

HY-2卫星微波散射计在西北太平洋台风监测中的应用研究

林明森,张毅,宋清涛,解学通,邹巨洪

(国家卫星海洋应用中心,北京 100081)

[摘要] 本文在简述海洋二号(HY-2)卫星微波散射计工作机制及海面风场反演原理的基础上,针对HY-2卫星微波散射计在轨运行的数据,利用该散射计数据开展海面台风中心定位、结构、台风路径、风速等值线、大风半径等台风参数的定量化应用分析研究。同时将HY-2卫星观测到的海面风场与风云二号(FY-2E)卫星云图进行融合展示,并将HY-2海面风场与ASCAT反演的海面风场和浮标提供的观测数据进行对比验证,多方面的定量分析显示出HY-2卫星海面风场观测的有效性和在台风监测中的优势。最后,对HY-2卫星微波散射计的优缺点进行分析,展望了其可能的改进方向。

[关键词] 海洋二号卫星;微波散射计;台风监测

[中图分类号] V443 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)06-0046-08

1 前言

热带气旋达到一定强度后就会形成台风,每年平均有20个左右台风进入我国附近海域,其中有6~7个登陆东南沿海地区,严重影响当地居民的生产生活。台风的成因、强度,台风中心的位置和行进路线是人们关注的焦点,学者们利用各种手段和方法从多种数据中获取上述与台风相关的重要信息。卫星遥感以其独特的优势而越来越受重视,如静止气象卫星、热带测雨卫星、云雷达卫星等。

海洋二号(HY-2)卫星于2012年8月16日成功发射,已稳定在轨运行,作为其主载荷之一的微波散射计已在全球范围内获取了近13 000轨数据。在轨测试的结果表明, HY-2微波散射计对海面风速、风向的观测精度达到设计指标,微波散射计海面风场观测具有大尺度、全天时、全球观测的特点,

使HY-2卫星能够在台风监测中发挥独特的作用。HY-2微波散射计已顺利完成2012年、2013年台风监测任务,在每次台风的生命周期中,至少对其完成一次观测,两年共56次台风,获得台风观测数据440多轨。台风研究离不开卫星观测资料,与其他卫星观测数据不同, HY-2微波散射计获取的是海表面风场的空间分布,风速、风向等信息直接反映海面的真实情况。因此, HY-2微波散射计为研究人员和业务人员研究和分析预测台风提供了新的数据源,是对其他卫星数据的重要补充。国内外学者已经利用QuikSCAT微波散射计(SeaWinds)数据对台风海面风场开展了深入而广泛的研究^[1-5],由于在台风形成初期,海面风场涡旋的尺度较小,数值预报模式(NWP)很难对其作出准确的预报,而利用SeaWinds风场数据后,将优先于传统方式获取热带低气压信息,这将有助于热带风暴的预报^[6-8]。高分辨

[收稿日期] 2014-04-10

[基金项目] 国家海洋局青年基金项目“星载微波散射计数据预处理关键技术研究”(20130212);国家自然科学基金项目(41306186,41276019);航天关键技术预先研究项目“中法海洋卫星算法研究与应用预研”;国家海洋局海洋灾害预报技术研究重点实验室开放基金“海浪资料同化中背景误差相关结构的统计分析”

[作者简介] 张毅,1983年出生,男,江苏大丰市人,助理研究员,研究方向为海洋遥感;E-mail: zhangyi@mail.nsoas.gov.cn

率散射计数据(分辨率为2.5 km)对解析风暴的水平结构,准确定位风暴中心的位置很有帮助^[9-11]。SeaWinds数据对OPC海表风场的分析与预报产生了重大影响,OPC大量使用实时、可靠的SeaWinds数据,约10%的短期海风警报的确定基于SeaWinds风场^[12,13]。

2 HY-2卫星微波散射计

2.1 微波散射计工作机制

HY-2微波散射计采用双点笔形波束体制。天线采用抛物反射面天线,产生两个点波束,其中内波束水平极化,外波束垂直极化。通过360°旋转实现对同一分辨单元4次不同方位角以及宽刈幅测量。图1给出了微波散射计观测示意图^[14]。

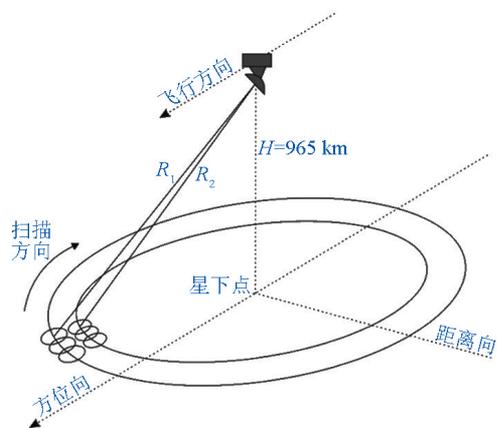


图1 微波散射计观测示意图

Fig. 1 Schematic diagram of scatterometer observation

HY-2微波散射计由探测头部、系统控制器、伺服控制器3个装星单机组成。HY-2微波散射计的基本工作过程为:微波发射机通过环形器与天线接通,向海面发射射频脉冲,脉冲信号经目标散射,散射回波信号被天线接收后,经环形器送到接收机,再经接收处理恢复为视频信号,送至信号处理器。同时,内定标设备将发射机的部分功率耦合到接收机中形成闭环,从而实现内部校准,消除收发系统的任何变化所引起的测量误差。信号处理器对回波信号、内定标信号及无回波的纯噪声信号进行处理,地面处理系统综合各测量结果获得海面散射源的后向散射系数 σ° 、风场特性等^[15-17]。HY-2微波散射计的技术指标见表1。

2.2 海面风场反演原理

从统计学的角度来看, $R_1 \cdots R_N$ 是由观测值和

表1 HY-2/SCAT 主要技术指标

Table 1 The main technical indicators of the HY-2/SCAT

技术指标	参数
工作频率/GHz	13.25
观测刈幅/km	外波束:1 700 内波束:1 400
地面分辨率/km	25
后向散射系数测量精度/dB	0.5
后向散射系数测量范围/dB	-40~20
风速测量范围/($m \cdot s^{-1}$)	2~24
风速反演精度	± 2 m/s或10%
风向反演精度/($^\circ$)	± 20

模型值确定的一个样本值,既然一次实验就出现了 $R_1 \cdots R_N$ 这样的组合,说明联合概率密度函数 $p(R_1 \cdots R_N | U, \Phi)$ 比较大,那么取达到最大时的风速、风向组合 $(U_{\text{trial}}, \Phi_{\text{trial}})$ 作为 (U, Φ) 的最终参数估计结果是合理的。式(1)称为样本的似然函数,对其右边求自然对数后得到风场反演的目标函数为

$$J_{\text{MLE}}(U_{\text{trial}}, \Phi_{\text{trial}}) = -\sum_{i=1}^N \left(\frac{(z_i - M(U_{\text{trial}}, \Phi_{\text{trial}} - \phi_i, \theta_i, p_i))^2}{2V_{R_i}} + \frac{1}{2} \ln V_{R_i} \right) \quad (1)$$

风场反演实际上是要找到使目标函数 J 取得局部最大的风矢量 $(U_{\text{trial}}, \Phi_{\text{trial}})$,一般反演方法都要在风速和风向构成的二维空间中进行搜索获取备择风速 U_{trial} 和风向 Φ_{trial} ,同心圆表示不同的风速,由圆心发散的直线表示搜索的方向,同心圆之间的间隔以及直线之间的间隔分别表示风速、风向的搜索间隔,搜索间隔的选取以及搜索方法的选择将影响风场反演的效率^[18-20]。

3 台风中心定位与路径分析

3.1 台风中心定位

台风中心的定位一直是台风研究的重点,台风中心位置的确定对台风路径的预测进而对台风可能造成的破坏的预报非常重要,目前,台风中心位置的确定主要依靠专业人员利用气象卫星云图,结合多种仪器的实时观测资料,采用人工方式进行^[21]。主要包括:a. 通过提取台风的形态特征进行定位;b. 利用动态图像分析方法进行定位。气象卫星云图的优点是覆盖范围广、时间分辨率高,可以实现对台风的实时动态监测,但它也有自身的缺点,如空间分辨率较低,因此需要利用其他光学卫

星的数据如MODIS来进行辅助,微波传感器观测数据受天气条件影响较小,因此也经常用于台风研究。利用星载微波散射计的后向散射系数观测数据以及二级海面风场反演产品可以进行台风中心的定位,从后向散射系数信息获得台风中心所在的位置。即: a. 从风向推断出台风中心所在的位置,台风的风场结构具有气旋式涡旋特征,涡旋状分布风向的中心,对应台风中心所在的位置; b. 通过风速的分布推断台风中心所在的位置,在风眼区风

弱、干暖、少云。围绕着风眼区,有一环状的最大风速区,平均宽度为8~50 km。通过搜索台风发生区域风速的局部最小值,可以得出台风中心所在的位置; c. 通过后向散射系数信息直接获取台风中心所在的位置,原理跟b类似。因为在方位角变化不大的条件下,风速越强,对应的后向散射系数越强。所以在风眼处的后向散射系数远低于围绕着风眼大风区的后向散射系数。通过搜索后向散射系数的局部最小值,可以得出台风中心所在的位置。

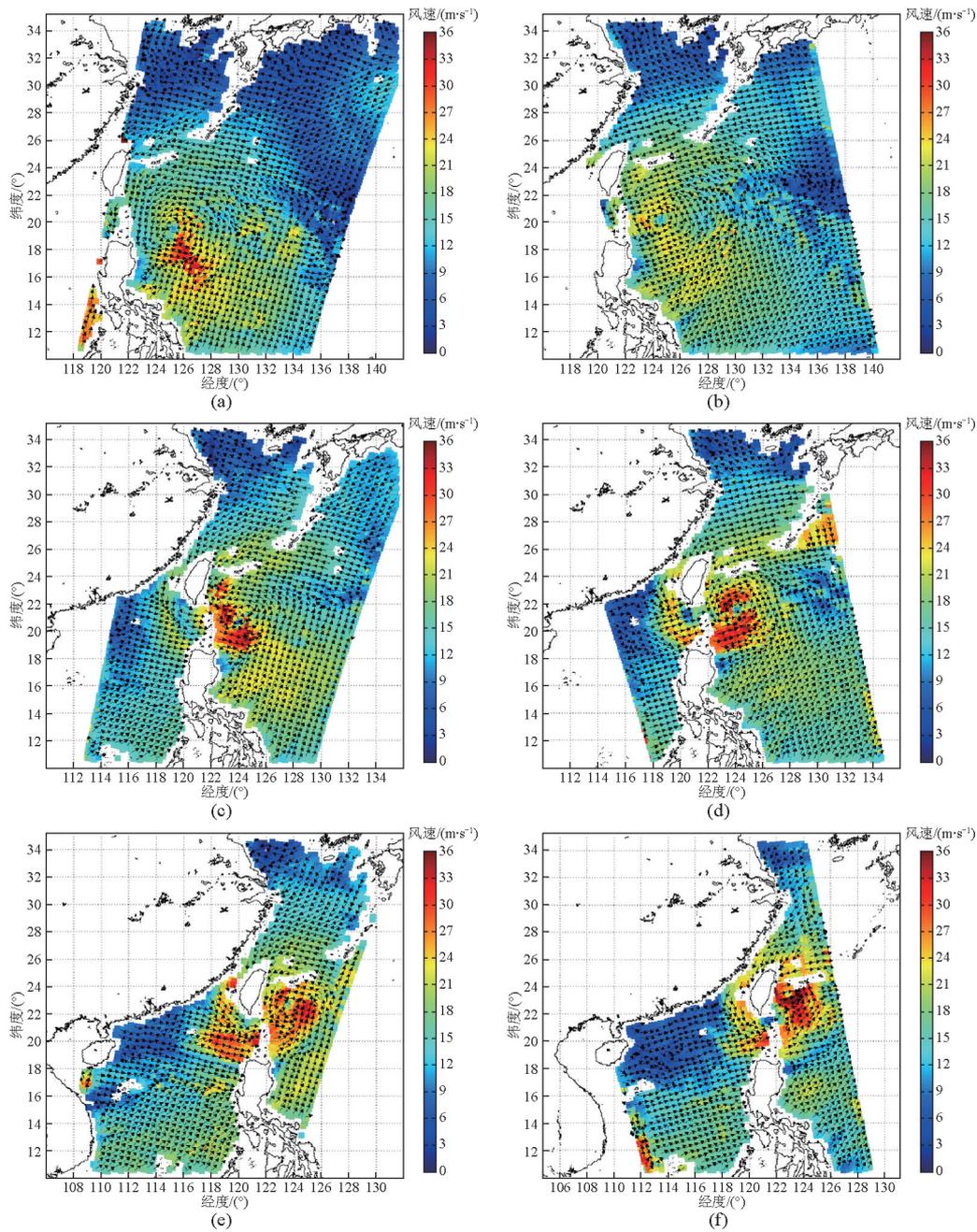


图2 HY-2卫星对台风中心的监测

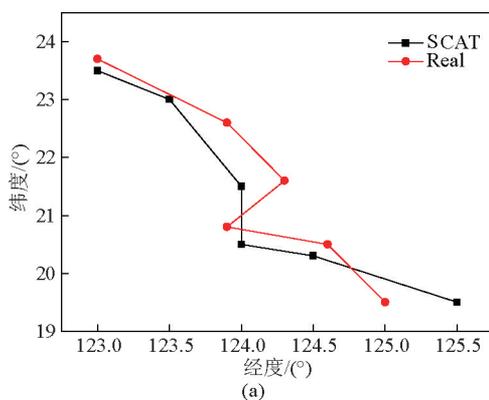
Fig. 2 The monitoring of the center of typhoon by HY-2 scatterometer

根据上文所述方法,利用HY-2微波散射计获得的海面风场图再加上海面雷达后向散射系数分布图对2012年第9号台风进行台风中心定位,从图2可发现,海洋二号微波散射计观测到海面风场的涡旋结构特征,并且在涡旋的中心存在低风速区,通过搜索局部最小值,辅以台风中心区域的雷达后向散射系数分布情况,定位台风中心的位置,表2中给出了星载散射计捕捉到的台风中心的地理位置,中央气象台发布的台风实况数据,以及各自对应的时间点。

表2 HY-2观测数据

Table 2 The wind field observed by HY-2

轨道号	微波散射计			实况数据		
	经度/ (°)	纬度/ (°)	观测 时间	经度/ (°)	纬度/ (°)	观测 时间
04175	125.5	19.5	7-30- 05:43	125	19.5	07-30- 05:00
04182	124.5	20.3	7-30- 17:15	124.6	20.5	07-30- 17:00
04189	124.0	20.5	7-31- 06:07	123.9	20.8	07-31- 06:00
04196	124.0	21.5	7-31- 17:39	124.3	21.6	07-31- 17:00
04203	123.5	23.0	8-01- 06:30	123.9	22.6	08-01- 06:00
04210	123.0	23.5	8-01- 18:00	123.0	23.7	08-01- 18:00



3.2 台风路径分析

台风中心的定位是台风路径分析和预测的基础,利用表2中的台风位置数据绘制台风苏拉中心的变化对比图,如图3a所示,按照离我国海域的远近距离,中央气象台以3 h到15 min不等的的时间间隔给出台风实况数据, HY-2卫星的过境观测时间间隔约为12 h,文中选择离卫星观测最近的实况数据点,从图3a中可以看出,两者存在一定的偏差,这是因为一方面两者在时间上不完全吻合,随着时间差的增大,位置偏差也在增大,另外, HY-2微波散射计的空间分辨率是25 km,对应地面的经纬度约为0.25°,因此也会对定位精度造成影响,然而两者在变化趋势上是完全一致的。在图3b中,苏拉、海葵、布拉万3次台风的实况数据分别用黄色、红色、蓝色3种不同的颜色和符号勾勒出各自的行进过程,其中黑色十字符号标志了HY-2微波散射计观测到的台风中心的位置,两者基本吻合。国外学者利用分辨率增强后的散射计数据对台风中心进行定位研究,结果表明精度有所提高。

4 台风结构分析

4.1 最大风速值及风速剖面分析

2012年第10号热带风暴达维于7月31日早晨在西北太平洋洋面上加强为强热带风暴,于8月1日8时在日本九州岛东南部海面加强为台风,并于

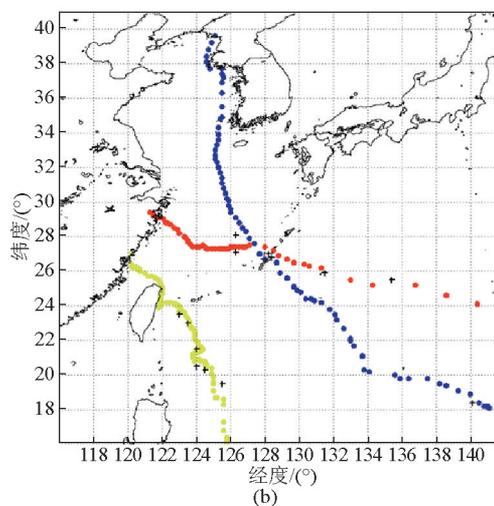


图3 HY-2卫星观测的台风中心路径图

Fig. 3 The roadmap of the typhoon center observed by HY-2

8月2日21时30分前后在江苏省响水县陈家港镇沿海登陆。登陆后,达维强度逐渐减弱,8月3日1时在江苏省北部减弱为强热带风暴,3日4时前后进入山东省境内,3日9时在山东省境内减弱为热带风暴,随后进入渤海西部海面。8月4日8时在河北省东北部近海减弱为热带低压,11时停止编号(中央气象台)。

表3 HY-2卫星观测达维台风最大半径
Table 3 The maximum radius of Damrey typhoon observed by HY-2

时间	最大风速/ ($m \cdot s^{-1}$)	7级风半径/ km	10级风半径/ km
7-30-05:43	32.5	440	70
7-30-17:15	27.2	440	90
7-31-06:07	35.1	440	90
7-31-17:39	34.4	440	90
8-01-06:30	35.3	440	90
8-01-18:00	37.8	500	100

4.2 等值线图与大风半径分析

大风半径是衡量台风可能的影响范围和破坏程度的重要依据,是气象预报员非常关心的参数,中央气象台的实况数据中给出了7级风(13.9~17.1 m/s)和10级风(24.5~28.4 m/s)的半径,林明森等利用Seasat-A卫星上的散射计(SASS)数据反演台风条件下的海面风场矢量,绘制风速等值线(见图4),确定大风半径的数值,并将结果与气象报告的结果进行对比分析,研究结果表明星载微波散射计能够帮助改善大风半径的准确定义^[1]。与SASS

相比, HY-2卫星搭载的微波散射计在灵敏度、准确性和观测幅上都有较大幅度的提高,这有助于台风大风半径的确定。

5 与其他传感器观测对比分析

5.1 与ASCAT散射计对比验证

对比图5a和图5b可发现, HY-2观测的海面风场与ASCAT风场结构一致,但HY-2的观测幅远远大于ASCAT,使其在海面风场观测中的优势十分明显。HY-2和ASCAT风速的均方根误差为1.8 m/s,风向的均方根误差为18.6°,分别绘制两种风场风速、风向的散点图,如图6a和图6b所示。

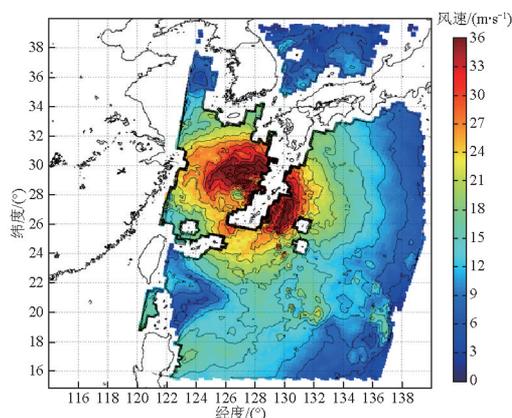


图4 HY-2卫星散射计的台风风速等值线图
Fig. 4 The isogram of wind speed around the typhoon center by HY-2

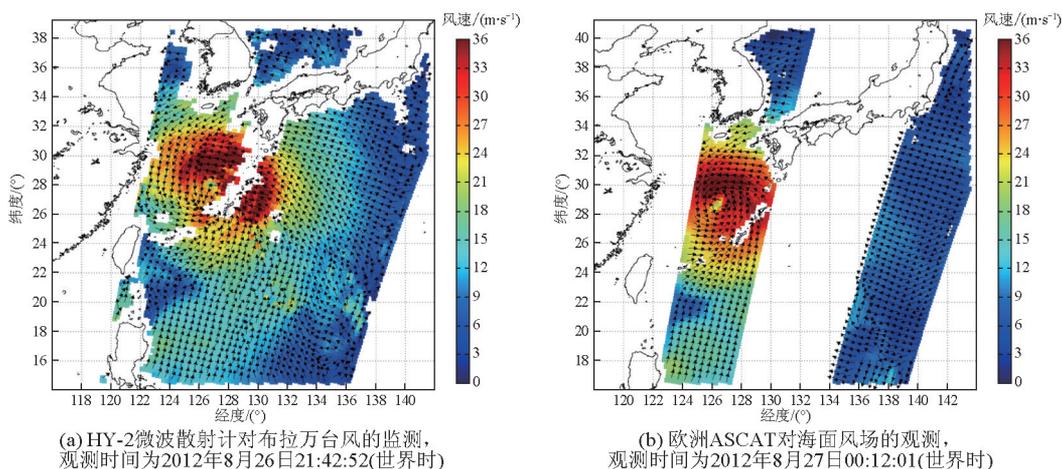


图5 HY-2微波散射计对布拉万台风的监测与欧洲ASCAT海面风场观测图
Fig. 5 The comparison of ocean wind fields observed by HY-2 and ASCAT

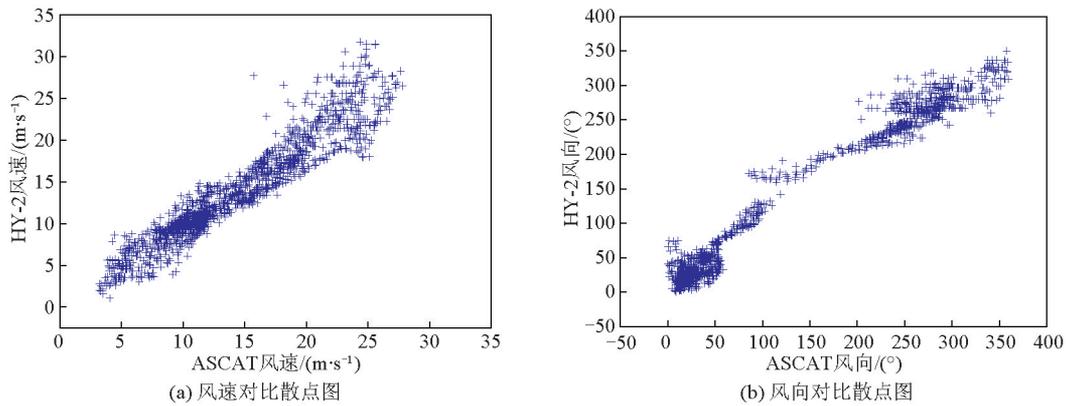


图6 HY-2和ASCAT观测风速、风向对比散点图
(风速的均方根误差为1.8 m/s,风向的均方根误差为18.6°)

Fig. 6 The scatter diagram of the wind speed and direction derived from HY-2 and ASCAT observations
(RMSE is 1.8 m/s and 18.6° respectively)

5.2 与FY-2E卫星云图对比

FY-2E卫星是我国静止气象卫星,星上载有甚高分辨率辐射扫描仪,每0.5 h可以提供一张红外云图。图7a给出了FY-2E的红外云图,可以看出台风布拉万的影响范围极大,是个典型的热带气旋,图7b给出了HY-2卫星散射计风场矢量图,背

景为叠加的FY-2E云图。可以看出大风范围、台风中心位置等方面是一致的,但HY-2卫星散射计可以给出定量的近海表面的风场定量化矢量产品(中间空缺部分为日本岛屿)。同时可以看出,布拉万台风典型的风速分布强烈的非对称性,给台风的结构提供更准确的信息产品。

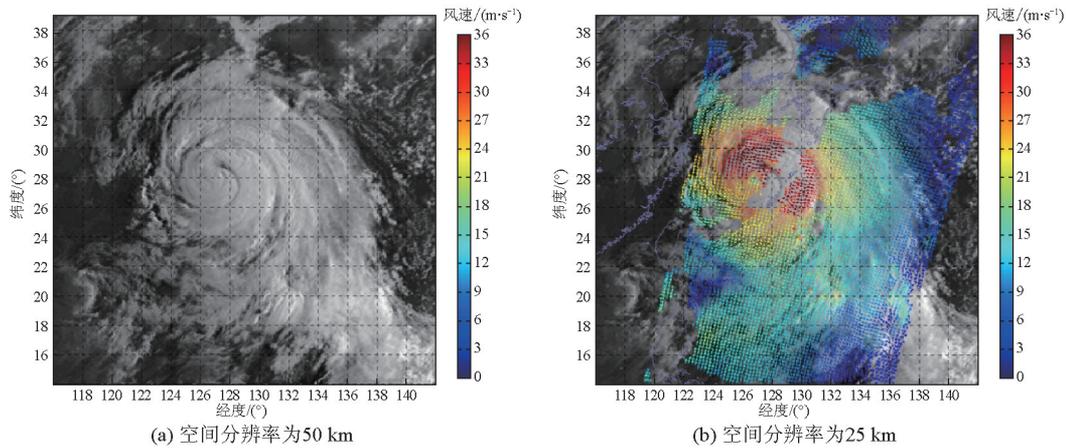


图7 HY-2微波散射计观测到的台风在海面形成的风场与FY-2E静止卫星可见光通道云图的叠加显示

Fig. 7 The HY-2 observation compared with the observation of FY-2E

6 结语

作为我国首颗综合动力环境卫星, HY-2卫星可以同时获取海面风场、海面温度、海面高度等海洋动力环境参数,其中海面风场观测具有大尺度、全天时、全球观测的特点,一天可以覆盖全球90%以

上的海域面积,正是这种全球探测能力使HY-2卫星在台风监测中发挥独特的作用。以2012年第9号台风苏拉为例,早在其还是热带低压时, HY-2卫星就已经捕捉到了它在菲律宾以东洋面上的形态特征,观测数据实时地发往国家海洋环境预报中心,为相关部门的分析研究及预报提供决策依据。随

后,气象部门正式对其进行编号并命名为苏拉,海洋预报部门对苏拉的监测、会商预报工作也随即展开。对台风路径的预报是预报工作的重点, HY-2 卫星准确捕捉到了台风中心的位置并跟踪其位置变化,从 HY-2 卫星的观测序列中可以获取台风苏拉的行进路线及移动速度,这对台风预报非常重要,同时用 HY-2 卫星的观测结果来检验预报的准确性,从而能够改进和提高台风预报的精度。在台风到来时,其他观测手段难以施展,卫星观测资料弥足珍贵,而与其他卫星观测数据不同, HY-2 卫星获取的是海表面风场的空间分布情况,风速、风向等信息直接反映海面的实时情况,因此不管是在台风行进的过程中还是在台风登陆的前夕, HY-2 卫星提供的观测资料对台风强度及其破坏性的判断都将提供帮助。

参考文献

- [1] 林明森,郑淑卿,孙 瀛. 星载散射计资料反演带有气旋及锋面的复杂风场[J]. 台湾海峡,1997,16(4):425-433.
- [2] Kristina B Katsaros, Evan B Forde. QuikSCAT's Seawinds facilitates early identification of tropical depressions in 1999 hurricane season [J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28(6): 1043-1046.
- [3] Simon H Yueh, Bryan W Stiles, Wu Yang Tsai, et al. QuikSCAT wind retrievals for tropical cyclones [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41(11): 2616-2628.
- [4] Joseph M Sienkiewicz, Joan M Von Ahn, Gregory M McFadden, et al. Hurricane force extratropical cyclones as detected by QuikSCAT [C]// Ocean Sciences Meeting, US, 2006.
- [5] Zou Juhong, Lin Mingsen, Pan Delu, et al. Applications of QuikSCAT in typhoon observation and tracking [J]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(5): 840-846.
- [6] Lars Isaksen, Ad Stoffelen. ERS scatterometer wind data impact on ECMWF's tropical cyclone forecasts [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(4): 1885-1892.
- [7] Julia Figa, Ad Stoffelen. On the assimilation of Ku-Band scatterometer winds for weather analysis and forecasting [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(4): 1893-1902.
- [8] Dudley B Chelton, Michael H Freilich. Scatterometer-based assessment of 10 m wind analyses from the operational ECMWF and NCEP numerical weather prediction models [J]. American Meteorological Society, 2005, 133(2): 409-429.
- [9] Halterman R R, Long D G. A comparison of hurricane eye determination using standard and ultra-high resolution QuikSCAT winds [C]// Proceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Denver, Colorado, 2006: 4117-4120.
- [10] Williams B A, Long D G. Estimation of hurricane winds from seawinds at ultrahigh resolution [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2008, 46(10): 2924-2935.
- [11] Faozi Said, Long D G. Effectiveness of QuikSCAT's ultra high resolution images in determining tropical storm eye location [C]// IGARSS, 2008.
- [12] Dudley B C, Michael H F. On the use of QuikSCAT scatterometer measurements of surface winds for marine weather prediction [J]. American Meteorological Society, 2006, 34: 2055-2071.
- [13] Joan M Von Ahn, Joseph M Sienkiewicz. Operational impact of QuikSCAT winds at the NOAA Ocean Prediction Center [J]. American Meteorological Society, 2006, 21(4): 523-539.
- [14] 许 可,董晓龙,张德海,等. HY-2 雷达高度计和微波散射计 [J]. 遥感技术与应用, 2005, 20(1): 89-93.
- [15] 朱素云,刘 浩,董晓龙. 海洋二号有效载荷微波散射计数据处理系统的设计 [J]. 遥感技术与应用, 2007, 22(2): 152-154.
- [16] 张 毅,林明森,宋清涛,等. 海洋二号卫星微波散射计数据预处理技术研究 [J]. 中国工程科学, 2013, 15(7): 62-67.
- [17] 蒋兴伟,林明森,宋清涛. 海洋二号卫星主被动微波遥感探测技术研究 [J]. 中国工程科学, 2013, 15(7): 4-11.
- [18] 解学通,郁文贤. 基于遗传算法的微波散射计海面风矢量反演研究 [J]. 海洋通报, 2008, 27(4): 1-11.
- [19] 解学通,方 裕,陈克海,等. SeaWinds 散射计海面风场神经网络建模研究 [J]. 地理与地理信息科学, 2007, 23(2): 12-17.
- [20] 宋新改,林明森. 神经网络反演散射计风场算法的研究 [J]. 海洋学报, 2006, 28(1): 42-46.
- [21] 李 妍,陈 希,费树岷. 基于红外卫星云图的台风中心自动定位方法研究 [J]. 红外, 2009, 31(3): 11-14.

Application study of the HY-2 scatterometer on monitoring typhoon events in the northwest Pacific Ocean

Lin Mingsen, Zhang Yi, Song Qingtao, Xie Xuotong,
Zou Juhong

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

[Abstract] HY-2 scatterometer is a spaceborne pencil-beam radar measuring the backscattering coefficient of ocean surface. Firstly, based on the description of the working mechanism and the principle of ocean surface wind retrieval from scatterometer data, quantitative analyses of some of the typhoons captured by HY-2 scatterometer in 2012 were carried out in this paper, which include location of the typhoon center, typhoon structure, path and the radius of maximum wind speed. Secondly, ocean surface wind field was overlaid on the meteorological cloud image acquired by FY-2E satellite to reveal the consistency of spatial structure of these two sources of data. Furthermore, ocean surface wind field from ASCAT was also used to make a contrast to the ocean surface wind field of HY-2 scatterometer. Multi-angle analysis has revealed the validity of ocean surface wind field observation and the advantages of typhoon monitoring by HY-2 scatterometer. Finally, the pros and cons of the HY-2 satellite microwave scatterometer were summarized, and the possible improvements of the HY-2 scatterometer were proposed in this paper.

[Key words] HY-2 satellite; microwave scatterometer; typhoon monitoring