

引用格式: Yun Risheng, Diao Ninghui, Cui Haiying, *et al.* Verification of CFOSAT Scatterometer Geolocation and Preliminary Evaluation of Geolocation Accuracy[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2022, 37(4): 953-960.[云日升, 刁宁辉, 崔海英, 等. CFOSAT 散射计几何定位验证与精度初步评估[J]. 遥感技术与应用, 2022, 37(4): 953-960.]  
DOI:10.11873/j.issn.1004-0323.2022.4.0953

# CFOSAT 散射计几何定位验证与精度初步评估

云日升<sup>1,2</sup>, 刁宁辉<sup>3</sup>, 崔海英<sup>1,2</sup>, 高畅畅<sup>1,2,4</sup>

(1. 中国科学院国家空间科学中心 微波遥感技术重点实验室, 北京 100190;

2. 中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190;

3. 自然资源部国家卫星海洋应用中心, 北京 100081;

4. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 采用 STK 软件对中法海洋卫星(CFOSAT)散射计几何定位算法进行了验证。针对 CFOSAT 散射计扇形波束扫描观测体制, 分别就扇形波束扫描散射计几何定位原型算法、包含天线安装误差的完整几何定位算法利用 STK 进行了详细验证。结果表明了 CFOSAT 扇形波束散射计几何定位算法的准确性, 与 STK 几何定位结果偏差在 100 m 以内。在此基础上, 结合有源定标器实验数据, 对 CFOSAT 实际观测数据几何定位参数进行了校正, 给出了 CFOSAT 散射计几何定位精度的初步评估。

**关键词:** 中法海洋卫星; 扇形波束扫描散射计; 几何定位; 天线安装矩阵; 精度评估

**中图分类号:** TP732.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-0323(2022)04-0953-08

## 1 引 言

2018 年 10 月 29 日 8 时, 中法海洋卫星在酒泉卫星发射中心用长征二号丙运载火箭成功发射。中法海洋卫星(CFOSAT)是中法两国合作研制的首颗卫星, 中方负责提供卫星平台、海风观测载荷以及发射测控, 法方负责提供海浪观测载荷, 卫星数据双方共享。CFOSAT 可获取全球海面风场、海浪谱以及有效波高等海洋动力参数, 有助于更好地认识和掌握海洋动力过程及其变化规律, 为海洋预报提供海浪谱、海面风场等多参量的初始场信息, 改进海况预报及同化模型, 提高对热带风暴、风暴潮等灾害性海况预报的精度与时效<sup>[1]</sup>。通过对海浪、海面风场进行同步监测, 可为海洋科学研究、全球气候变化提供实测数据并且积累长时间序列历史数据。

中国科学院国家空间科学中心承担研制的微

波散射计是国际上首个扇形波束旋转扫描散射计(RFSCAT, Rotating Fan-beam Scatterometer), 扇形波束圆锥扫描, 能够获得观测目标的多个方位角和俯仰角组合的后向散射系数, 可以有效改善海面风场的反演精度<sup>[2]</sup>。CFOSAT 是我国首次从方案设计、载荷技术和数据处理全链条自主创新实现的卫星散射计<sup>[3]</sup>。CFOSAT 散射计风场数据产品分辨率为  $12.5\text{ km} \times 12.5\text{ km}$ , 风速测量误差小于  $1.5\text{ m/s}$ , 风向测量误差小于  $15^\circ$ , 处于世界领先水平<sup>[3-4]</sup>。

扇形波束旋转扫描散射计几何定位是 CFOSAT 散射计数据预处理的难点之一。与笔形波束扫描散射计固定俯仰角不同, 其俯仰角有效范围约为  $26^\circ\text{--}46^\circ$ , 同时 Doppler 频率随星下点经纬度、天线方位扫描角和俯仰角变化, 使得全去斜处理后的回波频率同地面定位之间存在非线性对应关系, 从而给观测波束条带几何定位带来了困难<sup>[5]</sup>。CFO-

收稿日期: 2021-01-25; 修订日期: 2022-07-08

基金项目: “十二五”观测卫星地面系统 CFOSAT 散射计预处理课题(Y7C01KAJ10)。

作者简介: 云日升(1974—), 男, 内蒙古和林格尔人, 副研究员, 主要从事微波遥感系统仿真与数据预处理研究。E-mail: yunrisheng@mirslab.cn

SAT 几何定位算法首先建立了脉冲回波频率与地面经纬度的基准对应模型,在此基础上对观测条带中心回波频率进行插值获得当前观测条带的地面经纬度。STK(Satellite Tool Kit)卫星工具包软件是美国 Analytical Graphics 公司开发的航天工业分析软件,STK 的核心能力是产生卫星状态向量(位置和速度)和姿态数据、获取时间、遥感覆盖分析、特定观测几何下目标定位等<sup>[6]</sup>。卫星散射计通常采用海岸线匹配的方法对几何定位算法进行验证和分析<sup>[7]</sup>,与之相比较相比较,STK 用于几何定位算法验证具有精度高、数据适应性更好等优势。但由于卫星微波传感器系统体制和观测模式的特殊性,将 STK 用于几何定位验证时需要合理设计验证方案。

首先简要介绍了 CFOSAT 散射计及几何定位算法。基于 CFOSAT 散射计实际观测数据,根据 CFOSAT 散射计扇形波束扫描,地面足印内各条带对应的观测俯仰角不确定的特点,设计了 CFOSAT 散射计 STK 几何定位验证方案,采用 STK 对 CFOSAT 散射计几何定位原型算法、包含天线安装误差的完整工程算法进行了详细验证。由于天线在轨可能存在畸变等影响,实际定位精度要低于验证分析的结果。本文在算法验证的基础上,结合有源定标器实验数据对定位参数进行了校正,最终获得 CFOSAT 散射计几何定位偏差 H 极化约为 5.91 km, V 极化约为 6.06 km。

## 2 CFOSAT 散射计几何定位算法

CFOSAT 散射计是国际上首个扇形波束旋转扫描散射计,工作在 Ku 波段,卫星轨道高度 520 km,测绘带刈幅约 1 000 km,地球表面日覆盖率约为 90%。表 1 为 CFOSAT 散射计主要系统参数和轨道参数。

对于 CFOSAT 扇形波束扫描散射计, Doppler 频率随星下点经纬度、天线扫描方位角和俯仰角变

表 1 CFOSAT 散射计主要工作参数

Table1 major parameters of CFOSAT scatterometer

系统参数		轨道参数	
载频/GHz	13.256	半长轴/km	6 891.984
发射功率/W	120	偏心率	0.001 23
脉冲宽度/ms	1.35	近地点幅角/°	90
脉冲重复频率/Hz	1.35	倾角/°	97.528 1
俯仰角范围/°	26—46	升交点赤经/°	322.67
极化方式	H/V	降交点地方时	7:00 AM

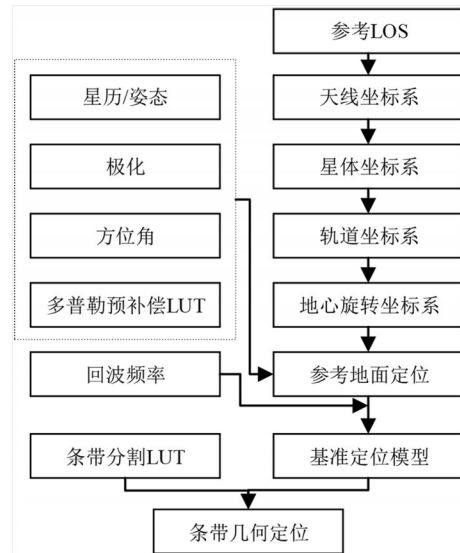


图 1 CFOSAT 散射计几何定位算法流程

Fig.1 CFOSAT scatterometer geolocation algorithm flow

化。特别是俯仰向观测范围约 20°,对应的波束近端和远端的 Doppler 频率差约 300 kHz 左右<sup>[8]</sup>,为了保持回波频率在零频附近,利用 Doppler 预补偿 LUT (Look-Up Table) 对发射频率进行频率预偏移。由于 Doppler 频率的影响,前视观测时回波信号的有效带宽被压缩。因此,系统对发射 Chirp 信号采取前视观测时变调频斜率符号的设计,这样可以使得天扫描前视观测和后视观测时频率分辨率基本一致。当后视观测时,回波频率为:

$$f_{echo} = -\frac{B}{\tau} \left( \frac{2R}{c} - \tau_0 \right) + f_{dpl\_res} \quad (1)$$

当前视观测时,回波频率为:

$$f_{echo} = -\left( -\frac{B}{\tau} \left( \frac{2R}{c} - \tau_0 \right) \right) + f_{dpl\_res} \quad (2)$$

其中:  $f_{echo}$  为回波频率;  $f_{dpl\_res}$  为经过 Doppler 频率预补偿之后的剩余 Doppler 频率;  $B$  为信号带宽;  $\tau$  为脉冲宽度;  $\tau_0$  为去斜参考时延;  $R$  为观测目标斜距。图 2 为 CFOSAT 散射计几何定位算法流程。根据卫星星历姿态、方位角对天线坐标系下的俯仰向视向量序列变换到地心旋转坐标系,由式(1)和式(2),根据 Doppler 预补偿表计算得到回波频率,获得基准定位模型。再由条带分割 LUT 在基准定位模型上对条带中心回波频率插值获得各条带对应的经纬度。

几何定位是 CFOSAT 散射计数据预处理的关键环节之一<sup>[9]</sup>。由于 CFOSAT 散射计具有全新的扇形波束旋转扫描体制,采用在基准定位模型上进行条带回波频率插值的几何定位算法。获取高精度海面风场要求对几何定位算法进行验证和几何

定位精度进行评估<sup>[10]</sup>。

### 3 CFOSAT 散射计几何定位验证

采用STK对CFOSAT散射计几何定位算法进行验证。图2为几何定位验证流程。作为商业仿真分析软件,STK暂未设定特定的外部星历和姿态数据导入接口。因此将CFOSAT某一天的TLE(Two Line Element)两行报文件和STK配置的姿态模型作为STK的输入,按照散射计观测时间、脉冲时序生成与卫星散射计相匹配的卫星星历和姿态数据。然后在确保STK和散射计在卫星星历、姿态数据、极化观测和天线转速等参数完全一致的基

础上,分别获得考察时间点的STK和散射计的几何定位结果,进行验证分析。在验证层次上分别进行CFOSAT散射计几何定位原型算法验证和包含天线安装误差的完整几何定位算法验证;在验证方法上分别在给定时间段的固定俯仰角上进行多个脉冲统计比较验证和给定时刻CFOSAT散射计回波脉冲40个条带对应俯仰角上进行单个脉冲条带几何定位比较验证,后者需要先反推出散射计脉冲40个条带对应的俯仰角,然后再将俯仰角信息代回到STK中计算地面几何定位结果。验证过程还分别针对观测前视和后视、升轨和降轨等不同散射计工作条件进行了深入的验证分析。

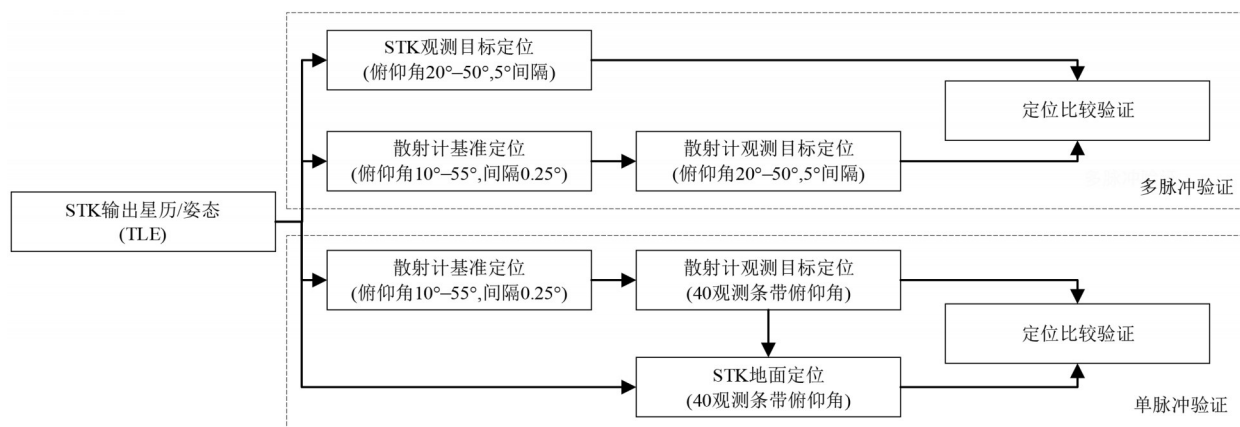


图2 利用STK对CFOSAT散射计几何定位验证流程

Fig.2 Verification process of CFOSAT scatterometer geolocation using STK

#### 3.1 几何定位原型算法验证

首先利用STK对CFOSAT散射计几何定位原型算法进行验证。对CFOSAT原型算法的验证主要用以明确CFOSAT散射计条带几何定位处理中的星历和姿态数据的使用、坐标系转换算法、Doppler补偿算法和关于回波频率和固定入射角序列的几何定位基准模型算法。图3为几何定位原型算法的多脉冲验证(显示脉冲有抽取)。图3左为时间段(UTC):20181218T150000-20181218T151000的散射计若干脉冲几何定位验证,对应于卫星升轨;图3右为时间段(UTC):20181218T153000-20181218T154000的散射计若干脉冲几何定位验证,对应于卫星降轨。不同极化的几何定位差异体现在图1天线坐标系到星体坐标系的转换上。对于CFOSAT散射计几何定位原型算法,不需要考虑不同极化情况下的几何定位验证。图3中STK定位结果是相对于俯仰角20°—50°,间隔5°的结果。由图3可知,散射计几何定位原型算法的结果与STK

有很好的一致性。

将考察的升降轨两个时间段的各45000个脉冲的定位偏差进行统计,结果如图4所示。与STK相比较,升轨与降轨时间段的几何定位偏差没有明显差异。同时在20°—50°俯仰角范围内也基本一致,平均定位偏差约36 m。

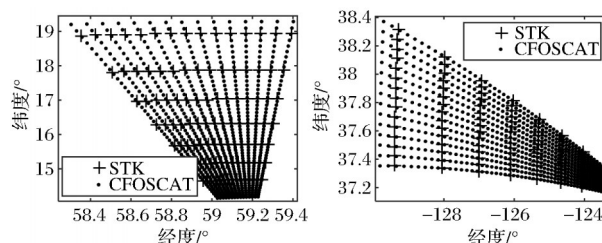


图3 几何定位原型算法多脉冲验证

Fig.3 Multi-pulse verification of geolocation prototype algorithm

#### 3.2 完整几何定位算法验证

CFOSAT散射计采用两个相互平行的波导缝隙天线实现H/V极化的扫描观测,观测几何如图5



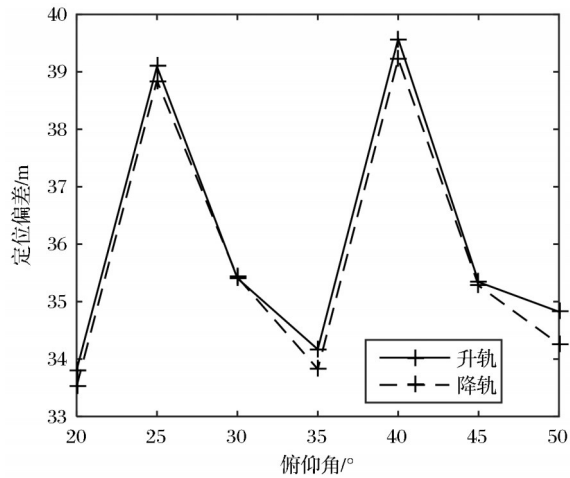


图4 CFOSAT 散射计几何定位原型算法定位偏差

Fig.4 Bias between CFOSAT scatterometer geolocation prototype algorithm and STK

所示。两个天线观测方位角设计为 $180^\circ$ 间隔,散射计交替发射并接收H极化和V极化脉冲。天线阵列坐标观测视向量首先通过天线安装矩阵变换到星体坐标系下。星体坐标系坐标原点在航天器质心,3个坐标轴分别沿航天器3个惯性主轴方向。卫星姿态决定了星体坐标系和轨道坐标系之间的关系。轨道坐标系坐标原点为航天器的质心,Z轴指向地心(反径向),X轴在轨道平面内垂直于Z轴,指向卫星运动方向,Y轴与X轴和Z轴构成右手正交坐标系。散射计观测方位角是天线观测方向与卫星运行方向的夹角。

CFOSAT 散射计H极化天线安装矩阵:

$$M_H = \begin{pmatrix} 1.819336 & 88.199279 & 90.259504 \\ 88.868678 & 136.630657 & 133.346971 \\ 91.424628 & 46.687327 & 136.651852 \end{pmatrix} \quad (3)$$

V极化天线安装矩阵:

$$M_V = \begin{pmatrix} 178.199275 & 91.782819 & 89.746770 \\ 91.518844 & 40.609850 & 130.569115 \\ 89.032899 & 130.553728 & 139.429752 \end{pmatrix} \quad (4)$$

天线安装矩阵是星体坐标系和散射计天线坐标系3个坐标轴之间的实测角度(单位:度),反映了天线在地面安装时的偏差。特别地,对于扇形波束旋转扫描散射计,不但需要考察天线在方位向上相对于星体坐标系方位角零位的固有偏差,而且需要考虑由于天线相对于旋转轴的安装偏差所引起的在扇形波束俯仰向上方位角偏差的分布。因此,安装矩阵揭示了由于天线安装偏差,观测方位角与实际方位角的偏差是方位向零位固有偏差和随俯仰角变化的方位角偏差二者的叠加。由安装矩阵

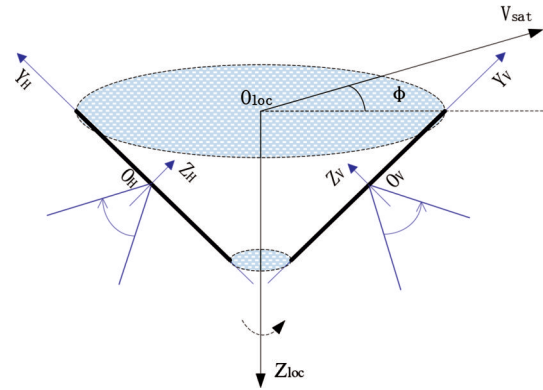


图5 CFOSAT 散射计天线阵面观测几何

Fig.5 Observation geometry of CFOSAT scatterometer antenna

计算得到H极化方位向零位固有偏差为 $-2.0757^\circ$ ,V极化方位向零位固有偏差为 $-1.4871^\circ$ ,两个天线方位角实际间隔为 $179.4114^\circ$ 。图6给出了由安装矩阵得到的随俯仰角变化的天线方位角偏差值。对于特定观测脉冲,由于天线安装误差的存在,在整个观测俯仰角范围内,天线单元给出的方位角与实际方位角之间存在一定的偏差。特别是越接近波束近端,误差越大。如在 $20^\circ$ 俯仰角附近,天线方位角误差约 $\pm 0.5$ 度。因此,CFOSAT 散射计完整的几何定位算法,需要对由天线安装误差带来的方位角固有零位偏差和随俯仰角变化的方位角偏差进行补偿,才能获得观测脉冲各条带的准确几何定位。

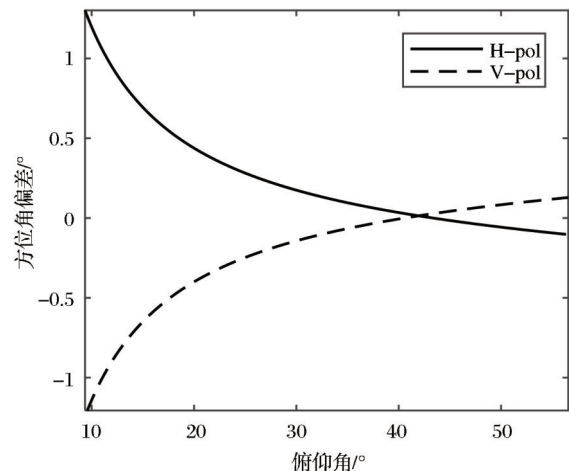


图6 CFOSAT 散射计天线方位角偏差随俯仰角变化

Fig.6 CFOSAT scatterometer antenna azimuth bias vs. elevation angle

表2为对 $20^\circ$ — $50^\circ$ 天线俯仰角( $5^\circ$ 间隔),分别对H极化和V极化给出的方位角补偿值。采用图2给出的多脉冲几何定位验证方法,散射计采用图1所

表 2 STK 随俯仰角变化的方位角补偿值

Table2 Azimuth compensation of STK with elevation angle

STK 俯仰角 /°	STK 方位角补偿 H-极化/°	STK 方位角补偿 V-极化/°
20	0.438 1	-0.400 0
25	0.281 6	-0.247 3
30	0.174 6	-0.142 9
35	0.095 7	-0.065 9
40	0.034 4	-0.006 0
45	-0.015 4	0.042 5
50	-0.057 2	0.083 3

示的完整几何定位处理。由于实际观测存在天线安装偏差,因此对 STK 的观测方位角进行固定方位角零位偏差补偿和表 2 中随俯仰角的方位角偏差补偿,从而对 CFOSAT 散射计完整几何定位算法进行验证。由于上节已对散射计几何定位原型算法进行了验证,这一验证过程可以验证 CFOSAT 扇形波束扫描散射计天线安装矩阵分析和使用是否正确,以及完整的坐标系变换和几何定位算法的准确性。多脉冲几何定位算法验证结果如图 7 所示。几何定位偏差与图 4 原型几何定位算法相比较结果相差不大,在输入星历、姿态、极化等几何定位参量一致的前提下,CFOSAT 散射计完整几何定位算法与通过 STK 获得的几何定位结果相差约数十米。对于应用天线安装矩阵的 CFOSAT 散射计完整几何定位算法,几何定位偏差随俯仰角有增大的趋势。

图 8 为 CFOSAT 散射计完整几何定位算法单脉冲验证的结果。为了深入分析 CFOSAT 散射计

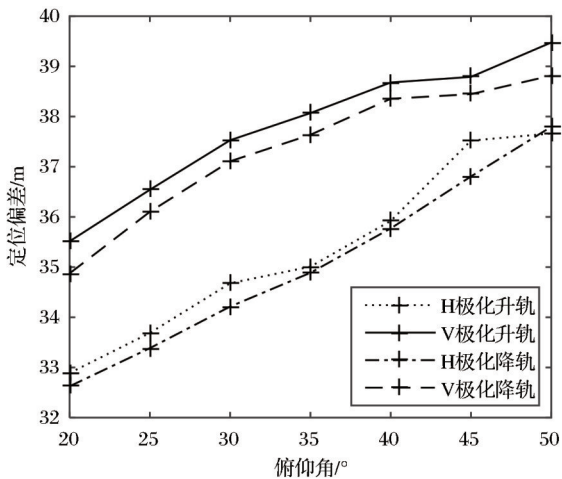


图 7 CFOSAT 散射计几何定位算法与 STK 定位结果偏差

Fig.7 Bias between CFOSAT scatterometer geometric positioning algorithm and STK results

几何定位情况,验证中选取了升轨和降轨情况分别进行验证,同时对 H 几何和 V 极化、波束前视和后视进行了验证比较。图 8(a)为降轨条件下 CFO-SAT 散射计完整几何定位算法与 STK 几何定位结果的比较,图 8(b)为升轨条件下几何定位的验证结果。

由图可知,升轨和降轨条件下,不同极化和不同视向观测的几何定位结果差别不大,其平均偏差一致地在 100 m 以下,最大偏差接近 150 m。几何定位偏差有随俯仰角略有增大的趋势。需要说明的是:所谓单脉冲验证,是首先计算散射计特定脉冲几何定位各条带的观测俯仰角,然后将各条带的实际俯仰角代回到 STK 中获得 STK 在此观测俯仰角下的几何定位结果。实际评估中,针对不同极化、观测视向和升降轨均要对考察时间段内的多个脉冲进行分析验证,并非只是在单一脉冲上的比较。

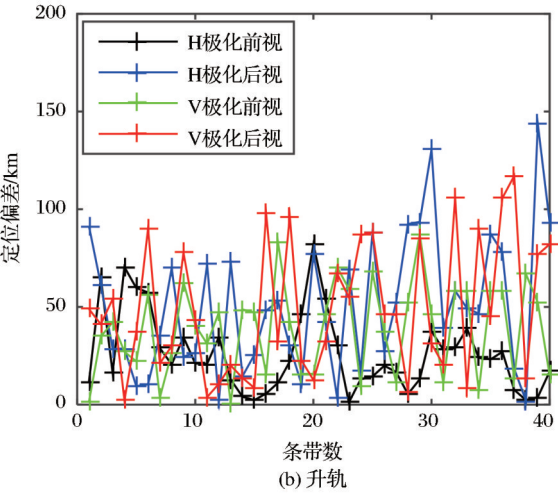
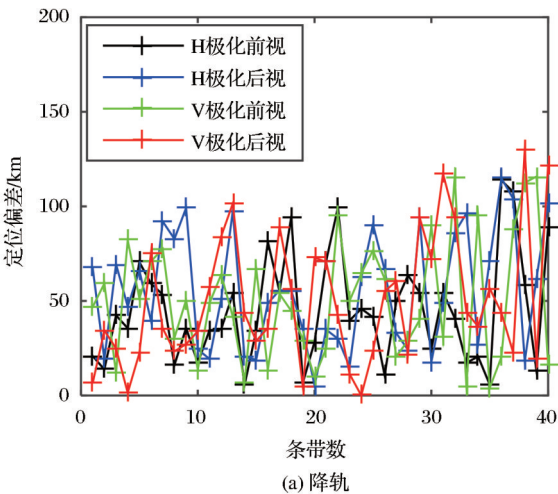


图 8 CFOSAT 散射计条带几何定位与 STK 定位结果偏差

Fig.8 Bias between CFOSAT scatterometer slice geolocation algorithm and STK results

4 CFOSAT 散射计数据几何定位精度初步评估

通过对 CFOSAT 散射计几何定位原型算法和完整几何定位算法的 STK 验证,表明 CFOSAT 散射计几何定位算法的正确性,对天线安装矩阵的使用也是合理的。同时,验证结果表明:CFOSAT 散射计几何定位算法与 STK 几何定位算法偏差在 100 m 以内。为了确保验证的合理性,整个验证过程 CFOSAT 散射计几何定位算法输入的星历和姿态数据均采用 STK 仿真得到的数据,并非实际卫星给出的数据。同时,由于卫星在轨运行的复杂性和不确定性,散射计天线在轨可能存在畸变,其安装特性可能与地面发射前存在一定的差异。因此,在当前几何定位参数条件下,实际观测数据的几何定位误差远大于 100 m。在验证了几何定位算法正确性的前提下,需要对 CFOSAT 散射计实际观测数据的几何定位参数进行优化校正,并对实际观测数据的定位精度进行评估。

采用 2019 年 7 月国家卫星海洋应用中心组织的在内蒙古新巴尔虎左旗嵯岗进行的有源定标器外定标实验相关数据对 CFOSAT 实际数据几何定位结果进行估计。有源定标器发射的点目标信号落在 CFOSAT 散射计数据特定脉冲和条带内。由于条带分辨率约 10 km 左右,因此从散射计数据中获得有源定标器的位置精度受到一定限制。排除数据缺失或异常、有源定标器信号落在边缘条带等特殊数据,从 27 轨包含有源定标器散射计数据中筛选出 7 轨数据用于几何定位算法精度评估和误差校正。以后向散射系数最大值条带位置为中心,选择若干相邻脉冲和条带进行二维数据拟合,搜索得到理论上更接近于有源定标器的真实位置。在此基础上,目前主要通过调整观测方位角参数,之后与有源定标器地面确定位置相比较,搜索最优定位结果对应的方位角。

表 3 为利用有源定标器优化之后的 7 轨实际数据几何定位结果。其中“A”表示升轨,“D”表示降轨。第三列为 H 极化散射计几何定位结果与有源定标器地面实际位置之间的偏差值;第 4 列为 V 极化散射计几何定位结果与有源定标器地面实际位置之间的偏差值。H 极化几何定位的平均偏差为 5.91 km,V 极化几何定位的平均偏差为 6.06 km。由此可见,在 STK 对 CFOSAT 散射计几何定位算法验证之后,通过有源定标器数据的进一步校正,

表 3 利用外定标数据估计散射计定位精度

Table3 Estimation of scatterometer geolocation accuracy using external calibration data

轨道号	升/降轨	H-极化/m	V-极化/m
3406	D	5 970.67	7 414.05
3428	A	4 847.42	4 656.31
3436	D	3 838.96	4 789.44
3497	D	7 913.61	4 656.94
3519	A	7 634.05	6 257.86
3625	A	4 512.14	6 898.44
3633	D	6 678.34	7 768.24
平均值		5 913.59	6 063.04

CFOSAT 散射计实际数据几何定位精度在整体上约为 6 km 左右。

图 9 为 CFOSAT 散射计的后向散射系数图,用以根据后向散射系数数值的变化梯度直观表征实际数据几何定位与海岸线的匹配情况。选择第 03497 轨数据,考察俯仰角 40°时(包含前视和后视观测)的几何定位情况。其中,图 9(a)对应于升轨观测,图 9(b)对应于降轨观测。由图可知,在比较平直的海岸线附近,CFOSAT 散射计后向散射系数取值有比较明显的跳变;在较为复杂的海岸线变化条件下,后向散射系数取值也有较好的一致性。CFOSAT 散射计实际数据几何定位与海岸线总体匹配情况较好,能够满足 CFOSAT 风场产品反演的需求。

5 结 论

中法海洋卫星(CFOSAT)是中法两国合作研制的首颗卫星,其上搭载的扇形波束扫描散射计是中方提供的唯一载荷,是我国首次从方案设计、载荷技术和数据处理全链条自主创新实现的卫星散射计。CFOSAT 散射计科学数据主要应用于海面风场的实时观测,也可应用于极冰监测、植被分析等领域。本文介绍了 CFOSAT 扇形波束扫描散射计几何定位算法之后,主要采用 STK 软件对 CFOSAT 散射计几何定位算法进行了验证。利用 STK 进行 CFOSAT 散射计几何定位算法验证的基本流程是在确保 CFOSAT 几何定位算法模块和 STK 输入参数一致的前提下,对两者各自独立获得的地面定位结果进行比较。针对 CFOSAT 散射计扇形波束扫描观测体制,分别就扇形波束扫描散射计几何定位原型算法、包含天线安装误差的完整几何定位算法利用 STK 进行了验证。通过对 CFOSAT 散射



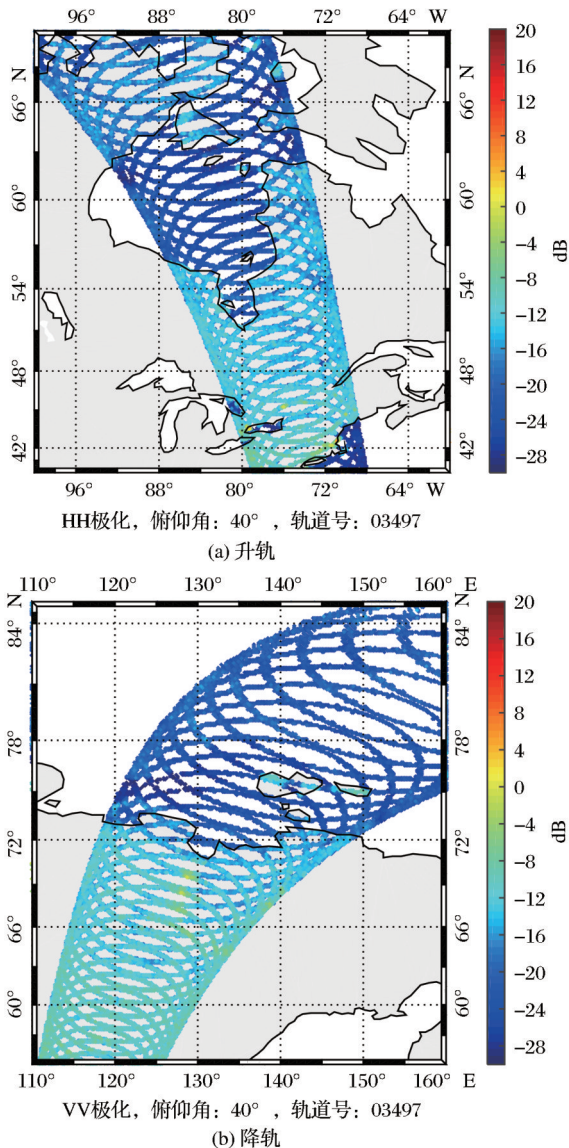


图9 CFOSAT 散射计后向散射系数数据海岸线匹配  
Fig.9 Coastline matching of backscattering coefficient data of CFOSAT Scatterometer

计H极化和V极化、升轨和降轨、前视观测和后视观测数据的几何定位进行验证,其结果表明了CFOSAT扇形波束散射计几何定位算法的准确性,同时验证了扇形波束散射计天线安装矩阵使用的正确性。CFOSAT几何定位算法定位结果与STK定位结果平均偏差在100 m以内,不同极化、升降轨和扫描观测方位条件下差别不大,几何定位偏差有随俯仰角有增大的趋势。由于可能存在的天线在轨畸变等原因,将地面测试的天线安装矩阵应用于天线坐标系到星体坐标系的转换之后,实际数据的几何定位精度远大于100 m。结合有源定标器外定标实验数据,进一步校正了几何定位参数,给出了CFOSAT散射计几何定位精度的初步评估,得到

CFOSAT 散射计实际数据的几何定位精度约6 km左右。下一步需要对实际数据几何定位误差来源进行深入分析,并对几何定位算法进一步优化,有望获得更为准确的几何定位结果。

#### 参考文献 (References):

- [1] Hauser H, Tison C, Amiot T, *et al.* SWIM: The first spaceborne wave scatterometer[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2017, 55(5): 3000-3014. DOI: 10.1109/TGRS.2017.2658672.
- [2] Lin C C, Rommen B, Wilson J J W, *et al.* An analysis of a rotating, range-gated, fanbeam spaceborne scatterometer concept[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(5): 2114-2121. DOI: 10.1109/36.868870.
- [3] Dong Xiaolong, Zhu Di, Zhang Kuo, *et al.* Orbit performances validation for CFOSAT scatterometer[J]. Chinese Journal of Space Science, 2020, 40(3): 425-431.[董晓龙,朱迪,张阔,等.中法海洋卫星微波散射计在轨性能验证,空间科学学报,2020,40(3): 425-431.]
- [4] Liu J, Lin W, Dong X, *et al.* First results from the rotating fan beam scatterometer onboard CFOSAT[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2020, 58(12): 8793-8806. DOI: 10.1109/TGRS.2020.2990708.
- [5] Yun R, Xu X, Dong X, *et al.*, The processing and simulation of the CFOSAT RFSCAT[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). Milan, 2015:5332-5335. DOI:10.1109/IGARSS.2015.7327039.
- [6] Diao Ninghui, Liu Jianqiang, Sun Congrong, *et al.* Satellite orbit calculation based on SGP4 model[J]. Remote Sensing Information, 2012, 27(4): 64-70.[刁宁辉,刘建强,孙从容,等.基于SGP4模型的卫星轨道计算,遥感信息,2012,27(4): 64-70.]
- [7] Zhang K, Dong X, Zhu D, *et al.*, Estimation and correction of geolocation errors of the CFOSAT scatterometer using coastline backscatter coefficients[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2021, 14: 53-61. DOI: 10.1109/JSTARS.2020.3035238.
- [8] Yun R, Xu X, Dong X, *et al.* Simulation and retrieval of wind of CFOSAT rotating-fan beam SCATterometer[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Beijing, 2016:5797-5800. DOI: 10.1109/IGARSS.2016.7730514.
- [9] Yun R, Dong X, Zhang L, *et al.*, CFOSAT Scatterometer Data Level-1 Processing and Preliminary Results[C]// IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japan, 2019: 8011-8014. DOI: 10.1109/IGARSS.2019.8897758.

[10] Lin W M, Dong X L, Portabella M, *et al.* A perspective on the performance of the CFOSAT rotating fan-beam scatterometer

[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2019, 57(2): 627-639. DOI: 10.1109/TGRS.2018.2858852.

## Verification of CFOSAT Scatterometer Geolocation and Preliminary Evaluation of Geolocation Accuracy

Yun Risheng<sup>1,2</sup>, Diao Ninghui<sup>3</sup>, Cui Haiying<sup>1,2</sup>, Gao Changchang<sup>1,2,4</sup>

(1. *Key Laboratory of Microwave Remote Sensing, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;*

2. *National Space Science Center, Chinese Academy Sciences, Beijing 100190, China;*

3. *National Satellite Ocean Application Service, Ministry of Natural Resources, Beijing 100081, China;*

4. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)*

**Abstract:** STK software is used to verify the algorithm of CFOSAT scatterometer geolocation. For CFOSAT scatterometer fan-beam scanning observation mode, the prototype geolocation algorithm and the complete geolocation algorithm including antenna installation error are verified in detail by STK. The results show that the bias between the results of CFOSAT fan-beam scatterometer geolocation algorithm and STK geometric location is within 100 meters. On this basis, combined with the experimental data of calibration ground station, the geolocation parameters of CFOSAT actual observation data are corrected, and the preliminary evaluation of the geolocation accuracy of CFOSAT scatterometer is given.

**Key words:** Chinese French Oceanography Satellite (CFOSAT); Rotating Fan-beam Scatterometer (RFS-CAT); Geolocation; Antenna mounting matrix; Accuracy evaluation