

引文格式:刘焕玲.基于 Torus 的 GOCE 卫星重力场确定的方法研究[J].测绘学报,2018,47(9):1292. DOI:10.11947/j. AGCS. 2018.20170528.

LIU Huanling. Study of Determining the GOCE Satellite Gravity Field Based on Torus Approach[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2018, 47(9): 1292. DOI: 10.11947/j. AGCS. 2018. 20170528.

基于 Torus 的 GOCE 卫星重力场确定的方法研究

刘焕玲

中国测绘科学研究院地理空间信息工程国家测绘地理信息局重点实验室,北京 100830

Study of Determining the GOCE Satellite Gravity Field Based on Torus Approach

LIU Huanling

Key Laboratory of Geo-informatics of SBSM, Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830, China

确定高精度高分辨率地球重力场模型是现代大地测量学的主要科学目标之一,对大地测量学、固体地球物理、海洋学等学科的研究和应用具有重要意义。目前利用 GOCE 卫星引力梯度数据解算卫星重力场模型的方法有直接法、时域法、空域法、张量不变量方法、Torus 方法等,其中 Torus 方法还未应用到 GOCE 的实测数据处理中,该方法同时用到 2D-FFT 技术和块对角最小二乘法,可基于海量观测数据快速确定高阶重力场模型。本文深入研究了基于 Torus 方法确定 GOCE 卫星重力场模型的理论和方法,主要研究内容及成果如下:

(1) 深入研究了 Torus 方法的基本原理及与其相关的理论与方法。推导了利用顾及相移的 2D-FFT 技术实现 Torus 面上观测值的球谐综合与球谐分析的实用公式,并研究了其实现的方法及块对角最小二乘法。

(2) 研究了引力梯度观测值由实测轨道归算至名义轨道的方法,推导了泰勒级数展开式中引力梯度观测值对向径和倾角的一阶、二阶导数的表达式,数值分析表明采用移去一恢复法的迭代策略,利用该策略可以减弱归算误差及参考模型的影响。

(3) 深入研究了卫星名义轨道的确定方法,重点研究了四元数、卫星位置和速度的内插方法。结果表明,三次样条法对卫星位置、速度进行内插的精度最高,误差分别为 mm、um/s 量级。

(4) 利用模拟数据深入分析了基于 Torus 方法利用卫星引力梯度数据确定卫星重力场模型的可行性和有效性。数值结果说明,迭代技术可削弱格网化误差和参考模型的影响;基于包含 $5 \text{ mE}/\text{Hz}^{1/2}$ 白噪声的沿轨卫星引力梯度模拟数据由 Torus 方法反演了 200 阶次重力场模型,其精度略低于直接法的精度,但由于采用了 2D-FFT 技术和块对角最小二乘法,计算效率远高于直接法。

(5) 细致研究了 GOCE 卫星引力梯度观测值中低精度分量和低频有色噪声的处理策略。采用模型模拟值代替低精度分量 V_{xy} 和 V_{yz} ,以减弱低精度分量在坐标系转换中对高精度分量的影响。提出采用 Butterworth 零相

移滤波方法加移去一恢复技术的思路,实测数据的处理效果验证了该方法的有效性。

(6) 利用 71 天的 GOCE 实测卫星引力梯度数据,解算了 200 阶 GOCE 卫星重力场模型 GOCE_Torus 0。利用 GPS/水准数据对模型精度进行检核的结果显示,GOCE_Torus 0 与 ESA 发布的第一代模型的精度相当。相比 EGM2008,GOCE_Torus 0 模型在美国区域精度相当,在中国区域的精度提高明显,体现了 GOCE 卫星对构建 EGM2008 模型时重力数据稀疏区的贡献。

(7) 利用 2009 年 11 月—2011 年 8 月的 GOCE 卫星引力梯度数据解算了 200 阶 GOCE 卫星重力场模型 GOCE_Torus 1 和 220 阶的 GOCE_Torus 2。利用中国和美国的 GPS/水准数据进行外部检核,结果表明 Torus 方法的解算模型与直接解模型 GOSG01C 及 ESA 发布的同期模型的精度相当。在中国地区,若用 EGM2008 补充高于 200 阶次以上截断信号的情况下,模型 GOCE_Torus 1 的精度比 EGM 2008 提高了 5.8 cm。相比 EIGEN-6C4,模型 GOCE_Torus 2 的大地水准面阶误差和累积误差分别为 1.51 cm 和 8.21 cm。

中图分类号:P228 文献标识码:D

文章编号:1001-1595(2018)09-1292-01

基金项目:民用航天预先研究项目(重力梯度测量卫星系统技术);高分遥感测绘应用示范系统(1期);青年科学基金(41404014);高分辨率对地观测系统重大专项支持项目;中国测绘科学研究院基本科研业务费(7771811)

收稿日期:2017-10-16

作者简介:刘焕玲(1986—),女,博士,2017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,武汉江研究员),研究方向为卫星重力学。

Author: LIU Huanling(1986—), female, doctor, received her doctoral degree from Wuhan University on June 2017, majors in satellite gravimetry.

E-mail: liuhuanling1986@126.com