

doi: 10.11720/wtyht.2019.1209
高鹏,李增涛,于峰丹,等.利用 Excel 实现快速整理 CG-5 型重力仪静态试验数据和计算漂移常量 DRIFT[J].物探与化探,2019,43(1):209–214.http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1209
Gao P, Li Z T, Yu F D, et al. Quick processing of static test data of CG-5 gravimeter and calculation of the parameter DRIFT using Excel[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(1): 209–214. http://doi.org/10.11720/wtyht.2019.1209

利用 Excel 实现快速整理 CG-5 型重力仪静态 试验数据和计算漂移常量 DRIFT

高鹏^{1,2}, 李增涛³, 于峰丹^{1,2}, 张旭^{1,2}, 刘生荣^{1,2}

(1. 中国地质调查局 西安地质调查中心, 陕西 西安 710054; 2. 自然资源部 岩浆作用成矿与找矿
重点实验室, 陕西 西安 710054; 3. 西北有色地质勘查局物化探总队, 陕西 西安 710068)

摘 要: 重力仪静态试验是重力勘探工作开始之前对仪器性能检查的必要环节, 由于原理简单, 其数据整理常不被人们重视, 没有系统的方法, 但整理的计算过程却又繁琐复杂, 初学者在面对大量数据和多重目标时或顾此失彼, 或重复计算, 往往要耗费较多的工作时间。Excel 电子表格具有强大的数学计算、图形显示功能, 且应用广泛, 易于操作, 可系统整理 CG-5 型重力仪静态试验的原始观测记录, 快速获取静态试验数据表、零点位移曲线及其拟合直线图等直观要素, 同时计算得到静态零点位移曲线与直线偏差、平均零点位移率等结果参数, Excel 的散点图趋势线功能也改进了静态零点位移校正参数漂移常量 DRIFT 的计算方法与准确度。这种静态试验数据的整理方法具有快速、准确和直观的优点。

关键词: CG-5 型重力仪; Excel; 静态试验; 数据整理; DRIFT

中图分类号: P631.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2019)01-0209-06

0 引言

重力勘探广泛应用于地质调查之中, 是最重要的地球物理勘查手段之一, 重力仪野外生产之前必须进行静态试验是为了了解静态零点漂移是否呈线性变化, 越近似线性, 说明仪器越稳定, 其结果是判断重力仪性能的重要参数, 决定了该仪器能否胜任此项工作。

CG-5 型重力仪是目前世界上使用最为广泛的相对重力仪之一^[1-3], 静态试验观测时一般设置不大于 10 min 自动记录一次读数, 连续观测不少于 24 h。观测完成后, 要绘制出静态观测曲线, 计算出漂移常量 DRIFT 值以修正零点位移, 同时计算得出静态观测曲线与直线的最大偏差以及静态平均零点位移率, 作为静态试验是否合格的控制参数。

关于 CG-5 型重力仪静态试验的结果分析和应用, 前人已进行了较多的研究^[4-17], 但由于静态试验原理和计算公式非常简单, 因此针对其资料整理, 却并未见有前人进行详细叙述, 规范^[18-20]对静态试验的计算说明也不系统, 而与此同时, 由于静态试验数据量大, 过程繁琐, 标准不统一, 初学者在整理数据时往往顾此失彼, 或重复计算, 浪费了大量的工作时间。笔者介绍了利用 Excel 电子表格^[21-22]快速对 CG-5 型重力仪静态试验数据进行整理的方法, 计算快捷准确、结果直观明了。同时利用 Excel 散点图趋势线功能快速求取静态零点位移校正参数漂移常量 DRIFT, 改进了 DRIFT 的计算方法与准确度。表格中自定义函数、图形等一经生成, 不用再修改, 且计算结果具有自动更新功能, 若在计算过程中某一参数或数据输入有误, 只需修改此参数或数据后, 计算结果及其相关的图形显示便自动更新。

1 建立静态试验数据表

打开一个 Excel 工作表,如表 1 所示,其中首行(列)为 Excel 电子表格的列(行)标,将 CG-5 重力仪中静态试验观测记录输入表格中。

第 1 行(行标为“1”,下同)为数据整理中涉及到的各列数据名称,假设静态试验时间内共在 $n-1$ 个时刻进行了观测,即有 $n-1$ 组数据,则第 2 行至第 n 行为静态试验在各观测时刻记录的数据。

第 A 至 E 列为重力仪导出的原始记录,“GRAV.”、“TIDE”、“DEC.TIME+DATE”、“TIME”、“DATE”等数组名为重力仪导出的.txt 文本文件中“读格值”、“固改值”、“儒略日期时间”、“时间”、“日期”的列标题名称。

如表中第 A 列, $\text{GRAV}(1)$ 表示静态试验中第一个观测时刻记录的读格值, $\text{GRAV}(n-1)$ 为静态试验中最后一个观测时刻记录的读格值。第 i 行的意义为在日期($\text{DATE}(i-1)$)的观测时间($\text{TIME}(i-1)$),此时儒略日期时间为($\text{DEC.TIME}+\text{DATE}(i-1)$),静

态试验记录的读格数为 $\text{GRAV}(i-1)$,固改值为 $\text{TIDE}(i-1)$ 。

第 F 至 J 列,“固改后读格值”、“重力值”、“零改后重力值”、“拟合直线上各点值”、“静态零点位移曲线与直线偏差”,可在 Excel 电子表格中编辑公式(见表 1)计算得出。为叙述方便,文中所有涉及 Excel 表列运算的公式都以下述方式表述,如第 F 列为第 A 列与第 B 列之和,表述为 $F_i = A_i + B_i$ 。需要注意的是第 F 列,在仪器观测时,重力仪参数设置“固体潮改正(tide correction)”如未开启,则原始记录中“GRAV.”一列对应于“读格值”即第 A 列,位于第 F 列的“固改后读格值”为第 A 列“读格值”与第 B 列“固改值”之和,即 $F_i = A_i + B_i$,如开启,则“GRAV.”一列对应于“固改后读格值”即第 F 列,此时 $A_i = F_i - B_i$ 。第 G 列“重力值” $G_i = k_g \times A_i + B_i$, k_g 为格值校正系数。

至此,静态试验数据表已完成了从第 A 列至第 G 列数据的输入或计算,那么第 H、I、J 列的数据内容输入原因及其含义将在下文介绍。

表 1 静态试验数据
Table 1 The data table for static test

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	读格值	固改值	儒略日期 时间	时间	日期	固改后 读格值	重力值	零改后 重力值	拟合直 线上各 点值	静态零点 位移曲线与直 线偏差
2	GRAV (1)	TIDE (1)	DEC.TIME +DATE(1)	TIME (1)	DATE (1)	A2+B2	$k_g \times A2$ +B2	$G2-(C2-\$C\$2) \times k_1$	$k_2 \times C2 + b$	H2-I2
...
i	GRAV ($i-1$)	TIDE ($i-1$)	DEC.TIME +DATE ($i-1$)	TIME ($i-1$)	DATE ($i-1$)	A_i+B_i	$k_g \times A_i$ + B_i	$G_i-(C_i-\$C\$2) \times k_1$	$k_2 \times C_i + b$	H_i-I_i
...
n	GRAV ($n-1$)	TIDE ($n-1$)	DEC.TIME +DATE ($n-1$)	TIME ($n-1$)	DATE ($n-1$)	A_n+B_n	$k_g \times A_n$ + B_n	$G_n-(C_n-\$C\$2) \times k_1$	$k_2 \times C_n + b$	H_n-I_n

2 计算漂移常量 DRIFT

2.1 关于 DRIFT

DRIFT 值在《CG-5 中文用户使用手册》中称之为“漂移常量”,重力仪中设置该参数的作用是校正零点漂移曲线使之接近水平从而减小零点位移量,其计算公式为:

$$D' = D + \frac{R_2 - R_1}{T_2 - T_1}, \tag{1}$$

其中: D 是在试验观测读数期间的漂移常量, R_2 、 R_1

分别为在 T_2 、 T_1 时间(单位:天)的重力值(单位: 10^{-5} m/s^2)。

由式(1)可见,使用该公式的求取 DRIFT 的方法是在直线上取两个点求取斜率,读数期间的漂移常量 D 加上直线斜率即为新的漂移常量 D' ;用该公式求取 DRIFT 的不足之处是斜率仅是由两点之间的直线求取,它极有可能不能代表整个观测时段的总体零点位移变化趋势。

那么要得到能代表整个观测时段的斜率 k_1 ,就必须先计算整个观测时段的零点位移曲线的拟合直线(其斜率即为 k_1),这是准确快捷求取漂移常量

DRIFT 值的有效途径,此时漂移常量计算公式为:

$$D' = D + k_1。$$
 (2)

虽然在 CG-5 重力仪内部提供了一个应用软件 (calibration DRIFT) 可自动确定漂移常量,但由于一般观测时,没有考虑格值校正系数,所以结果不够准确。

2.2 绘制零点位移曲线及其拟合直线

在 Excel 电子表格中,以重力值(第 G 列)为 y 轴,以儒略日时间(第 C 列)为 x 轴做“散点图”,然后为散点图“添加趋势线”。注意此处一定是“散点图”而非“折线图”,因为折线图时 Excel 会默认认为横坐标不是 x 列的数据而是行号,从而为趋势线计算

出错误的线性回归方程。
设置趋势线格式,在“趋势线选项”中,选择“线性”和“显示公式”,此处显示的公式为直线公式 (3),其中 k 为斜率, b 为 y 轴截距,即为静态零点位移曲线的拟合直线公式,其斜率就是计算整个观测时段漂移常量 DRIFT 值时所需的 k_1 ,

$$y = kx + b。$$
 (3)

图 1 为实际生产中一组静态试验数据,其中蓝色散点组成的曲线和红色直线分别为零点位移曲线及其拟合直线,图中拟合直线公式为 $y = -0.189x + 11559.040$,斜率 $k_1 = -0.189$, k_1 即为 DRIFT 值。

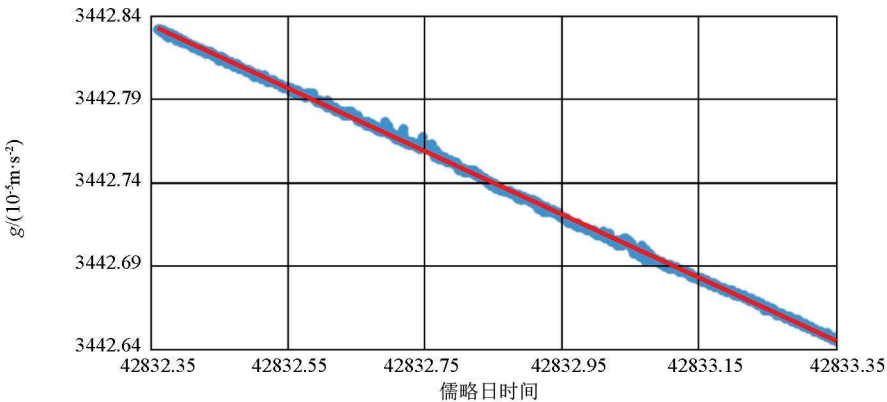


图 1 零点位移曲线及其拟合直线
Fig.1 Zero drift curve and its fitting line

3 零点位移改正

零点位移改正的目的是要求重力仪在静止状态下读数保持不变,此时,零点位移曲线是一条水平直线,但这一理想状态实际上是不可能达到的,因此,只能把零点位移曲线的拟合直线利用 k_1 校正到近似水平。

在表 1 中编辑第 H 列零改后重力值, $H_i = G_i - (C_i - C_1) \times k_1$ 。式中,以观测数据的第一个点值(单元格 C2)作为起算点,其后的所有数据都和该值校正到同一水平线上。在 Excel 中,以零改后重力值(第 H 列)为 y 轴,以儒略日时间(第 C 列)为 x 轴做“散点图”,添加趋势线并显示公式(3),发现拟合直线斜率 k_2 非常小,接近于 0。

图2为图1数据经零点位移改正后所得结果,

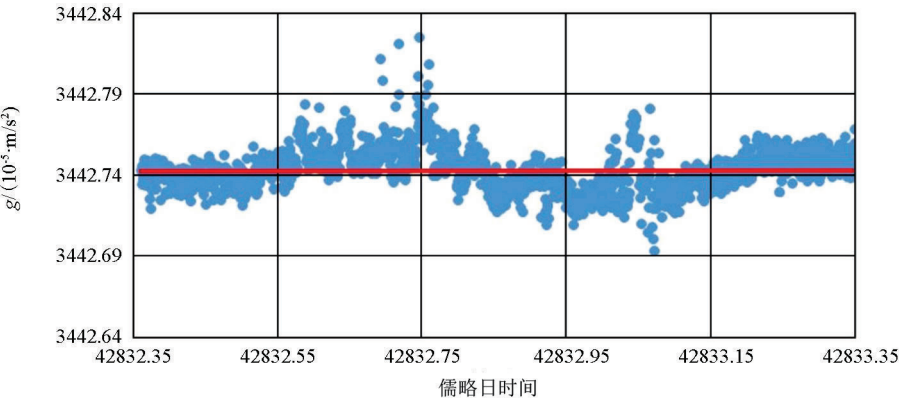


图 2 零改后零点位移曲线及其拟合直线
Fig.2 The curve of zero drift after correction and its fitting line

为了更清晰显示蓝色散点的分布,图 2 减小了 y 轴重力值的显示范围同时也增大了纵向比例尺。可见,零改后零点位移曲线的拟合直线(红色直线)近似水平,拟合直线公式为 $y = -0.000\ 009x + 3\ 443.202$,斜率 k_2 接近于 0,而由重力值构成的零点位移曲线(蓝色散点)分布在直线两侧不远处,近似直线。

上述在电子表格中所进行的零点位移改正,可通过重新设置重力仪的 DRIFT 值在仪器观测时直接实现,具体步骤为在重力仪主设置窗口选择“AUTOGRAV”图标,然后按“F5”键,系统将显示仪器参数设置窗口,再进入 AUTOGRAVPARAMETER 子窗口,找到“Drift”,按“F3”键,把模式从 FUNCT 转换到 EDIT,根据式(2),仪器中设置窗口显示的数值是 D ,将 k_1 代入,即求得新的漂移常量 D' 值,将之取代原值输入重力仪。

4 求取静态试验参数

根据式(3),可以计算得出每一个原始记录数据观测时间点(第 C 列儒略日时间)对应水平直线上的重力值,该值位于表 1 第 I 列, $I_i = k_2 \times C_i + b$ 。

在表 1 中,静态零点位移曲线与直线偏差(第 J 列)就是在每个原始记录观测时间点上零改后重力值(第 H 列)与其拟合水平直线上的重力值(第 I 列)之差,公式为 $J_i = \text{ABS}(H_i - I_i)$ 。鼠标选中列 J 全部数据,Excel 表格右下角状态栏将显示偏差“最大值”、“最小值”等。也可在图 2 中直观读出,其零点位移曲线与直线的最大偏差为 $0.008 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$,位于儒略日时间 43 832.75 处。

平均零点位移率可由式(4)计算,式中, J 为在每个原始记录观测时间点上静态零点位移曲线与直线的偏差,共观测了 n 次,在 Excel 表格中编辑计算公式为 $J(n+1) = \text{AVERAGE}(J2:Jn)$ 。

$$\nu = \frac{\sum_{i=1}^n J}{n} \quad (4)$$

5 结论

综上所述,CG-5 型重力仪野外静态试验数据在 Excel 中的整理可通过以下几个主要步骤快速实现。

1) 建立静态试验数据表。主要是把“读格值”、“固改值”、“儒略日时间”、“时间”、“日期”这几列数据从重力仪导出的.txt 文本文件中通过复制

粘贴至 Excel 静态试验数据表第 A 列至第 E 列,通过公式,计算得到位于第 F 列的“固改后读格值”和位于第 G 列的“重力值”。

2) 计算漂移常量 DRIFT,通过绘制零点位移曲线及其拟合直线实现。以“重力值”为 y 轴,以“儒略日时间”为 x 轴做散点图,然后为散点图“添加趋势线”,然后为趋势线“显示公式”,该趋势线公式的斜率即为 DRIFT 值。

3) 零点位移改正。通过第 G 列的“重力值”和第 C 列的“儒略日时间”,计算得到第 H 列“零改后重力值”,并绘制其零点位移曲线及拟合直线图。

4) 求取静态试验参数。计算得出每一个原始记录数据观测时间点对应在水平拟合直线上的重力值(第 I 列),以第 I 列与第 H 列之差,计算得到静态零点位移曲线与直线偏差(第 J 列),同时根据公式计算平均零点位移率。

至此,完成了 CG-5 重力仪静态试验原始数据在 Excel 电子表格中标准化整理的数据表,求取了漂移常量 DRIFT,计算了仪器性能控制参数静态零点位移曲线与直线偏差以及平均零点位移率,绘制了零点位移校正前后的零点位移曲线及其拟合直线图。这些图、表、参数可作为判断仪器性能或校正仪器之用,也可在略加修饰之后打印,作为野外验收原始资料。

野外实践表明,利用 Excel 整理 CG-5 型重力仪静态试验数据,过程简单易行,结果直观明了,避免了繁琐的计算,可大大缩短数据整理时间,且运算准确,是野外数据整理的有效工具。

参考文献(References):

- [1] 曹金国,王来鹏,翟广卿,等.CG-5 重力仪及应用[M].北京:解放军出版社,2007.
Cao J G, Wang L P, Zhai G Q, et al. CG-5 Gravity meter and its application[M]. Beijing: The People's Liberation Army Press, 2007.
- [2] Scintrex L.CG-5 scintrex autograv system operation manual V5.0 [Z].2009.
- [3] 耿启立.重力仪器国外代表产品及国内研发最新进展[J].地质装备,2016,17(1):27-30.
Geng Q L. The latest development of gravity instruments of foreign products and domestic RD[J].Equipment for Geotechnical Engineering, 2016,17(1):27-30.
- [4] 郝洪涛,李辉,孙和平,等.CG-5 重力仪零漂改正及格值系数检测应用研究[J].武汉大学学报:信息科学版,2016,41(9):1265-1271.
Hao H T, Li H, Sun H P, et al. Application of zero drift correct and detection of scale parameters of CG-5 gravimeter[J].Ucomatics and information Science of Wuhan University, 2016,41(9):

1265 – 1271.

[5] 邢乐林,李辉,夏正超,等.CG-5 重力仪零漂特性研究[J].地震学报,2010,32(3):369 – 373.

Xing L L, Li H, Xia Z C, et al. Study on zero drift characteristics of CG-5 gravimete[J].Acta Seismological Sinia,2010,32(3):369 – 373.

[6] 沈博,袁尚武,马玄龙,等.CG-5 重力仪的漂移与寿命[J].物探与化探,2015,39(2):383 – 386.

Shen B, Yuan S W, Ma X L, et al. Zero drift of CG 5 gravimeter and its service lifetime[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2015,39(2):383 – 386.

[7] 邱雪峰,王应建,朱命琪.求定 CG-5 型重力仪静态漂移常数的方法研究[J].北京测绘,2013(6):65 – 67.

Qiu X F, Wang Y J, Zhu M Y.Study on the method of getting zero drift of CG-5 gravimeter[J].Beijing Surveying and Mapping, 2013 (6): 65 – 67.

[8] 汪健,孙少安,邢乐林,等.CG-5 重力仪的漂移特征[J].大地测量与地球动力学,2016,36(6):556 – 560.

Wang J, Sun S A, Xing L L, et al.Drift characteristics of CG-5 gravimeter[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2016, 36 (6): 556 – 560.

[9] 于红娟,郭金运,李九龙,等.基于主成分分析的相对重力观测零漂和固体潮提取[J].大地测量与地球动力学,2015,35(5):906 – 909.

YU H J, Guo J Y, Li J L, et al. Zero drift and solid earth tide extracted from relative gravimetric data with principal component analysis[J].Journal of Geodesy and Geodynamics,2015,35(5):906 – 909.

[10] 于红娟,郭金运,刘扬,等.CG-5 相对重力仪野外实验精度分析[J].测绘科学,2017,42(3):155 – 160.

YU H J, Guo J Y, Liu Y, et al. Precision analysis on CG-5 relative gravimeter through field experiments[J].Science of Surveying and Mapping,2017,42(3):155 – 160.

[11] 刘少明,孙少安,卢红艳,等.LCR 重力仪与 CG-5 重力仪的长基线混合标定[J].大地测量与地球动力学,2012,32(1):56 – 59.

Liu S M, Sun S A, Lu H Y, et al.Mixed calibration on long base-line for LCR and CG-5 gravimeters[J].Journal of Geodesy and Geodynamics,2012,32(1):56 – 59.

[12] 肖凡,张宏伟.利用 CG-5 重力仪标定动态检定场[J].地理空间信息,2012,10(4):126 – 128.

Xiao F, Zhang H W.Calibrating dynamic verification field Based on CG-5 gravimeters[J].Geospatial Information,2012,10(4):126 – 128.

[13] 刘代芹,李杰,朱治国,等.利用观测资料对 CG-5 型与 LCR-G 型相对重力仪精度初步评定[J].内陆地震,2012,26(1):45 – 51.

Liu D Q, Li J, Zhu Z G, Et al.Primary evaluation of measuring accuracy of LCR-G and CG-5 relative gravimeter using observation data[J].Inland Earthquake,2012,26(1):45 – 51.

[14] 肖凡,张宏伟,王应建.影响相对重力测量精度因素的探讨[J].测绘信息与工程,2012,37(2):38 – 40,44.

Xiao F, Zhang H W, Wang Y J. Discussion on relative gravity measurement accuracy factors[J].Journal of Geomatics, 2012, 37 (2): 38 – 40, 44.

[15] 胡金桥,李盛,张帆.CG-5 重力仪在海南岛陆流动观测的零漂特征[J].华南地震,2017,37(s1):53 – 57.

Hu J Q, Li S, Zhang F.The drift characteristics of CG-5 Gravimeter in the flow observation of Hainan island[J].South China Journal of Seismology,2017,37(S1):53 – 57.

[16] 尚立志,张宝松,黄宁.LCR-G、CG-5 型重力仪仪器性能试验比较[J].绿色科技,2017(4):137 – 139.

Shang L Z, Zhang B S, Huang N.Comparative analysis of instrument performance test of LCR-G and CG-5 gravimeter[J].Journal of Green Science and Technology,2017(4):137 – 139.

[17] 马玄龙,肖毅,刘磊.CG-5 重力仪静态观测残差分析[J].资源环境与工程,2010,24(6):698 – 700.

Ma X L, Xiao Y, Liu L. Analysis on residual errors by CG-5 gravimeter’s static observation [J]. Resources Environment&Engineering,2010,24(6):698 – 700.

[18] DZ/T 0082-2006.区域重力调查规范[S].中华人民共和国国土资源部,2006.

DZ/T 0082-2006.The standard for regional gravity survey[S].Ministry of Land and Resources of the People’s Republic of China, 2006.

[19] DZ/T 0004-2015.重力调查技术规范(1:50000)[S].中华人民共和国国土资源部,2015.

DZ/T 0004-2015.The technical specification for gravity survey(1:50000)[S].Ministry of Land and Resources of the People’s Republic of China,2015.

[20] DZ/T 0171-2017.大比例尺重力勘查规范[S].中华人民共和国国土资源部,2017.

DZ/T 0171-2017.Large-scale gravity survey specification[S].Ministry of Land and Resources of the People’s Republic of China, 2017.

[21] 王礼祥,蔡书,刘一.Excel 图表功能在数学、物理中应用的研究[J].西南民族大学学报:自然科学版,2012,38(1):150 – 155.

Wang L X, Cai S, Liu Y.The application of Excel chart function in mathematics and physics[J].Journal of Southwest University for Nationalities: Natural Science Edition,2012,38(1):150 – 155.

[22] 唐世雄.Excel 统计功能的应用研究[J].成都信息工程学院学报,2002,17(4):255 – 260.

Tang S X. Research of applications of Excel statistical function[J].Journal of Chengdu University of Information Technology,2002,17 (4): 255 – 260.

Quick processing of static test data of CG-5 gravimeter and calculation of the parameter DRIFT using Excel

GAO Peng^{1,2}, LI Zeng-Tao³, YU Feng-Dan^{1,2}, ZHANG Xu^{1,2}, LIU Sheng-Rong^{1,2}

(1.Xi'an Center of Geological Survey,CGS,Xi'an 710054,China; 2.MLR Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits,Xi'an 710054,China; 3.Geophysics and Geochemical Exploration Corporation,Northwest Bureau of Geological for Non-Ferrous Metals,Xi'an 710068,China)

Abstract: The static test of gravimeter is a necessary step for the performance inspection of gravity before the beginning of gravity exploration. Because the principle of data processing in static test is too simple that no one attaches importance to it. So there is no standard and systematic way to deal with it. Nevertheless, its computing process is very complex. When a beginner faces a large number of data and multiple goals, he is prone to neglect one of them or to repeat the calculation. This causes the waste of time. Excel has powerful functions of mathematical calculation and graphic display, and is widely used and easy to operate. Excel can process original observation records of static test of CG-5 gravimeter, quickly get a static test data table and zero point drift curve and its fitting line diagram. At the same time, parameters such as the deviation of zero point drift curve and the straight line as well as the average zero point drift rate are calculated. The scatter plot trend line function of Excel also improves the calculation method and accuracy of static zero shift correction parameter DRIFT. This static test data processing method is quick, accurate and intuitive.

Key words: CG-5gravimeter;Excel; static test;data processing;DRIFT

(本文编辑:王萌)