

大定源瞬变电磁法在矿山地质灾害勘查中的运用

徐 彬 (山西地宝能源有限公司, 山西 太原 030045)

摘要: 水灾和瓦斯突出是常见的矿山地质灾害, 以煤炭开采为例, 水害是引起安全事故的最主要原因。因为煤炭在开采过程中, 必然会破坏岩层原有的天然平衡状态, 那么周围水体就很可能通过陷落柱和隔水层等岩层薄弱部位进入矿井导致突水事故的发生, 严重影响煤炭的安全开采。现如今, 大定源瞬变电磁法在地质灾害勘查中应用效果显著, 可准确判断地层的富水性, 是地球物理探测中最为常用的探测手段。

关键词: 大定源瞬变电磁法; 矿山地质灾害; 勘查应用

本文主要对某矿山的断层和陷落柱的富水性进行瞬变电磁探测, 通过分析测线的电性剖面, 来具体解释煤层顶板和底板的电阻率属性, 并以此为依据判断陷落柱和断层的导水性和富水性, 进而为地质灾害防治提供重要依据。

1 研究区概况

本矿区位于山西省境内, 勘测区域地层由里到外分别为: 奥陶系、石炭系、二叠系与第四系, 并且新生界地层接合处不整合, 覆盖于各时代的基岩之上。除此之外, 该矿区位于山地侵蚀区, 探测区表面存在着发达的水系, 根据地质资料显示, 该矿区地层存在着明显的电性差异, 与非煤系地层相比, 煤系地层的电阻率更高, 其中又以基底奥陶系灰岩的电阻率最高, 在区域内构成了一个完美的电性标志层。断层破碎带由于富水, 所以电阻率相对较低, 与周围岩层相比, 也存在着明显的电性标志, 这些优越的前提条件都为大定源瞬变电磁法的应用奠定了良好基础。

2 大定源瞬变电磁法的应用

2.1 瞬变电磁法的应用原理

通俗来说, 瞬变电磁法是一种时间域电磁探测法, 也被称之为纯异常场法, 以电磁脉冲作为场源, 通过不接地回线向被测区域发射一次场, 此时地下介质产生的感应二次场会随着时间的变化而变化, 然后在断电期间, 工作人员利用仪器进行信号收集就可明确探测目标的地球物理特征, 是一种十分有效的地球物理探测方法。其工作原理为: 在探测区域表面安装接地电极或者铺设不接地线框并输入电流, 如果回线中的电流突然断开, 需要对感应涡流进行激励用来维持已经存在的磁场, 涡流场会随着时间的流逝以等效涡流环的形式向外扩展并向下传播, 那么工作人员就可以利用接地电极或者不接地线圈, 探测到二次涡流磁场的变化情况, 并以此作为研究浅层或者中深层地电结构的直接依据。

相比于其他的物探方法, 瞬变电磁法应用在矿山地质勘查中有着更为明显的优势和特点。首先, 瞬变电磁法以二次场为研究对象, 这极大程度的降低了一次场的干扰, 因此探测精度更加准确, 探测结果更加权威; 其次, 瞬变电磁法的穿透能力更高, 可以有效穿透高阻覆盖层; 最后, 瞬变电磁法可以进行同点组合探测, 因

此能够与探测目标保持高度的耦合性, 同时对高阻围岩中的低阻具有更加敏感的反应。

2.2 瞬变电磁法一维正演

2.2.1 一维正演方法

大定源瞬变电磁法的正演计算需要把频率域的正演结果换算成时间域, 计算方法相对较多, 我们以最常用的余弦变换多项式近似算法为例进行说明。

阶跃电流供电是瞬变电磁场探测的能量来源, 由傅立叶频谱分析理论我们可知, 所有电流都可以被分解成许多的余弦波, 每个斜波都对应着不同的频域响应, 并且这种响应都对应着各自的相位和振幅值。如果能够在时间域中将斜波激起的电磁响应进行叠加, 就可以得到瞬变电磁信号。谐变电磁场与阶跃电流产生的瞬变电磁场之间有如下等式成立:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) G(\omega) e^{-i\omega t} d\omega$$

其中, $f(t)$ 、 $F(\omega)$ 分别代表时间域和频率域的电磁场, $G(\omega)$ 代表阶跃电流的傅立叶谱。所采用的发射波也多为阶跃波, 并满足下述等式:

$$I(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ I, & t \geq 0 \end{cases}$$

因为傅立叶谱 $G(\omega) = -\frac{1}{i\omega}$, 所以有如下等式成立:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{F(\omega)}{-i\omega} e^{-i\omega t} d\omega$$

上述公式就是时间域和频率域之间电磁场值的转换关系式。通过公式不难看出, 频率域谐变场 $H(\omega)$ 与时间域瞬变场 $H(t)$ 存在着如下的对应关系式:

$$H(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{H(\omega)}{\omega} e^{-i\omega t} d\omega$$

将公式进行改写, 我们可得:

$$H(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\text{Re}[H(\omega)]}{\omega} \sin \omega t d\omega$$

由此可以看出, 对时间域电磁响应的求解中转化为对余弦积分的求解, 余弦变换多项式近似算法是国际上通用的数值计算方法。技术人员可以借助狄拉克函数序列完成多项式求和。通过傅立叶变换的频率微分性质公式:

$$F^{-1}[F^n(\omega)] = (it)^n f(t)$$

可知:

$$f(t) = \frac{2}{\pi t^2} \sum_{k=0}^n \frac{F(\omega_{k+1}) - F(\omega_k)}{\omega_{k+1} - \omega_k} (\cos \omega_{k+1} t - \cos \omega_k t)$$

借助上述公式就可将频率域的响应转换成时间域的响应。

2.2.2 一维反演方法

所谓一维反演方法就是需要借助正演模型计算出时间域的电磁响应,然后再结合电阻率数据进行数据反演。

假设电源断开瞬间的延迟时间为 $\{t\}$,并获得一组磁场响应函数 $\{\rho_i\}$,我们可以将视为磁场垂直分量的时间偏导数 $(\partial B_z(t))/\partial t$,也可以将它作为电阻率公式,一维反演的最终目的是建立起由一组参数描述 $\{\gamma_i\}$ 的模型, $\{\gamma_i\}$ 为高阶非线性函数。在反演过程中,技术人员需要取模型参数和响应函数的对数,然后用迭代的方法求解线性方程:

$$A \Delta \ln \tilde{\gamma} = \Delta \ln \tilde{\rho}$$

其中,A是线性反演的雅可比矩阵,元素为:

$$a_{ij} = \frac{\gamma_j}{\rho_i} \frac{\partial \rho_i}{\partial \gamma_j}$$

通过公式可知,雅可比矩阵A决定了磁场的稳定性和迭代收敛速度。

3 资料分析和解释

3.1 资料初步分析

本次探测区域的瞬变电磁测深曲线相对简单,电阻率前期较高随后逐步下降,并且局部下凹或者平缓,尾值逐步上升,共有4个电性层反应。第一电性层为第四系覆盖反应,第二电性层为二叠系地层,具有较低的电阻率;第三电性层为石炭系地层,电阻率相应升高;第四电性层为奥陶系灰岩地层,电阻率逐渐升高。

3.2 解释原则

首先要对已经取得的数据资料进行反演计算,明确不同深度的电阻率值,然后结合瞬变电磁场理论,就可以根据二次感应电压值判断出地层的电阻特性。通常情况来说,电压值与电阻特性成反比,也就是电压值越高那么电阻特性越低,反之亦然。在此次矿山探测区内,分布着并不均匀的煤层顶底板含水结构体,同时受断裂构造的影响,地层电性分布状况异常明显,因此是一个与围岩体有较大电性区别的低阻电性体。基于此,技术人员通过对电磁探测结果的分析得出这样的结论:如果地层赋存情况正常则为高阻反应,如果出现低阻反应则代表地层中有含水结构体,需要在开采过程中提前做好突水的预防措施。

3.3 断层的富含水性评价

该矿的探测区域内共存在8条断距大于5m的断层,包括6条正断层和2条逆断层,利用大定源瞬变电磁法探测可知,电阻率的深度剖面图岩层含水层均为高阻,因此可以判断为此区域不富水。以DF1断层为例,该断层为正断层,走向NE倾向SE。如下图所示,为L140线的瞬变电磁电阻率深度剖面图。

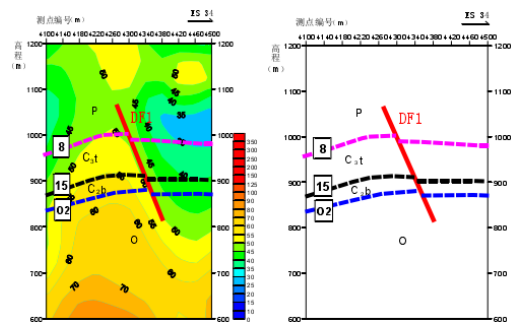


图1 DF1断层在L140的电阻率深度剖面图

由图1不难发现,该断层具有较高的电阻率,因此可以得出本断层不富水。

3.4 陷落柱的富含水性分析

在本次探测区域内共存在陷落柱13个且长轴全部大于20m,如果陷落柱具有较强的富水性,则表现为在垂直方向上具有异常的低电阻率;反之,如果陷落柱不富水,则表现为垂直方向异常的高电阻率;如果陷落柱富水性较弱,那么其电阻率将与围岩的电阻率相近,表现为正常的中等电阻率。基于此,技术人员就可以根据电阻率的深度剖面图来具体解释工作区陷落柱的富水性。在本次探测中,13个陷落柱绝大多数呈现出中阻表现,只有少数几个呈现出低阻表现,代表该陷落柱具有一定的导水性,技术人员需要提前采取有效措施进行预防。

综上所述,随着矿山开展安全问题的不断涌现,对矿山地质灾害进行全面勘测有着积极的社会意义和经济意义,水害是导致矿山地质灾害的主要原因之一,所以如何才能对地质构造的富水性和导水性进行精准判断,也已经成为矿山地质勘查的核心任务。需要技术人员对地层地质进行全面勘测,准确评估断层和陷落柱的导水性,并提前采取有效措施预防矿井突水。

参考文献:

- [1] 李建慧,朱自强,刘树才,曾思红,赵云威.模拟退火法计算大定源瞬变电磁法的视电阻率[J].石油地球物理勘探,2011,46(01):138-142+164+175.
- [2] 刘焱,刘树才,闫赛,苏林.大定源瞬变电磁法在探测煤矿采空区富水性中的研究[J].工程地球物理学报,2011,8(01):10-15.
- [3] 包乃利,汤泽,等.大定源瞬变电磁法探测采空区应用实验研究[J].工程地球物理学报,2018,15(02):166-170.
- [4] 包乃利,刘鸿福,余传涛.大定源瞬变电磁法激励场及边框效应研究[J].煤田地质与勘探,2014,42(02):80-84.
- [5] 顾光跃,王东伟.大定源瞬变电磁法在探测煤矿采空区中的应用[J].中国煤炭,2014,40(10):35-38.
- [6] 李建慧,等.大定源瞬变电磁法矩形发射回线激发的电磁场[J].物探化探计算技术,2008(02):154-157+83-84.

作者简介:

徐彬(1979-),男,山西太原人,汉族,2013年毕业于太原理工大学资源勘查专业,本科,工程师,现从事物探专业工作。