

翟丽娜, 刘华建, 黄江培, 等. 2025. 辽宁地区时变重力场源变化数据质量评价[J]. 地震研究, 48(4): 658–664, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0067.

Zhai L N, Liu H J, Huang J P, et al. 2025. Evaluation of the data quality of the time-varying gravity field source in Liaoning[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(4): 658–664, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0067.

辽宁地区时变重力场源变化数据质量评价*

翟丽娜^{1,2}, 刘华建^{3♣}, 黄江培⁴, 李彤霞¹, 杨牧萍¹, 李宇彤¹, 底欣欣¹

(1. 辽宁省地震局, 辽宁 沈阳 110034; 2. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 110000;
3. 辽宁省矿产勘查总院, 辽宁 沈阳 110034; 4. 云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 针对流动重力观测过程中存在的仪器不确定性导致观测数据质量的问题, 收集 2015—2018 年辽宁地区的 6 期时变重力观测数据, 分别采用贝叶斯分析方法和经典最小二乘平差方法, 计算相对重力仪的漂移率和格值系数, 对重力观测数据进行精度分析; 使用 2021 年 5 月—2022 年 5 月重力数据分析辽宁地区地下介质活动性。结果表明: 经典平差方法和贝叶斯平差方法对于拉科斯特型号重力仪器漂移率解算结果是一致的, 贝叶斯方法可有效抑制仪器误差; 辽宁地区重力测网多年测量结果满足地震重力分析需求。辽宁地区整体重力变化较为平稳, 表明地下介质活动较弱, 断裂活动稳定。重力变化起伏较大的区域 4 级地震较为频繁。

关键词: 重力监测; 地壳形变; 贝叶斯重力平差; 时变重力信号

中图分类号: P312.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2025)04-0658-07

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0067

0 引言

地震、地下水、火山活动及各种构造运动和地壳垂直变形等地球动力学过程, 都会引起一定程度的地球重力场时空变化。高精度时变微重力监测手段常用于观测火山活动期间岩浆的运动 (Michel *et al.*, 2017)、地下水储量变化 (Heck, Seitz, 2007)、油气库含水层 (Tooseh *et al.*, 2017) 及地震危险性分析 (申重阳等, 2015; 祝意青等, 2020; 陈兆辉等, 2019)。与卫星重力 (Meyer *et al.*, 2019) 和海洋重力测量 (Chen *et al.*, 2019a) 相比, 高精度的地表重力重复观测具有距离地壳内部场源近、观测位置可重复性强、观测仪器精度高等特点, 适用于监测与地壳内部

场源直接相关的微重力信号。

陆地重力观测采用的弹簧重力仪零漂特性和格值系数是观测仪器的不确定性的主要来源。现阶段, 国内外陆地重力观测的主流设备以 Lacoste & Romberg 型、CG5 型和 Burris 型弹簧重力仪为主, 其非线性漂移明显 (Chen *et al.*, 2019b; 黄江培等, 2023)。对于较大空间尺度和较长野外作业时间的重力观测, 弹簧型重力仪非线性漂移信号的估计是提高重力信号解算精度的关键。Chen 等 (2019b) 提出了一种用于陆地高精度微重力观测的贝叶斯平差方法, 该方法可以对多仪器联合观测自动定权、自适应量化重力仪非线性漂移观测误差; 王林海和陈石 (2021) 在此基础上将仪器格值系数也作为超参数进行解算, 这些数据分析的引入共同为提高重力平差计算的精度

* 收稿日期: 2024-10-31.

基金项目: 中国地震局震情跟踪面上任务 (2024020203, CEA-ZQGZ-20252005); 中国地震局震情跟踪青年任务 (2023010202); 云南省地震局地震科技专项 (2024ZX03).

第一作者简介: 翟丽娜 (1986-), 高级工程师, 主要从事重力学与地球动力学等方面研究.

E-mail: 529436296@qq.com.

♣通信作者简介: 刘华建 (1987-), 高级工程师, 主要从事地球物理勘查与管线网络探测方面研究.

E-mail: 290208518@qq.com.

提供了一种新的解决方案。

1860年以来,辽宁至环渤海地区发生18次6级以上地震,且呈现较好的丛集性,但从1977年5月12日6.2级地震发生后至今6级地震平静已经超过47年,超过历史最高平静期29年。现阶段环渤海地区地震活动频发,辽宁至环渤海地区存在发生6级地震的强震构造背景。因此,在辽宁地区开展高精度的时变重力观测工作,对识别潜在强震风险源和研究强震孕育全周期过程的微重力时空变化特征,具有重要意义。本文以2015—2018年辽宁地区的时变重力观测数据资料为基础,采用经典最小二乘和贝叶斯平差方法,对研究区重力观测数据进行精度分析,提出通过重力段差、残差评定重力观测资料的精度指标方案。基于此,对2021年5月—2022年5月的研究区时变重力监测数据进行跟踪分析,对后续研究区地震危险性进行分析研判,解释重力场变化与场源介质属性之间的关系。

1 辽宁地区流动重力测网及数据选取

时变重力观测网可获取空间高分辨率的重力场信息,有效监测地震重点危险区地球物理场的动态变化特征,以识别区域潜在强震风险源,已在青藏高原中强地震、川滇地区危险性判定等地震活动中长期危险区预测和地球科学研究中发挥了重要的作用(祝意青等,2017;陈兆辉等,2019;翟丽娜等,2020)。

辽宁地区位于中国大陆东北部,南面渤海,东接朝鲜,处于太平洋板块和欧亚大陆板块交会的复杂地段;该区域被郯城—庐江断裂带(以下简称“郯庐断裂带”)自北向南贯穿而过,属于郯庐断裂带的中北段,区域构造块体分为郯庐断裂带、华北地台和蒙古—兴安造山带。

辽宁地区流动重力观测工作自1991年持续至今,一般每年5月和9月进行2期重复观测。2018年以前研究区内有101个测点和111个测段;由于全国重力区域测网进行改造,自2018年5月后调整为69个测点、84个测段,其中有3个绝对重力基准点;2023年再次进行调整,由1年2期观测改为1年1期,并且东北地区2023年站网规划暂停流动重力数据观测,一直以来辽宁重

力测网与周边省份重力测网是相联的。调整后,辽宁地区的重力观测网共有105个测点和147个测段,1年1期观测,采用2台拉科斯特G型重力仪同时同址进行复测,测网范围涵盖辽宁全省及其与吉林、内蒙、河北交界的部分城市。测网内有沈阳、朝阳、金州3个绝对重力基准点,平均2年重复观测1次,精度优于 $5 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。经过重力站网的不断升级、改造和统一调整后,现阶段研究区已形成重力观测点分布均匀、绝对基准控制的高质量陆面时变重力观测系统,并基本覆盖辽宁及周边地区主要的构造和断裂带。

2013年1月23日辽宁灯塔5.1级地震发生后,辽宁地区重力场发生局部地下介质运移的调整变化(贾晓东等,2021),震后影响整体效应变化基本在2014年结束,因此本文选用2015年以后的观测数据作为基准。重力观测数据精度分析使用2015—2018年共6期的时变重力观测数据。2021—2022年辽宁及周边海域地区 $M_L 4$ 地震开始有所活跃,研究区出现大范围重力场变化和正负完全反转现象,对该时段的重力资料分析可对后续地下介质运移及地震预测分析提供数据支撑。而由于全国重力站网工作的调整,2023年辽宁地区未进行重力资料观测。因此,本文选取2021年5月—2022年5月时变重力数据分析区域地震危险性。

2 贝叶斯重力平差模型

流动重力数据处理主要以经典最小二乘平差为主,为减小观测中相对重力仪的不确定性,根据Chen等(2019b)和王林海等(2020)针对重力数据处理时提出的将仪器的格值系数作为未知数进行求解以提高流动重力数据的自治性和平差精度的方法,首先将仪器漂移率和格值系数作为超参数,根据贝叶斯方法原理、ABIC准则估计出参数最优值,进而得到平差重力点值和每台仪器的估计漂移率和格值系数,模型基本方程如下:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{D} \\ \mathbf{G} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{B} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x} \\ \mathbf{v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (\mathbf{AD})\mathbf{x} \\ \mathbf{Gx} \\ \mathbf{Bv} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: \mathbf{A} 、 \mathbf{D} 和 \mathbf{G} 分别表示每个测点观测顺序的系数矩阵、每个重力段差的观测时间矩阵和联测绝对重力点的系数矩阵。流动重力观测中, 一般持续周期较长, 因此假设漂移率变化具有随机过程的特征, 把观测时间分成 t 个时间段, 且漂移率分别在每个时间间隔中都为一个常数, 将仪器未知漂移率 v 用表示 (Chen *et al.*, 2019)。

该方法以漂移率随时间的变化光滑作为先验条件, 以二阶光滑矩阵 \mathbf{B} 为约束进行计算:

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 & & & \\ & 1 & -2 & 1 & & \\ & & \cdots & \cdots & \cdots & \\ & & & 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

假设漂移率误差服从均值为 0、方差为 \hat{v} 的高斯分布。 σ_b^2 、 \mathbf{W}_b^{-1} 为权矩阵, $N(0, \mathbf{W}_b^{-1})$ 为正态分布, 因此漂移率先验假设为:

$$\mathbf{B}\tilde{v} \sim N(0, \mathbf{W}_b^{-1}) \quad (3)$$

利用与相对重力观测同时段观测的绝对重力, 针对未知的仪器格值系数和重力值 $g = [g_1, g_2, \Lambda, G_{ka}]^T$, 选取 2 个以上已知观测精度的绝对重力值作为约束条件并求解。

以贝叶斯计算方法基本方程为基础, 结合杨锦玲等 (2021)、郑秋月等 (2022)、王林海等 (2020) 以及黄江培等 (2023) 对贝叶斯方法在流动重力数据的应用实践, 可以实现非线性漂移及格值系数的优化计算。不同区域的数据应根据实际情况选择不同平差方法进行数据处理, 对于小范围的重力测量, 按经典平差的线性漂移模型解算即可; 但对于闭合时间长、空间测点地理跨度大的辽宁区域流动重力测量, 则需考虑仪器的非线性漂移特性及格值变化, 以提高数据精度。因此本文重点对比经典平差与贝叶斯平差方法差异和方法的适用性。

3 仪器不确定性评价及数据分析

在陆地时变重力数据处理中, 相对重力仪的非线性漂移特性和格值系数变化是 2 个主要的误差来源。本文分别采用经典平差和贝叶斯重力平差

方法处理了 2015—2018 年辽宁地区重力观测网数据, 基于段差残差、段差互差和绝对点值差参数, 量化相对重力仪非线性漂移特征和格值系数的不确定性。

3.1 不确定性评价

3.1.1 漂移率变化

按照全国重力测网规划要求, 重力观测时间一般为每年 5 月、9 月, 分别表示为第一期和第二期。结合辽宁地区重力数据特征, 选取 2018 年第一期辽宁地区流动重力测网的观测数据进行漂移率计算, 流动重力观测仪器为 2 台拉科斯特 G 型重力仪, 型号分别为 G0853 和 G1134。该测期还包含朝阳、沈阳、金州 3 个绝对重力测点, 标准差优于 $5 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$, 与流动重力观测时间准同步。图 1 为 2 台相对重力仪的最小二乘方法解算的线性漂移和贝叶斯平差方法解算的非线性漂移率变化。由图可见, 2 台相对重力仪存在非线性漂移, 其漂移特性随测量进程呈不同的变化趋势。从漂移率量值来看, 2 种方法解算结果相近, 且漂移率均较小, 未达到 $(1 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2})/\text{h}$, 因此对于测点间耗时不超过 2 h 的测段, 漂移影响可以忽略不计。

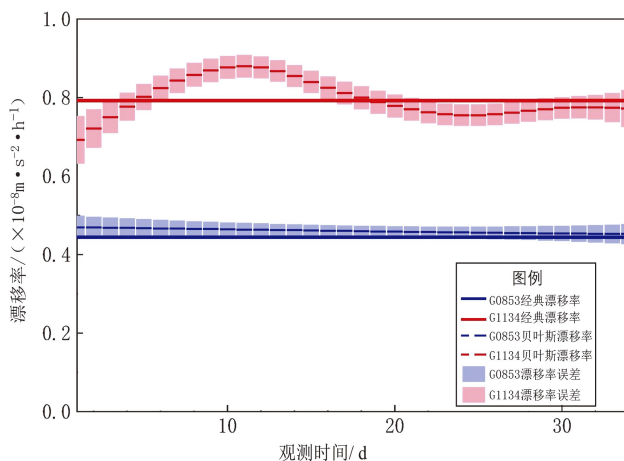


图 1 辽宁测网弹簧重力仪的漂移率变化

Fig. 1 Drift rate of the spring gravimeters of the Liaoning gravimetric network

图 2a、b 为采用经典平差和贝叶斯平差方法计算得到的 2018 年第一期重力段差残差分布, 可看出两者分布基本一致, 残差基本在 $\pm 30 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 内, 且为随机分布状态; 在个别误差较大的测段,

贝叶斯方法相较经典平差方法对重力段差残差离散有更好的收敛作用。从 2015—2018 年 2 台仪器的段差残差全样本量统计直方图 (图 2c) 可以看出, 两者都符合正态分布, 残差属于偶然误差, 绝大部分残差分布于 $\pm 20 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 内。段差残差在 $\pm 5 \times$

10^{-8} m/s^2 内, 贝叶斯平差方法残差数量大于经典平差方法, 其绝对值大于 $5 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 时, 贝叶斯平差方法残差数量总体少于经典平差方法。总体上, 贝叶斯平差方法结果精度略优于经典平差方法的结果。

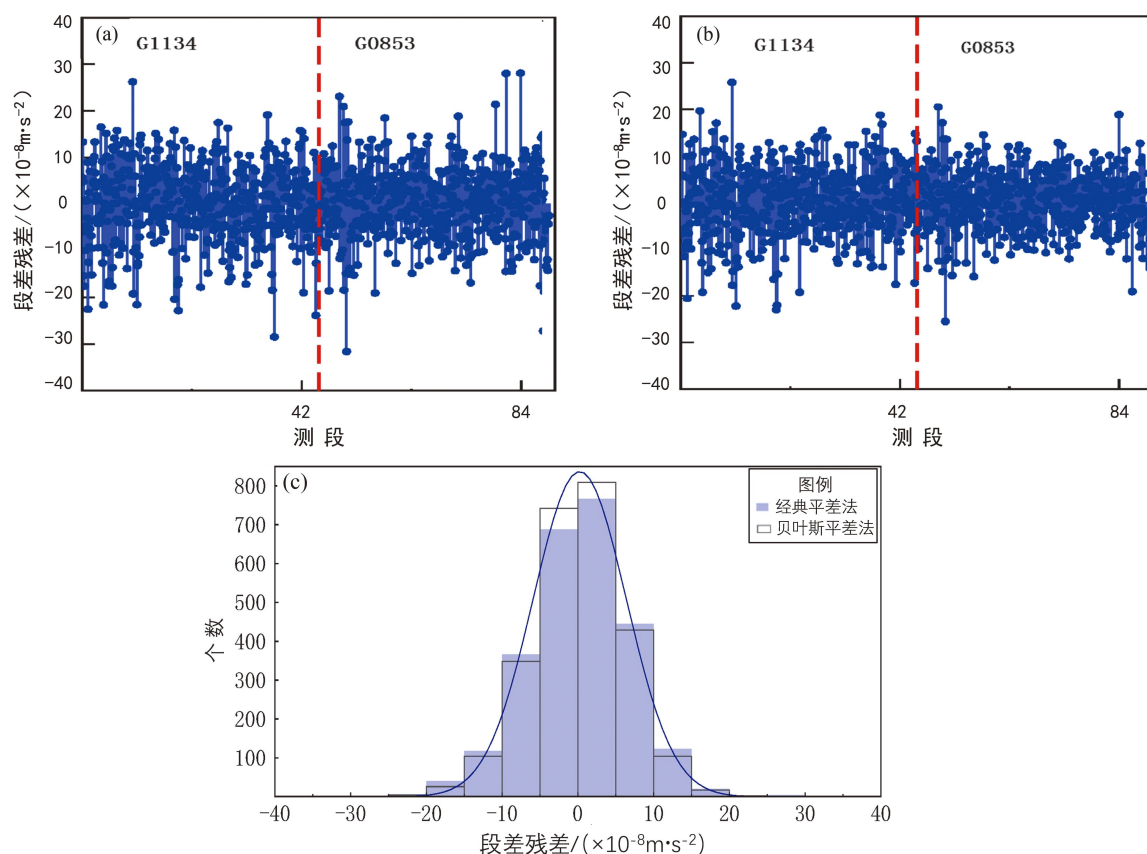


图2 经典平差法 (a) 与贝叶斯平差法 (b) 的重力段差残差及其直方图 (c)

Fig. 2 Gravity difference residuals from the classical adjustment method (a) and the Bayesian adjustment method (b), and the residuals' histogram (c)

3.1.2 格值系数变化检测

相对重力格值是影响重力测量误差的因素。现阶段地震重力观测中相对重力仪的格值系数通常采用基线场标定结果, 但基线场标定间隔时间长, 其周期为 3~5 a, 对流动相对重力观测周期的需求有很大影响。由于辽宁地区流动重力测网的标定周期过长, 不能获取较为合理的仪器格值系数, 实际测区的格值标定仍存在由于段差过小、观测人员操作差异等不确定性因素, 为此本文应用贝叶斯重力平差优化模型, 通过高精度的绝对重力基准点, 在平差方程中采用贝叶斯优化方法进行格值系数估计, 依据 ABIC 准则寻找最优超参

数, 进而得到绝对重力约束的格值系数。

虽然 G1134 和 G0853 重力仪的优化格值与初始格值偏差较大, 但二者偏差量级是相接近的 (表 1)。以 2018 年第一期为例, 格值优化前后, 段差的互差范围都分布在 $\pm 25 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 内, 符合地震重力测量规范的要求。

G1134 重力仪的优化格值与初始格值的平均偏差约为 6.28×10^{-4} , 最大偏差约为 7.02×10^{-4} 。辽宁地区流动重力测网格值偏差较大的原因主要在于仪器性能及标定周期过长。由图 3、4 可见, 分析初始和优化格值系数后测点段差与仪器互差变化, 格值优化后段差互差的变化不明显。

表 1 辽宁地区重力测网贝叶斯格值优化的
格值系数与格值偏差统计

Tab. 1 Statistics of scale coefficients and scale deviation after
Bayesian scale optimization in Liaoning gravimetric area

观测时间	G1134 重力仪		G0853 重力仪	
	优化格值	格值偏差	优化格值	格值偏差
2015 二期	1.000 038	0.000 617	0.999 376	0.000 558
2016 一期	0.999 953	0.000 702	0.999 299	0.000 635
2016 二期	1.000 014	0.000 641	0.999 325	0.000 609
2017 一期	1.000 014	0.000 641	0.999 346	0.000 588
2017 二期	0.999 993	0.000 662	0.999 289	0.000 645
2018 一期	1.000 117	0.000 538	0.998 666	0.000 528
平均值	6.28×10^{-4}		5.89×10^{-4}	

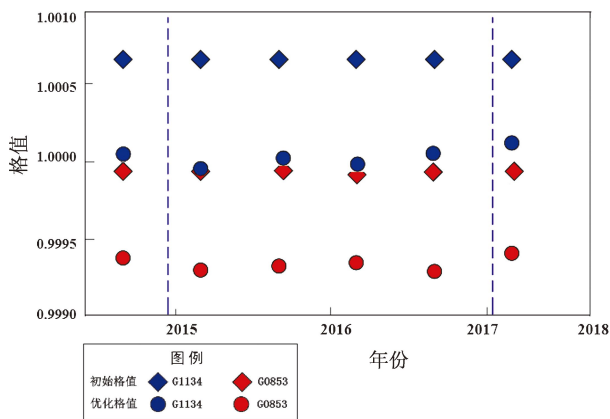


图 3 辽宁地区流动重力测网相对重力仪初始和优化
格值系数 (图中虚线为绝对重力观测时间)

Fig. 3 Variation of the initial and the optimized scale
coefficients of the relative gravimeters in the Liaoning
gravimetric network (dotted lines represent
the absolute gravity observation time)

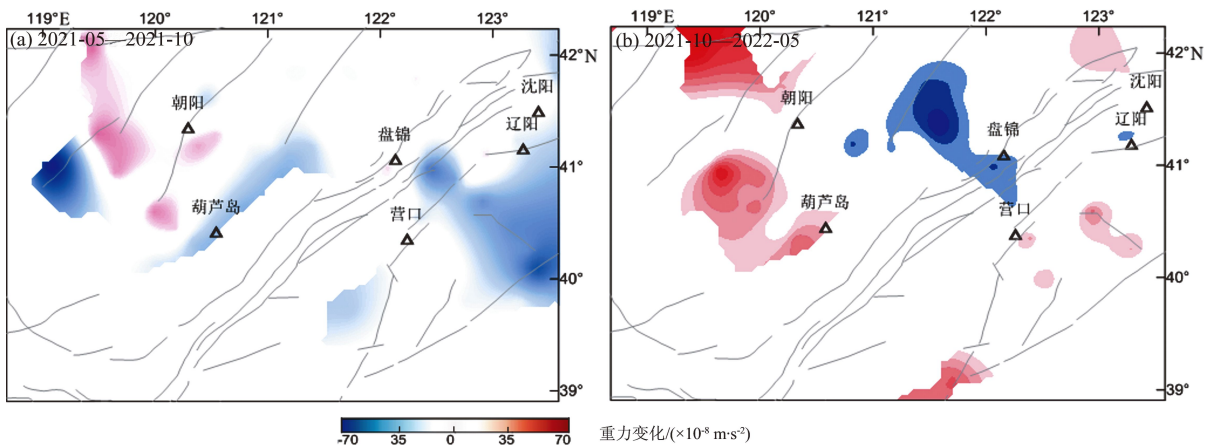


图 5 2021 年 5 月—2022 年 5 月辽宁地区半年尺度重力反演场源特征

Fig. 5 Field source characteristics of the inverted semi - annual gravity in Liaoning from May 2021 to May 2022

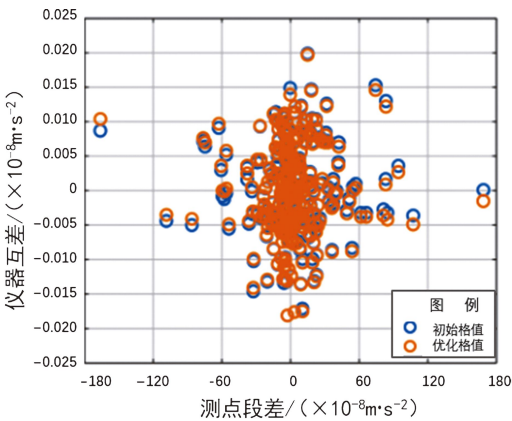


图 4 采用初始和优化格值系数时
测点段差与仪器互差变

Fig. 4 The interval difference between the measuring
points and the instrument deviation when applying
the initial and the optimized scale coefficients

3.2 重力变化分析

采用贝叶斯方法平差后, 本文主要分析 2021 年 5 月—2022 年 5 月的流动重力数据 (2023 年因测区调整, 未进行观测, 以 2021 年 5 月—2022 年 5 月分半年尺度进行分析)。2021 年 5 月—2021 年 10 月半年尺度差分图 (图 5a) 显示, 辽宁地区重力场总体呈负变化, 辽宁西部地区的朝阳—北票断裂附近为 $20 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 的正变化, 重力变化零值线分布在辽宁北部的沈阳—辽阳一带; 辽宁西部地区朝阳—葫芦岛附近出现明显的重力四象限现象, 表明该地区附近朝阳—北票断裂近期有一定的地震活动。2021 年 10 月—2022 年 5 月半年尺度差分图 (图 5b) 显示, 与前期数据相比辽宁

地区呈现出大范围重力正负反转现象,但总体来说重力变化量值较小,该期间辽西地区小震活动较为频繁,且朝阳—北票地区仍呈现小范围的重力四象限现象。结合祝意青等(2020)提出的重力异常与地震孕育的关系,发现2021—2022年重力变化与 M_L 4地震活动性一致。沈阳—辽阳附近地区重力变化较为平稳,变化量值一直较小,说明地下介质活动性减弱,断裂活动稳定。下一步计划对辽宁地区 $M_L \geq 4.5$ 地震的重力学指标进行区域特征分析和建立。

4 结论

陆地时变微重力观测是研究地壳内部物质变化的重要手段。辽宁地区重力观测网具有测点间距大、覆盖范围广、观测时间长和对重力资料解算精度要求高等特点。本文首先选用2015—2018年辽宁地区的实测流动重力观测资料,引入经典平差方法和贝叶斯平差方法进行数据质量分析,选取2021年5月—2022年5月的重力数据分析辽宁地区地下介质活动性,判定后续地壳活动断裂活动稳定,并分析了由于相对重力仪的非线性漂移、一次项系数不准确的影响,主要得到以下结论:

(1) 辽宁地区重力测网使用的2台相对重力仪G1134和G0853存在非线性漂移的影响,但量值不大,并且贝叶斯平差方法和经典最小二乘平差方法对漂移率及格值系数的计算结果相近,可有效抑制仪器误差,说明2种方法对于拉科斯特型号仪器漂移率解算结果是一致的。

(2) 从2种方法计算的段差残差分布来看,残差均符合偶然误差分布,且均在 $20 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 之内,说明辽宁地区重力测网多年测量结果满足地震重力分析需求。

(3) 虽然2台仪器的优化格值与初始格值偏差较大,但二者格值偏差量级接近,以2018年第一期为例,格值优化前后,段差的互差范围为 $\pm 25 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 。值得注意的是:由于2台仪器格值系数同步变化且相互间差异较小,导致仅从仪器间的互差来验证结果的可靠性,很难发现存在的格值系数误差。采用贝叶斯方法优化后格值的平差结果符合检验绝对重力测量值。

(4) 整体上,辽宁地区重力变化较为平稳,

表明地下介质活动较弱,断裂活动稳定。重力变化起伏较大的区域4级地震较为频繁。

本文研究方法和思路同样适用于中国大陆其他地区的重力数据质量评价,也有助于更合理和客观地开展重力场变化与断层运动、地壳形变、强震孕育和物质变迁等方面的研究。

审稿专家提出的有建设性的意见和建议,大大提高了本文的严谨性、创新性与可读性,在此表示诚挚的谢意!

参考文献:

- 陈兆辉,孟小红,张双喜,等. 2019. 青藏高原东南缘多尺度重力场变化特征及孕震机理分析[J]. 地震地质,41(3):609-703.
- Chen Z H, Meng X H, Zhang S X, et al. 2019. Characteristics of multi-scale gravity field variation and seismogenic mechanism analysis in the southeastern Tibetan plateau[J]. Seismology and Geology,41(3):690-703. (in Chinese)
- 黄江培,杜家云,曹颖,等. 2023. 云南流动重力观测中相对重力仪漂移估计方法[J]. 地震研究,46(4):511-520.
- Huang J P, Du J Y, Cao Y, et al. 2023. The estimation method of the zero drift of the relative gravimeter in high-precision time-varying gravity observation in Yunnan[J]. Journal of Seismological Research,46(4):511-520. (in Chinese)
- 贾晓东,翟丽娜,陈石. 2021. 辽宁地区时变重力场源变化特征分析[J]. 地震,41(1):180-190.
- Jia X D, Zhai L N, Chen S. 2021. Analysis on characteristics of time-varying gravity field source changes in Liaoning Area[J]. Earthquake,41(1):180-190. (in Chinese)
- 申重阳,杨光亮,谈洪波,等. 2015. 维西—贵阳剖面重力异常与地壳密度结构特征[J]. 地球物理学报,58(11):3952-3964.
- Shen C Y, Yang G L, Tan H B, et al. 2015. Gravity anomalies and crustal density structure characteristics of profile Weixi-Guiyang[J]. Chinese Journal of Geophysics,58(11):3952-3964. (in Chinese)
- 王林海,陈石,庄建仓,等. 2020. 精密重力测量中相对重力仪格值系数的贝叶斯估计方法[J]. 测绘学报,49(12):1543-1553.
- Wang L H, Chen S, Zhuang J C, et al. 2020. Bayesian estimation method of lattice coefficients of relative gravimeters in precision gravity measurements[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica,49(12):1543-1553. (in Chinese)
- 王林海,陈石. 2021. 贝叶斯重力平差算法的稳定性评估与统计检验[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),51(3):92-99.
- Wang L H, Chen S. 2021. Stability evaluation and statistical test of Bayesian gravity adjustment algorithm[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology(Natural Science Edition),51(3):92-99. (in Chinese)
- 杨锦玲,陈石,王林海,等. 2021. 华南陆地时变重力观测数据质量评估[J]. 测绘学报,50(3):333-342.
- Yang J L, Chen S, Wang L H, et al. 2021. Data quality assessment of time-varying terrestrial gravity observation in South China[J]. Acta

- Geodaetica et Cartographica Sinica, 50(3):333–342. (in Chinese)
- 翟丽娜, 贾晓东, 焦明若, 等. 2020. 基于欧拉反褶积方法计算辽宁地区重力变化场源特征[J]. 地震研究, 43(2):388–393.
- Zhai L N, Jia X D, Jiao M R, *et al.* 2020. Determine the field source characteristics of gravity variation in Liaoning based on the Euler deconvolution technique[J]. Journal of Seismological Research, 43(2):388–393. (in Chinese)
- 郑秋月, 刘东, 杨薪俊, 等. 2022. 云南流动重力测网数据质量及场源分辨能力评估[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 50(9):48–55.
- Zheng Q Y, Liu D, Yang X J, *et al.* 2022. Evaluation of data quality and field – source resolution of terrestrial mobile gravity network in Yunnan[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (Natural Science Edition), 50(9):48–55. (in Chinese)
- 祝意青, 梁伟锋, 赵云峰, 等. 2017. 2017 年四川九寨沟 $M_s 7.0$ 地震前区域重力场变化[J]. 地球物理学报, 60(10):4124–4131.
- Zhu Y Q, Liang W F, Zhao Y F, *et al.* 2017. Gravity changes before the Jiuzhaigou, Sichuan, $M_s 7.0$ earthquake of 2017[J]. Chinese Journal of Geophysics, 60(10):4124–4131. (in Chinese)
- 祝意青, 申重阳, 刘芳, 等. 2020. 重力观测地震预测应用研究[J]. 中国地震, 36(4):708–717.
- Zhu Y Q, Shen C Y, Zhan F B, *et al.* 2020. Application of earthquake prediction based on gravity observation[J]. Earthquake Research in China, 36(4):708–717. (in Chinese)
- Chen J L, Byron Tapley, Ki-Weon Seo, *et al.* 2019a. Improved quantification of global mean ocean mass change using GRACE satellite gravimetry measurements[J]. Geophysical Research Letters, 46(23):13984–13991.
- Chen S, Zhuang J, Li X, *et al.* 2019b. Bayesian approach for network adjustment for gravity survey campaign: Methodology and model test[J]. Journal of Geodesy, 93(5):681–700.
- Heck B, Seitz K. 2007. A comparison of the tesseroid, prism and point – mass approaches for mass reductions in gravity field modelling[J]. Journal of Geodesy, 81(2):121–136.
- Meyer U, Jean Y, Kvas A, *et al.* 2019. Combination of GRACE monthly gravity fields on the normal equation level[J]. Journal of Geodesy, 93(9):1645–1658.
- Michel van Camp, Olivier de Viron, Arnaud Watlet, *et al.* 2017. Geophysics from terrestrial time – variable gravity measurements[J]. Reviews of Geophysics, 55(4):938–992.
- Toosch E K, Jafari A, Teymouri A. 2017. Experimental investigation of injection pressure effect on the natural gas storage in aquifers[J]. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 8(6):351–354.

Evaluation of the Data Quality of the Time-varying Gravity Field Source in Liaoning

ZHAI Lina^{1,2}, LIU Huajian³, HUANG Jiangpei⁴, LI Tongxia¹,
YANG Muping¹, LI Yutong¹, DI Xinxin¹

(1. Liaoning Earthquake Agency, Shenyang 110034, Liaoning, China)

(2. Geoexploration Science and Technology College, Jilin University, Changchun 110000, Jilin, China)

(3. General Hospital of mineral exploration of Liaoning Province, Shenyang 110034, Liaoning, China)

(4. Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

In order to solve the problem of the gravimeter's uncertainty affecting the quality of the data from mobile gravity observation, the relative gravimeter's drift rate and scale coefficient were calculated by using the Bayesian analysis method and the classical least squares adjustment method, and the precision of gravity observation data were analyzed based on the 6 periods of time-variable gravity observation data collected in Liaoning from 2015 to 2018. Analysis of the gravity data observed in Liaoning from May 2021 to May 2022 will help to explain the gravity field changes, and analyze the relationship between the material change and the gravity field changes in Liaoning. The results show that the drift rates of the LaCoste gravimeter calculated respectively with the classical adjustment method and the Bayesian adjustment method are consistent, and the Bayesian method can effectively suppress instrument errors. The long – term measurements from the gravimetric network in Liaoning Province meet the need of seismic analysis. The overall gravity change in Liaoning Province is relatively steady, indicating the weak activity of underground media and the stable faults in this region. Areas with significant gravity fluctuation experienced frequent 4 – magnitude earthquakes.

Keywords: gravity observation; Crustal deformation; Bayesian gravity adjustment; time-varying gravity signals