

张增海,曹越男,刘涛,等. 2014. ASCAT 散射计风场在我国近海的初步检验与应用. 气象, 40(4): 473-481.

ASCAT 散射计风场在我国近海的初步检验与应用^{*}

张增海 曹越男 刘 涛 赵 伟

国家气象中心, 北京 100081

提 要: 为了弥补中国近海海区缺乏洋面风场观测资料, 提高海洋气象预报能力, 对 MetOP-A 极轨卫星搭载的 ASCAT 散射计反演风场资料和中国气象局在近海布设的 18 个浮标站测风资料进行对比。结果表明, 离岸较远的海域中 ASCAT 反演风场的质量要优于离岸较近的海域, 在较远的海域中, ASCAT 风速和浮标观测风速的平均偏差为 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, ASCAT 的风速高于浮标站的风速, 平均绝对偏差和均方根误差分别为 1.2 和 $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风速的相关系数为 0.94 。统计特征分析结果显示, ASCAT 散射计风场资料在中国近海有较好的可信度, 在高速风的时候, ASCAT 和浮标资料一致性较好, 而低风速时候, ASCAT 比浮标略偏大。目前, 中央气象台正在逐步开展 ASCAT 资料的业务应用, ASCAT 洋面的 MICAPS 格式产品和图形产品现已实现准实时运行。

关键词: 海洋气象预报, 散射计, ASCAT 反演风场, 浮标, 检验与应用

中图分类号: P413

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.04.010

Preliminary Validation and Application of ASCAT Scatterometer Retrieved Winds over China Offshore Seas

ZHANG Zenghai CAO Yuenan LIU Tao ZHAO Wei

National Meteorological Centre, Beijing 100081

Abstract: The new scatterometer Advanced SCATterometer (ASCAT) onboard MetOP-A satellite provides surface wind speed and direction over global oceans with a spatial resolution of 25 km and 12.5 km square over two swaths. The accuracy of ASCAT retrieved wind is determined through various speed and direction comparisons with moored buoys laid by China Meteorological Administration (CMA). The wind speed bias between ASCAT and buoys is $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. The average absolute error and root-mean-squared difference are $1.2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. The ASCAT wind over China offshore sea is credible with the correlation coefficient of wind speed between ASCAT and buoys is 0.94 . And the primary operational application of ASCAT winds is on processing gradually in National Meteorological Centre (NMC), which can provide text data and PNG figures quasi real time.

Key words: marine meteorological forecast, scatterometer, ASCAT retrieved winds, buoy, validation and application

引 言

常规的海面风观测大多来自船舶、海上浮标、岛屿站的测量, 但是这些资料的覆盖范围和空间分辨

率远远达不到研究和应用的要求。随着空间遥感技术的发展, 卫星遥感资料以其覆盖范围大、时空分辨率高、可连续观测等优点, 在观测和研究中起着越来越重要的作用。目前可以观测海面风的传感器有微波散射计、微波高度计和微波辐射计, 其中散射计全

* 国家气象中心预报员专项(Y201206)资助

2013 年 2 月 25 日收稿; 2013 年 9 月 17 日收修定稿

第一作者: 张增海, 主要从事海洋气象预报与研究工作. Email: zhangzh@cma.gov.cn

天候、高覆盖度、高分辨率的观测能力使其在获取海面风场信息方面发挥着重要作用(张毅等,2009)。

第一次使用散射计观测海面风场始于 1978 年,而 1992 年极轨卫星 ERS-1、1995 年极轨卫星 ERS-2 搭载的散射计使得卫星散射计的观测和应用开始了新的阶段。美国 NASA 在日本卫星 ADEOS-I 上的散射计 NSCAT 运行时间虽短,但提供的资料大大推动散射计资料的应用程度(Chang et al., 2006)。美国 NASA 于 1999 年 7 月发射了极轨卫星 QuikSCAT, QuikSCAT 资料得到了极大的应用,推动了散射计风场资料在天气分析、预报和数值预报中的应用,实现了散射计风场资料的同化分析,改进了数值模式在常规观测资料稀疏的南半球的天气分析和预报,以及北半球海面上热带气旋和温带气旋的分析和预报,同时通过卫星观测资料获得对新的观测事实的认识方面的应用(方翔等,2007)。由于天线的问题,QuikSCAT 已于 2009 年 11 月 22 日停止运行。

欧洲航天局(ESA)于 2006 年 10 月 19 日发射了 MetOP-A 卫星,星上搭载了散射计 Advanced SCATterometer(ASCAT)。ASCAT 作为新一代的微波散射计,吸取了美国 NSCAT、QuikSCAT 和欧洲 ERS 等散射计卫星的经验,它的主要性能优于上述散射计卫星。

ASCAT 资料在国外得到了很好的研究和应用,成为数值预报模式中海洋上重要的初始场同化资料之一(Hersbach, 2010; Bi et al., 2011)。在卫星反演风场评估方面,Bentamy 等(2008)利用 ND-BC、TAO 和 UKMF 的浮标资料和 ASCAT 资料进行对比分析,结果显示卫星反演风速均方根误差在 $1.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,风向均方根误差在 20° 以内。然而在我国,对 ASCAT 反演风场的应用基本上还处在初级阶段,尚无风速、风向的评价,如何用好 ASCAT 海洋风场产品,对我国海洋气象业务的发展有重大意义。本文利用中国近海浮标观测来检验 ASCAT 资料在中国近海海域的质量,为业务预报和数值模式应用提供参考。

1 ASCAT 资料的介绍和统计方法

本文使用浮标观测资料和卫星风场资料进行对比,研究 ASCAT 资料在中国近海的质量状况。先利用反距离权重插值方法将 ASCAT 反演的风场插值到浮标站点的所在位置,作为卫星反演的风速和

风向,再与浮标站测风的风向、风速对比计算偏差、均方根误差及相关系数等统计量,以此评价 ASCAT 卫星反演风速和风向的质量。

1.1 ASCAT 卫星遥感风资料

ASCAT 卫星散射计采用双边观测来测量海面后向散射系数,每侧均为三波束侧视天线,一束垂直于卫星飞行轨道,一束指向前向 45° ,另一束指向后向 45° 。散射计的测量值与海洋表面的粗糙度有关,随着粗糙度增加,反射回传感器的微波量也增多,海洋表面的粗糙度不同,中等入射角度的后向散射对风速和风向的敏感性能很好地反映风向和风速。ASCAT 海洋风场产品的基本原理可描述为:通过获取后向散射系数来探测海洋表面的粗糙度,再根据海洋表面粗糙度通过地球物理模型(CMOD5)来反演海洋表面的风速和风向,所得到的风场产品为 10 m 高度的风。ASCAT 的工作频率为 C 波段(5.255 GHz),C 波段的海面后向散射系数对于海面风矢量的变化和降水都较为敏感,但是 C 波段的散射计的性能受降雨的影响要小于 QuikSCAT 所使用的工作频率 Ku 波段的散射计(Stiles et al., 2002)。

目前,欧洲卫星气象组织(EUMETSAT)发布的 ASCAT 业务风场产品有 3 种(Verhoef et al., 2005): 25 km 分辨率的海洋风场,12.5 km 分辨率的海洋风场,12.5 km 分辨率的近岸风场产品。其中 25 km 的风场产品每一行扫描线由 21 个 25 km 大小的风矢量单元组成,因此轨道的宽度为 525 km,12.5 km 的风场产品每一行扫描线由 41 个 12.5 km 大小的风矢量单元组成,轨道的宽度为 512.5 km。由于中国气象局在中国近海布设的浮标大多靠近海岸,本文选用分辨率为 12.5 km 的 ASCAT 近岸风场产品,这样既能得到更多的对比分析样本,又能使 ASCAT 反演风场插值到浮标站点的时候精确度更高。

1.2 浮标资料

浮标观测为海洋气象观测系统中的重要手段,其观测质量高于船舶。中国气象局从 2010 年开始在中国近海海域布设的多个浮标站,在多次冷空气海上大风过程中为预报员业务预报提供了海面风况的直接参考。浮标的站号、经纬度和所用浮标的直径大小等信息列举见表 1,浮标站点位置在海域图

上的显示如图 1 所示,中国气象局布设的浮标按照直径大小来分主要有两类,10 m 直径和 3 m 直径。10 m 直径浮标测风高度为 10 m 左右,3 m 直径浮标的测风高度为 2.5 m 左右,为了将浮标测风和卫星反演风进行统一对比,这里将 3 m 直径浮标风速转换为 10 m 高度的风速(Thomas et al,2005)。中国近海浮标在实际业务预报中发现辽宁大浮标(站号 54558)存在明显风向错误,但是风速大小是正确的,因而在本文统计中将该站的风向进行了剔除,只保留了风速信息。由于中国气象局浮标布设时间较短,布设时间也不一致,本文统计资料的时间开始为 2010 年 10 月,此时多个浮标站点已经陆续在业务中开始使用,资料的截止时间为 2012 年 4 月。

由于 ASCAT 反演洋面风场与海面波浪状况有关,而海浪在传播到近岸的时候受海底地形的影响将会出现近岸浪,从而导致反演的风场可能出现偏差。中国气象局浮标布设点的位置距离海岸远近的差别很大,这里根据浮标位置距离海岸线是否大于 10 km 将 18 个站点分为两组,目的是分析卫星资料在近岸海域和较远海域的表现,第一组为距离海岸 10 km 以内的浮标,包括辽宁小浮标、烟台浮标、青

岛大/小浮标和日照万平口浮标,以及广东汕尾浮标,这些浮标的位置距离海岸比较近,浮标观测的资料受地形影响,对海表状况的响应不如远海浮标的代表性好,其余距离海岸大于 10 km 的海洋浮标作为第二组(见表 1)。

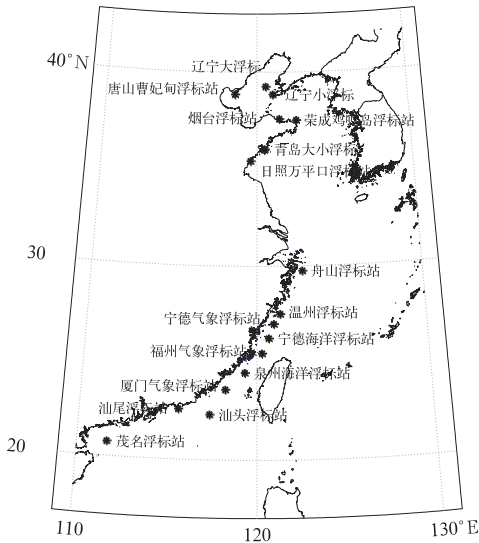


图 1 浮标观测站点分布

Fig.1 The geographical distribution of buoy stations

表 1 浮标观测站点的站号和经纬度等信息

Table 1 The buoy station No. and the longitude, and latitude information

序号	站号	纬度/°N	经度/°E	站名信息	浮标类型	分组
1	54558	39.25	120.58	辽宁大浮标	10 m 圆盘浮标	2
2	54641	38.86	118.55	唐山曹妃甸浮标	10 m 圆盘浮标	1
3	54663	38.85	121.05	辽宁小浮标	3 m 圆盘浮标	1
4	54762	37.59	121.47	烟台浮标	3 m 圆盘浮标	1
5	54772	37.5	122.55	荣成鸡鸣岛浮标	10 m 圆盘浮标	2
6	54946	35.42	119.59	日照万平口浮标	3 m 圆盘浮标	1
7	58573	29.75	122.75	舟山浮标	10 m 圆盘浮标	2
8	58767	27.01	121	宁德气象浮标	10 m 圆盘浮标	2
9	58768	27.54	121.39	温州浮标	10 m 圆盘浮标	2
10	58951	25.5	120.31	福州气象浮标	10 m 圆盘浮标	2
11	59334	23.64	118.2	厦门气象浮标	10 m 圆盘浮标	2
12	59506	22.6	115.56	汕尾浮标	10 m 圆盘浮标	1
13	59515	22.33	117.34	汕头浮标	10 m 圆盘浮标	2
14	59765	20.75	111.66	茂名浮标	10 m 圆盘浮标	2
15	700001	26.29	120.71	宁德海洋浮标	10 m 圆盘浮标	2
16	700002	24.49	119.30	泉州海洋浮标	10 m 圆盘浮标	2
17	99997	36.0	120.44	青岛小浮标	3 m 圆盘浮标	1
18	99998	36.0	120.50	青岛大浮标	10 m 圆盘浮标	1

1.3 资料统计方法

平均偏差: $\bar{b} = \sum_{i=1}^n (A_i - B_i) / n$

平均绝对偏差: $|\bar{b}| = \sum_{i=1}^n |A_i - B_i| / n$

均方根误差: $\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2 / (n - 1)}$

反距离权重插值公式：
$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{d_i^k}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^k}}$$

式中, A 为 ASCAT 卫星遥感反演风场的风速或风向值, B 为浮标(Buoy)观测的风速或风向值, n 为相应的样本量, Z_p 为 p 点的风速或风向值, Z_i 为第 i 个点的风速或风向, d_i 为待插点与其邻域内第 i 个点之间的距离, k 为次幂, 这里取 $k=2$ 。

2 ASCAT 在中国近海海域的质量分析

2.1 风向、风速对比分析

第一组包括 7 个浮标的资料, 对比分析资料的样本量有 1304 个, 二者风速观测值对比分析如图 2a 所示。图中填色等值线为样本量, 对角线为 ASCAT 风速和浮标风速等值的标志线。分析结果

显示, ASCAT 卫星风速和浮标观测风速平均偏差为 $4.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 大多数样本集中在对角线以下, ASCAT 反演风速值比浮标观测结果要大, 二者的相关系数仅为 0.49, 这说明距离海岸线较近地方的浮标观测和卫星反演风速出现较大的偏差, 而且二者相关性较差, 对同一天气系统的响应不具备一致性。浮标观测值主要集中在风速 $2 \sim 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 说明浮标资料很多时候并没有捕捉到大风天气过程, 其原因主要是由于浮标站点靠近陆地, 观测到的风没能完全响应海上的大风状况, 所测风速低于远海海域。

从图 2b 第一组风向分布情况来看, 卫星反演风向和观测风向较分散, 除了个别方向上, 如 $45^\circ \sim 90^\circ$ 、 180° 左右等保持了较好一致性外, 其他风向上的差别都较大, 二者整体样本偏差为 12° 。

第二组包括 11 个浮标的资料, 对比分析资料的样本量有 3146 个, 二者风速偏差较小, 仅为 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 从图 2c 上可以看到大量样本集中在等风

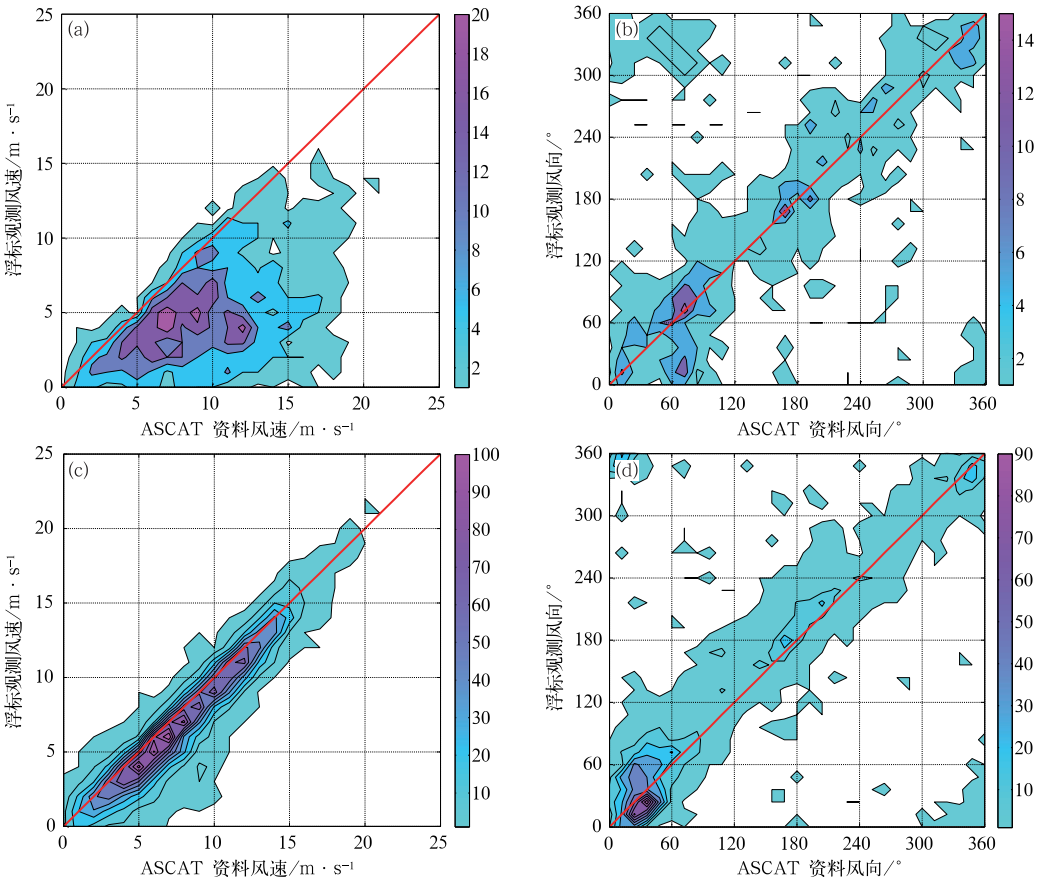


图 2 ASCAT 卫星反演(横坐标)和浮标观测(纵坐标)风速、风向散布图(等值线代表频次)

(a)第一组样本风速, (b)第一组样本风向, (c)第二组样本风速, (d)第二组样本风向

Fig. 2 The wind speed and direction scatter diagrams of ASCAT (abscissa) and buoy observations (ordinate)

(a) the first-group wind speed samples, (b) the first-group wind direction samples,

(c) the second-group wind speed samples, (d) the second-group wind direction samples

速线附近略偏下。ASCAT 反演风速值比浮标测量结果略大,风速的相关系数为 0.94。二者较好的相关性表示,在距离海岸线较远的海域浮标观测风速和卫星反演风速具有较好一致性。样本风速范围主要分布在 $2\sim 15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间,7 级左右的大风有了较好的响应,但是大于 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的样本较少出现,说明对于 8 级以上大风过程,浮标资料并没有很好的捕捉到。

从图 2d 第二组风向对比分析可以看出,风向主要集中在东北风左右的方向上。中国近海大风过程中冷空气过程比气旋过程数量要多。受冷空气影响,近海海区的风向主频率为东北或偏北方向。风向对比图中东北风的主要样本在等值线之下,表示 ASCAT 风场资料的风向角度较浮标风向观测偏

大。

2.2 风速、风向特征分析

上面给出了 ASCAT 和 18 个浮标站的风速、风向对比分析,下面就二者在不同风速情况下的统计特征进行分析(表 2)。由于在日常的气象预报业务中所使用的不仅是风速,更多的是蒲福风力表中的风级,所以这里风速观测对比分析中使用风级作为分类的标准,这和以往文献(陈剑桥,2011;刘春霞等,2003;周嘉陵等,2010)中对 QuikSCAT 的质量分析的方式有所不同。根据日常业务预报中的使用习惯,这里将 ≤ 3 级、 $4\sim 5$ 级、 $6\sim 7$ 级和 ≥ 8 级的风速分布简称为较弱风速、中等风速、较强风速和很强风速。

表 2 ASCAT 卫星反演和浮标观测风速、风向的对比分析
Table 2 The speed and direction contrastive analysis of ASCAT wind and buoy observation

分组	风速分级	风速平均偏差/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	风速平均绝对偏差/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	风速均方根误差/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	风速相关系数	风向平均偏差/ $^{\circ}$	风向平均绝对偏差/ $^{\circ}$	风向均方根误差/ $^{\circ}$
第一组	总体样本	4.9	4.9	3.7	0.49	-12	42	58
	≤ 3 级	5.6	5.6	1.9	0.24	-9	47	63
	$4\sim 5$ 级	3.7	2.8	1.8	0.20	-22	28	39
	$6\sim 7$ 级	2.4	2.7	1.6	0.44	-14	29	38
第二组	总体样本	0.9	1.2	1.4	0.94	-14	26	39
	≤ 3 级	1.2	1.4	1.2	0.63	-9	34	50
	$4\sim 5$ 级	0.8	1.0	1.1	0.78	-21	21	30
	$6\sim 7$ 级	0.3	0.9	1.0	0.78	-17	19	23
	≥ 8 级	-0.6	0.8	0.9	0.83	2	12	15

第一组中,ASCAT 卫星反演风速和浮标观测风速的风速平均绝对偏差和平均误差一样大,ASCAT 风速一致大于浮标风速,而且风速之差接近 $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,均方根误差也高达 $3.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。受样本量的限制,风速分级只划分为 3 个等级,各个风速范围内的各项误差统计量都较大,只是随着风级的增大,误差统计量呈现减小的趋势。风向的平均偏差基本在 $10^{\circ}\sim 22^{\circ}$ 之间,在中等风速($4\sim 5$ 级)条件下平均偏差最大,但是绝对偏差和均方根误差的最大值出现在弱风速(≤ 3 级)范围内,在风速较小的情况下,两种观测量风向的分散度更大。

第二组中,卫星反演风速和浮标观测风速的平均偏差为 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,ASCAT 的风速高于浮标站的风速,平均绝对偏差和均方根误差分别为 1.2 和 $1.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,比第一组都小很多。风速分组统计表明,弱风速的情况下卫星反演风速比浮标观测风速

大 $1.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;随着风速的增加,到中等风速的时候,二者的风速差降低到 $0.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;再到较强风速情况的时候,二者风速偏差最小,卫星反演风速比浮标风速大 $0.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;随着风速再增大到很强风速的时候,卫星反演风速出现低估的现象,反演风速比浮标观测风速低约 $0.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。不同风速级别的平均绝对偏差随着风级的增大逐渐减小,弱风条件下为 $1.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,到了很强风速的情况下只有 $0.8\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。均方根误差也是同样的变化趋势,从较弱风速条件下的 $1.2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 减小为很强风速条件下的 $0.9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这和第一组统计结果的趋势是一样的。以上风速偏差的统计结果表明卫星反演风速和观测风速之间的离散程度较小,而且是随着风速的增大,离散程度逐渐变小。卫星反演风速和观测风速总体样本的相关系数为 0.94,不同风速分组情况下,除了弱风组的相关系数为 0.63 外,其他

分组都大于 0.78,随着风速的增大相关系数也增大,说明该组卫星反演风速和浮标观测风速有着很好的相关性,特别是在高风速情况下。以上风速平均偏差和均方根误差的统计结果比 Bentamy 等(2008)的结论略偏大,这应该是与该文使用的浮标为大洋浮标有关。

第二组除了风速差别外,全部样本风向偏差为 -14° ,ASCAT 反演风向比浮标观测风向偏左约 14° ,平均绝对偏差和均方根误差分别为 26° 和 39° ,各项误差均比第一组要小,这和 QuikSCAT 反演风场在台湾海峡和浮标观测风向的统计结果基本一致(陈剑桥,2011),比在南海和黄海海域 QuikSCAT 资料与海岛站和海洋站的统计结果要好(刘春霞等,2003;周嘉陵等,2010)。由图 2d 可以看出,样本风向主要集中在东北方向,这和我国近海海区主要受冬季风影响有关,另外如图 2d 左上角所示,部分样本表现为 ASCAT 反演风向为北到东北风向时,浮标观测风向为北到西北风向,同样图右下角显示部分样本 ASCAT 风向为西北偏北风向时,浮标风向为东北或偏北风。以上分析表明 ASCAT 反演的风向和浮标观测的风向具有很好的一致性。从不同风速分级来看,平均误差在较弱风速和很强风速情况下都较小, ≤ 3 级风和 ≥ 8 级风时分别为 -9° 和 2° ,而在中等和较强风速条件下较大, $4\sim 5$ 级风时,风向偏差为 -21° , $6\sim 7$ 级风时为 -17° 。从风向的绝对偏差和均方根误差的统计结果看,却是随着风速的增大呈现逐渐减小的趋势,这说明弱风速时,虽然平均偏差小但分散度大,中等和较强风速情况下风向的分散程度较小但是平均偏差大,较强风速的时候风向的偏差小分散程度也小。

2.3 统计结果分析

(1) 通过以上风速、风向的对比分析,说明在离岸较远的海域中,ASCAT 反演风场的质量要优于离岸较近的海域。这是因为散射计测风的原理是通过获得后向散射系数来反演风场的,而后向散射系数直接和海面的粗糙度有关。当海浪从相对深水区($h/\lambda \geq 0.5$, h 为水深, λ 为波长)传到近岸浅水区的时候,风浪或者涌浪会受到海底摩擦的影响,能量传播速度随水深的变化而对波高变化的影响因子 D 将会略有减小,然后随着相对深度的减小而迅速增

大,因而波高会产生迅速增大(冯土箴等,2003),这时就出现了海面实况风速不太大却存在较大波高甚至呈现波浪破碎出现白冠的情况,从而致使海面粗糙度增大,反演风场则会出现偏差,造成出现偏大的情况,这也是第一组对比样本中出现 ASCAT 反演风速普遍比浮标观测风速大的原因。在 ASCAT 反演风场三类产品中,在近岸海域使用近岸产品需要注意。

(2) 统计特征分析显示高风速条件下的检验结果一般优于低风速,当观测风速出现 6 级及以上风速时,ASCAT 反演风场和观测风场具有良好的-致性,而风速较小时,反演风场和观测风场在统计特征上存在较大的偏差,这一统计特性在第二组对比样本中表现得更为明显。当冷空气或气旋在海上造成较大风速的时候,风浪在海浪的波浪谱中占主要成分,海浪较好地反映了洋面风的状况。此时根据海面粗糙度而反演出的海面风场就更接近于实况风,和浮标的观测结果最为接近。而在弱风情况,不可避免地受到毛细波等成分的影响,从而反演出的风场和实况风场则会出现较大的偏差。

3 ASCAT 反演风场的应用

我国近海地处温带、亚热带、热带和赤道带,南北狭长,引发海上大风的天气系统多种多样,主要包括冷空气(包括寒潮)、温带气旋和台风等。在以往的研究(尹尽勇等,2009;2011a;2011b;郭冬艳等,2011;盛春岩等,2012;黄彬等,2013)中,由于受海上资料匮乏的影响,多是利用再分析资料或者陆基的地面观测资料来分析海上大风的量级大小。近岸和海岛观测站能在较长的时间序列上反映近海地区大风的情况,但是受海、陆不同的下垫面粗糙度和温度的影响,洋面上特别是较远海域的风向、风力状况并不相同。而极轨卫星在轨道适合的时候则能在较大空间的范围内观测到海上大风的分布状况,同时也能根据不同时段的刈幅轨道得到海上大风的演变情况,显现出地面常规资料所不具有的空间优势。

3.1 冷空气海上大风过程

强冷空气引起的海上大风过程具有持续时间-长,大风区域范围广的特点,是我国海上灾害性大风

最重要的影响系统,容易引起船舶倾覆等灾害性事故。这里以 2012 年 2 月 6—9 日一次冷空气大风过程为例,简要介绍一下 ASCAT 卫星反演风场在冷空气大风过程的应用。

此次过程中,高空小槽发展东移,低层冷空气从西北路径影响我国,近海海域自北向南依次出现大风天气。从 ASCAT 反演风场来看,6 日 20 时(图 3a,北京时,下同)黄海北部和中部海域已经出现了 7 级以上大风天气,风向为偏北方向,地面观测成山头站也出现了大风。随着冷空气东移南下,北部海域的大风向东移动,7 日 10 时 ASCAT 风场显示(图 3b),黄海北部的风力已经减弱,黄海海域的大风主要是在偏东海区。同时冷空气的南下使得东海大部海域、台湾海峡出现了 8 级大风,北部湾也开

始出现 $14\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的 7 级东北风,此时整个南海还处于弱风状态。大约 12 h 之后(图 3c),海上的大风区域又向南向东推进,渤海、黄海的风力整体上减弱到 7 级风以下,东海海域风力为 7~8 级,但是在东南部靠近陆地的部分海域风力减弱较快,已经减弱到 7 级风以下,此时南海西北部海域开始出现 7 级大风,由于卫星轨道没有扫描到南海东北部海域和台湾海峡,这里的大风情况并不清楚,但是从大风区域空间分布的连续性来看,此时上述海域的风力应该在 7 级以上。从 8 日 21 时卫星对南海海域风场反演来看(图 3d),南海的东北部和中东部海域风力在 7~8 级左右,大风范围继续向南扩展到南海中部海域,我国近海的北部海域和东部海域风力较弱,9 日之后,南海的风力减弱。

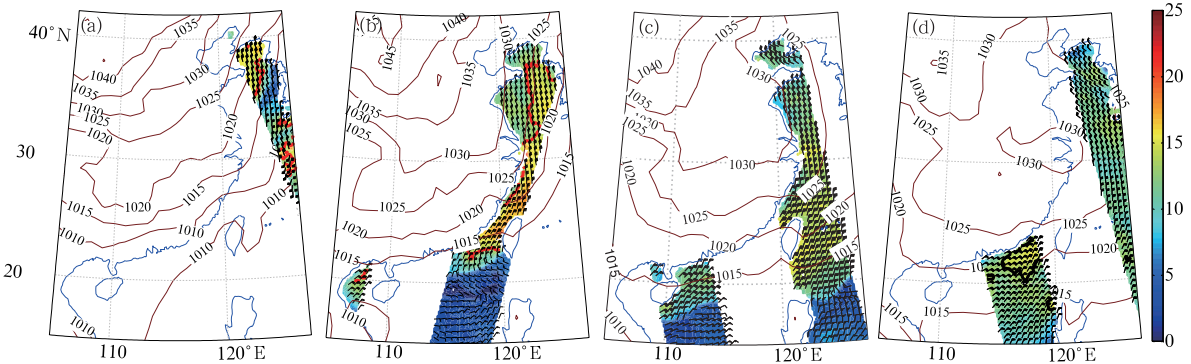


图 3 2012 年 2 月 6—9 日冷空气大风过程中 ASCAT 卫星反演风场演变
(a)海面风场和地面气压场均为 6 日 20 时(北京时,下同),(b)海面风场为 7 日 10 时,
地面气压场为 7 日 08 时,(c)海面风场为 7 日 21 时,地面气压场为 7 日 20 时,
(d)海面风场为 8 日 21 时,地面气压场为 8 日 20 时
(图中填色为风速大小,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,实线表示海平面气压等值线,单位: hPa)

Fig. 3 The ASCAT wind evolution in cold air process from 6 to 9 February 2012
(a) ASCAT wind and surface analysis at 20:00 BT 6 February, (b) ASCAT wind at 10:00 BT
7 February, surface analysis at 08:00 BT 7 February, (c) ASCAT wind at 21:00 BT 7 February,
surface analysis at 20:00 BT 7 February, (d) ASCAT wind at 21:00 BT 8 February,
surface analysis at 20:00 BT 8 February
(Shaded area is wind speed, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; solid line is isobar of sea level pressure, unit: hPa)

7 日 10 时的 ASCAT 降轨扫描到中国近海大部分区域,此轨道上共有 5 个卫星反演风向、风速和浮标站观测的对比样本。从卫星反演风速来看,10 时前后的中国近海海面自北向南多为 6~8 级大风,东海南部海域和台湾海峡的风力比北部海域略大,浮标观测风速也呈现同样的态势。但是对比两者的风速量值,舟山浮标站风速差为 $3.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,差值最大,其他 4 个浮标站的风速差都在 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 范围

之内,其中荣成鸡鸣岛和温州的浮标风速差最小,为 $\pm 0.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,福州浮标为 $-1.7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,厦门浮标为 $2.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。从风向对比来看,除了福州浮标站风向差为 26.1° 外,其他 4 个站点的风向差都在 25° 以内,5 个浮标站点中,荣成鸡鸣岛浮标站的卫星观测风向相对于浮标观测风向为偏左,其他 4 站为偏右,这和总体样本的统计结果不太一致。但是无论方向还是风速,卫星反演风场和浮标观测资料都具

有较好的一致性,能够满足海洋气象预报的要求。

3.2 热带气旋海上大风过程

通过对洋面散射计反演风场资料可以分析出海平面的风场分布,通过对风场和流场的分析可以找出热带气旋的中心,特别是比较弱的热带低压或热带风暴阶段的时候,极轨卫星的散射计反演风场在一定程度上辅助静止卫星对热带气旋进行定位,因为此时往往会出现低层的环流中心和高层云系中心分离的情况,洋面风场分析出的环流中心比静止卫星云图确定的中心更为客观,可以相对有效地修正定位偏差。7月28日20时,“苏拉”生成12h的时候,ASCAT卫星有一条轨道刚好扫描到台风中心(图4a),反演风场的中心并不明确,环流中心呈现东北—西南的带状,中央气象台的业务定位在带状辐合区的偏西侧,由ASCAT反演风场来确定中心位置,应该比业务定位更偏东一些。随后卫星对台风还有3次相对完整的扫描,30日21时和31日10时已经达到台风强度,业务定位和卫星反演风场的环流中心较为接近,说明在较强的台风等级时,台风定位和卫星反演风场定位差别不大。至8月2日9时,台风移动到台湾岛东侧,受岛屿影响,ASCAT风场的环流中心比业务定位偏东,风场显示台风西侧的强风速区已经进入台湾海峡。说明反演风场在辅助台风定位时,一定要考虑到台风接近岛屿和陆地时,受地形影响产生的近岸浪对风场反演的影响。

中央气象台现有海上大风区的判断主要依靠静止气象卫星云图进行估算,尽管静止卫星云图在定

标和分辨率等方面都在逐步提高,但是仍然很难精确表征海面风的实际分布,而业务实况定强和预报中使用的大风圈(单一大风半径)的表示法,也很难反映台风大风分布的不均匀性。ASCAT反演风场虽然并不能完全反映台风周围大风的确切值,但是所提供的风速分布信息在一定程度上能为预报员提供海上观测的直接参考,可以帮助确定热带气旋大风区范围和强度,特别是对于大风区的不规则分布有着非常好的反映,可以根据ASCAT洋面风场资料确定热带气旋中心位置周围不同象限的大风半径。7月30日21时(图4b),“苏拉”的强度为台风级别,中央气象台确定台风中心附近最大风力为 $33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,但是ASCAT反演风速显示台风中心周围风速不超过 $20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,距离中心同样半径大小的四周的风速差别不是很大,只是在北侧的风力略偏大。与此同时“达维”在“苏拉”东北方向,二者形成双台风逆时针旋转,“苏拉”回旋少动,水汽的补充主要来自于菲律宾以东洋面和巴士海峡,强的对流云也逐渐在台风南侧积聚。经过约12h的发展,到31日10时(图4c),中央气象台继续维持中心附近最大风力为 $33\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的定强,“苏拉”的北侧和西侧风速维持,但台风的南侧和东南侧却有强的风速出现,ASCAT反演风速超过 $26\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。随后台风的强度继续增加,反演风速7级风半径持续增大,至8月2日09时(图4d),台风西北侧的外围强风云系已经进入台湾海峡,东南侧的大风区域距离台风中心增大,大风半径的增加说明了台风的强度也在增强,中央气象台的定强为强台风。

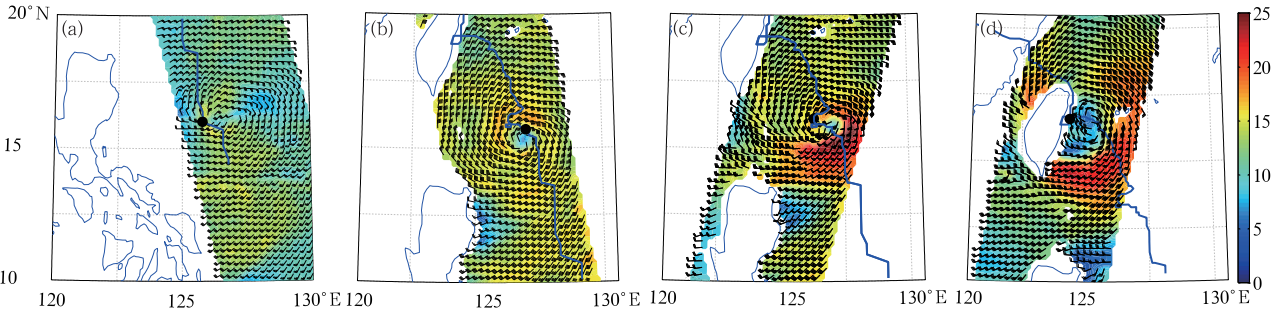


图 4 2012 年 1209 号台风苏拉路径与 ASCAT 反演风场

(a)7月28日20时,(b)30日21时,(c)31日10时,(d)8月2日09时

(填色为 ASCAT 反演风速大小,单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;实线为中央气象台业务路径;黑色原点为台风定位)

Fig. 4 The ASCAT wind evolution in typhoon Saola process from 28 July to 2 August 2012

(a) 20:00 BT 28 July, (b) 21:00 BT 30 July, (c) 10:00 BT 31 July, (d) 09:00 BT 2 August

(Shaded area is wind speed, unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; solid line is Saola track; black point is Saola position)

4 结 论

本文初步利用浮标资料和 ASCAT 风场观测进行对比,分析了 ASCAT 风场资料在中国近海的质量状况,结果表明:

(1) 根据浮标站距离海岸的远近,将对比资料分为两组,分析结果显示,离岸较远的海域中,ASCAT 反演风场的质量要优于离岸较近的海域,这和卫星散射计测风原理有关。

(2) 高风速情况下的 ASCAT 反演风速较低风速有较好的检验结果。

(3) 在第二组中,ASCAT 反演风速和浮标观测风速的平均偏差为 $0.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,ASCAT 反演的风速略高于浮标站的观测风速,平均绝对偏差和均方根误差分别为 1.2 和 $1.4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,风速的相关系数为 0.94 ,反演风速在较远的海域具有较好的可信性,可以满足业务预报中风速预报精度的要求。

(4) ASCAT 卫星资料平均风向相对于浮标站观测逆时针方向偏大约 $11^{\circ} \sim 14^{\circ}$,但是存在着较大的分散度。

(5) 以冷空气海上大风和热带气旋大风为例,对比分析了浮标观测风和卫星反演风场,二者在风向和风速都具有较好的一致性,能满足海洋气象预报的要求,极轨卫星洋面风场资料在海上大风过程演变和热带气旋定位定强方面具有重要的参考价值。

(6) ASCAT 资料在中央气象台已经实现了业务试验运行,可以准实时获得反演海面风场,业务化产品包括可以在 MICAPS 上显示的数值产品和图形产品。

致谢: 本文在卫星资料处理方面得到卫星气象中心王新、气象信息中心薛蕾和数值预报中心刘艳等同志的大力帮助,在此深表感谢。

参考文献

陈剑桥. 2011. 2008 年冬季台湾海峡及其邻近海域 QuikSCAT 卫星

遥感风场的检验和应用分析. 台湾海峡, 2(30):158-164.

方翔,咸迪,李小龙,等. 2007. QuikSCAT 洋面风资料及其在热带气旋分析中的应用. 气象, 33(3):33-39.

冯士侗,李凤岐,李少著. 2003. 海洋科学导论. 北京: 高等教育出版社, 201-204.

郭冬艳,姜涛,陈有龙,等. 2011. 琼州海峡沿岸大风分布规律及影响系统分析. 气象, 37(11):1372-1379.

黄彬,代刊,钱奇峰,等. 2013. 引发黄渤海大风的黄河气旋诊断研究. 气象, 39(3):302-312.

刘春霞,何溪澄. 2003. QuikSCAT 散射计矢量风统计特征及南海大风遥感分析. 热带气象学报, 19(Z1):107-117.

盛春岩,杨晓霞. 2012. “09. 4. 15”渤海和山东强风过程的动力学诊断分析. 气象, 38(3):266-273.

尹尽勇,曹越男,赵伟. 2011a. 2010 年 4 月 27 日莱州湾大风过程诊断分析. 气象, 37(7):897-905.

尹尽勇,曹越男,赵伟,等. 2011b. 一次黄渤海入海气旋强烈发展的诊断分析. 气象, 37(12):1526-1533.

尹尽勇,刘涛,张增海,等. 2009. 冬季黄渤海大风天气与渔船风损统计分析. 气象, 35(6):90-95.

张毅,蒋兴伟,林明森,等. 2009. 星载微波散射计的研究现状及发展趋势. 遥感信息, 23(6):87-94.

周嘉陵,沈树勤,曾明剑,等. 2010. QuikSCAT 风矢量资料在黄海洋面的真实性检验及应用. 科学技术与工程, 10(35):8670-8675.

Bentamy A, Croize-Fillon D, Perigaud C. 2008. Characterization of ASCAT measurements based on buoy and QuikSCAT wind vector observations. Ocean Sci, 4(4):265-274.

Bi Li, Jung J A, Morgan M C, et al. 2011. Assessment of assimilating ASCAT surface wind retrievals in the NCEP Global Data Assimilation System. Mon Wea Rev, 139(11):3405-3421.

Chang P, Jelenak Z. 2006. NOAA Operational Satellite Ocean Surface Vector Winds Requirements Workshop Project. June 5-7.

Hersbach H. 2010. Assimilation of scatterometer data as equivalent-neutral wind, ECMWF Technical Memorandum 629. http://www.ecmwf.int/publications/library/ecpublications/_pdf/tm/601-700/tm629.pdf.

Stiles B W, Yueh S H. 2002. Impact of rain on spaceborne Ku-band wind scatterometer data. IEEE Trans. Geosci Remote Sensing, 40(9):1973-1983.

Thomas B R, Kent E C, Swail V R. 2005. Methods to homogenize wind speeds from ships and buoys. Intern J Climatology, 25(7):979-995.

Verhoef A, Stoffelen A. 2012. ASCAT Wind Product User Manual version 1. 12. O&S SAF/OSI/CDOP/KNMI/TEC/MA/126, EUMETSAT.