

技术方法

# 瞬变电磁法在煤矿断层导水性勘查中的应用

杜贤军

(山东省煤田地质局第五勘探队, 山东 泰安 271000)

**摘要:**煤矿断层导水是引起煤矿水害问题的主要因素之一,对煤矿断层的导水性勘查与评价是煤田水文地质研究中的重要课题,也是煤矿采区布置与安全开采必须解决的问题。在煤矿开采初期查明矿区内断层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。在充分收集新安煤矿矿区地质、水文及物探资料的基础上,利用瞬变电磁技术,对区内断层等构造的含导水性进行了勘查,取得了良好的效果,为煤矿的开采设计和施工提供了参考依据,有效地预防了煤矿开采过程中安全事故的发生。

**关键词:**断层;瞬变电磁法;导水性;视电阻率

**中图分类号:**P546      **文献标识码:**B

**引文格式:**杜贤军.瞬变电磁法在煤矿断层导水性勘查中的应用[J].山东国土资源,2017,33(4):59-62. DU Xian-jun. Application of Transient Electromagnetic Method in the Exploration of Water Conductivity in the Faults in Coal Mine [J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(4): 59-62.

目前,运用煤矿断层水文地质评价的方法主要有:直流电测深、瞬变电磁法、CSAMT法。直流电测深受地形影响较严重,且定向性比较差,定量解析较困难;CSAM法虽然对断层解释效果较好,但效率低下,价格较高,一般不易被矿山接受<sup>[1-2]</sup>。实践表明,瞬变电磁法是能够查明煤矿导、含水地质构造,并是确定导水性和富水性状况的重要方法<sup>[3-9]</sup>。瞬变电磁法在诸多方法中也是一种经济、快速、行之有效的地球物理方法,极具广泛的应用前景。近年来,瞬变电磁法已成为煤矿水害勘探的重要方法,得到广泛的应用。

## 1 瞬变电磁法勘探的基本原理

瞬变电磁法是利用不接地回线或接地线源向地下发射一次脉冲磁场,在一次脉冲磁场间歇期间,利用线圈或接地电极观测二次涡流场的方法。简单地说,瞬变电磁法的基本原理就是电磁感应定律。其基本工作方法是:在地面或空中设置一定波形电流的发射线圈,从而在其周围空间产生一次电磁场,并在地下导电岩矿体中产生感应电流,断电后,感应电流由于热损耗而随时间衰减。衰减过程一般分为

早、中、晚期。早期的电磁场相当于频率域中的高频成分,衰减快,趋肤深度小,而晚期成分则相当于频率域中的低频成分,衰减慢,趋肤深度大。通过测量断电后各个时间段的二次场随时间变化规律,可得到不同深度的地电特征。

这些变化的二次场是脉冲源所产生的涡流场在地下扩散过程中的地电介质的电磁散射场,包含了丰富的地电信息。低阻地质体如导水断层能引起较强且衰减较慢的二次场,高阻体引起的二次场相对较弱<sup>[2]</sup>,通过对这些信息的分析及解释,从而达到探测地下电性介质的目的。瞬变电磁法具有体积效应小,横向分辨力高,对低阻反应灵敏,与探测地质体有最佳耦合,受旁侧地质体影响小的特点<sup>[10-22]</sup>。

## 2 勘探区地质及地球物理特征

### 2.1 地层

新安煤矿为半裸露区,大部分地区被第四纪地层覆盖,基岩主要出露于井田北部的沟谷及半山坡地带。区内地层由老到新依次为奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、新近系、第四系。

收稿日期:2016-12-26;修订日期:2017-01-18;编辑:曹丽丽

作者简介:杜贤军(1983—),男,江西临川人,工程师,主要从事地球物理勘探工作;E-mail:187315076@qq.com

奥陶纪中统马家沟群:由灰、深灰色厚层状石灰岩组成,上部含铁质较高,为含煤地层的基底。

石炭纪中统本溪组:与奥灰呈不整合接触,下部为浅灰色铝质泥岩,含星散状黄铁矿晶体;上部为具鲕状或豆状结构的灰色铝质岩。

石炭纪上统太原组:石灰岩、砂质泥岩、泥岩或粉砂岩、泥岩、硅质泥岩。

二叠纪山西组:本组整合于太原组地层之上,为该区主要含煤层段,岩性为灰、深灰色中厚层状细粒石英砂岩、粉砂岩夹薄层状泥岩、砂质泥岩。

二叠纪上石盒子群:主要为粗粒砂岩,底部偶见细砾岩,局部为细粒砂岩或粉砂岩。

三叠纪刘家沟组:岩性为石英砂岩,局部为中粒砂岩。

新近系:由灰白色、紫红色砾岩、砂岩、砂质粘土和泥灰岩组成。第四系:不整合于下伏各地层之上,由河床砾石及表土层组成。

本井田位于新安向斜的北翼,为一平缓的单斜构造。区内断层全部为正断层,有落差变化大、延展长度不远的特点。断层方向主要有 NW 向,其他方向次之,与矿区总体构造基本一致。较大规模的断层有  $F_6$  断层、 $F_{10}$  断层、 $F_{18}$  断层。

## 2.2 含水层

奥陶系灰岩岩溶裂隙承压含水层:隐伏于含煤地层之下,厚 300 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。

太原组灰岩裂隙岩溶承压含水层:太原组地层的下部和中上部夹多层薄层灰岩,一般发育 3 层,厚度 15.73 m,为弱含水层。

山西组砂岩裂隙承压含水层:多为中粒砂岩,平均厚度 11.99 m,裂隙不发育,为弱含水层。

下石盒子群砂岩裂隙承压含水层:赋存多层灰、灰白色中粒—粗粒砂岩,平均总厚 15.76 m,裂隙不甚发育,属于弱富水性含水层,含裂隙承压水。

第四系砂、卵石孔隙潜水含水层:主要由粘土、砂质粘土等组成,在局部地段分布,透水性弱,对矿井无影响。

## 2.3 地球物理特征

不同的岩石一般具有不同的电阻率,同一岩石的电阻率的大小也受很多因素影响,测区地层电性参数如表 1 所示。

表 1 地层电性参数

地层	岩性	平均视电阻率( $\Omega \cdot m$ )
第四系	黄土、粘土等	20~60
二叠系	砂岩、泥岩	50~70
石炭系	砂岩、灰岩	60~120
奥陶系	石灰岩等	>500

在构造发育带附近,常出现层位错动或者是地层产生揉皱变化,表现为横向上视电阻率等值线不连续,在断层位置等值线扭曲,在断层两侧同一等值线存在一定落差<sup>[10-12]</sup>。而对于导含水断层,在断层位置,视电阻率明显比周围的地层视电阻率要小,且视电阻率等值线顺着断层倾向向低值方向扭曲。

在导含水断层位置,如果断层上段地层富含水,水就会沿着断层向下方汇集,使断层上、下方形成一个低阻通道,若下方岩层孔隙也比较发育时,断层下方也会形成一个比较大的富水区。同理,如果断层下段地层富含水,受水压影响,断层下方的水也会沿着断层补给上方。判断一个断层是否为导水断层,主要看是否存在导水通道,是否阻断两侧的水力联系。

## 3 方法技术

### 3.1 施工参数

(1)发射边框的选择:该区奥灰顶界面最大埋深约 900 m 左右,考虑地形等因素,选用 960 m×960 m 的边框。

(2)电流的选择:当电流为 20 A 时,曲线尾部数据没有畸变点,能够压制背景噪声,提高探测精度。

(3)发射频率的选择:当频率为 25 Hz,6.25 Hz 时,不能满足探测深度要求。而 2.5 Hz,曲线圆滑且能满足探测深度的要求。

(4)积分时间的选择:分别进行了 8 s,15 s,30 s 积分时间的试验。发现积分时间为 8 s 时,曲线尾部出现微小的波动,说明 8 s 的积分时间不能有效地压制噪声,积分时间为 15 s,30 s 时,曲线圆滑,最终选择的积分时间为 15 s。

对断层采用 20 m×5 m 网度进行控制,其中  $F_{10}$ , $F_{18}$  断层各布置测线 15 条, $F_6$  断层布置测线 20 条,测线分别垂直所控制断层。

### 3.2 资料处理

资料解释是建立在资料处理后的感应电压多测道断面图、视电阻率拟断面图的基础上。在资料处理中对明显不合理(随机电磁干扰引起)的观察值给予剔除,对测区高压线、铁器等干扰结合班报,进行平滑滤波处理,保证采集的原始资料符合地质规律。瞬变电磁资料解释的主要依据为各条测线反演电阻率断面图及顺层切片图,将其反映的地电信息识别出来,并将其转换成地质语言,进行构造导含水性的解释。主要进行了滤波、圆滑、时深转换、地形校正。

## 4 资料解释

瞬变电磁法的资料的处理和解释工作往往是同时进行的,在解释时遵循从已知到未知、从点到面、从简单到复杂、从局部到全局的原则。充分收集以往勘查区地质、钻探资料,充分考虑各种复杂因素对观测结果的影响,依据地质规律,认真分析探测目的体与赋存空间之间的物性差异性质。瞬变电磁法实测曲线解释中,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<sup>[13-15]</sup>。

### 4.1 $F_{10}$ 断层

$F_{10}$ 断层为正断层,走向 NE,倾向 SE,倾角  $68^\circ \sim 70^\circ$ ,落差  $0 \sim 12$  m。区内延展长度约 280 m。断层垂向上上断下石盒子群砂岩含水层,下断奥灰。从图 1-A 的视电阻率断面分析:在断层附近,在点号 1600,标高 500~700 m 位置,视电阻率等值线呈现一个“V”字型低阻异常,在断层的上方存在一个相对低阻富水区,上方的水顺着断层向下方导通,使上方的富水区与下方的含煤地层以及深部的奥灰发生水力联系,表明  $F_{10}$ 断层为导、含水断层。后根据矿山提供的井下掘进资料, $F_{10}$ 断层附近岩层裂隙发育,并在断层附近形成了长期淋水区,说明断层为含水断层,并与上方存在补给关系,与推断一致。

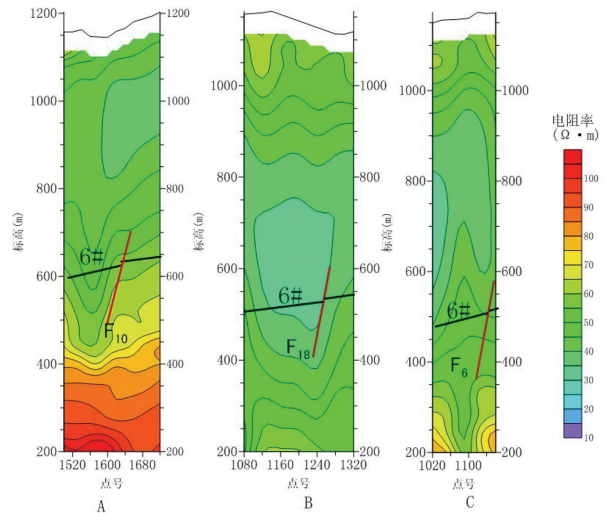
### 4.2 $F_{18}$ 断层

$F_{18}$ 断层为正断层,走向 NW,倾向 SW,倾角  $65^\circ \sim 68^\circ$ ,落差  $0 \sim 15$  m。区内延展长度约 250 m。断层垂向上上断下石盒子群砂岩含水层,下断 L7 灰岩。从图 1-B 的视电阻率断面图来看,在点号 1220~1240 处视电阻率等值线横向有扭曲,瞬变

电磁响应特征明显,电性出现错动,推断该异常为断层的电性反映,但断层位置,视电阻率等值线在断层  $F_{18}$  位置处“V”字型,且视电阻率明显小于围岩视电阻率,使上、下 2 个含水层发生了水力联系。这是由于断层  $F_{18}$  的存在,使其周围岩石破碎,裂隙发育,使上方的水顺着断层向下方导通,使矿井水充填的结果<sup>[11]</sup>。

### 4.3 $F_6$ 断层

$F_6$ 断层为正断层,走向 NE,倾向 SE,倾角  $74^\circ$ ,落差  $0 \sim 12$  m,区内延展长度 340 m,如图 1-C 所示, $F_6$ 断层位置视电阻率等值线无明显变化,但是断层上、下方视电阻率梯度变化较大,说明这两个位置相对富水,但因断层填充物较为致密、胶结性比较好,推断  $F_6$ 断层是含水但不导水断层。



A— $F_{10}$  断层; B— $F_{18}$  断层; C— $F_6$  断层

图 1 断层在瞬变电磁剖面上的显示

## 5 结论

(1) 结合区内已有资料,查明了区内断层的含、导水性,取得了良好的效果,给矿山施工提供了参考依据,验证了瞬变电磁法在煤矿断层含、导水性的勘探有效性。

(2) 含水、导水的断层,断层上、下方发生水力联系,在视电阻率断面上,断层位置、视电阻率呈现相对低阻,且等值线梯度变化较大。

(3) 对于不导、含水性的断层,视电阻率断面上,断层位置、视电阻率等值线变化平缓,断层与围岩的视电阻率差别不大。

## 参考文献:

- [1] 虎维岳.新时期煤矿水害防治技术所面临的基本问题[J].煤田地质与勘探,2005,33(8):27-30.
- [2] 孙吉益.瞬变电磁技术在邢台井下应用效果[J].河北煤炭,2008,(2):12-13.
- [3] 方文藻.瞬变电磁测深法原理[M].西安:西北工业大学出版社,1993.
- [4] 钟声.地面与井下瞬变电磁法联合探测煤矿富水区域[J].山东国土资源,2016,32(7):71-74.
- [5] 蒋帮远.实用近区磁源瞬变电磁法勘探[M].北京:地质出版社,1998.
- [6] 韩玉雪.瞬变电磁激发激化效应的利用[J].工程地球物理学报,2006,3(5):366-369.
- [7] 高波,王传雷,刘金涛,等.瞬变电磁方法在河南某煤矿深部含水构造探测中的应用[J].工程地球物理学报,2006,(4):283-287.
- [8] 吴建功,林清援,高锐.地球物理方法及在地质和找矿中的应用[M].北京:地质出版社,1988.
- [9] 赵庆珍,安润莲,姚精选,等.瞬变电磁勘探技术在采空区中的应用[J].山西煤炭,2007,27(4):15-17.
- [10] 孔祥贵,杨卫亮,张伟强.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[J].山东国土资源,2014,30(3):84-87.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 刘衍高.矿井瞬变电磁法探测底板导(含)水构造[J].煤矿开采,2008,13(4):88-90.
- [14] 冯兵,孟小红,张斌,等.TEM框内回线装置发射框边界影响及消除方法[J].煤田地质与勘探,2010,38(5):61-66.
- [15] 梁爽,李志民.瞬变电磁法在阳泉二矿探测积水采空区效果分析[J].煤田地质与勘探,2003,31(4):49-51.
- [16] 范亮,钱荣毅.瞬变电磁法在煤矿采空区的应用研究[J].工程地球物理学报,2011,8(1):29-33.
- [17] 刘树才,刘志新,姜志海.瞬变电磁法在煤矿采区水文勘查中的应用[J].中国矿业大学学报,2005,34(4):414-417.
- [18] 王士党,梅西华,谢兴友.综合物探在寿阳煤矿水害探测中的应用[J].山东国土资源,2016,32(4):60-63.
- [19] 姜志海,岳建华,刘志新.矿井瞬变电磁法在老窑水超前探测中的应用[J].工程地球物理学报,2007,4(4):291-294.
- [20] 于景邗,刘振庆,廖俊杰,等.全空间瞬变电磁法在煤矿防治水中的应用[J].煤炭科学技术,2011,29(9):110-113.
- [21] 李云波,李好.矿井瞬变电磁法富水体超前探测原理及应用研究[J].矿业安全与环保,2013,40(2):69-72.
- [22] 韩自豪,魏文博,牛立军,等.瞬变电磁资料砂岩赋水性定量解释[J].山东科技大学学报:自然科学版,2007,(3):57.

## Application of Transient Electromagnetic Method in the Exploration of Water Conductivity in the Faults in Coal Mine

DU Xianjun

(No.5 Exploration Brigade of Shandong Coalfield Geological Bureau, Shandong Tai'an 271000, China)

**Abstract:** Water conductivity in the faults in coal mine is major element which caused coal water problems. Exploration and evaluation of water conductivity in the faults in coal mine are an important research subject. It is also an issue which should be solved in safe coal mining and mining layout. In this paper, it is pointed out that the spatial distribution of fault structures in the exploration area in the early stage of coal mining and its water bearing capacity are of great significance to guide the safety production of coal mines. Based on collecting geological, hydrological and geophysical data of Xin'an coal mine, by using transient electromagnetic prospecting technology, water conductivity and water bearing have been explored 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 coal mining process.

**Key words:** Fault; transient electromagnetic method; water conductivity; apparent resistivity