

YDT-3型无线电波透视仪器数据分析对比

陈程, 吴荣新, 庞瑶

安徽理工大学地球与环境学院, 安徽 淮南

收稿日期: 2024年1月12日; 录用日期: 2024年2月1日; 发布日期: 2024年4月7日

摘要

我国已开展了多频无线电波透视技术的研究, 并在研究上取得了重大的突破和成就。YDT-3型坑透仪是目前最新的多频透视仪器之一, 其工作频段主要有88 KHz、158 KHz、365 KHz。该设备一次探测能获得大量场强数据, 并对其进行数据处理与解释。为了提高数据的利用率进而在数据处理时提高探测精度, 需要对海量数据进行分类并作对比分析。根据YDT-3型坑透仪探测目标地质体得到的数据, 将其分为平均值、中位数、最大值和最小值这四种数据, 分析并总结四种数据的特点。在安徽理工大学西教学楼以及刘庄矿某工作面探测实例对比结果表明: 平均值和最大值所呈现出的效果较好, 最小值所呈现出的效果最差, 中位数在样本分布均匀或者样本数足够的情况下, 才能获得良好的数据。

关键词

无线电波透视, 构造, 数据对比, 数据分析

Analysis and Comparison of Data from YDT-3 Radio Wave Perspective Instrument

Cheng Chen, Rongxin Wu, Yao Pang

School of Earth and Environment, Anhui University of Technology, Huainan Anhui

Received: Jan. 12th, 2024; accepted: Feb. 1st, 2024; published: Apr. 7th, 2024

Abstract

The research of multifrequency radio wave perspective technology has been carried out in our country, and great breakthroughs and achievements have been made in the research. YDT-3 pit penetration instrument is one of the latest multi-frequency perspective instruments, and its operating frequency bands are mainly 88 KHz, 158 KHz, and 365 KHz. The device can obtain a large amount of field intensity data at one time, and process and interpret the data. In order to improve the utilization rate of data and improve the detection accuracy in data processing, it is necessary

to classify and make a comparative analysis of massive data. According to the data obtained by the YDT-3 pit penetration instrument, the data is divided into four kinds: average, median, maximum and minimum, and the characteristics of the four kinds of data are analyzed and summarized. The comparison of detection cases in the West Teaching Building of Anhui University of Science and Technology and a working face in Liuzhuang Mine shows that the average and maximum values have a better effect, the minimum values have the worst effect, and the median can obtain good data only when the sample distribution is uniform or the number of samples is sufficient.

Keywords

Radio Wave Perspective, Structure, Data Comparison, Data Analysis

Copyright © 2024 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

煤炭现已成为我国的主要能源来源，煤炭资源是人类在生产和生活方面不可或缺的一项资源[1]。随着我国煤炭资源开采利用的不断深入发展，对煤层综采采煤工作面地质保障的要求越来越高，安全高产高效成为煤炭企业的追求目标[2] [3] [4] [5] [6]。无线电波透视探测技术为非接触式探测，其具有仪器轻便、操作简单、所需人员少、抗干扰能力强、耗时短等优点，在煤层工作面地质构造的探测工作中得到了有效的推广以及应用，因此目前成为对煤层工作面地质异常体探查最常用的物探手段[7] [8] [9]。近年来，我国研究人员展开了多频无线电波透视技术的研究，为多频仪器的研究做出了巨大的贡献[10] [11] [12]。目前国内采用的多频坑透仪器有 YDT-3 型仪器，工作频段有 88 KHz、158 KHz 和 365 KHz [13] [14]，一次探测可同时获取 3 组频率的数据。由于 YDT-3 型透视仪具备 1 秒采集 5 组数据，能大量存储等特点，如果每个接收点采集多组数据，一次探测将得到海量数据。实际上，在数据分析和处理步骤时使用的数据数量较少。为了增加数据的利用率，提升对工作面地质异常的探查精度，对 YDT-3 多频无线电波透视仪所采集的数据进行分析对比是非常有必要的。本文把采集数据提炼为最大值、平均值、中位数和最小值，分别分析对比这四种数据的场强值及吸收系数反演效果图，总结了其各自的数据特点，为煤层工作面高效快速探采提供了更好的服务。

2. 无线电波透视法

无线电波透视技术是探测矿井工作面内断层、陷落柱和突水构造等地质构造的一种物探技术方法。电磁波在煤岩层中传播时，由于各种岩层和煤层的电阻率和介电常数各不相同，所以它们对电磁波能量的吸收也各不相同，低阻煤岩层对电磁波具有较强的吸收作用，高阻煤岩层则反之。当传播方向遇到煤岩层中的构造界面时，均能对电磁波产生折射、反射和吸收，使得信号显著减弱或者接受不到信号，从而形成一个“阴影区”，这便是所要探测异常区的范围。

YDT-3 型矿用无线电波透视仪器是基于安徽惠洲地质安全研究院股份有限公司最新的三频耦合电磁波探测技术研制而成，采用微秒级连续发射及采集方式，发射机与接收机自动匹配，确保发射接收同步，一次探测可以接收到多个三频数据，可同时完成多频响应场和背景场数据采集工作。此仪器主要由发射机、接收机、发射天线和接收天线构成。图 1 为 YDT-3 矿用无线电波透视仪系统组成图。

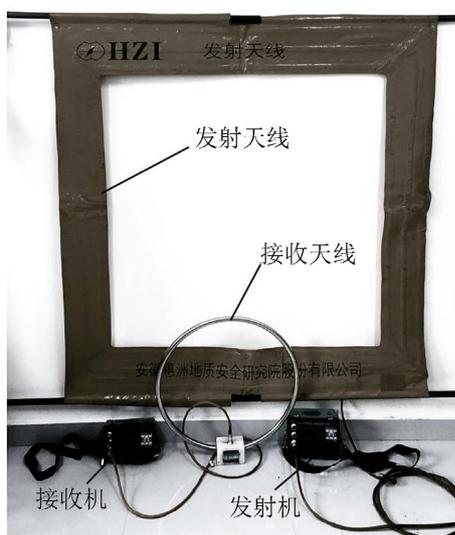


Figure 1. YDT-3 radio wave perspective instrument at mine

图 1. YDT-3 矿用无线电波透视仪系统组成图

3. 实施步骤

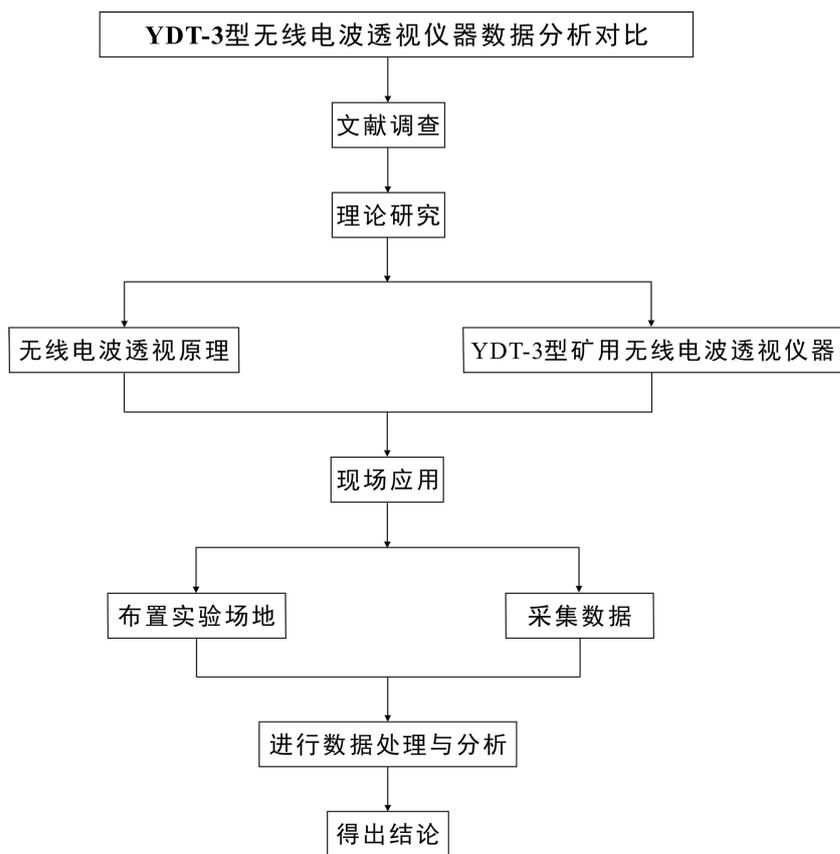


Figure 2. Flow chart of implementation steps

图 2. 实施步骤流程图

本文在搜集无线电波透视探测相关文献的基础上,对无线电波透视原理以及 YDT-3 型矿用无线电波透视仪器进行理论分析及研究。以安徽理工大学西教学楼以及刘庄矿某工作面为实验场地进行仪器布置以及采集数据,最后进行数据处理与分析得出结论。具体的实施步骤流程图如图 2。

4. 地面实验

4.1. 地面实验及测线布置

本次实验是以安徽理工大学西教学楼作为实验场地,该场地东西长度为 120 m,南北长度为 70 m。总体上可以将该场地分为 5 段,如图 3 所示,其中 0~13 m 段和 106~120 m 段为空气段,标为 Y1、Y5 区;由于教学楼为非对称结构,根据墙体厚度分为三段,分别在 13~54 m、54~84 m 和 84~106 m 处,标为 Y2、Y3、Y4 区。此次实验以 YDT-3 仪器作为实验仪器,选择 158 KHz 工作频率的接收信号为对比数据进行分析,对比数据包括平均值、中位数、最大值和最小值。实验过程中,在教学楼的南北两侧布置 2 条测线,并将北侧测线定为测线 1,南侧测线定为测线 2。测线长 120 m,测线上每隔 2.5 m 布置一个发射点,0.5 m 一个接收点,共 47 个发射点,241 个接收点。

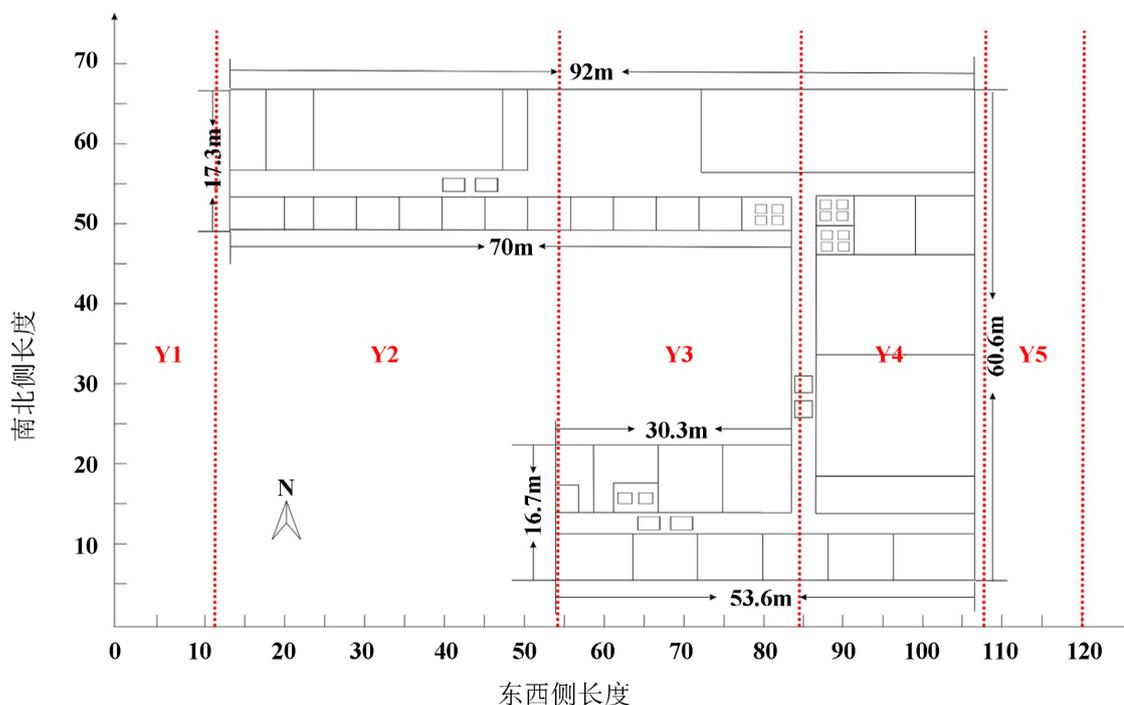


Figure 3. Actual situation of the experimental site

图 3. 实验场地实况图

4.2. 数据处理分析及对比

采用 ETC2.0 电磁波处理系统对 4 种数据进行处理,透视实测场强值变化如图 4 所示,吸收系数成像图如图 5 所示。由于接收段过多,难以直接从实测场强图中直接对比 4 种数据的差异,因此从实测透视场强曲线中选取了 4 个具有代表性的发射点对 4 种数据进行分析,分别是 Y2 区域 75 号发射点、Y3 区域 120 号发射点、Y4 区域 200 号发射点和 Y5 空气段 230 号发射点,如图 5 所示。从总体上看,场强范围在 20~80 dB 之间, Y5 空气段 230 号发射点对应的场强信号最高,约 62~80 dB, Y4 区域 200 号发射点对应

的场强信号最低, 约 28~34 dB, 这是因为 Y5 区域对应空气段, 而在 200 发射点发射的无线电波穿过了教学楼区域最厚的墙体。对比 4 组数据可看出, 最大值所对应的场强曲线在 4 个发射点场强图中都是最高的, 最小值反之, 而平均数和中位数场强曲线从数据和形状上看都极其相似; 相比其他 3 个区域, Y5 区域 230 号 1 发射点 4 个数据场强曲线几乎重合, 这说明电磁波透视传播方向无障碍物, 其最大值、最小值、平均数和中位数无明显差异。对比分析每组数据, 最大值场强值最高, 透视效果最好; 中位数和平均数的探测效果次之, 此二者数据极其相似, 这是由于每个接收点接收到的场强数据方差较小造成的, 如果数据方差较大也可能会导致中位数和平均数两组场强曲线有明显差异, 如 Y2 段 120 号发射点, 中位数曲线波动相对不稳定; 电磁波透视最小值场强数据最小, 容易受外界干扰而产生波动。

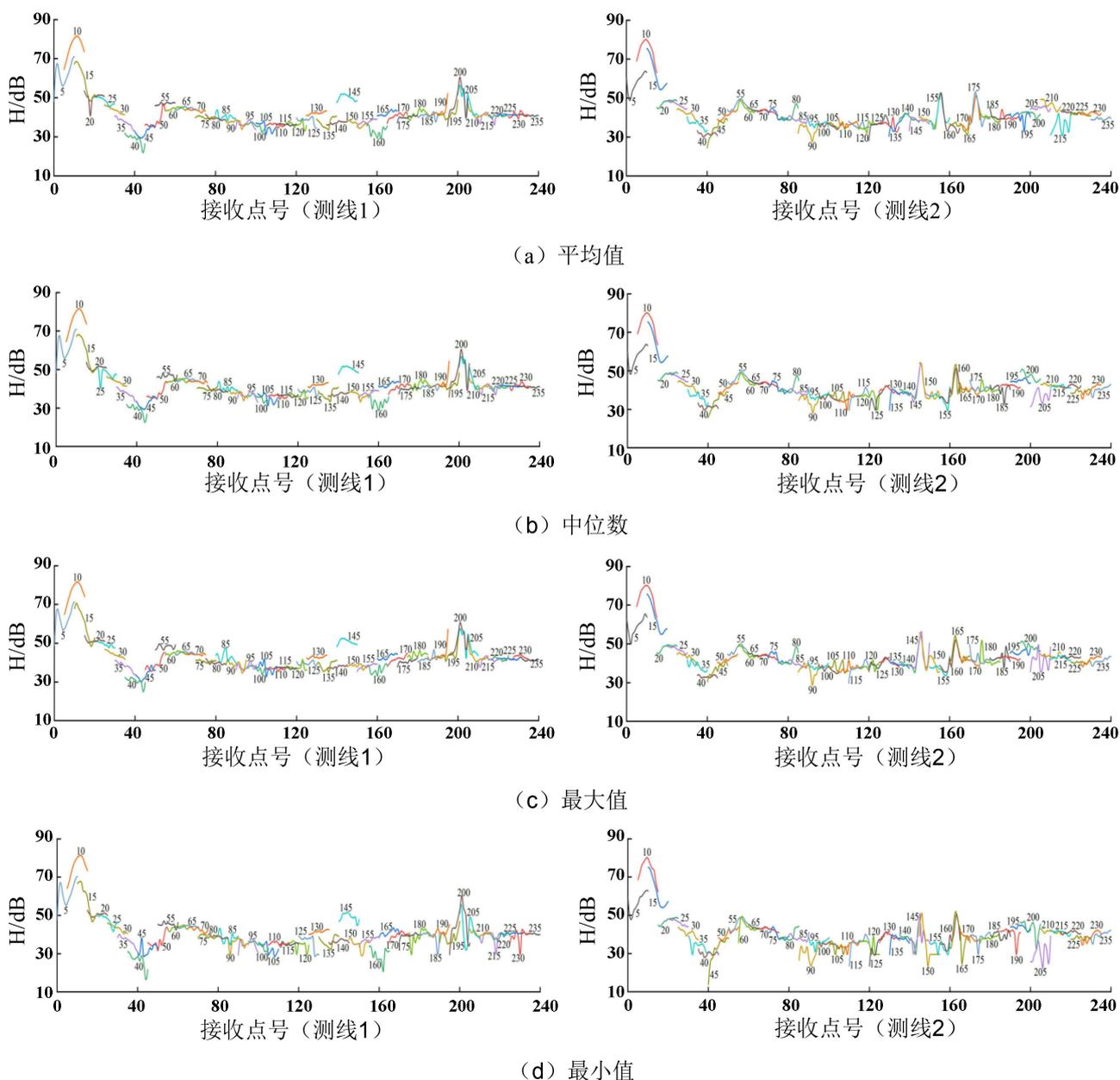


Figure 4. Field strength curve
图 4. 场强曲线图

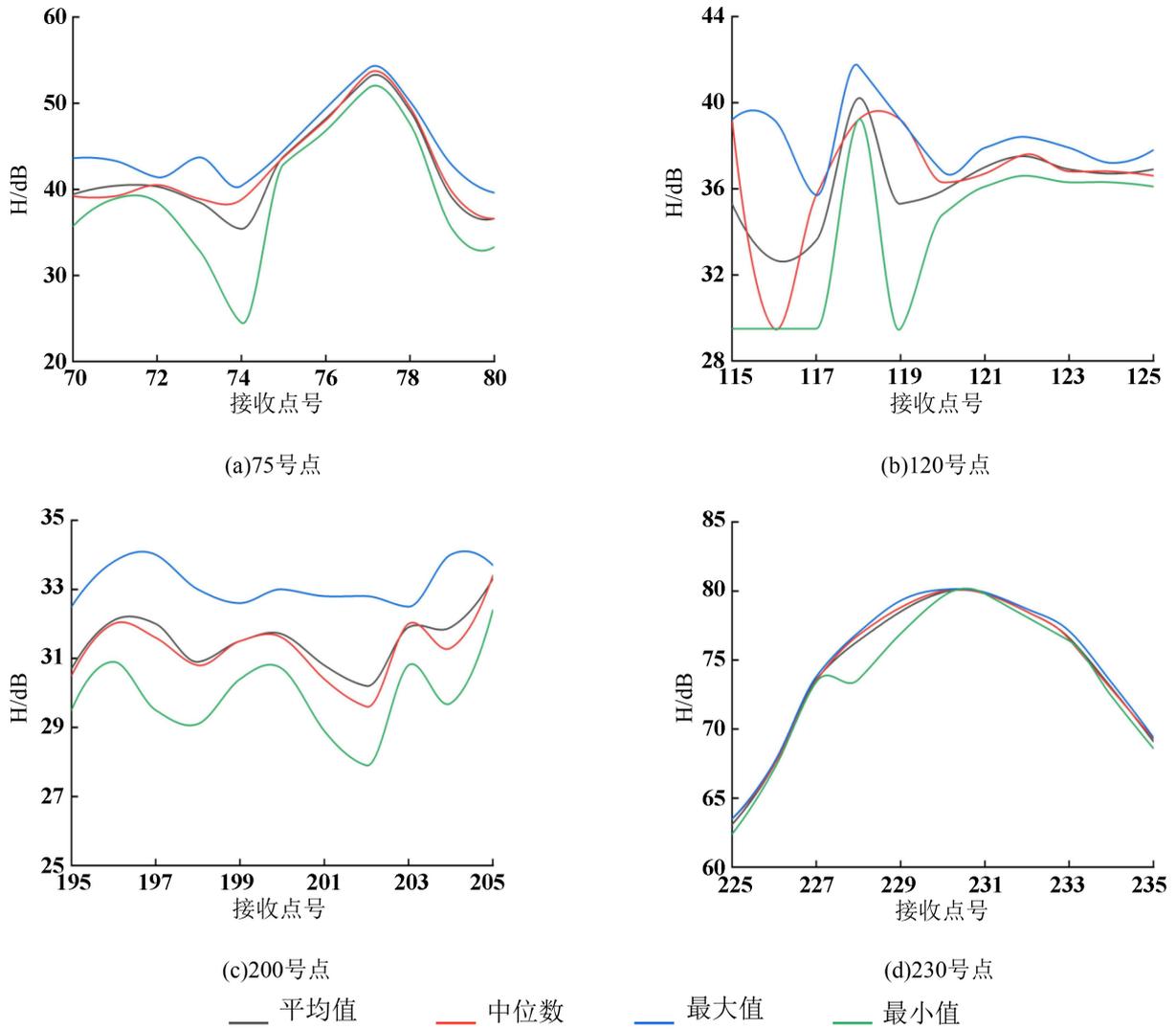
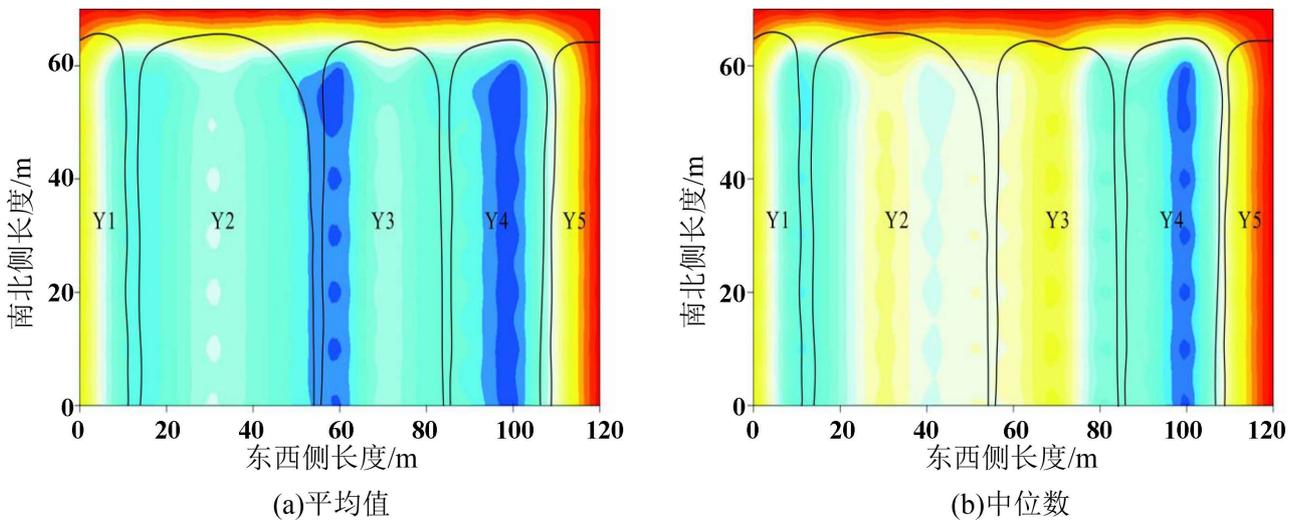


Figure 5. Comparison diagram of a one-point field intensity curve
 图 5. 单点场强曲线对比图



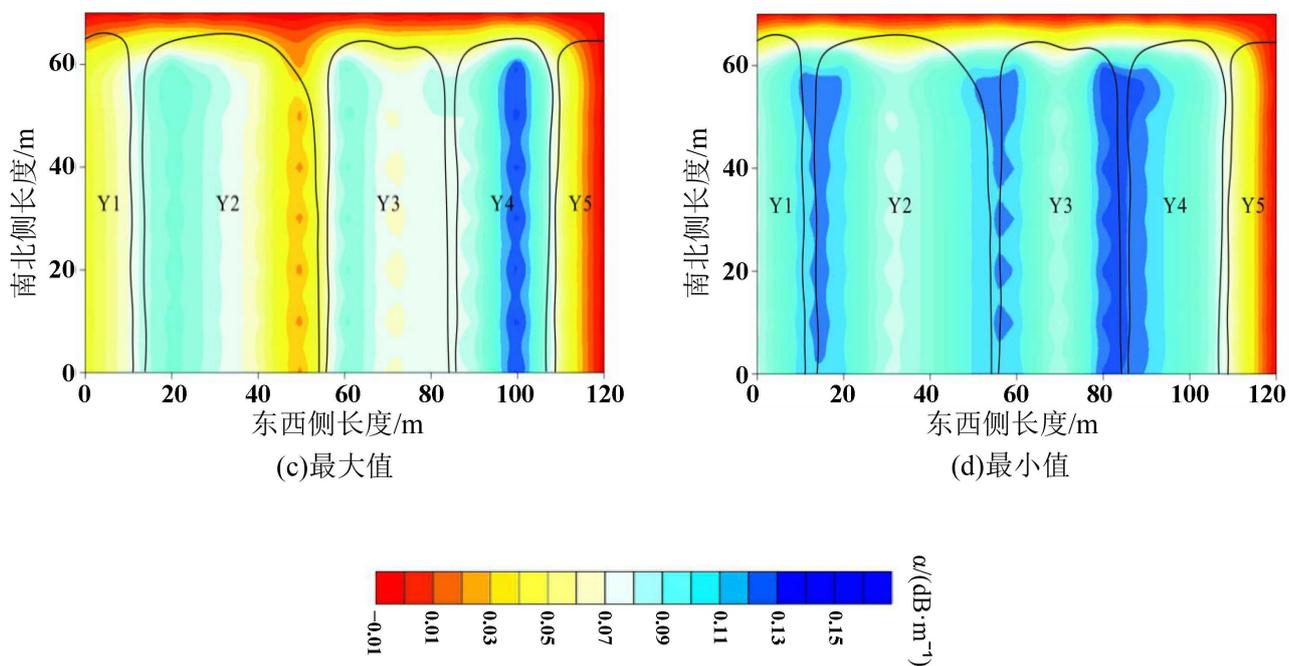


Figure 6. Absorption coefficient diagram

图 6. 吸收系数反演图

从吸收系数反演图 6 中可以看出，位于空气段的 Y1 和 Y5 区吸收系数最低，约在 $0.05 \text{ dB}\cdot\text{m}^{-1}$ 以下；对比教学楼处的吸收系数，Y2 处较低，Y3 处较高，Y4 为高吸收系数段，结果和教学楼墙体厚度相匹配。总体来看，平均值和最大值的吸收系数图均能较好反馈实际探测结果；中位数吸收系数图中，Y2 区域吸收系数值反而高于 Y3 区域吸收系数，这是可能由于场强数据样本较少且分布不均匀而造成的；最小值吸收系数图未能明显区分 Y1~Y4 区域。综上所述，平均值和最大值所呈现出的效果最好，最小值所呈现出的效果最差，中位数在样本分布均匀或者样本数足够的情况下，才能获取良好的数据。

5. 工程案例

5.1. 工作面地质况及施工布置

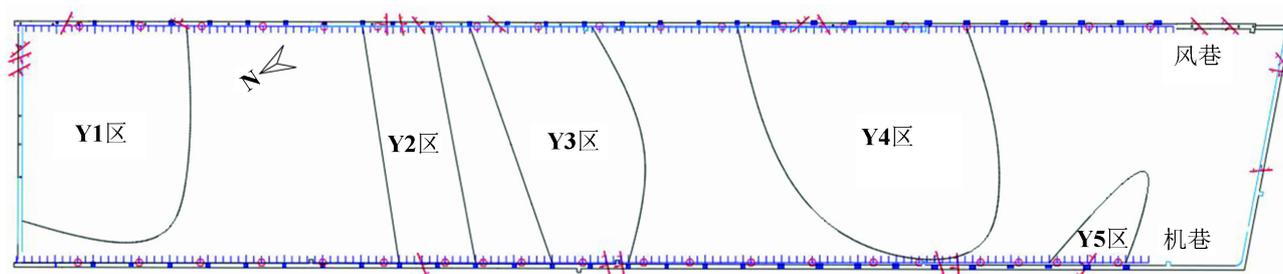


Figure 7. Actual situation of the working face

图 7. 工作面实况图

本实例以刘庄矿某工作面为例。工作面机巷可采长度为 1405.9 m，风巷可采长度为 1438.8 m，工作面宽度约 310 m；工作面内有 15 条断层，落差在 0.5 m~6 m，根据断层位置大致划分 5 个区域。在

工作面布置 2 条巷道，并将东南工作面定为风巷，西北工作面定为机巷。矿区工作面实况图如图 7 所示。

本次探测选用 YDT-3 透视仪为实验仪器，工作频率为 158 KHz。本次实验在风巷布置 20 个发射点，机巷布置 19 个发射点，每个发射点对应 17 个接收点，每个接收点采集 3 s 数据。本次坑透发射点间距为 50~80 m，接收点间距 10 m，矿区实验测线如图 8 所示。

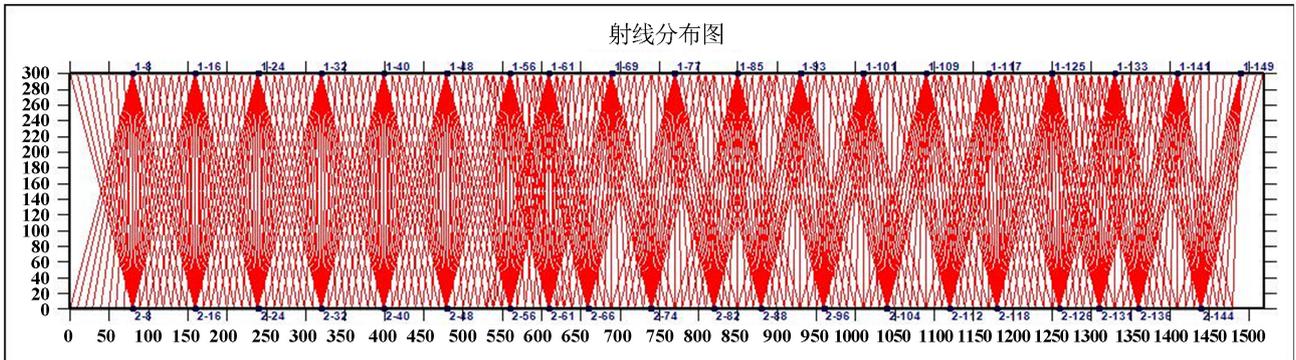
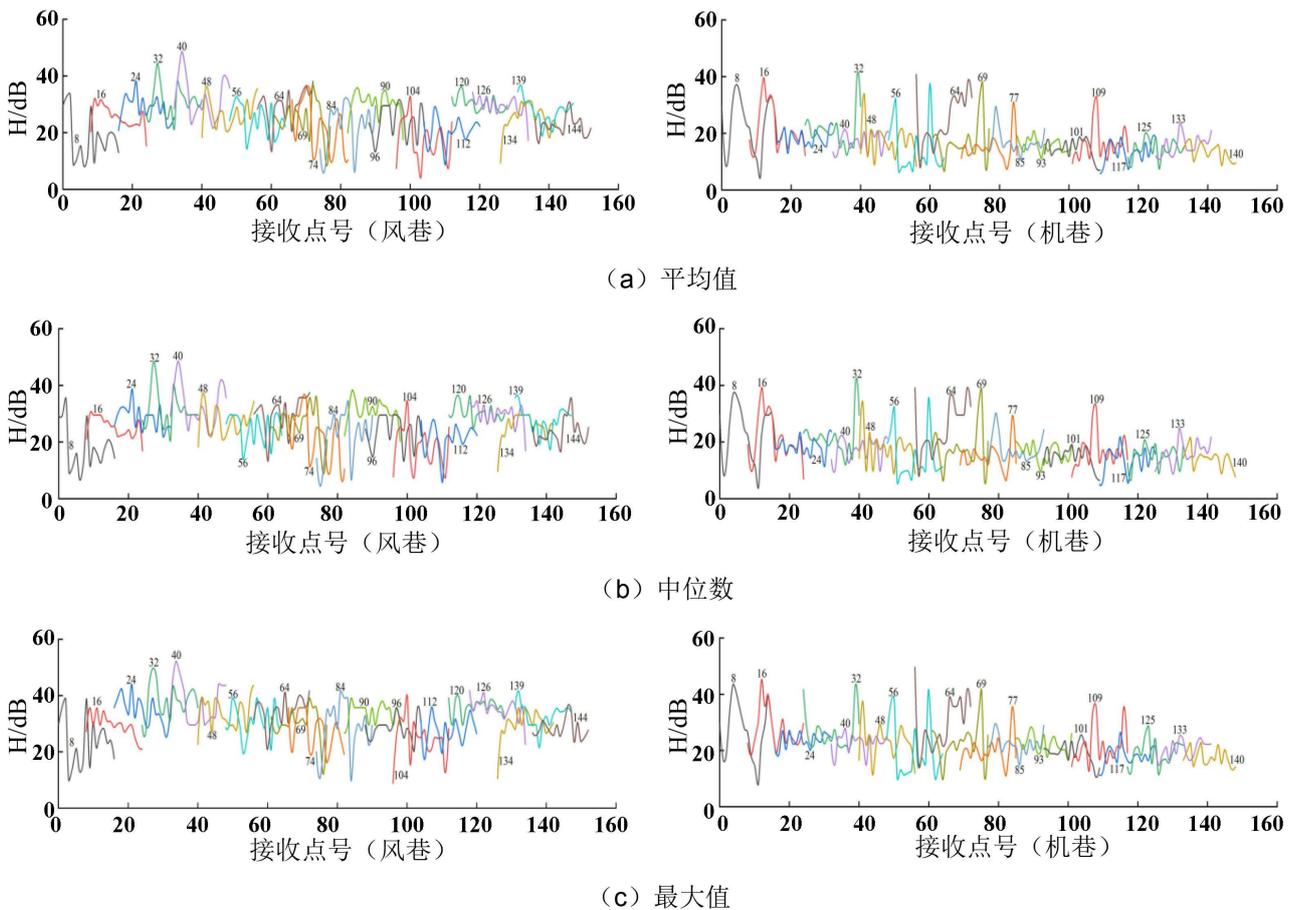


Figure 8. Experimental observation system

图 8. 实验观测系统

5.2. 探测结果分析对比



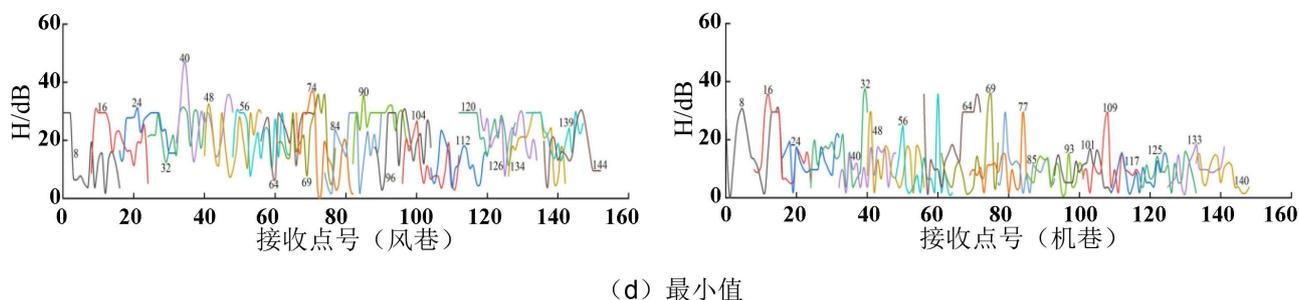


Figure 9. Field strength curve
图 9. 场强曲线图

采用 ETC2.0 电磁波处理系统对 4 种数据进行处理, 透视实测场强值变化如图 9 所示, 吸收系数成像图如图 9 所示。从总体上看, 场强范围在 5~50 dB 之间。Y1、Y2、Y3、Y4 以及 Y5 区域对应的场强信号较低, 约 5~38 dB, 除此之外的区域对应的场强信号较高, 约 25~50 dB。因为 Y1、Y2、Y3、Y4 以及 Y5 区域发射的无线电波穿过了数条断层, 其他区域为无断层的煤层区域。对比分析每组数据, 最大值相对于其他三个值, 场强值最高, 透视效果最好; 平均值和中位数次之, 此二者场强曲线相似; 最小值透视探测场强值范围最低。

从吸收系数反演图 10 中可以看出, 划分的断层影响区域基本处于中高吸收系数段, 约在 0.08~0.14 $\text{dB}\cdot\text{m}^{-1}$ 。其中, 平均数和最大值的吸收系数图能很好地反馈实际探测效果; 由于此次探测样本数充足且数据分布均匀, 中位数也能反映较好的探查结果; 最小值的吸收系数普遍较低, 未能识别 Y2 区域的断层, 对其他区域的分辨能力也较差。综上所述, 平均值和最大值所呈现出得效果最好, 最小值所呈现出得效果最差, 中位数在样本分布均匀和样本数足够的条件下获取了良好的数据。

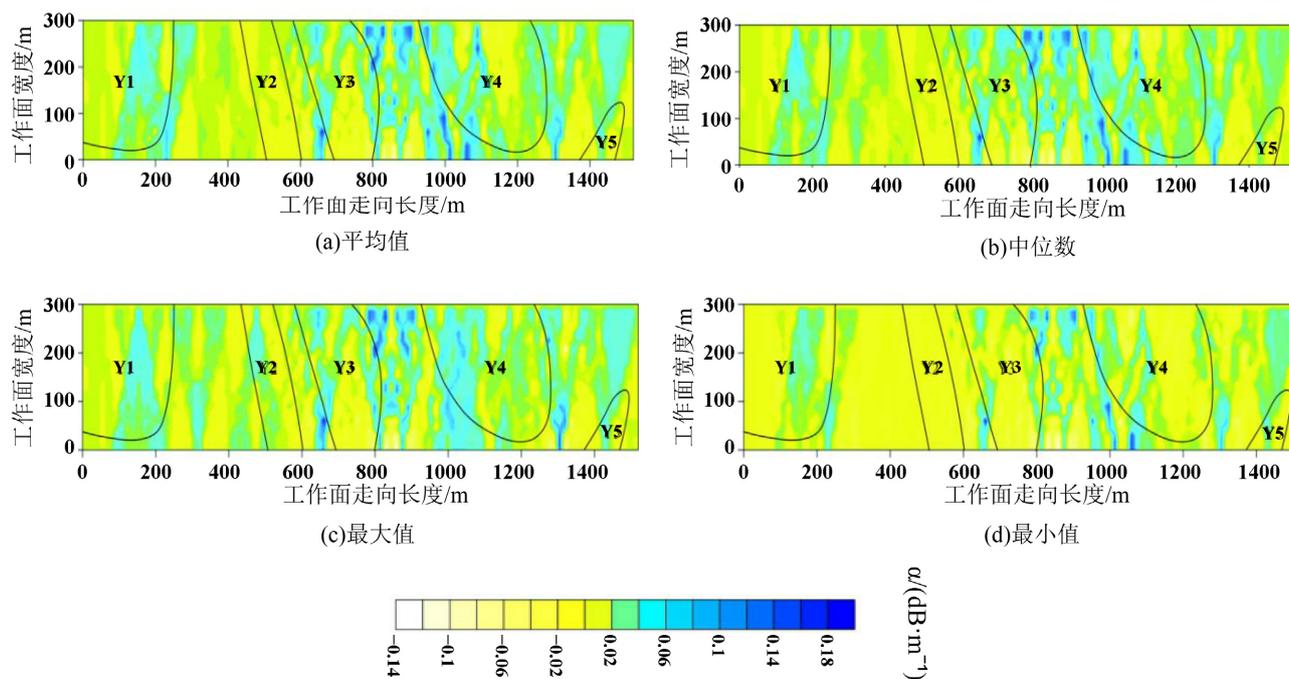


Figure 10. Absorption coefficient diagram
图 10. 吸收系数反演图

6. 结论

YDT-3 型矿用无线电波透视仪器采集的数据数量较大, 为增大其数据利用率, 提高探测结果的分辨率, 需将采集到的数据进一步处理和归类, 本文选择平均值、中位数、最大值和最小值进行数据对比, 以此分析每种数据的探查效果。

a) 最大值对应的透视场强值最高, 对异常的反应较为明显; 最小值的透视场强值最低, 对异常的分辨率最差, 易受到背景信号的干扰; 选用最大值处理实验数据效果更好。

b) 中位数和平均值对应的场强数据通常相似, 但数据样本分布不均, 方差较大时, 其数据差异较为明显, 选择平均值处理实验数据效果更好。

基金项目

煤炭安全精准开采国家地方联合工程研究中心(安徽理工大学)开放基金资助(EC2022010)。

参考文献

- [1] 袁亮, 张平松. 煤炭精准开采地质保障技术的发展现状及展望[J]. 煤炭学报, 2019, 44(8): 2277-2284.
- [2] 汤友谊, 陈江峰, 彭立世. 无线电波坑道透视构造煤的研究[J]. 煤炭学报, 2002, 27(3): 254-258.
- [3] 谭琦, 崔焕玉, 李小召. 无线电波坑道透视技术探察煤矿隐伏地质构造[J]. 煤炭与化工, 2018, 41(1): 83-86, 91.
- [4] 顾焕琪, 吴荣新, 沈国庆, 等. 回采工作面断层构造无线电波反射测量方法研究[J]. 煤田地质与勘探, 2022, 50(2): 125-131.
- [5] 马玉龙, 李鹏飞, 赵兴辉, 等. 综合物探技术在工作面地质预报中的应用[J]. 煤矿安全, 2022, 53(3): 104-111.
- [6] 方良成, 吴荣新, 张爱华. 煤层工作面内陷落柱综合物探探查[J]. 中国煤炭地质, 2013(11): 51-54.
- [7] 曹剑锋. 无线电波透视法在煤矿地质探测中的应用[J]. 自动化应用, 2023, 64(15): 138-140.
- [8] 吴荣新, 庞瑶, 胡泽安. 采煤工作面无线电波探测技术研究进展[J]. 地球物理学进展, 2022, 37(5): 2196-2204.
- [9] 吴荣新, 李响, 肖玉林. 综采工作面煤厚变化电磁波透视探测响应[J]. 煤田地质与勘探, 2023, 51(2): 283-291.
- [10] 王汉卿, 吴荣新. 张集矿煤层变薄带多频率坑透场强曲线图变化分析[J]. 绿色科技, 2020(14): 241-243.
- [11] 吴荣新, 沈国庆, 王汉卿, 等. 综采工作面薄煤区无线电波多频率透视精细探测[J]. 煤田地质与勘探, 2020, 48(4): 34-40.
- [12] 肖玉林, 吴荣新, 严家平, 等. 回采工作面多频率无线电波透视探测研究[J]. 煤田地质与勘探, 2016, 44(5): 146-148, 154.
- [13] 苏园鹏, 吴荣新, 张平松, 等. 158 kHz 工作频率在煤层工作面坑透探测中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2012, 24(10): 48-51.
- [14] 吴荣新, 左汪会, 肖玉林. 建筑物对地面坑透实验电磁波信号的影响[J]. 中国煤炭地质, 2017, 29(1): 69-72.