

物探技术在朱仙庄煤矿采空区探测中的应用

徐胜,唐科远

(华东冶金地质勘查局物探队,安徽 芜湖 241009)

摘要: 本次工作基于朱仙庄煤矿区地质资料及采矿资料收集,在分析研究现有资料的基础上,采用大功率激电测深、瞬变电磁法、背景噪声成像法等物探方法对朱仙庄煤矿采空区进行勘察。野外勘察工作取得了大量的物探勘测数据。通过系统地进行地物探勘测数据处理、异常解释、综合研判,不同勘测方法成果互为佐证,查明了朱仙庄煤矿采空区范围。物探工作探测煤矿采空区效果显著。

关键词: 朱仙庄煤矿;采空区;综合物探技术;数据处理;异常解释;安徽省

中图分类号: TD166 **文献标识码:** A

0 引言

矿业活动形成的采空区经常造成地裂缝、崩塌、沉陷等地质灾害频繁发生,严重危及矿山及其周边人民群众生命和财产安全。近年来,为防灾、减灾,各级政府及矿山加大投入,注重评估、治理矿山采空塌陷隐患,亟需地质勘查部门提供有效的方法技术,对矿山采空区进行探测,以了解地下采空区位置、形态、大小及其稳定性,为消除其地质灾害隐患、选用适宜而科学的治理方法提供依据。

皖北朱仙庄煤矿采空区引起了大面积的地面沉陷,给矿区及其周边构成了严重的地质灾害隐患,可能引发严重的安全及生态破坏和民生发展问题,为此当地政府拟对其进行综合治理,为做到科学工作,彻底消除安全隐患,开展了综合地质勘察。本文即是作者对皖北朱仙庄煤矿采空区勘察中物探工作的认识与思考。

1 矿区概况

皖北朱仙庄煤矿位于安徽省宿州市东郊,属国

有大型矿山,已有近40年的开采历史。

矿区处于宿东向斜北段,该向斜为一轴向N25°—50°W的不对称向斜,轴部为二叠纪煤系地层,两翼为石炭系、奥陶系灰岩,东翼倾角45°~90°,西翼倾角15°~25°。矿区均被第四系全覆盖,第四系松散层总厚246~260 m。赋煤地层主要是古生界下二叠统下石盒子组(P_{1xs}),其岩性为砂岩、粉砂岩、泥岩和煤层组成,厚度约256 m,含煤6—12层。含煤地层工程地质条件较差,水文地质复杂。

朱仙庄煤矿区内地势平坦,村庄、厂矿密集。目前在煤矿采区矿井南、北两侧形成大面积采空塌陷积水区,且塌陷面积逐渐扩大;近年来又发现多处地裂缝,最长达230 m,最宽1.18 m,最深1.58 m,垂直落差最大达0.75 m,反映采空区塌陷影响范围仍在继续扩大。

2 矿区地球物理特征

朱仙庄煤矿区耕植土电阻率16~20 Ω·m,视极化率小于1%;亚黏土电阻率16~30 Ω·m,极化率1%~2%;细砂及粉细砂视电阻率<15 Ω·m,视极化率为2%~3.4%。总体上,细砂、粉砂→耕植土→

收稿日期: 2020-05-09; 改回日期: 2020-07-13; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 安徽省宿州市招标项目“朱仙庄采煤沉陷区综合治理地质勘察”(编号:SZJSGC2018123)资助。

作者简介: 徐胜(1984—),男,工程师,大学本科,2006年7月毕业于东华理工大学勘查技术与工程专业,长期从事工程物探工作。通信地址:安徽省芜湖市镜湖区银湖路星隆国际B座11楼,华东冶金地质勘查局物探队;邮政编码:241009;E-mail:66369963@qq.com

亚黏土,视电阻率由低到高,视极化率则由高到低。

朱仙庄煤矿区基岩地层石炭二叠系泥岩电阻率小于砂岩和灰岩电阻率,泥岩的极化率要高于砂岩的极化率;奥陶系和寒武系灰岩电阻率较高,极化率较小。盖层的横波波速为 200~450 m/s,石炭系、二叠系煤系地层的横波波速 450~550 m/s,石炭系太原组和奥陶系灰岩的横波波速 425~525 m/s(表 1)。此外,朱仙庄煤矿开采造成基岩和覆盖层碎裂、松散,横波波速要比正常较低。

综上,朱仙庄煤矿区不同的地层岩石存在明显的物性差异,这是采用物探技术方法探测采空区的地球物理前提^[1];由此通过物探工作探测剖面与已有地质剖面对比,可以推测出采空区及地灾隐患的区域。

3 物探技术方法与数据处理

3.1 物探工作技术方法

(1)大功率激电测深

使用 WDFZ-10 型大功率激电仪,最大发射功率 10 kW,最大发射电压 ± 1200 V,最大发射电流 ± 10 A,供电周期 4 s—256 s。采用短导线双向短脉宽进行供电,供电时间 32 s,采样宽度 40 ms,延迟 200 ms;使用等比装置进行观测,选择供电时间 32 s,采样宽度 40 ms,延迟 200 ms;AB/2 最小 3 m,最大 1200 m。

观测中,随时监视仪器信号,分析视电阻率、极化率质量,不符合规范则进行重测。

本次大功率激电测深施测剖面 3 条,点距 100 m,测深点 100 个。

(2)瞬变电磁法

使用 Tsik17 瞬变电磁仪,数据采集由 PDA 控制,蓝牙通讯,可由 PDA 实现数据回放。测量瞬态 EMF 动态范围 140 dB;短路输入端测量通道的自

噪声最大值:500 kHz 频段 20 μ V,1 kHz 频段 0.3 μ V;最大可测量电压值 4 V;测量的瞬态 EM 过程范围 0.4 μ s~50 s;外部电源电压 9~16 V;可通过 GPS 与发射器同步。

选择边长为 300 m $\times$ 200 m 的单匝发射线圈,接收线圈边长 1 m $\times$ 1 m,匝数为 10000 匝。发射电流 10 A,采用电池供电(电压 60 V),采样时窗 20 ms,测点间距均为 25 m。

本次瞬变电磁测量布设剖面 4 条,总长 13.8 km,完成测点 585 个。

(3)背景噪声成像法

使用中科院地质与地球物理研究所生产的 QS-05A 便携式微功耗宽频带地震仪,该仪器内置配有三分量地震传感器、GPS 模组、电子罗盘、姿态传感器、蓝牙模块,无需外部电源即可连续工作 60 天以上,可连续采集,数据自动本地存储;具有 GPS 授时、地理位置定位等特点。极适合长时间、野外宽频带地震观测、天然微动面波探查。

采用两两台站间的背景噪音数据进行互相关,对台站的位置无具体要求,视场地进行任意布置,但台站间距应大于探测最大波长的 1.5 倍,即 $L > 1.5 \lambda$ 。采用长周期采集信号,然后将数据分段(通常为 1 小时一段)进行叠加,以便滤波以提高信噪比。采用 S 变换,在时间频率域进行相速度加权叠加,以提高互相关函数的信噪比,从而达到提取稳定的面波信号。再采用三维面波层析成像方法,对不同频率面波射线追踪和小波变换与稀疏约束的层析成像,直接利用提取频散曲线数据反演地下三维剪切波速结构。该方法使用 fast matching 的方法来计算不同周期面波走时和射线路径,避免了传统假定同心圆的层析成像方法。反演中使用了基于小波变换和稀疏约束的反演方法,直接反演三维剪切波速度结构,从而有助于提高模型的分辨率。

表 1 朱仙庄煤矿区基岩物性参数

Table 1 parameters of the bedrock physical property of Zhuxianzhuang coal mine

地层	岩性	样数/个	密度/ $10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	电阻率/ $\Omega \cdot \text{m}$	极化率/%
二叠系	泥岩	16	2.77	158.86	20.28
	砂岩	38	2.77	960.23	9.22
石炭系	泥岩	14	2.68	49.66	37.30
	砂岩	18	2.76	7988.05	4.06
	灰岩	38	2.74	2636.63	2.35
奥陶系	灰岩	30	2.72	16528.77	0.87
	泥质灰岩	7	2.75	5009.52	2.27
寒武系	灰岩	40	2.74	14281.21	0.79
	白云岩	32	2.82	1320.87	2.04

3.2 物探数据处理

(1) 激电测深资料处理

采用厂商配套软件,先输入各观测点的电流值,并据电极距计算装置 K 值。再利用 Wse6 进行反演,得到每个测点不同深度上的电阻率数据,并绘制测深曲线图及 1D 反演曲线图,然后利用 sufer 软件将数据网格化并成图。进而编制电阻率、极化率测深断面图,可较直观地反映不同深度电阻率、极化率变化情况。

(2) 瞬变电磁资料处理

首先采用多点圆滑及距离加权滤波的方法对受干扰数据进行处理,处理后的数据结合地质资料,建立正演模型并对每个测点数据经过计算机自动反演,使反演模型响应与观测资料达到最佳拟合。对

反演成果按照从已知到未知,从点到线,从线到面,从简单到复杂,由外而内,由表及里的原则进行分析推断^[2]。推断解释时注重电性解释与综合地质分析相结合,尤其是注重利用矿区勘查及矿山生产资料,研究区内的地层、矿层厚度及分布特征,对探测数据进行对比分析,多次反复、细化解译,从而提高了解释成果的可靠性。

(3) 背景噪声成像资料处理

首先对地震台阵连续波形数据采用滑动平均进行处理,以压制干扰,并以每小时一段分割数据;再将处理后的波形在所需频段内作频谱白化处理,计算两个台站间的互相关函数;然后将长时间的互相关函数叠加得到面波格林函数,为提高面波格林函数信噪比,将互相关波形的正负半轴进行对称叠加

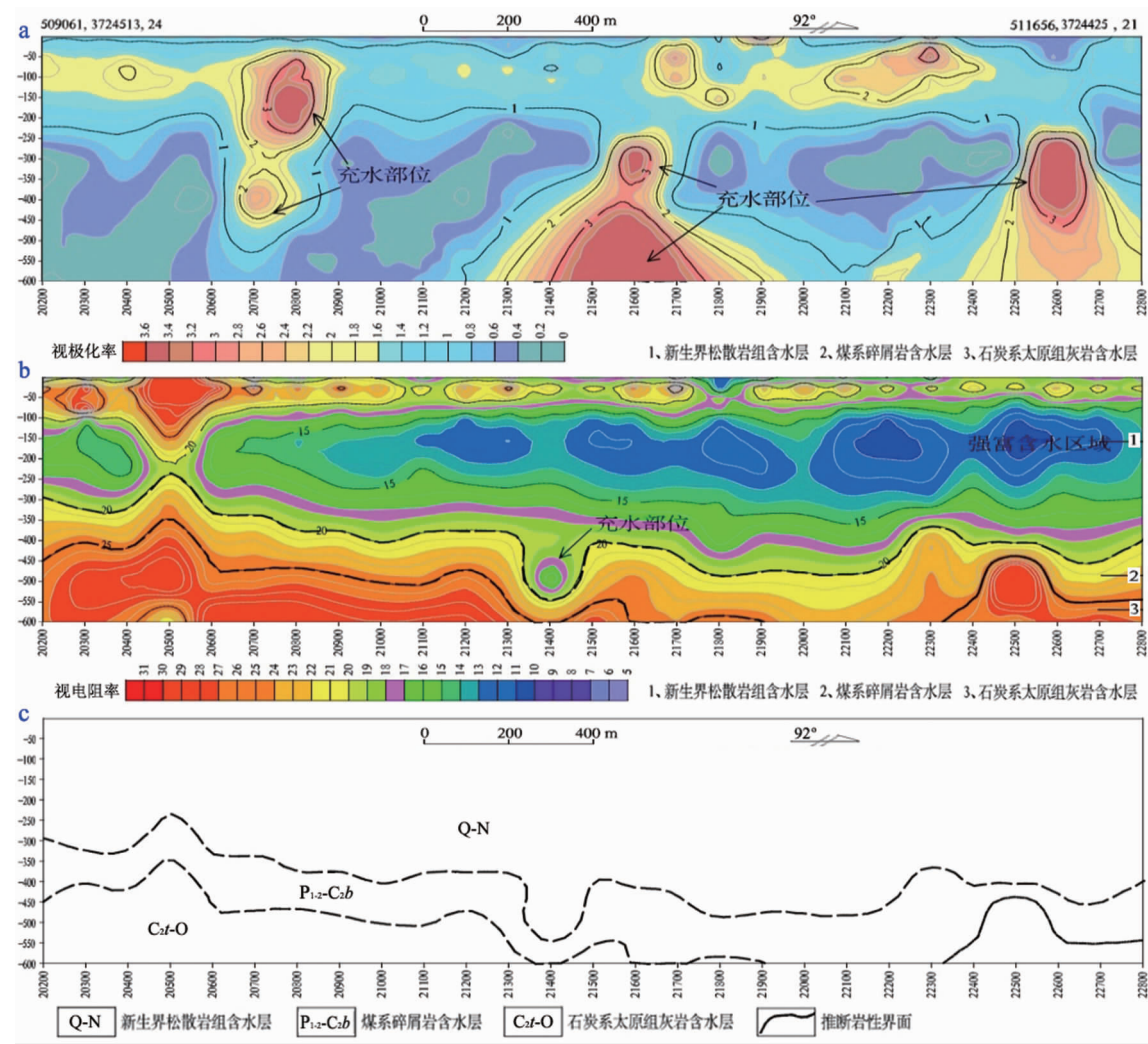


图 1 朱仙庄采煤沉陷区综合治理大功率激电法勘探 2 线综合剖面
Fig. 1 The comprehensive profile of high-power IP survey along line 2 in mining subsidence area of Zhuxianzhuang coal mine
a. 激发极化测深图; b. 电阻率测深图; c. 地质推断岩性界面图

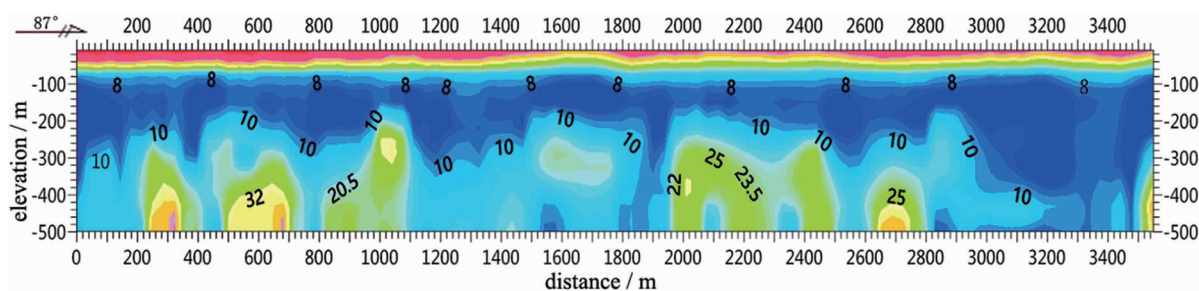


图 2 瞬变电磁测量 WT03 线电阻率等值线图

Fig. 2 Resistivity contour of transient electromagnetic measurement of line WT03

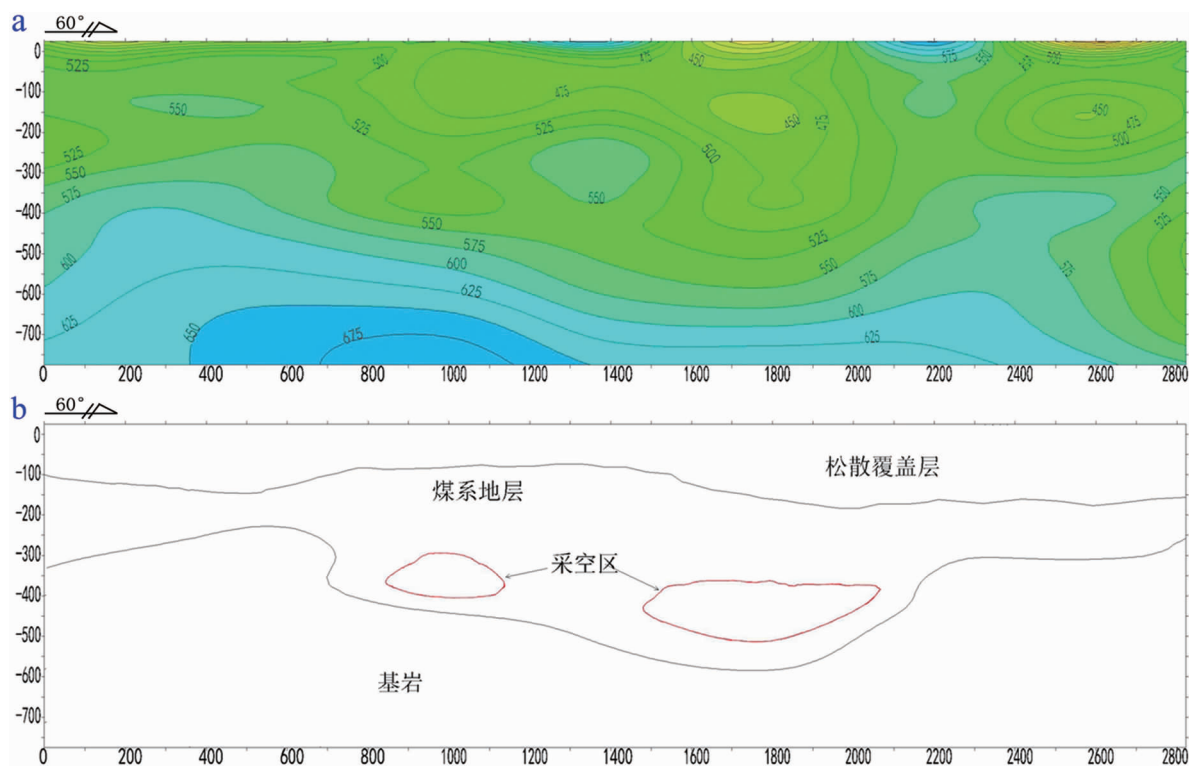


图 3 背景噪声成像速度与地质剖面图

Fig. 3 Background noise imaging velocity and the geological section

a. 朱仙庄采煤沉陷区补 2 剖横波波速剖面图;

b. 朱仙庄采煤沉陷区补 2 剖地质推断剖面图

处理;最后得到台阵间的瑞利面波的噪声互相关波形,并采用多重滤波方法提取瑞利面波群速度频散曲线^[3]。

将反演区域按网格划分,反演获得各周期相速度的二维分布,进而获得每个网格节点的纯路径频散曲线;再反演每个网格的纯路径频散,得到每个网格地下 S 波速度的垂向分布;最后在不同周期面波层析成像结果的基础上,反演得到勘查区不同深度 S 波速度结构分布,并给出不同位置的垂直剖面的速度分布图^[4]。

4 物探异常特征与解释结果

4.1 激电异常与解释

激电异常各剖面反演断面图总体反映:50 m—100 m 以浅呈现中高阻低极化,对应有粉砂、泥质组成的欠含水松散层;向下,至 250 m—300 m 为低阻、相对高极化连续电性层,对应含砂、砾成分较多的含水松散层;再下,至深 600 m 左右电阻率约 15~20 $\Omega \cdot \text{m}$ 之间,极化率小于 0.5,应为含煤岩系;最下面的电阻率大于 20 $\Omega \cdot \text{m}$,极化率小于 0.5,为灰岩层。

1线在2100、2800、3300、3400里程处出现中阻高极化异常,在2400、2900、3500里程处出现高阻低极化异常,对比矿山资料分别对应富含水或含水岩石碎块充填的采空区。

2线在0700—0800、1200—1900、2400—2800段出现中阻高极化异常,推断0700—0800段异常为已坍塌采空区部位,且充填水,已趋于稳定;1200—1900段250~600 m深处为采空区充填松散岩土且充水,已出现坍塌现象;在0500处,高阻低极化为不含水岩石碎块充填的采空区引起(见图1)。

3线在1300—1700段的400 m深处左右出现中阻高极化异常,推断系充水采空区;1900—2000段出现高阻低极化异常,属岩石碎块充填的采空区^[5]。

4.2 瞬变电磁异常

本次实施瞬变电磁法探测剖面5条,其中3条位于采空区外围,电阻率分层为明显的三层,表层为耕植土电阻率较高,中间为推测由于新生界含水层导致电阻率较低,下伏高阻为碎屑岩和灰岩。

异常在2、3线的北侧较稳定,WT02测线南侧1550—2300段、WT03测线南侧2950—3550段存在低阻异常(见图2),推测为采空区塌陷致使煤系上层上覆新生界隔水层被破坏所致^[3,5-6]。

4.3 背景噪声成像异常

朱仙庄煤矿区松散覆盖层的厚度在250 m左右,下伏为石炭—二叠纪煤系地层。松散覆盖层为低速异常,基岩为高速异常,采空区为相对低速异常。通过反演获得横波速度三维数据切出若干剖面,通过与矿区相应勘探剖面对比可看出,纵向上速度的变化与岩、土层结构及构造有极大相关性,表层的低速异常主要反映了采空区塌陷在地表形成的沉陷积水塘,中间的低速异常则主要是采空区引起的^[4-5]。

在1号剖面830—1560段、2号剖面60—2250段范围出现的低速异常,推测由于煤炭开采致使上覆地层破碎,导致横波波速较低。

补2剖面700—1150、1450—1980段大致在深280~400 m间出现显著的低速异常,较好地反应了采空区分布范围(见图3)。

5 结语

本次采用三种物探方法开展综合探测,弥补了单一方法的局限性,有效地提升了采空塌陷区的探测效果。大功率激电测深法和瞬变电磁法可以初步划分岩土分层,大致确定地质构造等。激电异常主要反映了采空区位置及其充填情况。背景噪声成像法可通过分析横波波速,划分地(岩)层结构,大致判断采空区及其引起的塌陷影响范围,低速及低阻异常是采空区的主要地球物理特征。

矿山采空区探测难度较大,采用多方法综合物探技术并进行对比分析解释,各方法成果相互佐证,是提高物探成果解释精度的有效路径;同时,充分结合矿山地质资料进行分析与判别,也是提升物探成果推断解释可靠性的必由之路。

参考文献:

- [1] 冶金工业部华东勘察基础工程总公司. 朱仙庄采煤沉陷区综合治理地质勘察报告[R]. 合肥:冶金工业部华东勘察基础工程总公司, 2019.
- [2] 张鲁珩, 翟培合. 瞬变电磁法数据处理流程研究[J]. 科技创新与应用, 2016(21):93-96.
- [3] 王琼, 高原. 噪声层析成像在壳幔结构研究中的现状与展望[J]. 地震, 2012, 32(1):70-78.
- [4] 王华峰, 刘荣泉, 郑强, 等. 综合物探在金属矿采空区中的应用——以焦家金矿望儿山采空区为例[J]. 地质与勘探, 2013, 49(3):497-504.
- [5] 曹字江, 唐科远. 综合方法在朱仙庄采煤沉陷区勘察中的应用与效果[J]. 地质找矿论丛, 2019, 34(3):478-484.
- [6] 李学文. 综合勘探技术在采空区探测中的应用[J]. 中国煤炭地质, 2015, 27(10):8-61.

Application of geophysical technology to the detection of goaf-settlement area in Zhuxianzhuang coal mine, Anhui province

XU Sheng, TANG Keyuan

*(Geophysical Exploration Team of The East China Metallurgical Geology
and Exploration Bureau, Wuhu 241009, Anhui, China)*

Abstract: Geophysical techniques, such as high-power IP, electric sounding, transient electromagnetic, background noise imaging method etc. are applied to the detection goaf settlement area in Zhuxianzhuang coal mine based on analysis of geological and mining sata collected from the mine and research on data available. A lot of geophysical survey data have been obtained from field survey. Through systematic procession of the data, anomaly interpretation and comprehensive study and judgment, mutual corroboration of different methods is lineated the goaf scope. Geophysical exploration has a remarkable effect on detection of mine goaf.

Key Words: Zhuxianzhuang coal mine; goaf area; integrated geophysical techniques; data processing; interpretation of anomalies; Anhui province