

# 综合物探方法在石灰石采空区调查中的应用研究

李明陆<sup>1,2</sup> 黄建权<sup>2</sup>

1. 中南大学地球科学与信息物理学院;
2. 湖南省地球物理地球化学调查所

**摘要:** 本次研究场地区位于长沙县某石灰石矿区, 已知采空区顶底埋深约40m~90m不等, 矿区因西侧发生地面塌陷而关停, 造成采空区范围不明, 本次选用高密度电法和天然电场选频法等综合物探方法探测石灰石采空区的空间展布特征。依据推断成果对调查区进行钻探验证, 4处验证采空区, 3处验证采空边界, 1处验证断层, 验证结果与推断结果一致。探测结果表明, 综合物探方法能有效查明采空区的空间展布特征, 为采空区的稳定性评价和治理提供依据。

**关键词:** 石灰石矿; 采空区; 高密度电法; 天然电场选频法

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.10.049

## 一、引言

采空区给人民生活造成重大的影响, 如何有效探测采空范围以及埋深, 显得尤为重要, 众多学者对采空区进行研究。采空区顶板岩层形成“三带”<sup>[1]</sup>, 从下至上为垮落带、导水裂隙带及弯曲带。吴成平等<sup>[2]</sup>分类介绍地球物理方法在采空区的应用, 赵旭辰等<sup>[3]</sup>利用跨孔电磁波CT法对采空区内部进行了详细探测, 经钻探验证, 取得较好的效果, 王俊茹等<sup>[4]</sup>介绍了应用浅层地震方法探测采空区的应用, 李建平等<sup>[5]</sup>利用浅层反射波地震法和高密度电法对采空区进行了勘查, 张开元等<sup>[6]</sup>采用瞬变电磁法探测煤矿采空区, 快速获得中、深部地层的电性结果, 高远等<sup>[7]</sup>利用等值反磁通瞬变电磁对采空区进行探测, 圈出采空区的分布位置、大小以及形态, 高密度电法<sup>[8]</sup>在采空区探测中发挥着重要的作用。杨天春等<sup>[9]</sup>利用天然电场在充水溶洞勘查, 研究表明, 根据相对的低电位异常判断岩溶的位置。

目前, 高密度电法应用到采空区调查中较多, 天然电场选频法在采空区的调查应用还比较少, 通过调查区内地下水的分布范围推断采空区位置。因此, 综合物探方法探测石灰石采空区具有重要的研究应用价值。

## 二、地质概况及地球物理特征

场地地层岩性由新至老分述如下:

### (1) 第四系 (Q<sub>4</sub>)

1) 黏土, 坡积成因, 局部区域分布为次生红黏土, 钻探揭露厚度为0.8~13.8m。

2) 含砾黏土, 呈次棱角状, 冲洪积成因, 钻探揭露厚度为2.3~11.5m。

### (2) 泥盆系上统余田桥组 (D<sub>3s</sub>)

岩性主要为页岩, 薄层状构造, 砂质结构, 断面可见少量原岩结构, 岩芯呈土柱状、碎块状, 岩体极破碎, 为极软岩, 岩层产状为295°∠25°, 钻探揭露厚度为0.8~15.2m。

### (3) 泥盆系中统棋梓桥组 (D<sub>2q</sub>)

岩性主要为中-厚层石灰岩与, 地层产状280°∠10~35°。矿区段以厚层状石灰岩为主, 质纯, 为矿山主要开采层位。采空巷道、采空区分布在该层内。

## 三、试验区岩土介质的电性特征

根据实验观测数据、地质揭露及试验区物性资料, 探测区域内的矿井、巷道及采空区局部位于地下水位以下, 充填水或黏土, 试验区的各类岩土介质的电性特征, 详见表1。

表1 各类岩土介质的电性特征

岩土介质	视电阻率 (Ω·m)	备注
粉质黏土	100~200	
石灰岩	200~400	
采空区充空气	∞	
采空区充水	100~150	

根据现场水文地质调查, 露采坑和1#竖井的水位稳定, 水位标高约32m。

物性特征如下: 石灰石为高电阻率层, 采空区未充填为高电阻率特征, 采空区充填水或充填泥为低电阻率特征; 采空区内局部或全部充填地下水, 呈相对的低电位异常。

因此, 根据地下水位埋深和岩土介质的电性特征, 具备采用高密度电法和天然电场选频法探测采空区的地球物理前提条件。

## 四、工作原理及测线布置

### (一) 工作原理

#### 1、高密度电阻率法

高密度电阻率法是在常规电法勘探基础上发展起来的一新的勘探方法, 集电剖面 and 电测深于一体, 是以岩、土导电性的差异为基础, 研究在人工施加稳定电流场作用下, 观测地中传导电流分布规律的一种物探方法, 既可以观测地下一定深度范围内的横向电性变化情况, 又可以观测垂向电性的变化特征。

选择温施装置, 装置系数为5, 电极间距10m。

#### 2、天然电场选频法

天然电场选频法简称选频法, 一般认为它与打的电磁测深相同, 是以大地电磁场作为长远, 地下岩(矿)石之间导电性差异为基础, 通过地面测量天然交变电磁场产生的不同频率的电场水平分量的变化规律, 研究地下断面的电性变化。本次选用30个测深频率, 测点间距5m。

### (二) 测线布置

基本垂直地层以及构造方向布置测线, 探测采空区空间范围展布, 以采空区为中心, 测线向两侧展布, 共

布置了4条测线。详见图5。

五、综合地质解释

(一) 综合地质推断分析

根据场地岩土介质的物性特征、水文地质条件，对测线进行综合分析，分析如下：

D1线：270~305 m为已知塌陷区，已回填，为相对低电位和低阻异常。208~250m为条带状中低阻异常、电位错断，推断为断层；290~320m、345~380m、390~405m、415~440m为相对低电位异常和低阻异常，电位值小于10mv，视电阻率值小于150 Ω.m，推断为采空区；290m、440m处电位和视电阻率近垂直展布，推断为采空边界。见图1。

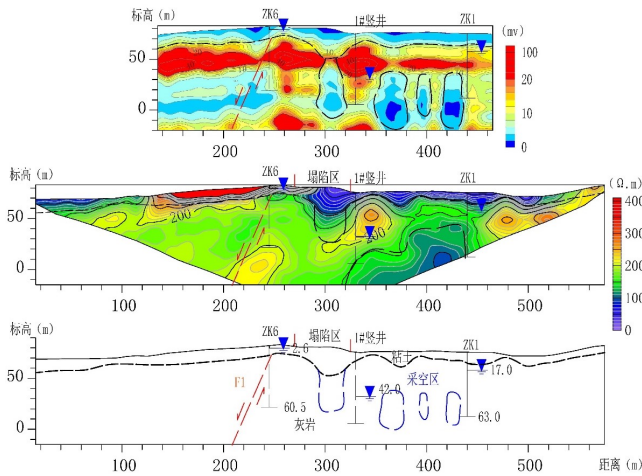


图1 D1线综合地质剖面推断图

ZK1验证采空边界，钻孔布置在D1线440m处，钻探揭露完整灰岩，验证D1线440m处为采空边界。

ZK6验证F1断层，钻孔布置在D1线245m处，钻探揭露5m~37m岩芯极破碎，为构造破碎带，验证F1断层。

D2线：305~335 m为已知塌陷区，已回填，为相对低电位和低阻异常。220~240m为条带状中低阻异常、电位异常错断，推断为断层；310~345m、375~405m、420~440m、455~475m为相对低电位异常和低阻异常，电位值小于10mv，视电阻率值小于150 Ω.m，推断为采空区；310m、440m处电位和视电阻率近垂直展布，推断为采空边界。见图2。

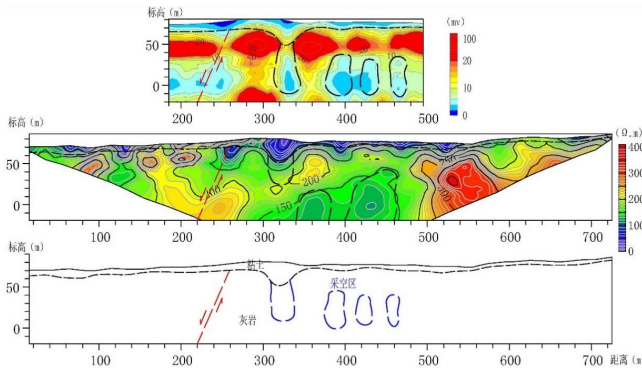


图2 D2线综合地质剖面推断图

D3线：145~180m为条带状中低阻异常、电位异常错断，推断为断层。235~250m、260~295m、310~370m、400~420m为相对低电位异常和低阻异常，电位值小于10mv，视电阻率值小于150 Ω.m，推断为采空区；235m、420m处电位和视电阻率近垂直展布，推断为采空边界。见图3。

ZK7、ZK8验证D3线260~295 m为相对低电位异常和低阻异常区为采空区，ZK7布置在D3线287m处，钻探揭露39.4~90m为采空区；ZK8布置在D3线265m处，钻探揭露46~76 m为采空区。验证D3线260 m~295 m为采空区。

ZK2验证D3线310~370m相对低电位异常和低阻异常为采空区，ZK2布置在D2线320m，钻探揭露0~12m为黏土，12.0~59.0为完整灰岩，59.0~73.2采空区，73.2~80.6为完整灰岩。验证D3线310~370m为采空区。

D4线：135m~165m为条带状中低阻异常、电位异常错断，推断为断层；210~250m为相对低电位异常和相对中高阻圈闭异常，电位值小于10mv，视电阻率值220~270 Ω.m，推断为采空区；200m处电位和视电阻率近垂直展布，推断为采空边界。见图4。

ZK3验证D4线北侧采空边界，钻孔布置在D4线295m，钻孔揭示稳定地下水位埋深49m（标高35m），深部为完整灰岩。

ZK4验证D4线210~250m相对中高阻圈闭异常，为采空区。钻孔布置D3线在235m。钻探揭示0~13.9m黏土，13.9~38.2m为完整灰岩，38.2~66.4m采空区，66.4~73.5m为完整灰岩。验证D4线210~290m为采空区。

ZK5验证D3线200~210m视电阻率近垂直展布，为采空边界。钻孔布置在D3线200m。钻孔揭示0~10.6m黏土，10.6~80.3m完整灰岩，稳定地下水位5.8m，为采空边界。

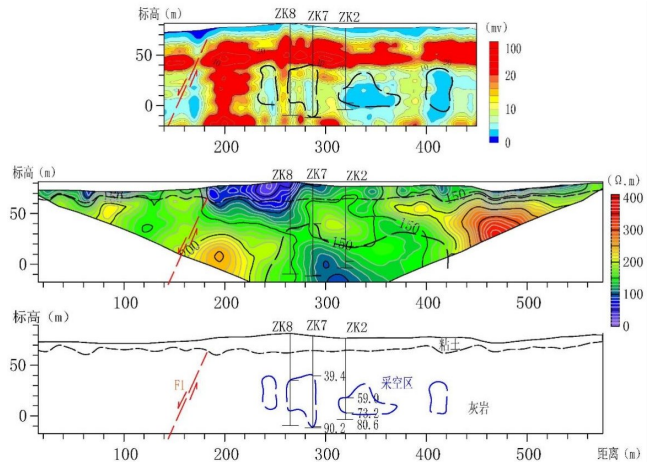


图3 D3线综合地质剖面推断图

(二) 综合平面分析

根据4条剖面异常统计分析，经钻探验证，ZK2、ZK4、ZK7、ZK8验证采空区，ZK1、ZK3、ZK5验证采空边

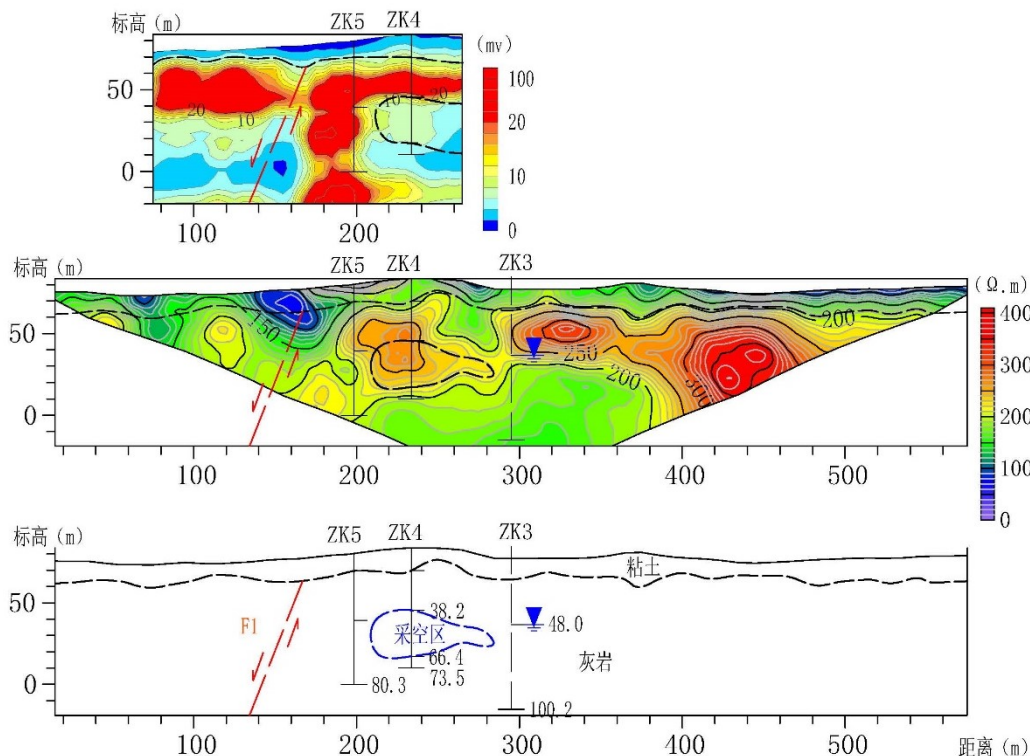


图4 D4线综合地质剖面推断图

界, ZK6验证断层, 综合4条测线的地质推断, 基本查明采空区的范围。详见图5。

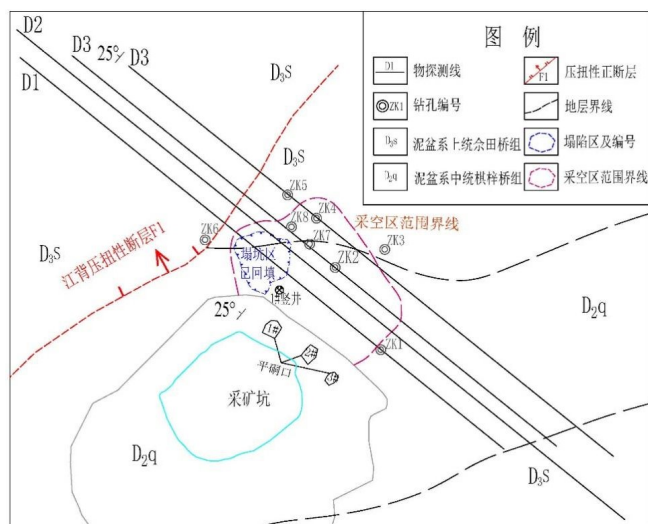


图5 石灰石矿采空区范围平面推断图

### 六、结论

1、高密度电法探测石灰岩采空区, 是一种有效准确率较高的探测方法, 探测精度较高, 能够采空区顶界面分辨率高, 低界面分辨率较低的特点, 相邻采空区之间分辨率较低。

2、天然电场选频法探测地下水的分布情况, 根据采空区内充填地下水, 快速有效的查明采空的分布情况, 能有效区分相邻采空区的边界, 是一种可靠的勘探方法。

### 参考文献

[1]李焕春, 张有朝, 王士平. 高密度高分辨电阻率法在采空区“三带”的探测研究[J]. 河北煤炭, 1999 (02): 40-42.

[2]吴成平, 胡祥云. 采空区的物探勘查方法[J]. 地质找矿论丛, 2007 (01): 19-23.

[3]赵旭辰, 李雪健, 曹芳智. 井间电磁波CT在煤矿采空区探测效果分析[J]. 物探与化探, 2021, 45 (4): 1088-1094.

[4]王俊茹, 张龙起, 宋雪琳. 浅层地震勘探在采空区勘测中的应用[J]. 物探与化探, 2002 (01): 75-78.

[5]李建平, 赵俐红, 彭海洋. 浅层反射波地震法和高密度电法在道路采空区勘查中的应用研究[J]. 工程地球物理学报, 2020, 17 (06): 672-676.

[6]张开元, 韩自豪, 周韬. 瞬变电磁法在探测煤矿采空区中的应用[J]. 工程地球物理学报, 2007 (04): 341-344.

[7]高远. 等值反磁通瞬变电磁法对石膏矿采空区的探测分析[J]. 物探与化探, 2019, 43 (6): 1404-1408.

[8]黄建权, 李明陆, 粟超良, 李坤鹏. 高密度电法在石膏矿采空区勘察中的应用研究[J]. 工程地球物理学报, 2021, 18 (02): 237-243.

[9]杨天春, 申建平, 黎光明. 天然电场选频法在充水岩溶勘查中的试验与分析[J]. 煤田地质与勘探, 2014, 42 (02): 71-75.

作者简介: 李明陆 (1987-), 男, 汉, 湖北仙桃, 高级工程师, 硕士研究生在读, 主要从事地球物理勘探工作。