

3种海面风场资料在吕宋海峡的比较与评估

韩玉康¹, 周林², 赵艳玲¹, 姜洪峰¹, 余丹丹¹

(1. 解放军31010部队, 北京 100081; 2. 国防科技大学气象海洋学院, 江苏 南京 211101)

摘 要: 利用1990—2014年的ICOADS观测资料, 从空间分布、季节变化和不同风速风向特征等角度, 对3种海面风场资料(ERA-I、CCMP、CFSR)在吕宋海峡处的风速和风向质量进行了较为全面详细的对比和评估。主要结论如下: (1) 3种风场资料在吕宋海峡处风速整体偏小, 海峡中部误差较小, 南北两端误差较大; 均方根误差季节变化显著, 6月最小, 12月最大; (2) 风速误差随不同风速、不同风向而不同, 整体呈现高风速时风速较观测偏大, 低风速时风速偏小的特点, 且低风速段误差较小, 高风速段误差随风速增大而增大; (3) 3种风场资料在吕宋海峡处风向整体偏右, 海峡中部误差较小, 南北两端误差较大; 季节变化显著, 12月最小, 5月最大; (4) 风向误差随不同风速、不同风向而不同, 偏北方向, 风向偏右; 偏东方向, 低风速段风向偏右, 高风速段风向偏左; 偏南方向, 低风速段风向偏左, 高风速段风向偏右; 偏西方向, 风向呈偏左状态。风向误差整体随风速的增大而减小; (5) 综合比较, CCMP的风速、风向资料质量均好于其他两种资料。

关键词: 吕宋海峡; ERA-I; CCMP; CFSR; 海面风场; 比较评估

中图分类号: P717 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2019)06-0044-09

1 引言

在大气和海洋科学中, 海面风是气象、海洋数值模式和环境预报的最基本的条件, 是影响海气相互作用、物质和能量交换最重要的要素之一。不同风场资料具有各自的优缺点, 不同资料的选择, 会在很大程度上影响对大气的温度、降水以及海洋的海温、海流、海浪^[1-2]等要素的计算结果。许多学者对再分析资料、卫星遥感资料等不同风场资料的质量进行了分析检验^[3-7], 发现不同数据之间风场质量存在差异, 同一种风场资料在不同季节、不同海域的质量也不相同。

吕宋海峡位于台湾岛与菲律宾之间, 是连接西北太平洋和南海最重要的水域, 并且位于西北太平洋最强的西边界流—黑潮的干流一侧, 海洋内波、

中尺度涡等海洋现象丰富, 又经常受台风影响, 历来是气象海洋学者研究的重点海域以及船舶运输和军事活动的交通要道。ERA-I(European Reanalysis-Interim, 欧洲数值预报再分析资料)、CCMP(Cross-Calibrated Multi-Platform, 多平台交叉校正资料)和CFSR(Climat Forecast System Reanalysis, 气候预报系统再分析资料)3种海面风场资料(下文简称为“3种资料”)具有较高的空间分辨率和较长的时间序列, 是应用较为广泛的几种海洋风场资料^[8-11]。目前还没有关于3种资料在吕宋海峡的质量评估的研究, 本文利用1990—2014年的ICOADS(International Comprehensive Ocean-Atmo-sphere Data Set, 国际海-气综合数据集)对3种海面风场资料在吕宋海峡的风场进行比较与误差分析, 为吕宋海峡的海洋和大气科学研究选用合适的海面风场资料提供参考。

收稿日期: 2018-12-26; 修回日期: 2019-04-15。

基金项目: 国家自然科学基金(41306010)。

作者简介: 韩玉康(1990-), 工程师, 硕士, 主要从事海洋环流、海洋资料分析研究。E-mail: yukang_han@163.com

通讯作者: 周林(1963-), 教授, 硕士, 主要从事海气相互作用研究。E-mail: zhou_lin4458@sohu.com

2 数据简介

2.1 ERA-I 资料

ERA-I海面风场资料来源于欧洲中期天气预报中心(European Center for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)提供的全球大气再分析产品 ERA-Interim。ERA-I与之前的ERA-40相比,ERA-I使用了分辨率更高的气象模式,并在观测资料的应用及同化方法上有很大改进。ERA-I海面风场资料的变量为距海面10 m的经向风速和纬向风速,覆盖全球,时间范围1990—2014年,水平分辨率为 0.25° ,时间间隔为6 h。下载地址为:http://data-portal.ecmwf.int/dataset/interim_daily。

2.2 CCMP 资料

CCMP资料由美国宇航局物理海洋学数据分发存档中心(Po.DAAC)提供,目前在国内外得到广泛应用。CCMP资料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,采用变分同化分析法(VAM),融合了SSM/I、TMI、AMS-E、QuikSCAT、ADEOS-II等多种卫星探测海面风资料^[12]。CCMP资料的变量为距海面10 m的经向风速和纬向风速,空间范围为 $78.375^\circ\text{S}\sim 78.375^\circ\text{N}$, $180^\circ\text{W}\sim 180^\circ\text{E}$,时间范围1990—2014年,水平分辨率为 0.25° ,时间间隔为6 h。下载地址为:<http://rda.ucar.edu/datasets/ds744.9>。

2.3 CFSR 资料

CFSR海面风场资料来源于美国国家环境预报中心提供的全球大气再分析产品CFSR和CFSv2。CFSR^[13]是一套高分辨率海-陆-气-海冰耦合的全球再分析资料。CFSR海面风场资料的变量为距海面10 m的经向风速和纬向风速,覆盖全球,时间范围1990—2014年,水平分辨率为 0.5° ,时间间隔为6 h。下载地址为:<http://rda.ucar.edu/datasets/ds094.0>和<http://rda.ucar.edu/datasets/ds093.0>。

2.4 ICOADS 资料

ICOADS,是美国NOAA气候诊断中心的研究

成果。它收集了1800年至近期的世界海洋表层观测资料,包括来自船舶的测量或观测数据、系泊浮标和漂浮浮标数据、海岸站点数据以及其他海洋台站数据,是目前最完整和最多样化的海-气综合数据集。数据集的主要变量有海表温度、气温、风场、气压、云量等气象、海洋要素。ICOADS数据在吕宋海峡的数据个数分布见图1。

2.5 资料时空匹配

(1) 时间匹配

ERA-I、CCMP和CFSR资料的时间间隔均为6h,而ICOADS资料的观测时间不定,本文只使用了其整点观测数据。自每年1月1日0时起,每隔6h,即每日0时、6时、12时和18时(世界时,下同),对ICOADS资料的观测时间进行检查判断,若存在此时此刻的观测,则此观测资料和ERA-I、CCMP和CFSR资料对应时刻资料共同收入比较数据库,若不存在,则每隔6h继续进行时间检查,直至将所有时间相同的观测数据和比较数据收入比较数据库。

(2) 空间匹配

ERA-I、CCMP资料的水平分辨率为 0.25° ,CFSR资料的水平分辨率为 0.5° ,而ICOADS资料的观测经纬度不定。对CFSR资料进行二维插值加密,使3种资料保持相同的水平分辨率 0.25° ,即观测位置均位于相差 0.25° 的水平网格点,然后对时间匹配的ICOADS资料经纬度进行判定,和周围4个

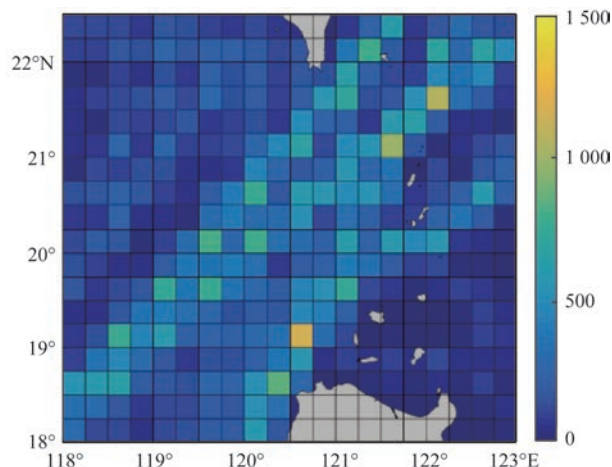


图1 ICOADS数据在吕宋海峡的数据个数分布

(单位:个,单位方格为 $0.25^\circ\times 0.25^\circ$)

相差 0.25° 的水平网格点进行比较,选择与之最相近的格点上的3种资料进行匹配、比较。

3 结果分析

3.1 风场季节变化

对1990—2014年25 a间吕宋海峡的冬、夏季海面风场特征进行分析。从图2中看出,冬季受东北季风影响,以东北风为主,风向稳定,4~6级风出现频次最多,6级以上大风比重可以达到20%。夏季

受西南季风影响,以西南风为主,但风向较冬季分散,以4级风出现频次最多,6级以上大风出要出现于西南方向,比重不到10%。了解风速、风向特征,为下一步检验做好铺垫。

对3种风场资料的风场平面分布特征进行比较(见图3),3种风场资料在吕宋海峡的分布特征相似,冬季东北风,风速较大,夏季西南风,风速较小,并且在海峡中部3种资料吻合度较高,风向、风速基本一致。3种资料的差异主要表现在:冬季在海峡北部,CFSR资料与ERA-I资料和CCMP资料相比风速略小,而在海峡南部,ERA-I资料相比其他两种

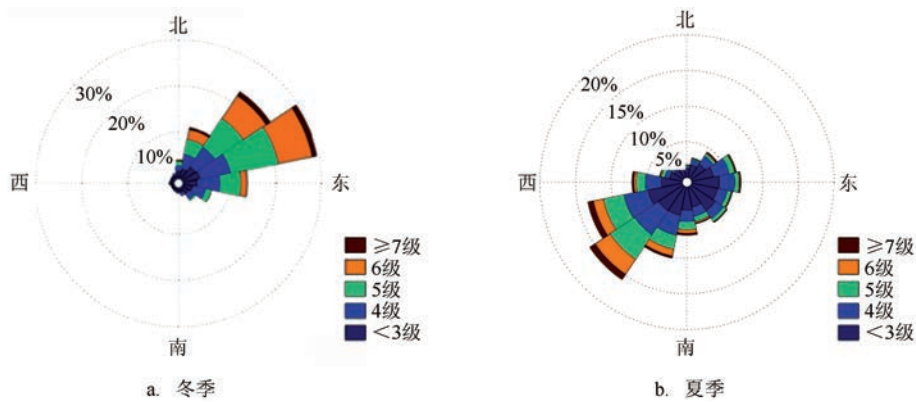


图2 基于ICOADS的吕宋海峡海面风场玫瑰图

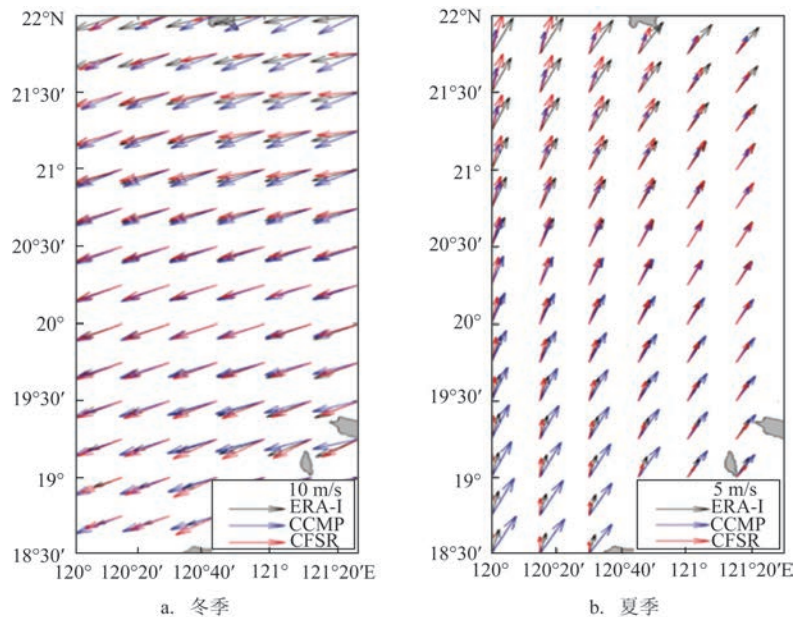


图3 3种风场资料在吕宋海峡的海表面风矢量分布

资料风速偏小;夏季3种资料的风速、风向差异较大,在海峡北部,CCMP资料风速较其他两种资料风速偏小,风向偏西,ERA-I资料风速偏大,风向偏东,海峡南部风场比较与北部相反,CCMP资料风速偏大,风向偏东,而ERA-I和CFSR资料的风速偏小,风向偏西。

3.2 风速检验

3.2.1 误差样本数分布

计算3种风场资料与ICOADS实测风速的风速

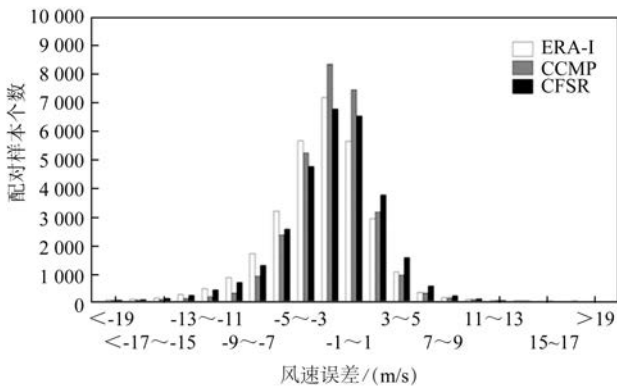


图4 3种风场资料在各风速误差范围内样本个数分布图

误差,以2 m/s间隔分类(如-1~1 m/s),观察在各风速误差区间内的统计分布特征。从图4可知,3种风场资料的风速误差均以负值偏多,ERA-I资料占76.7%,CCMP资料占73.6%,CFSR占68.8%,可见与ICOADS资料比较,3种风场资料的风速整体偏小。

3.2.2 风速误差的空间特点

如图5所示,从空间分布来看,3种风场资料在吕宋海峡处整体偏小,偏差在-1~-4 m/s之间,均方根误差在8~0 m/s之间。其中在吕宋海峡中部偏差相对较小,又以CCMP和CFSR质量较好,均方根误差2~3 m/s,ERA-I均方根误差3~4 m/s之间。在海峡南北两端,CCMP风速的准确性要好于其他两种资料,均方根误差在4 m/s左右,而ERA-I资料风速在海峡南段较差,平均偏小4 m/s,均方根误差达6~7 m/s,CFSR资料风速在海峡北端质量较差,平均偏小4 m/s,均方根误差达6~8 m/s。主要原因是海峡中部海面开阔,受地形影响较小,而海峡南北两端分别靠近台湾岛和菲律宾,受地形影响较大,卫星遥感反演产品和基于数值预报的再分析产品的风速误差都会相对较大。

3.2.3 风速误差的时间特点

从风速偏差来看,3种资料在各月均整体偏小,并呈现明显的月变化特点,其中6月风速偏差最

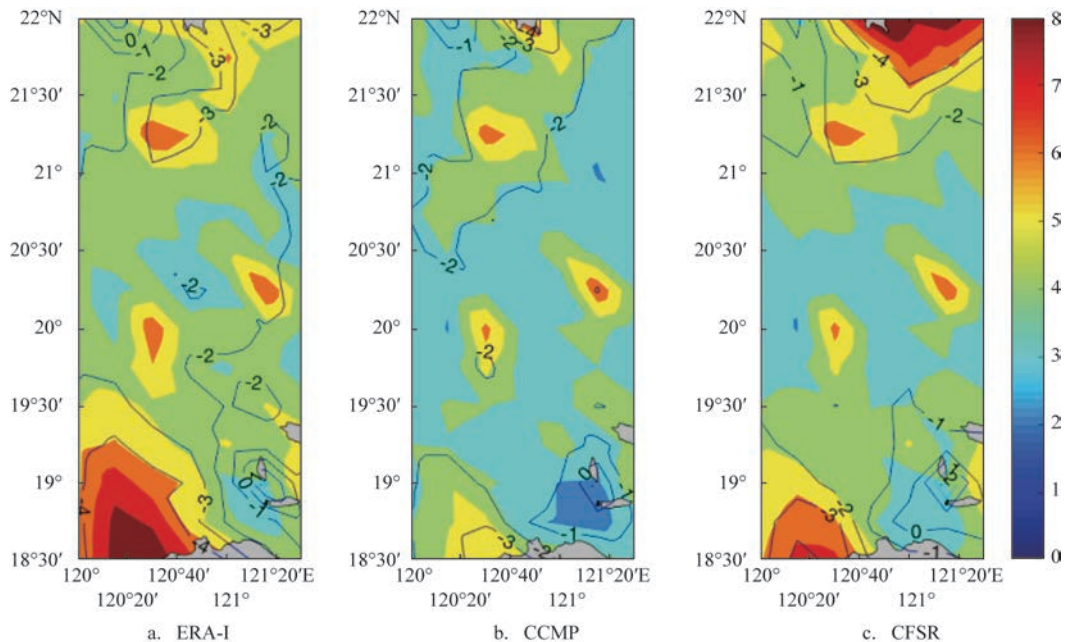


图5 3种资料的风速误差在吕宋海峡处的空间分布(等值线为风速偏差,颜色表示风速的均方根误差)

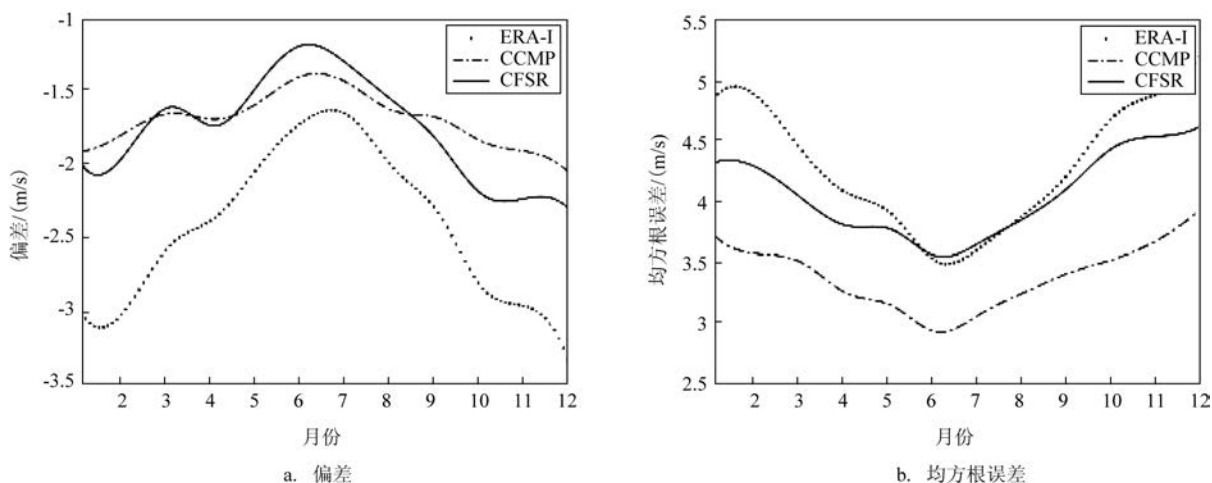


图6 3种资料的风速在吕宋海峡处的逐月变化

小, CCMP 和 CFSR 在 $-1 \sim -1.5$ m/s 之间, ERA-I 在 $-1.5 \sim -2$ m/s 之间, 12 月风速偏差最大, CCMP 为 -2 m/s, CFSR 为 -2.5 m/s, ERA-I 为 -3.5 m/s。从风速的均方根误差来看, 其变化趋势与风速偏差相似, 季节变化显著, 6 月最小, 12 月最大, 且 CCMP 资料风速质量要好于其他两种, 均方根误差在 $3 \sim 4$ m/s 之间, CFSR 在 $3.5 \sim 4.5$ m/s 之间, ERA-I 在 $3.5 \sim 5.5$ m/s 之间。由图 3 可知, 在吕宋海峡处, 冬季东北季风较夏季西南季风要强很多, 夏季风风速值整体较小, 因此各种风场资料之间的差别也相对较小, 冬季风风速值整体偏大, 导致误差随之较大。

3.2.4 不同风速风向下的风速误差特点

不同风速不同风向下, 3 种资料的风速误差存在差异, 又具有相似特点。从风速偏差看 (见图 6a), 一方面, 偏差随风速的增大呈现先减小再增大的变化特点, 也就是说风速较小时, 3 种资料风速较观测偏大, 风速较大时, 3 种资料风速偏小, 在风速 $5 \sim 7$ m/s 之间风速偏差最小。在低风速段 (低于 $5 \sim 7$ m/s, 下文相同), 风速偏差 $0 \sim 2$ m/s, 在高风速段 (高于 $5 \sim 7$ m/s, 下文相同), 风速偏差 $0 \sim 7$ m/s。另一方面, 不同风向上的风速偏差又有很大不同, 在相同风速的情况下, 东北方向的风速偏大量在低风速段明显大于其他方向, 而在高风速段, 其风速偏小量又明显小于其他方向; 西南方向的风速偏大量在低风速段为各个方向最小, 而在高风速段其风速偏小量大于东北方向, 小于其他方向。

从风速均方根误差来看 (见图 6b), 一方面呈现随风速的增大而增大的特点, 误差在 $1 \sim 10$ m/s 之间。另一方面, 在不同方向上存在差异, 在低风速段, 东北方向误差最大, 在 $3 \sim 4$ m/s 之间, CFSR 误差最大, 达 4 m/s 以上, 而在西南方向风速误差最小, 均在 3 m/s 以下, CCMP 误差最小, 在 $1 \sim 2$ m/s; 在高风速段, 东北方向的风速误差明显小于其他方向, 其次是西南方向。3 种资料风速对比 (见图 7), 在不同风速不同风向情况下, CCMP 风速资料质量相对较好。

3.3 风向检验

3.3.1 风向误差样本的分布

计算 3 种风场资料的风向误差, 以 30° 间隔 (如 $0 \sim 30^\circ$), 正值代表风向偏右, 观察样本在各风向误差区间内的统计特征分布。从图 8 可知, 3 种资料的风向偏差以正值居多, ERA-I、CCMP 占 63% , CFSR 占 61% 。与 ICOADS 资料比较, 3 种风场资料均整体偏右。

3.3.2 风向误差的空间特点

如图 9 所示, 3 种风场资料在吕宋海峡处整体偏右, 偏差在 $0^\circ \sim 20^\circ$ 之间。在海峡中部, 风向误差相对较小, 又以 CCMP 较好, 均方根误差在 $10^\circ \sim 30^\circ$ 之间, ERA-I 和 CFSR 在 $20^\circ \sim 40^\circ$ 之间; 在海峡南北两端, CCMP 在台湾和菲律宾沿海误差略大一些, 但范围较小, ERA-I 和 CFSR 风向偏差较大, 最大均方根误差达到 $50^\circ \sim 60^\circ$, 其中 CFSR 风向误差最大。

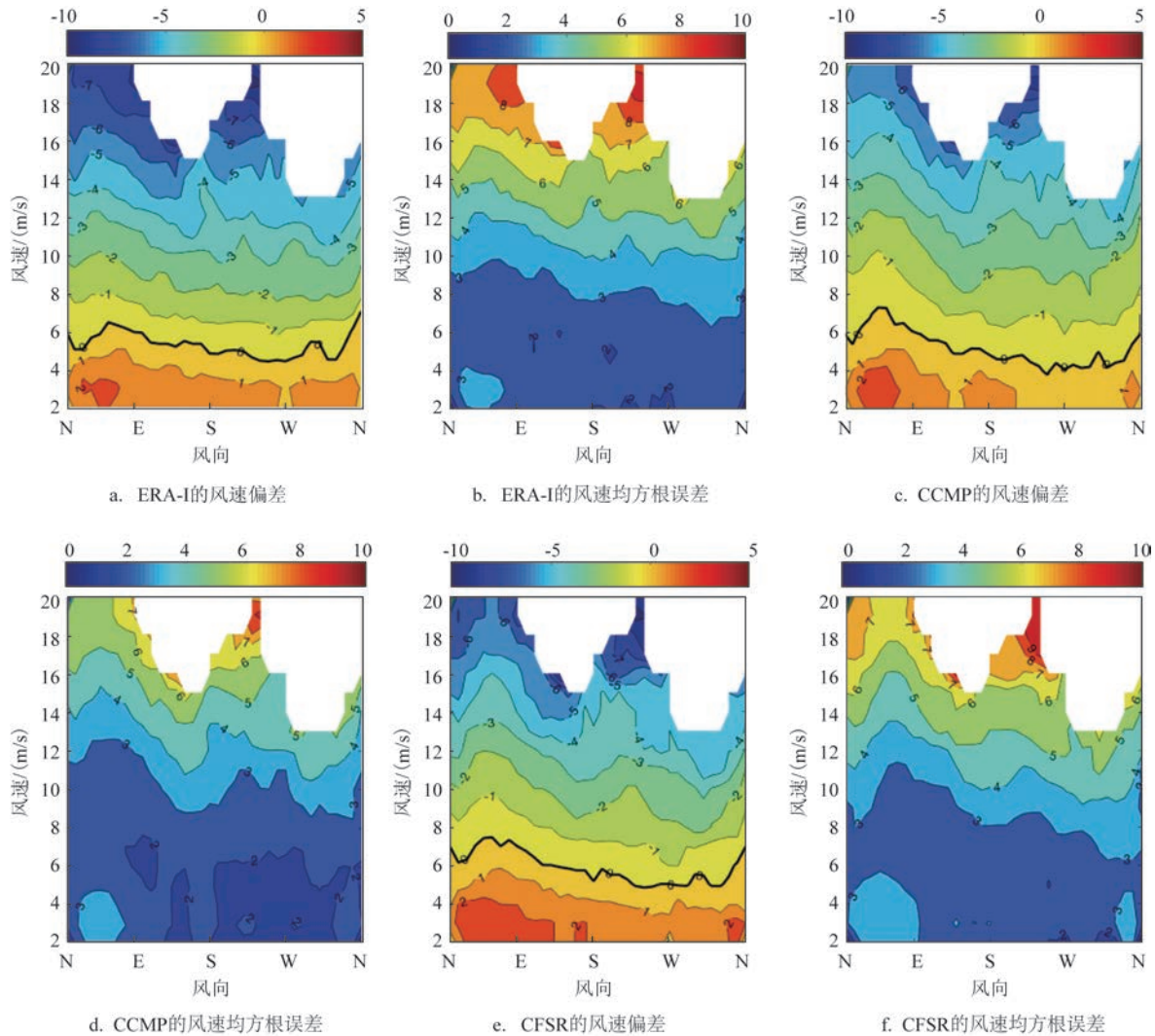


图7 不同风速不同风向下的3种资料的风速特点(空白区域表示无该风向、风速下的观测数据)

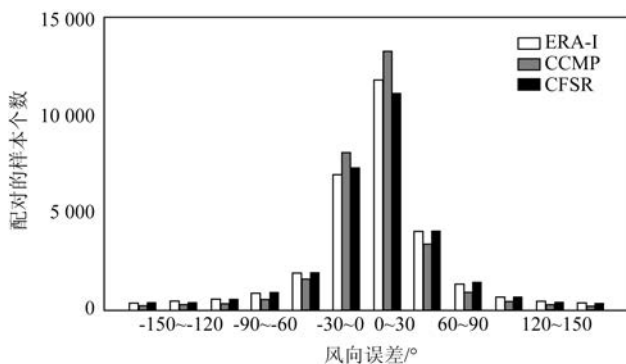


图8 3种风场资料在各风向误差范围内样本个数分布图

风向误差的空间分布特点也是由于吕宋海峡地形

影响,中部海面开阔,误差小,而两端受地形影响大,误差较大。

3.3.3 风向误差的时间特点

从风向偏差来看,3种资料的风向在各月呈整体偏右状态,CCMP偏差 $4^{\circ}\sim 8^{\circ}$ 之间,CFSR偏差在 $4^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 之间,ERA-I偏差变化较大,在 $0^{\circ}\sim 12^{\circ}$ 之间。从均方根误差来看,3种资料的风向误差呈明显的月变化特点,变化趋势相近,全年风向误差先增大后减小,12月最小,4、5月最大,CCMP误差相比来说误差最小,在 $25^{\circ}\sim 42^{\circ}$ 之间,ERA-I和CFSR相对误差略大,在 $30^{\circ}\sim 52^{\circ}$ 之间。风向误差的月变化与风速误差月变化呈负相关的特点,冬季东北季风风速大,在大风速值下卫星遥感反演产品和数值

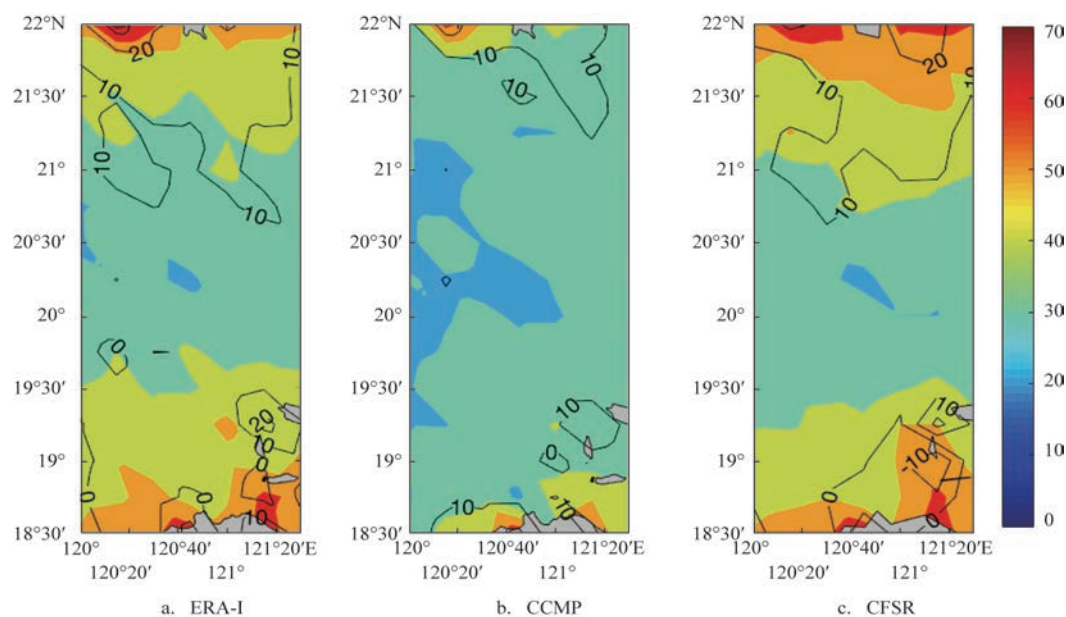


图9 3种资料的风向误差在吕宋海峡处的空间分布 (等值线为风向偏差, 颜色表示风向的均方根误差)

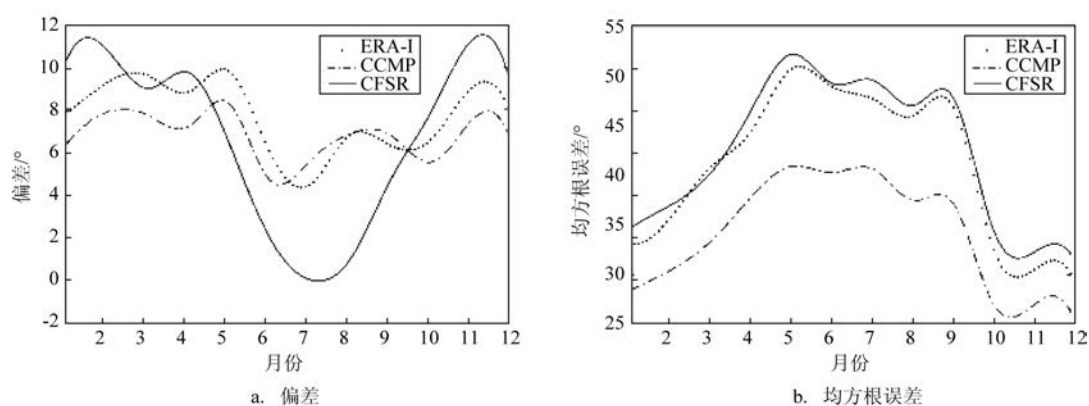


图10 3种资料的风向在吕宋海峡处的逐月变化

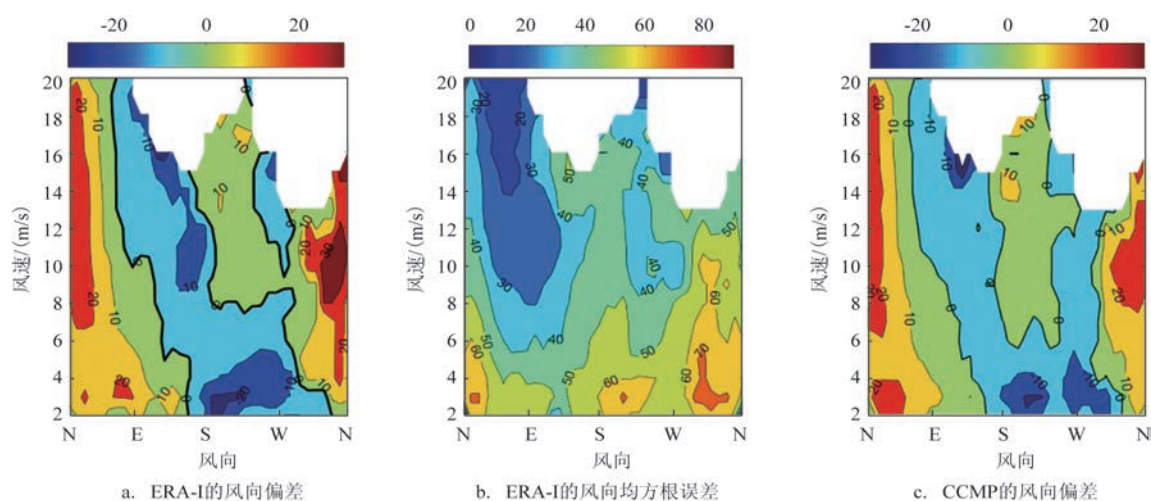


图11 不同风速不同风向下的3种资料的风向特点(单位:°, 空白区域表示无该风向、风速下的观测数据)

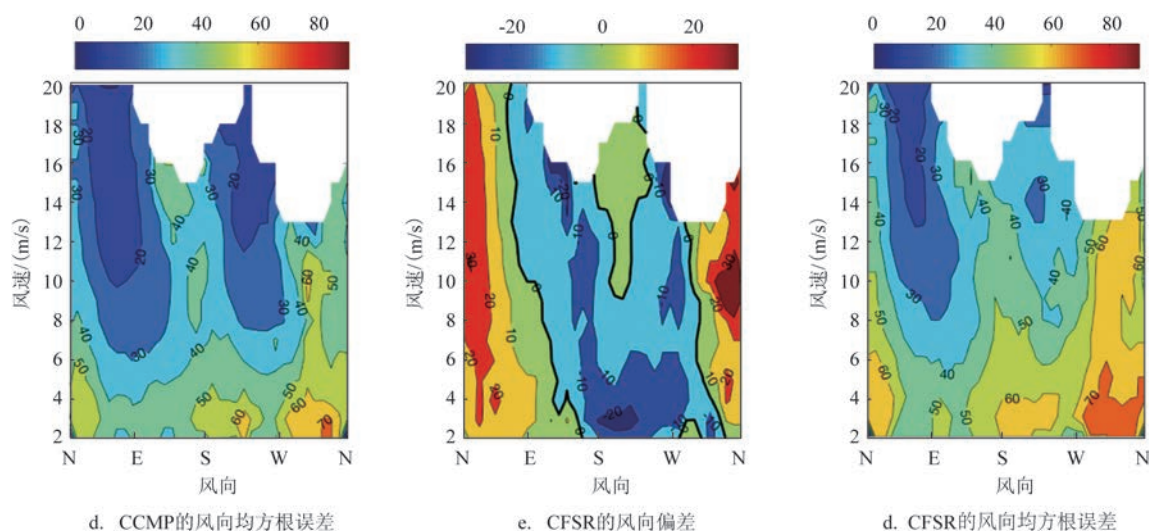


图 11 (续)

预报产品的风向误差相对较小,而夏季西南季风时期以及春、秋季季风转换期间风速相对较小,在小风速值下风向误差会相对较大,与前人对卫星遥感和数值预报、在分析产品的风场研究结论相一致^[5]。

3.3.4 不同风速风向下的风向误差特点

从风向偏差来看,各个方向差异很大,在偏北方向,风向整体偏差为正值,风向偏右,偏差在 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间,CCMP质量略好,在 $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之间;在偏东方向,随着风速的增大,风向误差先正后负,低风速段风向偏右,高风速段风向偏左,误差 $-10^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 之间;在偏南方向,风向误差特点与偏东方向相反,随着风速的增大,风向误差先负后正,低风速段风向偏左,高风速段风向偏右,误差 $-20^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 之间;在偏西方向,风向误差整体为负,风向呈偏左状态,误差 $-10^{\circ}\sim 0^{\circ}$ 之间。

从风向均方根误差来看,一方面,风向误差随风速的增大而减小,由低风速段的 70° 减小至高风速段的 20° 。另一方面,在不同方向上误差变化显著,以东北方向风向误差最小,其次是西南方向,在西北方向风向误差最大。对比3种资料,CCMP资料的风向质量较好,特别是在偏北方向的低风速段和西南方向的高风速段,优势相对明显。

4 小结

(1)3种风场资料在吕宋海峡处风速均整体偏

小,海峡中部误差较小,南北两端误差较大;季节变化显著,6月最小,12月最大;

(2)风速误差随不同风速、不同风向而不同,整体呈现高风速时风速较观测偏大,低风速时风速偏小的特点,低风速段误差较小,高风速段误差随风速增大而增大;

(3)3种风场数据集在吕宋海峡处风向整体偏右,海峡中部误差较小,南北两端误差较大;季节变化显著,12月最小,5月最大;

(4)风向误差随不同风速、不同风向而不同,偏北方向,风向偏右;偏东方向,低风速段风向偏右,高风速段风向偏左;偏南方向,低风速段风向偏左,高风速段风向偏右;偏西方向,风向呈偏左状态。风向误差整体随风速的增大而减小;

(5)综合比较,CCMP的风速、风向数据质量均好于其他两种资料,这主要是由于它是在再分析数据基础上再次同化了卫星数据,提高了数据质量。

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[J]. Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science, 2005: 1-24.
- [2] 邓波, 史剑, 蒋国荣, 等. 驱动大洋海浪模式的两种海面风场对比分析研究[J]. 海洋预报, 2014, 31(3): 29-36.
- [3] Ebuchi N, Graber H C, Caruso M J. Evaluation of wind vectors

- observed by QuikSCAT / SeaWinds using ocean buoy data[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2002, 19(12): 2049-2062.
- [4] Li M, Liu J P, Wang Z Z, et al. Assessment of sea surface wind from NWP reanalyses and satellites in the Southern Ocean[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2013, 30(8): 1842-1853.
- [5] 旷芳芳, 张友权, 张俊鹏, 等. 3种海面风场资料在台湾海峡的比较和评估[J]. 海洋学报, 2015, 37(5): 44-53.
- [6] 王东良, 姚小海, 孟雷, 等. 海洋二号卫星散射计风场产品真实性检验及分析[J]. 海洋预报, 2014, 31(4): 47-53.
- [7] 仇月萍, 许大志, 陆希. HY-2A 散射计风场在南海海域的检验和分析[J]. 海洋预报, 2018, 35(4): 25-33.
- [8] 张凯峰, 项杰, 杨波, 等. 基于ERA-interim再分析资料的ASCAT风场产品在南海的精度评估及南海月平均风场特征分析[J]. 海洋预报, 2017, 34(2): 27-36.
- [9] 郑崇伟. 基于CCMP风场的近22年中国海海表风场特征分析[J]. 气象与减灾研究, 2011, 34(3): 41-46.
- [10] 冯双磊, 王伟胜, 刘纯, 等. NCEP/NCAR再分析数据在风能资源评估中的应用研究[J]. 资源科学, 2009, 31(7): 1233-1237.
- [11] 刘宇昕, 张毅, 王兆徽, 等. 基于ASCAT微波散射计风场与NCEP再分析风场的全球海洋表面混合风场[J]. 海洋预报, 2014, 31(3): 10-18.
- [12] Atlas R, Hoffman R N, Bloom S C, et al. A multiyear global surface wind velocity dataset using SSM/I wind observations[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77(5): 869-882.
- [13] Saha S, Moorthi S, Pan H L, et al. The NCEP climate forecast system reanalysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2010, 91(8): 1015-1057.

Evaluation of three sea surface wind data sets in Luzon Strait

HAN Yu-kang¹, ZHOU Lin², ZHAO Yan-ling¹, JIANG Hong-feng¹, YU Dan-dan¹

(1. Unit 31010 of PLA, Beijing 100089 China; 2. College of Meteorology and Oceanography, National Defense University of Science and Technology, Nanjing 211101 China)

Abstract: Compared to ICOADS observed data, three sets of wind speed and direction data from ERA-I, CCMP and CFSR analysis data in Luzon Strait are evaluated. The conclusions are as follows: (1) The wind speed of analysis data is weaker than observed data overall the Luzon Strait with the small bias in the middle of the strait while large at the north and south parts, and RMSE varies seasonally, with the smallest in June and the largest in December. (2) The bias of wind speed varies with wind speed and direction. The wind speed bias is very small at low wind speed and large proportionally at high wind speed. (3) The wind direction of the three analysis data sets in Luzon Strait always turns right compared to observed data; the bias is small at the middle part of the strait and large at the north and south parts; the annual cycle of the bias is significant, with the smallest in December and the largest in May. (4) The wind direction bias varies with wind speed and direction. There is a clockwise deviation in the north wind direction, a clockwise deviation in the east wind direction with low speed and counterclockwise deviation with high speed, a clockwise deviation in the south wind direction with high speed and counterclockwise deviation with low speed, a counterclockwise deviation in the west wind direction. The wind direction bias decreases with the increase of wind speed. (5) Comparing comprehensively, CCMP data is better than others. The conclusions above can be helpful to choose appropriate sea surface wind data for atmospheric and oceanographic research in the Luzon Strait.

Key words: Luzon Strait; ERA-I; CCMP; CFSR; sea surface wind; comparative evaluation