地矿测绘
Geological and Mineral Surveying and Mapping
第 8 卷◆第 4 期◆版本 1.0◆2025 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

蒙城中心站磁通门磁力仪观测数据对比分析

胡志文[1,2] 应允翔[1,2*] 吴婉楠[3,4] 车濛琪[1,2]
1 安徽蒙城地球物理国家野外科学观测研究站
2 蒙城地震监测中心站
3 大别山地震监测预报实验场
4 六安地震监测中心站
DOI:10.12238/gmsm.v8i4.2233

[摘 要] 选取2019-2020年的数据背景噪声、基线值、预处理分数据和日平均值等方面对蒙城中心站两套磁通门磁力仪GM-4和FGM-01进行了对比分析。结果显示：(1)两套仪器各分量的日均值一致性较好；(2)FGM-01各分量的噪声值大于或等于GM-4各分量的噪声值,月剩余标准差也是FGM-01大于或等于GM-4；(3)FGM-01仪器的灵敏度低于GM-4仪器。分析结果对反映两套仪器观测数据的内在质量较为理想,客观地反映了蒙城中心站各套仪器的工作状态。
[关键词] 地磁；磁通门磁力仪；数据质量；对比分析
中图分类号：X83 文献标识码：A

Comparative Analysis of Observation Data from Fluxgate Magnetometers at Mengcheng Central Station

Zhiwen Hu[1,2] Yunxiang Ying[1,2*] Wannan Wu[3,4] Mengqi Che[1,2]
1 Anhui Mengcheng National Field Scientific Observation and Research Station for Geophysics
2 Mengcheng Seismic Monitoring Central Station
3 Dabie Mountain Seismic Monitoring and Forecasting Experimental Site
4 Lu'an Seismic Monitoring Central Station

[Abstract] This study conducts a comparative analysis of two sets of fluxgate magnetometers (GM-4 and FGM-01) at Mengcheng Central Station, focusing on aspects such as background noise, baseline values, preprocessed data, and daily average values of the data from 2019 to 2020. The results show that: (1) The daily average values of each component of the two sets of instruments are in good consistency; (2) The noise values of each component of FGM-01 are greater than or equal to those of GM-4, and the monthly residual standard deviation of FGM-01 is also greater than or equal to that of GM-4; (3) The sensitivity of the FGM-01 instrument is lower than that of the GM-4 instrument. The analysis results are ideal for reflecting the intrinsic quality of the observation data of the two sets of instruments and objectively reflect the working status of each set of instruments at Mengcheng Central Station.
[Key words] geomagnetism; fluxgate magnetometer; data quality; comparative analysis

引言

提供准确、可靠、连续、完整的数据是地磁台站的核心职责。随着D.I.F绝对观测技术的不断进步以及各台站配备多套先进的数字记录仪器,地磁台站的观测数据已经达到了前所未有的高精度和准确度。在这样的技术背景下,对于同一个地磁台站,其内部多个观测系统所获取的观测数据应当保持高度的一致性,以确保数据的可靠性和有效性。

针对这一要求,我们对蒙城台的两台磁通门磁强计的观测资料进行了深入研究。通过对这两台仪器观测数据的对比分析,我们可以更准确地评估地磁场的变化情况,为地质、气象、空间物理等领域的科学研究提供有力的数据支持。同时,这也有助于我们进一步验证和提升D.I.F绝对观测技术的性能和精度。

在研究过程中,我们将重点关注两台磁通门磁力仪观测数据的差异和一致性,分析可能的影响因素,并探讨提高数据一致性的方法和措施。这将有助于我们更好地理解和利用地磁台站

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

表 1　2020 年蒙城中心站 GM4、FGM01 及台网公布的参考背景噪声值

日期	GM4D	FGM01D	台网 D	GM4H	FGM01H	台网 H	GM4Z	FGM01Z	台网 Z
2020-01	0.08	0.06	0.09	0.12	0.09	0.13	0.06	0.10	0.06
2020-02	0.08	0.07	0.09	0.12	0.14	0.14	0.06	0.09	0.07
2020-03	0.10	0.08	0.11	0.14	0.14	0.15	0.06	0.09	0.07
2020-04	0.09	0.08	0.10	0.10	0.10	0.11	0.06	0.09	0.06
2020-05	0.10	0.10	0.11	0.13	0.13	0.14	0.06	0.08	0.07
2020-06	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.16	0.05	0.08	0.08
2020-07	0.11	0.12	0.13	0.14	0.13	0.14	0.06	0.08	0.07
2020-08	0.11	0.10	0.13	0.13	0.14	0.14	0.06	0.08	0.07
2020-09	0.09	0.09	0.13	0.10	0.10	0.14	0.05	0.06	0.08
2020-10	0.08	0.07	0.11	0.11	0.13	0.17	0.06	0.07	0.08
2020-11	0.07	0.07	0.09	0.10	0.10	0.12	0.06	0.07	0.08
2020-12	0.09	0.09	0.09	0.12	0.12	0.12	0.06	0.06	0.07

表 2 2020 年蒙城台 GM4、FGM01 基线值的月剩余标准差

日期	GM4D	FGM01D	GM4H	FGM01H	GM4Z	FGM01Z
2020-01	0.03	0.03	0.40	0.53	0.34	0.29
2020-02	0.02	0.06	0.38	0.52	0.34	0.67
2020-03	0.04	0.04	0.34	0.35	0.36	0.47
2020-04	0.04	0.03	0.35	0.55	0.19	0.44
2020-05	0.04	0.02	0.32	0.42	0.46	0.59
2020-06	0.03	0.04	0.30	0.36	0.28	0.41
2020-07	0.05	0.03	0.39	0.41	0.29	0.45
2020-08	0.04	0.10	0.36	0.48	0.40	0.38
2020-09	0.04	0.08	0.33	0.29	0.41	0.55
2020-10	0.05	0.06	0.43	0.32	0.46	0.48
2020-11	0.04	0.05	0.37	0.29	0.25	0.24
2020-12	0.06	0.11	0.44	0.40	0.44	0.34

的观测数据,为相关领域的研究和应用提供更加准确和可靠的数据支持。

1 台站观测环境

蒙城台作为国家基准地震台,自2007年起开始建设地磁记录室,旨在获取高质量的地磁观测数据。经过严格的场地勘选,该台站选定的区域磁场水平梯度小于1.0nT/m,这确保了观测数据的高精度和稳定性。同时,该区域的电磁环境干扰背景噪声被控制在0.1以下,静态磁场干扰不超过0.5,为地磁观测提供了良好的环境基础。

2 观测仪器简介

蒙城台在经历“十五”项目改造后,于2007年安装了两套GM4磁通门磁力仪,仪器由探头、模拟装置和主机三部分组成,为地磁观测提供了可靠的技术支持。随着技术的更新和设备的升级,蒙城台在2019年6月底决定用FGM01磁力仪替换其中一套GM4仪。

为了进一步提高地磁场观测的准确性和完整性,蒙城台还配合使用了G856质子式磁力仪。这套质子式磁力仪与磁通门磁力仪共同组成了一套完整的地磁场数字化观测系统。通过这两套仪器的配合使用。

3 观测数据对比分析

3.1参考背景噪声比较

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

为了更全面地评估蒙城中心站地磁观测的数据质量,通过对背景噪声的分析,直接反映了台站仪器对磁场变化的灵敏度。目前,背景噪声已经成为台网数据质量评价中不可或缺的重要内容。表1详细列出了2020年蒙城中心站两套地磁相对仪器(GM-4和FGM-01)在D、H和Z三个分量上的背景噪声值,并与台网公布的参考背景噪声值进行了对比。

从表1的数据可以看出,GM-4仪器在全年内各分量的背景噪声值均未超过台网公布的背景噪声参考值,显示出较高的稳定性和数据质量。然而,FGM-01仪器在全年内出现了7次背景噪声值超过台网公布背景噪声参考值的情况,这提示我们需要对该仪器进行进一步的检查和维护,以确保其数据质量的稳定性和可靠性。

3.2基线值比较

在评估磁通门磁力仪的基线值时,理论上基线值应该是一个定值。然而,由于观测过程中可能存在的误差、温度系数的变化以及仪器零点漂移等因素,基线值在实际观测中会发生不同程度的变化。为了准确监测这些变化,蒙城中心站在2020年进行了104次近零观测,使用磁通门经纬仪作为观测工具,并根据这些观测数据计算了两套磁通门磁力仪的基线值。

为了确保观测数据的准确性和可靠性,我们遵循观测规范要求,每月计算D、H、Z分量的月剩余标准差。

月剩余标准差的计算公式见式(1)。

$$S_E = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n}\left(Y_{1i} - Y_{2i}\right)}{n-2}} \tag{1}$$

$Y1i$ 为观测基线值, $Y2i$ 为采用基线值, n 为一个月内绝对观测次数。

蒙城中心站2020年GM-4、FGM-01基线值月剩余标准差见表2,由表2可知,GM-4、FGM-01的D、H、Z分量月剩余标准差满足规范要求,但FGM-01各成分的月剩余标准偏差要大于或等于GM4。

通过对比,我们发现GM-4的年剩余标准差相对较小,表明其在长时间尺度上提供了更稳定的数据。而FGM-01的年剩余标准差较大,这可能与其在某些时间段内的性能波动或环境因素对观测数据的影响有关。为了进一步提高数据质量,我们需要继续关注并优化FGM-01的性能。

3.3基线值的年变化和日变化分析

在年变化方面,我们计算了两套仪器2019年至2020年每年的基线值,并绘制了年变化曲线。通过对比,我们发现GM-4和FGM-01的基线值均呈现出一定的年变化趋势,但两者之间的变化趋势存在差异。

在日变化方面,我们选取了一段时间内的每日基线值数据,并计算了日剩余标准差。通过对比两套仪器的日剩余标准差,我们发现FGM-01的日剩余标准差在某些时间段内较大,这可能反映了其在这段时间内的性能波动或环境因素对观测数据的影响。

3.4基线值日变化特征分析

选取了一段时间内的每日基线值数据,并绘制了日变化曲线。通过对比,我们发现GM-4和FGM-01的基线值日变化均呈现出一定的规律性,但两者之间的日变化幅度和趋势存在差异。

3.5预处理分钟值数据比较

在对蒙城中心站两套磁通门磁力仪的数据进行预处理时,我们发现分钟值数据之间存在一定的不一致性。为了深入了解这一问题,我们特别选取了2020年1月1日两套仪器的H(水平分量)和Z(垂直分量)的观测数据进行比较和分析,绘制分钟值曲线(图1、图2)。

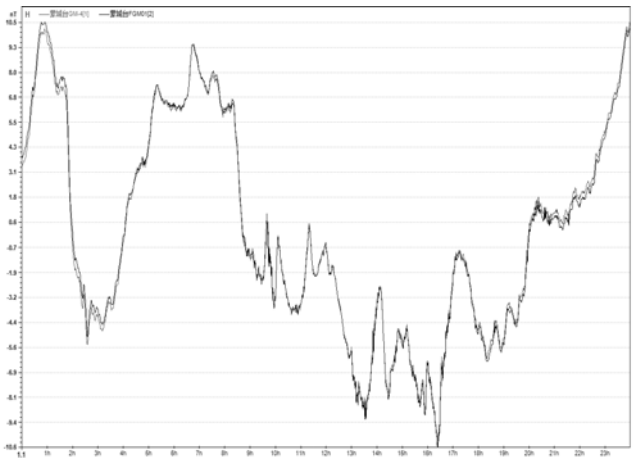

图1　2020年1月1日H分量预处理分钟值曲线

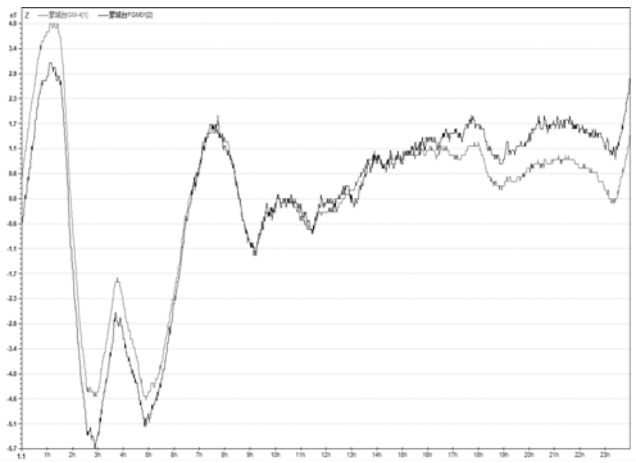

图2　2020年1月1日Z分量预处理分钟值曲线

从图1可以看出,两套仪器的H分量预处理分值曲线的变化形式是一致的。从图2可以看出,两套仪器的Z分量预处理分值曲线变化形式相同,但非重合现象明显。最大偏离幅度达到1.5nT。

3.6日均值比较

为了考察两套仪器观测数据的内在质量,选取了两套仪器2020年的日均值,分别绘制了各分量的日均值曲线(图3～图6)。

经过对蒙城中心站两套磁通门磁力仪的观测数据分析,我们注意到尽管FGM-01在2020年7月更换了探头,导致数据中出现

文章类型：论文|刊号（ISSN）：2630-4732 /（中图刊号）：561GL001

台阶现象,但两套仪器在D、Z两个分量的日平均变化曲线上仍表现出较好的一致性,并且年变化趋势也保持一致。

基于两套磁通门磁强计的观测数据计算得出相对日均值,通过计算两套仪器各分量的日均值差,我们得到了以下差值范围：D分量≤±0.05′、Z分量≤±0.6nT。这些差值范围说明了两套仪器在日平均值上的微小差异,这些差异可能来源于仪器的精度、环境因素的影响或数据处理过程中的不确定性。

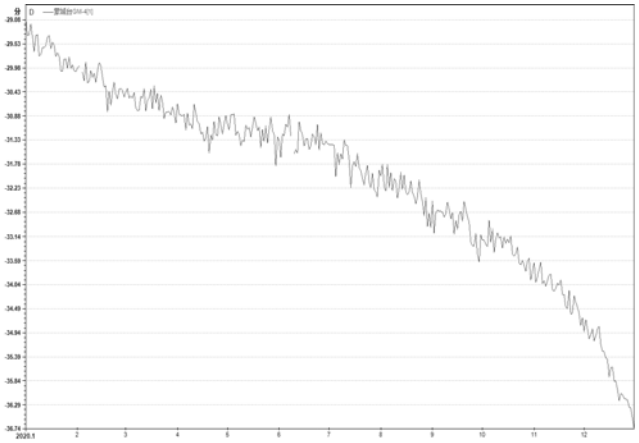

图3　GM4 D分量日均曲线

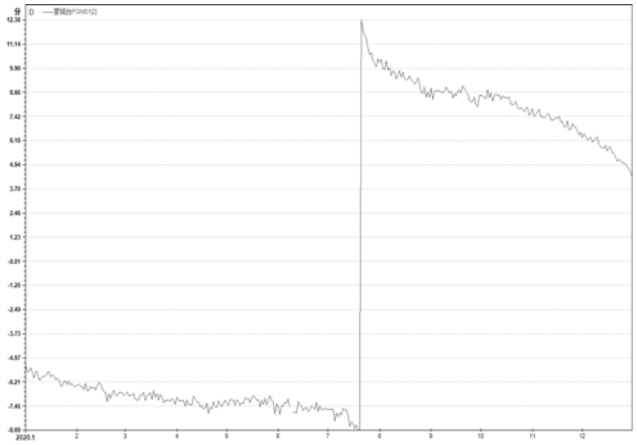

图4 FGM01 D分量日均值曲线

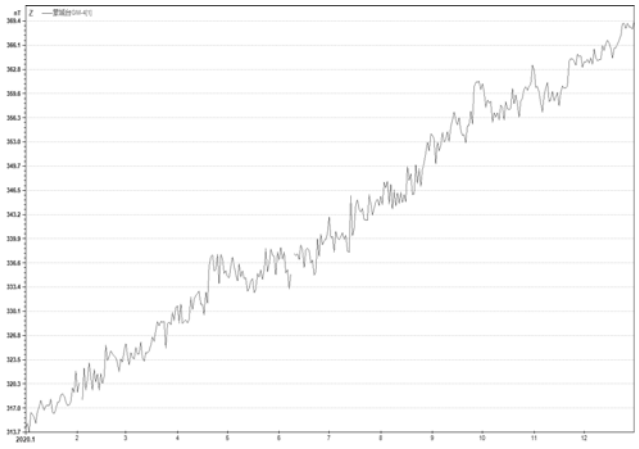

图5 GM4 Z分量日均值曲线

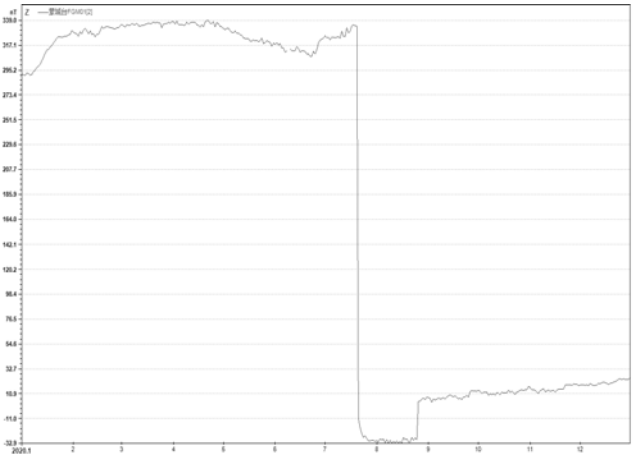

图6 FGM01 Z分量日均值

在实际应用中,由于各种条件的限制,包括仪器的制造精度、校准精度、环境因素的变化(如温度、湿度、地磁场的变化等)以及数据处理过程中的误差等,两套仪器的日均值差只能趋于接近0,而无法完全相等。

4 结论

通过对蒙城中心站两套磁通门磁力仪(GM-4和FGM-01)的观测数据对比分析,我们得出了以下结论：

(1)参考背景噪声和基线的月剩余标准偏差月度分析显示,FGM-01的噪声值大于或等于GM-4的噪声值,特别是在Z分量上,FGM-01的噪声值尤为明显。然而,无论是GM-4还是FGM-01,它们的各分量月剩余标准差均满足观测规范要求,说明两台仪器在长时间尺度上提供了稳定且可靠的数据。

(2)对预处理后的分钟值数据进行对比分析后,GM-4和FGM-01在H分量和D分量上的记录数据具有良好的一致性。然而,在Z分量上,FGM-01仪器记录的分数据与GM-4仪器数据存在明显的偏差。这一偏差可能是由于FGM-01仪器在特定时间段内的性能变化或环境因素导致的。

(3)在日均值的对比分析中,两套仪器各分量日均值变化曲线的形状一致,且年变化形态也保持一致。这进一步证实了两台仪器在长时间尺度上提供了高度一致的地磁观测数据。尽管在某些时间点或分量上存在差异,但这些差异较小,并不影响整体数据的质量和可靠性。

综上所述,蒙城中心站的两套GM4磁通门磁力仪在大多数情况下都提供了稳定、可靠且一致的地磁观测数据。然而,在Z分量上,FGM-01仪器与GM-4仪器之间存在一定的偏差,需要进一步关注和研究。

[参考文献]

[1]王莉森,张云昌,边鹏飞,等.利用逐步回归分析红山地磁台观测数据质量[J].华北地震科学,2013,31(3):54-56.

[2]高怡佳,张立红,缪鹏琼.天水地磁台GM4型磁通门磁力仪观测数据对比分析[J].甘肃科技,2018,34(24):76-78.

[3]王倩,王贺生,韩小宾,等.河北昌黎地震台磁通门磁力仪FGM01与GM4观测资料对比分析[J].山西地震,2018(1):32-35.

[4]杨马陵,王建格,黎晓之,等.肇庆地磁台磁通门磁力仪对比分析[J].华南地震,2005,25(3):35-43.

[5]李万胜,陈春梅,金延龙,等.对银川地磁台磁通门磁力仪观测数据的初步分析[J].地震地磁观测与研究,2003,24(1):39-45.

[6]韦汾余,吴一凡,郑丽东,等.琼中台FGM-01磁通门磁力仪观测数据浅析[J].内陆地震,2019,33(2):174-180.

[7]杨佩琴,王绍然,黄鹤凌,等.龙岩地震台GM4型磁通门磁力仪车辆干扰分析[J].地震地磁观测与研究,2012,33(z1):145-148.

[8]黄家亮,滕云田,朱传东,等.密集台阵磁力仪Z分量产出数据的质量分析[J].地震科学进展,2024,54(11):795-803.

[9]车濛琪,吴婉楠,应允翔,等.安徽六安磁通门台阵数据质量分析及方法应用[J].科技资讯,2024,22(03):222-224.

作者简介：

胡志文(1994--),男,汉族,安徽肥东人,本科,助理工程师,研究方向：地电地磁观测与分析。

***通讯作者：**

应允翔(1987--),男,汉族,安徽界首人,本科,工程师,研究方向：地磁观测与预报。