

文章编号: 1001-1595(2010)02-0220-01

## 卫星重力梯度数据处理理论与方法

吴 星<sup>1,2</sup>

1. 信息工程大学 测绘学院, 郑州 450052; 2. 北京特种工程设计研究院, 北京 100028

### Theory and Methods of Satellite Gradiometry Data Processing

WU Xing<sup>1,2</sup>

1. Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, Zhengzhou 450052, China; 2. Beijing Special Type Engineering Design and Research Institute, Beijing 100028, China

选择卫星重力梯度数据处理中起主导作用的调和分析方法, 结合 GOCE 卫星任务的基本特性, 系统地研究利用卫星重力梯度观测数据恢复重力场模型的理论及相应数据处理软件。论文的主要工作和创新点有:

1. 深入系统地研究地球引力位、引力矢量和引力张量的球谐展开表示、轨道根数表示以及统一谱表示; 建立卫星重力梯度观测的轨道面观测方程和球面观测方程; 详细推导卫星重力梯度张量的球面调和分析和球谐综合公式, 拓展了传统的球面调和分析和球谐综合公式, 推导广义球谐函数及其相关积分的非奇异计算公式。数值试验证明本文的球谐综合算法完全满足当前卫星重力测量数据的精度要求; 基于传统的单定球面调和分析方法的数值试验发现平滑因子不能准确选定是离散数据反演的固有问题, 即由离散数据恢复重力场问题还没有得到彻底解决。

2. 针对重力梯度张量径向分量和水平复数分量, 研究球面数据到轮胎面的映射关系, 轮胎面上二维傅里叶分析与球面广义调和转换关系, 得到能够处理重力矢量、重力梯度张量数据的广义轮胎调和分析方法, 进一步完善地球重力场轮胎调和分析方法。试验结果表明, 基于卫星重力梯度张量数据, 广义轮胎调和计算精度和计算速度明显优于传统的调和计算方法。

3. 首次提出并建立基于卫星重力梯度张量的点质量调和分析方法, 进一步完善大地重力学中的点质量模型理论。巧妙运用球极坐标系关于计算点和流动点的微分运算关系, 建立基于重力梯度张量的全球点质量模型, 提出使用分块循环矩阵分解大型线性方程组的方法, 解决全球点质量模型构建中大型线性方程组的稳定解算瓶颈问题, 给出了最小二乘解。通过点质量的球谐展开, 得到点质量调和实用公式, 提出分频段点质量调和计算方法。提出线质量调和计算方法, 有效克服了单层点质量调和方法和分频段点质量调和计算方法的不足。点质量调和计算方法正是利用了点质量法隐含对场元界面离散观测数据做自然内插的优越特性, 消除了常用的调和计算方法的数据离散化误差, 绕开了传统调和计算方法中平滑因子不能准确选定的问题。数值验证表明, 点质量调和计算方法较传统的调和计算方法精度更高, 线质量调和计算结果略优于点质量调和计算结果。

4. 研究并完善基于重力梯度张量的最小二乘复数配置调和计算方法。完整的给出重力梯度张量之间的协方差函数, 重力梯度张量与引力位系数之间的协方差函数;

在复数配置的基础上, 建立基于重力梯度张量的最小二乘矢量、张量配置调和计算方法。研究表明: ① 在重力梯度数据满足一定条件(等经差格网分布以及同纬度带具有相同误差)的情况下, 其协方差子矩阵是循环矩阵, 并可利用傅里叶变换阵将其化算为对角阵, 降低矩阵求逆的维数, 从而提高计算结果的稳定性和可靠性; ④ 最小二乘矢量、最小二乘张量配置调和计算方法的协方差矩阵相当于单个分量配置协方差矩阵相加, 从而增加观测数据类型, 不增加矢量、张量配置协方差矩阵的维数, 并且能够有效解决重力梯度全张量的超定边值问题解算; ④ 模拟试算结果表明, 基于卫星重力梯度的最小二乘配置调和计算结果略优于广义轮胎调和计算结果。

5. 深入研究利用重力梯度张量不变量来恢复重力场的理论与方法, 减小计算结果受卫星姿态的影响。首先建立在卫星轨道面上的不变量观测方程, 得到引力梯度张量不变量的一般线性化模型; 进一步得到球近似和顾及  $J_2$  项影响的观测模型。误差分析表明, 重力梯度观测误差在不变量的计算中并没有得到放大; 不变量法能有效克服非全张量观测的不足。运用广义轮胎调和计算方法进行模拟试验的结果表明, 线性化过程中, 采用精度较高的参考重力场能够得到更高精度的解, 顾及  $J_2$  项影响的调和计算解比球近似解的精度更高。在卫星姿态控制不理想的情况下, 采用重力梯度不变量恢复地球重力场更具优势。

6. 根据本文所研究的方法独立自主的编制了一套卫星重力梯度数据处理的原型软件代码, 为实测重力梯度数据处理提供了基本算法和实验平台。

中图分类号: P 223

文献标识码: D

基金项目: 国家自然科学基金(40774031), 全国优秀博士学位论文专项基金(200344), 信息工程大学博士生创新基金(200707), 中国科学院动力大地测量学重点实验室开放基金(L06-06)。

收稿日期: 2010-01-14

作者简介: 吴星(1979—), 2009年12月获信息工程大学测绘学院大地测量学与测量工程专业博士(指导教师: 张传定教授), 研究方向为物理大地测量学。

Author: WU Xing(1979—), PhD in Geodesy and Surveying Engineering, Institute of Surveying and Mapping, Information Engineering University, majors in satellite gravity.

E-mail: wuxing1979@163.com