Japanese buoy station and satellites altimeter data, the waves are simulated for 12 months by the WAVEWATCH-III model. The results show as follows: wind data from ERA and Q/N are stronger than the actual wind when wind speed is low, but weaker when wind speed is high; the wave height simulated by ERA wind is smaller than that from buoy data; the wave height simulated by Q/N wind is more close to the actual wind.

Key words: QuickSCAT/NCEP mixed wind; ERA wind; WAVEWATCH-III