Advances in Geosciences 地球科学前沿, 2026, 16(10), 1503-1512
Published Online October 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/ag
https://doi.org/10.12677/ag.2026.1610132

Hans汉斯

铁磁性物质对地磁观测干扰的实验研究

宫静芝[1,2]，张亮娥[1,2*]，吕永青[1,2]，王振江[1,2]

[1]山西省地震局太原地震监测中心站，山西 太原
[2]太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站，山西 太原

收稿日期：2026年8月27日；录用日期：2026年10月17日；发布日期：2026年10月29日

摘 要

选取铁磁性干扰源在FHD传感器正南、正北、正东、正西四个方向，不同高度，不同距离多点位布局测量，确定对各分量的干扰幅度。结合太原武家寨磁电台站近年来受铁磁性物质的典型干扰实例，研究铁磁性物质对地磁观测的影响。结果表明：① 同一干扰源在同一高度，干扰源在南北方向干扰幅度基本一致，在东西方向，西面远大于东面，在四个方向干扰幅度H分量 > F分量 > Z分量，且干扰方向基本一致，随距离的增加，干扰幅度逐渐减小。② 干扰源在传感器侧面时，不同方向干扰情况不一样，高于传感器位置传感器位置时干扰幅度大于低于传感器位置的干扰。③ 铁磁性物质对地磁仪器各分量干扰幅度及形态，在不同方向、不同高度有一定的规律，可用于判定铁磁性物质的干扰方位。

关键词

铁磁性物质，地磁观测，典型干扰

Experimental Research on the Interference of Ferromagnetic Material on Geomagnetic Observation

Jingzhi Gong[1,2], Liang'e Zhang[1,2*], Yongqing Lv[1,2], Zhenjiang Wang[1,2]

[1]Taiyuan Earthquake Monitoring Center Station of Shanxi Earthquake Agency, Taiyuan Shanxi
[2]National Continental Rift Valley Dynamics Observatory of Taiyuan, Taiyuan Shanxi

Received: August 27, 2026; accepted: October 17, 2026; published: October 29, 2026

Abstract

The ferromagnetic interference source was measured at multiple points in the four directions—due

*通讯作者。

文章引用: 宫静芝, 张亮娥, 吕永青, 王振江. 铁磁性物质对地磁观测干扰的实验研究[J]. 地球科学前沿, 2026, 16(10): 1503-1512. DOI: 10.12677/ag.2026.1610132

south, due north, due east, and due west—of the FHD sensor, at different heights and distances, to determine the interference amplitude of each component. The influence of ferromagnetic materials on geomagnetic observation is studied based on the typical examples of ferromagnetic interference in Wujiazhai magnetic station in Taiyuan in recent years. The results show that: ① With the same interference source at the same height, the interference amplitude of the interference source is basically the same in the north-south direction, in the east-west direction, the interference on the west side is much larger than that on the east side, the interference amplitudes of the H, F, and Z components follow the order H > F > Z in the four directions, and the interference direction is basically the same, and the interference amplitude decreases gradually with the increase of distance. ② When the interference source is on the side of the sensor, the interference situation in different directions is different, and when the interference source is above the sensor, the interference amplitude is greater than when it is below the sensor. ③ The interference amplitude and shape of each geomagnetic component caused by ferromagnetic materials have certain rules in different directions and different heights, and can be used to determine the interference orientation of the ferromagnetic material.

Keywords

Ferromagnetic Material, Geomagnetic Observation, Typical Interference

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

电磁观测是地球物理观测的主要手段之一，为基于电磁学的地震危险区域研判和震情跟踪分析等提供重要的资料，特别是在中短期地震的预测研究中发挥着不可或缺的作用[1]。但随着我国经济建设的快速发展，现代化基础设施工程大幅增多，对地磁台站的干扰逐年增多，原来观测环境较好的台站也受到不同程度的干扰，数据观测质量下降。而且持续干扰，短时间内难以消除。国内外学者在高压直流输电线路、铁路、直流轨道交通、大型工厂、车辆通行等对地磁台的干扰方式、幅度及抑制方法方面进行广泛研究[2]-[11]。铁磁性物质构造不同产生不同磁场分布范围，其对地磁观测干扰比较复杂，特别是定量化的干扰研究比较少，对其规律总结可作为判定铁磁性干扰源方位提供依据[12] [13]。

2. 观测台站及仪器概况

太原武家寨磁电台位于太原市晋源区晋祠镇武家寨村，处于太原盆地中北部，交城大断裂东侧，地势开阔平坦，远离公路、居民区，测量范围内无管线通过，没有工业游散电流和其它电磁干扰源，航磁图上武家寨磁异常值 80~100 nT，区域磁场平静，布格重力异常等值线图上处于负异常区，地壳厚度小 35 km，磁场梯度及干扰背景测试结果：200 米范围内磁场梯度小于 1.0 nT/m，电磁环境干扰背景 ≤0.1 nT，静态磁场干扰 ≤0.5 nT。未发现隐伏磁性岩体，符合地磁观测规范所要求的测区条件。

太原武家寨磁电台地磁观测配备 FHD-2B 质子矢量磁力仪 1 套、GM-4 磁通门磁力仪 2 套 Overhauser 磁力仪 1 套。其中 FHD-2B 质子磁力仪于 2012 年 7 月架设完毕，探头线圈和主机均安装在地磁观测室，2013 年 1 月 1 日正式投入运行，分辨率 ＜0.1 nT，测量范围：20,000~70,000 nT。

3. 铁磁性物质对地磁观测影响的实验

本次实验采用长 0.5 m，直径 0.037 m，重 4.445 KG 的圆柱形铁性物质干扰源在 FHD 传感器正南、

正北、正东、正西四个方向，不同高度，根据观测室场地选择不同距离多点位布局测量，每次将铁磁性物质放置 20 分钟左右，然后移至无干扰距离观测 20 分钟左右，随后再将铁磁性物质放入下一点位，按照此步骤交替进行。

所有实验日均处于地磁平静期，无磁暴活动，太阳活动水平低，磁场稳定。

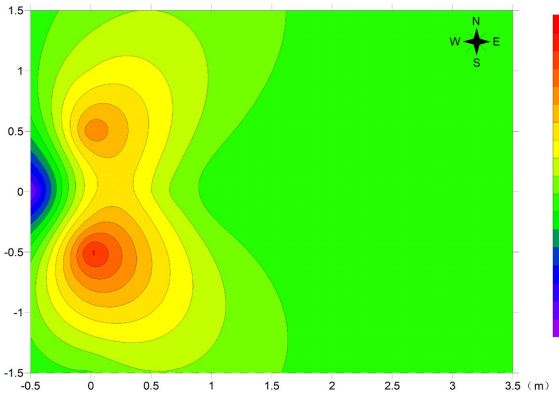
实验过程会对 FHD 数据产生干扰，通过与同台 M15 曲线对比，确定对磁偏角 D、水平分量 H、垂直分量 Z、总场 F 的干扰幅度。M15 为秒采样地磁矢量观测设备，与 FHD 布设在同一场地，二者空间位置接近、观测背景一致；M15 仪器数据不受本次实验影响，代表台站真实地磁场日变、空间地磁扰动，可作为扣除地磁场自然变化的参考。实验期间，采用 FHD 观测值减去同一时刻 M15 观测值，得到铁磁性物质产生的干扰幅度。

3.1. 同一高度、不同距离、不同方位影响实验

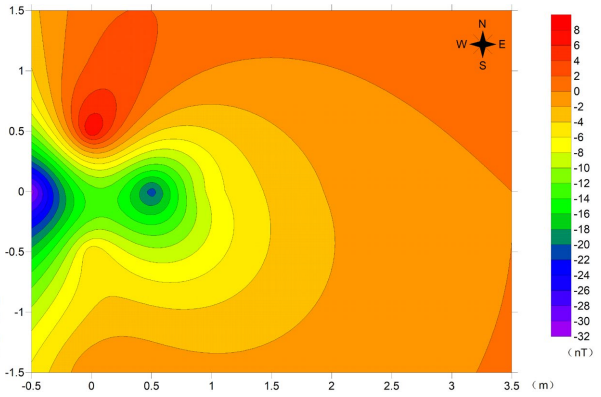
将干扰源在 FHD 传感器正南、正北、正东、正西四个方向布局测试，高度选择 0.7 m，与传感器距地面高度一致，实验结果如下(表 1、图 1)。

Table 1. Experiment on the effects at the same height, different distances and different azimuths
表 1. 同一高度、不同距离、不同方位影响实验

序号	高度(m)	距离(m)	方位	D(nT)	H(nT)	Z(nT)	F(nT)
1	0.7	3.5	东	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.7	2.0	东	0.0	−3.4	0.0	−1.8
3	0.7	1.1	东	0.0	−11.2	0.0	−6.1
4	0.7	0.9	东	2.0	−15.9	0.0	−8.7
5	0.7	0.7	东	3.3	−25.7	−0.7	−14.6
6	0.7	0.5	东	6.0	−40.3	0.8	−21.3
7	0.7	0.5	西	−12.6	−60.3	2.2	−31.0
8	0.7	1.5	南	1.8	−0.3	0.0	−0.2
9	0.7	0.5	南	18.7	−7.4	−0.4	−4.4
10	0.7	0.5	北	13.7	8.0	4.6	8.3
11	0.7	1.0	北	6.1	3.2	0.8	2.5
12	0.7	1.5	北	3.1	2.4	0.0	1.3



D 分量干扰幅度



F 分量干扰幅度

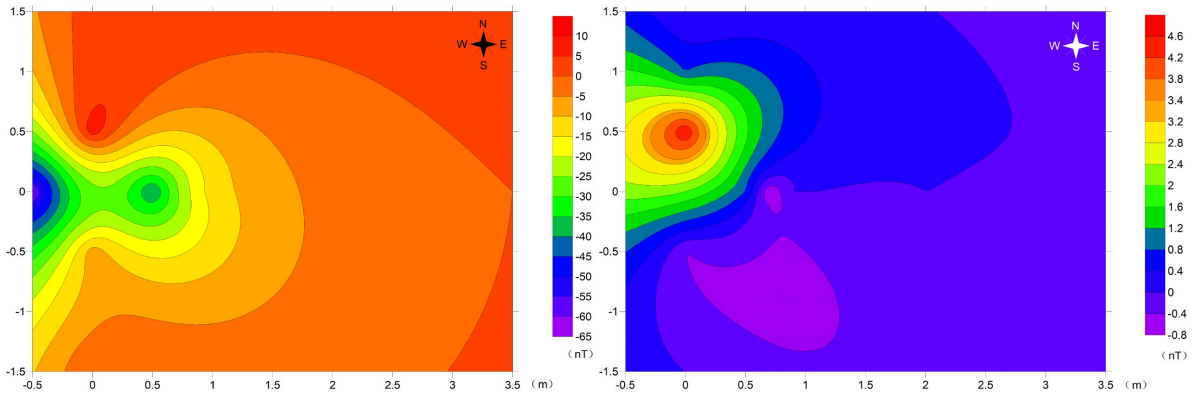


Figure 1. Interference amplitude contour map of geomagnetic data from ferromagnetic substances
图 1. 铁磁性物质对地磁数据干扰幅度等值线图

从实验结果可知，同一干扰源在同一高度，干扰源在南北方向干扰幅度基本一致，在东西方向，西面远大于东面，干扰源离传感器越远干扰越小。

干扰源在传感器正东方向放置时，干扰幅度 H 分量 >F 分量 >D 分量 >Z 分量，H、F 分量与 D 分量干扰方向相反，Z 分量干扰幅度较小(图 2)。

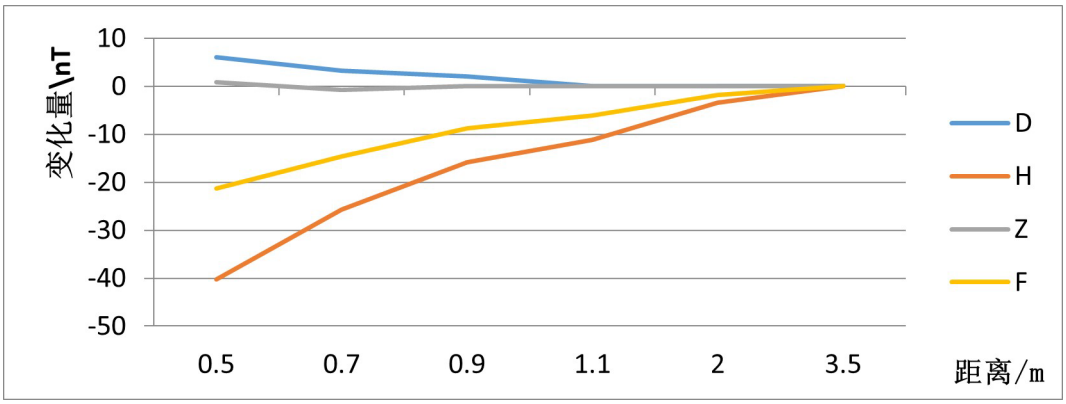


Figure 2. Interference amplitude curve of geomagnetic data from ferromagnetic substances along the east azimuth
图 2. 铁磁性物质在正东方向对地磁数据干扰幅度曲线

铁磁性物质在传感器正南方向放置时，干扰幅度 H 分量 >F 分量 >Z 分量，D 分量干扰幅度大于其他三分量，H、F 分量与 D 分量干扰方向相同，Z 分量干扰幅度较小(图 3)。

铁磁性物质在传感器正北方向放置时，干扰幅度 D 分量 > H 分量 > F 分量 > Z 分量，所有分量干扰方向相同(图 4)。

综上，同一干扰源在同一高度，干扰源在南北方向干扰幅度基本一致，在东西方向，西面远大于东面，在四个方向干扰幅度 H 分量 >F 分量 >Z 分量，且干扰方向基本一致，磁偏角 D 干扰情况不一，随距离的增加，干扰幅度逐渐减小。

3.2. 不同高度、同一距离、同一方位影响实验

将干扰源在 FHD 传感器正南、正东两个方向，与传感器距离 0.5 m，选择不同高度进行采用 1 中方法测量，具体影响结果如下(表 2)：

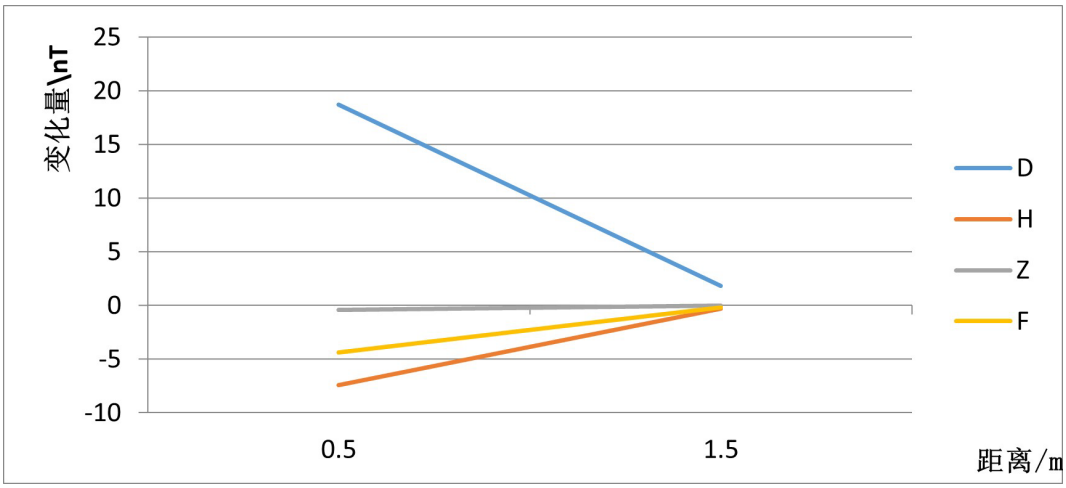


Figure 3. Interference amplitude curve of geomagnetic data from ferromagnetic substances along the south azimuth
图 3. 铁磁性物质在正南方向对地磁数据干扰幅度曲线

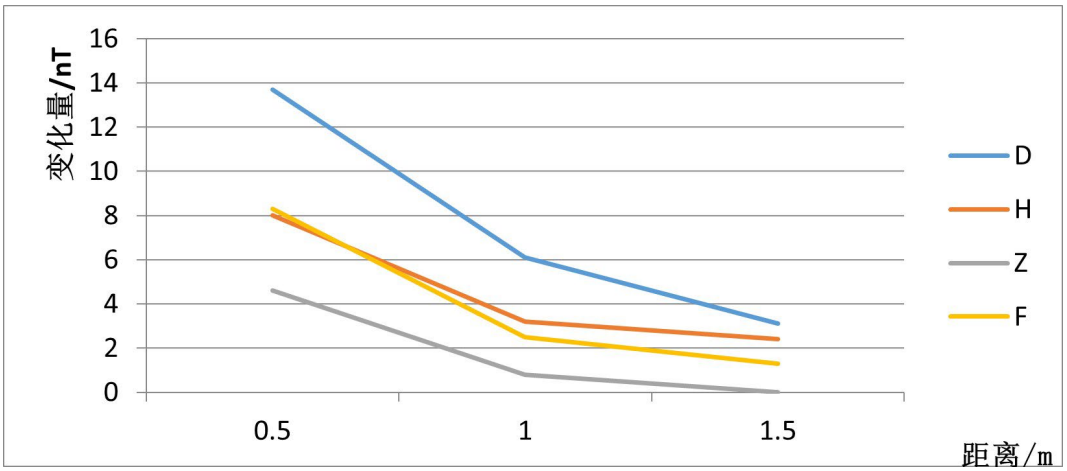


Figure 4. Interference amplitude curve of geomagnetic data from ferromagnetic substances along the north azimuth
图 4. 铁磁性物质在正北方向对地磁数据干扰幅度曲线

Table 2. Experiment on influences at different heights, the same distance and the same azimuth
表 2. 不同高度、同一距离、同一方位影响实验

序号	高度(m)	距离(m)	方位	D(nT)	H(nT)	Z(nT)	F(nT)
1	0.43	0.5	东	3	−28.3	6	−10.4
2	0.6	0.5	东	5.8	−32.5	3.8	−14.5
3	0.7	0.5	东	6	−40.3	0.8	−21.3
4	0.94	0.5	东	0.7	−75.5	−6.8	−46.8
5	1.1	0.5	东	−1.2	−64.1	−5.8	−39.8
6	1.3	0.5	东	6.3	−71.8	−7.6	−45.5
7	1.52	0.5	东	4.3	−89.7	−5.3	−53.2
8	0.43	0.5	南	9.1	−4.2	0	−2.3

续表

9	0.6	0.5	南	10	−5	−3	−5.3
10	0.7	0.5	南	18.7	−7.4	−0.4	−4.4
11	0.94	0.5	南	9.9	−4.5	−7.9	−6.7
12	1.1	0.5	南	5	−2.3	−9	−7.6
13	1.3	0.5	南	5.2	11.2	−10.4	−2.7
14	1.52	0.5	南	15.6	13.8	−3.4	4.6

在传感器正东方向放置干扰源时，干扰幅度 H 分量 ＞F 分量，Z 分量与 D 分量受干扰较小，越接近传感器受到的干扰越大(图 5)。

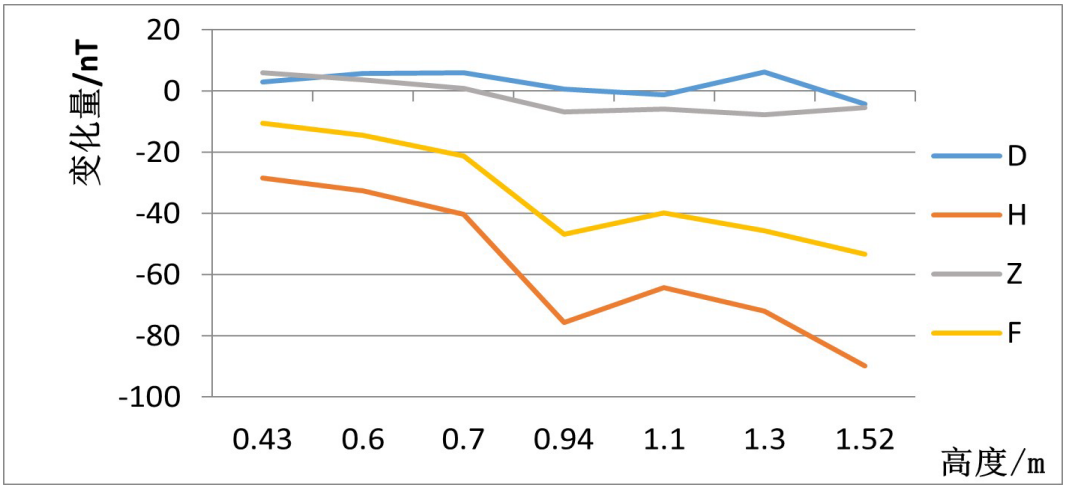


Figure 5. Interference amplitude curve of geomagnetic data from ferromagnetic substances at different heights along the east azimuth
图 5. 铁磁性物质在正东方向不同高度对地磁数据干扰幅度曲线

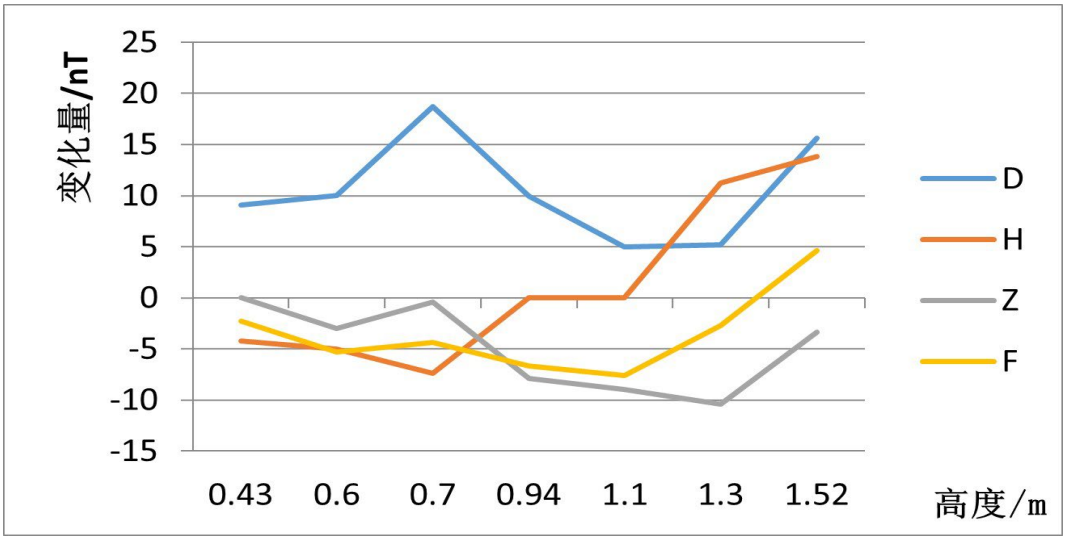


Figure 6. Interference amplitude curve of geomagnetic data from ferromagnetic substances at different heights along the south azimuth
图 6. 铁磁性物质在正南方向不同高度对地磁数据干扰幅度曲线

在传感器正南方向放置铁磁性物质时，D 分量受到干扰方向一致，干扰幅度接近，F、Z 分量越接近传感器受到的干扰越大，H 分量在观测墩高度附近不受干扰，在观测墩上下干扰方向相反(图 6)。

综上，不同高度、同一距离，干扰源在传感器侧面时，不同方向干扰情况不一样，高于传感器位置传感器位置时干扰幅度大于低于传感器位置的干扰。

3.3. 磁偶极子模型拟合

将干扰源视为磁偶极子，其磁场随距离 r 的衰减理论为 $B \propto 1/r^3$ [14] [15]。对不同分量在不同距离的干扰幅度进行拟合，结果显示：在近距离时，实测数据与 $1/r^3$ 理论曲线吻合较好；在远距离时，实测衰减略快于理论，可能由于干扰源非理想偶极子及背景场梯度影响。

4. 太原武家寨磁电台受铁磁性物质干扰状况

近年来太原武家寨磁电台受铁磁性物质干扰的状况有：东北方向迎宾桥施工、运营，东北方向空地脚手架堆积和搬运的干扰、车辆运行干扰及机械收种庄稼造成的干扰。

2021 年 4 月 20 日太原武家寨 FHD 世界时 02:02~02:27 垂直分量 Z、总场 F 数据受干扰，干扰形式为台阶、数据突跳，干扰台阶为负，干扰幅度 Z 分量大于 F 分量，磁偏角 D 和水平分量 H 不受干扰，经核实为台站南面旋耕机耕地干扰(图 7)。

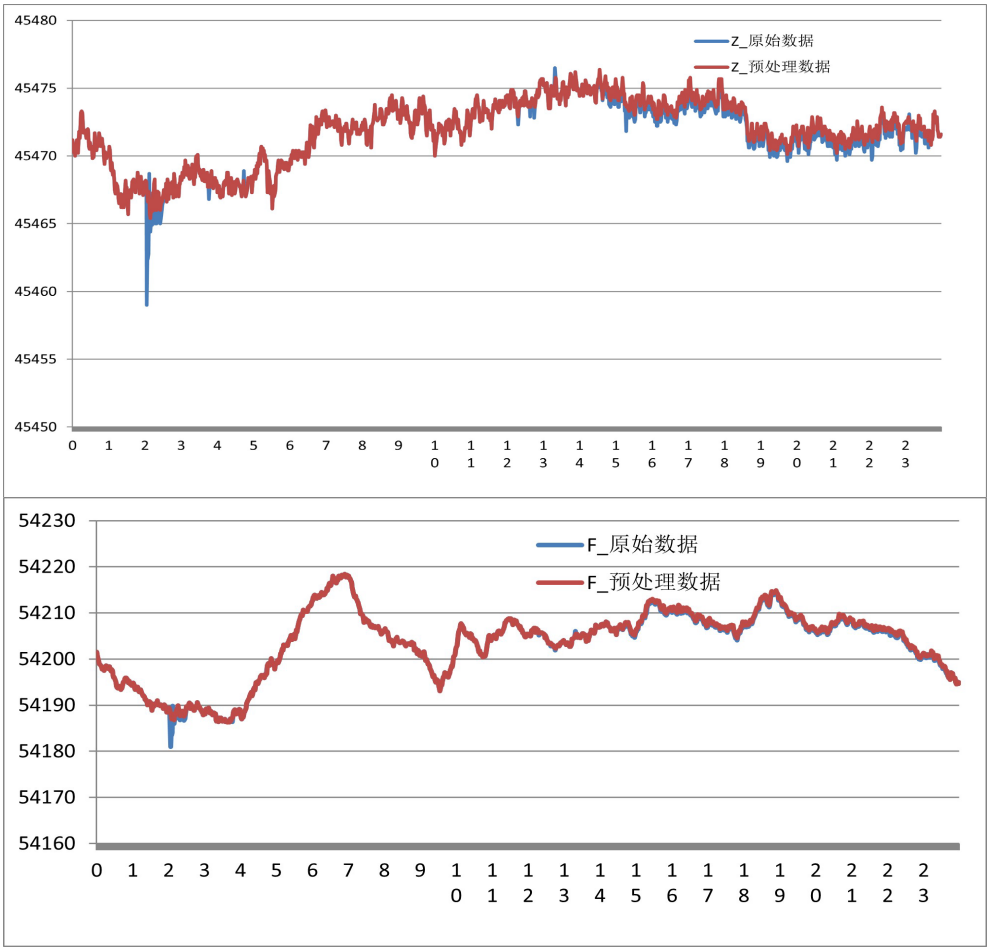


Figure 7. Interference curve of FHD affected by rotary tiller ploughing on April 20, 2021
图 7. 2021 年 4 月 20 日 FHD 受旋耕机耕地干扰影响曲线

2021 年 9 月 14 日太原武家寨 FHD 世界时 00:50~06:53 垂直分量 Z、总场 F 数据受干扰，干扰形式为台阶、数据突跳，干扰台阶为正，干扰幅度 Z 分量大于 F 分量，磁偏角 D 和水平分量 H 不受干扰，经核实为台站北面工厂运行干扰(图 8)。

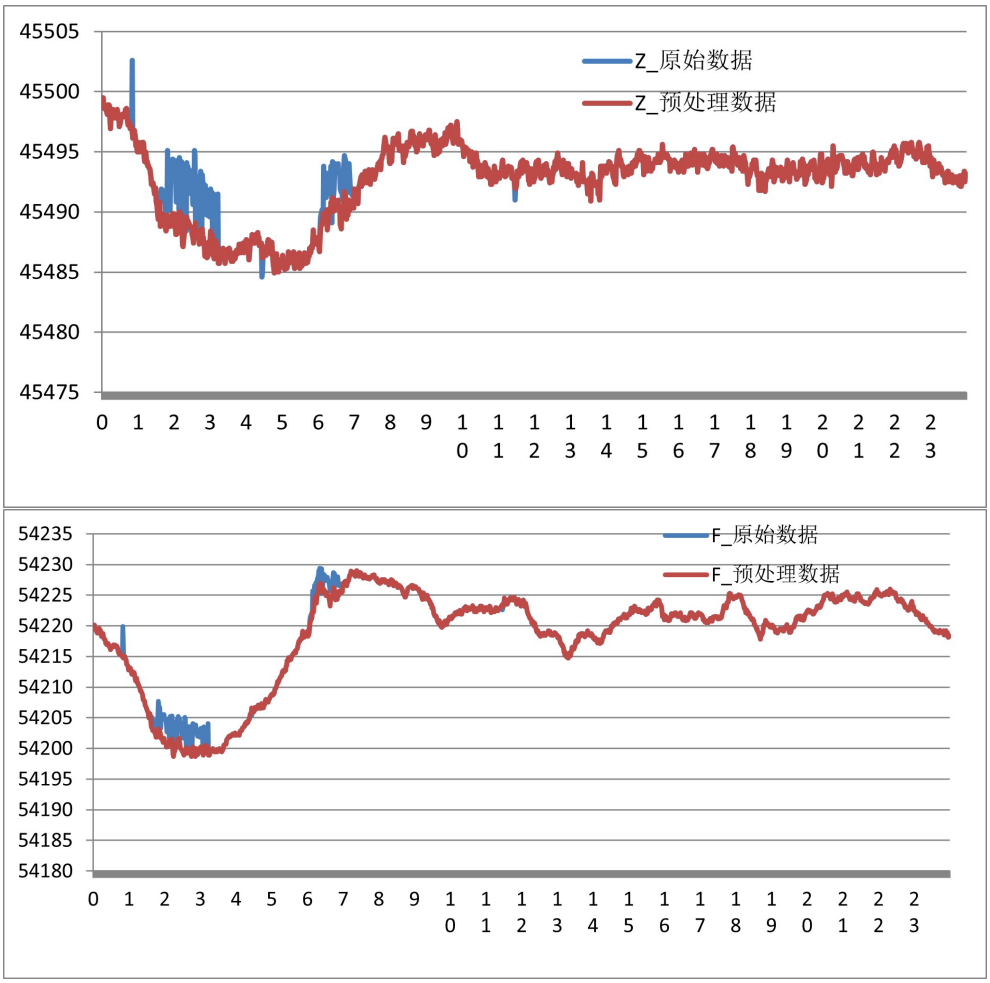


Figure 8. Interference curve of FHD affected by factory operation on September 14, 2021
图 8. 2021 年 9 月 14 日 FHD 受工厂运行干扰影响曲线

干扰造成数据出现缓变、台阶及错误数据等，干扰形态和高压直流干扰、漏电干扰有相似之处，对于此类干扰造成的台阶干扰，可进行台阶改正进行修正，对突跳干扰可进行剔除尖峰或进行错误数据删除处理。

实际案例中南北方向干扰符号相反(南负北正)与实验一致，但受干扰分量不同，可能原因为干扰源为多个铁磁性部件的组合，且距离远大于实验距离。

5. 结论与建议

5.1. 主要结论

1) 同一干扰源在同一高度，干扰源在南北方向干扰幅度基本一致，在东西方向，西面远大于东面，在四个方向干扰幅度 H 分量 > F 分量 > Z 分量，且干扰方向基本一致，磁偏角 D 干扰情况不一，随距离的增加，干扰幅度逐渐减小。

2) 不同高度、同一距离，干扰源在传感器侧面时，不同方向干扰情况不一样，高于传感器位置传感器位置时干扰幅度大于低于传感器位置的干扰。

3) 铁磁性物质对地磁仪器各分量干扰幅度及形态，在不同方向、不同高度有一定的规律，这种规律可作为判定铁磁性物质方位的依据。

5.2. 本实验局限性

1) 本实验仅采用单一规格圆柱形铁磁性样本，实际现场铁磁性物体千差万别，不同干扰源存在差异，本实验得到的绝对干扰幅度不能直接推广至所有铁磁性物体，仅可用于分量相对特征、形态、衰减趋势参考。

2) 本实验测点集中在近距离近场，缺少更远距离的加密测点，采样不足。

3) 实验中干扰源摆放姿态固定；未开展干扰源不同摆放姿态、多铁磁性源叠加的组合干扰试验；现实环境中经常存在多个铁磁性物体共同叠加干扰，叠加场的规律尚未开展研究。

4) 本实验主要开展静态放置铁磁性源的试验；对于移动铁磁性物体的动态干扰过程，仅依靠台站实际案例做定性分析，缺少系统受控动态试验。

5.3. 后续研究方向

1) 开展多组不同质量、几何形状、磁化率铁磁性物体的对比实验；建立考虑源尺寸、距离、方位、磁性的半经验干扰预测模型。

2) 拓展远场加密测点，完善模型修正项。

3) 开展多铁磁性源叠加干扰、干扰源不同摆放姿态、移动铁磁性源动态干扰的实验；研究多源叠加条件下干扰形态、分量特征，区分单源与多源干扰的识别判据。

4) 将实验得到的多分量判据，集成到地磁台站干扰自动识别算法中，实现铁磁性静磁干扰与漏电、高压直流、轨道交通等其它类型干扰的自动分类识别，提升台站数据自动化处理能力。

铁磁性物质对地磁仪器的干扰比较复杂，以后可以继续对其他不同材料、形状、质量的铁磁性物质继续进行实验测量，更加全面地掌握和了解铁磁性物质对地磁观测数据的影响规律，为快速识别干扰源方向提供依据，也可以更好的服务于地磁台站选址与建设。

基金项目

山西太原大陆裂谷动力学国家野外科学观测研究站课题资助(课题编号 NORSTY20-08)；山西省基础研究计划(产业发展类)联合资助(地震)项目(课题编号 202503011282004)；中国地震局监测、预报、科研三结合项目(课题编号 CEA-SJH-202601015)。

参考文献

[1] 中国地震局监测预报司. 地震电磁数字观测技术[M]. 北京: 地震出版社, 2002.

[2] 樊俊屹, 刘高川, 王晓, 等. 地球物理台网观测环境干扰现状分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2021, 42(3): 242-249.

[3] Fan, J.Y., Liu, G.C., Wang, X., *et al*. (2021) Analysis of the Current Situation of Environmental Interference in Geophysical Network Observation. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, **42**, 242-249. (In Chinese)

[4] 范磊, 魏越超, 郭宇, 等. 太原地震监测中心站地磁数据受高压直流输电干扰的识别处理[J]. 山西地震, 2022(4): 9-12+37.

[5] 范磊, 周建邦, 张亮娥, 刘素珍, 郭宇, 史舒婷, 宫静芝. 山西地磁台阵受晋南线高压直流输电接地极干扰的特征分析与处理[J]. 地震科学进展, 2024, 54(9): 584-589.

[6] 杨亚运, 张巡, 宋沅曦, 等. 石柱地震台地磁观测干扰分析[J]. 地震地磁观测与研究, 2020, 41(2): 138-145.

[7] 谢凡, 滕云田, 胡星星, 等. 地磁台站的城市轨道交通干扰的小波抑制方法研究——以天津轨道交通干扰为例[J]. 地球物理学报, 2011, 54(10): 2698-2707.

[8] 田勤, 胡秀娟, 畅国平, 和少鹏, 郭鹏昆. 动态车辆对地磁场干扰特征的定量研究[J]. 地震科学进展, 2024, 54(11): 804-811.

[9] 胡秀娟, 和少鹏, 郭鹏昆. 红山台地磁观测车辆干扰特征研究[J]. 地震, 2024, 44(2): 147-158.

[10] 郭亚亚, 张玉林, 任俊峰, 杨东辉. 承德地球物理台网地磁观测环境干扰[J]. 地震地磁观测与研究, 2021, 42(3): 144-152.

[11] 吴利辉, 滕云田, 王喜珍, 等. 南京地磁台地铁干扰特征分析与抑制处理[J]. 地震地磁观测与研究, 2009, 30(6): 32-39.

[12] 冯武. 近来宿迁地震台地磁观测所受干扰之分析[J]. 防灾科技学院学报, 2007, 9(2): 30-33.

[13] 康健, 孙嘉良, 张明东, 等. 铁磁性物质对地磁观测影响的野外测试[J]. 华北地震科学, 2022, 40(3): 55-61.

[14] 尹刚, 张英堂, 李志宁, 等. 磁偶极子梯度张量的几何不变量及其应用[J]. 地球物理学报, 2016, 59(2): 749-756.

[15] 郭宇鑫, 张骞, 张秀霞, 等. 磁偶极子构造法铁磁性物体干扰地磁观测正演[J]. 地震, 2023, 43(2): 145-155.