第41卷 第6期 2005年11月

地质与勘探 GEOLOGY AND PROSPECTING

Vol. 41 No. 6 November, 2005

基于畸变 3 个因子的 MT 畸变曲线改正方法与应用

胡玉平^{1,2},鲍光淑¹,贾继标²

(1. 中南大学信息物理工程学院,长沙 410083;2. 北京地质矿产研究院,北京 100012)

[摘 要]大地电磁测深(MT)曲线畸变是一个普遍存在的现象。文章在总结前人研究的基础上, 采用只求取畸变3个因子的方法,就可得到区域阻抗;避免了GB分解方法的一些问题:1)求解参数多; 2)需要对求解参数作限制;3)观测误差影响反演结果;4)在有些情况下,不易求解;5)损失三维电性信息。经实测数据的计算,该方法被证实是有效的。

[关键词]大地电磁测深 曲线畸变 阻抗张量分解 畸变因子 [中图分类号]P631.3 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2005)06-0075-05

0 前言

针对大地电磁曲线的畸变,地球物理学家们做 了大量细致的工作。早期的畸变研究主要考虑的是 地电构造相对一维地电模型的变化,没有考虑旋转 主轴、浅层局部电性不均电性、地形、电极坑位置等 因素的影响。Groom 和 Bailey^[6,7]认识到当存在浅 部电性不均匀时阻抗受其影响,提出了阻抗分解方 法(以下简称 GB 分解法)。Chave 等在此基础上提出 了全张量阻抗分解方法。Jones 等的研究表明在观测 误差较大且存在局部浅层电性不均匀体时,用旋转主 轴求取阻抗的方法不能求出合理的区域阻抗。

晋光文等^[3] 指出由于实际的地质构造多为三 维,GB 分解方法的分解结果由于只有二维地电信息 很可能损失一些有用信息;地质噪声产生的畸变效 应可用剪切、扭曲和各向异性等来表述。

GB 分解方法是目前比较推崇的一种方法。其 优点为:(1)旋转主轴同时考虑到了浅层电性不均 的影响;(2)通过阻抗张量分解获取一些畸变参数, 使得对畸变量化可行。其不足是:(1)分解方法对 嗓音很敏感,从有嗓音的数据求取分解的张量很不 稳定;(2)通常要对一些参数作限制,如事先设置主 轴值等;(3)分解的结果为纯2-D 地电信息,可能 把其他的有用信息当作畸变消除了;(4)在有些条 件下(如剪切角与扭曲角之和为90°)解不稳定;(5) 不能完全确定出畸变参数。 1 方法原理

为了研究张量阻抗的地质噪声的畸变效应,我 们从一般情况出发进行讨论。

假设区域地电条件和浅层局部电性不均匀体都 为任意形态。含有浅层不均匀体等地质噪声的阻抗 可表示为:

$$Z = (I + P_h^*) Z^0 (I + Q_h^* Z^0)^{-1}$$
(1)

其中 Z⁰ 为区域性阻抗, Z 为含有畸变的阻抗。

由文献[2,3,6,7]得知,在浅层电性不均匀体的 电阻率和电磁波的频率都相当低,而且电磁波的趋肤 深度大于不均匀体的尺寸等条件下,*P*^{*}_h、*Q*^{*}_h 会蜕变 为与频率无关的实常量。为此,阻抗张量表示为

$$Z(\omega) = CZ^{0}(I + D Z^{0})^{-1}$$
(2)

其中:C 为电场畸变张量,D 为磁场畸变张量,C 和 D 的元素均为与频率不相关的实数。

在 *GB* 分解方法(包括全张量阻抗分解)中把浅 部电性不均匀体产生的畸变分为两种类型:一种为 电流型畸变(*D*=0);另一种为磁场型畸变(*D*≠0)。 笔者认为,在三维地电条件下和大地电磁观测的频 率范围内,由局部电性不均匀体产生的磁场畸变很 小,可以忽略不计。只有在频率很高的条件下,才有 可能产生影响。所以,在一般三维地电条件下和大 地电磁观测的频率范围内,*D*=0。

由此(2)式变为:

$$Z(\omega) = C Z^0 \tag{3}$$

[[]收稿日期]2005-07-05;[修订日期]2005-08-20;[责任编辑]曲丽莉。

[[]第一作者简介]胡玉平(1964年~),男,2002年毕业于中南大学,获硕士学位,在读博士生,教授级高工,现主要从事电磁法生产与科研工作。

2005 年

根据 GB 分解原理和文献[3,6,7],(3)式中的 (ρ_{yx}) 地质噪声畸变张量 C 可以分解为 3 个张量的积: C = TI * T2 * T3 (4) $C = \begin{vmatrix} 1 & -t \\ t & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 & e \\ e & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} 1 + s & 0 \\ 0 & 1 - s \end{vmatrix}$ (5) 式中 $TI = \begin{vmatrix} 1 & -t \\ t & 1 \end{vmatrix}$ 称为扭曲张量,它使电场向 量顺时针旋转 $T = \tan^{-1}t, T$ 称为扭曲角, t 为扭曲。 $T2 = \begin{vmatrix} 1 & e \\ e & 1 \end{vmatrix}$ 称为剪切张量,它使两个相互垂直的向

量,一个顺时针旋转 $E = \tan^{-1}e$,一个逆时针旋转 E= $\tan^{-1}e$, E 称为剪切角,和主轴方位一致的向量剪 切角最大,e 为剪切量。 $T3 = \begin{vmatrix} 1 + s & 0 \\ 0 & 1 - s \end{vmatrix}$ 称为各向 异性张量,S 为各向异性系数,T3 以不同的因子改 变电场的两个分量,产生因局部电性不均匀体的存 在而导致的各向异性。

由式(3)(4)得阻抗张量分解表达式为

$$\begin{vmatrix} Zxx & Zxy \\ Zyx & Zyy \end{vmatrix} = C^* \begin{vmatrix} Z^{\circ}xx & Z^{\circ}xy \\ Z^{\circ}yx & Z^{\circ}yy \end{vmatrix}$$
(6)

这就是阻抗张量畸变公式。其中,Zxx、Zxy、 Zyx、Zyy、Z⁰xx、Z⁰xy、Z⁰yx、Z⁰yy 均为复数。

考察(6)式可以发现它包含有 11 个未知实参数:3 个畸变参数 t、s、e 和区域阻抗张量元素中的的 8 个实参数,而从(6)式只能列出 8 个非线性实方程,这是一个欠定问题。

如果畸变存在,畸变张量 C 的矩不为零,它的 逆矩阵一定存在。那由(6)式得:

 $\begin{vmatrix} Z^{\circ}xx & Z^{\circ}xy \\ Z^{\circ}yx & Z^{\circ}yy \end{vmatrix} = C^{-1} * \begin{vmatrix} Zxx & Zxy \\ Zyx & Zyy \end{vmatrix}$ (7)

由(7)式,如果知道了剪切角、扭曲角和各向异 性的值,就可以求出区域阻抗 Z⁰。

求取阻抗张量各元素和畸变3因子的反演问题 蜕变为只求解畸变因子了,即3个参数t、s、e。

2 几个典型的大地电磁畸变曲线

在实际资料处理中,我们常常遇到这样的情况: 旋转前、后的电阻率、相位曲线差异较大:或旋转前 的电阻率(ρ_{nxy}, ρ_{nyx})、相位($\varphi_{nxy}, \varphi_{nyx}$)曲线畸变;或 旋转后的电阻率(ρ_{xy}, ρ_{yx})、相位($\varphi_{xy}, \varphi_{yx}$)曲线畸变 等现象。通常把这种畸变统称作地质噪声畸变。下 面是几个比较常见的例子;

 图1:MT点 S17-002 现象为旋转前的电阻 率(ρ_{nxy}, ρ_{nyx})在 0.1Hz 处交叉;旋转后的电阻率 76





维普资讯 http://www.cqvip.com



图 3 E04-050 MT 旋转主轴前后电阻率相位曲线

 图 2:MT 点 L02 - 010 现象为旋转前的电阻 率(ρ_{nyx})显"V"字型,显现畸变现象,导致旋转后的 电阻率(ρ_{yx})0.03Hz 以后有明显的畸变。

 图 3:MT 点 E04 - 050 现象为旋转前的相位 (φ_{nyx})曲线和旋转后的相位(φ_{yx})从-135°—直递增 到 180°,在 0.02Hz 突然掉到负相位。这种相位畸 变现象有人称为超相位现象^[4.5]。

4)图4:MT点L02-020现象为旋转前后两条 电阻率交叉,显'∞'字型,这种畸变很容易造成电 阻率曲线类型的不确定:在交叉处两边,两条曲线是 按"X"方式交叉连接,还是一支按"V"型连接,另一支 按" \land "型连接。这可能导致解释结果的完全不同。 旋转后的相位曲线($\varphi_{xy}, \varphi_{yx}$)在0.1Hz处脱节。

如果用这些数据进行处理解释,就会得出错误的结论。因此,对曲线做校正显得非常重要。

3 应用实例的处理

例1 图1 所示的 MT 测点 S17-002 旋转前后 电阻率相位曲线,从图可以看出旋转前两条电阻率 曲线交叉,相位曲线圆滑,但旋转后,ρ_x曲线在 1Hz 以后出现畸变。如果用这些数据做解释,一方面曲 线很难拟合,另一方面求解的结果会与实际相差很



大。因此,需做畸变校正。图 5 显示同点数据校正 前后的电阻率、相位曲线(旋转主轴后)对比图,所 求畸变参数:扭曲角为-31.8°,剪切角为1.3°,各向 异性为-0.14。从图上可以看出,消除畸变后的电 阻率、相位曲线圆滑、形态正常。从反演参数看,受 剪切畸变小。

例2 图 2 所示的 MT 测点 L02-010 旋转前 后电阻率相位曲线,从图可以看出旋转前的一支 电阻率曲线 ρ_{nyx}出现"V"字型畸变,导致旋转后 同一支曲线发生畸变。图 6 显示同点数据校正 前后的电阻率、相位曲线(旋转主轴后)对比图, 所求畸变参数:扭曲角为-14.3°,剪切角为0°, 各向异性为-0.05。从图上可以看出,消除畸变 后的电阻率、相位曲线圆滑、形态正常。从反演 参数看,受扭曲畸变强。

例3 图3所示的 MT 测点 E04-050 旋转前后 电阻率相位曲线,从图可以看出旋转前后的电阻率、 相位曲线均有畸变,特别是相位曲线出现"超相位 现象"。这种畸变现象常常出现在 MT 实测曲线中, 可能与地下复杂的地电条件有关;在数据处理时,用 畸变的数据很难求取电性参数。图7为同点数据校 正前后的电阻率、相位曲线(旋转主轴后)对比图,



图 5 S17~002 MT 校正后旋转主轴前后电阻率相位曲线

所求畸变参数:扭曲角为 5.2°,剪切角为 11°,各向 异性为 0.19。从图上可以看出,消除畸变后的电阻 率、相位曲线圆滑、形态正常; ρ_{cyx} 和 φ_{cyx} 显示含有多 电性层。从反演参数看,受 3 个畸变因子的影响。

例4 图 4 所示的 MT 测点 L02 - 020 旋转前后 电阻率相位曲线,这是一种典型的两条电阻率曲线 出现交叉的实例。从图可以看出旋转前的电阻率曲 线显'∞'字型,旋转后的曲线也有同样的畸变现 象,并且相位出现断节现象。这种畸变最容易导致 测深曲线类型的改变。

图8显示同点数据校正前后的电阻率、相位曲 线(旋转主轴后)对比图,所求畸变参数:扭曲角为 -0.6°,剪切角为-0.6°,各向异性为-0.34。从图 上可以看出,消除畸变后的电阻率、相位曲线圆滑、 形态正常,曲线没有交叉。从畸变参数看,受各向异 性作用强。

4 结论与建议

文章主要通过这几个典型实测曲线的畸变校 正,有以下几点认识:



图 7 E04-050 MT 校正后旋转主轴前后电阻率相位曲线





图 8 L02-020 MT 校正后旋转主轴前后电阻率相位曲线

1)畸变影响较大的多为 TE 方式的电阻率和相位。由于 TE 方式的电阻率和相位对地下电性层位反映比较灵敏、准确,所以畸变校正是必须的。

2)由于电性畸变的存在,大地电磁测深曲线常常出现交叉现象,如果不加以校正,可能会出现曲线 类型的变换,导致解释的错误。

3) "超相位现象" 受3个畸变因子的影响大。

利用畸变张量矩阵直接反求区域阻抗的方法, 有以下几条特点: 1)方法简单明了,避免复杂的数学计算。

2)通过只求解3个畸变参数,达到了求解11个 未知参数的目的(含求解的区域阻抗张量虚实分量 共有8个未知数)。同时克服了采用 CB 分解方法 中参数多,需要对一些参数作限制、观测误差对反演 结果的影响以及某些条件下不易求解的缺点。

3)求解的阻抗张量结果含有三维地电信息,避 免了 GB 分解中只含有二维的阻抗信息。

建议应进行面积性的畸变校正处理试验,了解 校正后采用旋转主轴方式求取区域主轴以及畸变参 数的分布有没有规律性,对能否利用畸变参数作为 辅助信息了解测区电性分布应作探索性的研究。

[参考文献]

- [1] 刘国栋,陈乐寿.大地电磁测深研究[M].北京:地震出版社, 1994.
- [2] 王家映.关于大地电磁的静校正问题[J].地质科技情报. 1992,11(1),69~76.
- [3] 晋光文,孙 洁,王继军. 地形对大地电磁测深资料的影响
 [J]. 地震地质. 1997, 19(4), 363 ~ 369.
- [4] 龙大全.介绍大地电磁法曲线的超相位现象[J].石油物探译 丛.1991,1,72~74.
- [5] 杨 生,鲍光淑. MT 法中静态效应及阻抗张量静态校正法
 [J].中南工业大学学报.2002,33(1),8~13.
- [6] R W Groom, R C Baily, Decomposition of magnetotelluric impedance tensor in the presence of local three – dimensional galvanic distortion[J], Geophys. Res. 1989, 94, 1913 ~ 1925.
- [7] R W Groom. R C Baily. Analytical investigations of the effects of the near - surface three - dimensional galvanic scatterers on MT tensor decompositions [J], Geophysics, 1991, 56, 496 ~ 518.
- [8] A D Chave. J T smith. On electric and magnetic galvanic distortion tensor decomposition [J], J. Geophys. Res. 1994, 99, 4669 ~ 4682.
- [9] A G Jones. R W Groom. Strike ~ angle determination from the magnetotelluric impedance tensor in the presence of noise and local distortion: rotate at your peril! [J] Geophys. J. Int, 1993, 113,524 ~ 534.

A METHOD TO CORRECT MT CURVE ON 3 DISTORTION FACTORS AND ITS APPLICATION

HU Yu - ping^{1.2}, BAO Guang - shu¹, JIA Ji - biao²

(1. School of Info - Physics and Engineering, Central South University, Changsha 410083;

2. Beijing Institute of Geology for Mineral Resource, Beijing 100012)

Abstract: Curve distortion is common in magnetotelluric (MT) prospecting survey. Base on predecessor results, impedance distortion formula resulting from geological noise from general situation is deduces. This method can get regional impedance only by the distortion 3 factors, which avoids the following problems of GB decomposition. Firstly, there are too many parameters to be calculated. Secondly, it is necessary to constraint the parameters to be calculated. Thirdly, the observed errors have much effluence on inverse results. Fourthly, it is difficult to calculate in some cases. Lastly, 3 – D information is lost. Calculation of observed data in the field proves that the method is practical and effective.

Key words: magnetotelluric (MT) prospecting, curve distortion, decomposition of impedance tensor, distortion factor