

GS 型重力仪面板常数测定的研究

蔚晓利, 苏乃秦, 杨又陵, 王云山

(新疆维吾尔自治区地震局, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 系统分析了 GS-15-216 重力仪多次在重力基线场标定的结果, 并与厂家给出的面板常数进行对比, 认为 GS 型重力仪的面板常数存在长期变化, 应定期重新标定; 检修或工作状态的变化也会引起面板常数的改变; 面板常数是仪器测程的函数, 必须分段标定以便拟合一条常数曲线。

关键词: 重力仪; 面板常数; 重力基线场

中图分类号: P315.72⁺6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2000)02-0172-05

0 前言

GS-15 型重力仪是我国地震系统使用最多和在工作时间最长的重力固体潮观测仪器, 正确测定和使用仪器常数 K 值十分重要, 它直接影响到重力固体潮观测结果的准确性和精度。 K 值表示弹性系统的单位位移量所代表的重力值的变化量, 即仪器的格值。 GS 型重力仪在出厂时厂家已给出了一条 K 值曲线, 俗称面板常数, 利用它可以查到不同测段的仪器格值。 K 值曲线不一定是线性的, 如乌鲁木齐的两台 GS-15 型重力仪, GS-15-216 重力仪的 K 值曲线为分化尺位置线性函数, 而 GS-15-218 重力仪的 K 值为一条 3 次曲线。 由于厂家使用的标定场所与中国的重力基线场不属于同一系统, 同时在长期的工作中, 检修仪器、改变仪器工作状态以及弹性系统的疲劳、老化等都会引起 K 值的变化, 因此有必要定期检测。

K 值的测定方法有多种: 野外基线法、梯度法、倾斜法、倒小球法等等, 按照中国地震局重力台站观测规范的要求^[1] 主要使用野外基线法和倒小球法。 1979~1988 年期间乌鲁木齐红山台的两台 GS-15 型重力仪曾利用野外基线法标定了 3 次 K 值曲线, 1979 年用倒小球法标定了 2 次, 由于倒小球法需要使用测点的绝对重力值, 同时计算公式是厂家提供的, 与面板常数属同一系统, 所以标定的结果与面板常数十分接近, 相对误差小于 10^{-4} ^[2], 以后再未使用该方法标定过。 以下以 GS-15-216 重力仪野外基线场的测定结果为例进行分析研究。

1 标定情况及结果

重力仪弹性系统的位置是由目视镜中分划尺的格数表示的, 量程为 0~8 000 小格。 一般工作时放在中段, 即 3 500~4 500 小格附近。 由于弹性系统的非线性变化, 常数 K 值是分划尺刻度值的函数。 要求在标定时要多次改变测量段, 得到不同分划尺位置的 K 值, 以便拟合一条曲线。

按照中国地震局重力台站观测规范的要求^[1], 每次标定, 必须在基线场的两基点上取自差不大于 $40 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$ 的 6 个以上合格独立的段差(连续 3 个单程为一组结果), 然后利用贝塞尔公式对结果进行精度评定。

1.1 1979 年南京重力基线场标定

为了准备 1980 年开始的中国—比利时重力固体潮联合观测, 1979 年初国家地震局调部分省局的 GS 型重力仪到湖北省黄石市进行比测, 于 1979 年 4 月在南京重力基线场对各台仪器进行了统一的 K 值标定^[4]。

标定工作分别是在基线场的 I—III 号点和 I—II 号点间进行的, I—III 号点间的段差为 $50.482 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$, I—II 号点间的段差为 $17.309 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 。标定期间天气晴好, 日平均气温为 $20 \text{ }^\circ\text{C}$, 日变化量小于 $5 \text{ }^\circ\text{C}$, 重力仪恒温阶放在 $40 \text{ }^\circ\text{C}$ 档。整个过程分 4 个测段进行, 结果列于表 1。

表 1 1979 年南京重力基线场 GS 15-216 重力仪标定结果

基线场测段	测段中值	实测组数	段差值	$K / (\text{ms}^{-2} \cdot \text{小格}^{-1})$	相对误差
	/ 小格		/ 小格		/ %
I—II	2 590.5	11	251.41	68.848×10^{-8}	2.4×10^{-4}
I—III	3 625.3	10	731.79	68.985×10^{-8}	8.1×10^{-5}
I—III	5 300.5	12	730.39	69.117×10^{-8}	1.0×10^{-4}
I—II	6 812.2	12	250.36	69.136×10^{-8}	1.6×10^{-4}

用最小二乘法拟合得到 K 值方程为:

$$K_{79} = 6.7919 \times 10^{-5} \cdot S_x + 68.710$$

$$r = 0.94421$$

其中 S_x 为分划尺的读数。曲线见图 1 中的 K_{79} 。

1.2 1984 年北京重力基线场标定

1980 年以前, GS-15-216 重力仪受气压的影响非常大, 与气压的相关系数在 -0.8 左右, 受其影响量高达 $-10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2} / \text{nPa}$, 1982~1983 年期间曾在武汉地震研究所等地进行过气压试验, 认为是气压补偿盒漏气所致, 因此修补了气压补偿盒并调整了相对位置, 从而使气压的影响量减小到 $-5 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2} / \text{nPa}$ 。按重力台站观测规范的要求, 于 1984 年 8 月在北京高崖口重力基线场重新测定了 K 值曲线。标定选在基线场的 II—III 号点之间进行, 段差值为 $64.728 \times 10^{-5} \text{ ms}^{-2}$ 。观测期间天气晴好, 温度变化为 $23 \sim 31 \text{ }^\circ\text{C}$, 仪器的内恒温放在 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 档(1982 年后仪器一直在 $35 \text{ }^\circ\text{C}$ 档工作), 标定分 4 个测段进行, 结果列于表 2。其中有一段的实测组数小于 6, 但观测精度达到要求, 同时该测段位于底位量程, 一般并不去使用, 为拟合 K 值曲线而采用了这一结果。

表 2 1984 年北京重力基线场 GS 15-216 重力仪标定结果

测段中值	实测组数	段差值	$K / (\text{ms}^{-2} \cdot \text{小格}^{-1})$	相对误差
/ 小格		/ 小格		/ %
1 348.20	5	939.2707	68.913×10^{-8}	1.141×10^{-4}
3 177.22	7	937.5688	69.038×10^{-8}	1.001×10^{-4}
4 736.88	7	936.3360	69.129×10^{-8}	8.930×10^{-5}
5 704.14	6	935.2492	69.209×10^{-8}	8.540×10^{-5}

用最小二乘法拟合的 K 值曲线方程为:

$$K_{84} = 6.6611 \times 10^{-5} \cdot S_x + 68.823$$

$$r = 0.99857$$

式中 S_x 为分划尺读数, 曲线见图 1 中的 K_{84} .

1.3 1988 年北京重力基线场标定

1986~1987 年在武汉地震研究所的协助下, 对重力仪的恒温系统作了较大的改造, 将内恒温由间断式加温转换成小电流连续加温, 外层恒温仍保留原来的加温方式, 以减少温度梯度引起的记录曲线的波动和锯齿状, 提高观测精度. 根据重力台站观测规范要求, 于 1988 年 9~10 月在北京高崖口重力基线场又一次标定了 K 值曲线.

标定是在 II—III 号点间进行的, 标定时仪器恒温档为 35°C . 本次标定期间, 天气变化较剧烈, 温差高达 15°C ($8\sim 23^\circ\text{C}$), 时有阴雨, 整个过程很不顺利. 为了达到标定精度, 曾多次复测, 最后从中选出 6 组结果.

本次标定分 4 个大测段进行, 在分析了上两次标定的结果后认为, 在日常工作中一般使用测程的中段, 即 3 500~4 500 小格间, 为提高标定的准确性, 对每一大测段又分两段进行标定, 本次实际的标定区间为 2 600~4 700 小格, 而对 0~2 000 和 5 000~8 000 段未进行标定. 结果列于表 3. 其中有一段的实测组数小于 6, 但标定精度很高, 在计算时仍被采用.

表 3 1988 年北京重力基线场 GS 15-216 重力仪标定结果

测段中值 / 小格	实测组数	段差值 / 小格	$K / (\text{ms}^{-2} \cdot \text{小格}^{-1})$	相对误差 / %
2 644. 6	6	939. 0638	$68. 928 \times 10^{-8}$	$1. 2 \times 10^{-4}$
3 508. 3	6	938. 5465	$68. 966 \times 10^{-8}$	$0. 7 \times 10^{-4}$
3 572. 7	5	938. 6323	$68. 960 \times 10^{-8}$	$0. 3 \times 10^{-4}$
3 557. 9	6	938. 1607	$68. 994 \times 10^{-8}$	$1. 3 \times 10^{-4}$
4 184. 4	6	937. 4684	$69. 046 \times 10^{-8}$	$0. 9 \times 10^{-4}$
4 642. 6	6	937. 5780	$69. 037 \times 10^{-8}$	$0. 9 \times 10^{-4}$

利用最小二乘法拟合的 K 值曲线方程为:

$$K_{88} = 6.2621 \times 10^{-5} \cdot S_x + 68.7577$$

$$r = 0.9213$$

式中 S_x 为分划尺读数, 曲线见图 1 中的 K_{88} .

图 1 给出了 GS-15-216 重力仪各次的 K 值曲线, 其中 K_0 为厂家给出的面板常数曲线. 图中用圆点标出了实测值的位置.

2 结果分析

(1) 根据重力台站观测规范的要求, 野外基线场的标定精度必须达到 10^{-4} 量级, 文献[2]中的结论为不低于 3×10^{-4} . GS-15-216 重力仪的 3 次标定的精度均在此范围内, 其中 1984 年的精度最高. 比较 3 次标定 K 值方程的拟合系数 r 值, 1984 年的 r 值高达 0.998, 表明各测段 K 值的相关性非常好, 1988 年各组结果之间的相关性较差, r 值为 0.92, 主要是气象因素造成的, 施测时外界温度与仪器的恒温阶相差 $15\sim 20^\circ\text{C}$, 恒温系统一直处于加温过程, 电流过大, 致使电瓶电压下降快, 仪器内温无法在 35°C 附近实现动态平衡, 同时 II 号点与 III 号点之间的温差有时可达 5°C , 往返标定一次约 15 min, 急剧的温度变化也使仪器的零漂不稳, 从而产生较大的读数偏差. 1972 年对重力仪的温度试验结论为: 环境温度变化 1°C , 弹性系统的温度将

变化 $0.02 \sim 0.03 \text{ } ^\circ\text{C}$, 4 ~ 5 h 后稳定^[3]. 若按迟后 2 h 计算, 内外温度变化相关系数可达 0.91, 引起重力值变化约为 $5 \times 10^{-8} \sim 10 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, 该影响将持续 24 h 左右. 为了弥补温差过大造成的误差, 同时考虑到经常工作的测段在 3 500 ~ 3 600 小格间, 在此段测了多次, 并选出符合标定精度的 3 次参加曲线拟合, 使用效果很好.

(2) 表 4 列出了 4 组 K 值方程的参量及其与面板常数的偏差, 其中 K_0 的参数是由面板常数曲线拟合求得的.

由表 4 和图 1 可以看到, 在基线场标定的结果均小于面板常数 K_0 , 1979 年的结果偏差为 -0.33% , 1984 年的为 -0.17% , 1988 年的介于二者之间. 这一事实表明: 国内的重力基线场与厂家使用的标定场不属于同一系统, 仪器常数存在系统的偏差.

3 次标定的常数曲线与 K_0 曲线均为线性函数, 拟合精度高, 斜率基本一致, 由此可以确认 GS-15-216 重力仪的弹性系统为线性输出. 与原面板常数曲线的斜率 b_0 相比, 各次标定 b 值均偏大, 1988 年约偏大 6%, 而 1979 年和 1984 年分别偏大 15% 和 13%, 这种变化在 4 000 小格处相对变化 1 大格 (100 小格) 对 K 值的影响量约为 $0.006 \times 10^{-8} \text{ ms}^{-2}$, 累加量将逐步增大.

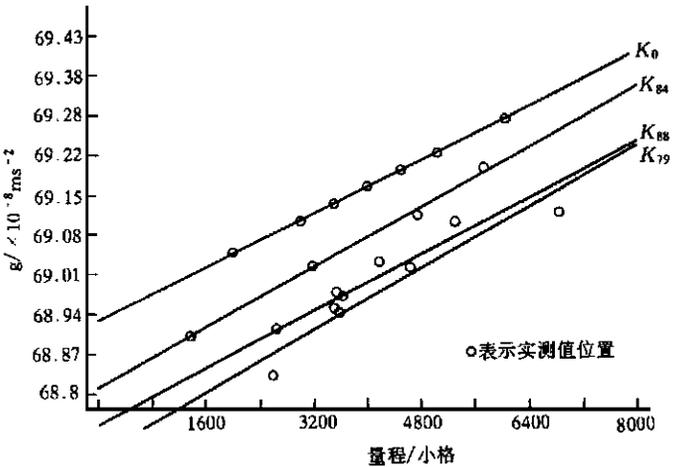


图 1 GS-15-216 重力仪 K 值曲线

Fig. 1 The scale value K curves of GS-15-216 gravimeter.

表 4 K 值方程参量

K	R	A	b	$(a - a_0) / a_0$	$(b - b_0) / b_0$
K_0	0.9999	68.9410	5.8961×10^{-5}		
K_{79}	0.9442	68.7100	6.7919×10^{-5}	-3.35×10^{-3}	0.15
K_{84}	0.9986	68.8230	6.6611×10^{-5}	-1.71×10^{-3}	0.13
K_{88}	0.9213	68.7577	6.2621×10^{-5}	-2.66×10^{-3}	0.06

(3) 如果该仪器的面板常数是 1972 年测定的 (1972 年从西德引进的仪器), 那么各次测定的 K 值曲线的时间间隔分别为 7 a、5 a、4 a, 可以发现每隔几年后仪器常数会出现一定的变化, 这可能与检修仪器有关, 但也可能与弹性系统的老化有关, 3 次标定的最大互差约为 0.20%, 即对潮汐观测将带来 0.20% 左右的相对误差. 因此相隔几年在重力基线场重新测定 K 值曲线是很有必要的, 尤其是在仪器检修之后和重新安装之前.

(4) 必须将测程分为 4 段以上进行标定, 以便掌握弹性系统的输出规律, 拟合 K 值曲线, 如果可能最好在 3 500 ~ 5 000 小格之间多标几段, 准确测定这一区间的变化. 目前国内的多数 GS 型重力仪已多年未重新标定面板常数, 即使标定一般也只测中间一段, 得到一个 K 值后长期使用, 笔者认为对于高精度潮汐观测将产生较大的影响. 从 1988 年标定后, 红山的两台重力仪已连续工作了近 9 a, 分划尺的位置已经从 3 500 小格变化到 4 000 小格, K 值相应变化了 0.05%, 目前 GS-15-216 重力仪 δ_{i1} 和 δ_{i2} 值的观测中误差精度已高达 $\pm(0.0003 \sim 0.0005)$, 因此 K 值的准确性对潮汐分析精度的影响就显得十分突出.

[参考文献]

- [1] 国家地震局. 重力台站观测规范[M]. 北京: 地震出版社, 1986.
- [2] 徐菊生, 苏乃秦, 唐九安. GS 型重力仪常数标定试验[J]. 地震, 1983, (5): 38.
- [3] 李瑞浩. 重力学引论[M]. 北京: 地震出版社, 1988.

THE STUDY ON SCALE VALUE CALIBRATION OF GS-GRAVIMETER

YU Xiao-li, SU Nai-qin, YANG You-ling, WANG Yun-shan

(*Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China*)

Abstract: Based on the systematical analyses calibration results of GS-15-216 gravimeter in base line field of gravity and the comparison between the results and the scale values provided by manufactory, it is shown that scale value of the gravimeter should be calibrated periodically because of its change with time, repairing instruments or changing work status would change the value and since scale value is a function of scale position, it must be calibrated one segment by one segment to fit a constant curve.

Key words: Gravimeter; Scale value; Base line field of gravity

(上接第 146 页)

THE TIME-FREQUENCY ANALYSIS METHOD ABOUT SEISMIC DATA BASED ON WAVELET PACKET TRANSFORM

LIU Xi-qiang¹, ZHOU Hui-lan¹, LI Hong²

- (1. *Graduate School, University of Science and Technology of China, Beijing 100039, China*;
2. *Seismological Bureau of Shandong Province, Jinan 250014, China*)

Abstract: The conception of transient frequency and calculation method of wavelet packet are introduced, and time-frequency distribution about simulation and actual seismic signals is given. The results indicates that wavelet packet transform may be used to describe the characteristics of seismic signals at any moment and is worth applying to processing seismic signals.

Key words: Seismic data; Wavelet packet transform; Transient frequency; Time-frequency distribution