

# 采空区地球物理勘探技术方法

曾 伟

湖南省工程地质矿山地质调查监测所 湖南 株洲 412000

**摘要:** 近几年来, 随着社会对工业的要求越来越高, 各种煤矿都得到了很大的发展, 在这种情况下, 大量的私营煤矿被开采出来, 形成了采空区, 对此, 我们需要做好相应的工作。在这一背景下, 文章结合就金星煤矿采空区物探技术作了简要的介绍。

**关键词:** 采空区; 地球物理勘探; 技术方法

## 引言

伴随着我国经济的快速发展, 人们的生活水平也有了极大的提高, 但由于以往一味地追求经济增长, 导致周边的生态环境遭到了严重的破坏, 同时, 由于开采活动引起的采空区, 也成为了一个较为常见的安全隐患, 对人们的生产、生活构成了极大的威胁。近年来, 国内对勘探项目的要求越来越高, 在选用勘探技术的时候, 必须根据具体的地质情况, 进行更为有效、更为合理的分析, 从而制定出一套较为科学的勘探方案。

## 1 工程概况

### 1.1 交通位置

金星煤矿位于前进井田33线以北至淝江井田40线以南浅部, 隶属耒阳市南阳镇。该矿直距耒阳市城区东南约17km, 地理坐标: 东经 $112^{\circ} 56' 24'' \sim 112^{\circ} 57' 33''$ , 北纬 $26^{\circ} 17' 18'' \sim 26^{\circ} 19' 13''$ 。

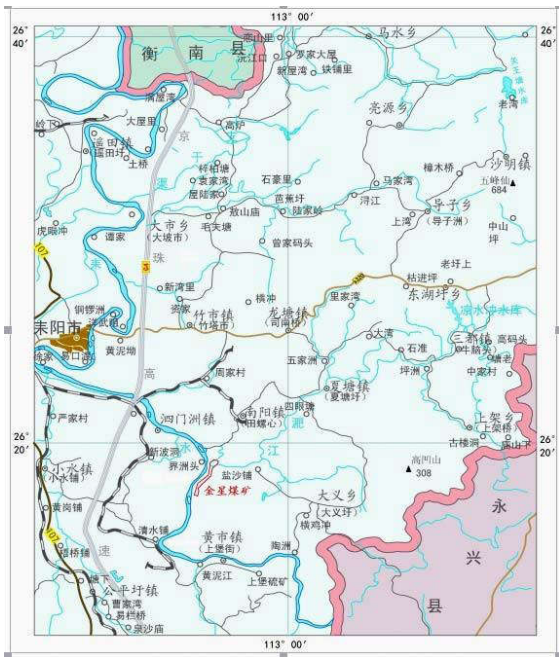


图1 勘查区交通位置图

本区交通方便, 矿井修有简易公路到南阳镇至竹市镇的公路与耒阳市至安仁县省道S320线相通, 湘江支流耒河紧靠市区, 上达永兴县城, 下至衡阳, 可以常年通航, 交通较为方便。

### 1.2 地形地貌

金星煤矿地处白沙向斜东翼南段。属剥蚀构造丘陵垄岗及堆积谷地地貌, 地形切割微弱, 山势走向北东西南向, 与地层走向基本一致, 地势大致是东高西低, 有利大气降水的汇集与排泄; 区内海拔标高+212.7~+96.4m, 相对高差约116.3m, 山坡坡度为 $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$ , 山顶以椭圆形为主; 区内侵蚀基准面为西南淝江河一级阶地, 海拔标高约+81m; 矿区内谷地以宽谷为主, 为残坡积和冲洪积堆积, 淝江河两侧发育一级阶地, 为冲洪积物堆积, 地表植被发育。



图2 勘查区卫星图

### 1.3 勘查区及周边小窑开采概况

本矿区开采历史悠久, 老窿分布范围广, 积水甚多, 由于年代久远, 老窿已塌陷堵塞而形迹不清, 据访问调查资料, 老窿的开采深度约在+50m水平左右。20世

纪90年代有较多非法小窑开采到+20m水平以上,到2000年这些非法小窑已全部关闭。

矿山范围内原有金星煤矿、鑫源煤矿、群力煤矿三个煤矿山,2014年末阳市根据湘煤关退办函〔2014〕35号、〔2014〕49号文要求,由原金星煤矿整合公司所属的鑫源煤矿和群力煤矿,并将其间未设置矿业权范围纳入,矿井范围横跨前进井田和淝江井田。原金星煤矿处于可生产状态,原鑫源煤矿和原群力煤矿均于2014年整合关闭,目前处于封闭状态。现将整合前原金星煤矿、鑫源煤矿、群力煤矿开发情况简要分述如下:

#### (1) 原金星煤矿

原金星煤矿为私营企业,2005年9月建井,2007年6月投产,主采8煤层,设计生产能力为6万吨/年,为斜井开拓方式,建有一对主井和风井,主井落底标高+7.03m,当前±0m水平为生产水平,-33线以北至原矿界±0m水平以上全部采空。

#### (2) 原鑫源煤矿

原鑫源煤矿为私营企业,2005年8月建矿,2007年6月投产,主采8煤层,设计生产能力为3万吨/年,为斜井开拓方式,建有主井和风井一对,主井落底标高-35.01m,风井落底标高-17.38m,2010年3月因发生透水事故而关闭,关闭前+34m水平为生产水平,36线以北至原矿界+34m水平以上全部采空。

#### (3) 原群力煤矿

原群力煤矿为私营企业,2005年4月建矿,2006年6月投产,主采8、9煤层,设计生产能力为6万吨/年,为斜井开拓方式,建有主井和风井一对,主井落底标高-91.90m,风井落底标高-57.92m,2011年起至2014年处于矿井升级改造中,2014年11月关闭退出整合到金星煤矿,关闭退出前-57m水平为生产水平,-91m水平为开拓水平,-57m水平运输巷以南至原矿界-57m水平以上全部采空,以北开采至+45m水平。整合后金星煤矿产能升级,设计生产能力为15万吨/年,重新规划主、副井,将原金星煤矿主井改为南风井、原群力煤矿主井改为北风井。

### 2 采空区形成机理

采空区是指在矿井开采过程中,矿井开采过程中,矿井开采过程中所产生的空隙。当采空区形成时,原来的受力平衡被打破,覆岩因失稳而发生位移,直至垮塌。采空区崩塌后,就会产生采空崩落带。以采空区为例,可以把采空区划分为3个区域:①采空区:采空区上方的岩石发生崩塌;②断层带:由于冒落带上部岩体过度弯曲变形,使采空区上部承受很大的拉伸应力,两侧承受很大的剪切应力,从而使岩体产生很多裂缝,破坏了岩体的整体结构;③弯曲区:裂缝以上至地表,受重

力影响发生弯曲区变形,但不发生断裂。

### 3 采空区地球物理勘探技术

随着国民经济的发展,科技的进步,我国的地质勘探工作已经取得了比较明显的进展。因为在初期,我们更多的是注重经济的发展,而忽视了对环境的保护,导致我们在开采和开采的过程中,我们更多的是以效率为导向的,这就导致了我们对环境的破坏,从而形成了采空区,对我们的生产和生活带来了威胁。

#### 3.1 可控源音频大地电磁法

##### 3.1.1 技术原理

可控源音频大地电磁法(CSAMT)是电磁法的一种,它的主要特点是用人工控制的场源做频率测深来研究地下岩矿石电阻率的分布规律的一种物探方法。该方法通过改变发射源的发射频率进行测深,通过测量相互正交的电场和磁场分量计算卡尼亚视电阻率,最后反演成图以确定其测量下方采空区的规模、特征、埋深以及其富水性特征等。

因为是人工合成的磁场,所以操控起来,比起天然磁场要轻松许多,信号也要强烈许多。在对地下采空区进行测量时,利用电偶极把电流传递到地下,人工形成一个电磁场,因为要形成磁场,因此在埋入电极电源的时候,要注意二者之间的距离,中间间隔大约1-2Km。只有在5-10公里的磁场范围内,才能被测量到,也就是说,中央磁场可以被看作是一个平面,所有的探测结果都是在这个平面内得到的。

##### 3.1.2 音频大地电磁法在煤矿采空区中的应用

人类社会的发展离不开丰富的自然资源,其中矿产资源是最重要的资源。随着开发,随着对地下矿藏的持续开发,在地下形成了大大小小的采空区,这些采空区的深度和尺寸都参差不齐。采空区对于矿山的开采是非常不利的,甚至可以说是一种威胁,因为采空区内有大量的暗流,如果没有被及时的填平,很有可能会引起大量的积水,从而给矿山工人带来很大的危险。即便不充满水,未经填充的采空区受到重力作用时,也可能导致崩塌,对地面上的人们构成威胁。因此,探查矿洞的位置,以及矿洞的面积,就显得很重要了。虽然现有的探测手段有多种,但对深度超过200米的采空区,尤其是对煤矿矿类的采空区,都存在着一一定的局限性,此时,就需要利用可控源音频大地电磁法来探测深部采空区。

在建立模型时,将地面视为一个水平的平面,而人工产生的电磁场是平行于地面的,通过正交分解的方法,把不同电磁场之间所得到的量分为 $E_x$ 、 $H_y$ 、 $H_x$ 、 $E_y$ 四个单位数据,相互正交的电场和磁场会测得不一样的数据,而这些不一样的数据就可以确定出作为介质的电阻率的值,

而可控源音频大地电磁法所能到达的深度与电阻率与频率相关,电阻率的越大,频率就越低,我们可以勘测的方位越大,深度越深,所得到的数据就越多。

然后,通过应用公式计算得到了电阻,再进行了相位值的计算。然后用分界线对平面地形进行逆向推导,最终得到全断面的结果。将多个图纸组合起来,就能形成一个三维立体的地下空间。

值得注意的是,在进行测量前,必须对所测量地点周围的地形地貌、山脉的大致走向、地球本身的运动速度、村庄情况、自然环境、交通状况等都有详细的了解。在选择测量线路时,要多覆盖一些有代表性的地势走向,做好很多的前期准备工作,对整个测量过程中地球物理的特点有一定的认识<sup>[1]</sup>。

### 3.2 瞬变电磁法

瞬变电磁法是目前应用最广泛的一种探测方法。利用在地面上已经铺设好的接地电极或者不接地线框架,然后用阶跃波或者其他脉冲电流场来激发,从而产生一个过渡过程场,当停电时,会在地面上形成一个旋涡状的交变电磁场,并且这种交变电磁场会随着时间的流逝而逐渐向下传播,并且还会有向外扩展的趋势,使用接地电极,不接地线圈,以及中央探针来进行检测。这种有地下介质所产生的电磁场与地下介质的导电性密切相关,通过其衰减特性,可以得到地下介质中的电性特征,从而判断出地下介质的真实结构形态。在无采空区的地质条件下,通过对剖面的电性观察,可以得到很好的结果。在开采煤炭的时候,会有一个采空区,在采空区中,会有一个空隙,在对这些空隙进行探测的时候,这些空隙的电阻会变得很大。但是,在采空区中,岩石会受到重力的影响而塌陷,并伴随着地下水的渗入,采空区中的电阻率特征将会出现较大的变化,从而很容易发现高低阻抗的异常。

在实际观测中,非充水区常呈现高电阻率,通过与该地区内陆层电性差异的有效对照,可以更好地探测到采空区。而采空区的局部充水,由于地下水流和电离的影响,其电阻率就会变得很低。在实际勘查中,利用瞬变电磁测深法中的电阻率对比,可以更好地确定含水采空区的位置<sup>[2]</sup>。

### 3.3 微动勘察法在煤矿采空区的应用

微动勘探是近年来发展起来的一种新型地球物理勘探方法,近年来在煤层开采,特别是陷落柱勘探方面也得到了广泛的应用。基于稳定的随机过程原理,台阵微动采集到的垂向微动信号,提取瑞雷面波频散曲线,反演得到地下介质S波速,并以S波速为特征,以S波速为特征来解释采空区<sup>[3]</sup>。

目前,探测采区陷落柱的常规地表物探方法,主要

是采用三维地震法、瞬变电磁法等。陷落柱巷道是一种特殊的巷道,但在实际应用中,由于受到地面地貌等多种因素的影响,其正确率还不到50%。由于无水陷落柱体和周围岩层之间的电性差别很小,因此很难被地表瞬变电磁场所探测到。相对于传统方法,微动勘察法在探测矿井陷落柱的时候,因为它方便了野外观测手段,不需要人工源,并且不受电磁干扰的影响,而且对地形和环境没有特别的要求,可以适应多种地形和环境,所以在探测村落覆盖区下面的煤层构造、圈定陷落柱等速度异常区域方面,有着一定的技术优势<sup>[5]</sup>。

## 4 结束语

综上所述,对于电磁环境较差、高压线和人类设施等电磁噪声较大的区域,电磁法的探测效果也不是很好。随着我国经济的快速发展和矿业的发展,瞬变电磁探测区域常常会受到强烈的电磁干扰。为此,需要深入分析已有的探测结果,并对后续的探测结果进行精细化处理,努力解决TMT的降噪和微弱信号提取等关键技术。在此基础上,利用相关分析、小波分析等新的分析手段,对TEM检测中的微弱信号进行有效的提取,为瞬变电磁法的发展提供一种行之有效的技术手段。

可控源音频大地电磁法在煤矿采空区的定位、范围等方面已经取得了较好的成果,但在强干扰环境下,其探测效果依然不是很理想。在此情况下利用微动勘探可以较好地避开电信干扰,获取较为可靠的数据,一定程度上弥补了因电磁干扰导致的部分区域无法获取可靠数据的弊端。但是每一种物探方法均有其局限性,因此在实际工作中,综合运用各种合理的探测手段来确定采空区的平面位置和埋深,将是今后采空区探测工作的一个发展方向。

## 参考文献

- [1]范育典.瞬变电磁法勘探在矿山含水采空区的应用研究[J].世界有色金属,2022(3):97-99.
- [2]罗忠琴,刘鹏,唐建益,等.煤矿隐蔽致灾因素地震勘探现状与发展方向[J].中国煤炭,2023,49(1):16-29.
- [3]刘伟,甘伏平,张庆玉,潘晓东,何长响,淡永.岩溶区页岩气勘探中的近地表地球物理探测技术应用研究[J].地质与勘探,2023,59(1):113-121
- [4]魏勇,娄佰信,张开元,等. TEM在煤矿采空区注浆效果检测中的应用研究[J].能源与环保,2022,44(9):131-137.
- [5]刘向南.综合物探技术在采空区勘探中的应用研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)自然科学,2023(5):0122-0125.
- [6]李鹏昆,武伟.瞬变电磁地球物理勘探在露天矿采空区探测中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(2):119-121.