

高留喜,朱蓉,常蕊,等. 2014. QuikSCAT 和 ASCAT 卫星反演风场在中国南海北部的适用性研究. 气象, 40(10): 1240-1247.

QuikSCAT 和 ASCAT 卫星反演风场 在中国南海北部的适用性研究^{*1}

高留喜¹ 朱蓉² 常蕊³

1 山东省气象台, 济南 250031

2 国家气候中心, 北京 100081

3 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081

提 要: 对 QuikSCAT 和 ASCAT 原始轨道 10 m 反演风场与浮标资料在中国南海北部的统计检验分析结果表明: 两套卫星资料在中国南海北部具有较好的适用性, QuikSCAT 反演风速偏高 $0.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, ASCAT 反演风速在近海偏高 $0.45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 在开阔海域偏高 $0.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。超过半数的 QuikSCAT 反演风向误差 $< 30^\circ$ 。在近岸海域, ASCAT 反演风向误差 $< 30^\circ$ 的超过 56%, 在开阔海域, 误差绝对值 $< 30^\circ$ 的达到 64%。小风时卫星反演风速偏大, 大风时卫星反演风速明显偏小, 且白天的偏差大于夜间; 在 $5 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速条件下, 两者的一致性较好。用 WRF 模式模拟的近海风能资源存在高估的可能, 卫星资料对近海风能资源评估是个有益的补充, 本文对卫星反演风场误差的分析结果也可以为卫星反演风场的资料同化提供参考。

关键词: QuikSCAT 卫星, ASCAT 卫星, 浮标, 南中国海, 风速

中图分类号: P413

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.10.008

Applicability Research Using QuikSCAT and ASCAT Satellite Inversion Wind Data in the Northern Part of South China Sea

GAO Liuxi¹ ZHU Rong² CHANG Rui³

1 Shandong Meteorological Observatory, Jinan 250031

2 National Climate Centre, Beijing 100081

3 Public Meteorological Service Centre, CMA, Beijing 100081

Abstract: The 10 m wind from QuikSCAT and ASCAT orbital data were compared with buoy wind data in the northern South China Sea. The results show that the two satellite data have a good applicability in the northern South China Sea. The QuikSCAT inversion wind speed is $0.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ higher than the buoy wind and ASCAT inversion wind speed is $0.45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ higher than buoy wind speed in the offshore sea, though it is $0.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ in the open sea. The absolute error $< 30^\circ$ of QuikSCAT satellite inversion wind exceeds 50%. The absolute error $< 30^\circ$ of ASCAT satellite inversion wind passes 56% in the offshore sea and gets to 64% in the open sea. When the wind speed is small, satellite inversion wind speed is bigger, when the wind speed is fast, satellite wind speed is slower than the buoy wind. The error in the morning is bigger than that in the evening. But under the condition of $5 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ wind speed, the consistency of the two satellite wind data is better. The offshore wind power resource simulated by WRF model is perhaps overrated. Satellite data may be a beneficial supplement for assessing offshore wind power resource. The satellite

* 中国-丹麦可再生能源发展项目课题(104. Kina. 1. MFS. 4-1-2-2)、中国气象局预报员专项(CMAYBY2013-38)和山东省自然科学基金(ZR2013DQ009)共同资助

2014 年 1 月 12 日收稿; 2014 年 7 月 30 日收修定稿

第一作者: 高留喜, 主要从事天气气候研究. Email: glx1000@sohu.com.

inversion wind error analysis also provides a reference for the data assimilation of satellite inversion wind field.

Key words: QuikSCAT, ASCAT, buoy, South China Sea, wind speed

引 言

中国近海有着丰富的风能资源,近海风电开发是未来可再生能源发展新的增长点(张秀芝等, 2010),海上风能资源评估就显得日益迫切。海面风是海上风能资源评估的基础。常规的海面风观测大多来源于船舶、石油平台、浮标站和岛屿站等的测量。另一种方法是借助海洋卫星的遥感观测获取海面风。前者对局地可以进行长时间连续观测,但在空间范围上有局限性,而且人力、物力的耗费很高。洋面常规观测资料的匮乏对近海风能资源的评估带来困难。卫星遥感资料具有空间覆盖范围大、分布均匀和资料客观(Hasager et al, 2006; 吴晓京等, 2007)等优势及经济实惠的特点,随着科学技术的进步,卫星遥感资料可以部分代替实测资料,在一定程度上弥补海洋观测资料的不足(潘咏等, 2011),卫星反演海面 10 m 高的等效风速,在海洋数值模拟和资料分析中已得到了广泛应用(刘春霞等, 2003; 方翔等, 2007; 王亮等, 2009; 刘宇迪等, 2011),预计在我国近海风能评估中也将会发挥重要作用。

卫星通过反演海面粗糙度得到风场,因此在使用前需与实测资料进行比较,以了解其在研究区域的可信度。国内外已有很多学者将卫星所测风场数据与浮标、调查船测风数据等进行比对分析,如刘春霞等(2003)比较了中国南海海域岛屿站与 QuikSCAT 遥感风速,方翔等(2007)对 QuikSCAT 资料与船舶资料进行对比分析。由于海岸线的曲折分布、天气状况的复杂以及海、陆风等因素均会显著影响卫星反演风场数据的准确性,因此其具有一定的区域适应性(周嘉陵等, 2010; 刘志亮等, 2012; 徐经纬等, 2013)。卫星反演风速在我国近海是否具有较好的适用性,是一个值得研究的问题。目前在我国南海海域开展散射计风场数据产品的检验研究主要是用 QuikSCAT 产品。ASCAT 吸取了美国 NSCAT、QuikSCAT 和欧洲 ERS 等散射计卫星的经验,主要性能较优,ASCAT 资料在国外得到了很好的研究和应用。安大伟等(2012)对散射计海面非气旋风场块状模糊去除方法进行研究,利用 AS-

CAT 资料验证了其方法的有效性,张增海等(2014)对 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初步检验分析,然而在我国对 ASCAT 资料的应用还很少。本文利用收集到的南海浮标站直接观测的风场数据,分别与对应时间的 QuikSCAT、ASCAT 反演风场进行比对分析,探讨 QuikSCAT 和 ASCAT 反演风场资料在我国南海近海域风能资源评估中的适用性。

1 资料介绍和统计方法

1.1 浮标数据

考虑卫星资料和海面观测资料的匹配问题,本文选择 1999—2001 年及 2003 年浮标试验站(20.367°N、111.582°E)、2010 年 7 月 23 日至 2012 年 12 月 31 日浮标站 59765(20.733°N、111.650°E)、2009 年 1 月 1 日至 2012 年 12 月 31 日浮标站 59681(21.817°N、113.950°E)的测风资料,其中部分时间段因仪器故障或没进行观测等原因没有获得观测数据。风场资料为距海面表面约 10 m 高度处的矢量风(风速和风向)。图 1 为浮标试验站、浮标站 59765 和 59681 分布,从图 1 中看出,59765、浮标试验站离海岸较远,59681 离海岸较近。

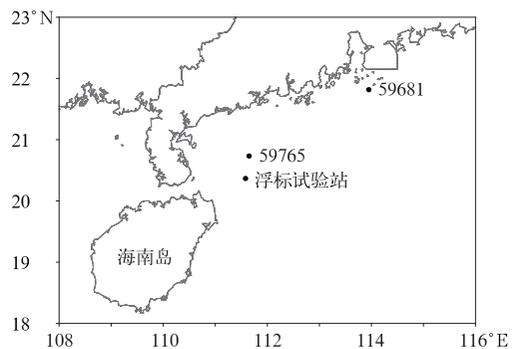


图 1 浮标站分布

Fig. 1 The distribution of buoy stations

1.2 卫星反演风场资料

卫星反演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。

美国 NASA 于 1999 年 6 月 19 日发射太阳同步轨道卫星 QuikSCAT(QuickScatterometer),其上携带了测量海面风的散射计 Sea Winds,其采用 Ku 波段和铅笔束天线圆锥扫描,刈幅宽 1800 km,每天可覆盖全球海洋 90% 以上的范围。卫星风矢量标准产品的空间分辨率为 25 km×25 km,现在有一些新的算法可使其空间分辨率为 12.5 km×12.5 km。该星已于 2009 年 11 月 22 日停止运行。

欧空局于 2006 年 10 月 19 日发射的欧洲气象卫星 Metop-A 上搭载的散射计 ASCAT(Advanced Scatterometer),目前仍在运行。所测风场数据有 12.5 和 25 km 分辨率两种产品,获得的海面上 10 m 高度的等效风矢量,可覆盖全球海洋。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,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。

本文 QuikSCAT 卫星反演风场采用 JPL/NASA(美国国家航空航天局喷气动力实验室)发布的 1999—2009 年逐日海面风(距海表面 10 m)空间分辨率为 25 km 的轨道数据。ASCAT 反演风场采用 2009—2012 年 12.5 km 分辨率的轨道数据。

1.3 资料处理和统计方法

通过检查,将所用的浮标站、卫星风场数据中的异常值(风速、风向不定值或空缺值)剔除。进行一致性检验,与周围邻近的海岛观测站进行比较分析,浮标站风速一般高于海岛站,若风速差值 $< 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 认为合理,若风速差值 $\geq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 进行天气图查询,如果不合理则剔除。进行极值检查,按照陆地观测站风速在 $0 \sim 45 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 和海洋上观测站风速在 $0 \sim 75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 标准进行,超出范围则剔除, $40 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上的风进行天气图查询,如不合理则剔除。站点检测时,选择与浮标站风场数据同一时间序列范围的 QuikSCAT 和 ASCAT 反演风场数据。由于卫星反演的海面风场具有时间滞后性,匹配的时间窗口选择:浮标站风场数据取对应卫星观测时间的整点观测数据,空间窗口为浮标站在卫星资料空间分辨率的矩形框内。找到符合条件的结果:QuikSCAT 和浮标试验站风场匹配数据共有 533 组,其中 1999 年 87 组、2000 年 257 组、2001 年

132 组和 2003 年 57 组。ASCAT 与浮标站 59681、59765 风场匹配数据分别有 418 和 692 组,具体见表 1。

表 1 ASCAT 风场数据与浮标站风场数据匹配结果

Table 1 Results of ASCAT wind data matched with those of buoy stations

浮标站号	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	总数
59681	无	91	201	126	418
59765	214	178	230	70	692

采用平均偏差、平均绝对偏差和均方根偏差等统计指标对浮标站测风资料与卫星反演风场数据进行比对分析。各项统计指标的具体计算公式如下:

平均偏差:

$$\bar{b} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)}{n} \quad (1)$$

平均绝对偏差:

$$|\bar{b}| = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - B_i|}{n} \quad (2)$$

均方根偏差:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - B_i)^2}{n-1}} \quad (3)$$

式中, A 为卫星遥感观测的风速或者风向, B 为浮标站风速或风向, n 为样本数。

2 QuickSCAT 反演风场与浮标试验站比较分析

2.1 整体偏差统计特征

正偏差表示 QuickSCAT 反演风速偏大或者表示反演风向偏右,负偏差表示 QuickSCAT 反演风速偏小或者反演风向偏左。表 2 为 QuickSCAT 与浮标试验站风速、风向的偏差统计值。从表 2 看出, QuickSCAT 反演风速偏大 $0.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,两者的相关系数为 0.62。风速平均偏差 $0.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、平均绝对偏差 $1.83 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、均方根偏差 $2.31 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 均比刘春霞等(2003)利用岛屿站观测数据同南海 QuickSCAT 反演比较所得到的 7 个测站以上 3 个数据的平均结果 2.0、2.7 和 $3.6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 小,比刘春霞的结果明显偏好,造成这一结果的可能原因是直

接使用对应点卫星原始资料而没有进行插值。卫星反演风向偏右 2.45° , 偏差不大。风向的平均绝对偏差 44.06° 、均方根偏差 59.87° 均分别小于周嘉陵等

(2010) 的浮标检验结果 55.23° 和 100.11° 。说明卫星反演风场在该海域有很好的适用性。

表 2 QuickSCAT 反演与浮标试验站风速、风向的偏差统计值

Table 2 The biases of the wind speed and direction between QuikSCAT and buoy station

	平均偏差	平均绝对偏差	均方根偏差	正偏差数/个	负偏差数/个
风速/ $m \cdot s^{-1}$	0.46	1.83	2.31	305	228
风向/ $^\circ$	2.45	44.06	59.87	289	244

图 2 为 QuickSCAT 与浮标试验站风速散点图及风向玫瑰图(对角线表示两者风速相等)。可以看出, 当风速 $\leq 5.0 m \cdot s^{-1}$, 散点多位于对角线上方, 说明反演风速多偏大, 风速在 $5 \sim 8 m \cdot s^{-1}$, 基本上聚集于对角线附近, 两者较为一致, 当风速 $> 8 m \cdot s^{-1}$, 散点多位于对角线下方, 反演风速多偏小。两者风向基本一致, 都明确刻画出东到东北风的主导风向, 而且都对南海西南季风的特点反应不明显, 主要原因可能是卫星与浮标站匹配资料主要是秋冬季, 而夏季匹配资料(20%左右)较少有关。

2.2 风速分段偏差比较

规定风速 $< 5 m \cdot s^{-1}$ 时为较弱风速(小风), 风速在 $5 \sim 10 m \cdot s^{-1}$ 时为中等风速, 风速 $\geq 10 m \cdot s^{-1}$ 时为较强风速(大风), 正确数指浮标站和 QuickSCAT 反演风速都在同一范围的个数(表 3)。从表 3 统计数据看出, 当风速 $< 5 m \cdot s^{-1}$ 时, 80% 反演风速偏大, 平均偏大 $1.52 m \cdot s^{-1}$, 平均绝对偏差 $1.90 m \cdot s^{-1}$, 大于整体, 正确率约为 61.7%; 当风速在 $5 \sim 10 m \cdot s^{-1}$, 反演风速平均偏小 $0.15 m \cdot s^{-1}$, 偏差很小, 平均绝对偏差小于整体, 正确率较高, 约为 74.0%; 而风速 $\geq 10 m \cdot s^{-1}$ 时, 正确率较低, 约为 34.6%, 90% 以上反演风速偏小, 平均偏小 $2.39 m \cdot s^{-1}$, 平均绝对偏差明显大于整体。风小时反演风速偏大, 大风时反演风速明显偏小。

另据计算知: 风速偏差绝对值 $\leq 1.0 m \cdot s^{-1}$ 的比例为 34.0%, 风速偏差绝对值在 $1.0 \sim 2.0$ 、 $2.0 \sim 3.0$ 和 $3.0 \sim 4.0 m \cdot s^{-1}$ 的比例分别为 28.9%、17.3% 和 11.6%, 风速偏差绝对值 $> 4.0 m \cdot s^{-1}$ 的比例为 8.5%, 风速偏差绝对值 $\leq 3.0 m \cdot s^{-1}$ 的比例为 80.2%, 风速偏差绝对值 $\leq 2.0 m \cdot s^{-1}$ 的比例为 62.9%, 说明风速偏差较小。风向误差绝对值 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 所比例例分别为 19.0%、50.1% 和 63.0%。超过半数的风向误差 $< 30^\circ$, 6 成多风向误差 $< 45^\circ$, 说明风向偏差不大。

2.3 不同时间段偏差比较

QuickSCAT 有升轨和降轨, 分别对应研究区域早晨时段(北京时间 06—07 时)和傍晚时段(约为北京时间 18—19 时)的数据。从表 4 可以看出, 早晨的风速偏差值大于傍晚, 早晨反演风速明显偏大, 傍晚比较接近。风向各种偏差值早晨均大于傍晚, 早晨反演风向偏右 6.30° , 傍晚反演风向偏左 1.65° 。早晨

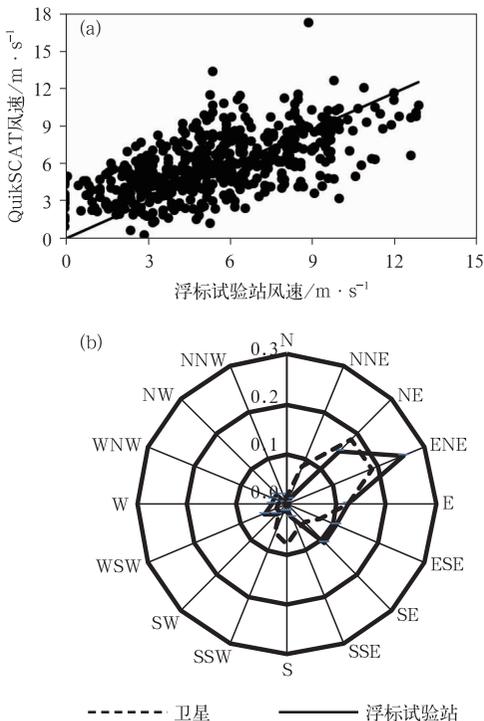


图 2 QuickSCAT 与浮标试验站风速散点图及风向玫瑰图

(a) 风速散点图, (b) 风向玫瑰图

Fig. 2 The scatterplot of wind speed (a) and wind rose diagram (b) of QuickSCAT and buoy station

风向偏差绝对值 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 所比例例分别为16.5%、45.0%和60.4%。傍晚风向偏差绝对值 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 所占比例分别为19.9%、51.5%和64.3%。早晨风向误差比傍晚大。

表3 QuickSCAT与浮标试验站风速分段的平均偏差和平均绝对偏差

Table 3 The mean bias and absolute bias in speed interval of QuikSCAT and buoy station

风速范围 / $m \cdot s^{-1}$	风速平均偏差 / $m \cdot s^{-1}$	风速平均绝对偏差 / $m \cdot s^{-1}$	正确数/个	负偏差个数/个	正偏差个数/个	样本数/个
[0~5)	1.52	1.90	142	44	186	230
[5~10)	-0.15	1.70	205	160	117	277
≥ 10	-2.39	2.53	9	24	2	26

表4 QuickSCAT反演风场与浮标试验站早晨、傍晚偏差统计值

Table 4 The biases of QuickSCAT inversion wind and buoy station observed wind in the morning and evening separately

		平均偏差	平均绝对偏差	均方根偏差	正偏差数/个	负偏差数/个
风速	早晨/ $m \cdot s^{-1}$	0.84	1.70	2.16	176	99
	傍晚/ $m \cdot s^{-1}$	0.06	1.96	2.46	129	129
风向	早晨/ $^\circ$	6.30	45.31	61.86	150	125
	傍晚/ $^\circ$	-1.65	42.73	57.79	139	119

QuickSCAT反演风场早晨、傍晚显现出不同的偏差特征,这可能与大气环境对测风场的影响有关,具体原因有待进一步探究。

检验结果充分说明 QuickSCAT反演风速具有较高的反演精度,可以部分代替实测资料,在近海风能资源评估中具有重要的应用价值。

3 ASCAT反演风场与浮标对比分析

卫星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。浮标

59765代表开阔海域;59681离海岸较近,且附近有众多小岛,因而代表近岸海域。表5为ASCAT反演与浮标站(59765和59681)测风偏差特征值。

从表5看出,在近岸海域,反演风速偏大 $0.45 m \cdot s^{-1}$,两者的相关系数为0.61。风速(风向)平均偏差、平均绝对偏差和均方根偏差比张增海等(2013)计算的都偏小,优于其计算结果,反演风向偏左 11.58° 。白天(约为北京时09—10时),反演风速偏大 $0.41 m \cdot s^{-1}$,风向平均偏左 12.02° ,平均绝对偏差、均方根偏差与整体基本相当。夜间(北京时21—22时),反演风速平均偏小 $0.25 m \cdot s^{-1}$,风向偏左 3.94° ,平均绝对偏差比白天小。说明夜间

表5 ASCAT反演风场与浮标站(59765、59681)偏差统计值

Table 5 The biases the ASCAT inversion wind and buoy stations observed wind

时间	站点	项目	平均偏差 / $m \cdot s^{-1}$	平均绝对偏差 / $m \cdot s^{-1}$	均方根偏差 / $m \cdot s^{-1}$	正偏差个数/个	负偏差个数/个
全天	59765	风速	0.07	1.68	2.21	253	165
		风向	-7.96	28.87	38.16	125	293
	59681	风速	0.45	2.45	3.15	370	322
		风向	-11.58	36.71	51.05	258	434
昼	59765	风速	0.81	1.77	2.28	125	78
		风向	-12.33	29.55	31.88	59	144
	59681	风速	0.41	2.59	3.30	192	152
		风向	-12.02	37.50	49.68	113	231
夜	59765	风速	0.13	1.59	2.15	128	87
		风向	-10.87	28.22	38.51	66	149
	59681	风速	-0.25	2.32	3.01	178	170
		风向	-3.94	35.92	57.44	145	203

误差比白天小。

在开阔海域,反演风速偏大 $0.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,偏差较小,两者的相关系数为 0.77,两者相关性非常好。平均绝对偏差 $1.68 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 及均方根偏差 $2.21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 都较小。风向偏左 7.96° ,平均绝对偏差 28.87° 和均方根偏差 38.16° 也都较小。白天(约为北京时 09—10 时)反演风速偏大 $0.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,平均绝对偏差和均方根偏差略大于整体,风向偏左 12.33° ,平均绝对偏差略大于整体,均方根偏差小于整体。夜间(北京时 21—22 时),反演风速虽然偏大,但没有白天明显,平均绝对偏差和均方根偏差都比白天明显小,风向均方根偏差夜间大于白天只是说明夜间离散度稍大,但从平均偏差看出夜间没有白天偏差明显,风向平均绝对偏差也小于白天。风向均方根偏差夜间大于白天只说明夜间离散度稍大,但从平均偏差看出夜间没有白天差异大,风向平均绝对偏差也小于白天。总之,夜间反演风场误差

比白天小。

另据计算知,近岸海域风向绝对偏差 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 所占比例分别为 20.9%、56.1%和 71.0%,白天近岸海域风向绝对偏差 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 的所占比例分别为 16.9%、52.4%和 68.7%,晚上近岸海域风向绝对偏差 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 的比例分别为 25.0%、60.0%和 72.9%。开阔海域风向绝对偏差 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 的比例分别为 22.2%、64.0%和 81.7%,白天开阔海域风向绝对偏差 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 的比例分别为 16.8%、63.1%和 85.3%,晚上开阔海域风向绝对偏差 $\leq 10^\circ$ 、 $\leq 30^\circ$ 和 $\leq 45^\circ$ 的比例分别为 27.5%、65.2%和 78.7%。在近岸海域,超过 7 成反演风向误差 $< 45^\circ$,误差绝对值 $< 30^\circ$ 的超过 56%,在开阔海域,超过 8 成反演风向误差 $< 45^\circ$,误差绝对值 $< 30^\circ$ 的达到 64%。说明卫星反演风向偏差较小,但存在近岸海域比在开阔海域偏差大和白天比夜间偏差稍大的现象。

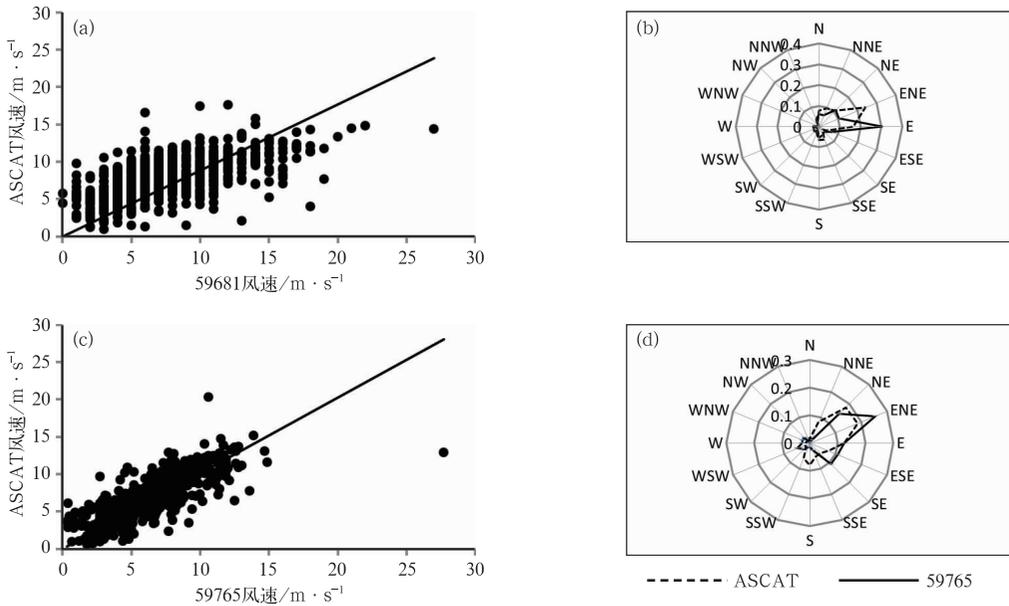


图 3 ASCAT 与 59681、59765 风速散点图(a 和 c)及风向玫瑰图(b 和 d)

Fig. 3 The scatterplot of wind speed (a, c) and wind rose diagram (b, d) ASCAT and buoy stations 59681 and 59765

图上聚集于对角线附近,两者风速较为一致。主导风向为东到东北风,两者也具有很好的一致性。无论近岸海域或是开阔海域,对南海西南季风的特点反应都不明显。

由表 6 统计结果可以看出,反演风速无论是在广东近海还是在开阔海域都呈现相同的变化规律,中等风速以下,反演风速偏大,风速越小时,偏大越明显,大风时反演风速偏小,较远海域比近岸海域各

本上聚集于对角线附近,两者风速较为一致。主导风向为东到东北风,两者也具有很好的一致性。无论近岸海域或是开阔海域,对南海西南季风的特点反应都不明显。

由表 6 统计结果可以看出,反演风速无论是在广东近海还是在开阔海域都呈现相同的变化规律,中等风速以下,反演风速偏大,风速越小时,偏大越明显,大风时反演风速偏小,较远海域比近岸海域各

表6 ASCAT反演与浮标站测风风速分段下偏差结果

Table 6 The biases of the ASCAT inversion wind and buoy stations observed wind speed interval

站点	风速分段 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	项目	平均偏差 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	平均绝对偏差 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	均方根偏差 / $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	正偏差个数	负偏差个数
59765	[0,5)	风速	0.97	1.79	2.24	96	44
		风向	-6.90	38.09	50.44	51	89
59681	[0,5)	风速	2.41	2.56	3.19	134	18
		风向	-5.38	59.58	74.07	71	81
59765	[5,10)	风速	0.41	1.53	1.92	128	85
		风向	-12.87	23.99	30.26	62	151
59681	[5,10)	风速	0.79	1.86	2.38	209	132
		风向	-6.15	32.00	44.34	141	200
59765	[10,∞)	风速	-0.50	1.93	2.97	29	36
		风向	-17.41	25.00	30.50	12	53
59681	[10,∞)	风速	-2.95	3.35	4.15	27	172
		风向	-13.04	27.30	39.18	46	153

种偏差数值都明显偏小,说明在较远海域反演风速结果好于近岸海域。从风向来看,无论近岸海域或是开阔海域,反演风向都偏左,风速越大,偏的越明显,近岸海域平均偏差数值虽然小于开阔海域,但平均绝对偏差、均方根偏差都大于开阔海域,近岸海域离散度大于开阔海域,说明反演风向数据在开阔海域的可信度要高于近岸海域。

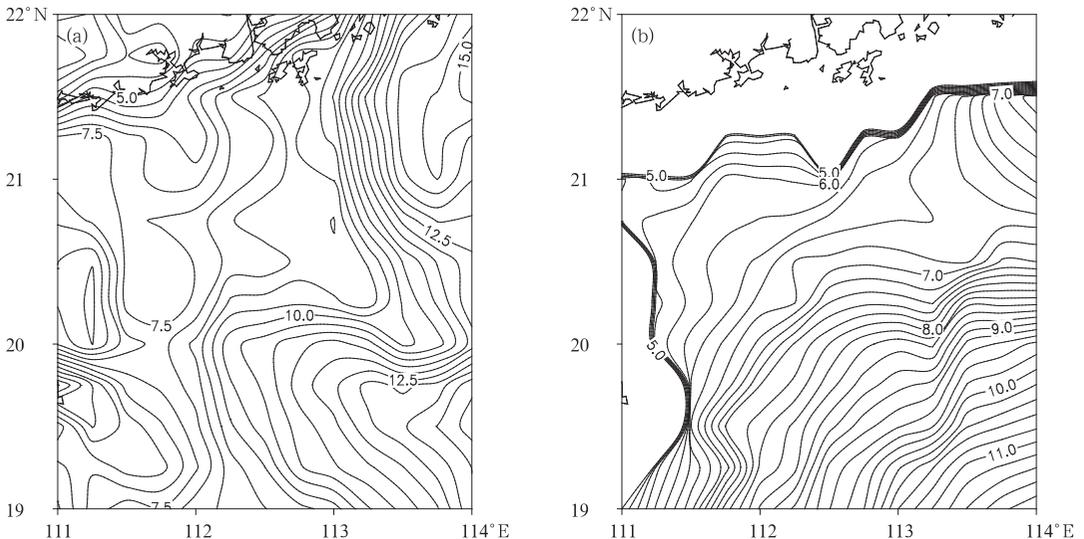
检验表明 ASCAT 反演风速具有较高的反演精度。

4 南海北部风速分布分析

从前面分析可以看出,QuikSCAT、ASCAT 原

始轨道 10 m 反演资料与浮标站风速平均偏差均 $< 0.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,两种卫星资料在南海北部风能资源分析中是可用的。两种资料的质量相当,在做气候变化等方面研究时可以一起使用。从所选的上千张图像样本按照研究区域内卫星图像覆盖区域 70% 左右重叠的原则共选取 97 张,一般对每一个格点只有叠加 100 张左右的卫星图像样本所得到的统计结果才比较合理(Barthelmie et al,2003)。

通过计算 70% 左右重叠区域卫星反演平均风速与 WRF 模式计算风速比值得出:卫星反演风速比 WRF 模式计算风速偏大、几乎相等和偏小的比例分别为 16.1%,19.4% 和 64.5%,WRF 模式计算平均风速总体偏大,卫星反演风速约为 WRF 模式

图4 1999年9月15日06时南海北部10m高度的风速分布(单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

(a)WRF, (b)卫星反演风场

Fig. 4 Wind speed distribution at 10 m height in the northern South China Sea

at 06:00 BT 15 September 1999 (unit: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

(a) WRF, (b) satellite inversion

计算风速的 91.7%。说明用 WRF 模式模拟的近海风能资源存在高估的可能。

图 4 是 1999 年 9 月 15 日 06 时 WRF 模式计算和卫星反演南海北部 10 m 高度的风速分布。由图 4 看出,在都有资料的地方,10 m 风分布大体形状类似,但存在分布形状细节上的差异,WRF 模式计算的速度闭合中心增多,细节差异可能是 WRF 模式计算的分辨率高的原因造成的。利用 WRF 模式计算的 1999 年 9 月 15 日 06 时南海北部风速最大 $15.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,而卫星反演该区域最大风速 $11.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,1999 年 9 月 15 日 08 时 10 m 风速最大为 $12.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。这个个例说明 WRF 模式计算的风存在偏大的可能,卫星反演风速更接近实际风速。

用卫星反演风场对 WRF 模式计算的风场做进一步订正,可能对近海风能资源评估是个有益的补充。

5 结 论

本文对 QuikSCAT 和 ASCAT 原始轨道 10 m 反演风场与浮标资料在中国南海北部的检验分析结果表明:在南海北部,QuikSCAT 和 ASCAT 资料都有很好的适用性。ASCAT 在开阔海域反演风速风向结果好于近岸海域。

浮标试验站风场资料与 QuikSCAT 反演风场存在一定的偏差,偏差较小。反演风速偏高 $0.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,超过半数的风向误差小于 30° ,6 成多风向误差小于 45° 。当风速 $\leq 5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,80% 反演风速偏大,平均偏大 $1.52 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;当风速 $\geq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,90% 以上反演风速偏小,平均偏小 $2.39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。白天比夜间偏差大。

ASCAT 反演风速无论是在广东近海还是在开阔海域都呈现相同的变化规律,风速 $\leq 5.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,反演风速在近海偏大 $2.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,在开阔海域偏大 $0.97 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$;风速 $> 10.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,反演风速在近海偏小 $2.95 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,在开阔海域偏小 $0.50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。反演风速的偏差较小,近岸海域偏高 $0.46 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,开阔海域偏高 $0.07 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。在近岸海域,超过 7 成反演风向误差 $< 45^\circ$,误差绝对值 $< 30^\circ$ 的超过 56%,在开阔海域,超过 8 成反演风向误差 $< 45^\circ$,误差绝对值 $< 30^\circ$ 的达到 64%。反演风速

和风向都是白天比夜间偏差大,在近岸海域比在开阔海域偏差大。

用 WRF 模式模拟的近海风能资源存在高估的可能,卫星反演风场可以部分弥补观测资料不足,对近海风能资源评估是个有益的补充。某一颗卫星反演得到的海面风场资料总是受时间分辨率和空间轨道的限制,不能全面地反映海面风场变化的全部信息,近海风能资源评估需要应用多颗卫星反演的海面风场资料。

卫星反演风场误差的分析结果也可以为卫星反演风场的资料同化提供参考。

参考文献

- 安大伟,谷松岩,杨忠东,等. 2012. 散射计海面非气旋风场块状模糊去除方法. 应用气象学报,23(4):485-492.
- 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.
- 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(增刊):107-117.
- 刘宇迪,任景鹏,周鑫. 2011. 散射计风场的三维变分对海雾数值模拟的影响. 应用气象学报,22(4):472-481.
- 刘志亮,宋丽娜,王凡,等. 2012. 北黄海 QuikSCAT 卫星风速与浮标风速的对比分析. 海洋科学,36(3):3-9.
- 潘滔,宇婧婧,廖捷,等. 2011. 地面和卫星降水产品对台风莫拉克降水监测能力的对比分析. 气象,37(5):564-570.
- 王亮,张云,臧增亮,等. 2009. 非对称 Bogus 台风与 QuikSCAT 风场资料的三维变分同化应用对台风数值模拟影响研究. 热带气象学报,25(2):59-68.
- 吴晓京,陈云浩,郑新江,等. 2007. 洋面风场的 QuikSCAT/SeaWinds 遥感探测. 自然灾害学报,2007,16(2):7-15.
- 徐经纬,张秀芝,罗勇,等. 2013. QuikSCAT 卫星遥感风场可靠性分析及其揭示的中国近海风速分布. 海洋学报,35(4):76-86.
- 张秀芝,Richard B,朱蓉,等. 2010. 中国近海风电场开发指南. 北京:气象出版社,1-27.
- 张增海,曹越男,刘涛,等. 2013. ASCAT 卫星反演风场在中国近海的初步检验. 天气预报技术总结专刊,5(2):8-15.
- 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):473-479.
- 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,35(10):8670-8675.
- Barthelmie R J, Pryor S C. 2003. Can satellite sampling of offshore wind speeds realistically represent wind speed distributions. Appl Meteor,42(1):83-94.
- Hasager C B, Barthelmie R J, Christiansen M B, et al. 2006. Quantifying offshore wind resources from satellite wind maps: Study area the North Sea. Wind Energy,9(12):63-74.