文章编号:1001-1986(2003)05-0049-02

用瞬变电磁法识别地下电性分界面

薛国强,宋建平,李　貅
(西安交通大学电子与信息工程学院,陕西 西安　710049)

摘要:提高瞬变电磁法资料的解释精度一直是该方法推广应用的关键。文中提出了基于反射系数的瞬变电磁地下介质电性分界面的识别方法,并给出了数学模型。由所测磁场数据在频率域内数字滤波技术计算波阻抗,再通过域的变换在时间域内建立含有反射系数的线性方程组,并解出各时间道所对应的反射系数,最终以此值为参数绘制剖面图。两个模型和一个实测数据的数值模拟计算结果表明,本文提出的方法正确、有效,并大大提高了瞬变电磁对地下电性层的分辨能力。

关　键　词:反射系数;瞬变电磁;电性界面;识别
中图分类号:P631.3^{+}25　　**文献标识码**:A

1　引言

瞬变电磁法(TEM)具有便携带,易操作,采集快,探测深度变化范围大,生产成本低,对地形条件要求少等特点。在某些特殊情况下,如弱地震反射区、地形复杂地区等,可弥补地震勘探的不足。提高瞬变电磁法的解释精度,扩大其应用范围,一直是地球物理工作者不断追求的目标[6],也是地质、工程等给该方法提出的急待解决的课题。传统的瞬变电磁法资料解释手段单一,主要是通过视电阻率值这一参数来对地下电性分布情况作出判断,这往往使人为因素增大。所以,有必要寻求一种更直观地反映地下介质分层情况的多元参数。本文就是在分析瞬变电磁在水平层状介质下电磁响应的特性的基础上,提出了以反射系数为特征量,进行瞬变电磁电性界面的识别。即从野外实测的电压衰减数据进行一系列计算,求出反射系数序列,并以此为参数绘制断面图,从而判定地下电性界面。从对两个三层模型和实测资料的处理结果看,用文中提出的方法绘制的剖面清晰直观地显示出了地下电性层分界面。

2　基本理论[1,4,5,6]

瞬变电磁场的求解是通过在频率域中将麦克斯韦方程组转化为亥姆霍兹方程求解,然后利用域的转换技术将频率域的结果转换到时间域来。

对于水平层状大地,在大回线发射谐变电流激发下,回线中心处频率域电磁响应为:

$$\frac{\mathrm{d}B(\omega)}{\mathrm{d}t} = -\mathrm{i}\omega\mu_0 I_0 \int_0^{\infty} \frac{\lambda Z^{(1)}}{Z^{(1)} + Z_0} J_1(\lambda a)\,\mathrm{d}\lambda, \quad (1)$$

式中　a 为回线半径;I 为发射电流;$J_1(\lambda a)$ 为一阶贝塞尔函数;μ_0 为磁导率;ω 为圆频率;$\frac{\mathrm{d}B(\omega)}{\mathrm{d}t}$ 为磁场微分量;$Z^{(1)}$ 为水平层状介质地面波阻抗,由下列公式求得:

$$Z^{(1)} = Z_j \frac{Z^{(j+1)} + Z_j \mathrm{th}(u_j H_j)}{Z_j + Z^{(j+1)}\,\mathrm{th}(u_j H_j)};\quad Z^{(n)} = Z_n;\quad Z_j = \frac{-\mathrm{i}\omega\mu_0}{u_j};$$

$$u_j = \sqrt{\lambda^2 + k_j^2};\quad k_j^2 = -\mathrm{i}\omega\sigma_j\mu_0;\quad j = 1,2,3,\cdots,n,$$

式中　σ_j 为第 j 层的电导率。

根据频谱分析理论,在水平层状介质表面,回线源形成的瞬变电磁响应在时间域的表达式:

$$\frac{\mathrm{d}B(t)}{\mathrm{d}t} = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}\mathrm{Re}\left[I_0 a \int_0^{\infty}\frac{\lambda Z^{(1)}}{Z^{(1)} + Z_0} J_1(\lambda a)\,\mathrm{d}\lambda\right]\cos\omega t\,\mathrm{d}\omega\ 。(2)$$

另外,在频率域内,地面波阻抗与反射系数序列之间的关系可表达如下:

$$Z(0,\omega) = Z_{01}\left[1 + 2\sum_{m=1}^{\infty} q_m \mathrm{e}^{-2\sqrt{-\mathrm{i}\omega\mu_0}\cdot m}\right]\quad 。(3)$$

式中　$q_m = \frac{\sqrt{\rho_{m+1}} - \sqrt{\rho_m}}{\sqrt{\rho_{m+1}} + \sqrt{\rho_m}}$,为第 m 个界面的反射系数;ρ_m 为第 m 层的电阻率值。

在时间域,地面波阻抗与反射系数之间的关系,可由(3)式两边同时进行域的变换后得到。式(2)、(3)是本文提出的计算反射系数,进行地下电性界面成像的两个重要数学模型。

对(3)式两边同时进行付氏变换,可以得到在时间域内的以反射系数序列为未知的线性方程组:

$$R(t) = \sum_{m=1}^{\infty} q_m P\quad ,\qquad (4)$$

式中　$R(t) = -\frac{1}{2\pi\mathrm{i}}\int_{-\infty}^{\infty} R(\omega)/\omega\,\mathrm{e}^{-\mathrm{i}\omega t}\,\mathrm{d}\omega;$

收稿日期:2002-09-30
基金项目:教育部"教育振兴行动计划"资助项目
作者简介:薛国强(1966—),男,山西临猗人,西安交通大学博士生,主要从事电磁探测理论与应用研究.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

$$P = -\frac{1}{2\pi i}\int_{\infty}^{\infty}\frac{e^{-2\sqrt{-i\omega_0}}}{\omega}e^{-i\omega t}d\omega;$$

$R(\omega)=\frac{Z(0,\omega)}{Z_{01}}$ 为频率域归一化波阻抗。

对某一时刻 t_j 而言，$R(t_j)=\sum_{m=1}^{\infty}q_m P$ 。 (5)

用有限级数代替无穷级数，上式可表述为：

$$R(t_j)\approx\sum_{m=1}^{N_1}q_m P \quad 。 \tag{6}$$

采用线性规划法求解方程组(6)，可得出反射系数。

3 数值模拟计算及实例分析[2,3,7]

上述方法的实施步骤为：由实测或理论模型正演数据求出磁感应强度微分参数，并由此参数求出归一化后的波阻抗，最终由(6)式求出反射系数。对于以上各步骤，已在计算机上编程实现，并对理论模型和实测资料进行了处理。

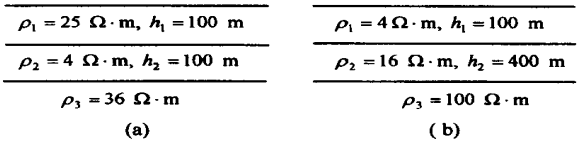


图 1 H、A 型地电断面模型

a ——H 型断面；b ——A 型断面

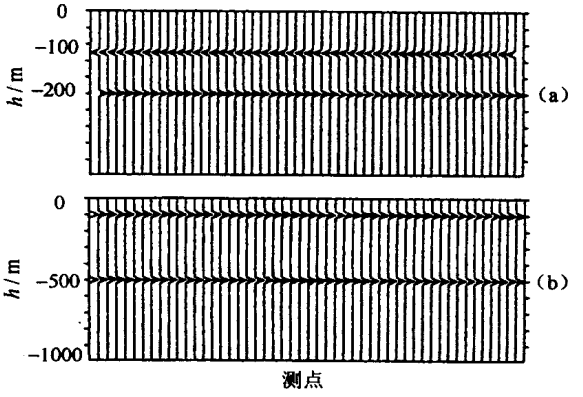


图 2 反射系数剖面

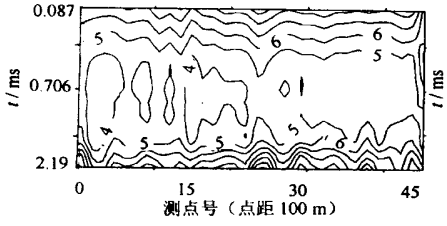


图 3 某线视电阻率等值线断面

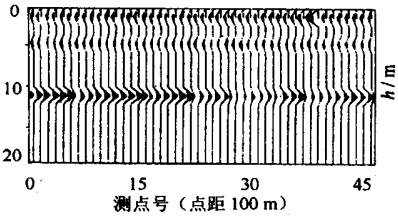


图 4 某线反射系数剖面

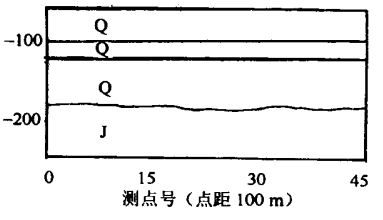


图 5 某线综合解释地质剖面

设计了两个理论模型进行了数值模拟计算。一个是 H 型断面，一个是 A 型断面。图 1 是两个地断面物性参数示意图；图 2 是两个模型的反射系数剖面图。

以计算出来的反射系数为参数，绘制成经过时深转换后的剖面图，如图 2 所示。所用的时深转换公式为：$V_i=\sqrt{\frac{2}{\mu_0\sigma_i}}$ 和 $h_j=t_iV_i$，由图 2a 可看出在 100 m 和 200 m 处分别出现了一个电性分界面，由图 2b 可知，在 100 m 和 500 m 处出现电性层分界。通过此图可直观地划分地下介质电性分层情况。图 3 为某一测区某线的视电阻率等值线断面图，由这一剖面上可知：视电阻率值反映地下电性界面不明显也不直观，在此图上能看出地下电性层分层情况，但只能凭感觉和经验进行分析判断。图 4 为绘制出的反射系数剖面图，在此图上明显看出有 3 个界面，结合图 5(综合解释地质剖面图)可知：第一层深度 1～50 m，第二层深度 50～80 m，第三层深度为 80～160 m 或更深，分别解释为河漫滩冲积层，粘土和亚粘土层，粘土与砾石互层。

4 结论

文中提出用反射系数作为特征量来对地下电性界面进行识别，给出了数学模型、实现步骤。经过理论模型和实测资料的数值计算和处理，结果表明，用反射系数绘制的剖面识别电性界面效果直观明显，增强瞬变电磁的分辨能力。这种方法可用于野外生产的资料解释中，对于近似水平层状介质下的电性层探测与划分，尤其适用。

参考文献

[1] 薛嘉庆. 线性规划[M]. 北京：高等教育出版社，1989.
[2] 郭文波. 瞬变电磁拟地震解释研究[D]. 西安：西安工程学院地球探测与信息技术系，2000，6.
[3] 薛国强. 瞬变电磁法成像技术研究[D]. 西安：长安大学地测学院，2002.
[4] 方文藻，李予国，李貅. 瞬变电磁测深法原理[M]. 西安：西北工业大学出版社，1993.
[5] Leek. H，Xie G. A new apporach to imaging with low frequency electromagnetic fields[J]. Geophysics，1993，58(6)：780 - 790.
[6] 李貅. 瞬变电磁测深的理论与应用[M]. 西安：陕西科学技术出版社，2002.
[7] 薛国强，宋建平，李貅，郭文波. 用线性规划法求取瞬变电磁场反射系数[J]. 西安工程学院学报，2002，24(3)：72 - 75.

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文章编号:1001-1986(2003)05-0051-03

KL 变换与小波变换联合去噪新方法

付　燕　(西安科技大学计算机系,陕西 西安　710054)

摘要:常规 KL 变换对于具有强随机噪声的地震信号处理效果不佳,本文提出一种将小波变换和 KL 变换结合使用的去噪处理新方法。经合成剖面和实际剖面证明,该方法能有效去除强随机噪声,提高地震剖面信噪比。

关　键　词:地震信号;KL 变换;小波变换;随机噪声
中图分类号:P631.4　　**文献标识码**:A

1　引言

一般在高分辨地震勘探中采用小道距的情况下,可以认为地震资料上连续相邻地震道共深度点的有效信号具有较强的相关性,而随机噪声是由各种不可预知的因素综合作用而成,没有统一的规律,在整张记录上随机出现,因此认为随机噪声之间不具有相关性。KL 变换常被用于从地震资料中提取相干信号,去除随机噪声。在用方差作为衡量标准时,KL 变换是一种最佳变换,但在实际应用时存在一些问题,例如去噪仅能加强水平方向同相轴,对倾斜或弯曲同相轴处理效果较差,计算成本高等。还有一个问题就是当地震资料中随机噪声很强时,使用 KL 变换去噪不能达到较好的效果,如去噪效果不明显或使有效信号发生明显畸变。因此,笔者提出一种新的方法,将小波变换和 KL 变换结合使用,首先使用小波变换去除高频强随机噪声,然后使用 KL 变换提取相干信号,以达到更好地去除强随机噪声的目的。

KL 变换的基本原理在文献[1]中有详细论述,本文不再赘述。下面分别介绍常规 KL 变换去除地震信号中强随机噪声的缺陷,并介绍小波变换方法,以及将小波变换结合 KL 变换用于去除地震信号中强随机噪声。

2　常规 KL 变换去噪的缺陷

在采集条件恶劣时,得到的地震资料中反射信号很弱,相对噪声很强,使用常规 KL 变换压制噪声效果不好。利用多种合成都震剖面对 KL 变换进行试验表明:在地震记录信噪比小于 1 时,KL 变换即使能略微提高信噪比,但对信号也产生明显的畸变。

图 1 是合成时间剖面,对图 1 加上能量较强的随机噪声得到图 2 中剖面,其信噪比为 - 8.3 dB。用常规 KL 变换对其进行处理,保留 35 %的能量重构剖面后得到图 3,同图 2 比较可知它的信噪比提高不明显,而且信号有部分发生畸变,表现为部分道能量减弱。如果在 KL 变换处理时仅保留总能量的 20 %重构处理后剖面,得到处理结果见图4,由图4

收稿日期:2002-11-06
作者简介:付　燕(1972 —),女,河南鹤壁人,西安科技大学副教授,博士,主要研究方向为信号处理和计算机信息管理.

Recognizing electrical interface with the transient electromagnetic method

XUE Guo-qiang, SONG Jian-ping, LI Xiu
(School of Electronic & Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: It is the key of enlarging application of TEM to improve the interpretation accuracy. It has been put forward that the geoelectrical interface of underground medium can be recognized by reflection coefficient. The mathematics model has beem raised. Beginning with the data observed in field, calculating wave-impedance with the technical of digital filter in frequency domain, and after domain transform functions that contain reflection coefficient have been constructed in time domain. At last reflection coefficient corresponding to each time gate has been computed. The section of the parameter has been drawn. The result of two numerical modeling and example application shows that the thought is right and efficient. The distinguishing capacity of TEM to geoelectrical layer is improved using the method.

Key words: reflection coefficient; transient electromagnetic; geoeletrical interface; recognition

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net