

技术 · 方法

有效视电阻率在音频大地测量数据二维反演中的应用

柳建新, 童孝忠, 程云涛, 杨晓宏, 谢 维

(中南大学 信息物理工程学院, 长沙 410083)

[摘 要] 用 EH - 4 仪器进行音频大地电磁测量, 目前已取得了广泛的应用。然而, 进行资料的二维反演时, 遇到了在大地电磁测深中同样的问题: TE 极化模式和 TM 极化模式不容易辨别。文章介绍了 3 种有效视电阻率, 研究表明, 利用有效视电阻率进行二维反演能准确真实的反映地下的介质模型。经实际资料处理证明, 此方法效果明显。

[关键词] EH - 4 系统 大地电磁测深 有效视电阻率 二维反演

[中图分类号] P628; P631.3 [文献标识码] A [文章编号] 0495 - 5331(2008)03 - 0056 - 04

EH - 4 电磁仪是美国 EMI 公司与 GEOMERICS 公司联合开发的 STRATAGEM (TM) 电导率成像系统, 是一种便携式、能测量地层电阻率的先进仪器。该系统使用天然的和人工的电磁信号, 能在各种地形上产生电导率连续剖面。EH - 4 作为电磁测深仪器, 既可用于进行天然源音频 (含超音频) 大地电磁测深法测量, 也可用于进行可控源音频 (含超音频) 大地电磁测深法测量。系统同时测量远处的天然场源和人工源激发的电场和磁场来计算大地电阻率。测量是在与地下研究深度相对应的频带上进行, 频率较高的数据反应浅部的特征, 频率较低的数据反应较深的地层信息。

作为目前国际上先进的电磁法仪器, EH - 4 电磁仪已取得了广泛的应用^[1-5]。在资料处理中, 不仅有 Bostick 一维反演, 还有二维的 RRI Occan 和 Rebocc 等二维反演方法, 但在进行二维反演时, 经常为确定 TE 极化模式和 TM 极化模式让人头疼。文章采用有效视电阻率进行二维反演, 一定程度上还能消除数据的静态效应, 并且能真实的反应地下介质模型。

1 工作原理

音频大地电磁测深法, 它是利用赤道附近雷电等入射到地球上的天然电磁场信号作为激发场源, 又称一次场, 该一次场是平面电磁波, 垂直入射到大

地介质中, 由电磁场理论可知, 大地介质中将会产生感应电磁场, 此感应电磁场与一次场是同频率的, 引入波阻抗 Z 。在均匀大地和水平层状大地情况下, 波阻抗是电场 E 和磁场 H 的水平分量的比值。

$$Z = \left| \frac{E}{H} \right| e^{i(\phi_E - \phi_H)} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{1}{5f} \left| \frac{E}{H} \right|^2 \quad (2)$$

式中 f 是频率, 单位是 Hz, ρ 是电阻率 ($\Omega \cdot m$), E 是电场强度 (mv/km), H 是磁场强度 (nT), ϕ_E 是电场相位, ϕ_H 是磁场相位, 单位是 mrad。必须提出的是, 此时的 E 与 H , 应理解为一次场和感应场的空间张量叠加后的综合场, 简称总场。

对于更一般的不均匀大地, 阻抗是空间坐标的函数, 完整的描述应当是含有 4 个元素的张量, 每个元素与场的正交分量有关:

$$\begin{bmatrix} E_x \\ E_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_x \\ H_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

这时, 通过阻抗张量即可计算出两个方向的视电阻率:

$$\rho_{xy} = \frac{1}{5f} |Z_{xy}|^2 = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_x}{H_y} \right|^2 \quad (4)$$

$$\rho_{yx} = \frac{1}{5f} |Z_{yx}|^2 = \frac{1}{5f} \left| \frac{E_y}{H_x} \right|^2 \quad (5)$$

其工作装置如图 1 所示。

[收稿日期] 2007 - 04 - 06; [修订日期] 2007 - 08 - 13。

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (编号: 60672042) 资助。

[第一作者简介] 柳建新 (1962 年 —), 男, 2006 年毕业于中南大学, 获博士学位, 教授, 现主要从事大地电磁理论与应用研究工作。

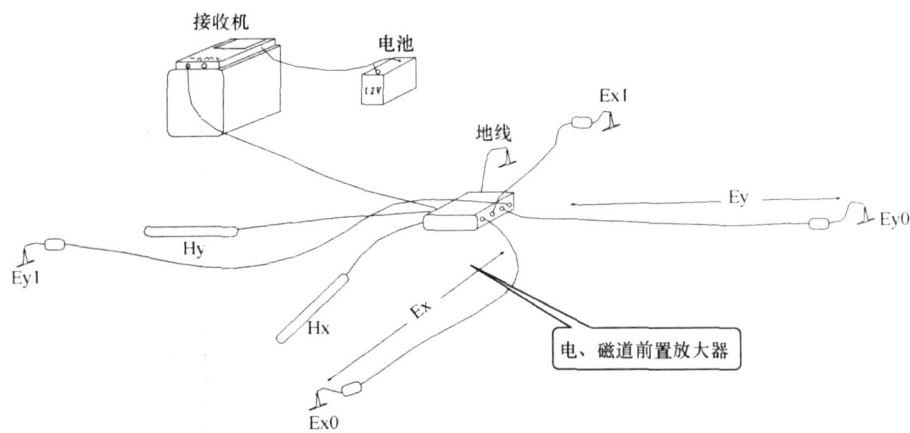


图 1 EH - 4工作装置图

2 有效视电阻率

音频大地电磁测深法响应的阻抗张量 z 的要素 z_{xx} 、 z_{xy} 、 z_{yx} 和 z_{yy} 与测量坐标方向有关,不同的测量坐标方向会得出不同的要素值。目前通常的作法是假定大地构造为二维条件,将实测的 E 和 H 进行矢量旋转,获得沿构造走向和垂直构造走向的电、磁场分量,这一过程称为主轴旋转。在电性主轴上, $z_{xx} = z_{yy} = 0$,故仅对阻抗张量中的 z_{xy} 和 z_{yx} 进行联合解释。但实际的地质条件往往比较复杂,通常的处理解释方法存在一些问题: 实际的地质构造并不完全满足二维条件,主轴有不稳定性,且 z_{xx} 和 z_{yy} 不完全为 0,仅对 z_{xy} 和 z_{yx} 解释会带来偏差; 众所周知,二维反演实际上是通过反复修改假设模型,使正确的结果与实测的资料最为接近,而最终的假设模型就是二维反演成果。在这一过程中,正演计算的是平行测线和垂直测线两个确定方向上的理论视电阻率,而其拟合的对象是电性主轴上的实测视电阻率,如果电性主轴垂直测线方向,这种拟合是合理的,但实际情况电性主轴并不正好垂直和测线方向,这种拟合就不尽合理了。又由于电性主轴存在 90° 的不确定性,有时难免对某些测点在辨别和谁为以及谁为时发生误判,影响二维反演结果。

鉴于上述原因,在进行资料的处理解释时,可以采用以下有效视电阻率^[7,8]:

1)

$$Z_D = \sqrt{Z_{xx} Z_{yy} - Z_{xy} Z_{yx}}$$
$$\rho_b = \frac{1}{5f} |Z_D|^2$$
$$\phi_b = \arctan \left(\frac{\ln Z_D}{\operatorname{Re} Z_D} \right)$$

2)

$$Z_B = \frac{Z_{xy} - Z_{yx}}{2}$$
$$\rho_B = \frac{1}{5f} |Z_B|^2$$
$$\phi_B = \arctan \left(\frac{\ln Z_B}{\operatorname{Re} Z_B} \right)$$

3) $Z_C = |X + iY|$

其中

$$X = \sqrt{\frac{(\operatorname{Re}[Z_{xx}] + \operatorname{Re}[Z_{yy}])^2 + \operatorname{Re}[Z_{xx}] + \operatorname{Re}[Z_{yy}]}{2}}$$
$$Y = \sqrt{\frac{(\ln[Z_{xx}] + \ln[Z_{yy}])^2 + \ln[Z_{xx}] + \ln[Z_{yy}]}{2}}$$
$$\rho_c = \frac{1}{5f} |Z_C|^2$$
$$\phi_c = \arctan \left(\frac{\ln Z_C}{\operatorname{Re} Z_C} \right)$$

由于有效视电阻率是主轴旋转不变量,所以二维反演中不考虑电性主轴与测线方向的关系。

文章数据处理中采用 ρ_b 为有效视电阻率进行资料解释,图 2 显示的是某点的 ρ_{yx} 和 ρ_{xy} 以及有效视电阻率 ρ_b 曲线。

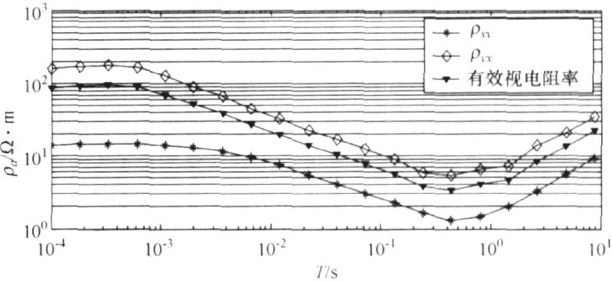


图 2 某点原始电阻率曲线和有效视电阻率曲线

3 二维反演

考虑音频大地电磁数据反演都是不适定的,解具有非唯一性,文章二维反演中引入了 Tikhonov正则化目标函数:

$$\phi(m) = \phi(m) + \alpha S(m)$$

其中: $\phi(m) = \|d - F(m)\|^2$ 为数据拟合差方程; $S(m) = \|m - m_{apr}\|^2$ 为先验模型的最小二范数; α 为正则化因子。

考虑地形的影响,正演算法采用三角形剖份的有限单元法,反演优化算法采用共轭梯度法,程序用 MATLAB 语言编制。

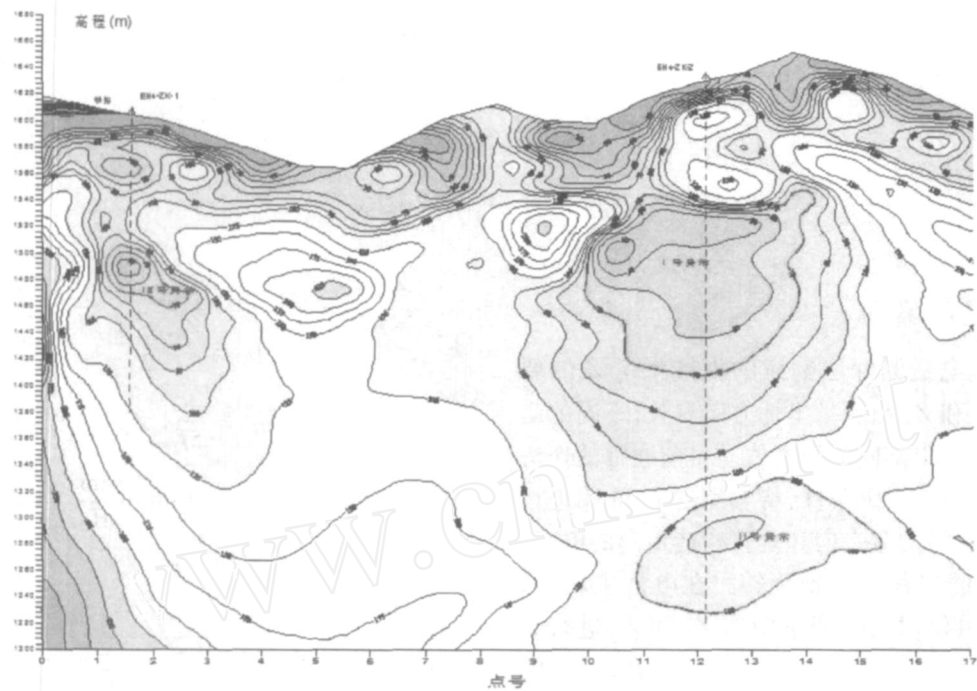


图3 某矿区多金属矿区2线二维反演

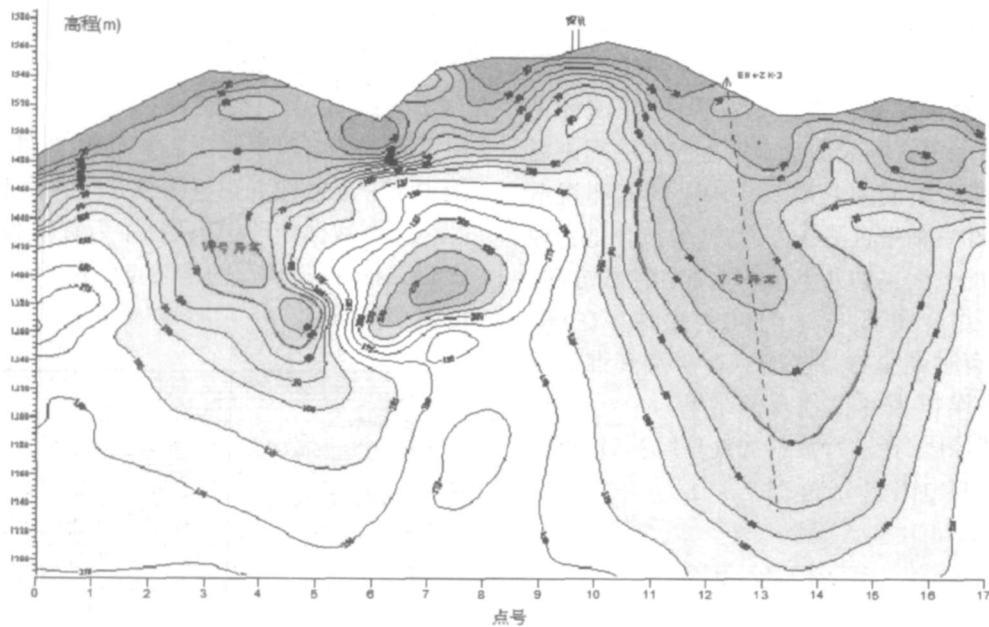


图4 某矿区多金属矿区8线二维反演

4 应用实例

在某多金属矿区,采用 EH - 4 电磁仪进行勘探,野外采集的数据采用有效视电阻率进行二维反演。图 3 和图 4 分别是测区 2 线和 8 线的二维反演效果图,从图上可以清晰的知道有 5 个低阻异常带。设计钻孔: 2 线 3 - 4 号测点间布置验证钻孔 EH4 - ZK - 1, 孔深 240m; 8 线 12 - 13 号测点间布置验证钻孔 EH4 - ZK - 3,孔深 300m,斜孔。经钻孔资料验证,资料二维反演的低阻异常带的确存在。

5 结论

有效视电阻率的引入,解决了辨别和谁为以及谁为的头疼问题。通过实测资料的有效视电阻率二维反演表明,该方法能准确真实的反映地下的介质模型,能提高勘探的准确度和效率。

[参考文献]

[1] 柳建新, 胡厚继, 刘春明. 综合物探方法在深部接替资源勘探中的应用 [J]. 地质与勘探, 2006, 42 (4): 71 - 74.

[2] 张金明. EH - 4 电磁法在福州市温泉构造带勘查中的应用 [J]. 地质与勘探, 2005, 41 (增刊): 55 - 57.

[3] 徐白山, 王恩德. 利用 EH - 4 确定煤矿采空区的边界 [J]. 东北大学学报, 2006, 27 (7): 810 - 813.

[4] 郭建强, 武毅, 邵汝君. Stratagem TMEH - 4 电导率成像系统简介及应用 [J]. 物探与化探, 1998, 22 (6): 458 - 464.

[5] 孙开林, 倪新辉. EH - 4 电磁成像系统在中西部岩溶区地下水勘察中的应用 [J]. 中国煤田地质, 2001, 13 (3): 67 - 68.

[7] 陈乐寿, 刘任, 王天生. 大地电磁测深资料处理与解释 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1989.

[7] Lilley F E M. Magnetotelluric analysis using Mohr Circle [J]. Geophysics, 1983, 58 (3): 1498 - 1506.

[8] K K Srivastava, S Singh. Rotation invariant magnetotelluric impedance tensor: a case study from West Singhbhum [J]. Deep Electromagnetic Exploration, 1998, 30 (4): 99 - 119.

APPLICATION OF EFFECTIVE APPARENT RESISTIVITY IN
TWO - DIMENSIONAL INVERSION OF EH - 4 DATA

LIU Jian - xin, TONG Xiao - zhong, CHENG Yun - tao, YANG Xiao - hong, XIE Wei

(School of Info - physics and Geomatics Engineer, Central South University, Changsha 410083)

Abstract: Continuous conductivity imaging system of EH - 4 for magnetotelluric sounding is used widely. However, two - dimensional inversion of EH - 4 data has a problem. It is difficult to make distinguish TE and TM mode which is existed in magnetotelluric sounding. Three effective apparent resistivities are introduced. It is shown that that effective apparent resistivity for two - dimensional inversion can really reflect geo - electric model, and can remove static shift. This method is proved effectively during data processing in practice.

Key words: EH - 4 system, magnetotelluric sounding, effective apparent resistivity, two - dimensional inversion