

胡金桥, 李 盛, 张 帆. CG-5 重力仪在海南岛陆流动观测的零漂特征 [J]. 华南地震, 2017, 37(S1): 53-57. [HU Jinqiao, LI Sheng, ZHANG Fan. The Drift Characteristics of CG-5 Gravimete in the Flow Observation of Hainan Island[J]. South China journal of seismology, 2017, 37(S1): 53-57.]

## CG-5 重力仪在海南岛陆流动观测的零漂特征

胡金桥, 李 盛, 张 帆

(海南省地震局, 海口 570203)

**摘要:** 收集整理 2010 以来海南岛陆流动重力测量数据, 获得了使用 CG-5 重力仪进行流动重力测量期间, 每台仪器的日均零漂率, 并对测量数据进行拟稳平差处理后获得每期测量数据的平均点值精度。通过研究, 认为 CG-5 重力仪在海南岛陆测量期间的日均零漂率不存在随着测点纬度的增加而减小的情况; 每期观测数据的平均点值精度和两台仪器日均零漂率标准差均值呈正相关关系。

**关键词:** CG-5 重力仪; 零漂率; 平均点值精度; 正相关关系

**中图分类号:** TH761.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-8662 (2017) S1-0057-05

**DOI:** 10.13512/j.hndz.2017.S1.008

## The Drift Characteristics of CG-5 Gravimete in the Flow Observation of Hainan Island

HU Jinqiao, LI Sheng, ZHANG Fan

(Hainan Earthquake Agency, Haikou 570203, China)

**Abstract:** This paper analyses the mobile gravity data of Hainan Island since 2010, and gets each CG-5 Gravimete's zero drift rate per day during measuring and the averaged-solution accuracy of each period by quasi-stable adjustment processing the measurement data. The results show that the CG-5 Gravimete's zero drift does not decrease as the latitude of the measuring point increases during measured in Hainan Island, and the relationship is positive correlation between Gravimete's zero drift of each observation data and the daily zero drift standard deviation of per instrument.

**Keywords:** CG-5 Gravimete; Zero drift ratio; Averaged-solution accuracy; Positive correlation

**收稿日期:** 2017-03-07

**基金项目:** 中国地震局地震科技星火计划(XH15034Y)和海南省地震局科研课题(HDKJ201711)

**作者简介:** 胡金桥 (1982- ), 助理工程师, 主要从事农居工程、地震安全性评价和流动重力测量工作。

**E-mail:** q704168468@qq.com.

## 0 引言

近年来,流动重力在我国中强地震的中长期地震预测中发挥着越来越重要的作用。作为全国最南端的省份,海南省于 2003 年开始进行流动重力测量工作,至 2016 年年底,已进行了 22 期的流动重力复测工作。其中,2003—2009 年,海南岛陆流动重力测量所使用的仪器是 Lacoste—Rombeg-G 型重力仪;2009—2014 年,测量仪器是 CG-5 型重力仪<sup>[1]</sup>。

CG-5 重力仪是加拿大 Scintrex 公司生产的一种全自动重力仪,使用无静电熔凝石英弹簧,其精度约  $\pm 5 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,读数分辨率  $\pm 1.0 \times 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ,厂家提供的静态漂移率小于  $1 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{d}$ ,测量范围  $8\,000 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$  (全量程反馈),具有自动读数功能,可选择潮汐、倾斜、温度、滤波等修正项<sup>[2-3]</sup>。作为一种弹簧重力仪,其不可避免的存在着零点漂移现象。所谓零点漂移,即为把重力仪放在固定一点上,每隔一定时间进行一次读数,结果读数在不断变化,且每隔时间越长,读数相差越大,就像重力仪的零点位置在不断变化<sup>[4]</sup>。零漂改正可由式(1)表示:

$$K = (g_2 - g_1) / (t_2 - t_1) \quad (1)$$

式 1 中,  $K$  为零漂率,  $g_1$ 、 $t_1$  为已知起始点开始测量时的重力观测值和时刻,  $g_2$ 、 $t_2$  为回到已知点闭合时的重力观测值和时刻。

对于 CG-5 重力仪零漂特征的研究,国内一些专家学者已进行了一些较为深入透彻的研究,并

获得了一系列的研究成果。如邢乐琳等认为 CG-5 重力仪观测读数重复性较好,标准差优于 5.0,动态观测精度优于  $15.0 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{d}$ ;汪健等认为 CG-5 重力仪零漂值较高,幅值随时间变化逐渐减小,最终趋于稳定;静态零漂率和动态零漂率总体随空间纬度(重力值读数段)增大而减小,但个体差异较大<sup>[5]</sup>;沈博等认为 CG-5 重力仪在引进初期,静态零漂率往往较低,常见值  $0.5 \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{d}$  左右,在首个野外使用工期中,漂移率通常出现大幅升高,可达到  $(2 \sim 3) \times 10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}/\text{d}$ 。但这些认识,均不是在海南岛陆这一特有的热带岛陆环境下观测实验所获得,为此,本文专门就 CG-5 重力仪在海南岛陆流动观测的零漂特征进行研究。

## 1 资料选取

2010 年以来,海南岛陆流动重力测网一直稳定在 56 个测点、60 个测段这一状态(测网图见图 1),测量所用仪器均为 CG-5 重力仪,仪器租自中国地震局地震研究所,所用仪器均由该所在各测量单位间统筹安排,因此每次复测所用仪器未尽一致(2010 年每期观测所用仪器编号及每期观测数据平均点值精度见表 1),每次测量时均使用两台 CG-5 重力仪在各测点同时同址进行。对每期观测数据进行固体潮改正后,获得每期观测期间每日每台仪器的平均零漂率,本文以测量期间每日平均零漂率数据为基础,研究 CG-5 重力仪的零漂特征。

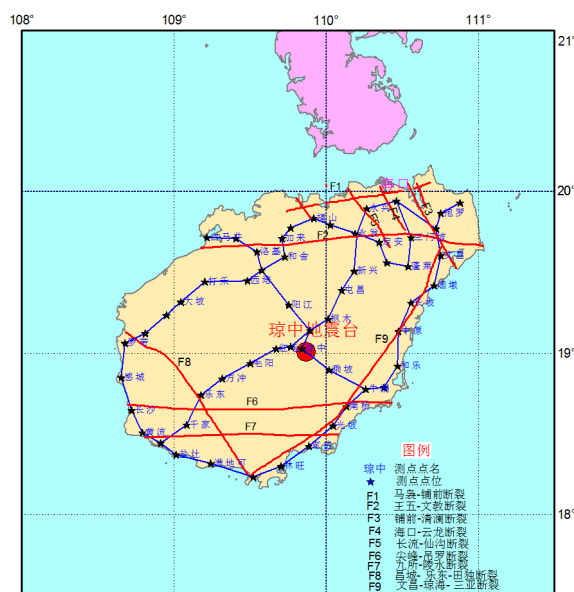


图 1 海南岛陆流动重力测网分布图

Fig.1 The distribution map of mobile gravity survey grid in Hainan island

2 零漂特征分析

从表 1 可知，2010 年以来，除 2015 年第二期外(测量时间为 2105 年 9 月至 2015 年 10 月)，C369 号 CG-5 重力仪每期均参与观测。且由于每年的观测时间基本固定(基本每年 4 月至 5 月进行第一期观测，每年的 9 月至 10 月进行第二期观测)，因此本文分别绘制了每年第一期和第二期观测期间 C369 号仪器的每日平均零漂率变化图(见图 2)。从图 2 可见，C369 号重力仪仅在 2012 年第二期整个测量期间零漂率变化幅度较大；2014 年和 2016 年第一期、2010 年和 2014 年第二期起始测量 1 至 3 天内的日平均零漂率变化较大，其他时间零漂率变化较小，这可能是因为在海南开始观测时仪器尚未稳定；其余 7 期测量期间，C369 号重力仪零漂率变化幅度较小，基本保持稳定，仅偶有跳跃，每日平均零漂率基本在 0.01~0.02 mGal/h( $1\text{ mGal}=1\times10^{-5}\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ )之间变化。

表 1 海南岛陆流动重力测量每期观测仪器编号及观测数据  
平均点值精度

Table 1 Instrument number of periodic mobile gravity observation and averaged-solution accuracy of observation data in Hainan island

观测时间	仪器编号	点值精度/ ( $\times 10^{-8}\text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ )
2010-04~2010-05	C230、C369	8.0
2010-09~2010-10	C230、C369	8.1
2011-04~2011-05	C230、C369	8.1
2011-09~2011-10	C230、C369	8.3
2012-03~2012-04	C230、C369	9.2
2012-10~2012-11	C230、C369	10.4
2013-04~2013-05	C230、C369、C221	9.5
2013-09~2013-10	C369、C221	9.8
2014-04~2014-05	C369、C221	11.4
2014-09~2014-10	C232、C369	13.4
2015-04~2015-05	C232、C369	18.0
2015-09~2015-10	C221、C509	15.3
2016-04~2016-05	C232、C369	9.9
2016-09	C232、C369	8.3
2017-04~2017-05	C509、C524	8.3

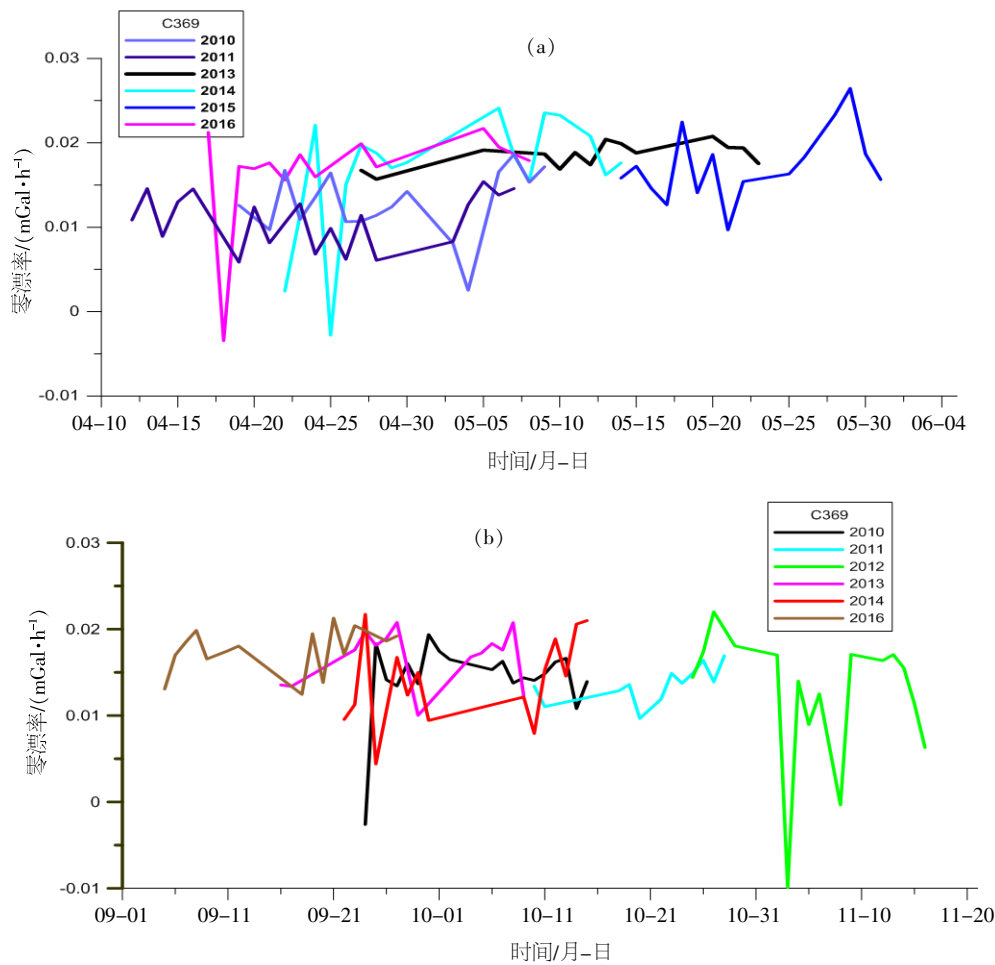


图 2 2010 年以来 C369 号 CG-5 重力仪在海南观测期间的零漂率 (a 为每年第一期的零漂率，b 为每年第二期的零漂率)  
Fig.2 The zero drift rate of the number C369 CG-5 gravity apparatus during measuring in Hainan since 2010 (a is the first phase of each year, b is the second phase of each year)

2010 年至 2012 年, 海南岛陆流动测量均使用了 C230 号仪器。比较 2010 年至 2012 年每年两期 C230 号仪器的日均零漂率变化(图 3), 发现每一年两期的零漂率基本处在同一水平变化, 也即上半年和下半年观测期间的零漂率无明显的差异。但与图 2 情况类似, 每期观测初期 1~3 日的零漂

率变化幅度较大, 待仪器稍稳定后其每日零漂率变化幅度较小。比较两台仪器同期零漂率, 在此以 2016 年 C232 和 C369 号仪器零漂率变化为例分析(见图 4), 可知两台仪器的零漂率在上半年和下半年也无明显差异, 同时, C369 的零漂率变化幅度更小, 仪器更为稳定。

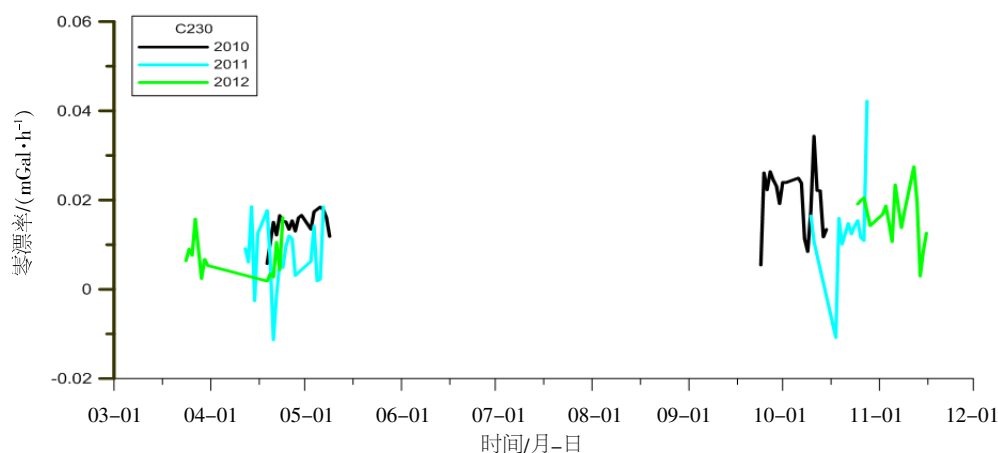


图 3 2010 年至 2012 年 C230 号 CG-5 重力仪在海南观测期间的零漂率

Fig.3 The zero drift rate of the number C230 CG-5 gravity during measuring in Hainan from 2010 to 2012

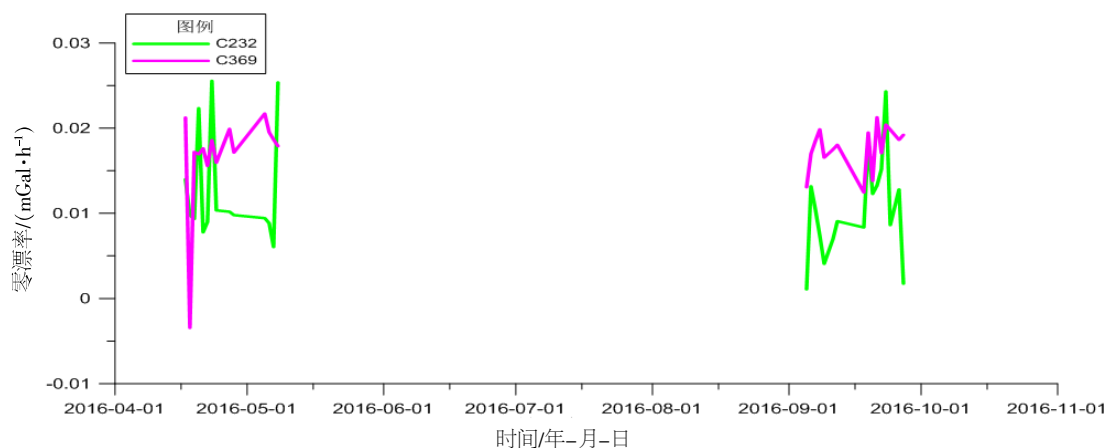


图 4 2016 年 C232 号和 C369 号 CG-5 重力仪在海南观测期间的零漂率

Fig.4 The zero drift rate of the number C230 and C369 CG-5 gravity during measuring in Hainan 2016

汪健等<sup>[9]</sup>提出静态零漂率和动态零漂率总体随空间纬度(重力值读书段)增大而减小。为检验这一认识, 计算测量期间每日两台重力仪的平均零漂率, 挑选每期在海口美兰及其附近测点(位于海南岛最北端)测量时的日均零漂率与在三亚及其附近测点(位于海南岛最南端)测量时的日均零漂率进行比较(见图 5), 发现美兰及附近测点测量时的日均零漂率未必均小于三亚及附近测点测量时的日均零漂率, 两者互有大小且相差比较小, 且两者的变化趋势基本一致。这可能是海南岛陆面积较小(面积约 3.54 万平方千米), 海口和三亚的纬度差异较小, 不足以反映两地之间的零漂率差

异的缘故。

点值精度是评价每一期流动重力观测质量的重要指标。经对 2010 年以来每一期流动重力观测数据进行拟稳平差<sup>[10]</sup>处理, 获得每一期观测数据的平均点值精度; 同时计算每一期每台仪器的日均零漂率的标准差, 再计算每期两台仪器日均零漂率标准差的均值(以下简称标准差均值)。对两者进行比较(见图 6), 发现平均点值精度和标准差均值基本呈正相关关系, 趋势一致。尤其是 2014 年第一期至 2015 年第二期, 每一期标准差均值走高, 与之相应, 平均点值精度也相应升高。

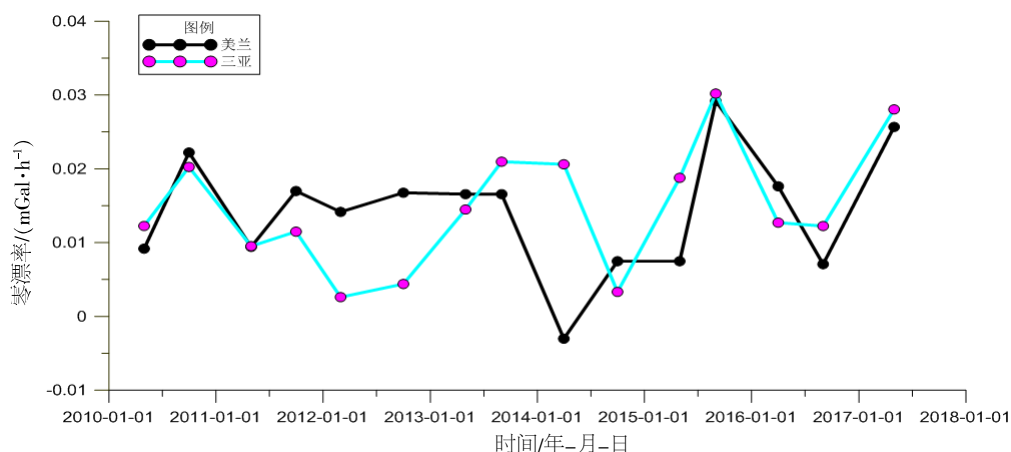


图5 美兰及附近测点和三亚及附近测点测量时的日均零漂率变化

Fig.5 The daily changes of zero drift rate daily of Meilan and its nearby measuring points, Sanya and its nearby measuring points

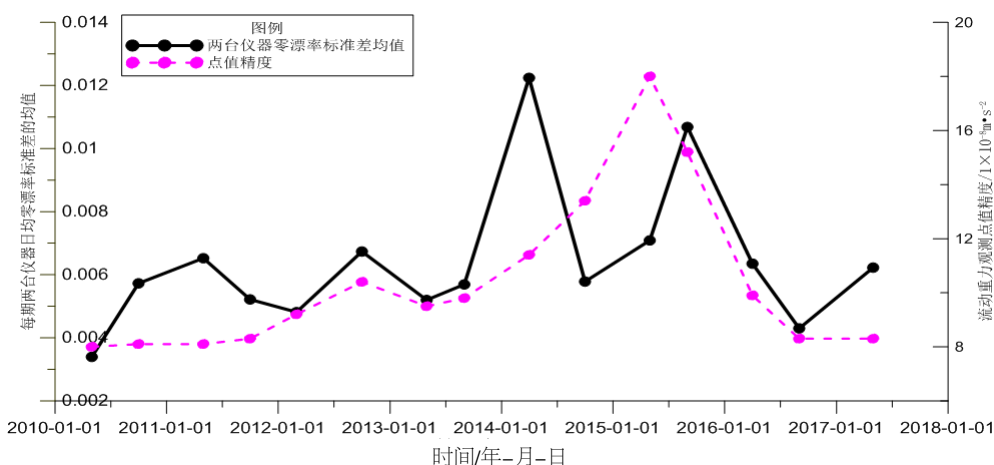


图6 每期两台仪器日均零漂率标准差的均值和平均点值精度

Fig.6 The standard deviation mean value of daily zero drift rate average and the average point precision of two gravities per phase

## 4 结论

综合以上分析,认为:

(1) 使用 CG-5 重力仪进行流动重力测量初期(1~3 d 内),其日均零漂率可能存在不稳定现象,变化较大;待连续观测几天后,其日均零漂率变幅减小,趋于稳定。因此,在进行正式流动重力观测之前,应先经过一段时间(一般以 2~4 d 为宜)连续观测。

(2) 在每年进行两期流动观测的情况下,上半年和下半年测量期间各 CG-5 重力仪日均零漂率无明显差异,也即 CG-5 重力仪日均零漂率无季节性差异变化。

(3) CG-5 重力仪在海南岛陆测量期间的日均零漂率不存在随着测点纬度的增加,零漂率减小的情况,这可能与海南岛陆总体纬度差异较小有关。

(4) 每期观测数据的平均点值精度和标准差

均值呈正相关关系,即标准差均值越大,平均点值精度越大,数据观测质量越低。

## 参考文献:

- [1] 李盛,王赵清,李砚,等. 海南岛陆重力场演化特征研究[J]. 华南地震,2016,36(2):70-76.
- [2] 邢乐林,李辉,夏正超,等. CG-5 重力仪零漂特性研究[J]. 地震学报,2010,32(3):369-373.
- [3] 沈博,袁尚武,马玄龙,等. CG-5 重力仪的漂移与寿命[J]. 物探与化探,2015,39(2):383-386.
- [4] 肖凡,张宏伟. 利用 CG-5 重力仪标定动态检定场[J]. 地理空间信息,2012(4):126-128.
- [5] 汪健,孙少安,邢乐林,等. CG-5 重力仪的漂移特征[J]. 大地测量与地球动力学,2016,36(6):556-560.
- [6] 陆汉鹏,李建奎,王锋吉,等. 2013 年莱州  $M_s$  4.6、2015 年乳山  $M_s$  4.6 级地震前后重力场变化特征[J]. 华南地震,2016,36(4):27-33.