

# Application of transient electromagnetic method in exploring goaf of coal seam

Chao Yan

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

## Abstract

In order to find out the location and scope of the Goaf of coal mine in the southwest of Urumqi, and to provide basic data for the layout of exploration holes and the treatment of the goaf in the later period, the transient electromagnetic method is used to detect the goaf, based on the isogram of apparent resistivity section, it is analyzed whether the low-resistivity abnormal area is goaf or not, and the low-resistivity abnormal area is encrypted. The depth and range of the mined-out area are basically the same as those of the low-resistance abnormal area. The transient electromagnetic method can effectively delineate the approximate distribution and range of the mined-out area, it is suitable for practical application in GOAF exploration of coal seam.

## Keywords

Transient electromagnetic method; goaf; low resistance abnormal area.

# 瞬变电磁法在探查煤层采空区的应用

闫超

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830000

## 摘要

为了查明乌鲁木齐某煤矿采空区的位置和范围,为后期勘探孔的布设和采空区治理提供基础资料;采用瞬变电磁法进行探测,通过视电阻率断面等值线图进行解释,分析出低阻异常区是否为煤层采空区,并对低阻异常区进行加密测试。后期经钻孔验证圈定的低阻异常区为采空区,采空区深度、范围与低阻异常区基本一致,瞬变电磁法可以有效的圈定采空区的大致分布和范围,在煤层采空区探查中实际应用具有较好的适宜性。

## 关键词

瞬变电磁法;采空区;低阻异常区

## 1 引言

随着早期煤矿粗放式开采,大量遗留采空区范围、规模及现状不明,易引发地面塌陷等灾害。针对采空区探测,现有方法多样:如高密度电阻率法可圈定异常区域;电磁法能绘制电阻率图推断采空区;微动法通过速度差异刻画空区形态;三维地震勘探适用于深部探测;瞬变电磁法在积水区勘查中效果显著。实际工作中需根据采空区埋深、地质条件和物性特征选择合适方法。本文以乌鲁木齐某煤矿为例,采用瞬变电磁法分析低阻异常,圈定采空区范围<sup>[1]</sup>,为类似工程提供参考。

## 2 工程概况

乌鲁木齐某煤矿平面形状为不规则长条状,平面形状为不规则长条状,东西长约2.9km,南北宽约0.3km,面积

为0.75k m<sup>2</sup>。现由于煤矿区内多次发生地面塌陷,人工回填的痕迹明显,多已形成人工地貌,区内植被不发育,只在低洼水坑处有芦苇生长。项目区地形为北高南低,西高东低的低山丘陵区。海拔在888~1073m之间,其中最高点位于项目区北侧山顶,高程为1073m。最低点位于项目区东南侧,高程为888m,高差约185m。

本次测试主要为通过瞬变电磁探测查明勘查区重点区域煤层采空区的位置和范围,基本查明区内采空区分布特征,为后期勘探孔的布设和采煤沉陷区勘查提供基础资料。

## 3 勘查区工程地质条件

### 3.1 地层岩性

第四系冲洪积层为一套河流相沉积的冲洪积物,岩性为浅灰色砂卵石、砂砾石、亚砂土、亚粘土等,根据钻孔揭露情况,厚度为6~31m,平均厚度为19m。第四系残坡积及人工杂填残坡积沉积:分布于山前洼地内,主要岩性为菱角分明磨圆度差的石块等;而人工杂填主要为建筑垃圾及工程建设自然倾倒地堆积的弃渣,区内均有分布,厚度1~30m,平均厚度为11m。出露基岩为灰色、灰白色粉砂岩,紫红色、

【作者简介】闫超(1993-),男,中国甘肃酒泉人,本科,工程师,从事地质勘探研究。

青色的泥岩、炭质泥岩、砂岩、砾岩及煤层的含煤建造。岩性特征为西部粒度较粗，厚度较大；向东逐渐变细、变薄。上部岩性较粗，下部较细，相变较显著。含煤地层属侏罗系中统西山窑组(J2x)，地层总厚度814m，含煤29层(组)，煤层总厚99m，含煤系数12.15%。

### 3.2 地下水条件

测区内及周边无地表径流，仅在降雨季节或暴雨时有短暂洪水沿南侧及东南部沟谷向洼地排泄。此外，在项目区西部有一条排水沟，该排水沟水源来自于煤矿4号井的抽水立井矿坑排水，矿坑涌水量为790m<sup>3</sup>/d。排水渠在该矿生产期间基本是常年有水，主要用于附近的农业灌溉及绿化。区内水文地质条件相对简单，无地表径流，按地下水类型划分为第四系松散岩类孔隙水和碎屑岩类裂隙孔隙水。

根据资料收集及钻孔数据，该区地下水主要受降雨、融雪以及北侧山体侧向径流补给，受地形影响，区内中北部地下水位最高，地下水位为902~919m，区内西部地下水位为893~895m，东部地下水位为886~889m，可以看出区内总体上是由北向南、由西向东径流。区段内地下水接受西段第四系松散岩类孔隙水及碎屑岩类裂隙孔隙水补给后向东汇集，在局部断裂影响下部分地下水向北渗透，以下降泉形式排泄。地下水总体上是由西向东径流。

### 3.3 工程地质

区内大多地形平坦，地表大多为第四系覆盖，厚度在0-20m不等。基岩主要以砂岩、泥岩为主，其次为砂质泥岩、炭质泥岩、及煤。根据治理区地层岩性组合特征及其物理性质，可将区内岩土体划分为：第四系松散层；薄层状较软泥质粉砂岩、砂岩、泥岩夹煤层岩组。

## 4 工作布置、地球物理特征及资料解释

### 4.1 工作布置

乌鲁木齐某煤矿采空区测试工作主要在西区西侧布置剖面X1，剖面长370m，方向为15°~154°；与X1剖面反方向布置X5剖面，剖面长480，方向104°~162°。东区西侧顺街道布置剖面D1，剖面长280m，方向为168°；顺街道布置剖面D2，剖面长260m，方向为169°；顺街道布置剖面D3，剖面长250m，方向为172~176°；平行D1布置D6剖面，剖面长170m；平行D2布置D7剖面，剖面长110m；平行D3布置D9剖面，剖面长110m。

### 4.2 资料解释

#### 4.2.1 地球物理特征

基于收集勘查区资料，煤层的电阻率一般在300Ω·m，顶板砂岩的电阻率一般小于100Ω·m。采空区或冒落带的视电阻率可视为高阻，采空区充水后视电阻率为低阻。可见煤层、砂岩、采空区及充水采空区的电阻率都有明显的电性差异<sup>[2-4]</sup>。当地下矿体被采出后，所留空洞周围的应力平衡状态受到破坏，随之产生局部应力集中，矿层顶板受到上覆岩层的压力作用而发生形变、断裂或冒落，以达到新的平衡。产生的冒落、裂缝等在原空洞上方形成新的空

隙、裂缝，其物性(电性)特征亦与空洞相似，即充水后成为低阻反映，未充水时应为高阻反映；据此可探查测区内采空区范围及其边界。

#### 4.2.2 资料解释

资料处理采用阿尔法瞬变电磁反演超算系统进行半自动化分段处理，人机交互解释。对原始资料资料进行数据文件格式转换，绘制视电阻率断面等值线图。勘查区地下水富集，采矿形成的导水裂隙带为地下水的赋存和迳流提供了空间和通道，推测低于地下水位存在的采空、冒落区域为充水状态，在瞬变电磁反演效果图上呈现低阻异常反映；浅层空洞不含水在视电阻率断面等值线图上表现为高阻区。根据已有的地质资料，并绘制各测线的视电阻率剖面图，进行异常判断。

由于物探方法<sup>[5-7]</sup>往往受到仪器测量精度的影响，以及非探测对象的干扰，所以要进一步分析解释结果，并得出多个答案，在利用物探资料时，必须掌握各种物探目的物和非目的物的典型曲线特征，将数据反复比较对比，排除多解，最后得到唯一正确的解。

## 5 测试成果分析

### 5.1 实验剖面测试成果

Zk33号孔试验剖面：试验剖面位于勘查区中部，测线中心穿过zk33孔位，剖面长200m，测点点距5~10m，测点个数21个，测线方向159°。

钻孔zk33揭示0~22m为均匀碎石土，22m~36m为泥岩和砂岩破碎层，均成浅部低阻表现，视电阻率范围值约68~116Ω·m；36~102m主要为相对完整泥岩、砂岩互层，为相对高阻表现，电阻率范围值约116~202Ω·m；102~114m出现掉钻、无岩芯，推测为采空、冒落，视电阻率范围值约162~179Ω·m；114~235m为较完整砂岩或煤层，均为相对高阻表现，视电阻率范围值约202~330Ω·m。

由图1瞬变电磁反演效果图可知，剖面桩号0+000~0+200，视电阻率横向变化不大，整体由浅到深呈增大趋势，范围值在38~406Ω·m。钻孔zk33基本位于剖面中心位置，zk33钻孔揭露102-114m出现掉钻、无岩芯，推测为采空、冒落。依据瞬变电磁反演计算后的特征表现，桩号0+080~0+105段，埋深100~110m处，存在封闭型低阻异常，相对视电阻率162~179Ω·m，推测为充水的采空、冒落区域，该异常位置能较好的与zk33揭露的采空区域对应；其他低阻异常推测为地表干扰或地层变化。瞬变电磁zk33号孔试验剖面由已知的采空埋深102~114m与反演结果桩号0+080~0+105、埋深100~110m处的封闭型低阻异常相互印证，说明了其方法在该工区的适应性。

### 5.2 瞬变电磁复测剖面对比验证成果

#### 5.2.1 X1与X5剖面对比验证成果

X1剖面测试点距10m，X5剖面测试点距5m，在X1剖面反转后与X5剖面对比：X1剖面桩号0+280~0+315

段、埋深 60 ~ 110m 处的两处相邻封闭型低阻异常五和六，对应 X5 剖面的低阻异常一；X1 剖面桩号 0+230 ~ 0+245 段、埋深 60 ~ 85m 处的封闭型低阻异常四，对应 X5 剖面的低阻异常二；X1 剖面桩号 0+190 ~ 0+205 段、埋深 100 ~ 120m 处的封闭型低阻异常三，对应 X5 剖面的低阻异常三；X1 剖面桩号 0+150 ~ 0+170 段、埋深 90 ~ 110m 处的封闭型低阻异常二，对应 X5 剖面的低阻异常六；X1 剖面桩号 0+030 ~ 0+055 段、埋深 100 ~ 125m 处的封闭型低阻异常一，对应 X5 剖面的低阻异常四。以上相对应的异常均为相同异常反应。

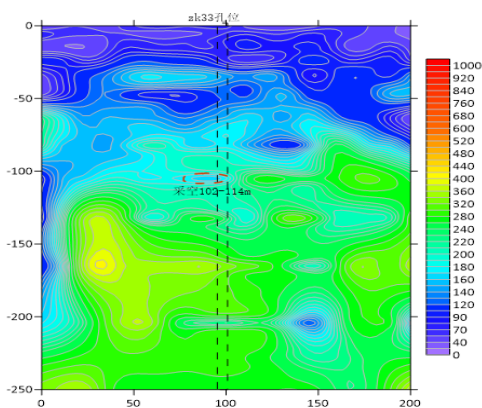


图1 zk33 试验剖面瞬变电磁反演效果图

### 5.2.2 D1 与 D6 剖面对比验证成果

D1 剖面测试点距 10m，D6 剖面测试点距 5m，在 D1 剖面桩号 0+005 ~ 0+175 布置 D6 剖面，剖面长 170m，测点点距 5m，数量 35 个，方向 168°。

D6 剖面视电阻率横向变化不大，整体由浅到深呈增大趋势，范围值在 50 ~ 539Ω·m。桩号 0+050 ~ 0+070 段，埋深 140 ~ 210m 处，存在半封闭型低阻异常，相对视电阻率 230 ~ 257Ω·m，对应 D1 剖面的低阻异常一；桩号 0+035 ~ 0+055 段，埋深 40 ~ 70m 处，存在半封闭型低阻异常，相对视电阻率 113 ~ 129Ω·m，对应 D1 剖面的低阻异常二；桩号 0+080 ~ 0+105 段，埋深 40 ~ 70m 处，存在半封闭型低阻异常，相对视电阻率 98 ~ 118Ω·m，对应 D1 剖面的低阻异常三；桩号 0+140 ~ 0+160 段，埋深 35 ~ 60m 处，存在封闭型低阻异常，相对视电阻率 95 ~ 119Ω·m，对应 D1 剖面的低阻异常四；其他低阻推测为岩性变化。

### 5.2.3 D2 与 D7 剖面对比验证成果

D2 剖面测试点距 10m，D7 剖面测试点距 5m，在 D2 剖面桩号 0+140 ~ 0+250 段反方向布置 D7 剖面，剖面长 110m，测点点距 5m，数量 23 个，方向 169°。

D7 剖面视电阻率横向变化不大，整体由浅到深呈增大趋势，范围值在 77 ~ 355Ω·m。桩号 0+010 ~ 0+025 段，埋深 75 ~ 85m 处，存在封闭型低阻异常，相对视电阻率 154 ~ 170Ω·m，对应 D2 剖面的低阻异常六；桩号 0+015 ~ 0+035 段，埋深 150 ~ 180m 处，存在封闭型低阻异常，相对视电阻率 128 ~ 160Ω·m，对应 D2 剖面的低阻异常七；

桩号 0+045 ~ 0+060 段，埋深 130 ~ 1450m 处，存在封闭型低阻异常，相对视电阻率 148 ~ 160Ω·m，对应 D2 剖面的低阻异常五；桩号 0+045 ~ 0+060 段，埋深 70 ~ 85m 处，存在封闭型低阻异常，相对视电阻率 152 ~ 170Ω·m，对应 D2 剖面的低阻异常四；桩号 0+080 ~ 0+100 段，埋深 65 ~ 80m 处，存在半封闭型低阻异常，相对视电阻率 129 ~ 138Ω·m，对应 D2 剖面的低阻异常三；其他低阻推测为岩性变化。

### 5.2.4 D3 与 D9 剖面对比验证成果

D3 剖面测试点距 10m，D9 剖面测试点距 5m，在 D3 剖面桩号 0+000 ~ 0+110 段布置 D9 剖面，剖面长 110m，测点点距 5m，数量 23 个，方向 172°。

D9 剖面视电阻率横向变化不大，整体由浅到深呈增大趋势，范围值在 63 ~ 429Ω·m。桩号 0+040 ~ 0+055 段，埋深 95 ~ 120m 处，存在封闭型低阻异常，相对视电阻率 149 ~ 160Ω·m，对应 D2 剖面的低阻异常一；桩号 0+075 ~ 0+095 段，埋深 120 ~ 135m 处，存在封闭型低阻异常，相对视电阻率 129 ~ 149Ω·m，对应 D2 剖面的低阻异常二；其他低阻推测为岩性变化。

## 6 结论

西区通过瞬变电磁反演的低阻异常发现，采空区埋深主要在 50 ~ 120m 和 170 ~ 240m，呈现封闭型或半封闭型低阻。东区采空区埋深主要为三层：30 ~ 80m、80 ~ 160m 和 160 ~ 220m，呈现封闭型或半封闭型低阻，有多层，地质构造较为复杂。由 D1 剖面桩号 0+230 ~ 0+250、埋深 190 ~ 210m 的低阻异常六，D2 剖面桩号 0+020 ~ 0+060、埋深 160 ~ 220m 处的低阻异常一和 D3 剖面桩号 0+205 ~ 0+230、埋深 190 ~ 220m 的低阻异常六连通后整体走向与煤层走向基本一致，经钻孔验证这三处异常为同一采煤通道；由 D1 剖面桩号 0+230 ~ 0+250、埋深 200 ~ 220m 的低阻异常七和 D2 剖面桩号 0+090 ~ 0+105、埋深 190 ~ 210m 的低阻异常九连通后走向与煤层走向基本一致，经钻孔验证这两处异常为同一采煤通道。

## 参考文献

- [1] 徐慧, 牟义, 杨思通等. 榆林地区浅埋煤层采空区电法综合勘探技术[J]. 地质与勘探, 2020, 56(04): 792-801.
- [2] 闫永峰. 综合物探方法在隐伏构造探查中的应用[J]. 水利技术监督, 2023(11): 233-4237.
- [3] 胡雍, 吴奇. 综合物探方法在水库大坝渗漏探测中的应用[J]. 水利规划与设计, 2023(12): 117-122.
- [4] 张涵. 综合物探法在某深埋TBM隧洞沿线找水中的应用研究[J]. 广东水利水电, 2023(07): 21-26.
- [5] 安鑫. EH4在引调水工程勘察中的应用[J]. 广东水利水电, 2021, 000(003): 75-78.
- [6] 安鑫. EH4在水利工程勘察中的应用[J]. 广东水利水电, 2020(7): 4.
- [7] 王永刚, 杨明双, 张俊. 物探技术在大坝渗漏通道检测中的应用[J]. 水利技术监督, 2022(12): 49-52.