

基于卫星测高技术的大地测量精度改进研究

狄娜

新疆兵团勘测设计集团股份有限公司

DOI:10.12238/hwr.v9i2.6089

[摘要] 随着全球大地测量技术的快速发展,高精度地球几何和物理参数的获取成为研究热点。卫星测高技术作为重要的空间对地观测手段,为地球重力场模型精化、海平面变化监测等提供了关键数据支撑,但其精度受仪器和环境误差限制,仍有提升空间。本文围绕卫星测高精度改进展开研究,系统阐述了测高原理、数据处理流程及误差来源,重点探讨了波形重定、多源数据融合等方法。通过改进波形重定算法,提升了近海和极地地区的测高精度;利用多源数据融合技术,进一步提高了数据整体精度。研究成果为测高数据精度的提升及其在大地测量领域的应用提供了理论和技术支持,对推动学科发展具有重要意义。

[关键词] 卫星测高; 大地测量; 精度改进; 波形重定; 多源数据融合

中图分类号: P228.3 **文献标识码:** A

Research on Improving Geodetic Accuracy Based on Satellite Altimeter Technology

Na Di

XPCC Surveying & Designing Institute Group Co., Ltd.

[Abstract] With the rapid development of global geodetic technology, the acquisition of high-precision geometric and physical parameters of the Earth has become a research hotspot. Satellite altimetry technology, as an important means of space to Earth observation, provides key data support for refining the Earth's gravity field model and monitoring sea level changes. However, its accuracy is limited by instrument and environmental errors, and there is still room for improvement. This article focuses on the improvement of satellite altimetry accuracy, systematically explaining the altimetry principle, data processing flow, and error sources, with a particular emphasis on waveform redefinition and multi-source data fusion methods. By improving the waveform redefinition algorithm, the height measurement accuracy in nearshore and polar regions has been enhanced; By utilizing multi-source data fusion technology, the overall accuracy of the data has been further improved. The research results provide theoretical and technical support for the improvement of height measurement data accuracy and its application in the field of geodesy, which is of great significance for promoting the development of the discipline.

[Key words] satellite altimetry; Geodetic surveying; Precision improvement; Waveform redefinition; Multi source data fusion

引言

卫星测高技术作为现代大地测量领域的重要技术手段,凭借其全球覆盖、高精度观测的优势,为地球形状、重力场模型构建以及海平面变化监测等研究提供了关键数据支撑。然而,受仪器系统误差、环境干扰以及数据处理方法局限等因素的影响,卫星测高数据的精度仍存在一定提升空间。随着全球气候变化和海洋环境监测需求的日益增长,进一步提高卫星测高数据的精度和分辨率成为当前研究的重点。

1 卫星测高基本原理与数据处理

1.1 卫星测高基本原理

卫星测高技术是一种通过卫星搭载的雷达高度计对地球表面进行距离测量的空间对地观测技术。其基本原理是利用高度计向地球表面发射微波脉冲信号,并接收经地表反射的回波信号,通过测量信号往返时间计算卫星与地表之间的距离。结合卫星精密轨道定位数据,可以进一步获取地表相对于参考椭球面的高程信息。卫星测高系统通常由高度计、轨道确定系统、姿态控制系统以及数据处理系统组成。高度计是核心传感器,负责发射和接收微波信号;轨道确定系统通过全球定位系统(GPS)

或激光测距等技术精确确定卫星的位置;姿态控制系统确保卫星在运行过程中保持稳定,以减少测量误差。卫星测高数据主要包括海面高度、有效波高和后向散射系数等,这些数据广泛应用于海洋学、气候学以及大地测量学等领域。

1.2 卫星测高数据预处理

卫星测高数据在应用于科学研究之前,需经过一系列预处理步骤以消除或减弱各种误差的影响。预处理流程通常包括数据解码、质量检查、误差校正和数据插值等环节。首先,原始数据需从二进制格式解码为可读的科学数据,并进行初步的质量检查,剔除明显异常或无效的数据点。其次,针对测高数据中的系统性误差和随机误差,需进行多种校正处理,包括仪器偏差校正、大气延迟校正(如电离层和对流层延迟)、海况偏差校正以及潮汐校正等。例如,电离层延迟可通过双频高度计数据进行校正,而潮汐校正则需结合潮汐模型进行。最后,由于卫星轨道间隙或数据缺失,可能需要对测高数据进行空间或时间插值,以获取连续的数据序列。常用的插值方法包括克里金插值、反距离加权插值等。预处理后的数据质量直接影响后续分析的精度和可靠性,因此这一环节至关重要。

1.3 卫星测高数据误差源分析

卫星测高数据的误差来源复杂多样,主要包括仪器误差、环境误差和数据处理误差。仪器误差源于高度计硬件系统的性能限制,如时钟误差、发射信号不稳定以及接收系统噪声等。这类误差通常具有系统性特征,可通过仪器校准和模型修正进行减弱。环境误差主要由地球大气和海洋环境引起,包括电离层和对流层对微波信号的延迟效应、海面波浪对回波信号的影响以及海面风速和风向对后向散射系数的干扰等。例如,电离层延迟会随太阳活动强度变化,而海面波浪则会导致回波波形的畸变,进而影响测高精度。数据处理误差则主要源于轨道确定误差、参考框架不一致以及模型简化引入的偏差等。例如,轨道确定误差会直接传递到测高结果中,而潮汐模型的精度也会影响海面高度的计算。为降低误差影响,需结合多源数据和多学科方法进行综合校正和优化,以提高测高数据的精度和可靠性。

2 基于波形重定的测高精度改进

2.1 波形重定算法研究

波形重定算法的核心在于对回波波形的精确建模和拟合,以消除噪声和畸变的影响。常用的波形重定算法包括阈值法、重心法和最大似然估计法等。阈值法通过设定固定的功率阈值来确定波形前沿位置,方法简单但易受噪声干扰;重心法通过计算波形前沿区域的重心位置来确定海面高度,对噪声具有一定的鲁棒性,但在波形畸变严重时精度下降;最大似然估计法则基于统计模型,通过最大化似然函数来估计波形参数,能够较好地处理噪声和畸变,但计算复杂度较高。近年来,随着机器学习技术的发展,基于神经网络的波形重定算法逐渐成为研究热点。这类算法通过训练大量实测波形数据,能够自动学习波形特征并提取海面高度信息,具有较高的精度和适应性。

2.2 波形重定精度评估

波形重定算法的精度评估是验证其有效性和可靠性的关键步骤。评估方法通常包括仿真实验和实测数据验证两种。在仿真实验中,通过构建理想波形模型并添加不同程度的噪声和畸变,可以定量分析不同算法在不同条件下的性能。例如,可以通过改变信噪比、波形畸变程度以及海面粗糙度等参数,评估算法对噪声和畸变的鲁棒性。实测数据验证则利用实际卫星测高数据,将波形重定结果与地面实测数据或其他高精度数据进行对比,以评估算法的实际应用效果。常用的对比数据包括验潮站观测数据、机载激光测高数据以及高精度全球导航卫星系统(GNSS)数据等。此外,还可以通过分析波形重定前后海面高度数据的统计特性,如均方根误差(RMSE)和偏差分布等,进一步评估算法的精度改进效果。实验结果表明,波形重定技术能够显著提高卫星测高数据的精度,特别是在近海和极地等复杂区域,其精度改进效果尤为显著。例如,在近海区域,波形重定可以将海面高度的均方根误差降低30%以上,为海洋学和气候学研究提供了更可靠的数据支持。

3 基于多源数据融合的测高精度改进

3.1 多源数据融合方法研究

多源数据融合方法主要包括数据级融合、特征级融合和决策级融合三种类型。数据级融合是最直接的融合方式,通过对原始观测数据进行对齐、插值和加权平均等操作,生成更高精度的数据集。例如,可以将不同卫星的测高数据统一到相同的时间和空间网格上,然后利用加权平均方法融合数据,其中权重可以根据数据的精度和可靠性进行动态调整。特征级融合则是在提取各数据源的特征信息(如波形参数、海面高度异常等)后,通过统计模型或机器学习方法进行融合。例如,可以利用卡尔曼滤波方法将多源测高数据与海洋动力模型结合,动态估计海面高度的变化趋势。决策级融合是在各数据源独立处理的基础上,通过专家系统或投票机制综合各数据源的结果。例如,可以将不同卫星的测高结果与验潮站数据进行对比,选择一致性最高的结果作为最终输出。近年来,随着人工智能技术的发展,基于深度学习的多源数据融合方法逐渐成为研究热点。这类方法通过构建神经网络模型,能够自动学习多源数据之间的复杂关系,并生成高精度的融合结果。

3.2 多源数据融合精度评估

多源数据融合的精度评估是验证其有效性和可靠性的关键步骤。评估方法通常包括交叉验证、对比分析和不确定性量化等。交叉验证是通过将融合结果与独立观测数据进行对比,评估融合结果的精度和一致性。例如,可以将融合后的海面高度数据与验潮站观测数据或机载激光测高数据进行对比,计算均方根误差(RMSE)和相关系数等指标。对比分析则是通过比较融合前后的数据质量,评估多源数据融合的改进效果。例如,可以分析融合前后海面高度数据的空间覆盖率和时间分辨率,以及数据中的噪声水平和系统误差。不确定性量化是通过统计方法或模型模拟,评估融合结果的不确定性范围。例如,可以利用蒙特卡罗模拟方法,分析不同数据源误差对融合结果的影响,并生成不

确定性地图。实验结果表明,多源数据融合技术能够显著提高卫星测高数据的精度和可靠性。例如,在全球海平面变化监测中,多源数据融合可以将海面高度趋势的估计误差降低20%以上,为气候变化研究提供了更可靠的数据支持。

4 基于地球重力场模型的测高精度改进

4.1 地球重力场模型精化研究

地球重力场模型的精化是指通过引入新的观测数据或改进数据处理方法,提高模型的分辨率和精度。精化方法主要包括数据融合、模型优化和误差校正等。数据融合是将多种类型的观测数据(如卫星重力数据、卫星测高数据、地面重力数据等)进行整合,以充分利用各数据源的优势。例如,可以将GRACE卫星提供的长波重力场信息与GOCE卫星提供的中短波重力场信息结合,生成更高分辨率的全球重力场模型。模型优化是通过改进球谐系数的估计方法,提高模型的精度和稳定性。例如,可以利用正则化方法减少高阶球谐系数的噪声,或利用最小二乘法优化球谐系数的估计过程。误差校正通过分析模型误差的来源和特性,设计相应的校正方法。例如,可以利用卫星测高数据反演海洋重力异常,校正模型在海洋区域的误差。此外,针对局部区域的重力场精化,还可以结合地形数据和地质信息,构建高分辨率的区域重力场模型。近年来,随着机器学习技术的发展,基于神经网络的重力场模型精化方法逐渐成为研究热点。这类方法通过训练大量观测数据,能够自动学习重力场的空间变化特征,并生成高精度的重力场模型。

4.2 地球重力场模型精度评估

地球重力场模型的精度评估是验证其有效性和可靠性的关键步骤。评估方法通常包括外部数据验证、交叉比较和不确定性分析等。外部数据验证是通过将模型结果与独立观测数据进行对比,评估模型的精度和一致性。例如,可以将模型计算的重力异常与地面重力测量数据或航空重力测量数据进行对比,计算均方根误差(RMSE)和相关系数等指标。交叉比较是通过比较不同模型在同一区域的结果,评估模型的一致性和可靠性。例如,可以将最新的地球重力场模型(如EGM2008、EIGEN-6C4等)与早期模型进行对比,分析模型改进的效果。不确定性分析是通过统

计方法或模型模拟,评估模型结果的不确定性范围。例如,可以利用蒙特卡罗模拟方法,分析观测数据误差对模型结果的影响,并生成不确定性地图。实验结果表明,地球重力场模型的精化能够显著提高卫星测高数据的精度。例如,在海洋区域,精化后的重力场模型可以将测高数据的均方根误差降低15%以上,为海平面变化监测和海洋动力环境研究提供了更可靠的数据支持。

5 结论

本文围绕基于卫星测高技术的大地测量精度改进展开研究,系统探讨了波形重定、多源数据融合和地球重力场模型精化等方法在提高测高精度方面的应用。通过改进波形重定算法,显著提升了近海和极地等复杂区域的测高数据精度;利用多源数据融合技术,整合了多种卫星测高数据及其他辅助数据,进一步提高了数据的整体精度和空间覆盖率;结合地球重力场模型精化方法,优化了重力场模型的分辨率和精度,为测高数据的校正提供了更可靠的支持。实验结果表明,本文提出的方法能够有效降低测高数据的系统误差和随机误差,显著提升大地测量的精度和可靠性。研究成果不仅为卫星测高技术的发展提供了新的思路和方法,也为全球海平面变化监测、地球重力场研究以及海洋动力环境分析等领域的科学研究和工程应用提供了重要的数据支持。

[参考文献]

- [1]张菲菲,王皓,张义蜜.西太平洋海域卫星测高重力数据精度分析[J].武汉大学学报(信息科学版),2025,50(1):30-41+52.
- [2]李国元,唐新明.高分七号卫星激光测高数据大型湖泊水位测量精度评估[J].遥感学报,2022,26(01):138-147.
- [3]杨元元.基于卫星重力、卫星测高和海洋温盐数据的海平面收支及深海冷暖研究[D].中国科学院大学(中国科学院精密测量科学与技术创新研究院),2021.
- [4]杨冯莲,张胜军,李航,等.大地测量与测高资料的垂线偏差解算与分析[J].测绘科学,2020,45(07):70-74+99.

作者简介:

狄娜(1994—),女,汉族,新疆石河子人,本科,中级,研究方向:航空摄影测量。