

多激励源地空瞬变电磁法在煤矿隐蔽灾害探测中的应用

孙海川, 王文忠, 刘磊, 王亚峰, 张鹏宁, 邵程龙, 施望科, 徐劼, 魏代杰

(甘肃煤炭地质勘查院, 甘肃 兰州 730000)

摘要:甘肃省白银市H矿区北西南三面小煤窑破坏严重, 遗留下大量的采空区, 其内积水严重, 会引起H矿区涌水量增加。为查清采空区积水分布范围, 采用多激励源地空瞬变电磁法对矿区周边重点区域进行勘查。该区的视电阻率曲线类型为H型, 低电阻率为采空区积水特征, 并结合勘查区地质特征圈定采空区积水范围, 研究结果为矿区隐蔽灾害治理提供了依据。

关键词:多激励源瞬变电磁法; 采空区积水; 视电阻率

中图分类号: TD79

文献标识码: A

文章编号: 1004-7344(2023)46-0091-03

0 引言

煤矿隐蔽致灾因素主要包括采空区积水、底板承压水、陷落柱、煤与瓦斯突出、煤层自燃、封闭不良钻孔等^[1], 其中采空区积水是较为常见, 对煤矿安全生产影响较大的因素。因此, 超前、精细查明影响煤矿安全生产的隐蔽致灾因素尤为重要, 物探是实现该目标的重要手段之一^[2]。瞬变电磁法作为一种重要的物探方法, 以分辨力高、体积效应小等优点广泛用于资源勘查、矿山采空区、小窑积水勘探中^[3]。本次以甘肃省白银市H矿区为例, 参考邻区常规瞬变电磁探测效果并结合勘查区实际, 采用多激励源地空瞬变电磁法开展勘查工作, 探测结果成功圈定了采空区积水的分布范围, 为矿井安全生产提供了保障。

1 多激励源地空瞬变电磁法工作原理

多激励源地空瞬变电磁方法, 即在地面采用多个不同位置的电性源同时发射, 在空中采用无人机挂载线圈接收磁场对时间的导数或采用磁探头接收不同方向的磁场实现高密度数据采集。发射端调整源的位置、发射电流来削弱噪声以增强信号强度, 并减少体积效应的影响, 进而提高探测深度及分辨率, 达到实现精细地质勘探的目的。该方法相较于传统瞬变电磁法, 能显著提高野外工作效率及探测分辨率^[4]。

2 勘查区概况

2.1 地质特征

(1) 地形地貌。H矿区位于靖远矿区红会一矿井田南部, 地处平川区共和镇境内, 大部分为第四系冲洪

积层覆盖的滩地, 地势开阔, 相对平坦, 从东北至西南缓缓降低, 平均海拔 1800m。

(2) 地层。区内地层自下而上包括: 上三叠统延长群(T_{3yn}), 中侏罗统窑街组(J_{2y})、新河组(J_{2x}), 第四系(Q)。

(3) 构造。马家宽沟向斜轴从矿区东部由北至南穿过, 矿区大部分处于向斜西翼。

(4) 含煤地层及煤层。含煤地层为窑街组, 岩性为中、粗粒砂岩、砂砾岩及粉砂岩夹煤层, 属河湖沼泽相沉积, 与下伏地层呈假整合接触。1煤层为井田内主要可采煤层, 埋深 260~370m, 平均 300m; 煤层底板标高 1430~1520m。煤层倾角较缓为 2°~17°, 平均倾角 6°。煤层真厚为 6~26m, 平均 10.4m。

2.2 地球物理特征

矿区地层相对稳定, 瞬变电磁曲线基本为H型^[5], 结合区内地质资料, 得出了本区地层电性特征, 如表 1 所示。

表 1 地层电性特征

地层	岩性	电阻率/($\Omega \cdot m$)
第四系	黄土、砂砾石	30~50
中侏罗统新河组	砂岩、粉砂岩、砂质泥岩及泥岩	25~40
中侏罗统窑街组	砂砾岩、砂岩、粉砂岩及煤层	80~180
	采空区积水	30~80

3 数据采集及资料处理

3.1 数据采集

物探测线在矿区北西南三面重点区域布设, 共布置 18 条, 线距 20m, 点距 10m。采用地空瞬变电磁工作装置, 发射源为接地长导线源, 电极使用铝板与钢钎并

联。工作电流 20A,发射波形为 25Hz 的方波。接收系统为无人机搭载接收机和线圈进行采集,连续自接收 GPS 同步模式 (CSR-GPS)。接收线圈有效接收面积 3000m²,飞行高程均为 90m,飞行速度 8m/s。完成测线长度 6.32km,物理点 350 个。

3.2 资料处理

采集完成后,需将各测点各个时窗(测道)的瞬变感应电压,换算成视电阻率、视深度等参数,从而进行下一步解释。本次处理主要分 4 步:①全波形数据基线校正。在无人机飞行的过程中,有可能受到风等影响,造成线框在空中晃动,使得全波形衰减电压的衰减程度不一致,因此,需要对全波形原始数据进行基线校正,使得各个点的晚期都趋近于零。②数据预处理。③全域视电阻率定义。④时深转换。

4 资料解释

采空区裂隙带充水或采空区积水时,破坏了层状的电性结构,表现为电阻率低值异常、等值线波动,可作为解释本区采空区积水范围的依据。图 1 为 11 线反演电阻率推断解释剖面,剖面上自浅至深表现为中低阻-低阻-中高阻的电阻率特征,浅部(图 1 中黄色虚线以上)中低电阻率推断为第四系黄土、砂砾岩的电性反映,高程变化在 1720~1800m,视电阻率 30~50Ω·m;中部(图中黄色虚线至红色虚线之间)低电阻率推断为新河组泥岩、砂质泥岩、粉砂岩及砂岩的综合电性反映,高程变化在 1530~1720m,视电阻率 25~40Ω·m;深部(图中红色虚线以下)中高电阻率推断为窑街组粉砂岩、砂岩、煤层及采空区积水的综合电性反映,高程变化在 1400~1530m,视电阻率 40~180Ω·m;图中黑色虚线所示的煤层底板等高线附近电阻率横向变化大,测点 640~840 的电阻率变化在 40~60Ω·m,电阻率较低,测点 840~5-760 电阻率变化在 70~180Ω·m,为高阻特征,推断该高阻特征为煤层及其顶底板围岩的综合电性反映,电阻率低阻异常为采空区积水的反映(图 1 中虚线框所示),积水顶底界标高 1410~1490m。

勘查范围内煤层底板等高线变化在 1430~1470m,煤层埋深由北向南逐渐变深,煤层倾角变化不大。本次通过水平切片追踪煤层及采空区积水的平面分布特征,分别抽取高程 1410m、1430m、1450m、1470m、1490m 水平视电阻率值,绘制视电阻率等值线平面图。不同切片上视电阻率特征大体类似,图 2 为 1450m 高

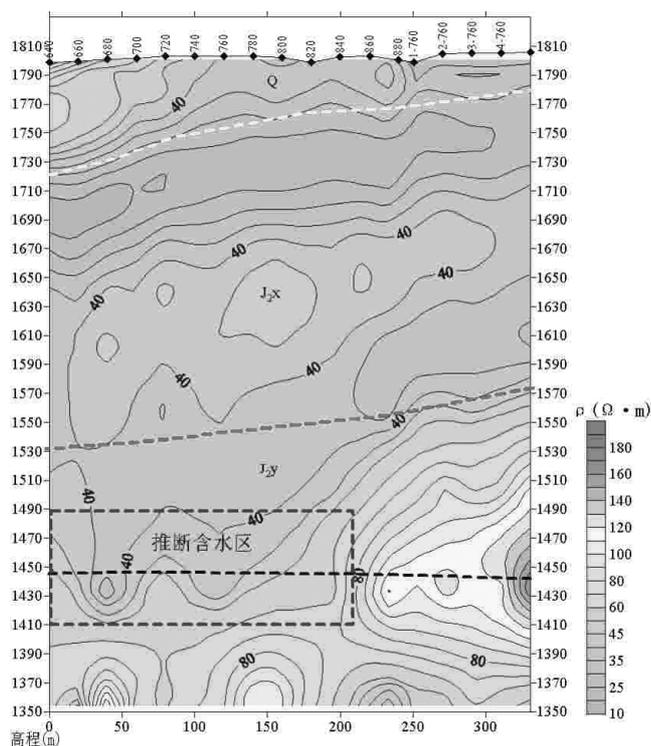


图 1 11 线反演电阻率推断解释剖面

程视电阻率等值线平面,表现为 1~5 线 720~960 测点呈高电阻率特征,500~720 测点间电阻率较低,6~13 线 640~880 测点呈低电阻率特征,仅在 11~13 线测点 860 附近呈局部的高阻特征,14~18 线 700~920 测点呈高电阻率特征,500~700 测点电阻率较低。结合勘查区实际,认为低电阻率特征(30~80Ω·m)为采空区积水或煤层采空后形成的裂隙带积水的电性反映。依据上述视电阻率的差异圈定了积水区的分布(图 2 中虚线框所示)。

5 结论

本次水害普查采用多激励源地空瞬变电磁法,工作方法正确,参数选择合理。采用多个地面发射源系统,增强了采集信号强度,提高了数据信噪比,采用无人机空中接收系统,极大的提高了工作效率,节约了成本。圈定的采空积水区基本可靠,完成了地质任务。主要取得了以下地质成果。

(1)初步了解了勘查范围内地层的电性特征,第四系视电阻率约为 30~50Ω·m,中侏罗统新河组视电阻率约为 25~40Ω·m,中侏罗统窑街组煤层及其顶底板围岩的视电阻率约为 80~180Ω·m,煤层采空区积水后的视电阻率约为 30~80Ω·m。

(2)大致圈定了积水区的分布范围,主要划分积水

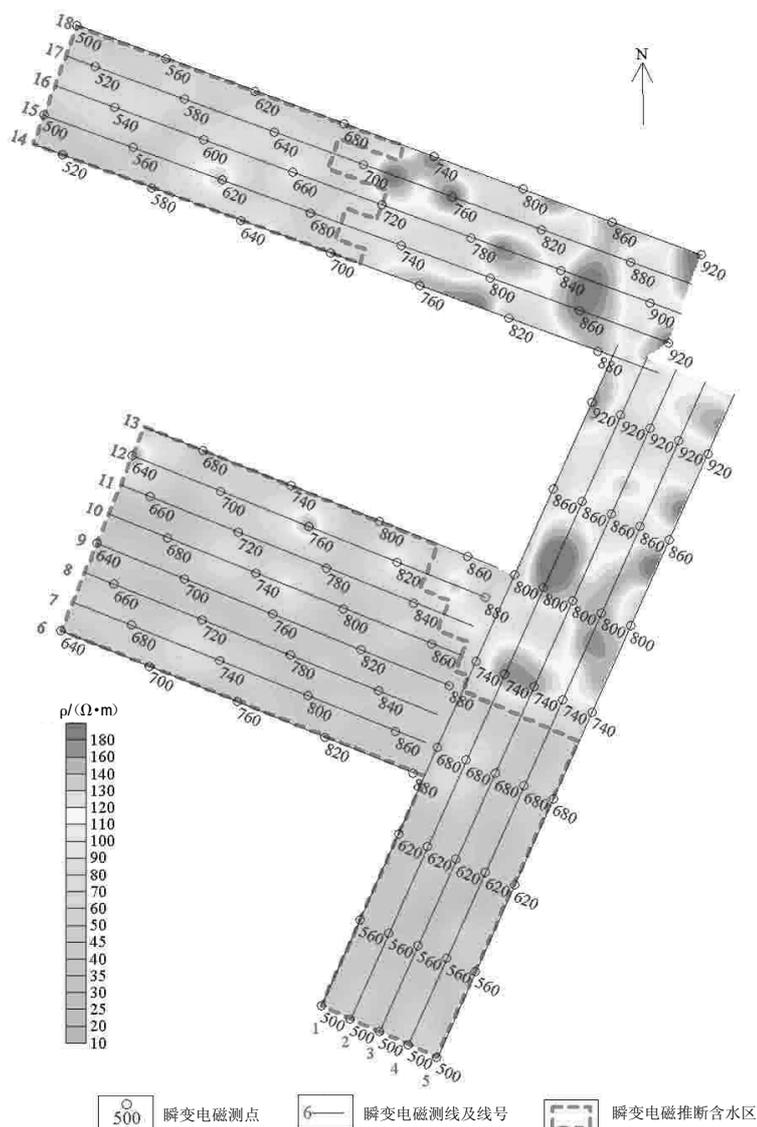


图2 高程1450m视电阻率等值线平面

区2块, 第一块积水区主要分布在1~5线测点500~720, 6~10线测点640~880及11~13线测点640~840, 顶底界标高1410~1490m, 面积约为0.05km²; 第二块积水区主要分布在14~18线500~700测点, 顶底界标高1410~1510m, 面积约为0.016km²。初步分析含水区主要是煤层采空区及其裂隙带充水所致, 另外含水区内地势较低, 也是导致含水的原因之一。

参考文献

- [1] 聂子淇, 周侃, 潘启勇. 煤矿常见隐蔽致灾因素及其探查技术分析[J]. 矿产勘查, 2020, 11(11): 2573-2579.
- [2] 程建远, 聂爱兰, 张鹏. 煤炭物探技术的主要进展及发展趋势[J]. 煤田地质与勘探, 2016, 44(6): 136-141.
- [3] 翟丽娟. 煤矿水害勘查与治理技术新进展及发展趋势[J]. 中国

煤炭地质, 2018, 30(7): 44-47.

- [4] 李琳, 胡伟明, 薛国强. 多辐射源地空瞬变电磁响应三维数值模拟研究[J]. 地球物理学报, 2021, 64(2): 716-723.
- [5] 李金铭. 地电场与电法勘探[M]. 北京: 地质出版社, 2016: 165-166.

基金项目: 甘肃省自然资源厅科技创新项目“多激励源地空瞬变电磁法在矿井地质灾害精细调查中的应用研究”(202238); 2023年甘肃煤田地质局科研项目“多源地空瞬变电磁法在煤矿隐蔽致灾调查精细探测中解释方法的研究”(2023-10)。

作者简介: 孙海川(1985—), 男, 汉族, 宁夏银川人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事地质勘查及研究工作。