引文格式：王建全,张润达,刁永洲. 近海SWOT卫星海面高数据质量分析[J]. 地理空间信息, 2025, 23(8):15-17. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.08.003

近海SWOT卫星海面高数据质量分析

王建全[1]，张润达[1]，刁永洲[1]
（1. 交通运输部南海航海保障中心广州海事测绘中心，广东 广州 510320）

摘　要：为了评估近海区域SWOT卫星测高数据的质量，本研究以123°~133°E、21°~31°N范围内的岛屿区域为例。通过对近岸SWOT数据和验潮站数据的比对分析，采用了自交叉点不符值评估与验潮数据对比以及统计方法来评估海面高不符值。研究结果显示，自交叉点海面高不符值在升降轨道之间表现出良好的一致性和较高的系统稳定性，基本符合正态分布，自交叉点的海面高不符值均值为0.005 m，标准差为0.78 mm。自交叉点海面高不符值与海岸线距离的远近无明显相关性，说明近海SWOT数据无显著系统误差。然而，与验潮站数据对比的结果显示，存在一定程度的小幅系统误差（海面高不符值均值为9.2 mm），这可能受限于SWOT数据的公开时间和样本量的限制。本研究的发现为近海区域SWOT测高数据的进一步验证和后期数据质量改进提供了科学依据。

关键词：表面水体和海洋地形测量卫星；近海；验潮站；海面高；交叉点；数据质量
中图分类号：P229　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）08-0015-03

Quality Analysis of Coastal SWOT Satellite Sea Surface Altimetry Data

WANG Jianquan[1], ZHANG Runda[1], DIAO Yongzhou[1]
(1. Navigation Guarantee Center for the South China Sea, Ministry of Transport, Hydrographic and Maritime Service Center, Guangzhou 510320, China)

Abstract: In order to evaluate the quality of the SWOT satellite altimetry data in coastal regions, taking the island areas between 123°E to 133°E and 21°N to 31°N for example, based on the coastal SWOT data and tide gauge data, we used crossover discrepancy assessment, comparisons with tide gauge data, and statistical methods to evaluate sea surface altimetry data discrepancies. The results demonstrate that the sea surface altimetry data discrepancies at crossover points between ascending and descending orbits exhibit good consistency and high systematic stability, generally following a normal distribution. The mean discrepancy at the crossover points is 0.005 m, with a standard deviation of 0.78 mm. There is no significant correlation between sea surface altimetry data discrepancies at crossover points and the distance to the coastline, indicating no significant systematic error in coastal SWOT data. However, comparisons with tide gauge data reveal minor systematic errors (average discrepancy of 9.2 mm), potentially limited by the availability of SWOT data and sample size. The findings of this study provide a scientific basis for further validation and quality improvement of SWOT altimetry data in coastal regions.

Key words: SWOT satellite, coastal, tide station, sea surface height, crossover point, data quality

研究近海SWOT数据的质量对于深入了解其在科学研究和实际应用中的潜力至关重要，有助于提升对近海区域的监测和分析能力[1-6]。近年来，测高卫星数据质量评估方面的研究取得了显著进展[7-9]。刘力铖等[10]对HY-2B卫星在北极地区的性能进行了交叉验证，证明其与国际同类卫星的高一致性和应用潜力。文献[11]指出，Sentinel-3A相较于Jason-3在数据质量和系统性能上有所提升，强调了技术进步对数据精度的提升作用。王建波等[12]在珠海万山对HY-2B和HY-2C卫星进行了定标检验，发现其测高数据与验潮数据高度一致。文献[13]使用Jason-2数据评估了Jason-3的质量，确认了其在准确性和偏差方面的可靠性。文献[14]对HY-2卫星与其他卫星的数据进行了校准验证，进一步确认了数据的准确性。文献[15]关注有效波高数据的校正，为提高数据精度提出了新思路。尽管Jason系列、HY-2系列及其他测高卫星的数据质量评估研究不断增多，但针对近海数据的质量评估相对较少。特别是国内针对SWOT卫星近海测高数据精度的评估研究仍较为缺乏。

鉴于以上研究现状和不足，本文将采用日本南部岛礁周边0~50 km范围内的SWOT数据和验潮站数据，对SWOT的测高数据精度进行评价。

1　数据和方法

1.1　数　据

本研究使用了SWOT任务的二级KaRIn低速率海面高度专家级数据产品（周期001~006，日期范围为

第一作者简介：王建全（1991—），本科，工程师，从事海洋测绘工作，E-mail：yuanchao0715@126.com。

2023年7月26日—2023年11月11日），该数据在Aviso官网下载（网址：ftp-access.aviso.altimetry.fr）。数据覆盖的经纬度范围为123~133°E和21°~31°N，数据产品提供了经过校正的海面高度等，定义在2 km × 2 km的地理固定网格上。

验潮数据来自于夏威夷大学数据中心网站，验潮数据时间段与SWOT数据时间段相同。数据的时间分辨率为1 h。5个验潮站分别为H365、H355、H359、H345、H363。

1.2 方 法

1.2.1 星下点海面高计算

SWOT测高卫星观测的海面高（sea surface height，SSH）公式可以表示为：

$$SSH_{alt} = H - (R + \Delta R_{dry} + \Delta R_{wet} + \Delta R_{ion} + \Delta SSB + \Delta Geo) \quad (1)$$

式中，SSH_{alt}为SWOT卫星观测的海面高；H为SWOT卫星相对于参考椭球面的高度；R为SWOT到海面的距离；ΔR_{dry}、ΔR_{wet}、ΔR_{ion}分别为对流层干延迟、对流层湿延迟和电离层延迟；ΔSSB为海况偏差改正；ΔGeo为地球物理信号改正，包括负荷潮、极潮等。

1.2.2 海面高偏差计算

验潮站和SWOT卫星观测的海面高差值可以表示为：

$$Bias = SSH_{alt} - SSH_{gauge} - \Delta Tide - \Delta DAC + H_{GNSS} \quad (2)$$

式中，SSH_{gauge}为验潮站观测的海面高；$\Delta Tide$为潮汐改正；ΔDAC为动态大气压改正；H_{GNSS}为通过GNSS联测的验潮站的大地高。其中潮汐改正和动态大气压改正与SWOT海面高数据添加的改正一致。

1.2.3 自交叉点海面高不符值确定方法

考虑到SWOT数据定义在2 km×2 km的地理格网上，本文使用网格搜索法确定交叉点，并计算交叉点海面高不符值，具体步骤如下：

1）上升轨迹点交叉检测：遍历每个上升轨迹点，并在其周围2 km范围内搜索是否存在下降轨迹点，若发现则认定为轨迹交叉。

2）扩大搜索范围与插值：若发现有上升轨迹交叉，扩大搜索范围至4 km，查找更多下降轨迹点，并将其插值到上升轨迹点，以确定准确的交叉位置。

3）差异值计算：计算插值后的下降轨迹点与原上升轨迹点之间的差异值。

2 结果与分析

2.1 自交叉点不符值分析

分别选取离海岸50 km范围内的卫星测高数据，图1展示的为离海岸50 km范围内SWOT测高卫星上升轨迹和下降轨迹的数据。

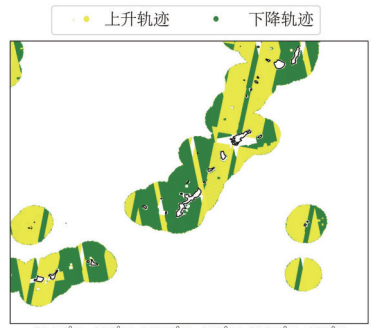


图1 离岸50 km范围内的测高数据

为了确保数据质量并减少恶劣海况的影响，本研究在分析SWOT卫星数据时采用了严格的筛选标准。只选择那些质量标志为0、水深超过1 000 m、SSH差值绝对值小于50 cm的数据点，并且仅分析同一周期内的数据。通过这种方法，确保了数据的准确性和可靠性。经过统计，研究区域内符合条件的自交叉点为8 432个，占比为98.62%。

对自交叉点不符值的分布特征进行分析，如图2所示。由图2可得，海面高度在交叉点的差异值基本呈现正态分布，且离散程度较小，均值接近0。近海地区的SWOT海面高数据未显示出明显的系统误差，上升轨道与下降轨道的海面高度观测值具有较好的一致性。

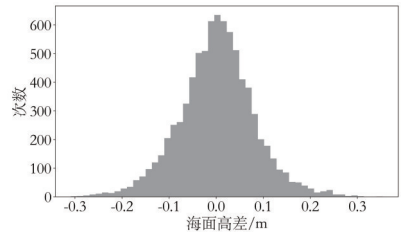


图2 自交叉点海面高不符值分布图

分析了0~50 km范围内自交叉点不符值的特点，结果如图3所示。

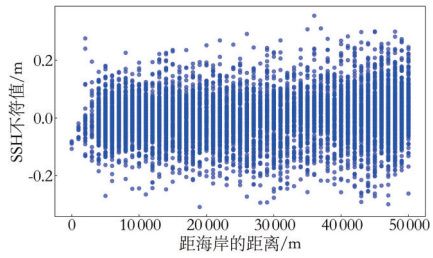


图3 海面高自交叉点不符值

从图3可见，交叉点处的海面高度差异值分布在±30 cm范围内，且均值接近0，未出现明显异常值。随着离海岸距离逐渐缩短，海面高度差异值呈现出略微减小的趋势。表明SWOT测量的海面高度数据在近海区域具有较高的精度。

对1~6个周期的海面高不符值的均值和标准差进行统计，结果如图4和图5所示。

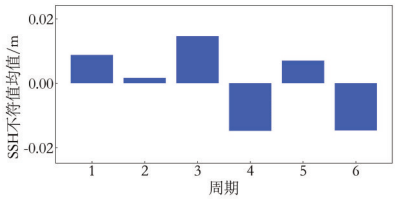


图4　自交叉点海面高不符值均值

由图4可知，1~6周期的海面高不符值均值均小于2 cm，其中第3周期的海面高不符值均值较大，达到1.3 cm。经统计，1~6周期的海面高不符值均值为0.5 cm。这说明SWOT近海海面高数据无明显系统偏差。

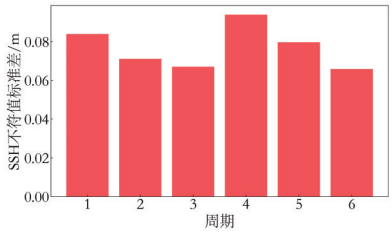


图5　自交叉点海面高不符值标准差

如图5所示，自交叉点海面高不符值标准差均小于10 cm，其中第4周期的不符值标准差较高，为8.9 cm。海面高不符值标准差均值为7.8 cm，这说明各个周期的海面高测量精度比较接近，误差离散度较低，系统稳定性较好。

2.2　与验潮站对比

以验潮站数据为参考，将验潮站10 km范围内的SWOT海面高数据的均值与验潮站数据进行对比，结果如表1所示。

表1　10 km范围内SWOT数据和验潮数据对比结果/m

验潮站	最大值	最小值	平均值	标准差
H365	0.191	−0.172	0.021	0.085
H355	0.095	−0.012	−0.018	0.075
H359	0.133	−0.121	0.009	0.105
H345	0.213	−0.201	0.023	0.113
H363	0.045	−0.039	0.011	0.041

由表1可知，与验潮站对比的海面高不符值均值均小于3 cm，均值为9.2 mm，存在较小的系统误差。海面高不符值的标准差均小于12 cm，均值为8.3 cm，但由于SWOT公开数据时间较短，数据样本较少，统计可能有一定偏差。就目前的结果来看，近海的数据质量相对较高。

3　结　语

本研究对地理坐标为123~133°E、21~31°N范围内的岛屿近岸区域的SWOT卫星测高数据与验潮站数据进行了比对分析。结果显示，自交叉点的海面高度差异接近正态分布，标准差为0.78 mm，均值为0.005 m，表明升降轨道观测值一致性高，近海SWOT数据无明显系统误差。与验潮站数据对比发现，海面高度不符值的均值为9.2 mm，存在小幅度系统误差，标准差平均为8.3 cm。未来研究需采取更精确的改进措施。

参考文献

[1] 李静,岳建平,宋亚宏,等. SARAL测高卫星近海域波形重定新方法[J]. 河海大学学报(自然科学版),2016,44(4):335-339

[2] 杨佳仪,周佳轩,吴红波. 1992年以来贝加尔湖湖区水位变化特征分析[J]. 地理空间信息,2023,21(9):31-35

[3] 潘轶,岳建平,宋亚宏,等. 1993—2015年中国南海海平面变化的初步研究[J]. 地理空间信息,2017,15(10):9-13

[4] Yu D,Weng Z,Hwang C,et al. Seamount Detection Using SWOT-derived Vertical Gravity Gradient:Advancements and Challenges[J]. Geophysical Journal International,2024,237(3):1 780-1 793

[5] Tchonang B C,Benkiran M,Le Traon P Y,et al. Assessing the Impact of the Assimilation of SWOT Observations in a Global High-resolution Analysis and Forecasting System-Part 2:Results[J]. Frontiers in Marine Science,2021,8:687 414

[6] 薛兆楠,冯伟,陈威,等. SWOT宽刈幅干涉测高卫星数值模拟:以南海海平面变化监测为例[J]. 大地测量与地球动力学,2022,42(12):1 250-1 256

[7] 孙伟,金建文,李国元,等. 激光测高卫星ICESat-2监测太湖水位精度评价[J]. 测绘科学,2021,46(11):6-11

[8] 管斌. 海洋测高卫星高度计定标理论与方法研究[J]. 测绘学报,2020,49(7):934

[9] Yaremchuk M,Beattie C,Panteleev G,et al. The Effect of Spatially Correlated Errors on Sea Surface Height Retrieval from SWOT Altimetry[J]. Remote Sensing,2023,15(17):4 277

[10] 刘力铖,付东洋,邹巨洪,等. 自主HY-2B卫星北极地区风场及有效波高产品交叉验证分析[J]. 遥感技术与应用,2023,38(1):227-238

[11] Yang J,Zhang J,Wang C. Sentinel-3A Sral Global Statistical Assessment and Cross-calibration With Jason-3[J]. Remote Sensing,2019,11(13):1 573

[12] 王建波,刘莫涵,宋焕宇,等. 基于万山定标场验潮数据的HY-2B/C雷达高度计定标检验[J]. 江苏海洋大学学报(自然科学版),2023,32(3):63-70

[13] Liu S,Li Y,Sun Q,Wan J. Data Quality Assessment of Jason-3 Altimeter Data Based on Jason-2 Synchronous Da-

(下转第44页)