

技术方法

## 瞬变电磁法在查明断层陷落柱含导水性中的应用

——以山西长治李村煤矿首采I区为例

孔祥贵<sup>1</sup>, 杨卫亮<sup>2</sup>, 张伟强<sup>1</sup>

(1. 山东省煤田地质局泰山地质勘查公司, 山东 泰安 271000; 2. 山东省煤田地质局第二勘探队, 山东 嘉祥 272400)

**摘要:**煤系地层中断层、陷落柱等构造不仅破坏了煤层的完整性,减少了可采储量,而且影响了煤矿的生产安全,给煤矿开采带来了严重的危害。在煤矿开采初期查明勘探区内断层、陷落柱等构造的空间分布及其含导水性对指导煤矿安全生产具有重要的意义。在充分收集李村煤矿首采I区地质、水文及物探资料的基础上,利用瞬变电磁技术对区内断层、陷落柱等构造的含导水性进行勘查,取得了良好的效果,给煤矿的开采设计施工提供了参考依据,并有效的预防了煤矿开采过程中安全事故的发生。

**关键词:**煤系地层断层;陷落柱;瞬变电磁法;山西长治李村煤矿

**中图分类号:**P641.5<sup>+</sup>.4;TD741

**文献标识码:**B

瞬变电磁法(TEM)属于时间域电磁感应法,它利用不接地回线或接地线源向地下发送一次脉冲场,在一次脉冲场间歇期间利用回线或电偶极接收感应二次场,该二次场是由地下良导地质体受激励引起的涡流所产生的非稳电磁场。相比其他勘探方法,瞬变电磁法具有勘探深度大、受地形影响小、对低阻体敏感、施工效率高等优点<sup>[1-3]</sup>,在煤田勘探中得到了广泛的应用,特别是在含水层富水性评价和构造的含导水性探测上。李村煤矿首采I区构造复杂,区内共发现5 m以上断层3个,可靠陷落柱8个。利用瞬变电磁技术查明区内断层、陷落柱的含导水性,给矿方提供了参考依据,指导了安全生产。

## 1 概况

### 1.1 地层

该区属华北型石炭二叠纪含煤建造,井田内大部分被第四纪黄土所覆盖,测区南部边界出露二叠纪石千峰群地层。现结合钻孔揭露地层情况,由老至新分述如下:

(1)奥陶系:为含煤地层基底,包括马家沟群和峰峰组,厚度约150 m,主要成分为灰色石灰岩、角

砾状石灰岩及泥质灰岩,夹灰白色白云岩和泥质白云岩,局部溶洞发育。

(2)石炭-二叠系:本溪组和太原组,为主要含煤地层之一,厚度约130 m,与下伏地层呈平行不整合接触。主要成分为各种粒级的砂岩、泥岩和煤层。山西组、石盒子群和石千峰群,厚度约600 m,与下伏地层整合接触。由各种粒度的砂岩、泥质岩和煤层组成。

(3)第四系:井田内广泛分布,厚度变化较大,包括中更新统、上更新统和全新统。成分以砂质粘土、粉砂质粘土和粘土为主。

### 1.2 含水层与隔水层

奥陶纪石灰岩岩溶裂隙含水层组隐伏于煤系地层之下,层厚545 m左右,由石灰岩、泥质灰岩及白云岩等组成,为区内主要含水层组。太原组岩溶裂隙含水层组由K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub>, K<sub>5</sub>四层石灰岩组成,厚度20 m左右,富水性较弱。K<sub>8</sub>及山西组砂岩裂隙含水层组为碎屑岩裂隙含水层组,包括K<sub>8</sub>, K<sub>7</sub>砂岩及3号煤层顶板砂岩裂隙含水层,构成主采3号煤层的充水水源。岩性以中、细粒砂岩为主,厚度13 m左右,富水性弱—中等。石盒子群为碎屑岩裂隙含水

收稿日期:2013-04-03;修订日期:2013-11-05;编辑:陶卫卫

作者简介:孔祥贵(1986—),男,山东嘉祥人,工程师,主要从事煤田地质、物探工作;E-mail:395772115@qq.com。

层组,主要由以中、粗粒砂岩组成,一般裂隙较发育,局部充填。该含水层组为富水性弱—中等的砂岩裂隙含水层组。基岩风化带裂隙含水层一般发育深度在50 m左右。该含水层一般富水性差异较大。松散层孔隙含水层组主要由具孔隙的亚粘土、砂、砾石等组成。水位埋藏一般较浅,主要接受大气降水补给。该含水层组渗透性好,局部含水丰富,属中等富水性含水层组。

太原组底部及本溪组隔水层主要由具塑性的铝质泥岩、粘土质泥岩及砂质泥岩等组成,位于15号煤层底板与峰峰组顶界之间,层厚27 m左右。该层组裂隙一般不发育,透水性差,隔断上下含水层的水力联系,一般隔水性良好。

二叠纪砂岩含水层层间隔水层主要由泥岩、砂质泥岩组成。垂向分布呈平行复合结构,阻隔上下各含水层层间的水力联系,起层间隔水作用。第四系底部隔水层主要由粘土、砂质粘土等组成,在局部地段分布,透水性弱,起局部地段的隔水作用。

## 2 地球物理特征

岩石孔隙、裂隙总是含水的,并且随着岩石的湿度或饱和度的增加,电阻率急剧下降。同时,水分含量相同的不同岩石的电阻率可能有很大差别,其原因在于水分有不同的矿化度。断层及破碎带等地质体的电阻率取决于其本身的大小、破碎程度及其含水的饱和度。含水断层的电阻率远小于周围不含水围岩的电阻率,这也是运用电法来研究水文地质问题的物性依据<sup>[4,5]</sup>。

根据已掌握的资料,煤层的电阻率约为 $450 \Omega \cdot \text{m}$ ,而围岩(泥岩、砂岩等)的电阻率约为 $150 \Omega \cdot \text{m}$ 。对于断层而言,若充水密实电阻率可降至 $50 \Omega \cdot \text{m}$ 左右,若干燥相对松散,则其电阻率可达 $300 \Omega \cdot \text{m}$ 以上。对于陷落柱而言,若充水表现为明显低阻特征,若净空则表现为高阻特征,特殊情况下,柱壁含水饱和的陷落柱也表现为低阻。初步判断,查找断层和陷落柱及其含水性的地电物性特征基本具备。

在横向上,沉积地层的电性正常情况下是均一的或变化不大。当存在富水性的断层构造或其他良导电地质体时(如断层破碎带富水,灰岩内的充水溶洞、裂隙等)都将打破水平方向电性均一性。当其在三维空间上具有一定规模时可改变纵向电性的变化规律,表现为局部的、区域性的电性异常。

根据电磁法探测的基本原理,一般情况下,与围岩电阻率值相比,含水岩层会表现低电阻率特性。如果岩层不富水,则表现为相对高阻特性。根据以往工作经验,在断层、陷落柱附近,视电阻率值会发生急剧变化,所以,可以根据这一地球物理特性,对区内断层、陷落柱等构造进行探测并作出解释推断。

## 3 数据采集处理

### 3.1 试验工作

试验工作在瞬变电磁勘探中至关重要,只有通过试验才能摸清测区的地球物理特征,选择适合于该区的工作参数,从而取得第一手资料。该次瞬变电磁试验工作选择在测线L2640上进行。根据工作的地质任务和区域地质概况,试验工作设发射框大小为 $900 \text{ m} \times 900 \text{ m}$ 正方形框、采样频率的选择2 Hz,4 Hz进行试验,图1分别为2 Hz、4 Hz衰减曲线。

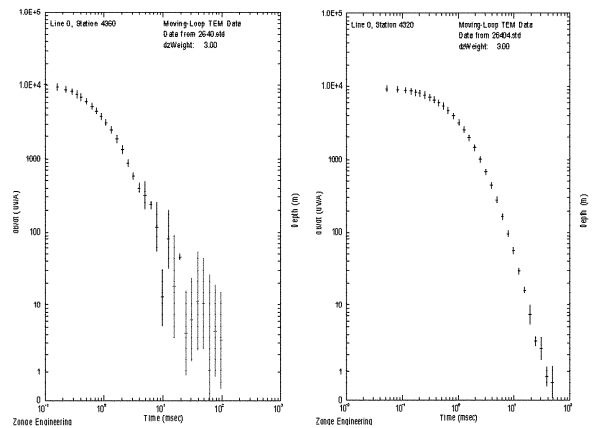


图1 2 Hz、4 Hz 衰减曲线

通过图1衰减曲线对比可以看出当频率为4 Hz时曲线效果较好,2 Hz曲线尾部效果明显较差,尾部信号代表深部信息,考虑到深部信息是该次工作的重点,瞬变电磁施工选择频率4 Hz为施工频率参数。

### 3.2 数据处理

根据实际情况,为满足电法勘探的需要,充分利用地质、水文及地震资料的各种信息,在综合分析了该区的水文地质规律的基础上,反复细致地选择处理流程及参数,做到处理流程合理、处理参数得当,以期获得丰富的地质信息、精美的显示形式,确定处理解释流程。

(1)对野外采集的数据首先进行野外数据干扰剔除、去噪、静态校正及近场校正等处理,然后进行反演成像处理。

(2)经处理得到了各测线的反演后的断面图,电阻率用分等级的彩色显示。各断面图的数据构成了一个三维数据体,从该数据体中就可以插值提取出不同层面的平面图。

## 4 资料解释

资料解释中遵循由已知到未知、从点到面、从简单到复杂的原则,将电性成果转化为地质成果。充分利用现有的地质、钻孔及矿井采掘揭示的地质、水文等资料,结合实地调查并综合分析,研究视电阻率与电性层的对应关系。瞬变电磁法实测曲线解释中,注重到区分由干扰噪声引起的曲线畸变,排除其他良导体造成的假异常,着重分析含水地层的含水性及曲线衰减特性之间的内在规律。

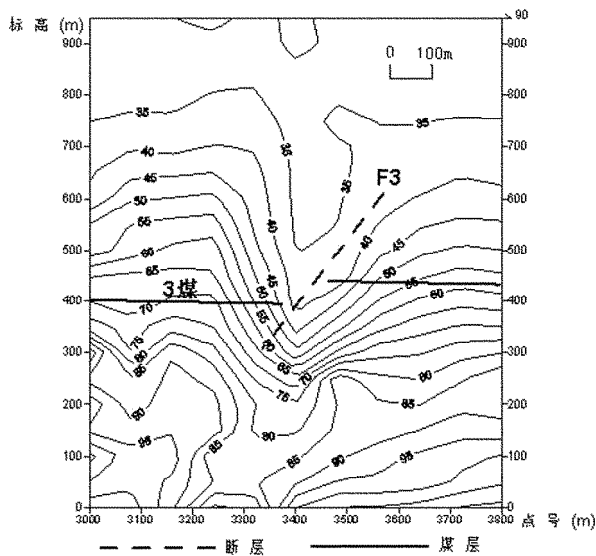


图2 L1080线视电阻率断面图

### 4.1 断层含导水性解释

从图2中可以看出,视电阻率等值线在断层F3处呈“V”字形,视电阻率明显小于围岩视电阻率,而且导通了3煤顶底板含水层,使上下2个含水层发生了水力联系。这是由于断层F3的存在,使其周围岩石破碎,裂隙发育,矿井水充填其中的结果<sup>[6]</sup>。

### 4.2 陷落柱含导水性解释

岩溶陷落柱是岩溶洞穴坍塌的产物,它是煤系下伏可溶性岩层,经地下水强烈溶蚀后,形成较大的

溶洞,在各种地质因素作用下,引起上覆地层的失稳、坍塌,是岩溶引起的一种特殊地质现象。岩溶陷落柱不仅给地面工程带来危害,也可对地下采矿造成严重影响。岩溶陷落柱有可能穿透地下含水层,在井下一旦被导通,便会给煤矿生产造成严重的后果<sup>[7,8]</sup>。

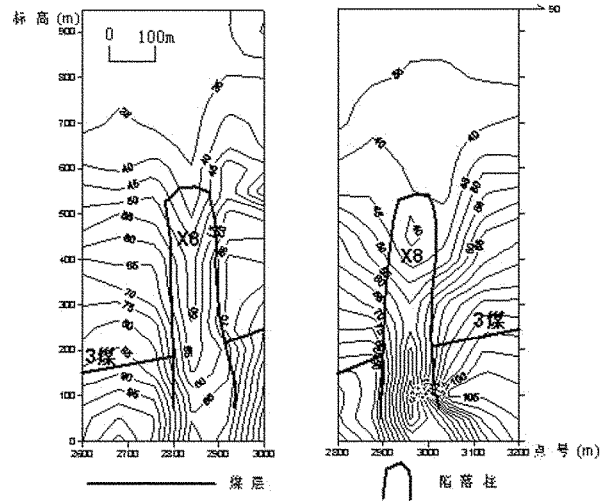


图3 陷落柱在断面图上的反映

陷落柱X8长轴 $a=245\text{ m}$ ,短轴 $b=156\text{ m}$ ,面积 $A=0.028\text{ km}^2$ 。图3为陷落柱X8在勘探线L1400和L1440上的反映。从图3中可以看出,陷落柱周围的视电阻率明显小于周边围岩视电阻率,视电阻率等值线呈现“U”字形,而且向下导通奥灰水,这可能会对煤矿开采造成突水危害。

## 5 结语

通过在李村煤矿首采I区进行瞬变电磁勘探工作,结合区内已有的钻探、水文和物探资料,查明了区内断层、陷落柱等构造的含导水性,取得了良好的效果,给矿方施工提供了参考依据,验证了瞬变电磁法在探测煤矿断层、陷落柱等构造含导水性的有效性和实用性。

## 参考文献:

- [1] 牛之璠. 时间域电磁法原理[M]. 长沙:中南大学出版社, 2007:1-6.
- [2] 李貅. 瞬变电磁测深的理论与应用[M]. 西安:陕西科学技术出版社,2002:1-4.
- [3] 蒋邦远. 实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M]. 北京:地质出版社,1998:2-6.

- [4] 任正和,尹训志,田庆安,等.大地电磁测深在山东齐河法王南部地区地热普查中的应用[J].山东国土资源,2008,28(12):45-49.
- [5] 蔡力挺,胡均杰.高密度电阻率法在胶东工程地质勘察中的应用[J].山东国土资源,2008,28(1):40-42.
- [6] 郁万彩.瞬变电磁法在断层含水性评价中的应用[J].山东地质,2001,17(1):52-55.
- [7] 刘国林,潘懋,尹尚先.华北型煤田岩溶陷落柱导水性研究[J].中国安全生产科学技术,2009,4(2):154-157.
- [8] 尹尚先,武强,王尚旭.北方岩溶陷落柱的充水特征及水文地质模型[J].岩石力学与工程学报,2005,(1):77-82.

## Application of Transient Electromagnetic Method in Detecting Faults and Karst Collapse Column with Hydraulic Conductivity

——Setting the First Mining Area I of Licun Coal Mine in  
Changye of Shanxi Province as an Example

KONG Xianggui<sup>1</sup>, YANG Weiliang<sup>2</sup>, ZHANG Weiqiang<sup>1</sup>

(1. Taishan Geological Exploration Corporation of Shandong Bureau of Coal Geology, Shandong, Tai'an 271000, China; 2. No. 2 Exploration Brigade of Shandong Bureau of Coal Geology, Shandong Jiexiang 272400, China)

**Abstract:** Faults, collapse columns in coal strata will not only destroy the integrity of coal bed, reduce recoverable reserves, but also affect the production safety of coal mines, and cause serious harm in coal mining. It has great significance to identify the distribution of faults and collapse columns within the exploration area, and its hydraulic conductivity in the early period of coal mining. On the basis of collecting geological, hydrological and geophysical data of the first mining I area in Licun coal mine, using transient electromagnetic technology, hydraulic conductivity survey of faults and collapse columns in this area have been studied and achieved good results. It will provide some references for the design and construction of coal mining, and effectively prevent the occurrence of safety accidents in the coal mining process.

**Key words:** Fault; Karst collapse column; Transient electromagnetic method; Shanxi Changzhi licun coal mine