

重力垂直梯度测量平差新方法^{* 1}

任政堂^{1,2)} 李 辉^{1,2)} 康开轩^{1,2)} 孙少安^{1,2)}

(1)中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室),武汉 430071
(2)中国地震局地壳应力研究所武汉科技创新基地,武汉 430071)

摘 要 对重力梯度同步观测数据处理模型进行改进,可以同时计算出高低测点的重力段差、两台重力仪读数的系统差和零漂改正差。将实例计算结果与常规的数据处理模型结果进行对比,验证了该方法的有效性和适用性。

关键词 重力垂直梯度;同步平差;零漂改正;潮汐改正;适用性

中图分类号:P207

文献标识码:A

A NEW ADJUSTMENT METHOD OF GRAVITY VERTICAL GRADIENT

Ren Zhengtang^{1,2)}, Li Hui^{1,2)}, Kang Kaixuan^{1,2)} and Sun Shaoan^{1,2)}

(Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071)
(Wuhan Base of Institute of Crustal Dynamics, CEA, Wuhan 430071)

Abstract The simultaneous adjustment method of gravity gradient had been improved, and the gravity difference between the high point and the low point, the system difference of reading and the difference of drift corrections between the two relative gravimeters can be calculated. The validity and applicability of the above method had been proved by comparing the results of example's calculation and data processing model.

Key words: gravity vertical gradient; simultaneous adjustment; drift correction; tidal correction; applicability

1 引言

重力垂直梯度测量即应用相对重力仪观测重力位的铅垂一次导数,并通过与观测高差的比值获得,其在大地测量、物探和地球动力学等方面研究具有十分重要的作用^[1-3]。常规的重力垂直梯度数据处理是按照相对重力联测方式进行平差,各台重力仪观测量之间相互独立,需对每台重力仪的格值、气压等进行改正^[4,5],数据处理过程较为繁琐。为改善常规的重力垂直梯度数据处理方式,赵珞成等^[6]提

出了重力梯度的同步观测方法及相应的数据处理模型,很大程度上简化了梯度测量数据处理的计算量,但未对仪器的系统差进行校正。本文考虑到应用于测量的两台相对重力仪在读数上存在系统偏差,对同步观测数据处理模型进行了改进,并通过实例计算与常规的数据处理模型结果进行对比分析,验证了该方法的有效性与适用性。

2 数据处理方法

常规的重力垂直梯度数据处理中,单台重力仪

* 收稿日期:2013-04-23

基金项目:中国地震局基本科研业务费专项(15201116022)

作者简介:任政堂,男,硕士研究生,主要从事重力数据处理与分析研究。E-mail:Zhangxiaotong@sina.cn

通讯作者:李辉,男,研究员,博士生导师,主要从事地球重力学研究。E-mail:lihuidz@public.wh.cn

单点的观测方程为^[4,7]

$$g_{obs} = g_q - \delta g_l - \delta g_a - \delta g_h - \delta g_k - \delta g_e \tag{1}$$

其中 g_{obs} 为重力仪观测值, δg_l 为潮汐改正, δg_a 为气压改正, δg_h 为仪器高改正, δg_k 为零漂改正, δg_e 为环境噪声。

重力垂直梯度测量时,将两台重力仪分别置于脚架上、下同时进行观测并记录,环境噪声影响基本一致,因测量同一位置时使用相同的仪器脚架,所以仪器高改正 δg_h 可以忽略,而气压改正 δg_a 和潮汐改正 δg_l 相同,则两台仪器的观测值之差仅与不同仪器的零漂 δg_k 有关,在两台仪器分别进行了上和下两次测量后容易得到:

$$\begin{cases} g_1^{UP} - g_2^{DOWN} = dg_{12} - dg_k - v(t) \\ g_1^{DOWN} - g_2^{UP} = -dg_{12} - dg_k - v(t) \end{cases} \tag{2}$$

其中 dg_{12} 为上下两点的重力差, dg_k 为两台仪器之间的零漂改正之差,假设相对重力的零漂呈线性,则零漂改正之差为

$$dg_k = (k_1 - k_2)(t - t_0) = \Delta tdk \tag{3}$$

一个测回两台仪器的同步观测值之差为:

$$\begin{cases} g_1^{UP} - g_2^{DOWN} = dg_{12} - \Delta tdk - v_1(t) \\ g_1^{DOWN} - g_2^{UP} = -dg_{12} - \Delta tdk - v_2(t) \\ g_1^{UP} - g_2^{DOWN} = dg_{12} - \Delta tdk - v_3(t) \end{cases} \tag{4}$$

由于两台仪器的读数存在系统差,将两台仪器在一次垂直梯度观测过程中读数的系统差 a 同时作为位置参数,可将式(4)改写成:

$$\begin{cases} g_1^{UP} - g_2^{DOWN} = dg_{12} - a - \Delta tdk - v_1(t) \\ g_1^{DOWN} - g_2^{UP} = -dg_{12} - a - \Delta tdk - v_2(t) \\ g_1^{UP} - g_2^{DOWN} = dg_{12} - a - \Delta tdk - v_3(t) \end{cases} \tag{5}$$

其矩阵形式为

$$V = AX - L \tag{6}$$

其中, A 由 -1 、 1 和 Δt 组成, $X = [dg_{12}, dk, a]^T$, L 由两台仪器的观测值之差组成。根据最小二乘原理求得未知参数、单位权中误差和未知参数中误差分别为:

$$\begin{cases} X = (A^T PA)^{-1} A^T PL \\ m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T PV}{n - t}} \\ M = m_0 \sqrt{(A^T PA)^{-1}} \end{cases} \tag{7}$$

以该方法计算重力垂直梯度时无需计算固体潮改正和仪器零漂改正,直接计算出高低两点的段差值,并可以计算出两台用于观测的重力仪的零漂差。

3 应用实例

为检验本文所提数据处理方法的有效性,对某重

力基准点的观测数据(表1)分别按照本文数据处理方法与常规方法进行数据处理,并对数据处理结果进行对比(表2)。

按照同步平差同时得出两台相对重力仪的读数系统差为 $478.218 \times 10^{-5} \text{ms}^{-2}$,零漂改正差为 $0.1 \times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$ 。由表2可以看出,两种数据处理方式计算的重力垂直梯度结果相差 $0.0002 \times 10^{-8} \text{ms}^{-2}$,精度相当,说明该方法适用于现今重力垂直梯度测量方式的数据处理。为进一步证明该方法在实际测量过程中的适用性,选取华北地区重力垂直梯度测量中具有代表性的4个重力基准点的观测数据,应用本文方法进行处理(表3)。

表3中,北京和淮北点环境噪声影响较小,但淮北站观测高差远小于其他各点,郑州点环境噪声影响较大,日照邻近海边,海潮影响较大。从表3可以看出,应用常规平差方法与本文所述方法在重力垂表1 某重力基准点重力垂直梯度测量记录表(测量高差:104.0 cm)

Tab.1 Records of gravity vertical gradimetry on a gravity base station (measurement height difference: 104.0 cm)

t	Δt	重力仪1		重力仪2		差值 (10^{-5}ms^{-2})
		位置	重力观测值 (10^{-5}ms^{-2})	位置	重力观测值 (10^{-5}ms^{-2})	
13:56	0	上	3 294.535	下	2 816.585	477.950
14:02	6	下	3 294.797	上	2 816.320	478.477
14:08	12	上	3 294.537	下	2 816.580	477.957
14:15	19	上	3 294.537	下	2 816.580	477.957
14:22	26	下	3 294.796	上	2 816.318	478.478
14:29	33	上	3 294.547	下	2 816.581	477.966
14:35	39	上	3 294.547	下	2 816.580	477.967
14:41	45	下	3 294.803	上	2 816.318	478.485
14:47	51	上	3 294.543	下	2 816.578	477.965
14:52	56	上	3 294.543	下	2 816.578	477.965
14:58	62	下	3 294.800	上	2 816.316	478.484
15:05	69	上	3 294.532	下	2 816.576	477.956
15:10	74	上	3 294.532	下	2 816.576	477.956
15:17	81	下	3 294.798	上	2 816.314	478.484
15:23	87	上	3 294.532	下	2 816.576	477.956

表2 由不同数据处理方式计算的重力垂直梯度结果

Tab.2 Results of gravity vertical gradient computed by different data processing models

数据处理方式	重力垂直梯度 ($10^{-8} \text{ms}^{-2}/\text{cm}$)	精度 (10^{-8}ms^{-2})
常规	-2.509 9	1.028 9
同步	-2.510 1	1.422 1

表 3 华北地区 4 点重力垂直梯度结果

Tab.3 Four points' results of gravity vertical gradient in North China

点名	测量高差 (cm)	数据处 理方式	重力垂直梯度 ($10^{-8}\text{ms}^{-2}/\text{cm}$)	精度 (10^{-8}ms^{-2})	读数系统差 (10^{-5}ms^{-2})	零漂改正差 (10^{-8}ms^{-2})
北京	130.0	常规	-2.073 2	1.059 8	—	—
		同步	-2.070 0	0.657 3	-481.208	-0.1
淮北	111.6	常规	-2.383 7	0.854 8	—	—
		同步	-2.384 0	1.643 2	-479.365	0.5
郑州	130.0	常规	-3.219 4	3.393 3	—	—
		同步	-3.217 3	2.902 9	916.494	0.4
日照	129.4	常规	-3.012 8	1.046 4	—	—
		同步	-3.012 0	1.725 3	480.007	-0.5

直梯度结果上最大相差 $0.003\ 2\times10^{-5}\text{ms}^{-2}/\text{cm}$,个别测点的精度上虽较常规方法有所降低,但均在误差允许范围($\pm4\times10^{-8}\text{ms}^{-2}/\text{cm}$)内,说明该方法在处理现今重力垂直梯度资料中具有较好的实用性。

4 结束语

本文通过加入相对重力仪之间的读数系统差对重力垂直梯度测量的数据处理模型进行了改善,简化了重力垂直梯度测量资料数据处理的过程;在实例计算中虽在精度上没有显著提高,但其简化了数据处理的过程并减少了计算量。重力仪的零漂是否呈线性是该方法使用的关键所在,因此,采用该方法计算前需对相对重力仪的零漂是否呈线性进行验证。

致谢 十分感谢赵珞成高级实验师的大力帮助!

参 考 文 献

1 张赤军. 重力垂直梯度在大地测量和物探中的应用[J]. 测绘通报,1997,(7): 2-5. (Zhang Chijun. The application of gravity vertical gradient in geodesy and geophysical prospecting [J]. Bulletin Surveying and Mapping, 1997, (7): 2-5)

2 曾华霖. 重力梯度测量的现状与复兴[J]. 物探与化探, 1999, 23(1):1-6. (Zeng Hualin. Present state and revival of gravity gradimetry [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 1999, 23(1):1-6)

3 张赤军,等. 重力垂直梯度的测定及其应用与潜力[J]. 地

球物理学进展, 2007, 22(6): 1 686-1 691. (Zhang Chijun, et al. Determination of gravity vertical gradient and its application potential[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22 (6): 1 686-1 691)

4 刘绍府,李辉,刘冬至. 拉科斯特重力仪测量平差中的相关问题[J]. 地壳形变与地震, 1990,(2):67-73. (Liu Shaofu, Li Hui and Liu Dongzhi. Correlative problem of measurement adjustment of LCR gravimeter[J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1990,(2):67-73)

5 刘冬至,等. 流动重力测量数据处理系统——《LGADJ》[A]. 地震预报方法实用化研究文集:形变、重力、应变专辑[C]. 北京:地震出版社,1991,339-350. (Liu Dongzhi, et al. The data processing system of mobile gravity surveying《IGADJ》[A]. Practical research letters of earthquake prediction method: Album of deformation, gravity and strain [C]. Beijing: Seismological Press, 1991, 339-350)

6 赵珞成,等. 重力梯度同步观测方法[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2012, 37(4): 428-431. (Zhao Luocheng, et al. Simultaneous observation method of gravity gradient[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan Univerity, 2012, 37(4): 428-431)

7 李辉,等. 地震重力监测网统一平差模型的建立[J]. 地壳形变与地震,1991,(增刊):68-74. (Li Hui, et al. The establishment of united adjustment model for regional gravity network [J]. Crustal Deformation and Earthquake, 1991, (supp.):68-74)