

瞬变电磁超前探测观测系统及其成果剖面

张超

国能宁夏煤业能源工程有限公司环境安全工程分公司 宁夏 银川 750021

DOI:10.12238/etd.v3i11.6839

【摘要】：本文通过对瞬变电磁超前探测常规观测系统下的成果生成进行实现，并对常规观测系统的深度视电阻率数据进行处理，生成三维数据，采用三维软件进行显示。通过对比三维显示发现俯角、仰角剖面，相对实际有一定变形。即实际俯角、仰角剖面是一圆锥面，而实际探测中通常对其进行简化处理，绘制二维平面进行展示。同时，提出了两个解决方案，一是对观测数据进行立体化，然后三维插值剖切，得到真倾角剖面。二是对观测系统优化，进行真视倾角转换，确保各剖面中各探测方向共面，或者采用生成纵切面的观测系统。以降低探测结果的变形。

【关键词】：瞬变电磁超前探；观测系统；视电阻率剖面图；圆锥面

中图分类号：TD15

Discussion on Transient Electromagnetic Advanced Detection and Observation System and Its Achievement Profile

Chao Zhang

Environmental Safety Engineering Branch of Guoneng Ningxia Coal Energy Engineering Co., Ltd., Ningxia Yinchuan 750021

Abstract: In this paper, the results of transient electromagnetic advanced detection are generated by the conventional observation system, and the depth visual resistivity data of the conventional observation system is processed to generate three-dimensional data, which is displayed by three-dimensional software. By comparing the three-dimensional display, it is found that the depression angle and elevation angle profiles have a certain deformation relative to the actual situation. That is, the actual depression angle and elevation angle profile are a conical surface, and in the actual detection, it is usually simplified and a two-dimensional plane is drawn for display. At the same time, two solutions are proposed, one is to three-dimensional the observation data, and then the three-dimensional interpolation section is obtained to obtain the true inclination profile. The second is to optimize the observation system, carry out true visual inclination conversion, ensure that each detection direction in each profile is coplanar, or adopt an observation system that generates a longitudinal section to reduce the distortion of the detection results.

Keywords: Transient electromagnetic profiling; Observation system; Apparent resistivity profile; Conical surface

引言

瞬变电磁法是一种高效、无损、经济的物探方法。通常通过发射线圈发射一个脉冲信号激励地下岩体产生二次场，然后对接收线圈测得的感应电压进行一维反演从而得到地下介质的信息。如今，该方法已经在隧道、煤矿掘进工作面超前探中广泛应用。实际操作过程中，通过不同水平角、倾角对前方进行探测，经过数据处理、坐标转换、制图，形成对掘进前方不同倾角的视电阻率剖面图，以呈现前方电性情况。然而对于常用观测系统所形成的图件，其与实际的对应情况有一定偏差，探测中对于这一点能够清楚认识到。

1 矿井瞬变电磁探测原理

瞬变电磁法是一种人工场源的时间域电磁法。其基本原理是采用不接地回线或电极向探测区域发送脉冲式一次电磁场，即在电导率为 σ 、磁导率为 μ 的各向同性均匀大地表面铺设面积为零的矩形发射回线，在回线中供阶跃脉冲电流，

将产生一个向地下传播的一次瞬变磁场，在该磁场的激励下，在岩体内产生涡流，涡流大小取决于岩体的导电程度。在一次场消失后，根据楞次定律该涡流不会立即消失，它将有一个过渡的衰减过程，如图1。

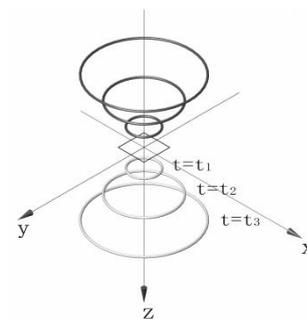


图1 全空间感应电流环扩散示意图

随之将产生一个不断衰减的感应电磁场(二次场)向地表传播，在地表使用接收线圈或接地电极观测二次场随时间变

化的切面曲线特征，它将反映地下岩体的电性分布情况，从而判断地下不异常体的形态、位置和电性特征等的赋存情况。在瞬变过程的早期阶段，频谱中以高频成分居多，此时涡旋电流主要分布在邻近地表位置，由于趋肤深度的高频效应，阻碍电磁场向岩体深部传播，因此早期阶段的瞬变场主要反映地层的浅部的地质信息。在晚期阶段，高频成分被岩体中导电介质所吸收，低频成分开始占据主导地位，在这一阶段，局部岩体中的涡流，实际上已全部消失，而不同电性层所产生的涡流磁场互相之间连续作用使场平均化，这时瞬变场的大小主要被地电断面总的纵向电导影响。

2 超前探测系统及数据采集

2.1 掘进工作面瞬变电磁超前探测观测系统

掘进工作面瞬变电磁超前探测时，通常在掘进工作面处，以同点等间隔水平角度布设测点，如测点间间距 15°。每个测点布置以不同倾角对掘进工作面前方地层进行探测，形成对顶底板岩层的不同角度的视电阻率剖面图，如 30°、0°、-30°。观测系统如图 2 所示。

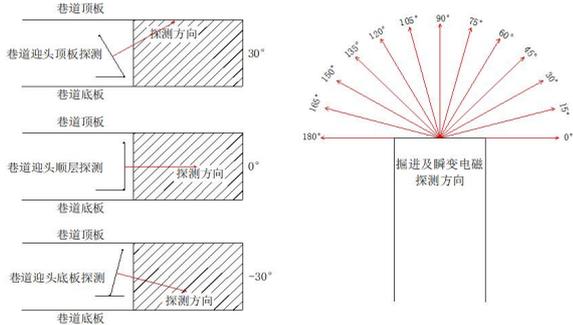


图2 掘进工作面瞬变电磁超前探测观测系统示意图

2.2 数据采集

采集过程中，在掘进工作面处以按照观测系统布置进行探测，即根据不同软件数据处理习惯，从左帮或右帮间隔等水平角度进行观测，每个方向又按照不同倾角从上到下或从下到上进行探测，形成各探测方向的接收时间-感应电位等参数的数据文件。

3 数据处理

数据处理过程主要是将采集的原始数据由时间-感应电位数据文件，通过数据处理软件，转换成对应的时间-视电阻率数据文件，再转换成深度-视电阻率数据文件，具体步骤如下：

3.1 数据预处理流程

将原始数据通过软件进行挑选、平滑、电感校正、曲线偏移、小波变换、晚期视电阻率计算、层厚累加法视深度计算。

3.2 视电阻率计算

软件对处理后的时间-感应电位数据文件，根据发射回线单匝面积、匝数，接收回线单匝面积、匝数，接收的二次场衰减时间、接收的归一化二次场电位、真空磁导率、及全空间校正系数等按照公式进行计算得出时间-视电阻率数据文件。

3.3 时深转换

软件对处理后的时间—感应电位数据文件，按照发射电流、发射回线边长、t时刻等进行层厚累加法视深度计算出每个接收时刻的视电阻率对应的深度。

3.4 视电阻率-深度剖面图数据

该文件为通过数据处理软件将瞬变电磁接受到的二次场感应电动势及接收时间，通过软件转化成视电阻率和深度的数据文件，如图 3，横向为测点，即不同平面角。纵向探测深度。

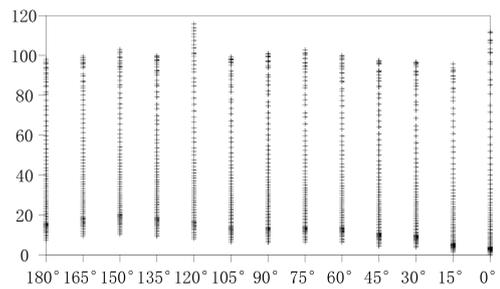


图3 30°倾角各平面角视电阻率-深度示意图

3.5 坐标转换

经过坐标转换后，形成即 x、y、ρ三个参数的数据文件，绘制成图后如图 6 所示。x=L×cosa，y=L×sina,ρ=ρ1。

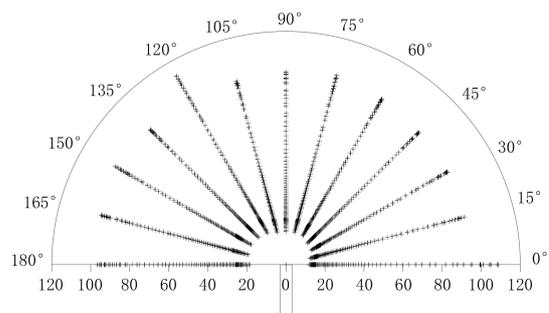


图4 30°倾角各平面角视电阻率深度示意图

3.6 插值生成等值线图。

对转换坐标后的 30°倾角各平面角视电阻率数据文件进行克里格插值生成绘制等值线图。

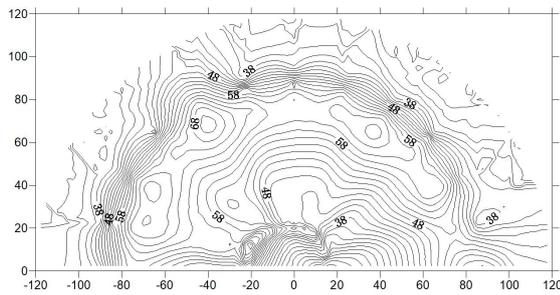


图5 30°倾角剖面视电阻率等值线图

4 数据立体化

在数据处理进行到 3.4 视电阻率-深度剖面图数据后，对数据进行立体化，图 5 中从左至右依次是发射线圈与巷道右帮的法向的夹角 α ，剖面倾角为 β 。以探测方向为 Y 轴，探测方向左右为 X 轴，向上为 Z 轴。则每一处深度的视电阻率的空间坐标如下：

$$\begin{aligned} X &= L * \cos\beta * \cos\alpha \\ Y &= L * \cos\beta * \sin\alpha \\ Z &= L * \sin\beta \end{aligned}$$

数据经坐标转换后，生成三维数据，绘制成图后，即得到图 8。以 30 倾角剖面为例，根据观测系统设计，每个平面角处均以 30 倾角进行探测。可以看出这样实际组成了一个半圆锥面。实际中通常默认、误认为是倾角 30°的切面。而实际并不是切面，是一个半圆锥面，经过坐标转换后，经过三维立体绘图便可以清晰看到该观测系统下的俯仰角剖面形态。即带倾角探测剖面实际是视电阻率曲面展开面，即是一个以探测倾角的补角的 2 倍为顶角的半个锥面。且纵向随着倾角角度增加整体变形增大，即圆锥面角度越小（因此，所出剖面小于 $\pm 30^\circ$ ）；横向探测方向与掘进方向夹角越大变形越大，即在两帮位置变形最大（因此，有的观测系统，缩

小探测方向较掘进方向夹角，减小变形）。

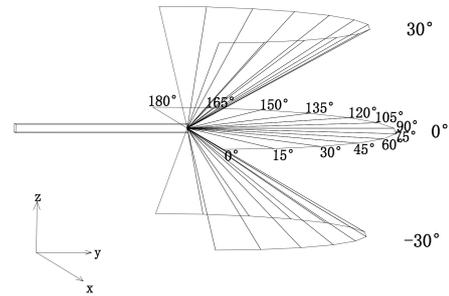


图6 探测数据三维显示图

5 结语

瞬变电磁超前探常规观测系统的优点是，方便理解和操作执行，但成果存在变形问题。通过对常用观测系统探测数据进行三维处理成图后，直观展示出了俯、仰角的圆锥剖面，即常规得到的剖面为假 β 角度视电阻率剖面图，与实际情况有一定的误差。为消除该变形和误差，一是可以适当加密纵向探测角度间隔，尝试对数据进行三维处理，采用三维软件进行网格插值，形成三维数据体，然后生成真 β 角度视电阻率剖面图。二是对观测系统修正，进行真视倾角转换，确保各剖面中各探测方向共面，或者采用生成纵切面的观测系统，以降低探测结果的变形。

参考文献：

[1]于景邨,矿井瞬变电磁法勘探[M].徐州:中国矿业大学出版社,2007:60-68.
 [2]刘志新,岳建华,刘仰光.扇形探测技术在超前探测中的应用研究中国矿业大学学报[J],2007,36(6):822-825.
 [3]李明星,程久龙,王玉和.矿井瞬变电磁超前探测地质异常三维可视化[J],煤矿安全,2011,42(11):61-64.