

文章编号:1001-1595(2011)04-0535-01

## 基于 GOCE 卫星重力测量技术确定地球重力场的研究

钟波<sup>1,2</sup>

1. 武汉大学 测绘学院,湖北 武汉 430079; 2. 武汉大学 地球空间环境与大地测量教育部重点实验室,湖北 武汉 430079

### Study on Determination of the Earth's Gravity Field from Satellite Gravimetry Mission GOCE ZHONG Bo<sup>1,2</sup>

1. School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China; 2. Key Laboratory of Geospace Environment and Geodesy, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan 430079, China

随着 GOCE 卫星的成功发射,围绕 GOCE 数据处理和应用研究已成为目前地学研究的热点问题之一。本文研究基于 GOCE 卫星重力测量技术确定地球重力场的理论和方法,研制相应的数据处理软件包与仿真模拟平台。论文的主要工作如下:

(1) 研究基于高低卫-卫跟踪技术(SST-hl)确定地球重力场的加速度法原理和实用解算模型,在分析卫星加速度误差的有色噪声特性基础上,提出采用去相关滤波抑制卫星加速度的高频误差,并构造了基于三点差分的白化滤波器和 ARMA 模型的白化滤波器。采用不同噪声背景的 GOCE 模拟轨道进行解算,结果表明去相关滤波法比传统等权方法求解的重力场模型精度高。

(2) 推导基于卫星瞬时加速度或均值加速度同时求解加速度计参数和重力场位系数的平差模型,提出一整套利用加速度法恢复重力场的数据处理方案及流程。采用 46 d 的 CHAMP 数据恢复了 60 阶次的重力场模型 WHUCHAMP-ACC60KP 和 WHUCHAMP-ACC60KA,结果表明两个模型的精度相当,并且优于 EIGEN-1S 模型,与 EIGEN-2 模型精度接近,验证了加速度法的有效性。基于加速度法提出利用抗差估计控制粗差或异常值对重力场解算结果的影响,以 98 d 的 CHAMP 数据为例,采用 IGG3 等价权迭代解算了 70 阶次的重力场模型 WHUCHAMP-ACC70K,其精度优于 EIGEN-1S 和 EIGEN-2 模型,验证抗差估计的有效性。

(3) 讨论 GOCE 重力场严密求解的空域最小二乘法原理和实用解算模型,模拟研究病态法方程的 Tikhonov 正则化方法,结果表明一次 Tikhonov 正则化(FOT)和 Kaula 正则化矩阵的实际处理效果差别较小,两者均能达到稳定求解的目的。设计了 GOCE 重力梯度测量有色噪声的 AR 时域去相关滤波器,数值模拟结果表明该滤波器实用有效。

(4) 研究并完善基于球谐分析方法确定 GOCE 重力场模型的数据处理方案,给出球谐分析方法恢复地球重力场所涉及的数据归算、格网化和极空白(PG)等关键问题的解决途径,设计与实现了 GOCE 沿轨重力梯度测量有色噪声的 Wiener 滤波预处理方法,并通过数值模拟对其有效性进行了验证。

(5) 基于时域最小二乘误差分析方法,设计卫星重力梯度测量(SGG)关键技术指标仿真分析的计算方案与流程。模拟分析轨道高度、倾角、采样间隔、时间跨度、重力梯度测量精度等指标参数,以及不同梯度分量组合与重

力场恢复精度的响应关系,研究结果可为重力梯度卫星关键技术指标的设计与论证提供参考。

(6) 推导 SST-hl 和 SGG 两类观测值的最小二乘联合平差模型,探讨观测值最优加权的方差分量估计(VCE)和参数协方差方法(PCA)。基于加速度法和空域最小二乘法,采用 30 d、5 s 采样的 GOCE 模拟轨道和 SGG( $V_{xx}, V_{yy}, V_{zz}$ )数据联合求解 200 阶次的重力场模型,结果表明:① 等权求解并不能得到最优结果,VCE 和 PCA 方法得到的加权因子与理论最优值存在一定的偏差,但 VCE 优于 PCA 方法;② 在纬度  $\pm 83^\circ$  范围内,SGG( $V_{xx}, V_{yy}, V_{zz}$ )与 SST-hl 最优联合解算模型的大地水准面和重力异常精度分别为 3.81 cm 和 1.056 mGal ( $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ ),它比仅采用  $V_{zz}$  分量与 SST-hl 最优联合求解模型的大地水准面和重力异常精度分别提高 1.0 cm 和 0.280 mGal。

(7) 研究卫星重力边值问题的随机边值解法,导出球近似下以 GOCE 轨道面扰动位  $T$  和径向重力梯度  $T_r$  为边界条件的超定边值问题随机边值解。同时,以地面重力异常  $\Delta g$  为约束边界条件,导出了以轨道面和地面边界条件组成的二界面超定边值问题的随机边值解。

(8) 从最小二乘谱组合的基本原理出发,推导多种重力观测数据联合处理的谱权及其谱组合的一般公式。基于球谐分析方法推导出 GOCE 轨道面扰动位  $T$  和径向重力梯度  $T_r$  谱组合对应的谱权函数,理论上证明谱组合方法与卫星重力边值问题随机边值解法的等价性。

(9) 自主研发了 GOCE 卫星重力测量数据处理软件包与仿真模拟平台,为卫星重力梯度测量技术仿真和 GOCE 实测数据处理提供了试验平台。

中图分类号:P223

文献标识码:D

基金项目:国家自然科学基金(40874002);国家 863 计划项目(2008AA12Z105);教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-07-0635)

收稿日期:2011-04-28

作者简介:钟波(1980—),男,2010 年 6 月获武汉大学测绘学院大地测量学与测量工程专业博士学位(指导教师:宁津生院士,罗志才教授),研究方向为卫星重力学。

Author: ZHONG Bo(1980—), male, PhD in Geodesy and Surveying Engineering, School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, majors in satellite gravimetry.

E-mail: bzhong@sgg.whu.edu.cn