

国产磁通门磁力仪正交校正及资料分析

李德前^{1,2} 罗俊秋² 林俊^{1,2}

1 中国地震局地震研究所地震大地测量重点实验室,武汉市洪山侧路 40 号,430071

2 湖北省地震局地震预警湖北省重点实验室,武汉市洪山侧路 40 号,430071

摘要: 国产磁通门磁力仪在武汉台应用已有十多年时间。在台站运行期间,该仪器工作一直比较稳定,产出了较好的地磁观测数据。使用正交校正方法修正该仪器的观测资料,并对正交校正前后的观测资料进行静、扰日分析。分析结果表明,正交校正能够修正探头不正交引起的地磁场日变影响,使观测数据更加准确、可靠,能够提高地磁场观测资料的精度。

关键词: 国产磁通门磁力仪;正交校正;静、扰日资料分析

中图分类号: P308

文献标识码: A

武汉台是国家地磁基准台,“十五”期间配备了由中国地震局地球物理研究所研制的数字化 GM4 磁通门磁力仪。2008-08,该仪器正式进行地磁观测,2013-01 开始进行正交性校正,校正后的数据作为 BGM 磁通门磁力仪产出的资料参与日常资料处理及分析。多年来,GM4 磁通门磁力仪工作比较稳定,笔者一直在进行正交校正方面的分析,为在全国各地磁台站推广该方法、提高观测资料的精度积累实践经验。

1 正交校正方法

GM4 磁通门磁力仪是将 3 个正交探头固定在同一框架上,用以记录地磁场的 3 个分量。为了记录 3 分量地磁场,探头的架设方式为一个探头为垂直方向,另两个探头为水平方向,其中一个探头指向地理或地磁北,第 3 个垂直于另两个所在的平面。在地磁记录中,如果探头不正交,则需要对观测资料进行正交校正。

正交校正原理为^[1]:令水平面和探头方向之间的夹角为 θ ,水平面内探头的投影和 X 轴之间的夹角为 φ (图 1)。

在 $B = [X, Y, Z]$ 的磁场中,探头将测量场

$$F = X \cos \varphi \cos \theta + Y \sin \varphi \cos \theta + Z \sin \theta \quad (1)$$

对于场的变化,考虑到角 φ 和 θ 实际上比较小(不大于 $1^\circ \sim 2^\circ$),可以简化式(1),称 ΔF_X 是偏离 X 分量小角度 φ_X 和 θ_X 方向上的变化幅度, ΔF_Y 和 ΔF_Z 与此类似。计算式为:

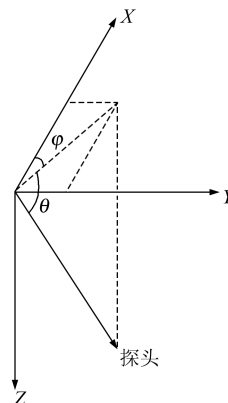


图 1 GM4 磁通门磁力仪正交校正原理

Fig. 1 Orthogonality correction principle of GM4 fluxgate magnetometer

$$\Delta F_X = \Delta X + \varphi_X \Delta Y + \theta_X \Delta Z \quad (2)$$

$$\Delta F_Y = \Delta Y + \varphi_Y \Delta X + \theta_Y \Delta Z \quad (3)$$

$$\Delta F_Z = \theta_Z \cos \varphi_Z \Delta X + \theta_Z \sin \varphi_Z \Delta Y + \Delta Z \quad (4)$$

或以矩阵的形式表示为:

$$\begin{bmatrix} \Delta F_X \\ \Delta F_Y \\ \Delta F_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \varphi_X & \theta_X \\ \varphi_Y & 1 & \theta_Y \\ \theta_Z \cos \varphi_Z & \theta_Z \sin \varphi_Z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \quad (5)$$

磁通门磁力仪一般以电压形式输出,并通过 A/D 转换器转变为二进制的形式。为得到以 nT 为单位的数据,需要将二进制数 Δn_X 、 Δn_Y 、 Δn_Z 乘以一标度值 ϵ_X 、 ϵ_Y 、 ϵ_Z , 则有:

$$\Delta F_X = \epsilon_X \Delta n_X, \Delta F_Y = \epsilon_Y \Delta n_Y, \Delta F_Z = \epsilon_Z \Delta n_Z \quad (6)$$

用这些等式的矩阵的逆乘式(5),得到:

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\varphi_X & -\theta_X \\ -\varphi_X & 1 & -\theta_Y \\ -\theta_Z \cos \varphi_Z & -\theta_Z \sin \varphi_Z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta F_X \\ \Delta F_Y \\ \Delta F_Z \end{bmatrix} \quad (7)$$

考虑式(6)并变号,有:

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon_X & \epsilon_{XY} & \epsilon_{XZ} \\ \epsilon_{YX} & \epsilon_Y & \epsilon_{YZ} \\ \epsilon_{ZX} & \epsilon_{ZY} & \epsilon_Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta n_X \\ \Delta n_Y \\ \Delta n_Z \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中, $\epsilon_{XY} = -\varphi_X \epsilon_X$; $\epsilon_{XZ} = -\theta_X \epsilon_X$ 。

式(8)中的矩阵被称为标度值矩阵,它有9个元素。为了精确地进行正交性修正,通过 GM4 磁通门磁力仪与 FHD 核旋仪记录的分钟值在磁静日和磁扰日期间连续几天进行对比,算出以上9个元素,然后取平均值,得出9个元素的平均值。通过式(8)使用 GM4 磁通门磁力仪的分钟值数据,使用专门的转换程序进行转换,转换后的数据即为校正后的数据。为了方便计算和日常处理,假定正交校正后的数据为 BGM 磁通门磁力仪产出的数据。

2 资料分析

GM4 磁通门磁力仪资料经过以上方法进行正交修正,将修正后的数据与原始数据进行对比分析。本次分析的资料主要选取磁场变化较平静时(磁静日)和磁场变化较剧烈时(磁扰日)的数据,在这两种情况下进行对比分析,可以得出比较明显的结果。

磁静日选取 2014-04-28 GM4 磁通门磁力仪与 BGM 磁通门磁力仪(正交校正后)差值曲线(见图 2)。从图 2(a)可以看出, D 分量差值曲线与原始记录曲线完全一致,表现为日变形态,变化幅度在 $\pm 0.03'$ 左右,修正时间段为 0~9 时;从图 2(b)可以看出, H 分量差值曲线与原始记录曲线呈现负相关日变曲线,变化幅度在 ± 0.05 nT,变化时间段为 0~9 时;从图 2(c)可以看出, Z 分量差值曲线与原始记录出现 -0.1 nT 的台阶,变化时间段为 3~7 时。

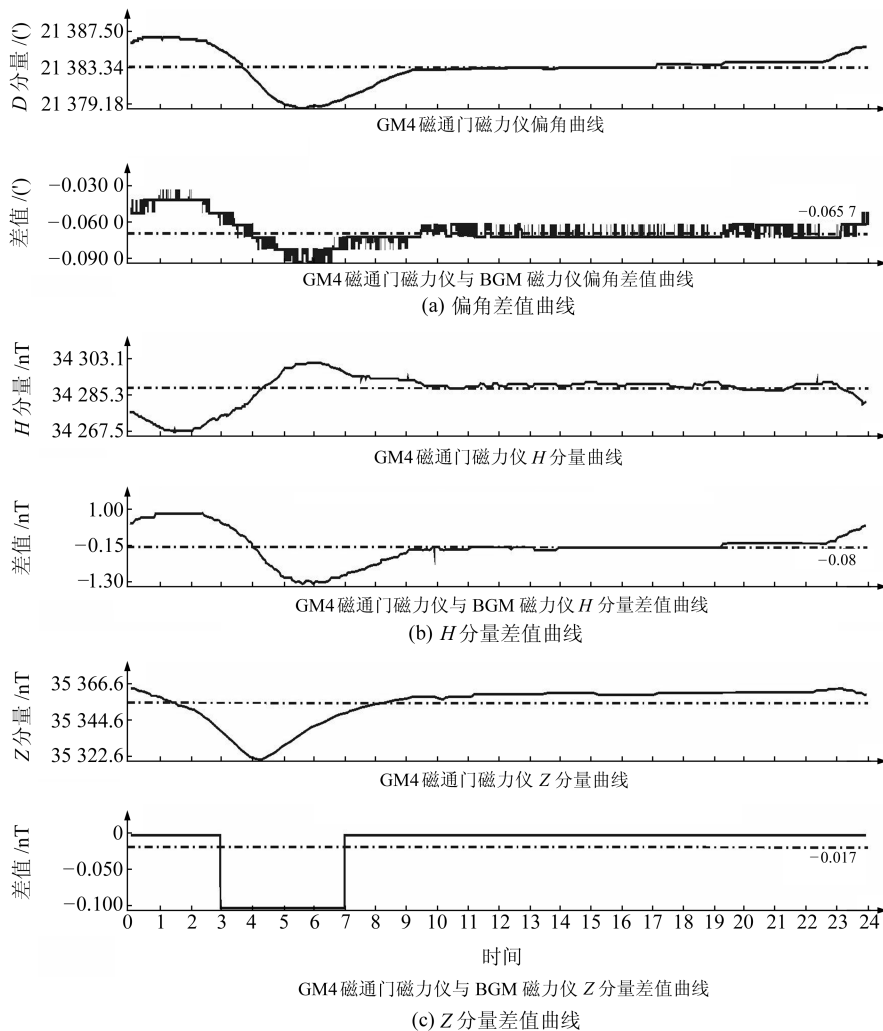


图 2 磁静日期间 GM4 磁通门磁力仪与 BGM 磁力仪差值曲线(2014-04-28)

Fig. 2 Difference curves between GM4 fluxgate magnetometer and BGM magnetometer during the magnetostatic period(2014-04-28)

磁扰日选取 2014-04-20 记录的大磁暴数据,从图 3(a)可以看出, D 分量差值曲线与原始记录曲线呈现负相关磁暴变化形态,变化时段为磁暴活动时段,变化幅度为 $\pm 0.27'$;从图 3(b)中看出, H 分量差值变化曲线与原始记录曲线成负相

关磁暴变化形态,变化幅度为 $\pm 2.6\text{ nT}$;从图 3(c)看出, Z 分量差值曲线与原始记录曲线正相关,除急始脉冲外,其他尖脉冲为负相关,变化幅度为 $\pm 0.3\text{ nT}$,变化时段为磁暴活动时段 6~24 时。

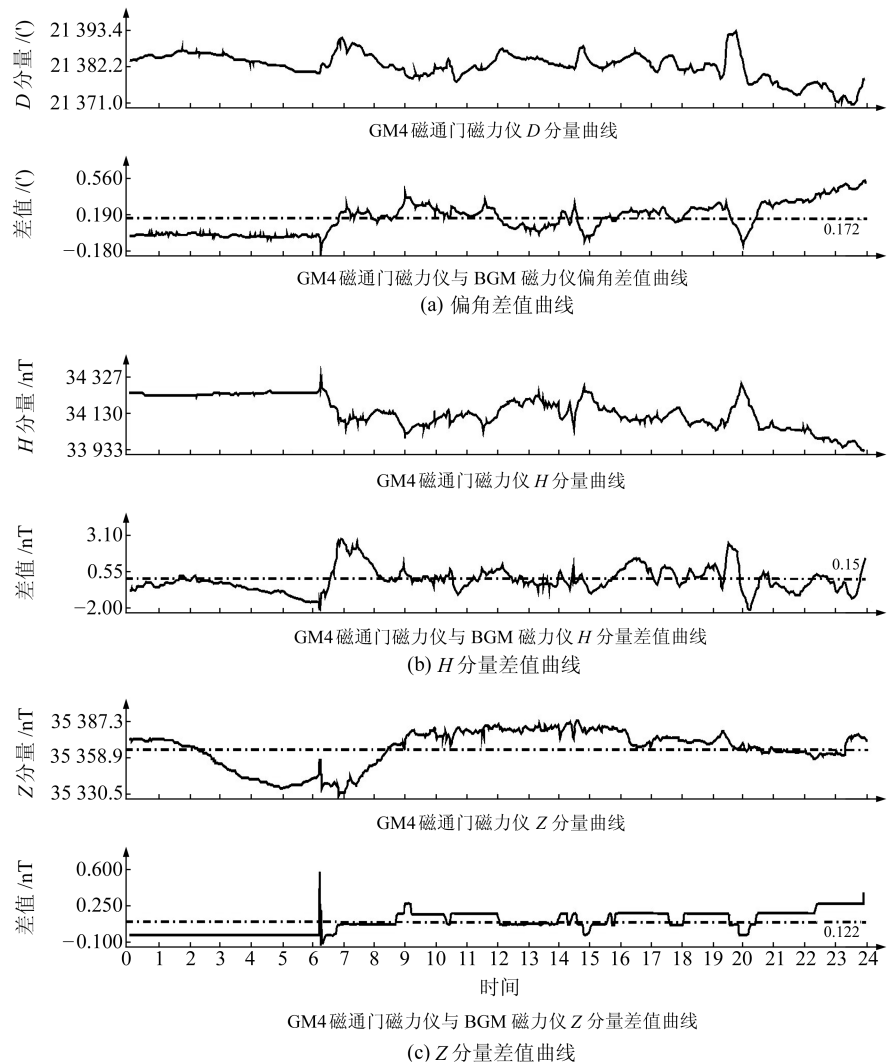


图 3 磁扰日期间 GM4 磁通门磁力仪与 BGM 磁力仪差值曲线(2014-04-20)
Fig. 3 Difference curves between GM4 fluxgate magnetometer and BGM magnetometer during the magnetic disturbance day(2014-04-20)

3 结 语

通过对国产 GM4 磁通门磁力仪进行正交校正以及对校正前后的资料进行对比分析,可以得出如下结论。

- 1)在磁静日期间,正交校正能够很好地修正地磁场 3 分量由于 GM4 磁通门探头不正交引起的日变影响;
- 2)在磁扰日期间,正交校正主要修正了地磁

场 3 分量磁扰期间的变化以及极值时间和幅度;
3)正交校正方法能够提高磁通门磁力仪的观测精度,适合在其他地磁台站应用。

参考文献

[1] Jankowski J,Sucksdorff C. 地磁测量与地磁台站工作指南 [M]. 周锦屏,高玉芬. 北京:地震出版社,1999 (Jankowski J,Sucksdorff C. Guide to Geomagnetic Survey and Geomagnetic Station Work[M]. Zhou Jinping, Gao Yufen. Beijing: Earthquake Press, 1999)