

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

张凯峰, 项杰, 杨波, 周成钧

(解放军理工大学气象海洋学院, 江苏 南京 211101)

摘要: 利用ERA-interim再分析资料作为参照, 统计分析了南海季风盛行时ASCAT散射计L2B和L3风场产品的误差特征。结果表明: 季风盛行时, 南海中南部大部分海域, ASCAT两种散射计风场产品精度较好, 与设计精度一致, 风速标准偏差小于2 m/s, 偏差小于1 m/s, 风向标准偏差小于20°, 偏差小于5°, ASCATL2B相对L3产品表现更好, 西南风盛行时, 风场相关性强, 在0.8以上, ASCAT与ERA-interim一致性好, 东北风盛行时, 风场也具有强相关, 不过在南海东部海域, 风向相关性较弱, 小于0.7。另外, 利用ASCAT L2B分析了南海月平均风场分布特征, 结果表明: 南海季风盛行时, 存在两个风速大值中心, 分别位于南海中南部和台湾海峡及巴士海峡一带, 其位置和大小随时间而变化。

关键词: ASCAT; L2B; L3; ERA-interim; 海面风场

中图分类号: P732 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)02-0027-10

1 引言

南海地跨热带与副热带, 是我国最大的海域之一, 海洋资源丰富, 也是国际运输的重要区域。在气候上南海具有明显的热带季风气候, 是典型的季风区, 不过由于其地理位置特殊, 天气变化复杂, 是台风的多发地, 海上大风直接影响着航海和生产, 是造成海上灾难的主要原因之一^[1]。海面风场是海洋上层运动, 区域和全球海洋环流的主要动力来源, 由风引起的海浪、海流等几乎所有的海水运动都是海上活动不可忽视的, 并且在调节海气之间水汽、热量以及物质的交换过程中发挥着重要的作用^[2]。因此, 获得高质量的海面风场资料具有重要的研究和应用价值, 其对于数值模式初始场精度的改进、台风路径和强度的预报以及海洋天气形势的分析预报具有重要的意义^[3-5]。

目前观测海面风场主要依赖卫星遥感, 星载微

波散射计成为获取海面风场的重要手段之一, 其可以在昼夜晴空和有云的情况下进行海面风场的观测, 得到了广泛应用, 比如QuikSCAT^[4], 近年来, 观测海面风场的散射计有HY-2A散射计、OSCAT、QuikSCAT、ASCAT等, 其中HY-2A卫星搭载的散射计是国内首颗星载微波散射计, 工作频率为13.256 GHz^[6], 与美国国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)发射的QuikSCAT散射计(13.4 GHz)和印度太空研究中心(Indian Space Research Organisation, ISRO)发射的OceanSat-2卫星搭载的散射计(OSCAT, 13.5 GHz)采用的工作波段一致, 均为ku波段, 受降雨影响较大^[7-8]。QuikSCAT由于仪器故障, 在2009年11月停止运行^[9], OSCAT在2014年运行失败, HY-2A和ASCAT仍在运行。

ASCAT是2006年10月19日欧空局发射的气象卫星Metop-A上搭载的散射计, 卫星轨道为太阳

收稿日期: 2016-06-29; 修回日期: 2016-09-05。

基金项目: 国家自然科学基金(41275113); “全球变化与海气相互作用”专项(GASI-02-PAC-YGST02, GASI-02-SCS-YGST02)。

作者简介: 张凯峰(1994-), 男, 硕士在读, 从事南海海面风场融合研究。E-mail: 15380426538@163.com

同步轨道,时间分辨率为每日两次,升降轨时间分别为13时(世界时,下同)和01时,ASCAT工作频率为5.25 GHz,为C波段,受云雨影响较小^[10]。国内外学者对ASCAT散射计风场产品的质量做过相关的评估检验,证明ASCAT风场产品精度较高^[11-14],而在我国南海海域进行散射计风场检验的研究主要是QuikSCAT^[15],对ASCAT风场产品的研究相对较少,本文基于2013年1月1日—12月31日ERA-interim再分析风场资料,研究ASCAT两种风场产品(L2B, L3)在南海的精度,并且利用ASCAT-L2B分析南海月平均风场分布特征。

2 资料

2.1 ERA-interim再分析风场

ERA-interim是欧洲中期天气预报中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)向全球提供的最新的大气数值预报再分析资料,其使用了最新的4D-Var同化方法,本文利用ERA-interim 10 m处的再分析风场资料,时间分辨率为6 h,每天4次(00时,06时,12时,18时),空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$,变量包括10 m处的风速分量 U_{10} 、 V_{10} ,覆盖全球^[16]。Dee等^[17]指出由于技术原因,ERA-interim资料并没有同化ASCAT散射计资料,因此利用ERA-Interim对ASCAT进行评估保证了资料的相对独立。

2.2 ASCAT风场

本文采用的ASCAT风场产品包括ASCAT L2B分辨率为25 km的轨道刈幅数据(国家卫星海洋应用中心提供)和L3空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 的网格化产品,其中L3产品变量包括风速、风向、降雨标识(<http://www.remss.com/missions/ascat>),L2B与L3产品中,风向 0° 表示风自南向北吹(即南风),并按顺时针风向增加,在文中计算风向时,风向 0° 表示风自西向东吹,按逆时针风向增加,再分析资料与散射计风向均以此为标准。

3 方法

首先对散射计和ERA-interim风场产品进行时

间和空间上的匹配。图1为ASCAT与ERA-interim风场对比流程图,ASCAT L3与ERA-interim为格点资料,而ASCAT L2B为轨道数据,首先利用Zeng等^[18]提出的时间-空间插值算法将轨道数据网格化,时空插值公式如下:

$$u_{estimate} = \frac{\sum_{k=1}^N w_k u_k}{\sum_{k=1}^N w_k} \quad (1)$$

式中:

$$w_k = \frac{2 - \left[\frac{(x_k - x_0)^2 + (y_k - y_0)^2}{D^2} + \frac{(t_k - t_0)^2}{T^2} \right]}{2 + \left[\frac{(x_k - x_0)^2 + (y_k - y_0)^2}{D^2} + \frac{(t_k - t_0)^2}{T^2} \right]} \quad (2)$$

式中: u_k 是空间尺度范围内点 (x_k, y_k) 在时刻 t_k 的风速分量大小,根据分量可以计算插值后的风向大小, $u_{estimate}$ 是插值到网格点上的风速大小, w_k 是空间尺度范围内点 (x_k, y_k) 的权重大小。(2)式表明对于某一网格点上的风场数据,假设在某一格点 $A(x_0, y_0)$ 某一时刻 t_0 没有风场数据,选择空间尺度 D 和时间尺度 T ,利用 A 点周围空间和时间尺度范围内的 N 个点上的风场数据进行线性组合得到所求网格点上的数据。刘宇昕等^[19]运用该方法实现了ASCAT散射计与NCEP模式数据的融合,冯倩^[20]利用时空插值法对散射计轨道数据进行网格化处理,并且将结果与运用Kriging插值算法所得的结果进行对比,发现两者结果比较接近,偏差只有0.2 m/s,而传统网格平均插值算法与Kriging插值结果偏差较大,为2 m/s,因此通过时空插值方法对散射计轨道数进行网格化,所得结果精度较高。本文需要将分辨率为25 km的ASCAT-L2B轨道数据插值到再分析资料时刻的分辨率为 0.25° 规则网格点上,为了防止插值后数据过度平滑,并且保证插值点附近待插值点的样本量,空间尺度选择插值点附近 1° 范围内的点,由于ASCAT扫过南海海域的时间分别为13时和01时,因此将散射计数据插值到00时与12时,选取插值点两侧前后3 h的观测值,即时间尺度 T 取3 h。

为了定量分析散射计风场产品的偏差特征,我们通过以下几个统计量进行检验。定义 A 为

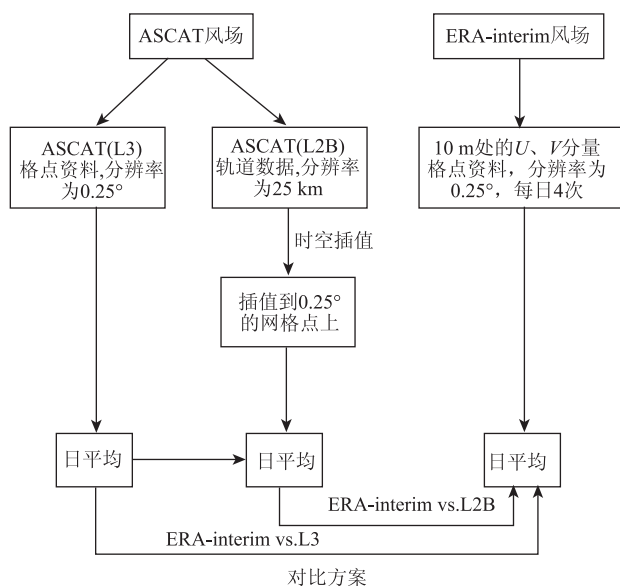


图1 ASCAT与ERA-interim风场对比流程图

ASCAT风场数据, B 为再分析风场资料, N 为匹配样本量。

平均值(Mean):

$$\bar{A} = \sum_{i=1}^N A_i, \quad \bar{B} = \sum_{i=1}^N B_i \quad (3)$$

平均偏差(Bias):

$$E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - B_i) \quad (4)$$

标准偏差(Standard Deviation, SD):

$$E_{SD} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (A_i - B_i)^2} \quad (5)$$

相关系数(R):

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A})(B_i - \bar{B})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^N (A_i - \bar{A})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (B_i - \bar{B})^2 \right]}} \quad (6)$$

4 ASCAT海面风的精度评估

南海处于热带地区,热带海洋性季风气候非常明显,对于南海海面风场的研究,QuikSCAT散射计资料得到了广泛的应用,张德天等^[21]利用QuikSCAT/NCEP研究了1999—2009年中国海面风场的变化趋势,发现在春季、秋季风速大值中心位于台湾海峡,夏季位于南海西南部海域,即108°E,

10°N附近,冬季大值区位于台湾海峡、东沙群岛一带,风向具有明显的季节特征,刘春霞等^[15]利用QuikSCAT月平均风场资料分析了南海海面风场的月平均分布特征,发现风向也具有明显的季节变化,南海存在两个平均风速大值中心,位于南海西南部108°E,10°N附近的大值中心从10月至次年3月盛行东北风,6月至8月盛行西南风,位于台湾、巴士海峡附近的大值中心从10月持续到次年3月。王慧鹏等^[22]等利用QuikSCAT月平均风场资料分析了南海海面风场的月平均分布特征,发现在南海4、5、9月是季风转换季节,10月到次年3月盛行东北风,6月到8月盛行西南风,季风特征明显,且在季风盛行时,存在两个平均风速大值中心,与刘春霞等的研究一致,而利用ASCAT研究南海海面风场的分布较少,本节基于ERA-interim资料,分析南海季风盛行期间ASCAT两种风场产品的偏差特征。

4.1 平均偏差分布特征

图2和图3分别为西南季风(6—8月)和东北季风(10月—次年3月)盛行时ASCAT(L2B和L3)与ERA-interim海面风场的平均偏差分布图。可以看出,ASCAT两种产品风场与再分析风场平均偏差分布比较一致,南海大部分海域,ASCAT风速的平均偏差在-1~1 m/s之间,风向偏差在-5°~5°之间。西南风盛行时,位于108°E,10°N附近的风速大值区,风速风向平均偏差均较小,风速在0.5 m/s左右,风向偏差在5°附近,且风速在该大值中心附近出现负的偏差,散射计风速偏小;东北风盛行时,在南海东北部,即台湾海峡以及巴士海峡东北风大值区,平均偏差明显偏大,在2 m/s以上,说明在这一带ASCAT(L2B和L3)相对于再分析风场偏大,而在西南风盛行时由于该区域大值中心消失,从图中可以看出在该区域平均偏差较小且部分区域散射计风速偏小,在巴士海峡以及南海西部部分区域风向偏差较大,可能由于季风盛行时岛屿的影响引起的。从平均偏差的分布情况来看,平均偏差低值覆盖区域ASCAT L2B产品相对ASCAT L3明显偏大,即二级产品相对较好。

4.2 标准偏差分布特征

图4与图5为标准偏差(SD)分布图。南海大部

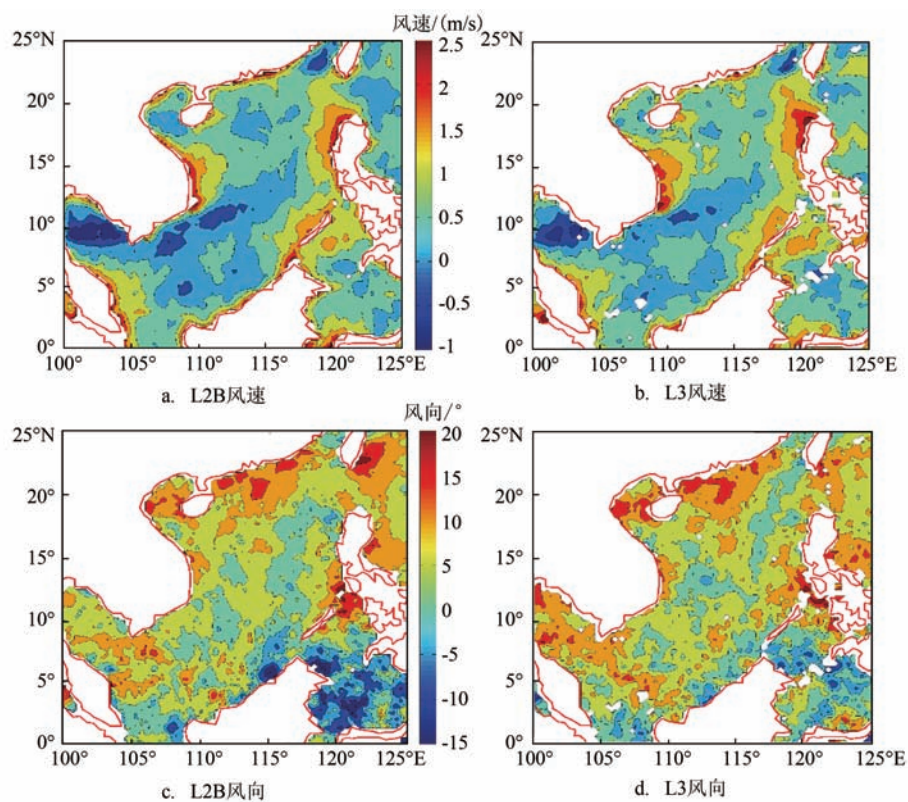


图2 西南季风盛行时, ASCAT(L2B、L3)与 ERA-interim 风场平均偏差分布

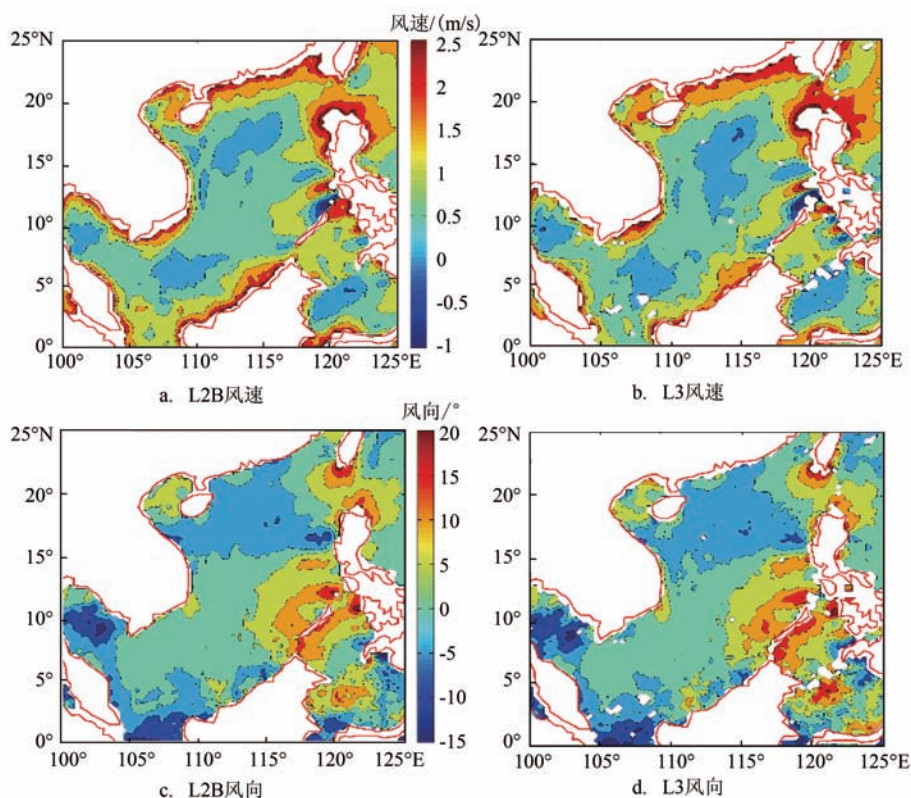


图3 东北季风盛行时, ASCAT(L2B、L3)与 ERA-interim 风场平均偏差分布

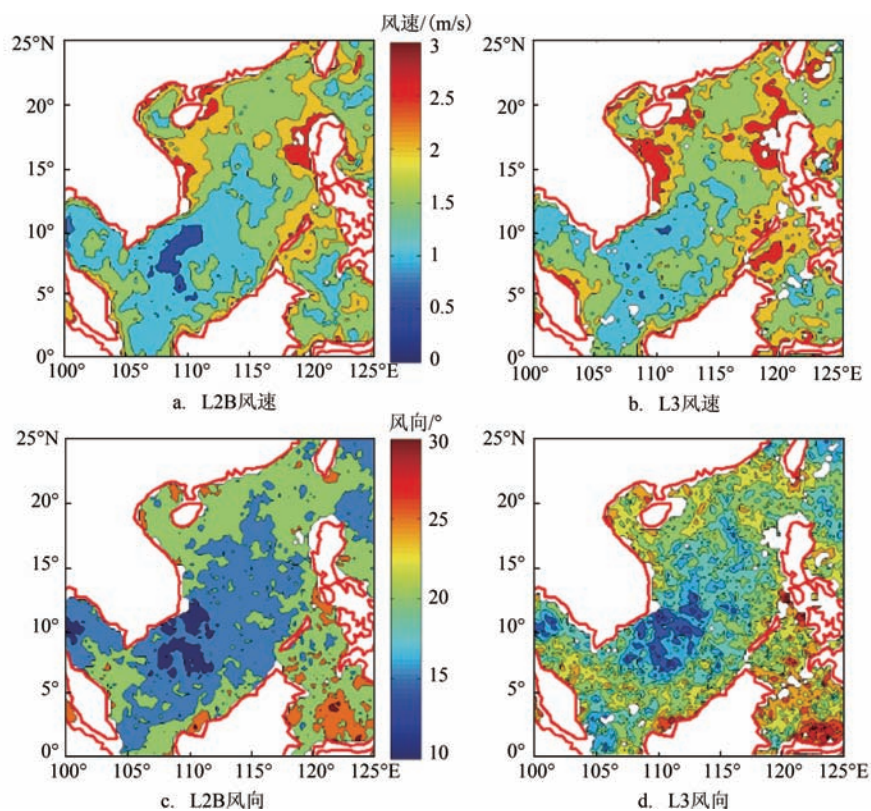


图4 西南季风盛行时,ASCAT(L2B、L3)与ERA-interim风场标准偏差分布

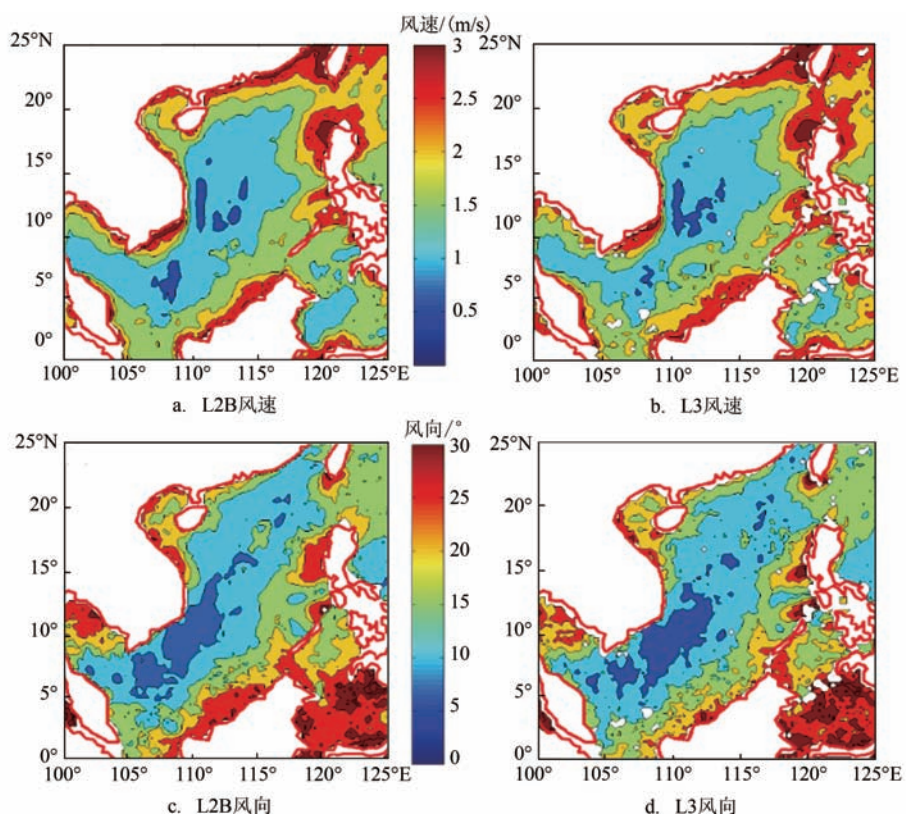


图5 东北季风盛行时,ASCAT(L2B、L3)与ERA-interim风场标准偏差分布

分海域标准偏差风速在 2 m/s 以内,风向小于 20° ,与设计精度一致,西南风盛行时,L3 标准偏差分布与 L2B 整体分布形式一致,不过比较散乱,L2B 风向标准偏差分布均匀,且低值覆盖范围大, 108°E , 10°N 西南季风大值区域一带,部分海域标准偏差风速小于 1 m/s,风向在 10° 附近,而在南海东北部台湾海峡以及巴士海峡附近和海南岛周围部分区域,ASCAT 风速的标准偏差在 2 m/s 以上,近海岸线一带,ASCAT L3 产品的标准偏差甚至大于 3 m/s,且红色区域即标准偏差高值区范围明显大于 ASCAT L2B。东北风盛行时,L2B 与 L3 差异较小,标准偏差空间分布基本一致,在台湾海峡和巴士海峡一带的风速大值区域,风速标准偏差偏大,在 2.5 m/s 以上,风速精度较差。

4.3 相关系数分布特征

图 6 与图 7 为相关系数分布图。ASCAT 散射计(L2B 与 L3)与 ERA-interim 再分析资料风速风向相关系数空间分布基本一致,但风速相关性强的区域

L2B 覆盖范围大,L2B 产品表现更好,而风向两种产品差异较小。西南季风盛行时,海南岛和台湾岛周围风速相关性偏弱,中南部海域相关系数在 0.8 以上,风向相关性均较强,大部分海域相关系数在 0.8 以上,即 ASCAT 两种产品的风向与再分析资料风向一致性高。东北季风盛行时,风速强相关的海域呈东北西南走向, 108°E , 10°N 风速大值区位于相关性强的区域,在南海东部风向相关性偏小,相关系数小于 0.7。

总体来说,季风盛行时,南海大部分海域,散射计两种风场产品精度较好,与设计精度一致,西南季风盛行时,ASCAT L2B 产品表现更好,东北季风盛行时,L2B 风速表现较好,而两种产品相对再分析资料的风向差异较小。

5 南海 ASCAT-L2B 月平均风场分析

根据第 3 节误差统计特征可知,ASCAT L2B 风场产品表现更好,本节利用 ASCAT L2B 分析南海海

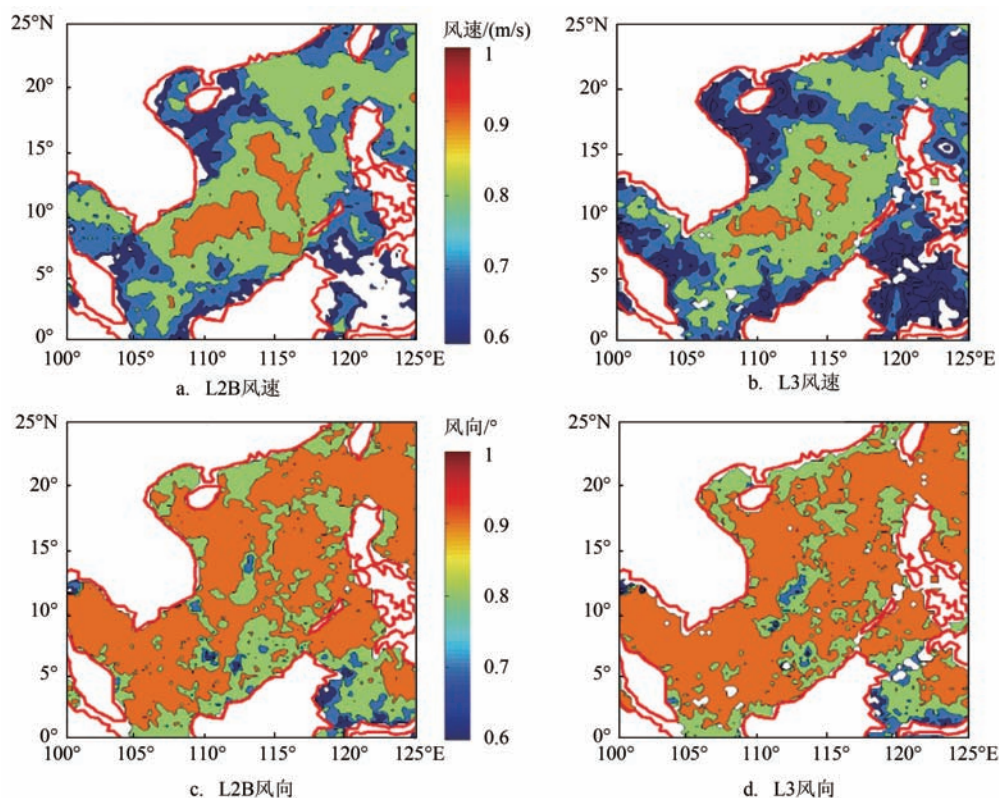


图 6 西南季风盛行时,ASCAT(L2B、L3)与 ERA-interim 风场相关系数分布

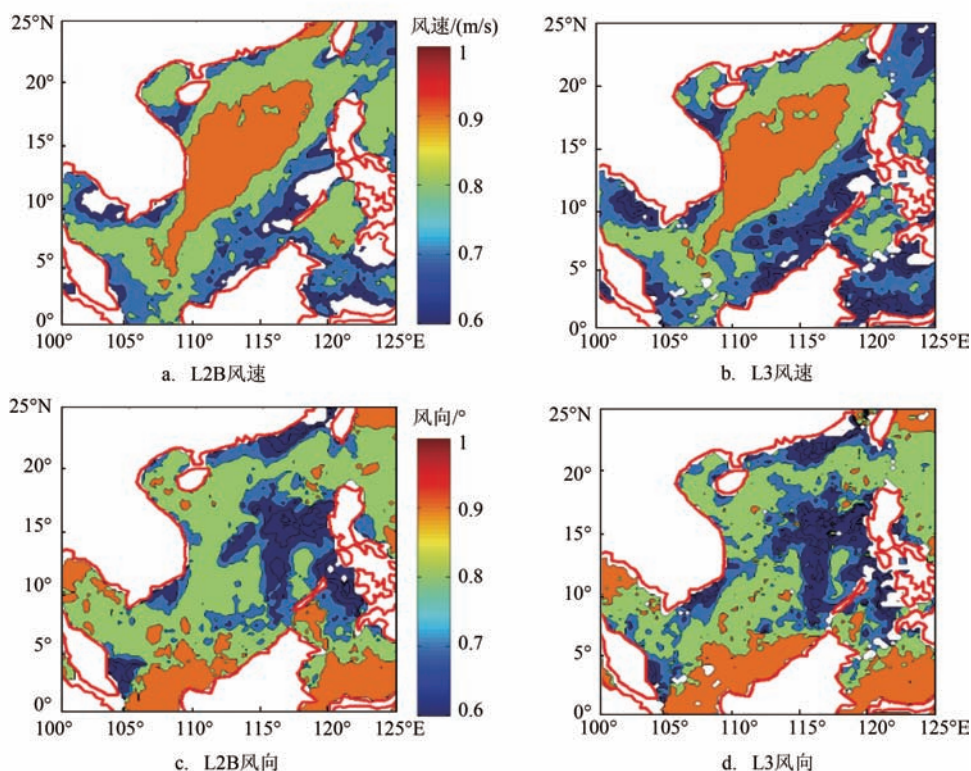


图7 东北季风盛行时,ASCAT(L2B、L3)与ERA-interim风场相关系数分布

面风场的月平均分布特征。图8显示了南海各月平均风场的分布,1月南海盛行东北风,在台湾海峡和巴士海峡以及 108°E , 10°N 附近为风速大值区,最大平均风速在 10 m/s 以上,2月与1月风场基本一致,东北风大值中心仍然存在,不过相对1月份,风速略微偏小。3月,南海大部分地区受东北风影响,不过,在海南岛附近出现了偏东风,风速大值中心仍然存在,但中心风速明显减小,台湾海峡以及巴士海峡最大值在 9 m/s 左右,而 108°E , 10°N 附近的大值中心风速在 7 m/s 左右。4月,南海西北部出现东南风,南部仍然受东北风控制,台湾附近的大值中心仍然存在。5月南海大部分地区为偏南风,风速大值中心不是很明显, 108°E , 10°N 附近风速大值区已经消失。6到8月份,西南季风爆发,南海主要受西南风的影响,且 108°E , 10°N 附近大值中心重新出现,最大平均风速从6月份的 7 m/s 增加到8月份的 9 m/s ,范围也逐渐扩大。8月,南海中部风速都比较大,台湾附近的大值中心不太明显。9月,南海北部出现偏东风,并向南推进,10月,南海北部受

东北风控制,此前南海东北部消失的大值中心开始变得明显,而南海南部风向较乱,风速也很小,至11月份,整个南海均在东北风的控制下, 108°E , 10°N 附近大值区已经消失,台湾巴士海峡一带大值区范围变大。12月与1月风场类似,盛行东北风,明显存在两个大值中心,中心风速都比较大,在 12 m/s 左右。

综上所述,11月一次年3月份,整个南海盛行东北风;6—8月为西南风,其他月份为季风转换季节。在季风盛行期间,存在两个风速大值中心,东北季风盛行时,即11月一次年3月,南海东北部存在一个风速大值区,风速在12月达到最大并持续到2月份,之后最大风速逐渐减小,范围也逐渐缩小;位于 108°E , 10°N 附近的大值中心,在4、5、10月不太明显之外,在12月一次年3月为东北风大值中心,而西南季风爆发期间,该地区大值中心又转为受西南风影响,在8月份平均风速达到最大值 9 m/s ,范围也达到最大,这与刘春霞等^[9]以及张德天等^[21]的研究结果基本一致。

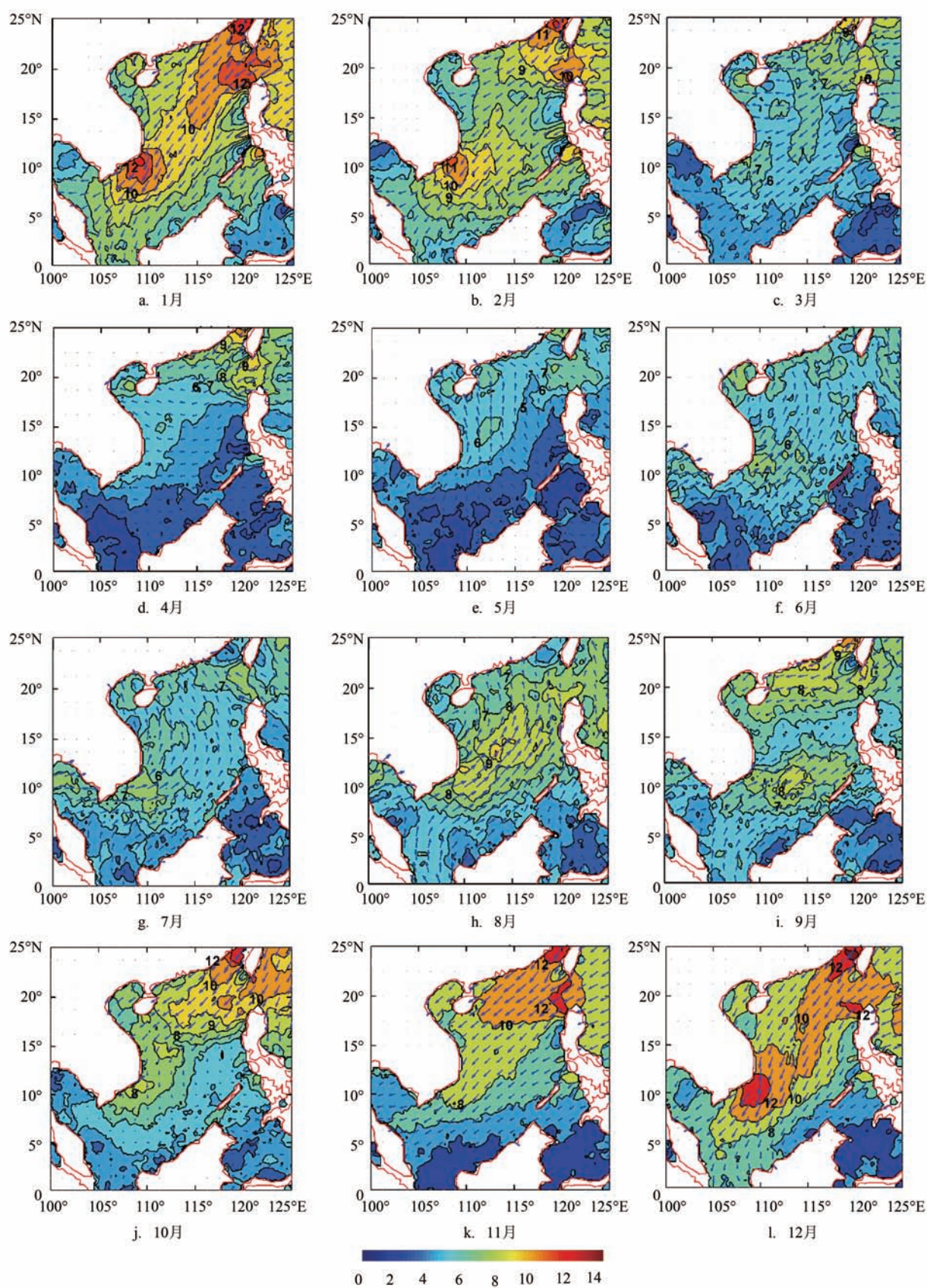


图8 南海各月平均风场分布图(阴影表示风速大小,单位:m/s;箭头表示风向)

6 结论

本文主要分析了ASCAT风场产品在南海的精度以及月平均风场分布特征,具体如下:

(1)利用ERA-Interim再分析海面风场资料对ASCAT两种反演海面风场产品进行了误差分析,得出季风盛行时,南海中南部大部分海域,ASCAT两种散射计风场产品精度较好,与设计精度一致,风速标准偏差小于2 m/s,平均偏差在-1~1 m/s之间,风向标准偏差小于20°,平均偏差在-5°~5°之间,ASCAT L2B相对L3产品表现更好,低值覆盖范围大。西南风盛行时,风场相关性强,在0.8以上,ASCAT与ERA-interim一致性好;东北风盛行时,风场也具有强相关,不过在南海东部海域,风向相关性较弱,小于0.7,而且在台湾海峡和巴士海峡一带,散射计反演风场产品较差,风速标准偏差甚至达到3 m/s,可能是由于散射计反演风场时受岛屿影响引起的;

(2)利用ASCAT-L2B资料对南海的风场月平均分布特征进行了分析,结果表明:南海季风随季节变化,11月一次年3月,南海盛行东北风,6至8月为西南风,其他月份为季风转换季节。季风盛行期间,存在两个风速大值中心,位于台湾海峡巴士海峡的东北风大值中心从10月份持续到次年2月份,而南部108°E,10°N附近的大值中心不仅在东北风盛行时存在,而且随着西南季风爆发,该海域又转换为西南风大值中心,大小和位置随时间变化。

参考文献:

- [1] 尹尽勇,徐晶,曹越男,等.我国海洋气象预报业务现状与发展[J].气象科技进展,2012,2(6):17-26.
- [2] 何宜军,陈戈,郭佩芳,等.高度计海洋遥感研究与应用[M].北京:科学出版社,2002:111.
- [3] 李艳兵,黄思训,翟景秋.卫星反演风场进展概述[J].气象科学,2009,29(2):277-284.
- [4] 赵大军,于玉斌,李莹.“0814”号强台风发展维持的环境场分析[J].气象科学,2011,31(5):591-597.
- [5] Liu W T. Progress in Scatterometer Application [J]. Journal of Oceanography, 2002, 58(1): 121-136.
- [6] 林明森,邹巨洪,解学通,等. HY-2A 微波散射计风场反演算法[J]. 中国工程科学, 2013,15(7), 68-74.
- [7] Hoffman R N, Leidner S M. An Introduction to the Near-Real-Time QuikSCAT Data [J]. Weather and Forecasting, 2005, 20(4): 476-493.
- [8] Singh R, Kumar P, Pal P K. Assimilation of Oceansat-2-Scatterometer-Derived Surface Winds in the Weather Research and Forecasting Model [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing, 2012, 50(4): 1015-1021.
- [9] Weissman D E, Stiles B W, Hristova-Veleva S M, et al. Challenges to Satellite Sensors of Ocean Winds: Addressing Precipitation Effects [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2012, 29(3): 356-374.
- [10] ASCAT Wind Product User Manual. Holland: Ocean and Sea Ice SAF, 2012, Version 1.12: 1-27.
- [11] 杨晓君,张增海. ASCAT洋面风资料在中国北方海域的真实性检验[J]. 海洋预报, 2014, 31(5): 8-12.
- [12] 张增海,曹越男,刘涛,等. ASCAT 散射计风场在我国近海的初步检验与应用[J]. 气象, 2014, 40(4): 473-481.
- [13] Bentamy A, Croize-Fillon D, Perigaud C. Characterization of ASCAT Measurements Based on Buoy and QuikSCAT Wind Vector Observations [J]. Ocean Science, 2008, 4(4): 265-274.
- [14] Verspeek J, Stoffelen A, Portabella M, et al. Validation and Calibration of ASCAT Using CMOD5.n[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2010, 48(1): 386-395.
- [15] 刘春霞,何溪澄. QuikSCAT 散射计矢量风统计特征及南海大风遥感分析[J]. 热带气象学报, 2003, 19(S1): 107-117.
- [16] Berrisford P, Dee D, Fielding K, et al. The ERA-interim archive [J]. 2009.
- [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.
- [18] Zeng L X, Levy G. Space and Time Aliasing Structure in Monthly Mean Polar-Orbiting Satellite Data [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1995, 100(D3): 5133-5142.
- [19] 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.
- [20] 冯倩. 卫星散射计数据处理及其应用[D]. 青岛: 青岛海洋大学, 2001.
- [21] 张德天,郑崇伟,石岭琳,等. 基于 QuikSCAT/NCEP 风场的1999-2009年中国海表风场研究[J]. 海洋预报, 2011, 28(4): 58-64.
- [22] 王慧鹏,王春明,项杰,等. QuikSCAT 卫星散射计矢量风检验及南海月平均风场特征分析[J]. 气象科学, 2014, 34(1): 54-59.

Validation of ASCAT satellite scatterometer winds based on ERA-interim and monthly mean wind field over the South China Sea

ZHANG Kai-feng, XIANG Jie, YANG Bo, ZHOU Cheng-jun

(Institute of Meteorology and Oceanography, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101 China)

Abstract: Based on the ERA-Interim surface wind analysis generated at the European Center for Medium Range Weather forecasts, the errors characteristics of two ASCAT wind field products Level2B and Level3 are analyzed when the monsoon is prevailing in the South China Sea. The results show that: ASCAT wind field products perform well which meet the accuracy requirement in the most areas of the South China Sea. The standard deviation of ASCAT wind speed and direction is less than 2m/s and 20°, and the bias is less than 1m/s and 5°, respectively, while the ASCAT L2B is better. When the southwest is prevailing, the ASCAT wind field have a good consistency and large correlation which is higher than 0.8 with the ERA-interim, and when it is northeast, the correlation is also good, while in the east of the South China Sea, the correlation rate is less than 0.7. Besides, the ASCAT L2B are used to the climatic characteristics of the South China Sea. It is shown that there are two average wind speed value centers: one is located at the central south 108°E, 10 °N of South China Sea, while the other is near the Taiwan and Bashi Strait whose site and intensity change with time.

Key words: ASCAT; L2B; L3; ERA-interim; surface wind