

重力仪检定基线的建立及其误差讨论*

魏文元**

(江苏省地震局)

摘要

1978年5月使用了18台精度较高的重力仪在南京和北京分别建立了地震系统的重力检定场。本文结合以上成果和有关重力比较测定的资料,从分析格值变化的各种因素及其产生的误差入手,说明仪器格值标定的重要性和具体要求,提出了选建地震系统重力检定场的方法技术和减小格值误差、提高测量精度的可能途径。

一、前言

据国内外实测结果表明,由地震引起的重力变化是微小的。要用目前常用的各类仪器测出这样小的重力变化,对仪器精度、工作方法及各项检测指标提出了更高的要求。单是格值常数变化所产生的系统误差,与地震因素所引起的重力变化,其量级几乎相当。若不定期严格标定,再加上测量中其它各类误差,则所测得的成果,大部分不能表明重力场本身的变化,更无法判定与地震发生直接有关的信息。为此,确定仪器格值变化引起的误差,建立稳定性好、精度高的重力检定场,进一步探讨提高重力测量精度的方法和途径,已成为流动重力测量工作急待解决的问题。

二、重力仪格值变化的讨论

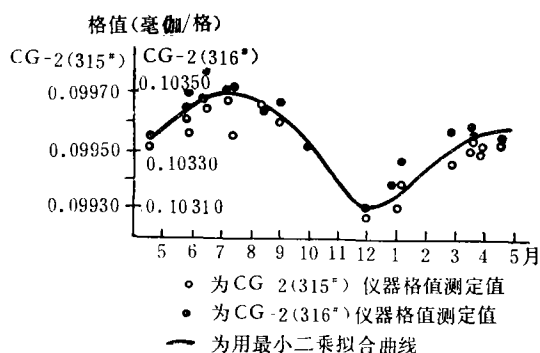
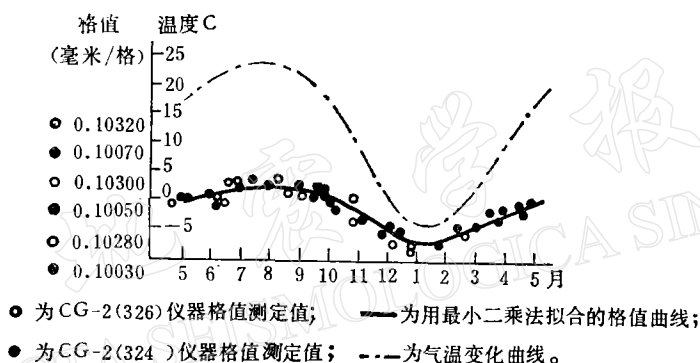
(一) 气温与格值变化

国内对重力仪格值变化曾作过很多实测工作。发现很多重力仪的格值随温度升高而变大的现象。实测结果表明,石英丝弹簧类型的仪器每升高 1°C ,格值增高大约为 $1-4 \times 10^{-5}$ 。也有少数仪器,其格值变化受温度影响较小的。现将CG-2型(后用C表示)和ZSM-III型(后用Z表示)等几台有代表性的仪器,用实测资料作图后加以分析和讨论(图1—图3)。

1. 从图1、2可以看出,仪器在不同季节因气温的变化,测定的格值也相应变化。温差变化大的季节,格值变化也大。反之,变化比较小。图1中 C_{315} 和 C_{316} 在6月到8月;图2中 C_{324} 和 C_{326} 在6月到9月,由于气温变化较小,其格值变化也较小。10月到12月气温变化较大,格值变化相应也大。仪器格值变化与气温的这种相关性,在其它很多石

* 1979年12月28日收到。1980年9月15日收到修改稿。

** 陈益惠、赵玮、成福元、李清林和徐礼怀、乐金棠等同志参加了本文有关工作。

图1 $C_{(315, 316)}$ 重力仪格值年变化曲线图2 $C_{(324, 326)}$ 重力仪格值年变化曲线

英弹簧重力仪的检测中也有所证实。

在气温变化较小的时间段中测量,可以相应减小这类误差。而这个时间段的长短,不同的仪器和地区是有差异的,要由多次实验来确定。

2. 在气温变化条件基本相同的情况下,各仪器格值变化的幅度也有所差异。例如 C_{315} 和 C_{316} 最大的年变化大约为 3.5×10^{-4} 毫伽/格, C_{324} 和 C_{326} 大约为 2×10^{-4} 毫伽/格,而 Z_{67} 经多次测定,格值受温度影响较小。这说明仪器性能不同其影响的程度也是不同的。

3. 根据重力仪格值受温度影响的大小,可求出温度系数的概值,用它可估算测量中受温度影响的程度。据有关文献提供的资料, C_{317} 的温度系数 $\beta = 7.5 \times 10^{-6}$ 毫伽/ $^{\circ}\text{C}$ 。假设在某种代表温度 t_0 情况下,测得重力仪格值 λ_0 ,则 t_i 的格值温度方程式为:

$$\lambda_i = \lambda_0 + \beta(t_i - t_0)$$

从表1中列出的 λ_i 推算值与实测值的一致性,满意地解释了实测格值受温度影响的关系。

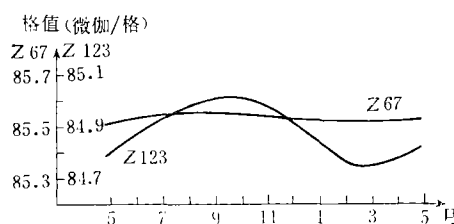
图3 $Z_{(67, 123)}$ 格值年变化曲线

表 1

时 间 (年·月·日)	实 测 格 值 (毫伽/格)	平 均 温 度 (t_i °C)	计 算 格 值 (λ_i)
1974.6.20	0.09880	29.0	0.09880
1974.6.28	0.09876	23.1	0.09876
1976.11.1	0.09872	18.0	0.09872
1977.12.7	0.09867	9.0	0.09865
1979.3.15	0.09863	9.1	0.09865

注: 1. C_{317} 在木兰山重力比较基线测得的格值
2. $t_0 = 18^\circ\text{C}$, $\beta = 7.5 \times 10^{-6}$

(二) 测程范围与格值变化

重力仪的格值变化尚与仪器的读测范围有关。因为不同的测量范围, 将使重力仪测微弹簧的弹力臂和直径产生微小的变化, 因而使其格值发生变化。有些仪器在出厂时给出了这种校正曲线, 但由于测定条件不同, 其校正值也不一定很准确。图 4 是阿斯卡尼亚 (Askania) GS-15 型重力仪 (后用 G 表示) G_{231} 和 G_{232} 仪器检验书上给出的测程范围与格值的校正关系图。图 5 是 C_{263} 在北京重力基线上用不同读测范围在气温条件相近的数天内测得的格值变化曲线。图 6 是 C_{317} 在比较基线上, 不同气温条件、不同读测范围所测得的格值变化曲线。从图 4, 5, 6 看出:

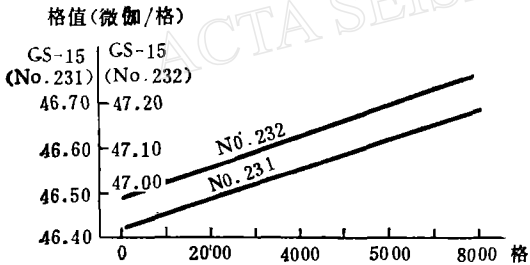


图 4 G_{231}, G_{232} 重力仪测程范围与格值变化图

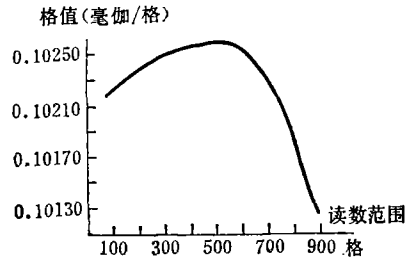


图 5 C_{263} 仪器测程范围与格值变化曲线图

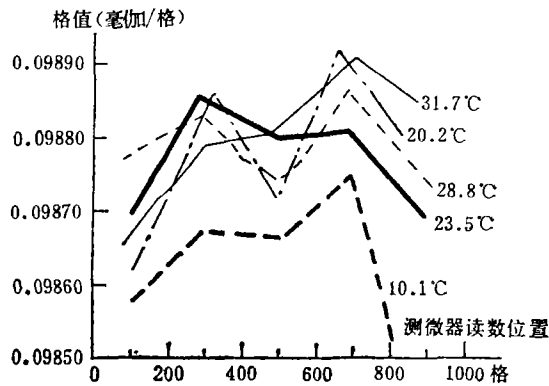


图 6 C_{317} 不同气温、不同测程范围的格值关系图

1. 格值随着测微器的读测范围不同而变化。这表明在野外测量的所有测段上, 前后不同时期的重力复测, 若不用相同或相近的读测范围就可能产生较大的系统误差。这种误差因缺乏规律性要比重力仪的格值受温度的影响更为麻烦。

2. 在读测范围内, 格值变化的大小和线性度可随仪器的型号和性能的不同有所差异。一般读测范围的两端其变化较大、线性度不好。有些仪器超过一定的读测范围, 格值产生突变。例如图 5 C₂₆₃ 仪器在读数范围超过 700 格以后突然变小。如果重力复测时使用这读测范围, 则格值误差相当大。

3. 从图 5、6 中可以看到, CG-2 型仪器的格值变化幅度在整个读测范围内并不是线性的, 在某个范围变化较小, 这个范围称为最佳测程范围。在最佳测程范围内测量, 其误差较小。这种特性在其它石英弹簧的重力仪中也被发现, 在此不再一一列举了。

重力仪上述特性是因仪器不同而有差异, 为了提高测量精度、减小误差, 每台仪器在投入野外工作前均应作好这方面的测试工作。

三、重力仪检定基线的选建和成果计算

为了较准确地测定仪器的格值, 进行上述各项仪器检定, 必须建立一个重力检定标准。对地震预报来说, 不仅要求精度高, 而且要求稳定性好。若检定标准本身有变化, 就无法判别仪器格值是否变化。

经过多次勘选, 于 1978 年 5 月在南京紫金山建立, 并与原北京高崖口重力差相近的 NO2 至 NO3 两基点统一联测, 建成地震系统统一的重力检定基线。

检定基线选在南京紫金山, 是因该区地质构造相对稳定, 地震活动不很强烈; 地形高差引起的重力差值较大, 又有完好的基岩出露。在选择重力基点的点位时, 考虑了基点间不跨越断层构造, 水平距离短、路面好等因素。施测前对场基作了整修, 将测量标石用钢筋混凝土固结于基岩上, 并设置了检测重力基点形变的测量铜标。

为了减小测量误差, 重力基线的测定采用 18 台不同类型的重力仪: CG-2 型 12 台, GS-15 型 2 台; 沃登 (Worden) 2 台 (后用 W 表示); 国产 ZSM-III 型 2 台。施测中规定: 取连续三单程为一独立结果, 每台仪器要取得 16 个合格的结果。

重力基线成果的总平差与精度评定, 采用修改后的布朗热公式。n 台仪器, k 个独立结果的总重力差平均值公式为:

$$\overline{\Delta g_{00}} = \frac{1}{nk} \sum_{n=1}^n \sum_{k=1}^k \Delta g_{nk}$$

式中 Δg_{nk} 为按三单程公式计算的重力差, $\overline{\Delta g_{00}}$ 为重力段差的总平均值。

布朗热误差公式, 把误差分为偶然误差 m_1 , 第一类半系统误差 m_2 , 第二类半系统误差 m_3 和系统误差 m_4 。这里令 $m_4 = 0$, 总重力差的中误差计算公式为:

$$M_{\overline{\Delta g_{00}}} = \sqrt{\frac{m_1^2}{nk} + \frac{m_2^2}{n} + \frac{m_3^2}{k}}$$

式中

$$m_1^2 = \frac{1}{(n-1)(k-1)} \sum_{n=1}^n \sum_{k=1}^k \varepsilon_{nk}^2, \quad m_2^2 = m_n^2 - \frac{m_1^2}{k}, \quad m_3^2 = m_k^2 - \frac{m_1^2}{n};$$

$$m_n^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{n=1}^n \Delta_{n,0}^2, \quad m_k^2 = \frac{1}{(k-1)} \sum_{k=1}^k \Delta_{0,k}^2;$$

$$\varepsilon_{n,k} = w_{n,k} - w_{0,k}, \quad w_{n,k} = \Delta g_{n,k} - \Delta g_{n,0}, \quad \Delta_{0,k} = \Delta g_{0,k} - \overline{\Delta g_{00}},$$

$$\Delta_{n,0} = \Delta g_{n,0} - \Delta g_{00}$$

这里 $\Delta g_{0,k}$ 为同一测段上各台仪器重力差的平均值, $\Delta g_{n,0}$ 为同一台仪器在各个测段上重力差的平均值. 南京和北京两地重力基线测定结果及精度见表 2 和表 3.

表 2

基线场名称	$\overline{\Delta g_{00}}$ (毫伽)	$\overline{M \Delta g_{00}}$ (毫伽)	$\frac{\overline{M \Delta g_{00}}}{\overline{\Delta g_{00}}}$
北京高崖口 N02—N03	64.7280	± 0.022	3.36×10^{-4}
南京紫金山 N01—N03	50.4824	± 0.007	1.46×10^{-4}
南京紫金山 N01—N02	17.3093	± 0.006	3.22×10^{-4}

表 3

基线 \ 精度	m_1 (微伽)	m_2 (微伽)	m_3 (微伽)	M (微伽)	Δg (毫伽)
北京 N02—N03 (用面板常数计算)	14	92	4	22	64.728
北京 N02—N03 (用南京基线场标定计算)	14	35	3	8	64.727
南京 N01—N03 (用面板常数计算)	13	90	3	21	50.482
南京 N01—N03 (用北京基线场标定计算)	13	30	4	7	50.483

应该指出,表 2 中北京基线的精度是用仪器出厂时面板格值计算的,因出厂时格值标定精度并未给出,故上述重力基线的中误差不能严格表明实际达到的精度. 南京重力基线精度是用北京基线统一标定后计算所得. 这样,北京基线的误差必然要传递到南京基线,于是南京重力基线的最终误差应为:

$$M_{\text{南}}^2 = M_{\Delta g_{\text{北京}}}^2 + M_{\Delta g_{\text{南京}}}^2$$

据此,南京重力基线 N01—N03 的中误差为 ± 23 微伽,相对误差

$$M_{\text{南}}/\overline{\Delta g_{\text{南}}} = 4.58 \times 10^{-4};$$

N01—N02 的中误差为 ± 23 微伽,

$$M_{\text{南}}/\overline{\Delta g_{\text{南}}} = 13.17 \times 10^{-4}.$$

其次,从表 3 中看到:用面板格值计算的精度比用统一标定后计算的要低. 这主要是各类仪器出厂时格值标定的系统误差造成的. 由于各仪器厂并未给出标定误差,故不能轻易剔除分群性较大的仪器,这次建立基线时 18 台仪器全部参加计算.

四、对重力基线测定结果的分析

南京、北京重力基线的测定工作是对仪器性能的一次基础实验。结合四川、辽宁等重力比较基线的测定结果,有以下几点认识。

(一) m_2 是总误差 M 的主体

从全国统一的检定基线和各地比较基线的多台仪器、多条测线的测定中均能发现: m_2 是总误差 M 的主要部分,减小 m_2 这类误差是提高测定精度的关键(参看表 3, 表 4)。

表 4 全国各重力比较基线结果表

基线名称		仪器数	$\overline{\Delta g_{00}}$ (微伽)	m_1 微伽	m_2 微伽	m_3 微伽	M 微伽	$M/\overline{\Delta g_{00}}$
成 都	1—3	7	33412	9.1	20.0	0	8	2.4×10^{-4}
	1—4	8	55525	12.0	19.0	0	7	1.3×10^{-4}
	1—5	6	65244	12.2	13.9	2.9	6	0.9×10^{-4}
广 州	2—3	7	22146	16.0	11.0	0	5	2.1×10^{-4}
	1—3	7	48328	10.8	37.0	4.7	14	2.9×10^{-4}
福 州	2—3	7	19591	13.5	20.9	0	8.0	4.1×10^{-4}
	1—3	7	54452	12.7	35.9	2.6	13.7	2.5×10^{-4}
昆 明	1—2	5	36423	14.0	15.2	0	7.0	1.9×10^{-4}
	1—3	5	58117	15.8	16.8	0	7.8	1.3×10^{-4}
辽宁北镇		5	69008	12.0	20.0	0	9.0	1.3×10^{-4}

注: 1. 成都重力基线测定的仪器号见表 6

2. 广州、福州基线的 7 台仪器为 CG-2 (261, 263, 326 382, 383). Worden (1075, 1086)

3. 昆明基线的 5 台仪器为 CG-2 (382, 383), Worden (1145, 1149, 1150)

4. 辽宁北镇基线 CG-2 (315, 316, 379) Worden (1145, 1149, 1150)

减小 m_2 这类误差的途径: 一是增加同精度仪器的台数; 二是选择格值变化稳定的优良仪器。表 4 以南京 N01—N03 基点用不同台 CG-2 型仪器组合和挑选格值变化小的优良仪器组合的计算结果。若采用增加仪器台数方法, 则必须强调的是增加等精度仪器, 若增加了不稳定的低精度仪器, 不仅不能提高, 相反会使精度降低。建立四川重力比较基线时, 曾用少量稳定性较差的仪器作试验, 其结果列在表 6。若把增加的低精度仪器参加计算, 反使 m_2 增大而精度大为降低。若挑选格值变化小、稳定性好的仪器, 虽然仪器数减少, 但精度却有明显提高(见表 5, 表 6 中*)。

从上列各表中看到, m_1 一般稳定在 13 微伽左右, m_3 是很小的, 有时常出现虚数, m_3 这类误差的概念是否符合当前重力仪测量的误差来源和规律尚值得进一步讨论。

表 5 南京 N01—N03 CG-2 仪器测定精度

仪器数 n	仪 器 号	测线数 k	m_1 微 伽	m_2 微 伽	m_3 微 伽	M 微 伽	$M/\overline{\Delta g_{00}}$
6	261, 263, 326, 324, 327, 315	16	10.5	37.8	0	15.4	3.06×10^{-4}
8	上面 6 台加 316, 317	16	10.5	32.2	1.6	11.4	2.27×10^{-4}
10	上面 8 台加 354, 355	16	11.0	30.4	1.6	9.6	1.91×10^{-4}
12	上面 10 台加 377, 378	16	11.2	27.8	2.0	8.1	1.60×10^{-4}
6*	315, 316, 377, 378, 317, 326	16	10.3	8.9	4.3	3.9	7.8×10^{-5}
8*	以上 6 台加 Z_{67} Z_{123}	16	10.7	8.0	4.0	3.2	6.2×10^{-5}

* 挑选格值变化小、仪器性能好的仪器,使 m_2 减小,精度大为提高。

表 6 四川成都 N01—N04 测定精度

仪器数 n	仪 器 号	m_1 微 伽	m_2 微 伽	m_3 微 伽	M 微 伽	$M/\overline{\Delta g_{00}}$
4*	C_{126} , C_{327} , C_{377} , C_{378}	9.0	5.1	0	3.1	0.56×10^{-4}
6	上面 4 台加 Z_{63} , Z_{185}	11.0	11.1	0	5.1	0.92×10^{-4}
8	上面 6 台加 W_{1035} , W_{1040}	12.0	19.0	0	7.0	1.26×10^{-4}
10	以上 8 台加 Z_{79} , Z_{318}	12.1	38.2	1.8	12.1	2.18×10^{-4}
11	以上 10 台加 Z_{32}	12.2	63.6	2.0	19.2	3.5×10^{-4}

* 为格值变化小离散小的好仪器, m_2 明显减小,仪器数减少了,精度相反提高。

(二) 各重力仪观测结果的分群性离散

从公式 $m_2^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{n=1}^n \Delta_{n,0}^2 - \frac{m_1^2}{k}$ 可以看出, m_2 是取决于 $\Delta_{n,0} = \Delta g_{n,0} - \overline{\Delta g_{00}}$ 这个差值, $\Delta_{n,0}$ 体现了各仪器间的离散程度。造成这类误差的原因讨论如下。

1. 各类仪器出厂标定系统不同和标定误差 在用出厂面板格值计算表 3 时发现: 由于各类仪器间的格值系统误差,致使 m_2 明显增大。表 7 收集了各类仪器在南京基线测量结果,各计算结果系用出厂面板格值得到。从表中看出, GS 型和 Worden 型重力仪的平均值均比 CG-2 型大 117 微伽,面板格值平均大 2.26×10^{-4} 毫伽/格。因各类仪器测量的平均中误差 M 小于 28 微伽,故 70 微伽以上的偏离值不可能是测量误差造成的,只能表

表 7 (单位: 毫伽)

仪器类型	仪 器 号	台 数	平 均 值 $\overline{\Delta g_{00}}$	中 误 差 M
CG-2	*	12	50.449	0.023
GS	231, 232, 205, 216, 149, 218	6	50.564	0.028
Worden	1035, 1040, 1075, 1086	4	50.568	0.024

* 为表 4 中建立南京重力基线之 12 台仪器。

明 CG-2 仪器厂格值系统偏小。

在建立北京—南京重力基线时, CG-2 这类仪器多, 若这类仪器的格值确实比标准计量要小, 那么, 重力基线的标准也就系统偏低。

在同一类仪器中因仪器经过进厂大修等原因, 格值也会发生变化。若仍用出厂面板格值计算, 其结果与同类仪器相比也会出现较大离散。这类仪器在建立基线时最好不用。

2. 气温和测程调节 从 18 台仪器、16 条测线 288 个段差值和因返工而补测的资料分析, 南京和北京两地的联测结果都存在分群性和波动性。现以南京基线为例, 分析各次观测结果之间出现的离散。南京基线上 288 个独立结果值取中数 $\overline{\Delta g_{00}}$, 按理仪器经北京统一标定后, 各独立段差应当很接近, 与 $\overline{\Delta g_{00}}$ 的偏差应该很小。但有些仪器的某些段差值, 离散情况仍很严重。表 7 列出各台仪器、各独立结果与 $\overline{\Delta g_{00}}$ 的离散值, A 项为各台仪器 16 个结果的中数 $\overline{\Delta g_{AB}}$ 与 $\overline{\Delta g_{00}}$ 的偏差值, B 项为某台仪器 16 个结果之间最大的波动值。

表 8 (单位: 微伽)

仪器号	各台仪器各独立结果与总平均值的差值 ($\Delta g_{AB} - \overline{\Delta g_{00}}$)																A	B	M
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16			
C ₂₆₁	-28	-18	-28	-36	-51	-63	-52	-21	-38	-31	-49	-42	-25	-31	-15	-15	-34	48	4
C ₂₆₃	53	42	34	47	52	44	63	64	50	43	46	32	54	55	41	43	48	32	2
C ₃₂₆	15	0	10	16	12	-1	14	13	14	4	6	-9	11	1	-2	17	8	26	2
C ₃₂₄	-55	-55	-69	-51	-46	-57	-67	-55	-52	-75	-55	-64	-51	-49	-66	-58	-58	29	2
C ₃₂₇	-7	-2	-13	-15	-19	-1	-17	-15	-20	-13	-10	-8	-36	-38	-31	-35	-18	37	3
C ₃₁₅	10	22	34	4	21	22	10	18	4	24	12	6	8	14	20	12	15	30	2
C ₃₁₆	-22	-4	-7	-11	-12	-10	-15	-15	-4	-14	-19	-25	-6	-11	-12	-9	-12	21	1
C ₃₁₇	26	23	9	29	17	11	16	2	-5	8	-22	0	-17	-3	-19	2	5	51	4
C ₃₅₅	-32	-29	-12	1	-11	-12	-21	-43	-44	-37	-30	-24	-15	-4	-3	-13	-21	45	4
C ₃₅₄	-31	-12	-19	-32	-42	-31	-44	-52	-34	-49	-33	-35	-47	-49	-48	-56	-38	44	3
C ₃₇₇	-11	-8	27	1	-7	-4	17	-16	-5	-13	-11	6	17	-1	-11	-5	-2	43	3
C ₃₇₈	38	9	13	6	2	6	0	-20	-16	-12	8	8	2	-6	-1	-1	2	58	3
G ₂₃₁	-2	4	16	40	41	14	10	21	25	0	-1	17	15	15	15	15	43	9	
G ₂₃₂	69	87	85	96	75	54	69	100	85	61	62	64	75	75	75	75	75	46	9
W ₁₀₃₅	69	66	59	51	27	11	27	37	64	36	7	13	0	-3	14	4	30	72	6
W ₁₀₄₀	11	-5	28	22	-25	-35	6	-6	-32	-41	29	19	14	12	16	-3	0	70	6
Z ₁₂₃	5	7	4	-11	-6	20	-11	-26	-24	-12	-33	-6	6	-12	-23	9	-7	53	4
Z ₆₇	7	-11	10	10	-2	-7	1	-5	-1	-7	9	18	3	7	9	21	4	32	3

从表 8 A 项中看到, 偏离值 A 大于 ± 40 微伽的有 3 台 (C₂₆₃, C₃₂₄, G₂₃₂), 仪器间的极限互差可达 80 微伽以上, A 值在 ± 30 微伽到 ± 40 微伽的也有 3 台 (C₂₆₁, C₃₅₄, W₁₀₃₅), 极限互差可达 60 微伽到 80 微伽。其余 12 台在 21 微伽以内。

仪器平均观测中误差 $M < \pm 5$ 微伽, 一般 15 微伽以上的偏离值 A 与观测误差无关。另外, 南京到北京两地的联测不到两周时间, 两地平均温差小于 2°C , 虽然早晚温差等对格值有一定的影响, 但温度的影响是有一定规律并程度有限的。从正负分群性的性质来分析, A 值大于 30 微伽的离散值很可能是调节测程范围引起的格值变化。南京和北京两

地的绝对重力值不同,两基线的相对重力差值也不同,不仅要调节测程使主弹簧上端点的位置改变,而且读测范围也要改变。对于最佳测程范围窄的仪器在使用不当时,实测中容易超出这个范围而引起较大的系统性误差。从图 5 看到 C_{263} 在读测数超出 700 格时,格值产生突变,而 C_{263} 在两地测量中均超过此数,这可能是 C_{263} 偏离值 A 大的原因。 C_{324} 是测地型仪器,测程范围大,据一些实测资料分析,这类仪器在不同读测范围内格值变化较大、且线性度不好。类似这种情况,在其它各重力比较基线中均有所发现。

基线测定由于仪器多,这类误差能较可靠地判别,在实际的野外重力复测中一般使用两台仪器,有的只用一台,这种分群离散性是难以察觉的。

(三) 单台仪器观测结果的波动性

表 8 中 B 项列出了每台仪器观测结果的极限波动值。波动值 B 小于 30 微伽的有 4 台,在 30—40 微伽之间的有 3 台,在 40—50 微伽的有 6 台,波动值大于 50 微伽的有 5 台。这说明在野外三单程为一测量结果中,单就仪器本身波动的误差而言,其 50 微伽的变化量可能是误差引起的。若同时考虑各台仪器的分群性偏离,误差就更大。

单台仪器的波动值是一种偶然误差,根据算术平均值原理,观测次数越多,其平均值越稳定。表 8 列出 C_{261} 和 C_{316} 两台仪器,用多个独立结果的组合作对比,说明观测次数与波动值的关系。 C_{316} 如果以 4 个独立结果平均,取为一个独立结果,其波动值可以从 21 微伽减小到 6 微伽,观测中误差 D 从 6 微伽提高到 2.6 微伽。性能较差的 C_{261} 仪器,在同样的情况下,波动值可从 48 微伽,减小到 25 微伽,观测精度从 14.3 微伽,提高到 11.3 微伽。

表 9 (单位: 微伽)

仪 器 号	组合独立结果与 Δg_{00} 的差值																A	B	C	D
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16				
C_{261}	-28	-18	-28	-36	-51	-63	-52	-21	-38	-31	-49	-42	-25	-31	-15	-15	-34	48	1	14.3
		-23		-32		-56		-36		-34		-46		-28		-15	-34	41	2	12.8
			-25			-50			-37			-41			-24		-35	26	3	11.0
				-28				-47				-40				-22	-34	25	4	11.3
C_{316}	-22	-4	-7	-11	-12	-10	-15	-15	-4	-14	-19	-25	-6	-11	-12	-9	-12	21	1	6.0
		-13		-9		-11		-15		-9		-22		-8		-10	-12	14	2	4.6
			-11			-11			-11			-19			-10		-12	9	3	3.7
				-11				-11				-16				-10	-12	6	4	2.6

注: A 、 B 项含意同表 8; D 为一台仪器一个独立结果的中误差; C 为组合独立结果中包含的三次单程的个数。

从表 9 多单程组合结果表明,增加观测次数可以在一定程度上减弱仪器的波动误差,提高了精度,但很不经济。 C_{316} 仪器仅测三单程,却要比 C_{261} 测 12 个单程的可靠性大,精度高。这说明要根本提高测量精度,取得可靠的成果,主要取决于仪器性能的优劣。从表 9 中 A 项的分群性偏离值来看,它与观测次数增加是无关的,这也进一步阐明了用增加

观测次数来提高精度不仅不经济,而且作用并不大。因此,对于分群、波动误差大的仪器,必须查明原因,实在达不到使用要求的就不能用。

(四) 多台仪器组合观测结果的分群偏离和波动性

从各台仪器正负分群偏离的现象中得到启示,若经过多次实测试验,有些仪器受外界因素而产生的分群偏离值 A 有比较固定的规律,则可以用选取 A 值正负离散值相近的仪器配对组合,并适当增加仪器台数的方法来提高测量精度。例如,观测结果仍用表 8 中给出的数据,把 C_{263} 与 C_{324} 配对使用,或再增加 C_{315} 和 C_{316} 两台仪器配对组合(见表 10)前者 A 值可减小到 -5 微伽, B 值降低到 22 微伽;后者 A 值可减弱 -2 微伽, B 减弱到 17 微伽。仅用三单程测量,工作量不增加,而精度有明显的改善。这是当前流动重力测量提高精度有现实意义的途径。

表 10 (单位: 微伽)

仪器号	多台仪器组合后,每一结果与 $\overline{\Delta g_{00}}$ 的差值																A	B
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
C_{263} C_{324}	-1	-6	-18	-2	3	-6	-2	4	-1	-16	-5	-16	2	3	-12	-8	-5	22
C_{263} C_{324} C_{315} C_{316}	-4	1	-2	-3	4	0	-2	3	-1	-6	-4	-13	1	2	-4	-3	-2	17

应该指出,对于 A 值较大的仪器,首先应找出仪器性能方面的原因,寻求削弱的办法(例如最佳测程范围的测定等)。不能盲目地组合,否则一致性不好,互差达不到规定要求,也会降低精度。

五、结 语

北京、南京重力检定场的建立启用,对统一地震系统重力计量标准和提高重力测量精度已起到积极作用。但是,用相对重力仪所测得的结果,其系统误差难于确定。为此,今后应该用高精度绝对重力仪建立全国统一的重力基线和各地区的比较基线。这对控制相对重力仪的格值变化和建立准确的物理计量标准是很有意义的。

参 考 文 献

- [1] 骆鸣津等,重力基点联测结果的精度估算,地震学报, 1, 2, 166—184, 1979.
- [2] Ю. Д. Буланже, Формулы для вычисления ошибок гравиметрической связи двух пунктов при многократных измерениях, выполняемых группой гравиметров, Известия АН СССР, Серия геофизическая, No. 7, стр. 755—764, 1956.

ESTABLISHMENT OF A BASE LINE FOR CALIBRATING GRAVIMETERS AND DISCUSSION OF THE ERRORS INVOLVED

WEI WEN-YUAN

(*Jiangsu Provincial Seismological Bureau*)

Abstract

This base line for calibrating gravimeters for seismological purposes was established by 18 high precision gravimeters in Nanking and Peking in May 1978. In this paper, the results has been combined with the data from related gravity comparative measurements. From the analysis of the factors causing the variations of scale values of the gravimeters and the errors of measurements thus procured, the importance and requirements for calibration of gravimeters have been discussed. Then the method and technique to select and to establish the base line for calibrating gravimeters for seismological work and the possible ways for reducing calibration error in order to increase the accuracy of gravity measurements are proposed.