

# 基于外部风向初始信息的 SAR 影像 海面风场反演研究

张 毅, 蒋兴伟, 宋清涛

(国家卫星海洋应用中心, 北京 100081)

**摘要:**首先利用 SeaWinds 散射计风向作为初始信息进行 SAR(Synthetic Aperture Radar)影像海面风场反演,在对 SAR 影像进行了噪声剔除、辐射定标、极化转换等处理后获得 VV 极化下各分辨单元的后向散射系数,结合地球物理模式函数获取风速并显示输出海面风场的分布情况。在此基础上,尝试利用 WRF(Weather Research Forecast)数值预报模式风向作为初始场从 SAR 影像中反演风速信息,将结果与之前以散射计风向作为初始信息得到的反演结果进行对比,验证实验方法的正确性,高分辨率数值预报模式风向结合 SAR 影像将是未来业务化近岸海面风场反演的发展趋势。

**关 键 词:**初始风向;散射计;WRF;SAR;海面风场

**中图分类号:**P 732.7;TN 958 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2011)04-0461-08

## 1 引 言

SAR 单一方位角的观测机制<sup>[1]</sup>限制了 SAR 独立获取风场的能力,因此人们并不采用散射计同时获取风速、风向的最大似然估计法<sup>[2-4]</sup>,而是将两者拆分开,先获得风向信息再进行风速反演,如何准确获取风向信息成了制约 SAR 风场反演精度的瓶颈,也是学者们长久以来寻求的解决问题的方向。由海面风条纹引起的影像线性纹理特征刻画了海面风场在细节上的空间变化<sup>[5]</sup>,通过基于频率域<sup>[6-7]</sup>或空间域<sup>[8-10]</sup>的变换方法可以获得其中包含的风向信息,再结合地球物理模式函数(GMF)<sup>[11]</sup>得到风速,然而统计数据表明,超过 50% 的 SAR 影像中并不包含线性纹理特征,另外由风条纹引起的纹理特征常常受到锋面、内波等因素的影响,这些海面现象同样会改变海面粗糙度,导致基于影像纹理特征的风场反演方法不够稳定。全极化 SAR 数据的应用让我们看到了 SAR 独立风场反演的希望,但一方面全极化或多极化的 SAR 传感器在研制上更为困难,各方面的技术指标要求更高,到目

前为止实现商业化运行的全极化合成孔径雷达仅有 Radarsat-2,因此在数据的获取和选择上并不方便,同时全极化数据的扫描刈幅一般都比较窄(25 km×25 km),不利于大面积地获取风场数据,另一方面,目前还没有通过大量的机载实验、卫星观测、现场测量数据建立起经验性的极化相关地球物理模式函数<sup>[12]</sup>,基于全极化 SAR 数据的风场反演目前还只是一种探索性的研究<sup>[13]</sup>。

正是上述困难使基于 SAR 影像纹理特征和全极化 SAR 数据的风场反演方法并不适合于针对某一区域长时间尺度的风场反演,因此稳定可靠的外部风向信息是业务化 SAR 风场反演的关键。数值预报模式风向稳定可靠,不存在风向模糊,结合 SAR 影像可以提供高分辨率的近岸风场数据,然而传统的数值预报模式提供的风向数据分辨率往往比较低(100 km)<sup>[14-16]</sup>,影响 SAR 风场的最终反演精度。本文首先以 SeaWinds 散射计提供的空间分辨率为 25 km 的风向作为初始条件进行风场反演,随后使用高分辨率 WRF 模式风向进行高分辨率 SAR

收稿日期:2011-01-05;修订日期:2011-04-11

基金项目:人力资源和社会保障部留学人员重点项目“海洋微波遥感数据在海气耦合中的应用”资助,国家自然科学基金面上项目“中国近海海洋锋面中小尺度海气相互作用及其机理研究(41076012)”资助。

作者简介:张 毅(1983—),男,江苏大丰人,博士,助研,主要从事微波散射计及 SAR 数据在海洋科学中的应用研究。

E-mail:zhangyi@mail.nsoas.gov.cn.

风场反演研究。

2 基于散射计初始风向的 SAR 风场反演

搭载于 QuikSCAT 卫星的 SeaWinds 散射计工作在 Ku 波段,轨道高度为 803 km,旋转笔形天线以 HH 极化 46°和 VV 极化 54°两个人射角获取海面 1 800 km 刈幅的观测数据<sup>[17]</sup>。SeaWinds 散射计每天覆盖全球 95% 的区域,提供 25 km 和 12.5 km 分辨率的风场数据,宽扫描刈幅、高重访频率的特点使得 SeaWinds 散射计所获得的许多数据在时间上

与其他传感器如 Radarsat-1/2 比较接近(<1 h),因此可以考虑使用 SeaWinds 散射计的风向作为初始场,进行 SAR 风场反演工作,这两种传感器的联合应用对获取海岸带风场反演很有帮助<sup>[18]</sup>。

2.1 实验数据及流程

如图 1(a)所示,研究区域位于山东省青岛市外部海域,Radarsat-1 获得该幅影像的时间为 2008 年 7 月 24 日 21 点 55 分(UTC 时间),降轨右视观测,观测方位角为 282°,影像中心点地理坐标为:35.82°N,120.42°E。传感器采用标准模式 S5 波束扫描,HH 极化,影像分辨率为 12.5 m,部分参数见表 1。

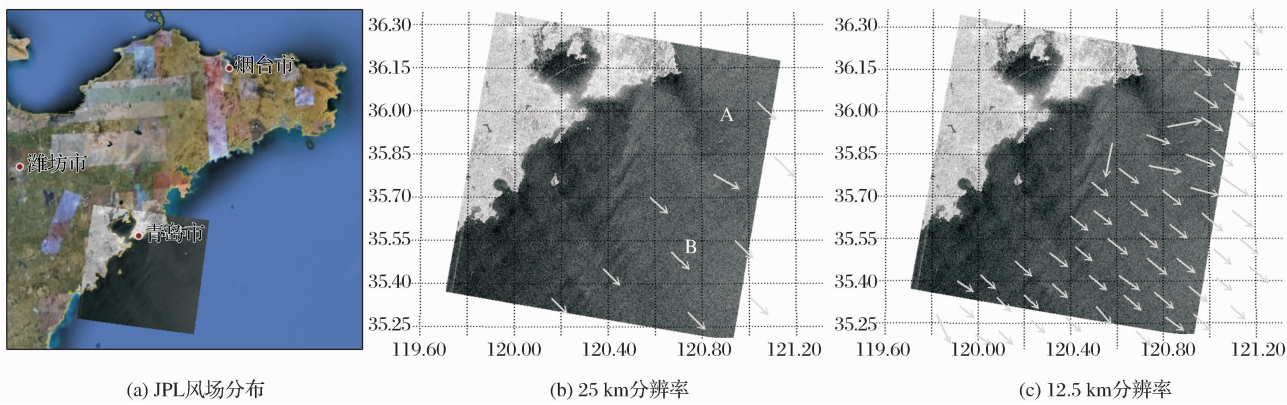


图 1 SAR 影像在研究区域的覆盖及 JPL 风场的分布情况  
Fig. 1 The coverage of SAR image in the research area and the distribution of JPL wind field

表 1 影像的基本参数列表  
Table 1 The fundamental elements of image

数据类型	成像时间(UTC)	极化方式	空间分辨率/m	幅宽/km	中心像元入射角/°	观测方位角/°
SGF	2008-7-24-21-55	HH	12.5	112×110	39.5	282

SeaWinds 散射计在该区域获得观测数据的时间为:2008 年 7 月 24 日 21 点 26 分,与 Radarsat-1 获取数据的时间相差在 30 分钟以内,可以作为 SAR 风场

反演的初始信息,并对反演结果进行对比分析。JPL 提供的 25 km、12.5 km 风场数据显示于图 1(b)、1(c)。

数据处理流程如图 2 所示,对影像进行噪声剔

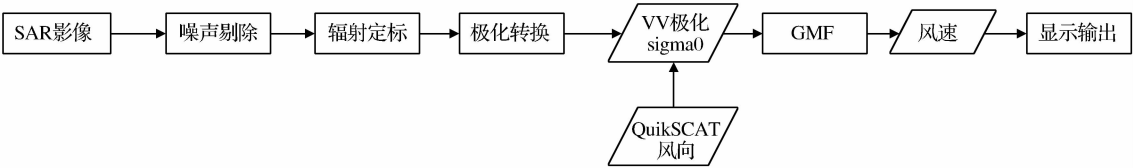


图 2 风场反演流程图  
Fig. 2 The flow chart of wind field retrieval

除后进行辐射定标得到 HH 极化的后向散射系数,由于现有的模式函数都基于 VV 极化因此需要进行转换,在得到 VV 极化后向散射系数后,结合 GMF 获得风速,最后对风场反演结果进行显示分析。

2.2 数据预处理

2.2.1 噪声剔除

在进行风场反演之前,首先要进行海陆分割,将陆地从影像中分离出来,由于陆地的回波信号较强,

可以利用阈值分割算法将陆地区分出来,也可以利用现有的海陆边界矢量图,结合地理信息系统(GIS)软件进行区域分割。由于 SAR 成像机制,在影像中往往存在许多斑点噪声,另外还包括船只引起的回波,以及海浪、内波等因素引起的噪声等,在进行风速反演之前,需要对噪声信号进行剔除。可采用类似于 Sigma 滤波器<sup>[19]</sup>的算法剔除船只和内波等因素引起的噪声信息以及斑点噪声,在选定的滤波窗口范围内,若像素点的值与窗口内的均值之差大于 2 倍标准方差则认为该像素点的值为噪声需要将其进行去除。

2.2.2 辐射定标

对 SAR 影像完成了海陆分割、岛屿、船只等噪声信号的剔除后可以将数据文件提供的 DN 值转化为雷达后向散射系数  $\sigma^0$ <sup>[20]</sup>,

$$\sigma^0 = 10 \times \log_{10} \left( \frac{DN_j^2 + A3}{A2_j} \right) + 10 \times \log_{10} (\sin \theta) \quad (1)$$

其中:  $DN_j$  为影像某像元的数值(Digital Number),  $A_3$  为一个固定的偏移量,可以从辐射数据记录中获得,  $A2_j$  可以从辐射数据记录中给出的查找表插值得出,  $\theta$  为各分辨单元的入射角。

2.3 风速反演及结果显示

C 波段地球物理模式函数都是针对 VV 极化开发的,因此在进行海面风场反演前,需要将 HH 极化  $\sigma_{HH}^0$  转换为 VV 极化  $\sigma_{VV}^0$ ,通常情况下海面后向散射系数  $\sigma_{VV}^0 > \sigma_{HH}^0$ ,两者之比可以表示为:

$$R = \sigma_{VV}^0 / \sigma_{HH}^0 = (1 + 2 \tan^2 \theta)^2 / (1 + \alpha \tan^2 \theta)^2 \quad (2)$$

其中:  $\sigma$  因子通常在 0 ~ 1 之间, Monaldo 等<sup>[15]</sup> 的研究表明,  $\alpha = 0.6$  时可以获得较好的风速反演精度,事实上针对不同研究区,最合适  $\alpha$  因子的选取存在一定差异。

SeaWinds 散射计 12.5 km 分辨率数据精度较低,尤其是在海岸带往往存在一些较大偏差,本实验采用 25 km 分辨率的风向信息,按照就近原则将 SeaWinds 散射计风向重采样至 5 km 分辨率下的影像各个像元。由于风向数据并未覆盖至整幅影像,因此我们选择了 A、B 两个区域(如图 1(b))的反演结果与 JPL 风场对比分析,作为极化比参数、模式函数选择恰当与否,以及反演精度的衡量指标。将 5 km 分辨率,不同  $\alpha$  因子下由 CMOD4 得到的 A、B 区域反演结果分别列于表 2。

表 2 利用 CMOD4 获取 A、B 区域的反演结果  
Table 2 The result of A、B area using CMOD4

$\alpha$	1	0.8	0.6	0.4	0.2	JPL
A/m · s <sup>-1</sup>	8.71	9.79	11.03	12.52	14.33	9.89
B/m · s <sup>-1</sup>	7.08	8.03	9.19	10.49	12.12	8.03

从上面的 3 张表中可以看出,当  $\alpha = 0.8$  时与 JPL 风速最接近,因此设定  $\alpha = 0.8$ , 获取 5 km 分辨率下的风速反演结果,并显示为图 3。

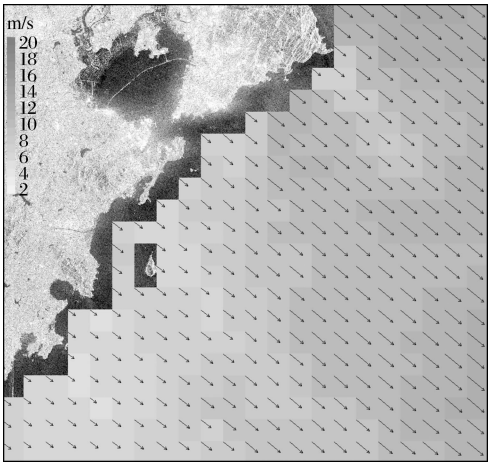


图 3 海面风场反演结果(分辨率为 5 km)  
Fig. 3 The result of ocean wind retrieval with 5 km resolution

图 3 为 5 km 分辨率风场反演结果,在图的左上角标注了正北方向、SAR 方位向 T 和距离向 R, 风速的大小由各风场单元的色调配合左侧的颜色条表示,整个区域的风向变化较小,因此看上去大体一致。SAR 风场反演的最大特点在于高分辨率,这是散射计或浮标观测所无法比拟的,风场反演的结果使得 SAR 影像反映公里尺度上的风速变化的能力得以充分展现(更高分辨率的反演结果在下一节给出),这对于大尺度海洋现象的研究或许意义不大,但对于近岸海洋科学的研究,如海岸带风力资源评估,通过大量的、长时间尺度 SAR 影像观测积累,可以获得某区域在公里尺度上风力资源的分布,从而为风电场的选址提供合理的依据。

3 基于 WRF 模式初始风向的 SAR 风场反演

数值天气预报模式(NWP)所提供的风向稳定可靠,不存在 180° 风向模糊,适合作为初始信息进行 SAR 风场反演,解决了 SAR 在风向获取上的困难,当然这种方法也存在一定的不足,例如传统的 NWP 分辨率低,往往只提供 1° × 1° 空间尺度(约 100 km)上的风向,而忽略了海面风向在小尺度上的空间变化特征从而影响风速的反演精度,另外传统 NWP 的时间分辨率比较低,一般提供时间间隔为 6 h 的风场数据,这就使得 SAR 影像的获取时间难以和 NWP 提供风场的时间相匹配。为此我们希

望利用高分辨率的 NWP 风向信息作为 SAR 的风场反演的初始场,这种高分辨率应该包含空间分辨率和时间分辨率两个方面。

3.1 数值天气预报模式

数值天气预报 (Numerical Weather Prediction Model, NWP) 是根据大气实际情况,在一定的初值和边界值条件下,通过计算机作数值计算,求解描写天气演变过程的流体力学和热力学方程组,预测未来一定时段内大气运动状态和天气现象的方法<sup>[21]</sup>。与以天气学方法结合经验作天气预报不同,数值天气预报是一种定量而客观的预报,因此构建科学并适应一定时段(短期的、中期的)的数值预报模式,辅

由于实现数值天气预报的运算量非常大,因此需要利用性能较高的计算机。

其中,WRF 模式是由美国多家单位的科学家们共同研究开发出来的新一代中尺度预报模式和同化系统<sup>[22]</sup>。WRF 模式功能强大,可以进行对流天气系统模拟、天气要素预报、涡旋中尺度对流系统预报、降雨模拟等。在我国,国家海洋环境预报中心也通过 WRF 模式提供各种大气和海洋要素的预报产品。

3.2 WRF 风场与 QuikSCAT 风场简单对比

本文所用 WRF 风场的水平分辨率为  $0.1 \times 0.1^{\circ}$  (10 km),时间间隔为 1 h,符合我们对高分辨率数值预报风场的要求,为了进行基于 WRF 初始风向的 SAR 风场反演,我们选择 SAR, WRF, QuikSCAT 三者

表 3 Radarsat-1 和 QuikSCAT 数据匹配表  
Table 3 The match table of RadarSat-1 and QuikSCAT data

日期	Radarsat-1 轨道号	过境时间(UTC)	QuikSCAT 轨道号	过境时间(UTC)	时间差/min
2008 年 7 月 13 日	66240/A	10:00	47215/D	09:43	17
2008 年 7 月 17 日	66304/D	21:59	47279/A	21:00	59
2008 年 7 月 20 日	66340/A	9:56	47315/D	10:01	5
2008 年 7 月 24 日	66404/D	21:55	47379/A	21:26	29
2008 年 7 月 27 日	66447/D	22:07	47422/A	21:41	26
2008 年 7 月 30 日	66484/A	10:04	47458/D	10:42	38
2008 年 8 月 20 日	66783/A	9:52	47757/D	10:01	9

表 3 中所列的 SAR 影像都在近岸,影像的覆盖区域如图 1(a)所示,由于是近岸数据,受各种因素的干扰,对 QuikSCAT 和 WRF 风场的精度有一定程度的影响。评价这两种风场的质量应该通过大量的数据,分近岸和开阔海域,以及不同的海面状态作详细对比分析,当然这不是本文研究的重点,本文只将可能用到的数据进行对比分析,一般由 JPL 综合 QuikSCAT 观测和 NWP 数据得到的风场较为稳定可靠,可以作为参考风场。

图 4 所示为从 7 组数据中选取的某一时间点上的风场分布情况,数据获取时间为 2008 年 7 月 24 日 21 点 55 分。将表 3 中的 7 组 QuikSCAT 风场数据分别按照 25 km 和 12.5 km 分辨率与 WRF 风场作对比分析,由于 WRF 风场的分辨率高,我们以 QuikSCAT 各风矢量的地理坐标为基准,通过最邻近采样的方式获得相同位置上的 WRF 风矢量以便比较。

在图 5 中,(a)和(b)为 25 km 分辨率下 WRF 和 QuikSCAT 风向、风速的对比,这 7 组数据在风

速、风向上都存在一定的偏差,统计分析的结果见表 4、表 5。

从表 4 和表 5 中可以看出,两种风场数据的风向均方根误差(RMSE)和偏差(Bias)都比较大,可

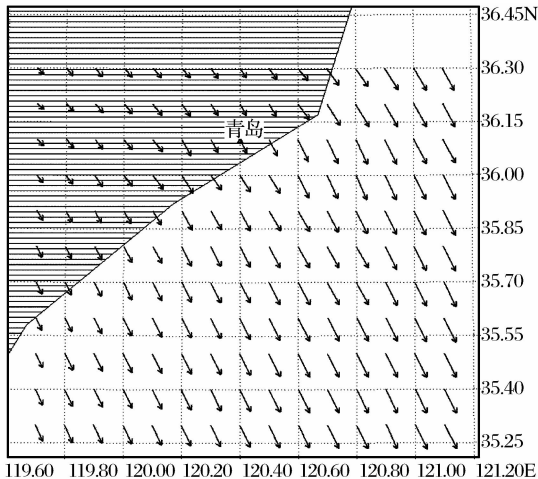


图 4 WRF 10 km 分辨率风场数据显示  
Fig. 4 The WRF wind field with 10 km resolution

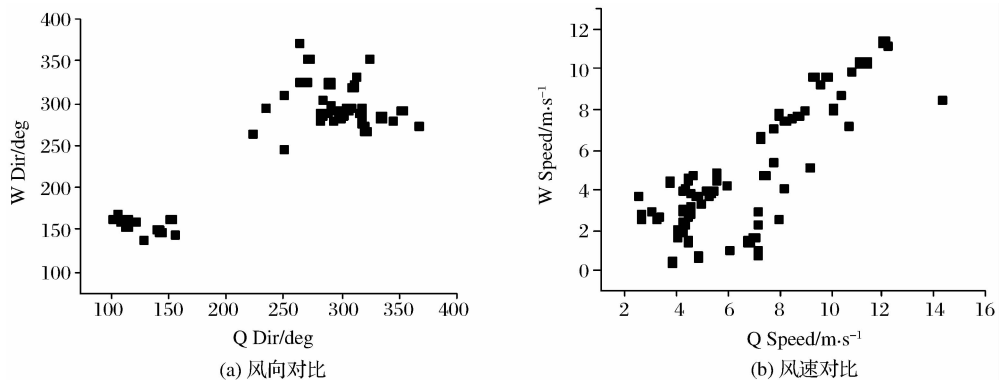


图 5 WRF 和 QuikSCAT 风场数据对比图(25 km 分辨率)  
Fig. 5 Comparison of field from WRF and QuikSCAT

表 4 WRF 和 QuikSCAT 风向对比结果统计

Table 4 The comparison of wind direction from WRF and QuikSCAT

风向统计/km	均方根误差/°	偏差/°	相关系数	个数
25	31.9	−7.69	0.892	68
12.5	31.02	−12.64	0.878	337

表 5 WRF 和 QuikSCAT 风速对比结果统计

Table 5 The comparison of wind speed from WRF and QuikSCAT

风速统计/km	均方根误差/m·s <sup>−1</sup>	偏差/m·s <sup>−1</sup>	相关系数	个数
25	1.73	1.75	0.803	68
12.5	2.06	1.77	0.716	337

能是由于在近岸,不管观测数据还是预报数据都易受到其他因素的干扰,而风速值是比较吻合的,在 25 km 分辨率下,两者的均方根误差和偏差都在 2 m/s 以下。本文从中选取与 QuikSCAT 和 WRF 风场吻合较好的两个时段的数据(2008 年 7 月 24 日 21 点和 2008 年 7 月 30 日 22 点)分别作为 SAR 风场反演的初始场,对比分析中还发现,QuikSCAT 12.5 km 分辨数据的精度较 25 km 分辨率数据有所降低,偶尔出现一些突兀变化的风矢量,因此文中没有使用 12.5 km QuikSCAT 风场数据。

3.3 风场反演及结果分析

按照本文第二节所述的方法,对影像进行噪声剔除,经辐射定标后获得 HH 极化影像的后向散射系数。为了便于对反演结果的对比分析,对影像进行几何纠正,获取各分辨单元中心像元的地理坐标,经由极化转换获得各分辨单元 VV 极化后向散射系数的平均值,并将入射角分配到各个分辨单元。为了获取各风场单元的初始风向值,需对影像进行海

陆分割,并按照 10 km 分辨率对影像进行网格划分,得到每个分辨单元中心点的地理坐标,不管是利用 QuikSCAT 还是 WRF 初始风向,都采用最邻近采样的方式获得每个风场单元上的初始风向值,然后利用 GMF 反演风速值。

图 6(a)为利用 QuikSCAT 初始风向获得的 SAR 影像 10 km 风场反演结果,6(b)为利用 WRF 初始风向获得的 SAR 影像 10 km 风场反演结果,

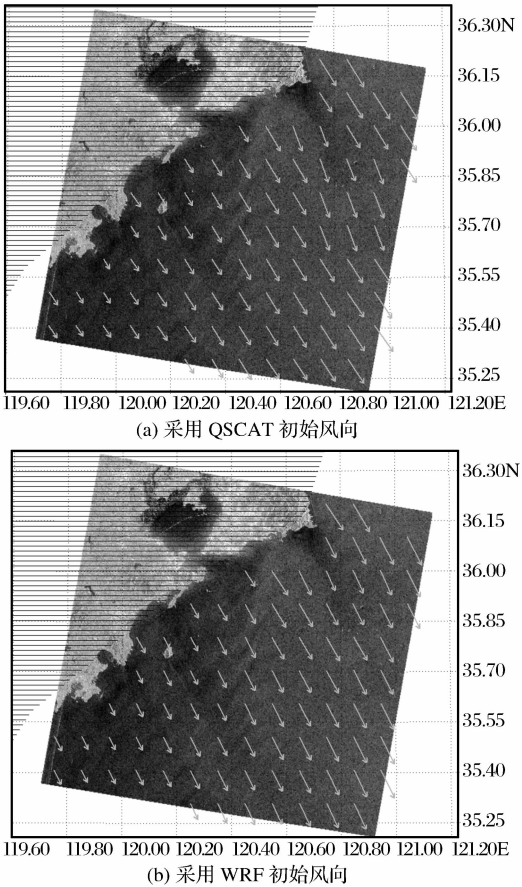


图 6 10 km 风场反演结果

Fig. 6 The results of wind retrieval with an resolution of 10 km

从图中可以看出,区域内 WRF 风向较为均一,变化较小,其他时间段的数据在 100 km 范围内的风向也比较均一。

从结果来看,风向初始场决定了风场反演结果的风向分布状况,利用 WRF 和 QuikSCAT 初始风向得到的风速反演结果非常接近(详细的统计分析见下文),似乎利用 WRF 模式函数风向的优势并未得到体现,但应该认识到,一方面 QuikSCAT 散射计和 SAR 的观测在时间和空间区域上都不容易匹配。另一方面,文中所用的 WRF 风场的分辨率不够高,若 WRF 初始风向的分辨率可以达到 5 km、2.5 km 乃至 1 km,并具有良好的精度,则其将更具应用价值。

我们对由这两种初始风向信息获得的风速结果以及 WRF 本身提供的风速值进行对比分析,如图 7 所示,图中横轴代表由 WRF 初始风向反演得到的风速结果,纵轴代表由 QuikSCAT 初始风向得到的风速值,同时也代表 WRF 模式风场本身的风速值,方块表示两种初始风向条件下,SAR 风速反演结果的散射分布状况,圆点表示以 WRF 风向作为初始条件得到的 SAR 风速与 WRF 风速的对比散点图,从反演结果来看利用 WRF 和 QuikSCAT 初始风向的 SAR 风场反演结果非常接近,但与 WRF 本身的风速值存在一定的偏差,统计分析结果见表 6:

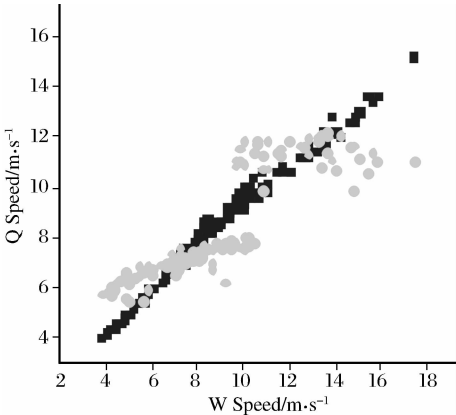


图 7 风速反演结果对比分析

Fig. 7 The comparison of wind speed

表 6 风速反演结果统计分析

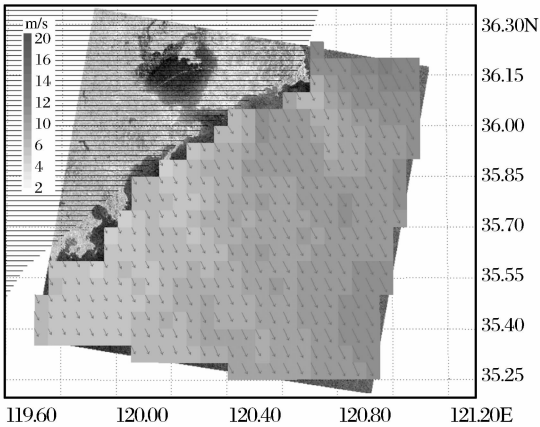
Table 6 The statistical analysis of wind speed retrieval

风速统计	均方根误差 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	偏差 / $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	相关 系数	个数
SAR_Q vs SAR_W	0.68	0.51	0.991	130
SAR_W vs Speed_W	1.04	1.81	0.846	130

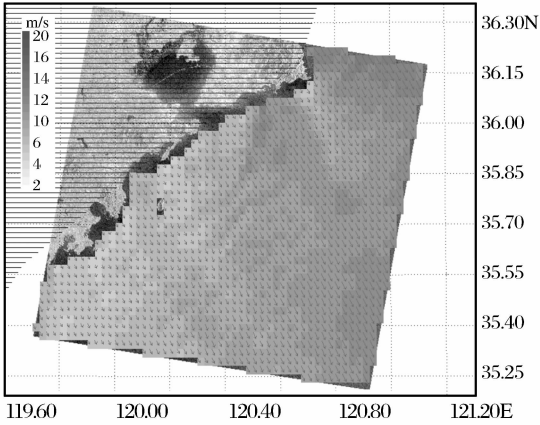
在表 6 中, SAR\_Q 和 SAR\_W 分别表示由 QuikSCAT 和 WRF 风向作为初始场得到的 SAR

风速反演结果, Speed\_W 表示 WRF 模式本身得到的风速值, 通过对比统计分析可知, 利用 QuikSCAT 和 WRF 两种初始风向得到的风速反演结果非常接近, 均方根误差和偏差都不到 1 m/s, 并具有非常高的相关系数, 而 SAR\_W 和 Speed\_W 的偏差稍大一些但都在 2 m/s 以内。

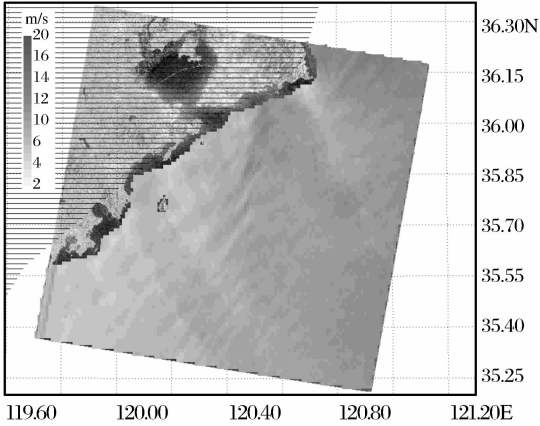
图 8(a)、(b)、(c) 为 SAR 影像利用 WRF 风向作为初始场, 获得的 5 km、2.5 km、1 km 分辨率下



(a) 5 km 风场反演



(b) 2.5 km 风场反演



(c) 1 km 风场反演

图 8 风场反演结果

Fig. 8 The wind retrieval results with 5 km、2.5 km、1 km resolution



的 SAR 风场反演结果,模式函数为 CMOD4,极化比因子取 0.8,风速的大小可以参考左侧的颜色条,在 5 km、2.5 km 分辨率反演结果中用箭头标注了风向,1 km 分辨率下反演结果已无法用箭头表示风向,与图 5 的结果相比,该图刻画了海面风场的细节变化特征。

## 4 结 语

稳定可靠的外部风向数据是业务化 SAR 风场反演的关键,传统的基于  $1^\circ \times 1^\circ$  空间尺度的 NWP 风向由于分辨率低下而影响到风速的反演精度,本文首先以 25 km 分辨率下的 QuikSCAT 风场风向作为初始信息,利用 Radarsat-1 HH 极化影像进行风场反演,熟悉基于外部初始风向的 SAR 风场反演的流程。随后,使用高分辨率 WRF 模式风向作为初始场从 SAR 影像中反演海面风场,反演结果具有良好的精度,能够刻画出海面风场随空间变化的特征。虽然文中部分 WRF 风向数据与 QuikSCAT 的风向存在一定偏差,WRF 风向的精度还不够高,但我们应该看到利用高分辨率 NWP 模式与 SAR 影像协同进行高分辨率近岸海面风场反演是业务化 SAR 风场反演的发展趋势。同时还应注意利用 SAR 影像进行风场反演得到的是面状分布的数据,而高分辨 NWP 模式得到的只能是点状分布数据,因此 SAR 风场有其独特优势而无法被替代。

## 参考文献(References):

- [1] Chris O, Shaun Q. Understanding Synthetic Aperture Radar Images[M]. Science Technology Publishing, 2004: 11-14.
- [2] Chi C Y, Li F K. A Comparative Study of Several Wind Estimation Algorithms for Spaceborne Scatterometers[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 1988, 26: 115-121.
- [3] Jenkins G M, Watts D G. Spectral Analysis and Its Applications[J]. San Francisco, Holden-Day, 1968: 525.
- [4] Freilich M H, Pawka S S. Statistics of  $S_{xy}$  Estimates[J]. Journal of Physical Oceanography, 1987, 16(16): 741-757.
- [5] Weller R A, Price J F. Langmuir Circulation Within the Oceanic Mixed Layer[J]. Deep-sea Research, 1988, 35: 711.
- [6] Fetterer F, Gineris D, Christopher C W. Validating a Scatterometer Wind Algorithm for ERS-1 SAR[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1998, 36(2): 479-492.
- [7] Horstmann J, Lehner S, Koch W, *et al.* Computation of Wind Vectors over the Ocean Using Spaceborne Synthetic Aperture Radar[J]. Johns Hopkins APL Technical Digest, 2000, 21(1): 100-107.
- [8] Wolfgang K. Directional Analysis of SAR Images Aiming at Wind Direction[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(4): 702-710.
- [9] Horstmann J, Koch W, Lehner S, *et al.* Ocean Winds from RADARSAT-1 ScanSAR[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2002, 28(3): 524-533.
- [10] Horstmann J, Koch W. Measurement of Ocean Surface Winds Using Synthetic Aperture Radars[J]. IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2005, 30(3): 508-515.
- [11] Stoffelen A, Anderson D L T. Scatterometer Data Interpretation: Estimation and Validation of the Transfer Function CMOD4[J]. Geophysical Research, 1997, 102: 5767-5780.
- [12] Yueh S H, Kwok R, Nghiem S V. Polarimetric Scattering and Emission Properties of Targets with Reflection Symmetry[J]. Radio Science, 1994, 29: 1409-1420.
- [13] Fan Kaiguo, Huang Weigen, Chang Junfang, *et al.* Sea Surface Wind Speeds Retrieval by SAR Combining with the NCEP/QuikSCAT Blended Wind Directions[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2010, 25(6): 876-841. [范开国, 黄韦良, 常俊芳, 等. NCEP/QuikSCAT 混合风向用于 SAR 图像反演高分辨率海面风速[J]. 遥感技术与应用, 2010, 25(6): 876-841.]
- [14] Monaldo F, Thompson D R. A Systematic Comparison of QuikSCAT and SAR Ocean Surface Wind Speeds[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2004, 42(2): 283-291.
- [15] Monaldo F, Thompson D R, Beal R C, *et al.* Comparison of SAR-Derived Wind Speed with Model Predictions and Ocean Buoy Measurements[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2001, 39(12): 2587-2600.
- [16] Monaldo F. The Alaska SAR Demonstration and Near-Real-Time Synthetic Aperture Radar Winds[J]. Johns Hopkins APL Technical Digest, 2000, 21(1): 75-79.
- [17] Lungu T. Quick SCAT Science Data Product User's Manual[R]. Jet Propulsion Lab, 2006.
- [18] Birgitte R F, Korsbakken E. Comparison of Derived Wind Speed from Synthetic Aperture Radar and Scatterometer During the ERS Tandem Phase[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(2): 1113-1121.
- [19] Lee J. A Simple Speckle Smoothing Algorithm for Synthetic Aperture Radar Images[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1983: 1385-1389.
- [20] MDA. RadarSat Data Products Specifications[R]. RA-DAR-SAT, 2000.
- [21] Haltiner G J. Numerical Weather Prediction[M]. New York: John Wiley & Sons, 1971.
- [22] Zhang Guocai. Progress of Weather Research and Forecast (WRF) Model and Application in the United States[J]. Meteorological Monthly, 2004, 30(12): 27-31. [章国材. 美国 WRF 模式的进展和应用前景[J]. 气象, 2004, 30(12): 27-31.]

**Ocean Wind Retrieval from Synthetic Aperture Radar Images  
based on External Initial Wind Direction**

ZHANG Yi,JIANG Xing-wei,SONG Qing-tao

*(National Satellite Ocean Application Service,Beijing 100081,China)*

**Abstract:** Firstly, wind direction from Seawinds scatterometer was used as the initial wind direction for the wind field retrieval from synthetic aperture radar images, which includes the process of noise removal, radiometric calibration, polarization conversion, acquisition of normalized radar backscatter coefficient and ocean wind field retrieval and display by using geophysical model function. Secondly, wind direction form numerical weather prediction (NWP) model WRF (Weather Research Forecast) was used as the initial wind direction to get the wind field from SAR images. Comparison of results form the two ways were made to validate our methods. Combination of high resolution NWP wind direction and SAR images will be the trends of operational coastal wind field retrieval in the future,a useful try was carried out in this paper.

**Key words:** Initial wind direction;Scatterometer;WRF;SAR;Ocean wind field