

河西地区重力测量中周期误差分析

1 引言

随着高精度的 LCR-G 型重力仪在流动重力测量中的广泛应用,用重力仪观测重力场随着时间的变化,已成为探索地震预报的手段之一。由于 LCR-G 型重力仪监测到的是微伽级精度,因此,分析各种误差对它的干扰是非常重要的^{[1][2]}。随着人们对该仪器研究及应用的深入,对其性能有了越来越多的了解。现在作业中的重力仪,由于有些仪器读数系统中的某些机械结构不精密,部分重力仪已不同程度地存在着周期误差。去年,我中心在河西—祁连山地区进行重力测量,使用的是 LCR-G NO:999和 NO:1003两台新进口的仪器,工作中发现段差互差较大,明显存在周期误差影响。作业过程中,我们曾按仪器商检报告说明书^①中提供的周期误差参数进行改正,效果不明显,有的反而变差。因此,本文试图以河西地区1992年实测重力资料来分析周期误差对测量成果的影响及处理方法。

2 资料处理

2.1 计算方法

采用武汉地震所提供的高精度重力测量资料处理系统对河西地区流动重力测量资料进行平差处理;但对每次处理后仪器标定的计算结果及精度进行显著性检验,以改进误差模型参数。对周期误差参数进行显著性检验采用下述两个原则^②:

- (1) 初始相位误差应小于 $\pm(30^\circ \sim 35^\circ)$;
- (2) 振幅误差比 A_n/M_{An} 应大于1.5~2.0。

否则视为标定精度不够或该项周期的误差不显著。

为了去伪存真,避免错误参数对标定结果的影响,对周期误差不显著的项必须剔除掉,重新确定新的平差模型并进行标定,直到各项周期误差标定结果都较显著为止。如果各项周期误差都不显著,则说明仪器不存在周期误差,不必进行周期项标定,可直接用观测段差进行平差计算。

2.2 分析处理

1992年河西地区流动重力共有97段观测成果,其中有19段互差超限。互差超限率达20%,经返工重测后,只有3段达到限差要求(互差限差为35微伽),其它16段互差仍超限,只是满足互差变化不超过10微伽的限差要求。

我们知道,互差主要由地形、仪器的一次项系数及周期误差引起的。地形对互差的影响主要在地形复杂的地区(如山地、河流等);一次项对互差的影响是呈线性关系的;而周期误差对互差的影响是随着段差和仪器读数值的不同而改变的。16段超限成果,主要受周期误差影响所致,地形影响起次要作用。

由于仪器商检报告中提供的周期误差参数对河西地区的重力作业成果不适用,因此,我们用实测资料重新对仪器的周期误差参数进行标定,以求得到仪器在该地区作业时的真实

① 国家地震局,地震重力重复测量规范(讨论稿),1992

② 流动重力管理组,LCR-G NO999、NO1003仪器商检报告说明书,武汉地震所,1992

周期误差参数。表1是第一次标定的计算结果。

表1 周期误差参数的标定结果及精度

仪器	周期	X	精度	Y	精度	振幅	精度	相位	精度
G999	1.000	0.34	1.30	-2.85	1.47	2.87	1.48	276.7	26.0
G999	3.667	-1.63	2.16	-0.98	2.20	1.90	2.22	211.0	66.2
G999	7.333	3.67	3.01	-1.84	2.98	4.10	2.92	333.4	41.7
G999	35.667	-13.39	10.97	-29.92	11.55	32.78	11.59	245.9	19.3
G999	73.333	-15.96	24.79	-6.11	20.57	17.09	23.95	200.9	70.9
G1003	1.000	-4.54	2.14	-4.04	2.20	6.07	2.13	221.6	20.5
G1003	3.667	-1.56	2.36	-4.52	2.25	4.78	2.21	250.9	28.1
G1003	7.333	6.82	3.18	3.18	2.85	7.52	3.41	25.0	22.2
G1003	36.667	16.56	11.44	0.74	11.20	16.57	11.45	2.6	38.7
G1003	73.333	1.40	21.46	6.02	24.03	6.18	24.53	76.9	200.2

单位: 周期 10^{-5}MS^{-2} 振幅 10^{-6}MS^{-2} 相位度 ($^{\circ}$)

表1中 G999除 $T_n=1.000$ 和 36.667 这两项,G1003除 $T_n=1.000$ 、 3.667 和 7.333 这三项外,其它各项的周期误差参数标定结果的指标均超过显著性检验原则的限差,故认为这些周期误差不显著。剔除不显著项,重新平差计算及标定,表2是第二次标定计算结果。

表2 周期误差参数的标定结果及精度

仪器	周期	X	精度	Y	精度	振幅	精度	相位	精度
G999	1.000	0.38	1.30	-3.10	1.46	3.12	1.47	277.0	23.9
G999	36.667	2.32	2.22	-23.49	2.02	23.60	2.05	275.6	5.4
G1003	1.000	-4.03	2.09	-3.89	2.10	5.60	2.04	224.0	21.4
G1003	3.667	-5.42	2.19	-3.51	2.12	6.45	2.17	212.9	19.0
G1003	7.333	1.98	2.16	-0.37	2.23	2.02	2.13	349.4	63.3

单位: 同表1

表2中 G1003除 $T_n=7.333$ 这一周期的振幅误差比 $A_n/M_{An}=20.2/21.3=0.95$ 和初始相位误差 $M_{\varphi_n}=63.3^{\circ}$ 两项指标都超出限差外,其它各项的周期误差参数都较显著。剔除不显著项,重新进行平差计算及标定,表3a是第三次标定计算结果。

表3a 周期误差参数的标定结果及精度

仪器	周期	X	精度	Y	精度	振幅	精度	相位	精度
G999	1.000	0.51	1.38	-3.15	1.49	3.19	1.50	279.2	23.9
G999	36.667	2.35	2.17	-23.04	1.90	23.16	1.93	275.8	5.3
G1003	1.000	-3.91	2.02	-4.00	2.04	5.59	1.98	225.6	20.3
G1003	3.667	-5.62	2.12	-3.67	2.06	6.72	2.10	213.2	17.7

单位: 同表1

表3a中各项的周期误差参数都较显著,完全满足显著性检验原则。利用它对观测成果进行周期误差改正。

此外,1992年我们用该两台仪器对西安市区也进行了重力测量,现用同样方法对它进行周期误差参数标定。最后标定结果见表3b:

表3b 周期误差参数的标定结果及精度

仪器	周期	X	精度	Y	精度	振幅	精度	相位	精度
G999	1.000	-0.85	2.35	3.09	2.16	3.20	2.16	105.4	41.8
G1003	1.000	-3.52	2.56	3.20	2.60	4.75	2.68	137.7	31.1

单位:同表1

从表3b中可以看出,西安地区只标定出周期为1.000的误差参数,这是由于西安地区重力测量段差很小,全部小于6.6毫伽,大于3.6毫伽的只有6段。而且只有41段观测成果,参加周期误差参数标定的子样较少。因此,标定的结果稍差(G999周期为1.000的误差参数标定不明显, $A_n/M_{An}=3.20/2.16=1.49$;初始相位误差 $M_{\varphi_n}=41.8'$ 两项指标都基本超限)。其它项周期误差参数由于段差小,西安市区的重力测量成果标定不出来。

表3a和表3b比较,可以发现,周期为1.000时,两台仪器在不同地区工作的振幅基本一致,只是相位存在差异。这是由于仪器振动情况不一致引起的,西安市区测段距离短,最长不到3km,汽车行驶只要5分钟左右;而河西地区测段距离长,一般为30~40km,汽车行驶需1小时左右。

3 资料分析

3.1 平差精度分析

把河西地区流动重力测量结果直接平差(不加周期项改正)和各次周期项改正后的平差计算精度进行比较(见表4)。

表4 平差精度统计结果

周期参数标定计算	直接计算	周期参数标定计算次		
		第1次	第2次	第3次
单位权中误差	17.8	10.9	11.1	10.6
点值中误差	15.3	30.8	11.0	10.9

单位:同表1

从表4中明显地可以看出,三次周期项改正计算中,单位权中误差基本一致,都比直接计算精度高;点值中误差后两次基本一致,第一次比直接计算值大,是因为第一次计算中模型参数不适合引起的。第二、第三次计算后的平差精度基本一致,后者稍高于前者。

一般说来,几乎任何复杂模型与数据的拟合效果都比简单的模型好。但是本文多次平差标定的结果反而是:后两次简单的模型比第一次复杂的平差模型好。为什么?这是由于第一次进行周期误差参数标定时,把LCR重力仪三个减速齿轮产生的三个周期(1.00、7.33、73.33mgal)和它们的半周期数(3.667、36.667mgal)都参与了平差(目前消除周期误差都采用这个方法),事实上各种LCR重力仪并非都存在这些项周期误差。本文中G999仪器周期为7.333、73.333和半周期数3.667;G1003仪器周期为7.333、73.333和半周期数36.667项的周期误差参数不显著(或不存在)。这些不显著的周期项参与了第一次周期误差参数标定,错误参数起到误差放大作用,影响了计算精度,造成第一次的点值中误差比直接计算的还大。因此,

LCR 重力仪实际解算周期误差参数时,对周期误差不显著的项必须剔除掉。

从表2和表3a 可以看出,两台仪器中相同周期项的振幅差都不超过0.5微伽,周期误差参数的振幅基本一致。经过第三次周期项改正后,平差结果的单位权中误差和点值中误差都比直接计算的结果大大提高了,这说明计算结果是十分可信的。

我们对西安地区的平差结果也作一下分析,进行周期误差改正后,单位权中误差由原来的11.4微伽提高到9.4微伽;点值中误差由原来的8.2微伽提高到6.6微伽。

3.2 段差及互差结果比较

现把河西地区1992年流动重力测量中两台仪器(NO:999和 NO:1003)互差超限的16段段差及相邻段差进行周期误差改正前后的统计结果列于表5。

表5 段差均值及互差统计结果

起点	终点	周期改正前		周期改正后	
		段差均值	互差	段差均值	互差
78	77	-53.862	-76	-53.842	-37
79	78	-32.597	23	-32.602	15
82	83	-45.493	-24	-45.487	-3
81	82	-49.249	55	-49.264	13
92	91	-14.972	64	-14.992	26
93	92	55.899	-87	55.923	-47
94	93	92.743	53	92.712	27
106	100	-91.071	41	-91.088	12
119	120	44.520	-41	44.529	-15
73	75	21.639	36	21.631	3
72	73	139.041	-33	139.055	13
29	28	-134.469	0	-134.448	50
75	29	-83.913	17	-83.917	-16
5	4	-26.121	-68	-26.110	-23
10	11	-17.911	-36	-17.891	3
4	7	-135.267	74	-135.286	28
3	4	34.933	-8	34.930	-1
19	20	22.758	100	22.737	57
18	19	23.319	-111	23.334	-60
17	18	20.043	24	20.026	-3
16	17	11.719	-1	11.736	38
27	71	68.342	5	68.336	-35
36	27	54.110	-20	54.129	8
34	35	24.404	-64	24.423	-9
33	34	23.881	57	23.864	20
30	31	22.513	62	22.491	18

单位: 段差 10^{-5}MS^{-2}

自差(互差) 10^{-8}MS^{-2}

从表5明显地可以看出,经周期项改正后,互差超限的测段由原来的16段减少为6段;其互差最大值由原来的110微伽减少为60微伽;各项指标明显改善。进一步比较发现,周期改正后存在的6段互差超限成果中有2段(29—28和16—17)原来是不超限的成果,经改正后出现的新超限。仔细分析看出:周期改正后的6段互差超限成果中,相邻两段段差之和,其互差均不超限,这说明这些超限是受点位的地形影响所致。尤其是18—19和19—20两测段更为明显,19号点位于傍山依水处,地形复杂,该点重力值受地形影响最大。

对段差值进行比较可以看出:段差观测值进行周期误差改正前后其变化最大值能达到20微伽左右,变化量是较大的。因此,流动重力测量中,对存在周期误差的仪器,其观测成果一定要进行周期误差改正,以确保成果质量。

3.3 周期误差分析

仪器存在周期误差是由两种原因造成的:一种是精密螺杆本身由于机械加工产生的;另一种是齿轮组产生的。由于这次新引进来的两台仪器装配质量及精密加工下降,使得它们存在着周期误差。原则上,仪器经过重力基线场严格标定后,用其标定结果对观测成果进行周期误差改正,应该能消除其对观测成果的影响,原因如下:

① 使用的是新仪器,工作过程中,仪器有些灵敏元件逐渐老化,渐趋稳定。

② 庐山重力基线场检定的读数范围较小,商检报告说明书中指出:LCR—G999和G1003这两台仪器在基线场上进行检定时,其读数范围为2500~2900,实际工作地区的读数范围为2300~3200,这远远超出检定时读数范围。

③ 仪器检定地区与工作地区的环境不一致,河西地区气候变化快,温差大,可能使仪器在检定地区与作业地区的性能存在一定的差异。

④ 检定地区的测段长度及重力段差值与作业地区差异较大,河西地区测段最长能达45km,段差值达 $200 \times 10^{-5} \text{ms}^{-2}$ 以上,这与检定地区明显存在差异。

从表3a中可以看出:两台仪器都只存在两项周期误差参数,周期数1及半周期数36.667(对G999)、3.667(对G1003),而其它项周期误差参数都不存在或不明显,为什么?这是由于周期数1存在于整个测量成果中,较小的误差参数用大量的观测值能很好地标定出来,一般来讲,只要仪器存在该项误差就能较好地标定出来。其它项则要满足以下两个条件才能准确地标定出来:

① 仪器本身存在这项误差参数。

② 测区测段中有较多该项周期数的整倍、半倍和1/4倍左右的重力段差值。

这从西安市区流动重力测量的周期误差参数标定得到进一步证明。由于该地区测段段差小,只反映周期为1.000的误差参数,其它项则不能标定。

4 认识与建议

(1) 流动重力测量中,在实测资料较多的情况下,利用观测资料直接进行周期项标定并进行周期误差改正是可行的,它是基线标定法之外的又一方法,在一定的条件和适当的方法下对测区可能更适合。

(2) 用实测资料进行周期项标定时,一定要剔除误差不存在或不显著的项,确定最佳模型参数,以保证成果质量。如果仪器不存在周期误差,那么标定时,会出现周期误差参数不明显或不存在的,可直接平差。

(3) 建议改善重力检定基线场,以尽量满足仪器在各地区作业的读数范围及段差变化

要求。若以重力段差接近周期误差参数的整倍或半倍的数值布设重力点,则可大大减小周期误差对测量成果的影响,提高仪器的标定精度。

(4) 对存在周期误差的仪器,其观测成果一定要重新认识,以取得可信的分析资料,进一步为地震预报服务。

(本文1993年12月26日收到)

(国家地震局第二地形变监测中心 祝意青)

参考文献

- 1 李树德等: Lacoste 重力仪的周期误差,《地壳形变与地震》,86(2)1992
- 2 国家地震局科技监测司:《形变、重力、应变专辑》,地震出版社,257,1991
- 3 李庆海等:《概率统计原理和在测量中的应用》,测绘出版社,1984
- 4 William Menke 著,王明光等译:《地球物理数据分析—离散反演理论》,地质出版社,1988

THE PERIODIC ERROR ANALYSIS ON HEXI REPEATED GRAVITY OBSERVATION

Zhu Yiqing

(*Second Crustal Deformation Monitoring Center, SSB, Xi'an, China*)