

煤矿采空区瞬变电磁法的研究与应用

薛丽萍 郭莹

山西省煤炭地质一四八勘查院有限公司

DOI:10.12238/gmsm.v7i6.1860

[摘要] 地球物理勘探是我国矿产资源勘探中非常重要的一种勘探方法。它是根据地球的物理性质进行勘探,其中瞬变电磁勘探是电法勘探的一种,以地球的电性差异为基础进行勘探。经过多年的发展,瞬变电磁在煤矿采空区探测中广泛应用。本文对山西某煤矿中采空区TEM探测应用进行分析,效果显著,为煤矿安全生产提供了地质保障。

[关键词] 采空积水区; TEM; 煤矿; 地球物理

中图分类号: TD82 **文献标识码:** A

Research and application of transient electromagnetic method in coal mine goaf

Liping Xue Ying Guo

Shanxi Coal Geology 148 Exploration Institute Co., LTD

[Abstract] Geophysical exploration is a very important exploration method in the exploration of mineral resources in China. It is based on the physical properties of the earth, among which the transient electromagnetic exploration is a kind of electrical exploration, based on the electrical differences of the earth. After years of development, transient electromagnetic is widely used in coal mine goaf detection. This paper analyzes the application of TEM detection in the goaf in a coal mine in Shanxi Province, and provides the geological guarantee for the coal mine safety production.

[Key words] goaf water area; TEM; coal mine; geophysical

引言

山西作为我国的煤炭大省,在多年来持续性大规模的煤炭开采过程中,虽创造了巨大的经济效益,但对生态环境的污染破坏,造成非常严重的负面影响。很多地区都出现煤矿采空区,围岩的力学结构平衡被破坏,严重威胁当地民众的安全。因此,高效准确的定位煤矿采空区,是矿山安全生产迫切需要解决的首要问题。

在采空区及其影响区域范围内,地层的地球物理性质会发生变化。基于地层物性差异的变化而进行地球物理勘探,可以获得比较准确的采空区信息。多年来,已有许多学者对采空区进行了广泛而深入的研究,提出了对采空区物探方法的选择。目前,在采空区探测领域中,常用的勘查技术主要是钻探和物探。钻探技术可以高效直观的反映出地层情况,不过缺陷也很明显,如成本高、施工效率低、周期长、容易受到各方面因素干扰等。电法勘探是煤矿采空区勘探中应用最广泛的^[1]。

我国很多专家学者对采空区采用瞬变电磁法(TEM)探测开展了广泛的研究。陈大磊等在潍坊市坊子煤矿采空区采用电性源短偏移距瞬变电磁法(SOTEM),探测实例表明在城镇环境下TEM技术探测深部采空区的可行性^[2];孙海川等在甘肃魏家地煤

矿采空区进行了三种方法的瞬变电磁探测对比,多激励源瞬变电磁探测效果相对更好,符合工区实际^[3];张帆、冯国瑞等以马家岩煤矿地质条件为基础进行采空区建模,与瞬变电磁测深结果进行对比,结果可靠有效^[4];崔迎龙等在辽源煤矿进行瞬变电磁勘探,经过资料采集、处理解释,得到异常五处,与钻工验证吻合度很高^[5]。

本文选取山西某煤矿的TEM工程为例进行阐述。

1 工区地质与地球物理特征

本次地面电法目的层共两层,分别为3号煤层及K5灰岩含水层。

勘查区内3号煤层总体为走向北东,向北西倾伏的背斜构造地层倾角总体 2° ~ 23° ,煤层倾角一般在 10° 左右。3号煤层埋深变化范围在180~400m之间(勘探区平均高程约970m)。勘探区东南部背斜轴部3号煤层埋藏最浅,埋深仅180m左右;西北部3号煤层埋藏最深处,埋深约400m左右。K5灰岩灰岩溶裂隙水富水性不均一,平均厚度4米左右。

瞬变电磁法是探测地层富(积)水有效的方法,其地球物理的勘探原理是:电性在稳定沉积的地层横向上变化不大,但是当地层富(积)水区时,水平方向的均一性被打破,与周围正常地层

相比,二者之间有明显的电性差异。地层含煤时,其平均电阻率值要高于非煤系地层,其中,经常被用来作为煤系地层电性标志层的是电阻率最高的基底奥陶系灰岩。当煤层被开采后,会形成采空区。通常采空区内有“三带”划分,冒落带岩性疏松,裂隙带内裂隙发育,导水性都较强,电阻率与岩石的湿度或含水饱和度成反比,采空区会表现为明显低阻异常。目的层视电阻率在纵向和平面上的低阻异常形态来圈定其富水区的分布范围,并根据低阻异常的相对强弱来推断其富水性的强弱。这是瞬变电磁勘探的前提条件。

本次勘探井田内地表大部为第四系黄土所覆盖,仅有零星基岩露头。勘探区内地层由浅到深有明显的电性差异。根据以往勘探经验,电阻率从低到高依次为二叠系上部、下部、石炭系、奥陶系、新生界第四系。

2 数据采集处理解释

2.1 数据采集

本次勘查地质任务主要是解决采空积水的问题,通过前文论述,瞬变电磁法(TEM)能够达到勘探目的,同时使用激发极化法对瞬变电磁法勘查解释的异常进行验证。由地面调查可知本次勘查区地形起伏较缓、目的层埋深较大,因此选择大定源回线装置进行扫面工作,发射线框大小根据试验确定,测量范围为框中心1/3区域内,此装置发射功率大,探测深度大且施工效率更高。激发极化法采用四极测深装置进行异常区的验证。

在电法勘探投入生产前,需为本次工作选择最佳施工参数,首先进行确定野外工作参数的试验工作。合理选择工作方法、施工参数是完成勘探目的任务的关键,因此在正式生产之前必须进行充分的试验工作。

本次瞬变电磁勘探工作全程严格执行相关规范及规程进行,确保野外原始记录的质量。对所有物理点进行质量评级,瞬变电磁所有生产物理点全部合格,废点0个,甲级率87.1%,乙级率12.9%。甲级率满足规范及技术规程要求。

2.2 数据处理

瞬变电磁数据处理,联合采用Surfer软件、Grapher软件、winsurf数据处理软件进行数据处理软件,绘制多测道电压剖面及断面图、平面图。

预处理:野外采集数据在导入专业软件处理前,应先转换数据格式,对数据质量进行逐点检查,将不合格数据去除,重新对数据编录整理,为下一步软件处理数据做准备。

滤波:采集数据时不可避免会存在高压干扰等各种干扰因素,首先通过滤波、去噪对原始数据进行处理,剔除畸变数据,通常选用克里金插值法及低通滤波进行滤波,压制干扰信号。

关断时间校正:根据瞬变电磁理论,发射波形是阶跃波,实际工作中由于电磁感应现象,发射电流关断时,有一些后沿时间的关断波形,对波形产生影响。所以必须进行关断时间的校正。

平滑:原始采集数据中经常会出现完全不符合电磁场衰减的规律、上下跳动很大的突出点,必须对波形进行平滑。

视电阻率的计算:根据所选装置的计算公式计算视电阻率。本文为大定源回线装置。在对数坐标下,横坐标为二次场观测时间,纵坐标为测得的归一化感应电动势。

时深转换:瞬变电磁仪器野外观测到的是二次场电位随时间变化,为便于对资料的认识,需要将这些数据转换成电阻率随深度的变化。

反演:对上述步骤得到的数据进行反演,可得到所需的电性特征图件,进一步结合实际地质、测井等资料进行综合解释。

地形校正:根据测量、地质和钻探等资料,为消除地形影响,真实反映煤层的赋存状态,需对TEM计算结果进行地形校正。

绘制参数图件:选定单条测线数据,绘制各测线视电阻率断面图,即电性在每条测线方向随深度的变化情况。绘制出不同层位视电阻率顺层切片图,即沿同一层位电性特征变化情况。这些图件是后续资料分析解释的基础材料。

2.3 资料解释

电法资料的处理已经绘制出各测线表征电阻率随深度变化情况的视电阻率断面图,可以结合电阻率的变化对测区内可能存在的地质异常区进行解释。然后参照煤层底板等高线来绘制各煤层顺层视电阻率切片图,对异常区分布规律重点研究。结合以往地质资料中描述的异常区分布规律和分布范围,与本次数据新得到的断面图、切片图进行对比分析,最终得出测区内各煤层异常区分布。

异常划分的关键是确定异常阈值,通常根据代表性已知地质体(一般如已知的积水采空区、含水构造等)特征来对比确认。如果缺乏足够的已知信息,也可以通过对实测数据进行数理统计得到具有一般意义上的异常阈值:

把主要目的层区段的实测视电阻率数据分成五组:

$$< \bar{\delta} - \delta_n, \bar{\delta} - \delta_n \sim \bar{\delta} - \frac{\delta_n}{3}, \bar{\delta} - \frac{\delta_n}{3} \sim \bar{\delta} + \frac{\delta_n}{3},$$

$$\bar{\delta} + \frac{\delta_n}{3} \sim \bar{\delta} + \delta_n, > \bar{\delta} + \delta_n, \text{ 并设定 } \bar{\delta} - \frac{\delta_n}{3} \text{ 为异常阈值。}$$

$$\delta < \bar{\delta} - \frac{\delta_n}{3} \text{ 的数值定为相对低阻异常。式中 } \bar{\delta} \text{ 为参数算术}$$

平均值, δ_n 为参数的标准偏差值。

综合剖面图的横坐标设定为点号,纵坐标设定为高程,色标从蓝-绿-黄-红的渐变表征视电阻率值逐渐降低。测区地层自下而上依次为奥陶系、石炭系、二叠系和第四系。可见:中上部视电阻率较低的区域对应为测区二叠系山西组,下部视电阻率较高的区域对应二叠系下部、石炭系以及奥陶系老地层的电性特征。

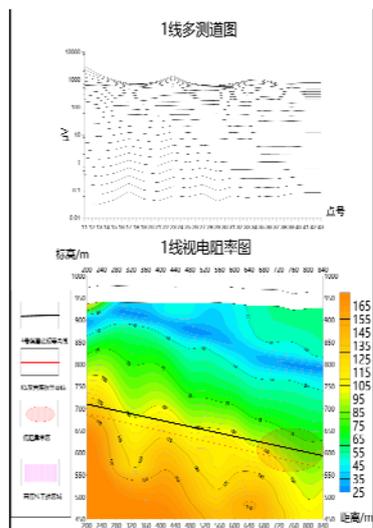


图1 1测线视电阻率剖面图

图1为1测线视电阻率剖面图,图中黑线代表3号煤层底板等高线,红线代表K5灰岩底板等高线。纵向上,从浅到深视电阻率值按照由中—低—中—高的电性特征,符合工区的电性特征。横向上,随着煤层的起伏形态,测线在680—840m处视电阻率出现凹陷形态,呈现低于100欧姆米的低视电阻率异常。由于该处不存在采空区,因此推断为岩层相对富水引起的低阻异常。

本次勘探目的为探查3号煤层采空积水区及K5灰岩相对富水区,为更好地了解勘探区内低阻异常的空间分布,以3号煤底板标高以及K5灰岩底板标高做了视电阻率顺层切片。顺层切片图的数据来源于视电阻率断面图,分别沿着剖面方向分别读出对应测点在某一深度上的视电阻率值,将不同测线、不同测点,某一固定层位的数据拼接在一起,构成顺层切片的数据体,一般主要有三列数据,包括X、Y坐标以及对应的视电阻率值。

在顺层视电阻率切片图上,如果电性分布稳定,不存在低阻影响,视电阻率值没有明显的畸变,在切片上视电阻率值分布稳定,等值线分布均匀、平缓;反之,如果地层含有低阻富水区域,在切片图上视电阻率值会减小,等值线产生扭曲、变形,有些会形成圈闭,有些则呈现出密集条带状。

勘查区内3号煤层存在两处采空区均位于勘查区南部,根据以往资料得知,勘探区内3号煤层埋深变化范围在180—400m之间(勘探区平均高程约970m)。煤层埋藏最浅的地方位于勘探区东南部背斜轴部,埋深约180m左右;3号煤层埋藏最深处位于勘探区西北部,埋深约400m左右。勘探区内3号煤层厚度较稳定,总体在3—7m,呈放射状分布,东北部较薄,西北部较厚。

绘制3号煤层视电阻率顺层切片图,按照标准划分低阻异常区5个。

Q3-1、Q3-2面积较大,根据已知资料,结合资料,该位置不存在采空及采空破坏区。初步推断为岩层富水引起的低阻异常。

Q3-3部分位于3-403工作面采空破坏影响区内,处于高压线干扰区之外,分析为3号煤层采空破坏影响区积水引起的低阻异常。

Q3-4横跨3-403及3-404采空工作面,推断为两个工作面采空积水引起的低阻异常,但Q3位于两条高压线影响区,且附近存在地面建筑干扰,对解释精度存在一定的影响。Q3-4位置位于工作面煤层地板等高线相对较高处,因此可靠性较差。

Q3-5区域位于采空破坏区之外,因此初步分析为岩层富水引起的低阻异常。

根据分析得到的采空区所处位置,综合分析水文地质条件,采用老窑采空区积水量公式对其积水情况进行估算,估算公式为:

$$Q_{\text{积}} = K \times M \times F / \cos \alpha$$

式中: $Q_{\text{积}}$: 采空积水总量(m^3); M : 采空区平均采高线或煤层厚(m); F : 采空积水区的水平投影面积(m^2); α : 煤层倾角($^\circ$); K : 采空区充水系数(充水系数本次取0.3); 3号煤层Q3-3积水量约为14220 m^3 , Q3-4积水量约为12240 m^3 。

3 结论

本次瞬变电磁勘探基本查明勘探区内3号煤层采空积水范围、顶板富水区的范围,通过估算采空积水区的积水量,基本查明勘探区内K5灰岩的相对富水区的范围。本次试验充分说明了瞬变电磁勘探方法在煤田勘探中的有效应用。随着计算机水平的飞速发展,瞬变电磁数据处理解释必将朝着更加精细化的方向发展,更好的为煤田安全提供保障。

【参考文献】

- [1]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.
- [2]陈大磊.SOTEM法在城镇强干扰环境下的应用——以坊子煤矿采空区为例[J].物探与化探,2020,44(5):1226—1232.
- [3]孙海川.多激励源瞬变电磁探测方法在煤矿采空区的应用[J].物探与化探,2022,46(5):1306—1314.
- [4]张帆.瞬变电磁法勘探煤矿不同层间距双层积水采空区的可行性研究[J].物探与探,2023,47(5):1215—1225.
- [5]崔应龙.瞬变电磁法在吉林省辽源市煤矿采空区勘探中的应用[J].工程地球物理报,2024,21(4):587—596.

作者简介:

薛丽萍(1989—),女,汉族,山西繁峙人,硕士研究生,工程师,山西省煤炭地质一四八勘查院有限公司,研究方向:煤田地球物理资料处理解释。