

# 高密度直流电法对煤层采空积水区的验证

康小龙

山西本心地质勘查技术有限公司 山西 太原 030000

**摘要:** 煤矿主采煤层(上覆)老空区充水是煤矿面临的极大安全隐患,运用瞬变电磁法对煤层老空积水区进行探测,并圈定范围后,运用高密度电法对异常区进行二次验证,有着良好的效果,两种物探手段结合,物探成果可靠性更加强;瞬变电磁对面积性勘查非常具有优势,施工效率较高,适合大面积的勘查;高密度电法能更加直观的探测测线位置的视电阻率,比瞬变电磁更加直接,但施工效率较低,适合对异常区针对性的验证。

**关键词:** 瞬变电磁;大定源中心回线;采空区积水;高密度电法;温纳装置

山西晋城某矿,计划开采15号煤,由于上覆9号煤层及15号煤埋深较浅,且在整合之前存在老窑开采,且开采情况不明,存在部分老空区及老空积水区。计划采用瞬变电磁法和高密度电法两种物探手段进行勘查区内老空积水区;瞬变电磁法采用扫面式勘查,初步圈定勘探区内9号煤、15号煤老空积水异常区,对瞬变电磁异常区采用第二种物探手段高密度方法进行验证。

## 1 工区概况

山西晋城某矿为了加强煤矿防治水管理工作,计划在三采区南部(15301、15302、15303工作面地表)开展地面电法勘探工作,物探手段采取瞬变电磁法和高密度电法为主,为后期的水文地质工作及其他相关工作提供参考依据。

测区整体呈现中间高两边低形态,测区最大标高位于测区北部,标高993m,最小标高位于测区东部,标高928米,最大落差65m,勘探区地形相对平整,落差较小,大部分被耕地覆盖。

勘探区位于山西省沁水煤田东南部,出露地层总体表现为由东向西由老至新。中部主要出露石炭系上统太原组、二叠系下统山西组地层、煤矿北部山梁上主要出露二叠系下统下石盒子组、二叠系上统上石盒子组地层,第四系地层主要分布在煤矿中南部平缓地带。勘探区域地表多为黄土覆盖,勘探区北部出露有二叠系山西组及二叠系下石盒子组。

勘探区地层从下到上如下:

(1) 奥陶系中统峰峰组(O2f):由深灰色厚层状灰岩组成,质纯、致密性脆,为煤系地层的基底,厚度在40-90m。

(2) 石炭系中统本溪组(C2b):岩性为灰色铝土

质泥岩,具鲕状结构,有滑感。底部含黄铁矿、菱铁矿细粒和结核,局部富集成山西式铁矿。与下伏奥陶系中统峰峰组地层呈平行不整合接触关系。本溪组厚5.81~19.69m,平均12.97m。

(3) 石炭系上统太原组(C3t):出露于煤矿中东部,是本区主要含煤地层之一。为区内主要含煤地层之一,为一套海陆交互相含煤沉积岩系,主要由砂岩、泥岩、砂质泥岩、煤层及石灰岩组成。发育4-6层灰岩,其中K2、K3、K4、K5、K6较稳定,煤层自上而下编为5、6、7、8、9、12、13、14、15号,稳定可采煤层15号,9号煤层零星可采。根据沉积旋回、岩性组合特征及含煤性,自下而上可划分为C3t1、C3t2、C3t3三个岩性段。厚100.84~136.32m,平均115.49m。

(4) 二叠系下统山西组(P1s):山西组是一套陆相含煤岩系地层,由砂岩、砂质泥岩、泥岩及煤层组成,含3号煤层,厚3.0~4.60m,平均4.09m,中下部局部见一层泥岩夹矸,属结构简单、层位稳定的可采煤层。底部K7砂岩岩性为深灰-灰色中细粒长石石英砂岩,泥质胶结为区域标志层。该组厚23.67~38.57m,平均厚33.55m。与下伏地层连续沉积,整合接触。

(5) 二叠系下统下石盒子组(P1x):岩性主要为砂岩、砂质泥岩、泥岩等。下部为灰白-黄绿色中粒长石石英砂岩及砂质泥岩,并夹泥岩或薄煤线;中部为砂质泥岩夹砂岩;上部为砂质泥岩及铝土质泥岩,底部砂岩中常含铁质晕圈,多呈球状风化;顶部“桃花泥岩”含铁质鲕粒,风化后呈小孔洞,色泽鲜艳,分界清楚,是划分上下石盒子组,对比和预测3号煤层见煤深度的良好标志。整个下石盒子组地层岩性由粗到细粒度韵律明显。本组主要化石为羊齿类。与下伏山西组连续沉积,整合接触。厚65.20~65.50m,平均65.35m左右。

(6) 二叠系上统上石盒子组(P2s):上石盒子组地

**作者简介:** 康小龙(1986.9-),男,山西吕梁,本科,物探工程师,职业:物探行业,研究方向:煤矿采空区勘查。

层按岩性组合特征可划分为三个岩性段（P2s1、P2s2、P2s3），煤矿内仅出露有P2s1岩性段。分布于煤矿西北部山梁，残留最大厚度120m。

第一岩性段岩性下部为黄绿色、杏黄色夹紫红色砂质泥岩、泥岩及砂岩；底部常为一层不太稳定的黄绿色中粒砂岩，碎屑成分以长石、石英为主，含岩屑成分高，有时见铁质鲕粒和泥砾，可做辅助标志层；中部为黄绿色砂岩夹砂质泥岩，砂质泥岩中见锰铁矿透镜体或结核；上部为杏黄色砂质泥岩夹紫色泥岩，并见数层不稳定的砂岩。本段地层以下石盒子组“桃花泥岩”为标志，与下石盒子组分界，呈整合接触。

（7）第四系中更新统（Q2）主要岩性为浅红色亚粘土，常含钙质结核，夹古土壤层，底部有时见砂、砾石，沟谷边缘多为浅黄色亚砂土与下伏地层呈不整合接触。厚0~62.75m，平均厚23.22

## 2 方法原理

（1）瞬变电磁法：瞬变电磁法（TEM）亦称时间域电磁感应法。是利用不接地回线向地下发送一次脉冲磁场，在一次场间歇期间利用另一回线接收测量由地下介质产生的感应电场即二次场随时间的变化。该二次场是由地下不同导电介质受一次场激励引起的涡流产生的非稳定磁场，它与地下地质体有关，根据它的衰减特征，可以分析判断地下地质体的电性、规模、产状等。

瞬变电磁法的工作原理是在地表敷设不接地线框或接地电极，输入阶跃电流，当回线中电流突然断开时，在地下半空间激励起感应涡流以维持断开电流前已存在的磁场，并且此涡流场随时间以等效涡流环的形式向下传播、向外扩展，利用不接地线圈、接地电极或地面中心探头观测此二次涡流磁场或电场的变化情况，用以研究浅层至中深层的地电结构，由于是在没有一次场背景的情形下观测纯二次场异常，因而异常更直接、探测效果更明显、原始数据的保真度更高。

（2）高密度电法：高密度电法在瞬变电磁异常基础上进行布置，极距 $\leq 10\text{m}$ 。布置原则：高密度电法测线横穿瞬变电磁异常区。

## 3 仪器及施工参数

（1）瞬变电磁仪器使用美国Zonge工程公司的GDP-32II多功能电法仪，生产日期为2020年。勘查网格为20m（线距） $\times$ 10m（点距）。瞬变电磁勘查的线号、点号遵循南小北大和西小东大的原则。施工参数：发射频率16Hz；叠加次数256次；发射电流11A；发射线框150m $\times$ 150m定源内回线装置；高压线影响范围：70m（单侧）；勘探盲区约为20m。

GDP-32II多功能电法仪主要技术指标如下：

1）TEM采样频带范围：DC~8KHz；2）直流（DC）输入阻抗：10M $\Omega$ ；3）动态范围：190db（分贝）；4）最小可检测电信号：0.03 $\mu\text{V}$ （微伏）；5）相位精度： $\pm 0.1\text{mrad}$ （毫弧度）；6）叠加次数：2n任选n=0, 1, ..., 15；7）最大输入电压：300V；8）同步方式：高准确度的石英钟。

（2）高密度电法采用重庆奔腾仪器厂生产的WGMD-4多功能高密度系统，该仪器生产于2024年。电极距采用10m，电极60测道，施工装置采用温纳装置，该装置优点是深度方向上分辨率较高，电阻率的横向变化对其影响较小。

## 4 资料解释与成果分析

（1）瞬变电磁断面图：960测线：图中左右两侧坐标为标高，底坐标为桩号；2条黑色线分别代表为K2灰岩、15号煤。该测线区域，从瞬变电磁视电阻率断面图中可以看出，在K2灰岩、15号煤桩号0~260区域出现低视电阻率异常，经过调查，该区域曾有有小窑开采15号煤，综合推断该低视电阻率异常区为15号煤采空积水引起。由于K2灰岩为15号煤直接顶板，K2灰岩异常区疑为15号煤异常区体积效应引起。

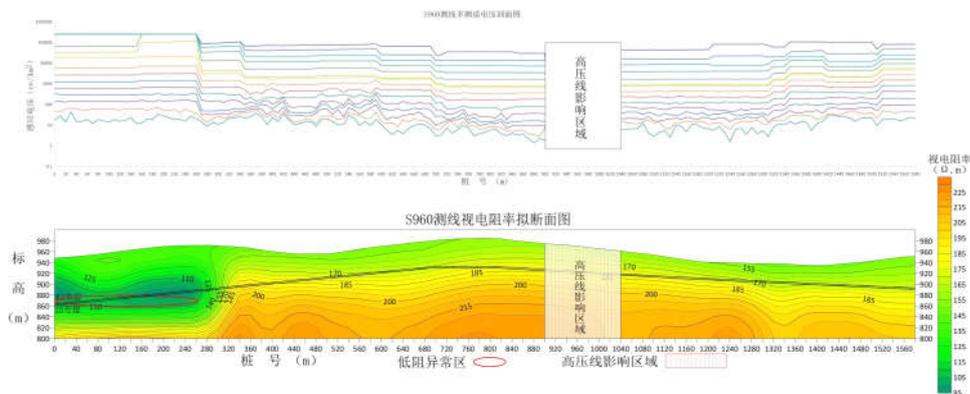


图1 960测线断面图

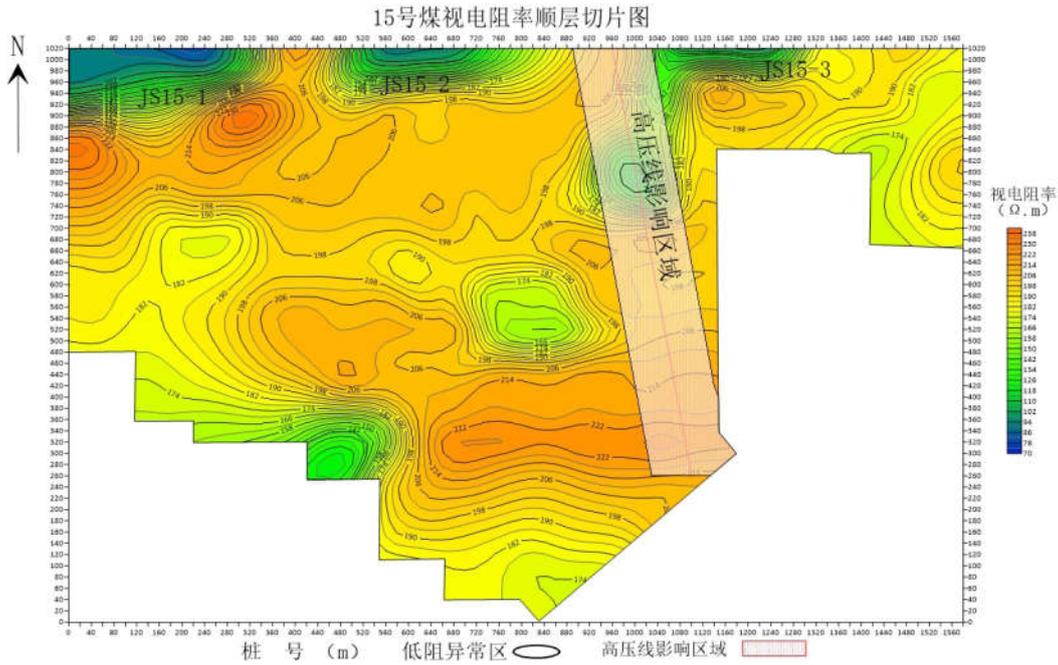


图2 15号煤视电阻率平面图

(2) 瞬变电磁平面图：图2是15号煤视电阻率顺层切片图，图中蓝色表示电阻率值低，四周坐标值为桩号，在全区发现3块低视电阻率区域，分别编号为JS15-1、JS15-2、JS15-3，根据调查勘探区北部曾有小窑开采，并且施工现场有小窑井口，综合推断解释15号煤采空水区3处，分别为JS15-1、JS15-2、JS15-3。

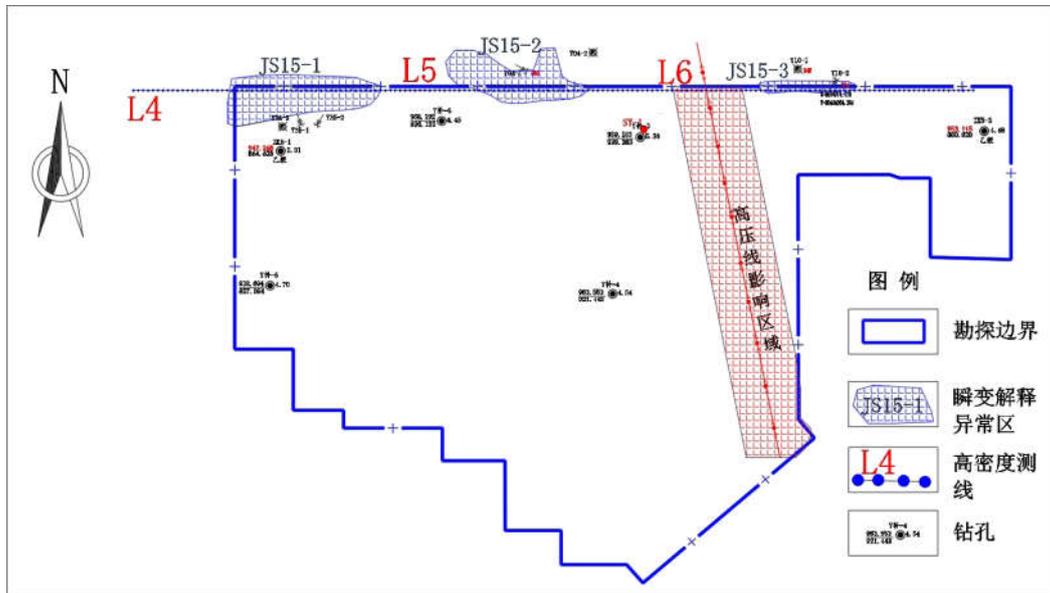


图3 15号异常区分布图

(3) 高密度资料解释：对瞬变电磁异常区JS15-1、JS15-2、JS15-3分别布置了3条高密度测线，来对该异常区进行验证，高密度测线采用温纳装置，极距10m，采用60测道，每条高密度测线长度为600m。其中L4测线验证JS15-1，L5测线验证JS15-2，L6测线验证JS15-3，其中L4、L5、L6测线走向为东西向。

图4到图6为瞬变异常区验证后，高密度测线二维反演剖面图，L4测线在15号煤附近有低电阻反应，证明该几处异常区可靠程度较高；L5、L6测线再15煤标高附近有低阻反应，但是不明显，证明该两处异常区可靠程度相对较低（经过调查2023年物探成果该两处异常区附近也存在低阻异常区，故保留这两处异常区）。

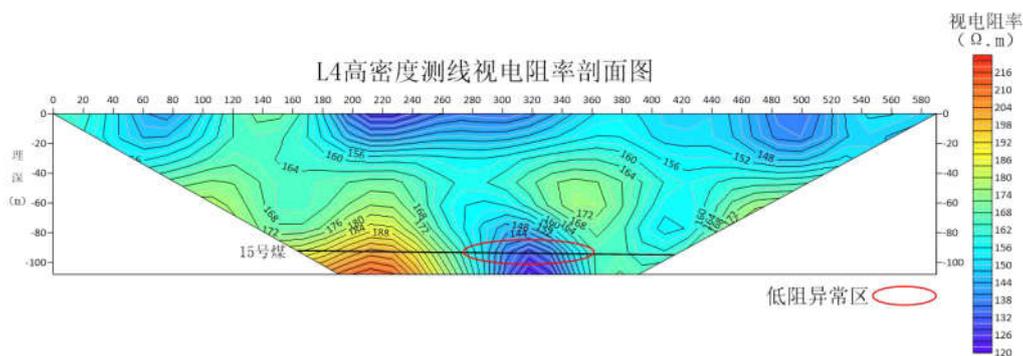


图4 L4测线二维反演视电阻率剖面图

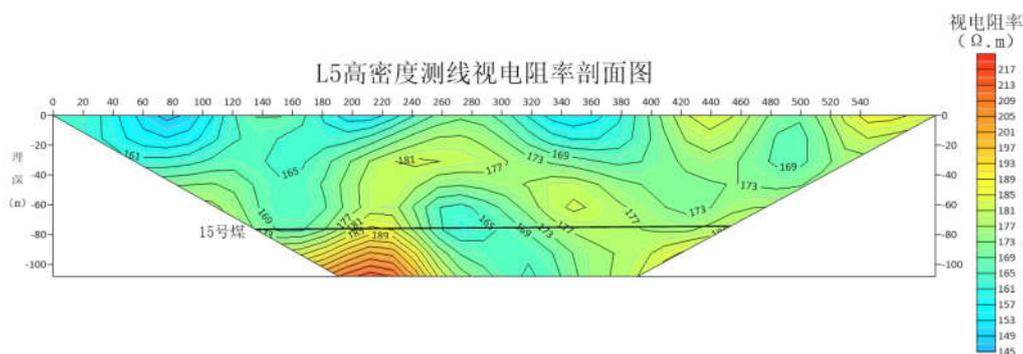


图5 L5测线二维反演视电阻率剖面图

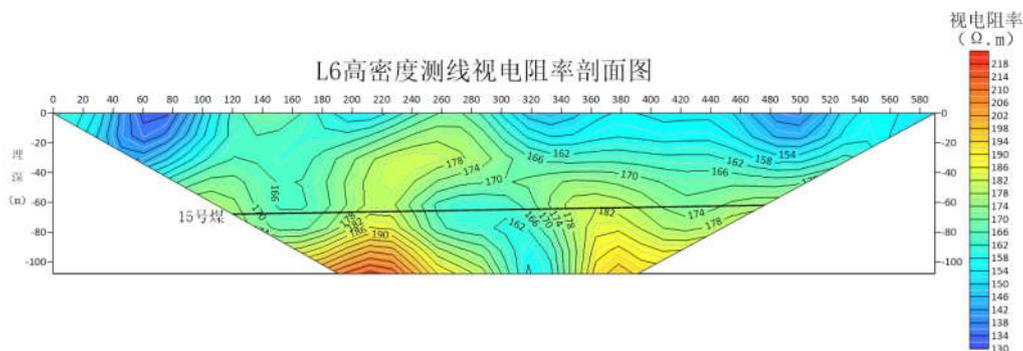


图6 测线二维反演视电阻率剖面图

## 5 结语

过上述实例,说明了瞬变电磁法对煤矿采空区积水的探测具有良好的效果,运用瞬变电磁断面图结合瞬变电磁平面图圈定积水区更加接近实际情况;

对瞬变电磁异常区运用高密度电法验证,能取得更加不错的效果,但前提是根据地质情况选取合理的参数,对煤矿采空积水区圈定及二次验证有着非常不错的

效果。

## 参考文献

- [1]牛之璉.时间域电磁法原理[M].长沙:中南工业大学出版社,1992
- [2]蒋邦远.实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M].北京:地质出版社,1998