

毛科峰,陈希,李妍,等. 东中国海域交叉定标多平台合成洋面风场资料的初步评估[J]. 气象,2012,38(12):1456-1463.

东中国海域交叉定标多平台合成 洋面风场资料的初步评估^{*1}

毛科峰^{1,2} 陈希¹ 李妍¹ 萧中乐³ 周凯¹

1 解放军理工大学气象海洋学院,南京 211101

2 卫星海洋环境动力学国家重点实验室,杭州 310012

3 解放军 96631 部队,北京 102208

提 要: 对新的交叉定标多平台合成洋面风场资料(CCMP 风场)的特点进行分析介绍,利用浮标和观测桩的时间序列资料和同期的卫星高度计探测资料,对东中国海海域范围内该风场的精度和特性进行了检验和评估并与欧洲中期天气预报中心再分析资料(ERA 风场)和散射计探测混合风场资料(QuickScat/NCEP 风场)进行对比分析。结果表明:CCMP 风场在远海区域的精度较高,风速偏小;在近岸区域风速可能偏大,存在一定的局限性。在东中国海海域,较之 ERA 风场和 QuickScat/NCEP 风场,CCMP 风场均方根误差最小;当实际风速较小时,三种资料的风速都偏大,偏度较小;当实际风速较大时,三种风场的风速都偏小,偏度较大;且三种资料的风速误差具有随季节变化的特征。

关键词: CCMP 海面风场, QuickScat/NCEP 混合风场, ERA 再分析风场, 精度评估

Evaluation of the New Cross-Calibrated, Multi-Platform Ocean Surface Wind Fields in the East China Sea Region

MAO Kefeng^{1,2} CHEN Xi¹ LI Yan¹ XIAO Zhongle³ ZHOU Kai¹

1 Institute of Meteorology Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101

2 State Key Laboratory of Satellite Ocean Environment Dynamics, Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012

3 The 96631 Unit of PLA, Beijing 102208

Abstract: The new Cross-Calibrated, Multi-Platform Ocean Surface Wind Velocity (hereafter, CCMP wind) products have been introduced, and the biases of CCMP wind fields are validated and evaluated against the wind measurements from satellite altimetry and in-situ buoys. Furthermore, a comparison between CCMP wind fields and ERA-Interim wind fields and QuickScat/NCEP wind fields is performed. The following conclusions can be drawn. The CCMP may have a negative mean speed difference in relation to the observations, and the best performance accurately occurs in open sea areas as well as a noticeable positive difference and trend in nearshore areas. In the East China Sea region, the CCMP has smaller absolute mean-square errors and relative errors from the observed data compared with the ERA-Interim wind fields and QuickScat/NCEP wind fields. The results have shown that the underestimation is mostly found for low wind speeds but overestimation for high wind speeds in these three kinds of wind fields, and a significant seasonal variation is also discussed.

Key words: CCMP sea surface wind, QuickScat/NCEP blend wind, ERA reanalysis wind, accuracy evaluation

* 卫星海洋环境动力学国家重点实验室开放研究基金(SOED1009)资助

2011 年 9 月 19 日收稿; 2012 年 5 月 3 日收修定稿

第一作者:毛科峰,主要从事物理海洋研究. Email:maomaopla@163.com

引 言

海面风是决定海洋和大气之间动量、能量和质量交换的重要因素之一,海面风场是气象业务中广泛使用的基本要素^[1],在海洋和大气科学的研究中也受到广泛关注。获取海面风的常规手段主要是布设海上浮标、建立沿岸和岛屿气象观测系统以及海洋调查船走航观测等,但是这些常规手段受到海上复杂的海况和天气条件的限制,也几乎不可能获得大面积的海面风场信息,因此在以往的海洋和大气科学研究中再分析资料(如美国国家环境预报中心再分析资料 NCEP/NCAR^[2]、欧洲中期天气预报中心再分析资料 ERA-40^[3]和日本气象厅再分析资料 JRA-25^[4]等)成了主要的海面风场资料来源。近年来,卫星遥感监测方法的逐步成熟,为海面风场的监测提供了新的手段。从 1987 年 7 月美国实施国防气象卫星计划(DMSP)以来,逐步实现了海面风的业务化卫星探测,到目前为止,美国有 6 颗搭载了海面风观测传感器的卫星进行全球海面风的业务观测,其中包括 DMSP 系列卫星(F8、F10、F11、F13、F14 和 F15)装载的专用微波成像仪微波辐射计 SS-MI、TRMM 卫星上装载的微波成像仪 TMI、QuikSCAT 卫星上装载的新型主动微波遥感仪“海风”散射计 SeaWinds,以及美国宇航局的卫星 EOS-AQUA 上的高级微波扫描辐射计 AMSR-E。据统计^[5]在 6 小时的观测时间窗口内,对全球海洋的遥感探测采样率从 1987 年的 20% 增长为 2004 年的 70% 以上,2009 年 5 月起美国国家航空航天局(NASA)的物理海洋学分布式档案中心(Physical Oceanography Distributed Active Archive Center, PODAAC)实施了“研究用途的地球系统数据记录计划”(Making Earth System Data Records for Use in a Research Environment, MEaSUREs),其中以上述多源卫星探测的洋面风资料为基础,采用改进的变分同化方法合成了一种新的高分辨率(25 km)交叉定标多平台卫星探测海面风场资料(A new cross-calibrated, multi-platform (CCMP) ocean surface wind product,简称 CCMP 风场),并于 2010 年 5 月发布了该风场产品,并逐步在国际海洋学研究中开展应用,这种海面风场资料为研究东中国海域的物理海洋和海洋边界层问题提供了新的有效信息源,但是风场资料在东中国海域的精度和特性还

有待进行检验和研究,目前未见相关研究成果报道,本文利用 1999—2000 年浮标和海上观测桩的时间序列观测资料和同期的卫星高度计资料对东中国海域范围内(20°~35°N、115°~135°E)的 CCMP 风场进行精度检验评估,并与 ERA 再分析海面风场资料和 QuikScat/NCEP 混合风场资料进行对比分析。

1 CCMP 风场主要特点

1.1 CCMP 风场合成使用的资料

本文采用的 CCMP 风场是 Level 3.0 产品,资料的空间范围为(−89.875°~89.875°、0.125°~359.875°)覆盖了除北冰洋以外的全球大洋范围,分辨率高达 25 km,时间间隔 6 小时,目前可获得从 1987 年 7 月至 2009 年 6 月的资料,后期产品还在陆续更新。

CCMP 风场是以欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的再分析和业务资料为背景场,采用变分方法同化 QuikSCAT、ADEOS-II、AMSR-E、TRMMTMI 和 SSM/I 等多种卫星探测洋面风资料和传统的船舶、浮标观测资料后获得的规则格点资料。其中使用的背景风场是:1987 年 7 月至 1998 年 12 月采用 ERA-40 再分析产品的 10 m 洋面风场,1999 年以后使用了 ECMWF 的业务分析产品的 10 m 洋面风场资料,这较之 ERA-40 再分析产品,精度更高^[6]。

卫星探测资料采用了遥感系统—发现工程(RSS-DISCOVER)中多个卫星搭载的微波辐射计和微波散射计探测的洋面风资料,具体情况如图 1 所示,图 1 上半部分为各卫星探测资料的起始时间,DMSP 系列卫星(F8、F10、F11、F13、F14 和 F15)装载了专用微波成像仪微波辐射计 SSMI,从 1987—2009 年提供了探测资料,TRMM 卫星上的微波成像仪 TMI,从 1998—2009 年提供了探测资料,QuikSCAT 卫星上的新型主动微波遥感仪“海风”散射计从 1999—2009 年提供了探测资料,美国宇航局的卫星 EOS-AQUA 上的高级微波扫描辐射计 AMSR-E 从 2002—2009 年提供了探测资料。图 1 中下半部分是在 6 小时的观测时间窗口内,上述卫星对全球海面风场探测的覆盖率的变化情况,可见 2004 年以后达到了 70% 左右。

CCMP 风场中使用传统观测的风场数据包括:

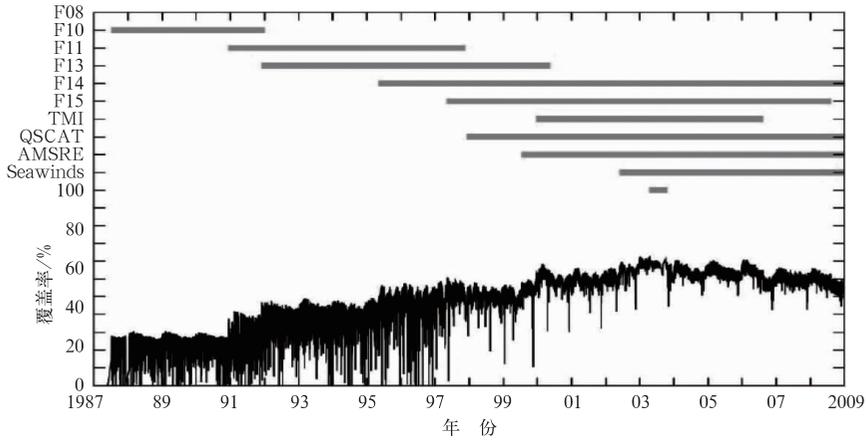


图 1 CCMP 风场中多个卫星探测资料的时间分布及对全球海洋探测的覆盖率^[6]

Fig. 1 Time availability of satellite surface wind datasets of CCMP and the percentage of the global oceans observed by these satellites

来自 NCAR 的船舶和浮标观测海面风数据以及由太平洋海洋环境实验室 (PMEL) 提供的 TAO 观测计划中的锚系浮标资料, 以及 PIRATA 试验^[7]提供的大西洋浮标阵列资料。

1.2 CCMP 风场的合成方法

CCMP 风场采用 VAM 变分方法^[8-9]以 ECMWF 的再分析和业务资料为背景场同化多种卫星探测洋面风资料和传统的船舶、浮标观测资料, VAM

变分方法定义了一个全球格点上风矢量场的目标函数 J , 以目标函数最小化为约束, 调整格点化海面风场, 目标函数 J 如式(1), 式中各项如表 1 所示, 包含了风场合成时满足的背景场约束和观测值约束, λ 是各项的权重系数, 表 1 中 \mathbf{V} 是海面风矢量, (u, v) 表示经向、纬向风分量, 下标 A、B 和 O 分别表示分析场、背景场和观测值, χ, ψ 和 ζ 分别表示势函数、流函数和相对涡度, CCMP 风场的 VAM 变分方案具体参见文献^[10-11], 不再赘述。

$$J = \lambda_{\text{CONV}} J_{\text{CONV}} + \lambda_{\text{SCAT}} J_{\text{SCAT}} + \lambda_{\text{SPD}} J_{\text{SPD}} + \lambda_{\text{VWM}} J_{\text{VWM}} + \lambda_{\text{LAP}} J_{\text{LAP}} + \lambda_{\text{DIV}} J_{\text{DIV}} + \lambda_{\text{VOR}} J_{\text{VOR}} + \lambda_{\text{DYN}} J_{\text{DYN}} \quad (1)$$

表 1 公式(1)中背景场约束和观测值约束的表达式

Table 1 Terms of observation cost function and background constraints in formula (1)

观测值约束项	表达式	意义
J_{CONV}	$\sum (\mathbf{V}_A - \mathbf{V}_O)^2$	船舶和浮标观测风矢量约束
J_{SCAT}	$\sum (\mathbf{V}_A - \mathbf{V}_O)^2$	卫星探测风矢量约束
J_{SPD}	$\sum (\mathbf{V}_A - \mathbf{V}_O)^2$	全部观测资料风速约束
背景场约束项	表达式	意义
J_{VWM}	$\int (\mathbf{V}_A - \mathbf{V}_B)^2$	背景场风矢量约束
J_{LAP}	$\int [\nabla^2 (u_A - u_B)]^2 + \int [\nabla^2 (v_A - v_B)]^2$	背景场风分量拉普拉斯算子约束
J_{DIV}	$\int [\nabla^2 (\chi_A - \chi_B)]^2$	背景场势函数约束
J_{VOR}	$\int [\nabla^2 (\psi_A - \psi_B)]^2$	背景场流函数约束
J_{DYN}	$\int (\partial \zeta_A / \partial t - \partial \zeta_B / \partial t)^2$	背景场相对涡度约束

2 CCMP 风场的分析评估

为了校准 CCMP 风场, 有学者将 CCMP 风场与同化到风场中的上述卫星探测资料 and 传统观测资料进行了对比^[6,12], CCMP 风场与参与同化的卫星资料的风速均方根误差为 $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 偏度约为 $0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, CCMP 风场与参与同化的传统观测资料

的风速均方根误差为 $1.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 偏度约为 $-0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风向均方根误差为 11° , 偏度约为 0.6° , 但是这些卫星探测资料参与了 CCMP 风场同化, 用于对比的传统观测资料在本文研究的东中国海域范围内几乎没有, 对该海域的代表性不够, 因此本文选择了该海域内未参与风场同化的一个浮标资料和海上观测桩资料进行了精度评估, 为了更全面评估该风场, 还选择了该海域内卫星高度计探测的

洋面风资料进行检验和分析,本文采用了如下指标来评估 CCMP 风场的精度:

$$\text{均值: } \bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

$$\text{偏度: } Bias = \bar{y} - \bar{x}$$

$$\text{平均绝对误差: } MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - x_i|$$

$$\text{均方根误差: } RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\text{平均相对误差: } EAVE = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - x_i|}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i}$$

相关系数:

$$CC = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left\{ \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right] \right\}^{\frac{1}{2}}}$$

其中 x_i 代表浮标观测值或高度计探测值, y_i 代表不同风场资料的风速值, N 代表样本总量。

2.1 基于浮标和观测桩资料的风速分析

本文采用日本气象厅(JMA)于 1978 年布放的浮标 22001(位置是 $28^{\circ}20'N$ 、 $126^{\circ}20'E$),该浮标位于深水海域,水深约 140 m,以及台湾地区港湾技术研究中心建立的位于台湾岛台北港海域的观测桩(位置是 $25^{\circ}10'44''N$ 、 $121^{\circ}22'41''E$)(见图 2),观测仪器为 Young Brand 风速计,该观测桩位于近岸港口海域,水深约 15 m。浮标 22001 的观测要素包括:浮标处的风向、风速、气温、湿度、有效波高、波周期、波向等要素,每 3 个小时一次数据。风向、风速是平

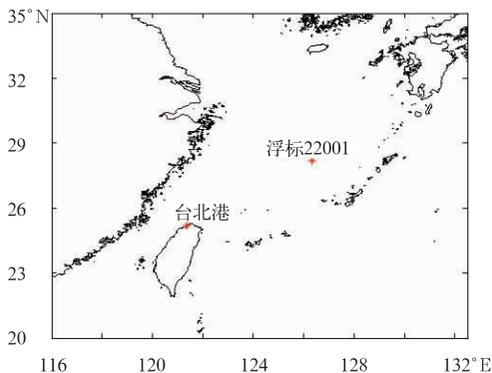


图 2 浮标和观测桩的地理位置示意图

Fig. 2 Locations of buoy and meteorological observation pile

台顶部(距海平面上 7.5 m 处)的风速仪测得,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。台北港的 Young Brand 风速计安装于海平面上 15 m,每小时记录一次数据,风速、风向为 10 分钟平均值。

将 CCMP 风场插值到浮标所在的位置上,然后利用经典风速廓线公式(2)^[13]将浮标观测风速和观测桩风速仪观测风速订正到 10 m 的高度上,并进行对比分析。图 3 为 1999 年 12 月的 22001 浮标和台北港观测桩观测风速与 CCMP 风场插值得到该站点风速的时间序列比较图,显而易见,22001 浮标处 CCMP 风速与浮标观测值吻合较好,而台北港处 CCMP 风速随时间变化趋势与观测值大体一致,但风速值整体明显偏大,且对应于观测资料中出现临近两个时次风速大小骤然变化的时刻,CCMP 风速的误差较大,这可能由于台北港的观测桩靠近近岸,受到台湾岛屿地形影响而导致的。为了全面评估风场的特点,将两处 1999 年 8 月至 2000 年 7 月的数据进行了统计分析,具体结果见表 2,CCMP 风场与浮标的误差,在以 22001 浮标为代表的远海区域明显小于以台北港为代表的近岸海域,且 CCMP 风场在远海区域风速偏小,偏度约为 $-0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,均方误差约为 $1.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;而在近岸海域则偏大,偏度约为 $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,均方误差约为 $2.29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。经过进一步分析发现,在 22001 浮标处当 $U_{10} < 5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,CCMP 风速较浮标观测值偏大,当 $U_{10} > 5.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,CCMP 风速较浮标观测值偏小。

2.2 基于卫星高度计资料的风速分析

自 1992 年 TOPEX/Poseidon(T/P)高度计卫星发射以来高度计探测资料为海面风场研究提供了丰富的观测资料,经过研究表明^[14-15]:高度计探测海面标量风速的精度约为 10% 或 $1.7 \sim 1.99 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。本文采用 T/P、ERS、GFO、Envisat、Jason-1、Jason-2 等卫星的海面风速探测资料,在本文研究选定的东中国海域内,1999 年 8 月 1 日至 2000 年 7 月 31 日上述卫星共有 2248 条轨道,图 4a 中绘制了以半小时为窗口,高度计卫星经过该海域的时间和 CCMP 风场时次相吻合的轨道共 162 条,将 CCMP 风场插值到卫星轨道上进行比较,如图 4b 为 1999 年 10 月 30 日 11 时经过该海域的 T/P 卫星轨道(轨道位置如图 4a 中粗线条所示)上的风速探测值和 CCMP 风速的比较图。

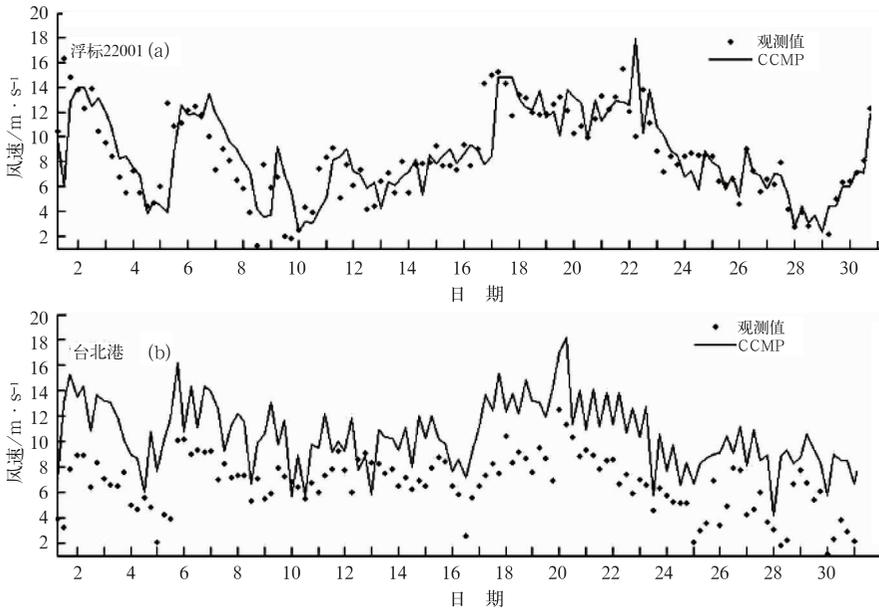


图 3 1999 年 12 月 1—31 日 CCMP 风场与观测资料的对比时间序列
(a) 浮标比较结果, (b) 台北港观测桩结果

Fig. 3 Wind speed time series from CCMP (solid) and observations from bouy (a) and the meteorological observation pile of Taipei (b) in the period December 1—31, 1999

表 2 CCMP 风速与浮标观测值分析

Table 2 Statistical analysis on the wind speed of CCMP versus buoy observation

浮标位置	均值/ $m \cdot s^{-1}$	偏度/ $m \cdot s^{-1}$	均方误差/ $m \cdot s^{-1}$	平均绝对误差/ $m \cdot s^{-1}$	平均相对误差	相关系数
22001 浮标	7.36	-0.12	1.58	0.96	0.12	0.89
台北港浮标	6.56	1.30	2.29	1.85	0.28	0.76

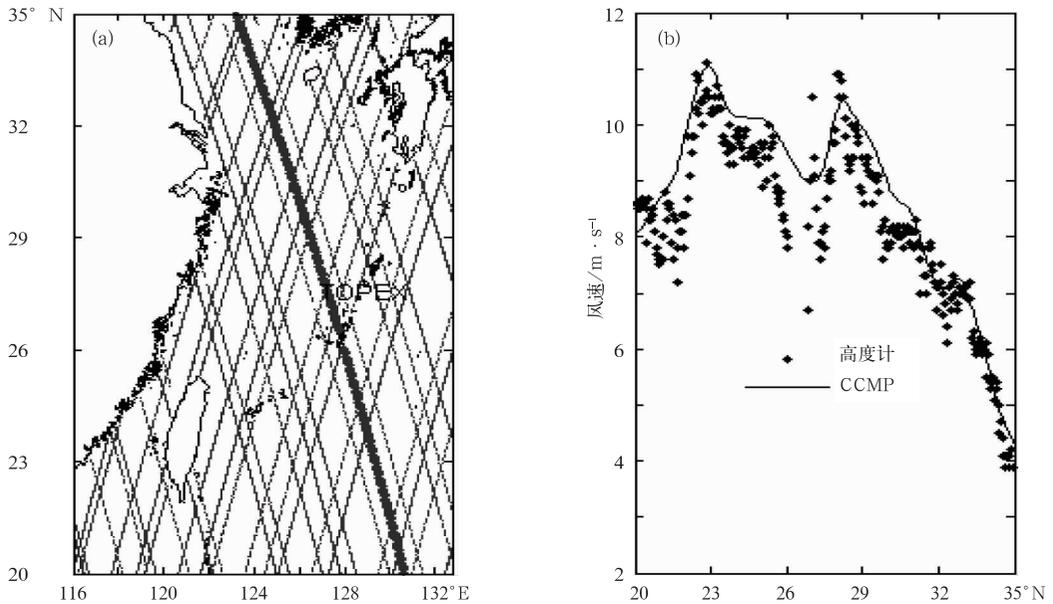


图 4 东中国海域内高度计卫星轨道分布(a)和轨道上探测点风速对比(b)

Fig. 4 Orbits of satellite altimeter (a) in East China Sea areas and the distribution of wind speed on the orbits (b)

这条轨道上,高度计探测风速与 CCMP 风速吻合较好,将上述 162 条轨道上所有探测点上风速进行统计,具体结果见表 3,偏度约为 $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,均方误差约为 $1.63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,这个误差较浮标处更大。经过进一步分析发现,高度计探测风速 $U_{10} <$

$6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,CCMP 风速较高度计探测风速值偏大,当 $U_{10} > 6.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,CCMP 风速较高度计探测风速偏小。这种较小风速时,CCMP 风速偏大;较大风速时,CCMP 风速偏小的现象与浮标比较结果相似。

表 3 CCMP 风速与高度计探测值分析

Table 3 Statistical analysis on the wind speed of CCMP versus satellite altimeter observations

均值/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	偏度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	均方误差/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	平均绝对误差/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	平均相对误差	相关系数
7.40	-0.25	1.63	1.20	0.16	0.87

3 CCMP 风场与两种海面风场的比较

3.1 QuickScat/NCEP 混合风场和 ERA-Interim 风场

QuickScat/NCEP 混合风场^[16](本文简称 Q/N 风场)是高分辨率的 QuickSCAT 卫星散射计观测数据和 National Centers for Environmental Prediction (NCEP)再分析数据的时空混合分析的产品,这种风场是集成了微波散射计观测风场和 NCEP 再分析风场的优点的一种海面风场资料。美国宇航局于 1999 年 6 月 19 日发射了 QuickSCAT 卫星,其上装载了散射计(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、全天候地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,因此在保留了 QuickSCAT 的沿轨风场数据基础上,在其空白区域加入低波 NCEP 分析数据场,得到这种混合风场,该混合风场提供距海面 10 m 处风场沿经向和纬向的速度分量,且具有较高的分辨率:时间间隔为 6 h,空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,覆盖了从 88°S 到 88°N 的范围。

ERA-Interim 风场^[17](本文简称 ERA 风场)是欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)的再分析计划的

一种再分析资料。从 1979 年起 ECMWF 开始并为全球大气研究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 1989 年至今的全球大气环境再分析资料,它采用了较 ERA-15 和 ERA-40 所使用气象模式分辨率更高的 T255L91 模式,并在观测资料的应用及同化方法上较 ERA-40 产品有很大改进,该风场时间间隔为 6 h,空间分辨率为 $1.5^\circ \times 1.5^\circ$,覆盖全球。

3.2 对比分析结果

将 CCMP 风场和上述两种海面风场资料分别与浮标观测进行对比,如表 4 所示,从均值和偏度上看,Q/N 风速较浮标实测风速偏大,ERA 风速和 CCMP 风速较浮标实测风速偏小,ERA 风速偏差为 $-0.37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,偏差最大,CCMP 风速偏差为 $-0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,与浮标实测偏差最小。从均方根误差看 CCMP 风速为 $1.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 是三者中最小,Q/N 风速为 $2.38 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 是三者中最大,从平均绝对误差、平均相对误差和相关系数等指标上看,CCMP 风速与浮标实测风速误差最小。

将 CCMP 风场和上述两种海面风场资料分别与高度计观测资料进行对比,如表 5 所示,从均值和偏度上看,三种风场资料的风速较高度计探测风速偏小,ERA 风速偏差为 $-0.67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,偏差最大,这与浮标对照的结果相似,CCMP 风速偏差为

表 4 三种风场与浮标观测对比

Table 4 Statistical analysis on three kinds of wind fields versus buoy observations

资料类型	与浮标资料相比的结果					
	均值/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	偏度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	均方根误差/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	平均绝对误差	平均相对误差	相关系数
CCMP	7.36	-0.12	1.58	0.96	0.12	0.89
ERA	7.11	-0.37	1.88	1.32	0.18	0.84
Q/N	7.75	0.27	2.38	1.76	0.23	0.74

表 5 三种风场与高度计探测对比

Table 5 Statistical analysis on three kinds of wind fields versus satellite altimeter observations

资料类型	与高度计资料相比的结果					
	均值/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	偏度/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	均方根误差/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	平均绝对误差/ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	平均相对误差	相关系数
CCMP	7.40	-0.25	1.81	1.20	0.16	0.87
ERA	6.98	-0.67	2.41	1.64	0.22	0.83
QN	7.48	-0.20	2.55	1.38	0.19	0.78

$-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,与高度计探测偏差最小。从均方根误差看 CCMP 风速为 $1.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 是三者中最小, Q/N 风速为 $2.55 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 是三者中最大。虽然综合而言 CCMP 风速与高度计探测风速误差最小,但比相对于浮标实测风速误差更大,可能是由于浮标测量的风速为海面上的实际风速,而高度计测量风速的反演方法受海浪成长状态(风区、风时)影响较大,因此浮标测量风速和高度计测量风速之间存在不同的误差水平。

图 5 为 1999 年 8 月至 2000 年 7 月 12 个月的高度计探测风速同三种风场的月平均值比较,除 2000 年 7 月外 ERA 风场资料的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。图 6 为三种资料与高度计资料相比每月的风速均方

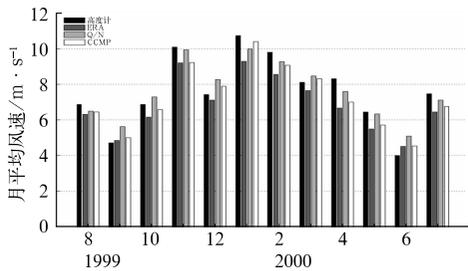


图 5 高度计风速与三种风场的月平均值比较

Fig. 5 Monthly variations of monthly mean wind speed from satellite altimeter versus three kinds of wind fields from August 1999 to July 2000

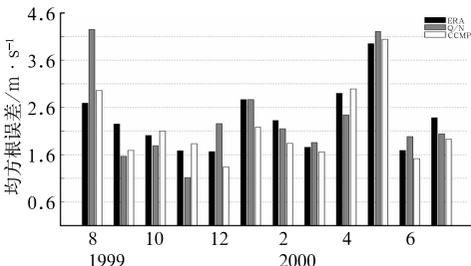


图 6 高度计风速与三种风场的月均方根误差

Fig. 6 Same as Fig. 5,

but for root mean square error

根误差,三种资料的风速均方根误差随季节的变化具有相似的特征,春、夏季的均方根误差大于秋、冬季,这可能与东中国海域的季风和台风特征有关;从各月中三种资料的均方根误差来看,CCMP 风速的均方根误差最小。

分别将 CCMP 风场、Q/N 混合风场和 ERA 风场在浮标 22001 位置插值得到的风速 U_{CCMP} 、 U_{ERA} 、 $U_{\text{Q/N}}$ 同浮标观测风速 U_{bouy} 进行线性拟合,得到多项式:

$$U_{\text{CCMP}} = 0.8207U_{\text{bouy}} + 1.2163 \quad (2)$$

$$U_{\text{ERA}} = 0.7139U_{\text{bouy}} + 2.4139 \quad (3)$$

$$U_{\text{Q/N}} = 0.7657U_{\text{bouy}} + 1.3882 \quad (4)$$

图 7 中 y 轴表示三种风场插值得到的风速大小, x 轴表示与它们同步的浮标数据,拟合直线是根据最小二乘法获得的两者之间的关系式,当浮标观测的实际风速较小时,三种风场的风速都较浮标观测值偏大,Q/N 风场偏差最大,ERA 和 CCMP 风场都相对较小,且两者差别较小;当浮标观测的实际风速较大时,三种风场的风速都较浮标观测值偏小,CCMP 风场偏差最小,ERA 和 Q/N 风场的误差都相对较大,但这两者差别较小。

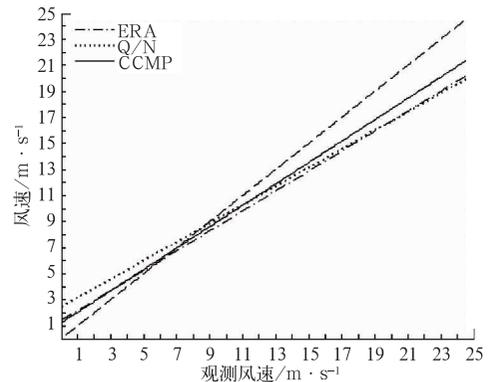


图 7 三种风场与高度计风速的点聚图拟合曲线

Fig. 7 Scatter plots and fitting curves of wind speeds for three kinds of wind fields and satellite altimeter observations

4 小结和讨论

(1)美国 NASA 的 PO. DAAC 最新发布了一种新的交叉定标多平台合成洋面风场资料(CCMP 风场),这种资料采用变分方法同化了 ADEOS-II、AMSR-E、QuikSCAT、TRMM TMI 和 DMSP 系列等多种卫星探测洋面风资料和传统的船舶、浮标观测资料,是目前空间分辨率最高(高达 25 km)的格点化海面风场之一。

(2)CCMP 风场与浮标资料和观测桩资料的对比分析发现,CCMP 风场在深远海区域较浮标资料风速偏小,偏度约为 $-0.12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,均方误差约为 $1.58 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;而在近岸海域则偏大,偏度约为 $1.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,均方误差约为 $2.29 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;CCMP 风场与高度计探测风速对比发现:偏度约为 $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,均方误差约为 $1.63 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,这个误差较浮标对比结果略大。这表明:CCMP 风场在深远海区域的精度较高,而在近岸区域存在一定的局限性。

(3)ERA 风场资料较浮标观测的风速月平均值大都偏小;而 Q/N 混合风场的风速月平均值夏季偏小,春、秋、冬季偏大。CCMP 风场、ERA 风场、Q/N 混合风场三种资料的风速均方根误差随季节的变化具有相似的特征,春、夏季的均方根误差大于秋、冬季,这可能与东中国海域的季风和台风特征有关;CCMP 风速的均方根误差较 ERA 风场、Q/N 混合风场最小,精度最高。

(4)当实际风速较小时,三种风场资料的风速都较测值偏大,但偏度都较小;当实际风速较大时,三种风场的风速都较浮标观测值偏小,CCMP 风场偏差最小,ERA 和 Q/N 风场的误差都相对较大,但这两者的差别较小。

参考文献

- [1] 杨晓君,何金海,吕江津,等. 海面风场订正对风暴潮数值模拟的影响[J]. 气象,2011,37(3):270-275.
- [2] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40 years reanalysis project[J]. Bulletin of the American Meteorological Society,1996,77(3):437-471.

- [3] Uppala, S M, Kallberg, P W, Simmons A J, et al. The ERA-40 re-analysis[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2005,131(612):2961-3012.
- [4] Onogi K, Tsutsui J, Koide H, et al. The JRA-25 Reanalysis [J]. J Meter Soc, 2007,85(3):369-432.
- [5] Atlas R, Hoffman R N, Ardizzone J, et al. Development of a new cross-calibrated, multi-platform (CCMP) ocean surface wind product[M]. AMS 13th Conference on Integrated Observing and Assimilation Systems for Atmosphere, Oceans, and Land Surface (IOAS-AOLS), 2009.
- [6] Atlas R, Hoffman R N, Ardizzone J, et al. A cross-calibrated, multiplatform ocean surface wind velocity product for meteorological and oceanographic application [J]. Bulletin of the American Meteorological Society,2011,92(2):157-174.
- [7] <http://www.pmel.noaa.gov/pirata/>.
- [8] Hoffman R N. SASS wind ambiguity removal by direct minimization [J]. Mon Wea Rev,1982,110(5):434-445.
- [9] Hoffman R N. SASS wind ambiguity removal by direct minimization. Part II: Use of smoothness and dynamical Constraints [J]. Mon Wea Rev, 1984,112(9):1829-1852.
- [10] Hoffman R N, Leidner M S. Some characteristics of time interpolation errors for fluid flows[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2010,27(7):1255-1262.
- [11] Hoffman R N, Leidner M S, Henderson J M, et al. A two-dimensional variational analysis method for NSCAT ambiguity removal[J]. Atmos Oceanic Technol, 2003,20(5):585-605.
- [12] Chelton D B, Freilich M H. Scatterometer-based assessment of 10-m wind analyses from the operational ECMWF and NCEP numerical weather prediction models [J]. Mon Wea Rev,2005,133(2):409-428.
- [13] Garratt J R. Review of drag coefficient over oceans and continents [J]. Mon Wea Rev,1977,105(7):915-929.
- [14] Ebuchi N, Kawamura H. Validation of wind speeds and significant wave heights observed by the TOPEX altimeter around Japan [J]. Journal of Oceanography, 1994, 50(4): 479-487.
- [15] Callahan P S, Morris C S, Hsiao S V. Comparison of TOPEX/POSEIDON sigma-0 and significant wave height distributions to Geosat [J]. Journal of Geophysical Research, 1994, 99(C12): 25,015-025,024.
- [16] <http://www.cora.nwra.com/morzel/blendedwinds.qscat.ncep.html>.
- [17] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system[J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011,137(656): 553-597.