

引文格式:张胜军.利用多源卫星测高资料确定海洋重力异常的研究[J].测绘学报,2017,46(8):1071. DOI:10.11947/j. AGCS. 2017.20170187.
ZHANG Shengjun,Research on Determination of Marine Gravity Anomalies from Multi-satellite Altimeter Data[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,2017,46(8):1071. DOI:10.11947/j. AGCS.2017.20170187.

利用多源卫星测高资料确定海洋重力异常的研究

张胜军

东北大学资源与土木工程学院,辽宁 沈阳 110819

Research on Determination of Marine Gravity Anomalies from Multi-satellite Altimeter Data

ZHANG Shengjun

School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110819, China

海洋重力场探测是人类认知海洋的重要组成部分,相关探测信息广泛应用于地球重力场模型构建、海底地形反演、油气资源勘探等领域。传统的海洋重力场探测手段依托于海底布设或舰船搭载的测量仪器,受限于测量成本高、周期长、数据稀疏、重复性差等缺点,无法实现快速获取全球尺度的海洋重力场信息。自 20 世纪 70 年代卫星测高技术出现以来,时空尺度上的优势促使其成为海洋重力场恢复的主要数据源。尽管理论方法相对成熟,但如何进一步提升海洋重力场的反演精度和分辨率仍是卫星测高应用研究的热点和难点。此外,近年来国际上实施的测高卫星通过轨道调整、改进测量模式以及提升脉冲信号工作波段的方式,兼顾精度和分辨率两方面因素补充了新的高质量测高资料,为探测更加精细的海洋重力场结构提供了契机。

论文联合 Geosat、ERS-1、ERS-2、Envisat、T/P、Jason-1、CryoSat-2 和 SARAL/AltiKa 等多颗测高卫星波形资料获取垂线偏差信息,反演了全球南北纬 85 度之间海域 $1' \times 1'$ 格网分辨率的重力异常。主要研究内容和结果如下:

(1) 基于卫星测高波形重跟踪理论完成了 OCOG 算法、Davis 阈值法、改进阈值法、 β 参数拟合法和加权最小二乘两步拟合法的算法实现,实际算例分析表明:①除 OCOG 外其余算法重跟踪改正值序列间的相关系数均在 0.91 以上,验证了不同算法的有效性;②各种重跟踪算法改正后的海面高交叉点不符值统计表明,重跟踪后的不符值均方根减小 4 cm 以上,除 OCOG 外不同算法的改进效果均非常显著且差异很小;③基于重跟踪改正后的沿轨标准差统计结果,加权最小二乘两步拟合法的改正值更加有效地降低了噪声水平,优于其他算法的结果 2 cm 以上。根据不同测高任务的加权最小二乘两步拟合法改正结果进行沿轨标准差分析,SARAL/AltiKa 数据重跟踪后的精度水平优于 3 cm,显著高于其他测高任务。

(2) 分析了两种计算沿轨垂线偏差方法的差异,一是沿轨大地水准面梯度计算沿轨垂线偏差;二是采用测高卫星地面轨迹处的位置和速度近似公式和沿轨观测值一次差分计算沿轨垂线偏差。基于 Jason-1 GM 数据进行了分析,结果表明两者的计算差异均方根约为 $0.02 \mu\text{rad}$,极少数差异大于 $0.1 \mu\text{rad}$,通常位于岛屿周边海域,主要原因是观测数据缺失导致第一种方法计算涉及的沿轨球面距离的计算精度下降。此外,在海面高观测数据中模拟加入标准差不同的随机噪声,分析了沿轨垂线偏差计算精度的变化,结果表明计算精度随噪声标准差的增加而呈现规律性地下降趋势,近似满足线性关系。

(3) 分析了不同测高误差源的改正项对于沿轨垂线偏差计算的影响量级。尽管仪器误差、干对流层延迟、固体地球潮和极潮改正自身量级差别较大,但其沿轨的规

律变化对于沿轨垂线偏差计算的影响很小;湿对流层延迟、电离层延迟、海况偏差、海潮以及大气负荷效应等对于沿轨垂线偏差计算的影响显著。在对比分析的基础上,海面高观测值优先考虑添加微波辐射计提供的湿对流层延迟改正、CSR4.0 海潮模型改正、大气逆压改正以及沿轨噪声平滑处理后的双频电离层延迟改正值和海况偏差校正项;针对单频高度计的观测值,则采用数据产品提供的模型电离层延迟改正,无需平滑处理。

(4) 基于直接平均和距离加权两种方法,将初始采样频率为 20 Hz 的 Jason-1 GM 数据重采样为 10、5、2 Hz 和 1 Hz,并将 1 Hz 校正项分别插值至相应重采样频率的观测值。通过统计交叉点处海面高的不符值评定重采样结果,计算方法和校正项插值引起的差异很小,可以忽略不计,而沿轨 5 Hz 的重采样频率能够最为高效地抑制原始采样率数据包含的随机噪声。为了抑制初始密集波形中高频噪声的影响,根据 0.5 增益值对应 6.7 km 波长的设计准则,10、20 Hz 和 40 Hz 的测高资料重采样时使用长度分别为 49、99 和 199 的 FIR 滤波器。

(5) 联合多星测高资料反演得到了中国近海及邻近海域($100^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}$, $0^{\circ} \sim 40^{\circ}\text{N}$) $1' \times 1'$ 分辨率的海洋重力异常。采用 DTU10、DTU13、V23.1 和 NGDC 船测数据检核,表明反演模型与 DTU13 和 V23.1 模型的精度水平相当,优于 EGM2008 和 DTU10 模型,且开阔海域反演精度优于近岸浅水区 2 mGal 左右。对比 GOCO03S、EIGEN6C4、GECO 和 EGM2008 模型分别作为移去恢复过程的参考场,结果表明采用高阶重力场模型反演的精度更高,高阶模型间优先选用 EGM2008 或 EIGEN6C4。在此基础上,论文依托 EGM2008 作为参考场最终反演了 $1' \times 1'$ 分辨率的全球海洋重力场。在全球范围内,与 DTU10、DTU13 和 V23.1 模型检核的格网点差值均方根分别为 3.45 mGal、3.37 mGal 和 1.84 mGal;示例海域内模型检核的均方根范围为 1.7 mGal~3.6 mGal,NGDC 船测数据检核的均方根大约为 4 mGal。

中图分类号:P228.3 文献标识码:D
文章编号:1001-1595(2017)08-1071-01
基金项目:国家自然科学基金(41210006,41304003)

收稿日期:2017-04-13
作者简介:张胜军(1987—),男,2016 年 6 月毕业于武汉大学,获工学博士学位(指导教师:李建成教授),研究方向为卫星大地测量。
Author: ZHANG Shengjun (1987—), male, received his doctoral degree from Wuhan University on June 2016, majors in satellite geodesy.
E-mail: zhangshengjun@whu.edu.cn