

ZSM—6 重力仪的观测精度及常见问题分析

Analysis of Observation Accuracy and Common Problems of ZSM—6 Gravimeter

袁国梁

Yuan Guoliang

(中国地质调查局地球物理调查中心 河北廊坊 065000)

(Geophysical Survey Center of the China Geological Survey, Langfang, Hebei, 065000)

摘要: 文章简要介绍了 ZSM—6 相对重力仪的主要特点及主要技术指标; 分析了 ZSM—6 重力仪的工作原理和在观测过程中, 影响相对重力观测精度的因素以及随着使用年限的增加, 电子元器件性能的稳定性变化对仪器的测量系统的影响, 外业工作中常见的问题及解决方法。

Abstract: The article briefly introduces the main characteristics and technical specifications of the ZSM—6 relative gravimeter; Analyzed the working principle of the ZSM—6 gravimeter and the factors that affect the accuracy of relative gravity observation during the observation process. As the service life increases, the stability of electronic component performance changes have an impact on the measurement system of the instrument, as well as common problems and solutions in field work.

关键词: 重力仪; 重力测量; 静态观测; 观测精度

Keywords: gravimeter; Gravity measurement; Static observation; Observation accuracy

0 引言

重力勘探是地球物理勘探方法中的一个重要的分支学科, 是当下地球物理勘探的主要方式之一, 用于重力勘探的仪器称为重力仪, 即重力加速度仪器, 是确定重力加速度的测量仪器。重力仪分为相对重力仪和绝对重力仪, 相对重力仪用于测定地球表面上两点间重力值的差值; 绝对重力仪用于测定地球表面上一点的绝对重力值。广泛应用于地球重力场的测量, 固体潮观测, 地壳形变观测以及重力勘探等工作。目前, 相对重力仪是当下地勘行业主流的重力勘探仪器。

ZSM—6 重力仪具有自动数据改正(固体潮改正; 漂移改正; 温度改正; 倾斜改正; 噪声滤波)等功能。该仪器是根据力学原理采用零点读数法测量重力加速度的相对变化, 其测量重力加速度的过程就是重力仪核心部件“熔融石英弹簧”弹力与下端所挂质量块受地球引力的力矩平衡过程, 石英弹簧弹力的大小与质量块所收到的重力成正比。

一、ZSM—6 相对重力仪简介

ZSM—6 相对重力仪是北京奥地探测仪器有限公司自主研发的具有完全知识产权的智能化数字重力仪, 该仪器采用了石英弹簧技术, 设计了全新的熔融石英弹性传感器系统。ZSM—6 重力仪读数分辨率为 $0.1\mu\text{Gal}$, 观测精度 $< 0.005\text{mGal}$, 最小直读范围(量程) $\geq 8000\text{mGal}$ 残余长期漂移 $\leq 0.02\text{mGal/day}$; 相对机械重力仪 ZSM—6 重力仪精度进一步提高, 适用范围更广; 该仪器可实现重力数据的自动采集、处理、显示、记录以及文件输出方面的数字化技术, 以及智能化的自动数据改正(固体潮(潮汐)改正、漂移改正、温度改正、倾斜改正、噪声滤波); 并设计有全中文的操作界面, 触摸屏和实体按键的配合, 有效提高了工作效率, 仪器重量(不含三脚架) $< 8\text{Kg}$ 便于携带; 采用了 BDS(北斗)/GPS 双模定位模块: 功耗低、抗干扰, 定位精度可达 2.5m ; 对工作或贮存温度范围较广, 可在 $-40^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ 温度区间中贮存, 贮存环境相对湿度 $\leq 95\%$, 能够很好的适应野外作业环境^[1]。

二、ZSM—6 重力仪工作原理及静态试验和观测精度

(一) 工作原理

ZSM—6 重力仪主要由重力传感器分系统、控温测温分系

统、倾角测量分系统、控制与数据处理分系统和定位授时分系统等 5 部分构成。根据静力学原理, 运用零点读数法测量重力加速度的相对重力值, 其测量重力加速度的过程就是重力仪核心部件“熔融石英弹簧”弹力与下端所挂质量块受地球引力的力矩平衡过程, 石英弹簧弹力的大小与质量块所收到的重力成正比^[2]。当重力发生改变时, 熔融石英弹性系统通过一个电容测微传感器来检测重荷的位置位移, 反馈电路将反馈电压施加在电容测微传感器的极板上, 极板产生的静电力使重荷(动极板)返回零点位置。由于重荷是悬挂在一根石英弹簧上, 当重力变化时, 重荷的位置发生上下移动, 因此, 属于线位移系统。石英弹性系统由核心部件一根石英弹簧和相关辅助部件组成, 见图 1

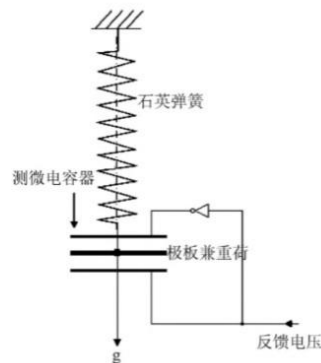


图1 重力传感器原理图

(二) 观测精度

关于影响相对重力测量精度的因素主要可以分为重力仪格值的系数和零点漂移以及倾斜等多方面的影响。

1、格值。重力仪格值是指重力仪测微器读数变化一格时相应的重力变化。单位是毫伽/格。是衡量外力补偿大小的参数数值, 即表示每一单位仪器读数或刻度代表多少重力值。传统的重力仪格值为常数, 这就要求仪器在出厂前就要进行相应的标定, 每个格值对应一台重力仪器, 并且每隔一段时间还需要进

行一次新的标定。而现代的新型重力仪格值是分段线性的，如ZSM—6型相对重力仪。影响重力仪格值变化的因素有仪器硬件上的老化，如：重力传感器弹簧的老化、测微螺丝的磨损或长期使用重力仪格值也可能发生一定的变化等。对于重力仪而言，在外作业的过程中为保证测量数据的准确性与可靠性，每台仪器的格值都必须进行相应的检查和标定。为了能够在实际的野外作业当中尽可能的避免各种比例因子的外推，重力仪格值的测定必须选在基线的基准点或者是基本点之间进行，重力仪格值长时间若不进行标定，格值常数与比例因子之间会存在一定的误差，因此，在作业前每台仪器必须进行一次对重力格值的标定，且各标定场重力差的相对均方误差不大于 5×10^{-5} ；各台仪器的观测段差，测线间的互差不大于 $30 \times 10^{-8} \text{m/s}^2$ 。

2、零点漂移。若将重力仪放置在一固定点上，在环境温度、湿度、外界干扰等相对稳定的情况下，对重力仪进行静态观测，观测时长24小时以上，读数时长设为60秒，仪器每8分钟观测一次，试验数据结果经固体潮改正后做出零点位移曲线。见图2-a、2-b、2-c

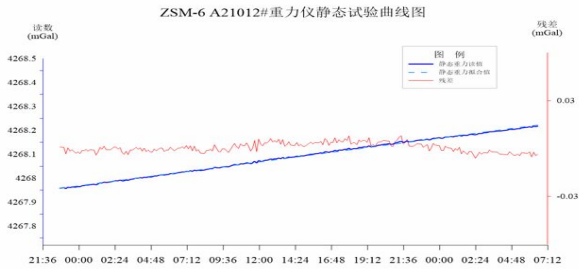


图 2-a

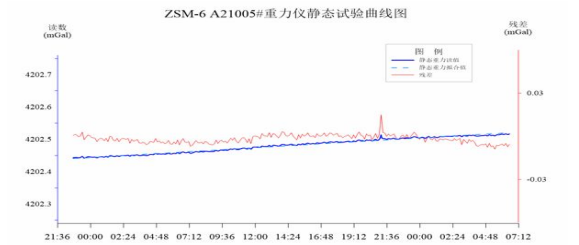


图 2-b



图 2-c

根据《区域重力调查技术规范》(DZ/T 0082-2021)零点位移曲线与直线的最大偏差不应大于测点观测均方误差 $0.14 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ 。从ZSM—6重力仪静态零漂曲线图上可以看出：①ZSM—6重力仪静态零漂曲线接近于线性，所有仪器零漂曲线与直线的最大偏差绝对值为 $0.015 \times 10^{-5} \text{m/s}^2$ ，满足重力调查技术规范要求；②在试验过程中，3台仪器所测得数据总体呈上升趋势，且读数稳定。

相关试验结果见表1

仪器编号	观测日期	观测时长	静态漂移速率	残余漂移振幅
------	------	------	--------	--------

			($10^{-5} \text{m/s}^2/\text{day}$)	($10^{-5} \text{m/s}^2/\text{day}$)
A21012	2023/5/1	32h	0.200	-0.006~0.008
A21005	2023/5/1	32h	0.061	-0.009~0.015
134244	2023/5/1	32h	0.183	-0.002~0.010

表1 静态试验数据汇总表

3、倾斜方面的影响。重力仪在倾斜方面的影响主要取决于仪器对于倾斜校准的质量，校准质量越高，倾斜误差越小，反之越大。在外业作业期间定期对仪器倾斜系统进行检查和校准，能够有效的避免或消除倾斜系统带来的潜在的误差影响。而ZSM—6重力仪具有自动倾斜改正的功能，在很大程度上使倾斜系统更加稳定。

4、其他因素的影响。影响重力测量的因素是多样化的，除上述因素外，气压的变化也会对重力读数造成一定的影响，使读数出现不稳定的情况，同时地下水位和土壤中的水分对重力的数值影响也是很大的。另外，重力仪垂直梯度的影响也是不可忽视的关键所在，重力垂直梯度的影响从本质上看是由于地球重力垂直方向下降的变化率所造成的，一般情况都是由两种重力垂直梯度组成的，在垂直梯度的异常变化，主要是由于地形变化和地形密度异常以及建筑物三者所共同引起的。

三、外业工作中常见问题及解决方法

(一)、仪器使用注意事项

1、对于仪器的格值标定及各项试验，仪器调节、校准、充电等工作应安排熟悉各项操作流程的人员进行操作。并在仪器充电时，必须使用稳压电源。

2、在仪器进行长途或者短途运输过程中，应做好仪器防护工作，避免磕碰、失重、超重或仪器水平运动的情况出现。

3、ZSM—6重力仪的零漂起始时间不能手动更改，在清楚仪器内部数据后会自动更改零漂起始时间。

4、仪器无异常时，不建议修改仪器出厂的标定参数，若需修改，应由专业人员，在绝对安静和稳定的环境下进行。

5、在非作业时间内，必须保持仪器的供电，防止出现断电情况；在放置仪器时，应使用专用三脚架将仪器稳妥放置在三脚架上并做好仪器调平。

(二)、作业中常见问题

1、外业工作时，应时刻配备至少一块备用电池，防止仪器电池出现故障或仪器电量过低导致的仪器断电。

2、作业环境温度过高，应尽量减少仪器暴晒时间，必要时采取物理防晒措施，防止仪器温度过高或快速变化导致仪器读数不稳定，数据精度不高等情况出现。

3、在极端环境下作业时，如：大风、沙尘暴等。应做好仪器周边防护，防止测量时读数跳动过大和风沙中的碎石颗粒对仪器外部的撞击导致仪器受损或读数不稳。采用硬质纸板罩在仪器周围，可很大程度上减小风沙干扰，稳定仪器精度。

4、测量时仪器突然死机，可能是仪器内部存储空间过于饱和和出现死机或者仪器温度过高导致，出现死机时可采取仪器复位的方式进行重启。复位后，应前往上一点位或已观测过的点位进行二次观测，检查仪器是否处于稳定状态。必要时放弃当日外业采集工作，返回驻地对仪器进行闭合后做静态试验，检验仪器情况。

5、野外作业结束时，为确保数据丢失问题，可将每日采集原始数据进行备份保存。

6、山区作业，三脚架无法水平放置时，可以使用地质锤等工具将测点进行整平，使三脚架水准气泡大致居中后有利于重

力仪 X、Y 轴的调平。

7、经多次试验证明,在盐碱地、沙漠等较为松软的地区作业时,重力仪角秒跳动过大无法满足观测要求时,在仪器三脚架下放置薄层硬板有助于仪器的角秒稳定。

8、在观测时,若重力读数突然发生较大变化,且面板曲线大幅度上下跳动时,先观察四周有无施工或较大干扰源导致,四周无重大干扰时,可能发生了地震。若在水源附近,水流对重力仪同样会造成较强干扰。

9、在城镇街道或行驶道路做重力观测时,应尽最大程度的避免行驶车辆和行人的干扰,可采取车辆及行人较少的时段进行观测。根据干扰情况适当增加观测组数,确保重力读数的准确性。

另外,在进行重力测量时,因工区地面软硬程度不同,这就导致不同测点,仪器与地面的高度也不行同,重力仪与地面的高度就会产生一定的高差,从而影响重力仪的高程与 RTK 测得高程存在一定误差,针对此种情况,观测者应在每一个测点观测前或完毕后,使用测量工具测量重力仪距离地面的高度并做记录,在进行数据处理时,对各测点位重力仪与地面的高度做改正后,消除重力仪与 RTK 高程误差,提高数据精度。在重力测量过程中,我们会遇到各种外界或人为因素的干扰,这就要求我们观测者能够在各种干扰出现时能够及时的采取应对措施,提高仪器观测精度,确保数据的准确性及可靠性。

四、结论与认识

在重力工作中,影响重力测量精度的因素是多种多样的。经过研究和分析,我们能够发现,相对重力测量的影响因素不

仅仅是仪器自身的因素,还包括重力垂直梯度的影响,重力测量的环境、地区甚至作业人员的不当操作都是影响测量精度的重要因素。不断总结积累重力测量过程中的工作经验,也将大大提高重力工作的效率,减少工作过程中仪器对工作的影响,获取更高质量的重力数据。另外,随着 ZSM—6 重力仪使用年限的增加(一般在 5~8 年),仪器内部电子元器件发生老化后性能会逐步降低,操作仪器时,仪器面板会出现触屏不灵敏,面板卡顿等情况。且在仪器经过移动后进行重力测量时,测量系统会需要一定的时间才能稳定。试验表明,对于电子元器件发生老化性能不够稳定的重力仪,可以进行观测前的静置和适当增加观测时间来改善仪器的观测精度。由于每台仪器的电子元器件的老化程度不同,仪器观测时间和精度的确定需要通过试验才能确定。对于部分性能特别不稳定的重力仪,可联系厂家进行返厂维修。

参考文献:

- [1]《区域重力调查技术规范》(DZ/T 0082-2021);
- [2]邓友茂,王振亮,孙诚业,《CG—5 重力仪的观测时间与精度分析》;
- [3]北京奥地公司《ZSM—6 数字重力仪简介》。
- [4]陶照明,梁连仲,秦佩,王斌,薛振海,许德树,《ZSM—6 高精度数字重力仪原理与应用试验》
- [5]路利春,周明霞,李小龙,孙海龙,张冲,郑向光,庞日轩,王龙龙,李冰,许石,郑伟《CG—5 重力仪外业工作中常见问题及解决方法》
- [6]何士杰《影响相对重力测量精度的因素浅谈》