

地下磁流体探测方法中探测结果的 图像化处理

陈红钊,方前程

(湖南省煤炭科学研究所,湖南长沙410004)

摘要:研究了地下磁流体探测方法中对探测结果的图像化处理,给出了成图方法.文中将探测数据经过归一化、有限元解析及插值等相关处理,然后成图.地下水和地下裂隙,其截面的基本轮廓通过不同的颜色表现出来,由此实现了地下磁流体探测方法中对探测数据的图像化处理,从而寻求到一种新的多样化的解释和展示方法,提高和完善了地下磁流体探测方法.

关键词:地下磁流体;图像处理;有限元;地下水;裂隙

中图分类号:P641.135 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-9102(2014)04-0054-04

Visualization processing for the detect result of Underground Magneto Fluid Detection method

CHEN Hongzhao, FANG Qiancheng

(Hunan Coal Scientific Research Institute, Changsha 410004, China)

Abstract: This paper studies the visualization processing for the detect result of underground magneto fluid detection method, and the mapping method is presented. In this paper, it uses normalization, the finite element analysis and interpolation to process the data, and then into a graphic. Groundwater and underground fissure, the cross section of the base profile is represented by different colors, thus it realizes the visualization processing for the detect result of underground magneto fluid detection method, and seeks out a new diverse interpretation and display methods, improves and perfects the underground magneto fluid detection method.

Key words: Underground Magneto Fluid Detection; visualization processing; finite element analysis; groundwater; underground fissure

经过多年的研究与应用,地下磁流体探测方法在对地下水及地下裂隙的探测方面应用效果良好,被证明是一种十分有效的方法^[1-4].与传统物探方法相比,该方法具有2点优势:(1)能够主动区分出探测对象的物质属性:是地下水,还是金属矿.因此其探测结果具有唯一解性,克服了传统电法等物探方法探水结果存在多解性的不足.传统物探方法

仅通过低电阻率来判断是否存在地下水,无法很好地识别水和金属.(2)探测深度比较大,理论上可探测到距地面1 000 m以下的水或裂隙.虽然如此,但是目前地下磁流体探测方法在对探测结果进行解释和展示等方面还有不足,方法单一,仅使用四维物探图来对数据结果进行分析和解释,如图1所示,其展示的结果比较抽象、可读性差,因此亟待

进一步改进和完善.将探测结果以图像的形式展现出来,不仅直观也便于理解,是一种很好的数据解释手段.因此,论文初步研究了地下磁流体探测方

法中对探测数据的图像化处理,从而使对探测结果的分析 and 解释呈现多样化,对提高和完善地下磁流体探测方法有重要意义.

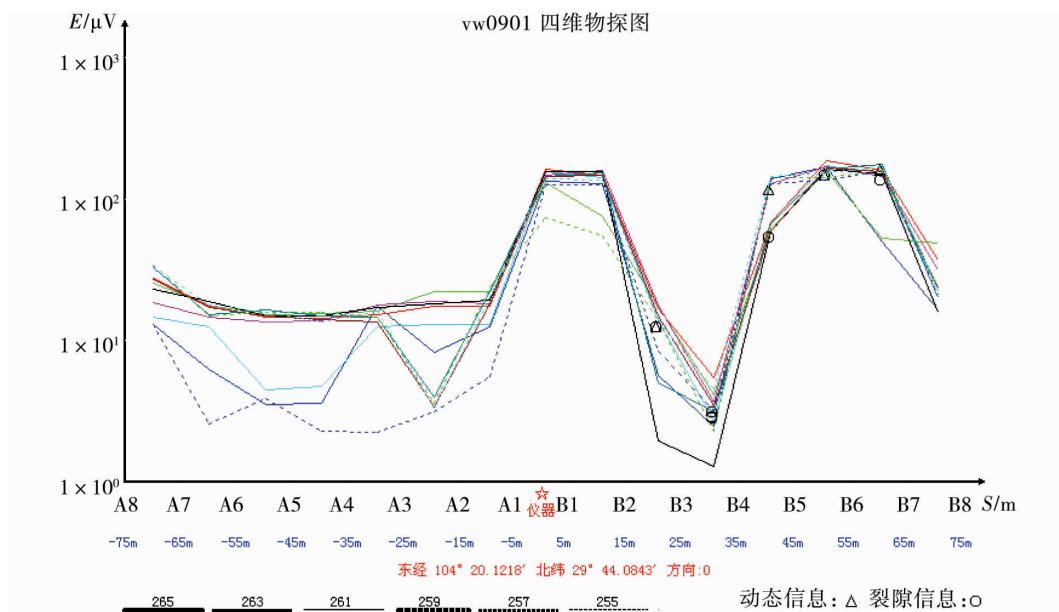


图1 测线四维物探剖面图

图1中,纵坐标为电场幅值, μV ;横坐标表示探针的相对位置, $A_n(B_n)$ 表示电缆A(B)上的第 n 根探针,而与探针 n 相对应的数字表示该探针到仪器的实际距离;仪器所在点表示位置起点(零点),经纬度为探测时仪器所在位置的地理坐标,方向表示电缆的布置方向相对于地理北极的方向角;图中最下方不同形状的短线及其对应数字,表示不同的探测深度;动态信息表示在对应位置有动态水,裂隙信息表示在对应位置有地下裂隙.以图中曲线最低处的小圆圈为例,其表示的信息是:在探针 B_3 和 B_4 之间,距地面约265m处存在裂隙.

1 地下磁流体探测的基本原理及其工作方法

1.1 地下磁流体探测方法的基本原理

根据法拉第电磁感应定律,导体在切割磁场的磁感线时会在导体中产生感应电流,同时也会产生感应电场,如果该感应电场是变化的那么就会产生电磁波.地下磁流体探测方法是依据这一基本原理建立起来的.

地球本身存在一个比较稳定的地磁场,地球的内部及近地空间存在磁力线.

地下水由于含有多种矿物质,是一种良导体,

其在流动过程中切割地磁场的磁力线时就会发生电磁感应,从而产生瞬变电磁波.

依据Maxwell定律,地下水切割磁力线而产生的瞬变电磁波应该是平面波,即波的传播方向与振动方向是相互垂直的,故而这些电磁波可直达地面,或者与入射地球的电磁波调制耦合,将信息加载到载波而被携带到地面.因此,要判断是不是存在地下水流系统,通过测量地面的电磁波分布场就可确定.如果要知道地下水流系统的现实分布状况,也可通过改变测试频率来捕获不同深度场源所发出的电磁信号来判断.而存在于地下的裂隙,其所反映出来的信息也有一定的特征.因此该方法可以同时对于地下水流和裂隙进行探测.

在已有研究成果的基础上,可知地下磁流体探测方法中深度与频率的关系为^[3]

$$h = \sqrt{\rho/(\pi f \mu)}. \quad (1)$$

式中, h :深度,m; f :频率,Hz; μ :介质磁导率,H/m; ρ :地表电阻率, $\Omega \cdot \text{m}$.在实际应用时一般取 $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$,则式(1)化简为

$$h = 503.3 \sqrt{\rho/f}. \quad (2)$$

1.2 地下磁流体探测工作方法

地下磁流体探测系统主要包括3大部分^[4]:探测电缆和探针、上位PC机、地下磁流体探测仪.

图2为地下磁流体探测仪的探测示意图.使用点扫描方式采集数据,1条探测电缆上有16根探针,每相邻2根探针之间是1个数据探测点,共有15个数据点.在探测时,仪器先对第1数据点进行探测,其他数据点都不探测,当第1点的所有深度都探测完成,然后对第2数据点进行探测,而其他数据点(包括第1数据点)都不探测,然后进入第3个数据点探测.这样依次把15个数据点都探测完成,则整个探测工作就算完成.

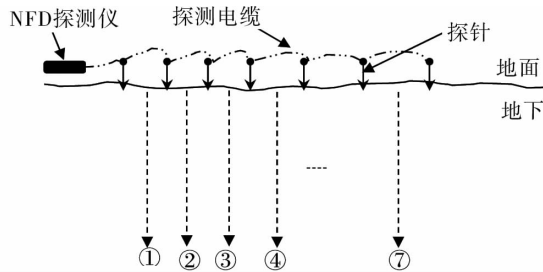


图2 探测示意图

2 探测结果的图像化

2.1 探测模型

先建立二维的探测模型.在图2的基础上,如果把不同数据点在同一深度层次的探测点联系起来,构成一个探测面,则所有探测面和数据点就构成了一个探测网,如图3.在此基础上对探测结果进行图像化处理.

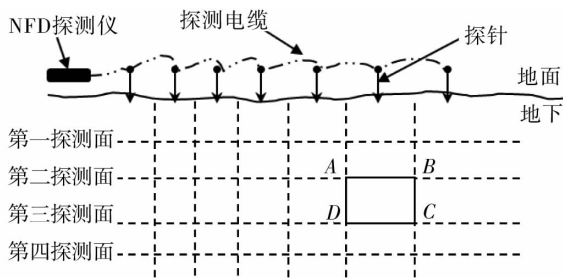


图3 网状的探测模型

2.2 数据处理

如图4,取单元区域ABCD.将该矩形区域用线性三角单元进行单元划分,共有9个结点和8个单元,设单元*i*的电阻率为 ρ_i ,且 ρ_0 为其初始电阻率.则区域中的任意点*S*的电位可以表示为泰勒级数:

$$U_s(\rho_i) = U_s(\rho_0) + \sum_{i=1}^8 \frac{\partial U_s}{\partial \rho_i} \Delta \rho_i \quad (3)$$

令 $\Delta U_{si} = U_s(\rho_i) - U_s(\rho_0)$, 将上式写为矩

阵形式:

$$K\Delta \rho = \Delta U \quad (4)$$

式中, K :系数矩阵,其元素为 $\frac{\partial U_s}{\partial \rho_i}$; ΔU 其元素为 ΔU_{si} ; $\Delta \rho$ 其元素为 $\Delta \rho_i$,是待求电阻率的修正值.在上式中,只要求得 $\Delta \rho$,就可以由 $\rho = \rho_0 + \Delta \rho$ 求出各区域电阻率^[5].由于 ΔU 是实测值,因此要求 $\Delta \rho$ 的关键是求 K .

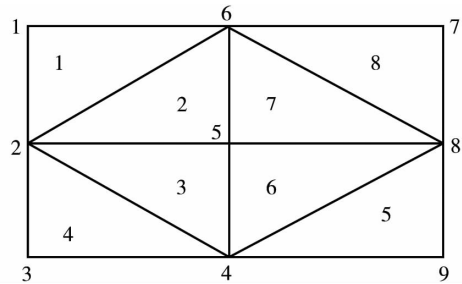


图4 用线性三角单元划分的二维区域

引入有限元方程^[6-8]:

$$HU + F_b = I \quad (5)$$

式中, H :刚度矩阵; U :节点电位矢量; F_b :人为截断边界贡献矢量,对于自由面边界其值恒为零; I :节点电流矢量.

将式(5)两边对 ρ_i 求导并移项得到:

$$H \frac{\partial U}{\partial \rho_i} = \frac{\partial F_b}{\partial \rho_i} - \frac{\partial H}{\partial \rho_i} U \quad (6)$$

对于三角单元有刚度^[9]:

$$H_{is}^e = \frac{1}{2S_e \rho_e} (a_i a_s + b_i b_s) \quad (7)$$

式中, e :单元编号; S_e :对应三角区域的面积; ρ_e :单元*e*的电阻率; a_i, a_s, b_i, b_s :与三角形的边长有关的量.这样式(6)等号右边是已知的,如果再给定电阻率的初始值,就可以由求得 $\frac{\partial U}{\partial \rho_i}$,亦即得到系数矩阵 K ,则进一步可以求解式(4).

在实际的应用中,可以根据地下磁流体探测方法的特点假设在探测范围内的场源密度是恒定的,这时电阻率的分布也就可直接通过所测得的电位值分布来反应.

3 应用

为了验证上述研究的正确性和可行性,现对实测数据进行分析和计算.表2是地下磁流体探测仪在某地测得的一组实际数据中的一小部分.

表2 地下磁流体探测仪实测电位数据

测点	电位/mV						
	78 Hz	74 Hz	70 Hz	66 Hz	63 Hz	60 Hz	57 Hz
A8A7	7.89	3.61	6.06	4.21	6.95	4.89	4.00
A7A6	4.20	1.89	2.78	2.44	3.46	1.63	1.94
A6A5	4.70	1.98	3.40	1.90	3.73	1.66	2.42
A5A4	3.87	2.17	3.16	2.77	3.16	1.34	2.62
A4A3	5.66	2.56	4.92	3.13	4.33	1.40	2.68

对于整条测线来说可以取得 240 个 $ABCD$ 矩形单元. 这样就可以将数据扩展为一个 30×31 的矩阵. 将这些数据导入到 sufer 软件, 就可以生成探测结果的图像化展示效果, 如图 5. 图中已将频段转化成了对应深度, 测点也转化成了对应的水平距离.

从图 5 中可以看出: 在横坐标 70 m, 深 300 m 的地下存在裂隙; 在横坐标为 50 m, 深 270 m 的地下存在水; 在横坐标为 70 m, 深 150 m 的地下存在裂隙.

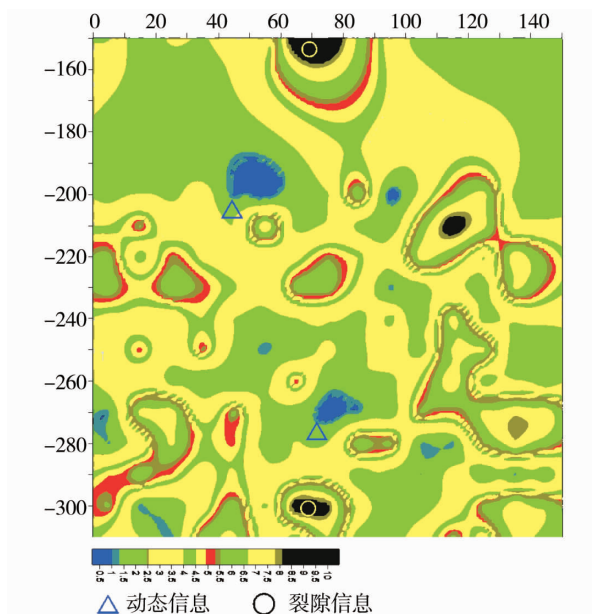


图5 测线一成像结果

4 结论

1) 成像方法能够达到解释和展示探测结果的

基本目的, 并且形象直观, 其效果优于四维物探剖面图;

2) 成像后地下水流及裂隙的位置能够较准确的被反映出来, 但是轮廓较为平滑, 而其实际轮廓应该不会如此规则, 因此如何更精确的刻画出与实际相符的轮廓, 是需要进一步加以改进的, 也是以后研究的一个重要方向.

参考文献:

- [1] 黄采伦, 黄晓煌. 矿区水害监测预警方法与应用研究[J]. 华北科技学院学报, 2009, 6(4): 11-18.
- [2] 张剑, 李坤, 黄采伦, 等. 地下磁流体探测系统及其应用[J]. 计算技术与自动化 2010, 29(2): 119-122.
- [3] 陈红钊, 黄采伦, 范素芳, 等. 地下磁流体探测方法在煤矿水害隐患探测中的应用[J]. 矿业工程研究, 2011, 26(4): 32-35.
- [4] 周华, 黄采伦. 地下磁流体探测方法及其应用[J]. 矿业工程研究, 2009, 24(2): 42-45.
- [5] 杨文采. 地球物理反演的理论与方法[M]. 北京: 地质出版社, 1997.
- [6] 金建铭. 电磁场有限元方法[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2001.
- [7] 底青云, 王妙月. 二维电阻率成像的有限元解法[J]. 岩石力学与工程学报, 1999, 18(3): 317-321.
- [8] 孙以材, 汪鹏, 孟庆浩. 电阻率测试理论与实践[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
- [9] 杜其奎, 陈金如. 有限元方法的数学理论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.