

张源,崔庆谷,黑贺堂,等. 2025. 基于流动重力控制的 gPhone 重力仪漂移修正方法研究[J]. 地震研究, 48(4): 685–692, doi: 10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0070.

Zhang Y, Cui Q G, Hei H T, et al. 2025. Research on gPhone gravimeter drift correction through mobile gravity data control[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(4): 685–692, doi: 10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0070.

基于流动重力控制的 gPhone 重力仪漂移修正方法研究*

张源^{1,3}, 崔庆谷^{2*}, 黑贺堂¹, 黄江培², 周文敏², 字承柱¹, 陈阳²

(1. 云南省地震局 下关地震监测中心站, 云南 大理 671000; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224;
3. 云南大理滇西北地壳构造活动中国地震局野外科学观测研究站, 云南 大理 671000)

摘要: 针对 gPhone 连续重力仪漂移修正困难的情况, 收集 2019 年 1 月—2024 年 5 月云龙地震台 gPhone 连续重力仪观测数据, 采用流动重力数据控制的方法进行漂移修正, 并与目前常用的小波滤波和多项式拟合修正方法进行比较, 修正后的结果显示: ① 5.4 a 累计变化量从约 $1\,374 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 降至 $69 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$; ② 漂移修正结果与 5 阶多项式修正结果相似; ③ 模型评价结果优于其他 2 种方法; ④ 残差分布与 5 阶多项式修正结果接近。

关键词: gPhone 连续重力仪; 流动重力; 多项式; 小波滤波; 漂移修正

中图分类号: P315.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2025)04-0685-08

doi: 10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0070

0 引言

连续重力观测广泛应用于地球科学、环境科学、工程技术等领域的研究, 通过对重力变化的监测与分析, 可以捕捉到反映地球内部变化的高频信息(李响, 2024), 提升对地球动态过程的理解, 进而为科研、资源管理及灾害预警提供支撑。重力场时变信号从性质上可以分为潮汐信号与非潮汐信号, 其中潮汐信号占连续重力变化观测数据 85% 以上, 其导致的短期重力变化可超过 $200 \mu\text{Gal}$ (羊锴, 韦进, 2015), 可以通过国际固体潮经验公式修正。非潮汐信号包含了仪器漂移和噪声、近场环境变化、近地表水循环、地球内部物质运移、构造作用引起的介质变形等多种信息(羊锴, 韦进, 2015)。仪器漂移分为线性漂移和非线性漂移, 需要在获取有用信息前进行修正。线性漂移可根据时间直接修正, 但非线性漂移如果缺乏有效约束, 修正较为困难。

连续重力仪主要分为超导型和弹簧型, 随着中国大陆构造环境监测网络项目的实施, 截至 2022 年已经建设 86 个连续重力台站, 并布设了 106 套弹簧型相对重力仪。非线性漂移是弹簧型连续重力仪的固有问题, 阻碍了科研人员对重力非潮汐变化信号进行准确的分析和研究(韦进等, 2011; 窦喜英等, 2019)。因此, 如何科学有效修正弹簧重力仪的非线性漂移是一个亟待解决的难题。目前主要采用台站绝对重力测量结果进行改正, 但由于大部分台站并没有定期的绝对重力测量数据, 因此这种方法无法大规模推广(王乐行等, 2025)。国内外学者研究表明, 利用多项式拟合方法可以较好地对弹簧重力仪的漂移进行修正(邢乐林等, 2010; 马娟娟等, 2024); 利用小波滤波对信号进行滤波去噪也可抑制漂移的影响(王乐行等, 2025)。多项式拟合、小波滤波主要通过数据自洽性进行拟合, 缺乏有效约束, 修正后的数据与实际重力变化的契合度尚需进一步验证。

云龙地震台(下文简称“云龙台”)自 2018

* 收稿日期: 2024-11-07.

基金项目: 云南省地震局科技项目(CQ2-2023-08); 国家自然科学基金(41874111); 云南省地震局科技专项(2024ZX03).

第一作者简介: 张源(1981-), 工程师, 主要从事地震监测、前兆数据处理及形变资料应用研究.

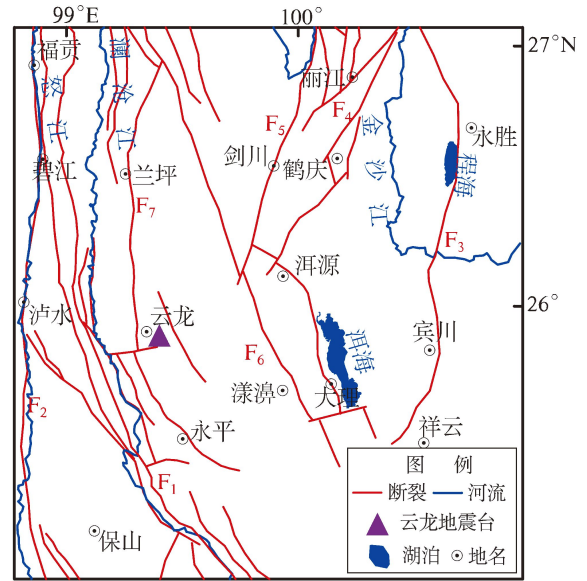
E-mail: 371255488@qq.com.

通信作者简介: 崔庆谷(1967-), 正研级高级工程师, 博士, 主要从事地震观测研究. E-mail: 3055366968@qq.com.

以来获得多年的连续重力观测数据,且连续多年进行了绝对重力控制下的相对重力重复联测,获得年尺度重力值变化信息,为本文提供了新的思路。流动重力与连续重力2种观测物理同源,理论上其同时同址观测的重力变化量应该一致,因此可以采用流动观测的结果作为约束,对云龙台连续重力进行漂移修正,并将本文修正结果与多项式拟合、小波滤波等传统修正方法的结果进行对比,为连续重力仪漂移修正提供方法参考。

1 台站及仪器简介

云龙台属于国家形变观测基本台,隶属于云南省地震局,位于怒江、澜沧江断裂系,处于龙陵、保山地震带及下关、丽江地震带之间(图1)。台站基底为侏罗纪细砂岩,且周围5 km范围内无机场、铁路、矿山石场、高压输电等因素影响,观测环境受周边干扰小。数十年观测资料表明云龙台具备优良的观测环境条件,其形变、测震、地磁等项目观测质量高(杨学慧等,2016)。2018年8月云龙台架设gPhone连续重力仪(编号X212MGPH0150)并试运行,2019年1月1日正式并入全国连续重力台网。该重力仪是美国Micro-g&Lacoste公司生产的零长弹簧系统相对重力仪,分辨率为 $0.1 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$,仪器具有高精度、高采样率、测程大等特点(周江林等,2015),其秒值观测资料给科研人员提供了丰富的地震信息(王林松等,2012)。



F₁: 澜沧江断裂; F₂: 怒江断裂; F₃: 程海—宾川江断裂
F₄: 丽江—小金河断裂; F₅: 龙蟠—乔后断裂
F₆: 红河断裂; F₇: 兰坪—永平断裂

图1 云龙台周边地区地质构造图

Fig. 1 Geological structures in the region where Yunlong Station is located

图2是经过Nakai检验得出的2019年1月—2024年5月云龙台重力仪M2波潮汐因子时间序列变化。65个月数据中,除5个月因仪器故障外,其余60个月的潮汐因子稳定在1.162~1.166,最大变化不足0.3%,且经过Nakai检验潮汐因子中误差都优于0.001。观测数据整体呈现相对平稳变化背景,仪器观测性能稳定,观测数据质量可靠。

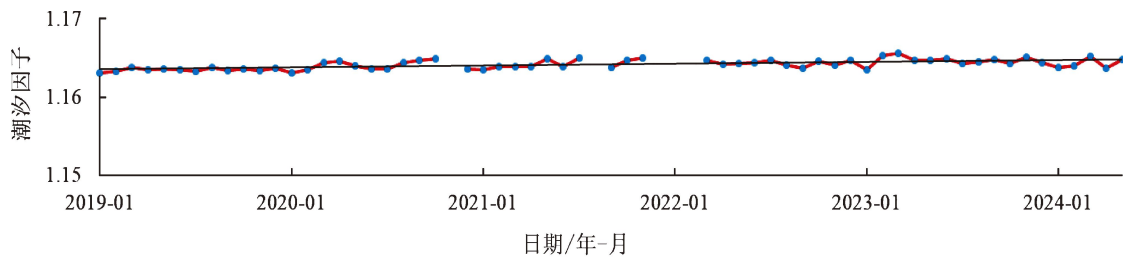


图2 云龙台重力M2波潮汐因子变化时间序列

Fig. 2 The time series of M2 wave tidal factors of gravity at Yunlong Station

2 数据与处理方法

2.1 连续重力数据收集与预处理

连续重力观测数据 g_s 主要由潮汐部分 g_t 、非潮汐部分 g_n 和误差 ε 组成,而非潮汐变化方面的

g_n 由重力极潮 g_p 、大气压负荷 g_a 、陆地水负荷 g_w 、仪器漂移 g_d 和剩余误差 ε_1 构成(韦进等,2012;王乐行等,2025):

$$g_s = g_t + g_n + \varepsilon \quad (1)$$

$$g_n = g_p + g_a + g_w + g_d + \varepsilon_1 \quad (2)$$

本文收集 2019 年 1 月 1 日—2024 年 5 月 31 日云龙台 gPhone 连续重力仪原始观测数据 (图 3a), 通过 gMonitor 软件预先设置经验参数, 对原始资料中的重力极潮、大气压负荷、陆地水负荷等影响因素进行预处理和校正, 每个月实时进行格值修正, 并采用 IERS (国际地球自转和参考系统服务) 提供的潮汐模型 (ETGTAB 潮汐模式) 来校正理论固体潮汐的影响 (图 3b)。

经整理后的数据还需要对地震、阶跃、人为干扰等异常值进行滤波处理, 压制和剔除干扰信号, 才能使非潮汐变化信号得到凸显。本文采用基于中值和中值绝对偏差 (MAD) 的 Hampel 滤波器来对数据作处理, 相对于传统均值和标准差方法, Hampel 滤波器通过使用中值和 MAD 提高异常值检测的准确性, 识别并去除时间序列中的异常值。图 3c 是本文使用 Hampel 滤波器对数据异常值进行识别与剔除后的时间序列。

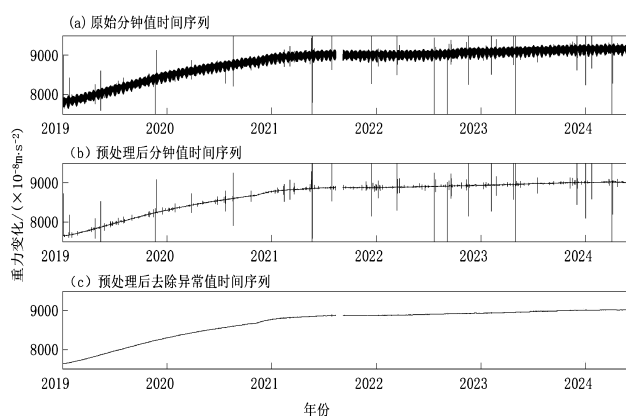


图3 云龙台重力原始值及预处理值时间序列

Fig. 3 The time series of the original minute values of gravity recorded by Yunlong Station and their preprocessed ones

从图 3 可以看出, 经去除固体潮汐、气压等因素后得到的连续重力预处理分钟值时间序列, 大约以 2021 年 4 月为界分为 2 个阶段: 第一阶段约 2.3 a, 观测值增长较快, 总变化量约为 $1\,189 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$, 年速率约为 $517 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$; 第二阶段 3.1 a, 观测值增长明显变缓, 总变化量约为 $184 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$, 年速率约为 $59 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$; 第一阶段漂移率明显大于第二阶段; 从总的 5.4 a 连续观测数据变化趋势来看, 仪器漂移较大, 且非线性特征明显。

2.2 基于流动重力控制的漂移修正原理与方法

目前流动重力联测在云南的测点达到 249 个, 其中包括 9 个绝对重力点, 测段数为 274 段 (刘东等, 2021), 平均点间距小于 70 km, 具有较好的空间分辨率, 但是年均观测 1~2 期, 时间分辨率不足; 而云南现有连续重力台站 14 个, 空间分辨率不足, 却可以达到秒级采样率, 具有较好的时间分辨率。云南 14 个连续重力台站都进行了流动重力联测, 采用本文的漂移率修正方法, 可以在局部区域进行联合分析, 弥补两者各自的不足。

云龙台周边有 2 个绝对重力观测台站, 即丽江台及下关台, 每年均进行绝对重力观测。云南省流动重力测量时, 会将云龙台与 2 个绝对重力台站进行联测, 结果如图 4 所示。联测过程采用 CG-5 型石英弹簧相对重力仪, 采用 A→B→C→……→C→B→A 往返双程测量方法, 并形成闭合环。通过去除漂移、固体潮等影响因素并平差解算后, 获取云龙台基于 2 个绝对重力点控制下的重力值,

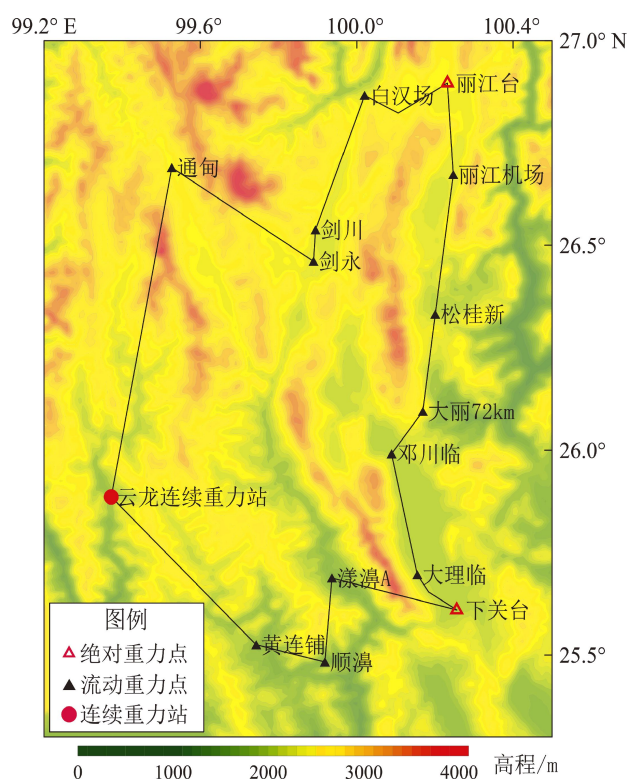


图4 云龙台与 2 个绝对重力台站联测

Fig. 4 The joint observation network composed of Yunlong Station and other two absolute gravity stations: Xiaguan and Lijiang

相邻两期变化量视为云龙台该时段内的实际变化量。即相邻两期流动重力观测变化量 g_i ，同时间段预处理连续重力仪观测变化量 G_i （取该时段起止日期的日均值之差）， $G_i - g_i$ 为该时段内连续重力仪的漂移量。漂移量除以该时段总时长 T_i （以分钟计算）即为该时段内的漂移率，通过该漂移率可以修正本时段内任何时刻观测量（分钟值）的漂移值。如下式所示：

$$G_k = G'_k - \sum_{i=1}^n G_{i-1} - (\frac{G_i - g_i}{T_i}) * t'_k \tag{3}$$

式中： G_k 为第 i 时段内第 k 分钟的值； G'_k 为该时刻连续重力预处理值； G_{i-1} 为 $i-1$ 个时段漂移量的总

和； $\frac{G_i - g_i}{T_i}$ 为第 i 时段的漂移率； t'_k 为时长； i 为需要计算的时段， $1 \leq i \leq n$ 且为整数， n 为根据流动重力观测划分的总时段数。

本文收集云南流动重力测网 2018 年第二期至 2024 年第二期观测资料，以 2019 年 1 月 1 日云龙台连续重力仪正式并网记录开始为第 1 期，视流动变化量 g_1 与连续变化量 G_1 都为 0。从第 2 期开始，依次分别计算本阶流动变化量 g_i 、连续变化量 G_i 以及漂移量 $G_i - g_i$ ，结果见表 1。

通过式（3）及表 1 对连续重量预处理值进行计算，得出云龙台连续重力基于流动重力控制的 5.4 a 漂移修正结果，如图 5 所示。

表 1 流动重力观测变化量与同时段连续重力观测变化量及差值

Tab. 1 The variation of the mobile gravity observation and the variation of the continuous gravity observation in the same period and the difference between them

单位：10⁻⁸ m/s²

期次	测量日期	流动变化量 g_i	连续变化量 G_i	漂移量 $G_i - g_i$	期次	测量日期	流动变化量 g_i	连续变化量 G_i	漂移量 $G_i - g_i$
1	2019-01-01	0	0	0	7	2021-09-06	-12.185 5	44.729 8	56.915 3
2	2019-05-03	-18.971 5	201.462 3	220.433 8	8	2022-03-26	5.236 2	9.723 5	4.487 2
3	2019-09-12	-12.043 6	261.711 5	273.755 1	9	2022-09-24	43.405 1	30.149 6	-13.255 5
4	2020-05-18	4.696 2	391.049 9	386.353 7	10	2023-08-27	-42.526 8	65.270 1	107.796 9
5	2020-09-24	1.112 3	140.192 7	139.080 4	11	2024-07-05	6.861 4	34.859 5	27.998 1
6	2021-04-10	9.006 2	194.823 2	185.817 0					

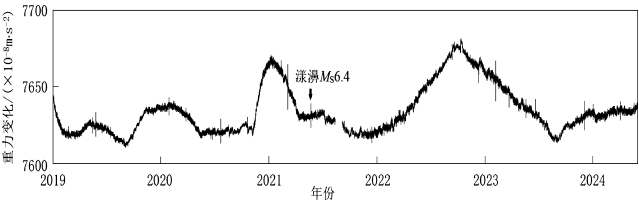


图 5 基于流动重力控制的漂移修正分钟值时间序列

Fig. 5 The time series of minute values after drift correction based on mobile gravity control

对比图 3 与图 5 可以看出，采用流动重力测量结果作为控制进行漂移修正后，连续重力整体变化趋势被有效压制，累计变化量从约 $1\,374 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 降至 $69 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ ，漂移修正后的时间序列显示出一定的起伏状态，该结果可能更接近构造运动或地下物质迁移引起的真实重力变化。为了检验本方法修正结果，后文将利用目前常用的多项式拟合和小波滤波方法进行对比分析。

3 漂移修正方法比较

3.1 结果比较

多项式拟合方法是一种常用的非线性漂移改正方法，其优点是拟合后可消除数据大幅度的趋势性漂移影响，当阶次达到 4 阶后，漂移改正残差结果已趋于稳定（邢乐林等，2010；韦进等，2012）；小波滤波是一种强大的信号处理工具，通过选择适当的小波基、分解和重构，可以有效地去除噪声或提取信号特征（王乐行等，2025）。本文选用 5 阶多项式及 amor 小波基对连续重力预处理值进行漂移修正，并与本文的流动重力控制修正结果对比，如图 6 所示。

由图 6a 可以看出：amor 小波滤波方法修正结果平滑性较好，但起始和末尾阶段效果并不理想，与王乐行等（2025）研究结果呈现相同特征，趋势

变化的数量级也远大于其它 2 种方法,不符合地质活动特征,这是由于小波滤波方法自身的边际效应所导致。图 6b 显示 5 阶多项式与本文流动重力控制修正后结果总体趋势一致,且与流动重力变化趋势基本相符,认为本文基于流动重力控制的漂移修正方法,能够有效去除 gPhone 弹簧重力仪的漂移趋势,达到目前公认的多项式修正漂移方法的水平,得到接近真实的重力非潮汐信号。

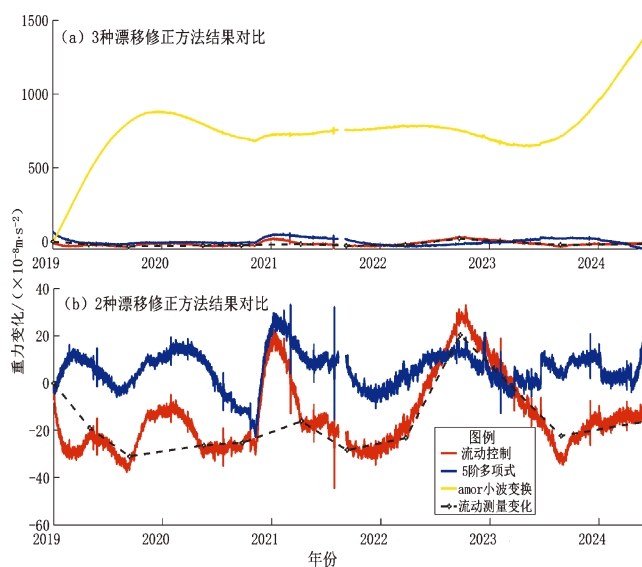


图 6 各漂移修正方法结果对比

Fig. 6 Comparison of the results from different drift correction methods

3.2 模型评价

考虑到连续重力观测值的主要组成部分是潮汐分量,因此观测数据在理论上应与同一时间段内该观测站的理论固体潮汐模型具有较高的一致性。基于这一点,可将上述方法修正后的数据加回理论固体潮(图 7),再将结果与理论固体潮作相关分析,以此评定各漂移修正方法的效果。从图 7 可以看出,基于流动重力控制、5 阶多项式 2 种方法加回理论固体潮后,数据变化区间在 $\pm 200 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 附近,主要表现为潮汐信号,流动重力控制方法的结果呈现出更多的波动信息。amor 小波滤波的变化幅度较大,在 $(0 \sim 1500) \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 内呈曲线型变化,这是源于本文数据时长 5.4 a,小波滤波在处理长时间信号时容易引入边际效应,尤其是在信号的开头和结尾部分。

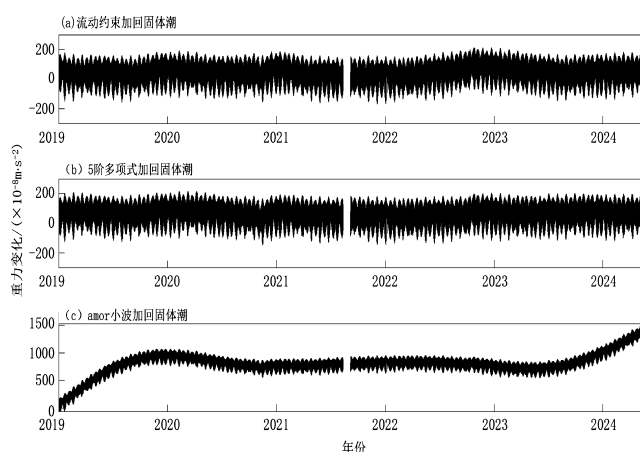


图 7 去漂移后数据加回理论固体潮结果

Fig. 7 The theoretical solid tide after the de-drifted residuals were added back

根据模型性能评估方法(王乐行等, 2025; 马娟娟等, 2024),从评估模型性能的均方根误差(RMSE)与决定系数(R^2) 2 个指数(周鹏飞等, 2024; 李永生等, 2025)以及皮尔逊和斯皮尔曼等级相关系数进行对比,3 种方法经过 4 种指标评定结果见表 2。本文流动重力控制漂移修正方法的 RMSE 值为 20.794 8,小于其他 2 种方法,该值越小表示模型的误差越小、性能越好; R^2 为 0.907 3,是 3 种方法中最接近 1 的,表示模型解释数据方差比例最佳、解释能力最强;Pearson 相关系数为 0.975 01,是最接近 1 的,表示两个连续变量之间的线性关系最强;Spearman 相关系数为 0.972 08,也是最接近 1 的,表示 2 个变量之间的单调关系最强。可以看出,本文基于流动重力控制的漂移修正方法,各项指标均略优于 5 阶多项式,而 amor 小波滤波受边际效应影响,指标评价均不理想。

表 2 3 种方法漂移修正后加回理论固体潮精度评定结果

Tab. 2 Evaluation of the theoretical solid tide after the residuals de-drifted with three methods were added back

统计指标	本文流动控制	5 阶多项式拟合	amor 小波滤波
RMSE	20.794 8	29.647 6	48.312 4
R^2	0.907 3	0.892 9	0.685 3
Pearson 系数	0.975 01	0.953 27	0.647 17
Spearman 系数	0.972 08	0.952 43	0.723 80

3.3 残差检验

式(2)中连续重力仪非潮汐信号由重力极潮

g_p 、大气压负荷 g_a 、陆地水负荷 g_w 、仪器漂移 g_d 和残差 ε_i 构成, 残差包含观测误差和实际重力变化, 残差分布检验也可对模型拟合程度进行检验。图 8 为 3 种方法残差分布情况, 表 3 为残差分布统计, 从图 8 和表 3 中可以看出, 小波滤波方法由于边际效用, 检验结果不理想; 基于流动重力控制方法和多项式拟合结果接近。多项式拟合的残差分布

更接近于正态分布, 偏度和标准差较小, 缘于多项式是根据数据变化趋势进行拟合, 拟合度较高, 但部分实际重力变化也会被做为漂移处理; 基于流动重力控制方法时间分辨率不高, 是根据观测时刻数据的校正, 然后线性内插至时段内的任意时刻, 对时段内的非线性漂移修正不完全。所以流动重力控制和多项式结果出现了偏锋不一致的情况。

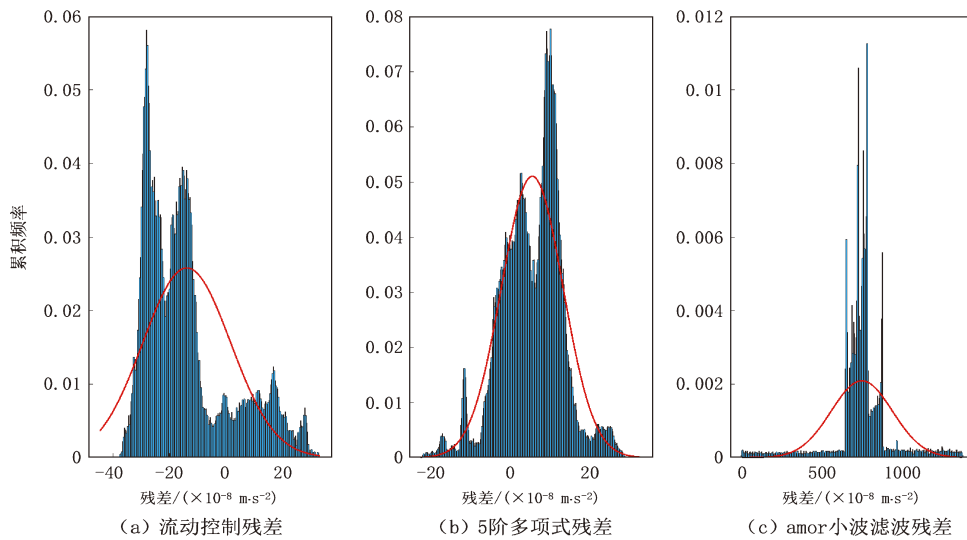


图 8 各漂移修正方法残差频率分布

Fig. 8 Distribution of residuals coming from various drift - correction methods

表 3 3 种方法漂移修正结果的残差统计指标

Tab. 3 Statistical indicators of residuals of the results corrected through three drift - correction methods

统计指标	本文流动控制	5 阶多项式拟合	amor 小波滤波
均值	-13.903 0	5.650 0	748.776 6
标准差	15.446 0	7.819 3	190.879 4
偏度	1.054 8	-0.230 8	-0.534 1
峰度	3.194 5	3.583 2	7.455 3

4 结论

仪器自身产生的长期非线性漂移量级远远超过了气压、极移、陆地水负荷以及构造活动等自然因素产生的重力变化。本文根据流动重力观测时刻对连续重力预处理值进行分段漂移修正, 并与目前常用的漂移修正方法进行综合对比, 得出以下结论:

(1) 基于云龙台 gPhone 连续重力仪 5.4 a 的原始分钟值时间序列可以看出, 仪器架设初期约 2 a

内, 漂移率较大, 之后漂移率逐渐减小, 并趋于稳定。

(2) 应用基于流动重力控制的漂移修正方法, 对去除固体潮汐后的重力数据时间序列进行漂移修正后, 5.4 a 累计变化量从约 $1\,374 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ 降至 $69 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$, 大幅度消除了漂移趋势性影响。

(3) 基于流动重力控制方法与 5 阶多项式拟合方法的漂移修正结果总体趋势一致, 但在细节上存在差异; 模型评价结果优于多项式拟合和小波滤波方法; 残差分布情况与多项式结果接近。

因观测数据的局限, 本文方法尚有如下几个问题需要讨论和进一步研究:

(1) 绝对重力与流动重力观测时间并不严格同步, 但考虑到测网中绝对重力测点 (大理、丽江) 近年来变化较为稳定的特点, 本文流动重力平差解算时未根据时差进行动态平差; 流动重力观测时刻的连续重力数据采用日均值, 本文对于当天有地震或其他干扰的情况选择了前后 3 ~ 5 d 内较为稳定的日均值代替。观测数据的这 2 种处理方

式对漂移修正结果会有微弱影响,但其影响量级有待进一步研究。

(2) 本文方法的漂移修正结果与多项式拟合漂移改正结果均显示,在 2021 年 5 月 21 日漾濞 $M_s 6.4$ 地震前约半年时间,重力观测曲线出现了明显的快速上升并急速转折下降的特征,是否为漾濞地震的震前异常,有待进一步研究。

(3) 由于边际效用的影响,小波滤波漂移改正的方法是否适用于长周期的连续重力漂移修正尚待研究。

综上,基于流动重力控制的漂移修正方法,其修正结果能够达到目前学者们较为认可的多项式拟合修正水平,对弹簧型连续重力仪的漂移修正具有很好的参考价值,可以作为一种新的漂移修正思路推广应用。

参考文献:

- 窦喜英,韦进,王恩利,等. 2019. 双重约束条件下的连续重力观测非线性漂移改正方法分析[J]. 地震工程学报, 41(5): 1251 - 1258.
- Dou X Y, Wei J, Wang E L, et al. 2019. Nonlinear drift correction method for continuous gravity observation under dual constraints[J]. China Earthquake Engineering Journal, 41(5): 1251 - 1258. (in Chinese)
- 李响. 2024. 基于大数据平台的连续重力数据算法模块实现[D]. 三河: 防灾科技学院.
- Li X. 2024. Implementation of continuous gravity data algorithm module based on big data platform[D]. Sanhe: Institute of Disaster Prevention. (in Chinese)
- 李永生,周晨,张思萌,等. 2025. 利用 Prophet 模型进行地下水位异常识别初探[J]. 大地测量与地球动力学, 45(3): 313 - 318.
- Li Y S, Zhou C, Zhang S M, et al. 2025. Preliminary exploration of using the Prophet model for identifying groundwater level anomalies[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 45(3): 313 - 318. (in Chinese)
- 刘东,郝洪涛,王青华,等. 2021. 2021 年云南漾濞 $M_s 6.4$ 地震前重力变化[J]. 地震地质, 43(5): 1157 - 1170.
- Liu D, Hao H T, Wang Q H, et al. 2021. Gravity field change before the 2021 Yangbi $M_s 6.4$ earthquake, Yunnan[J]. Seismology and Geology, 43(5): 1157 - 1170. (in Chinese)
- 马娟娟,王乐行,江颖,等. 2024. 利用回归模型对 gPhone 重力仪漂移修正研究[J/OL]. (2024 - 10 - 29) [2024 - 11 - 07]. 大地测量与地球动力学, <https://doi.org/10.14075/j.jgg.2024.09.419>.
- Ma J J, Wang L X, Jiang Y, et al. 2024. Study on gPhone gravimeter drift correction using regression Model[J/OL]. (2024 - 10 - 29) [2024 - 11 - 07]. Journal of Geodesy and Geodynamics <https://doi.org/10.14075/j.jgg.2024.09.419>. (in Chinese)
- 王乐行,刘子维,江颖,等. 2025. gPhone 重力仪漂移修正方法研究

- [J]. 大地测量与地球动力学, 45(1): 104 - 110.
- Wang L X, Liu Z W, Jiang Y, et al. 2024. Research on gPhone Gravimeter Drift Correction Method[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 45(1): 104 - 110. (in Chinese)
- 王林松,陈超,梁青,等. 2012. 东日本大地震重力信号同震响应[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 37(11): 1348 - 1351.
- Wang L S, Chen C, Liang Q, et al. 2012. Coseismic response to gravity signals of the great earthquake in east Japan[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 37(11): 1348 - 1351. (in Chinese)
- 韦进,刘高川,李辉,等. 2012. 弹簧式连续重力观测非线性漂移影响因素分析[J]. 大地测量与地球动力学, 32(5): 137 - 142.
- Wei J, Liu G C, Li H, et al. 2012. Analysis of non-linear drift of spring gravimeter[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 32(5): 137 - 142. (in Chinese)
- 韦进,刘子维,郝洪涛,等. 2011. 日本 $M_s 9.0$ 地震前的连续重力观测异常[J]. 大地测量与地球动力学, 31(2): 9 - 11.
- Wei J, Liu Z W, Hao H T, et al. 2011. Gravity anomalies before $M_s 9.0$ earthquake in Japan observed by continuous relative gravimeter in China[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 31(2): 9 - 11. (in Chinese)
- 邢乐林,李辉,夏正超,等. 2010. CG-5 重力仪零漂特性研究[J]. 地震学报, 32(3): 369 - 373.
- Xing L L, Li H, Xia Z C, et al. 2010. Study on zero drift characteristics of CG-5 gravimeter[J]. Acta Seismologica Sinica, 32(3): 369 - 373. (in Chinese)
- 羊锴,韦进. 2015. 基于连续重力观测数据应用平台的数据预处理[J]. 中国科技信息, 11: 72 - 73.
- Yang K, Wei J. 2015. The data preprocessing of application platform based on continuous gravity observation data[J]. China Science and Technology Information, 11: 72 - 73. (in Chinese)
- 杨学慧,常玉巧,李燕玲,等. 2016. 用同相叠加方法识别定点形变数据中的降雨影响[J]. 大地测量与地球动力学, 36(10): 936 - 940.
- Yang X H, Chang Y Q, Li Y L, et al. 2016. Distinguishing the rainfall disturbing pattern in crustal deformation recording by in-phase stack of data[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 36(10): 936 - 940. (in Chinese)
- 周江林,沈萍,田鑫. 2015. 北京地震台 gPhone 重力仪同震响应特征分析[J]. 中国地震, 31(3): 553 - 561.
- Zhou J L, Shen P, Tian X. 2015. Analysis of the characteristics of co-seismic response of gPhone gravimeter at Beijing seismic station[J]. Earthquake Research in China, 31(3): 553 - 561. (in Chinese)
- 周鹏飞,王艳霞,周汝良. 2024. 基于 ICESat-2 的横断山区 NASA DEM 高程精度评价与误差校正[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 44(5): 136 - 146.
- Zhou P F, Wang Y X, Zhou R L, et al. 2024. Evaluation of NASA DEM elevation accuracy and error correction in the Hengduan Mountain region based on ICESat-2[J]. Journal of Southwest Forestry University(Natural Science), 44(5): 136 - 146. (in Chinese)

Research on gPhone Gravimeter Drift Correction through Mobile Gravity Data Control

ZHANG Yuan^{1,2}, CUI Qinggu², HEI Hetang¹, HUANG Jiangpei²,
ZHOU Wenmin², ZI Chengzhu¹, CHEN Yang²

(1. *Xiaguan Earthquake Monitoring Center Station of Yunnan Earthquake Agency, Dali 671000, Yunnan, China*)

(2. *Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China*)

(3. *Northwestern Yunnan Crustal Tectonics Observatory of CEA, Dali 671000, Yunnan, China*)

Abstract

It is difficult to correct the drift of the data produced by the continuous gravimeter, gPhone. To solve this problem, we collect the data measured by gPhone at Yunlong Station from January 2019 to May 2024, and do the drift correction through mobile gravity data control. Then we compare the de-drifted data with the data corrected with the wavelet filtering method and the polynomial fitting method. We find that after drift correction through mobile gravity data control, the gravity data's cumulative change in 5.4 years decreases from about $1\,374 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$ to $69 \times 10^{-8} \text{ m/s}^2$. The de-drifted data are similar to the corrected data processed through 5th-order polynomial of the wavelet filtering method. The residual distribution through mobile gravity data control is close to the one of the data processed through 5th-order polynomial correction of the wavelet filtering method. The method of the drift correction through mobile gravity data control is evaluated to be superior to the other two methods. The drift correction method we proposed is practical, and it is a new approach for the drift correction of the continuous gravity data.

Keywords: continuous gravimeter gPhone; mobile gravity measurement; polynomials; wavelet filtering; drift correction