

# 随钻电磁波传播测井传感器参数优化设计

王滨涛<sup>1</sup>, 吴锡令<sup>1</sup>, 杨春来<sup>2</sup>, 童茂松<sup>2</sup>, 刘富华

1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

2. 大庆钻探工程公司测井一公司, 黑龙江大庆 163412

**摘要** 随钻电磁波传播测井是随钻测井系列中最重要的一种测井方法, 它通过记录电磁波信号的幅度比和相位差来反映地层介质信息。不同的频率、源距的测井仪器参数会产生不同的测井响应特性, 选择适当的传感器参数能够提高其探测效率。应用有限元法对非均质地层进行正演模拟, 得到随钻电磁波传播测井方法的纵向分辨率与径向探测深度。采用神经网络的方法辅助传感器参数优化设计, 计算不同地层电阻率、频率、源距的纵向与径向函数。通过计算值分析得到优化后的传感器参数, 并计算新传感器参数的视电阻率正演响应。计算结果虽然与正演计算数值有一定误差, 但误差很小, 并且在可以接受的范围内。随着正演模拟样本的增加, 神经网络的方法能够有效辅助参数优化设计, 降低计算次数。设计的新型传感器能够有效反映地层电阻率。

**关键词** 随钻电磁波传播测井; 有限元法; 神经网络; 传感器参数

**中图分类号** TE19

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)18-0036-05

## Optimized Design for Sensor Parameters for Electromagnetic Wave Propagation in Logging While Drilling

WANG Bintao<sup>1</sup>, WU Xiling<sup>1</sup>, YANG Chunlai<sup>2</sup>, TONG Maosong<sup>2</sup>, LIU Fuhua<sup>2</sup>

1. State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

2. No. 1 Logging Company, Daqing Drilling Engineering Company, Daqing 163412, Heilongjiang Province, China

**Abstract** Electromagnetic wave propagation is one of the most important method of logging while drilling. The formation medium information is obtained through the amplitude ratio and phase difference of the electromagnetic wave. Different logging response characteristics can be generated by different frequency, different source spacing. Detection efficiency can be improved by selecting proper sensor parameters. Finite Element Method (FEM) is used to analyze the forward problem for inhomogeneous formation. Vertical resolution and radial exploration depth are calculated. The optimized design is achieved by using the neural network. The functions of vertical resolution and radial exploration depth against formation resistivity, frequency and source spacing are calculated by using FEM and neural network to obtain the optimized parameters of sensor. It is shown that the forward simulation results agree well with the results calculated by the neural network, with errors in an acceptable range. The neural network is an effective auxiliary method for optimized designing, which can reduce the forward simulation calculation time. Formation resistivity can be effectively reflected through the use of the new design parameters.

**Keywords** electromagnetic wave propagation of logging while drilling; finite element method; neural network; parameters of sensor

### 0 引言

随钻电磁波传播测井是随钻测井系列的重要组成部分, 它是在三线圈系基础上发展起来的通过记录两个接收线圈间相位差和幅度比来反映地层电阻率信息的测井方法。对于

1~4MHz 频率的电磁波来说, 地层电阻率成为测量的主要影响因素, 介电常数影响相对较小。陈爱新<sup>[1]</sup>通过计算得到了地层环境对随钻电磁波测井仪器测量结果的影响, 主要包括泥浆电阻率、侵入带、围岩和地层介电常数的影响; 邢光龙等<sup>[2]</sup>对

收稿日期: 2010-07-21; 修回日期: 2010-08-17

作者简介: 王滨涛, 博士研究生, 研究方向为地球物理探测与信息技术, 电子信箱: wbtjys@163.com; 吴锡令(通信作者), 教授, 研究方向为应用地球物理方法、地球物理信息处理与解释、地下信息探测与采集技术, 电子信箱: wuxiling@sina.com

Jacobi 的快速计算与反演方法进行了研究,主要通过模式匹配法进行了电磁场问题的正演计算,并且给出了 Jacobi 矩阵的快速算法与响应特性的分析。本文在分析随钻电磁波传播测井的数理模型的基础上,通过有限元的方法对敏感场的特性进行了计算,结合神经网络的方法对传感器参数进行了优化设计,并对非均质地层进行数值模拟。通过模拟发现,优化后的传感器参数在高阻薄层地层中的测井响应能够更好反映实际地层信息。

### 1 随钻电磁波传播测井数理模型

随钻电磁波传播测井通过线圈激发和接收电磁波,通过记录电磁波信号的幅度比和相位差来反映地层的电阻率信息<sup>[3-4]</sup>。对于线圈天线系,圆形回路中通过数值为  $I(t)$  的电流,发射线圈 T 的半径为  $a_T$ ,场点处的电场强度  $E$  的表达式为

$$E = \frac{1}{i\omega\mu} \nabla \times H = -i \frac{\mu\omega M \sin\phi'}{4\pi} e^{-ikr} \left( \frac{1}{r^2} + \frac{ik}{r} \right) \quad (1)$$

其中,  $\mu$  为磁导率,  $\phi'$  为电流元与  $x$  轴的夹角,  $H$  为磁场强度,  $\omega$  为角频率,  $M=I(t)\pi a_T^2$  为发射线圈的磁偶极矩,  $k$  为传播常数,  $r$  为源点到空间任意一点的距离。接收线圈处的感应电动势为

$$V = \oint E \cdot dl = 2\pi a_R N_R E = \frac{-i\omega\mu M S_R N_R}{2\pi l^3} e^{-ikl} (1+ikl) \quad (2)$$

其中,  $a_R$  为接收圈半径,  $S_R$  为接收线圈面积,  $N_R$  为接收线圈匝数,  $l$  为接收和发射线圈的距离。

随钻电磁波传播测井的天线系由三线圈系理论发展而来,如图 1 所示,  $L_1, L_2$  为发射线圈 T 与接收线圈  $R_1, R_2$  之间的距离。由式(2)可得到在均匀介质条件下随钻电磁波传播测井的接收线圈  $R_1, R_2$  的幅度比  $A$  和相位差  $\Delta\Phi$  为

$$A = 20 \lg |V_2/V_1| = 8.686\beta(L_1-L_2) + 60(\lg L_1 - \lg L_2) + 10 \lg [(aL_2)^2 + (1+\beta L_2)^2] - 10 \lg [(aL_1)^2 + (1+\beta L_1)^2] \quad (3)$$

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = a(L_1 - L_2) + \arctan \frac{1+\beta L_1}{aL_1} - \arctan \frac{1+\beta L_2}{aL_2} \quad (4)$$

其中,  $V_1, V_2$  为接收线圈  $R_1, R_2$  的电动势,并且系数

$$a = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{\gamma}{\omega\epsilon}\right)^2} + 1, \quad \beta = \omega \sqrt{\frac{\mu\epsilon}{2}} \sqrt{1 + \left(\frac{\gamma}{\omega\epsilon}\right)^2} - 1, \quad \gamma$$

为电导率,  $\epsilon$  为复介电常数。

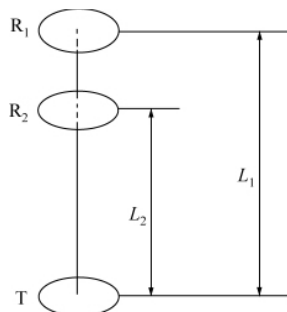


图 1 三线圈系结构

Fig. 1 Structure of three coil system

## 2 基于三维有限元的敏感场分析

### 2.1 电磁场数值模拟方法

三维有限元法是一种有效计算非均质条件下电磁场问题的数值模拟方法,它将空间电磁场问题划分为多个四面体单元的组合,并使得所有单元的能量和最小<sup>[5]</sup>,满足

$$\begin{cases} F(\phi) = \min \left\{ \frac{\epsilon}{2} \int_V \left[ \left( \frac{\partial\phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial\phi}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 \right] dV - \frac{1}{2} \int_V k^2 \phi^2 dV - \int_V \frac{\rho}{\epsilon} \phi dV + \int_{\Gamma_2} (-q\phi) dS \right\} \\ \phi = U_0 \quad \phi \in \Gamma_1 \\ \frac{\partial\phi}{\partial n} = q \quad \phi \in \Gamma_2 \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $\rho$  为场源电荷,  $\phi$  为电势,  $\Gamma_1$  为第一类边界条件,  $\Gamma_2$  为第二类边界条件。

对于由  $i, j, k, m$  组成的四面体,有

$$\begin{aligned} \phi = [1 \quad x \quad y \quad z] \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i & z_i \\ 1 & x_j & y_j & z_j \\ 1 & x_k & y_k & z_k \\ 1 & x_m & y_m & z_m \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \phi_k \\ \phi_m \end{bmatrix} \\ = [N_i \quad N_j \quad N_k \quad N_m] \begin{bmatrix} \phi_i \\ \phi_j \\ \phi_k \\ \phi_m \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

其中,  $N_u = \frac{V_u}{V} = \frac{\alpha_u + b_u x + c_u y + d_u z}{6V}$ ,  $u=i, j, k, m$  为四面体的单元的节点。有

$$\begin{aligned} \alpha_i &= \begin{vmatrix} x_j & y_j & z_j \\ x_k & y_k & z_k \\ x_m & y_m & z_m \end{vmatrix} & \alpha_j &= - \begin{vmatrix} x_i & y_i & z_i \\ x_k & y_k & z_k \\ x_m & y_m & z_m \end{vmatrix} & \alpha_k &= \begin{vmatrix} x_i & y_i & z_i \\ x_j & y_j & z_j \\ x_m & y_m & z_m \end{vmatrix} \\ \alpha_m &= - \begin{vmatrix} x_i & y_i & z_i \\ x_j & y_j & z_j \\ x_k & y_k & z_k \end{vmatrix} & b_i &= \begin{vmatrix} 1 & y_j & z_j \\ 1 & y_k & z_k \\ 1 & y_m & z_m \end{vmatrix} & b_j &= \begin{vmatrix} 1 & y_i & z_i \\ 1 & y_k & z_k \\ 1 & y_m & z_m \end{vmatrix} \\ b_k &= - \begin{vmatrix} 1 & y_i & z_i \\ 1 & y_j & z_j \\ 1 & y_m & z_m \end{vmatrix} & b_m &= \begin{vmatrix} 1 & y_i & z_i \\ 1 & y_j & z_j \\ 1 & y_k & z_k \end{vmatrix} & c_i &= \begin{vmatrix} 1 & x_j & z_j \\ 1 & x_k & z_k \\ 1 & x_m & z_m \end{vmatrix} \\ c_j &= - \begin{vmatrix} 1 & x_i & z_i \\ 1 & x_k & z_k \\ 1 & x_m & z_m \end{vmatrix} & c_k &= \begin{vmatrix} 1 & x_j & z_j \\ 1 & x_i & z_i \\ 1 & x_m & z_m \end{vmatrix} & c_m &= - \begin{vmatrix} 1 & x_j & z_j \\ 1 & x_i & z_i \\ 1 & x_k & z_k \end{vmatrix} \\ d_i &= \begin{vmatrix} 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \\ 1 & x_m & y_m \end{vmatrix} & d_j &= \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_k & y_k \\ 1 & x_m & y_m \end{vmatrix} & d_k &= - \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_m & y_m \end{vmatrix} \\ d_m &= \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_k & y_k \end{vmatrix} \end{aligned}$$

则式(5)各项可化为

$$F_1(\phi) = \frac{\epsilon}{2} \int_V \left[ \left( \frac{\partial\phi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial\phi}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial\phi}{\partial z} \right)^2 \right] dV$$

$$= \frac{\varepsilon}{2} \left[ \frac{1}{36V} (b_i \phi_i + b_j \phi_j + b_k \phi_k + b_m \phi_m)^2 + \frac{1}{36V} (c_i \phi_i + c_j \phi_j + c_k \phi_k + c_m \phi_m)^2 + \frac{1}{36V} (d_i \phi_i + d_j \phi_j + d_k \phi_k + d_m \phi_m)^2 \right] = \phi^T K_1 \phi \quad (7)$$

$$F_2(\phi) = \frac{1}{2} \int_V k^2 \phi^2 dV = \frac{1}{2} k^2 V (N_i \phi_i + N_j \phi_j + N_k \phi_k + N_m \phi_m)^2 = \phi^T K_2 \phi \quad (8)$$

$$F_3(\phi) = \int_V \frac{\rho}{\varepsilon} \phi dV \quad (9)$$

$$F_4(\phi) = \int_{r_2} (-q\phi) dS = -q \int_{r_2} (N_i \phi_i + N_j \phi_j + N_k \phi_k) dS \quad (10)$$

其中,  $\phi = [\phi_i \ \phi_j \ \phi_k \ \phi_m]^T$ , 最终的刚度矩阵为  $[K']\{\phi\} = 0$ , 加入谐波激励, 解矩阵方程就可以得到所划区域各点的电势。

### 2.2 敏感场分析

当背景介质中存在小散射体引起的微小变化量时, 引起的场电势的变化为<sup>[2,6]</sup>

$$\Delta V_{\phi'}(r, z, r_T, z_T) = V_{\phi'}(r, z, r_T, z_T) - V_b(r, z, r_T, z_T) = \frac{1}{i\omega\mu r'} \int_{-\infty}^{+\infty} dz' \int_0^{+\infty} i\omega\mu\Delta\sigma(r', z') V_{\phi'}(r', z', r, z) \cdot V_{\phi'}(r', z', r_T, z_T) dr' \quad (11)$$

将式(11)代入  $\delta\Delta\phi = \text{Im} \left( \frac{\Delta V_1}{V_1} - \frac{\Delta V_2}{V_2} \right)$ , 得

$$g_{\Delta\phi-\sigma}(r, z, r', z', r_T, z_T) = -\omega\mu\sigma_b(r', z') \cdot \text{Re} \left[ \frac{1}{i\omega\mu r'} \left( \frac{V(r_1, z_1, r', z') V(r', z', r_T, z_T)}{V(r_1, z_1, r_T, z_T)} - \frac{V(r_2, z_2, r', z') V(r', z', r_T, z_T)}{V(r_2, z_2, r_T, z_T)} \right) \right] \quad (12)$$

相位差纵向分辨率函数为  $G_{\Delta\phi-\sigma}(z') = \int_0^{+\infty} g_{\Delta\phi-\sigma} dr'$ , 相位差径向探测深度函数为  $G_{r\Delta\phi-\sigma}(r') = \int_{-\infty}^{+\infty} g_{\Delta\phi-\sigma} dz'$ , 通过有限元法进行相位差纵向和径向函数的数值计算。

## 3 基于神经网络的参数优化设计

### 3.1 设计原则

随钻电磁波仪器设计所选取的源距、频率、间距, 需要根据仪器应用地区的地质条件、测井解释需求、不同径向探测深度介电常数的影响、仪器制造的难度而定。相位差所反映的纵向分辨率要比幅度比所反映的精确得多, 在相位差所反映的探测深度可以满足测量的条件下, 幅度比曲线就可以不加利用<sup>[7]</sup>。

### 3.2 设计方法

敏感场特性的影响因素包含地层电阻率、源距、间距、频率。通过敏感场特性分析, 可以得到相位差的纵向和径向几何因子, 但正演的计算过程量太大并且需要重复计算。采用 BP 神经网络的办法可以提高优化设计效率, 并且可以将计算的结果继续作为样本进行测试, 随着模拟样本的增加, 模拟

结果更加准确。借鉴 Vikiz 和 ARC5 的思想, 利用近源距、高频率探头提高纵向分辨率, 利用长源距、低频率探头增加探测深度。将影响敏感场探测特性的地层电阻率、传感器参数的源距、间距、频率作为 BP 神经网络的输入, 将相位差的纵向径向敏感场特性作为输出。

### 3.3 神经网络算法

Robert 证明了任意多维连续函数在连续空间内都可以用 BP 神经网络<sup>[8]</sup>来进行逼近。BP 神经网络(图 2)学习过程由信息流的正向传播过程与误差的反向反馈过程组成。

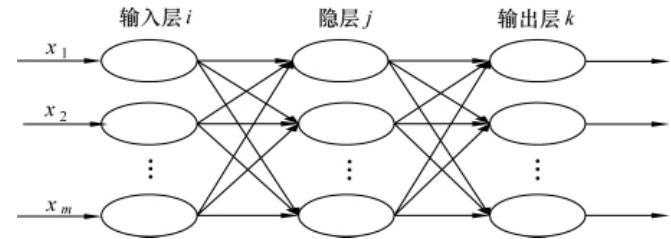


图 2 神经网络结构

Fig. 2 Structure of neural network

对于隐藏层,

$$net_j = \sum_{i=0}^n v_{ij} x_i \quad O_j = f(net_j) \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (13)$$

对于输出层,

$$net_k = \sum_{j=0}^m w_{jk} O_j \quad O_k = f(net_k) \quad (k=1, 2, \dots, l) \quad (14)$$

其中  $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$ 。

网络输出与期望输出的差为

$$D = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^l (d_k - O_k)^2 \quad (15)$$

对输入样本进行归一化, 并计算每个正向计算过程的输出和误差, 当计算差值小于预先设定值时, 结束训练过程, 否则进入反向学习过程。BP 算法的反馈误差方向为  $D$  的负梯度方向,

$$w_{jk+1} = w_{jk} + \Delta w_{jk} = w_{jk} + \eta \frac{\partial D}{\partial w_{jk}} = w_{jk} + \eta (d_k - O_k) O_k (1 - O_k) O_j \quad (j=0, 1, 2, \dots, m; k=1, 2, \dots, l) \quad (16)$$

$$v_{ij+1} = v_{ij} + \Delta v_{ij} = v_{ij} + \eta \frac{\partial D}{\partial v_{ij}} = v_{ij} + \eta \left[ \sum_{k=1}^l (d_k - O_k) O_k (1 - O_k) w_{jk} \right] \cdot O_j (1 - O_j) x_i \quad (i=0, 1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m) \quad (17)$$

其中,  $\eta \in (0, 1)$  为步长, 反映学习速率。

### 3.4 传感器参数设计验证

正演计算模拟地层<sup>[8]</sup>电阻率分别为 1, 10, 20  $\Omega \cdot m$ , 源距  $L$  分别为 0.3, 0.4, 0.45, 0.5, 0.6, 0.64, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.27, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8m, 间距分别为 0.1, 0.2, 0.3, 0.4m, 频率  $f$  分别为 1, 2, 4MHz 的相位差纵向敏感场数据 288 组, 其中取 273 组数据作为训练样本, 任意取 15 组作为测试样

本,通过计算可以看出(图 3、图 4),通过神经网络进行计算,很快就可以得到测试结果,并且精度很高,误差小于 0.0001,相位差纵向分辨率函数方差为  $4.1697 \times 10^{-6}$ ,相位差径向探测深度函数方差为  $2.5159 \times 10^{-5}$ ,表明精度很高,训练的网络符合正演模拟计算的精度要求,通过神经网络的办法,可以大大减少正演次数。

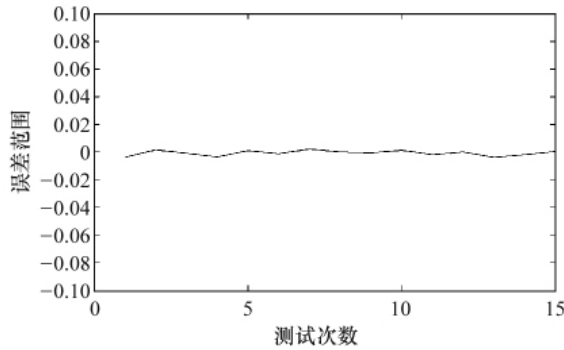


图 3 纵向分辨率计算误差

Fig. 3 Calculation error of vertical resolution

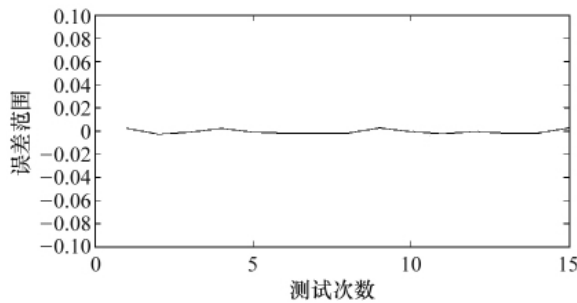


图 4 径向探测深度计算误差

Fig. 4 Calculation error of radial exploration depth

通过上述方法得到传感器设计参数(表 1),通过视电阻率的计算方法<sup>[9]</sup>得到设定地层模型下的正演响应值。从图 5、图 6 可以看出,与 MPR 正演模拟数值相比,设计的传感器在高阻薄层的响应特性更好,而且由于探测器探测深度分布合理,能更好地反应不同深度的地层电阻率。

#### 4 结论

有限元法是一种有效模拟非均质地层电磁场响应的数值方法,根据电磁场敏感场特性的纵向和径向分辨率的定义,可有效计算出所设计仪器的纵向分辨率和径向探测深度。

随钻电磁波仪器参数的优化设计必须依据所使用地区的地层条件、测井解释要求,并且要考虑到测井仪器研发过程实现的可能性。近源距、高频率探头用于提高探测地层的纵向分辨率,用长源距、低频率探头增加探测深度。

表 1 传感器参数表  
Table 1 Sensor parameters

地层电阻率/ $(\Omega \cdot m)$	频率 /MHz	源距/m	间距/m	纵向相位差	径向相位差
1	4	0.4	0.2	0.117	0.201
1	2	0.6	0.2	0.126	0.301
1	2	0.8	0.2	0.126	0.401
1	2	1.1	0.2	0.127	0.451
1	1	1.3	0.2	0.146	0.601
10	4	0.4	0.2	0.166	0.301
10	2	0.6	0.2	0.189	0.401
10	2	0.8	0.2	0.2	0.551
10	2	1.1	0.2	0.21	0.701
10	1	1.3	0.2	0.25	0.851
20	4	0.4	0.2	0.184	0.301
20	2	0.6	0.2	0.209	0.451
20	2	0.8	0.2	0.225	0.551
20	2	1.1	0.2	0.24	0.701
20	1	1.3	0.2	0.289	0.901

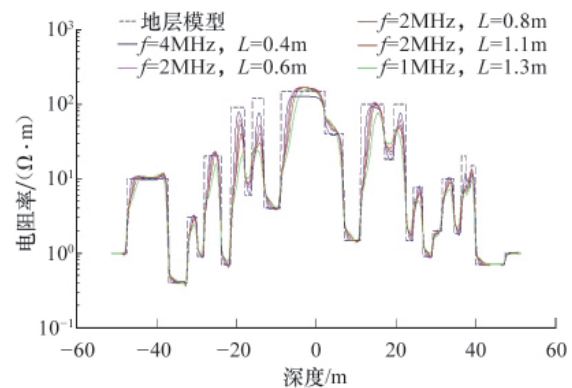


图 5 设计传感器正演模拟值

Fig. 5 Forward simulation of new design parameters

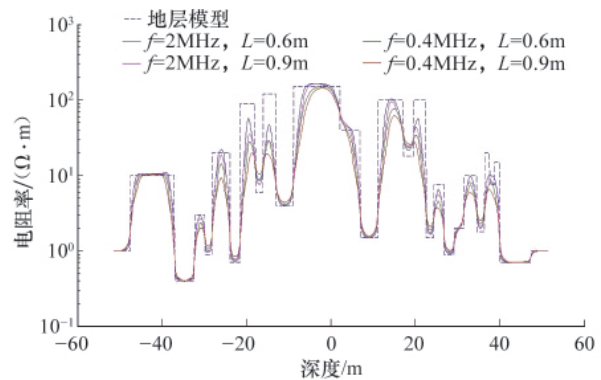


图 6 MPR 正演模拟值

Fig. 6 Forward simulation of MPR

应用神经网络的办法可以有效地进行传感器参数的优化设计,虽然有一定的误差,但是基本在允许的范围内,并且随着测试样本的增加,优化结果更加准确。优化的传感器参数得到的正演结果能够更好地反应地层电阻率信息。

#### 参考文献 (References)

- [1] 陈爱新. 随钻电磁波测井环境影响分析 [J]. 石油地球物理勘探, 2006, 41(5): 603-604.  
Chen Aixin. *Oil Geophysics Prospecting*, 2006, 41(5): 603-604.
- [2] 邢光龙, 杨善德, 李曙光. 电磁波测井资料反演中 Jacobi 矩阵的快速算法及其特性分析[J]. 地球物理学报, 2007, 50(2): 644-645.  
Xing Guanglong, Yang Shande, Li Shuguang. *Chinese Journal of Geophysics*, 2007, 50(2): 644-645.
- [3] 高杰, 辛秀艳, 陈文辉, 等. 随钻电磁波电阻率测井之电阻率转化方法与研究[J]. 测井技术, 2008, 32(6): 504-506.  
Gao Jie, Xin Xiuyan, Chen Wenhui, et al. *Well Logging Technology*, 2008, 32(6): 504-506.
- [4] Coupe D, Huang F S C, Shen L C. The theory of 2MHz resistivity tool and its application to measurement while drilling [J]. *Society of Petrophysicists & Well Log Analysts*, 1984, 25(3): 35-46.
- [5] 王滨涛, 吴锡令, 王晓星. 电磁成像正演仿真与传感器参数优化设计 [J]. 地球物理学报, 2009, 52(12): 3143-3144.  
Wang Binta, Wu Xiling, Wang Xiaoxing. *Chinese Journal of Geophysics*, 2009, 52(12): 3143-3144.
- [6] McGillivray P R, Oldenburg D W. Methods for calculating frechet and sensitivities for the non-linear inverse problem: A comparative study[J]. *Geophys Prospect*, 1990, 38(5): 499-524.
- [7] 吕伟国. 水平井中感应测井、电磁波测井测量响应研究[D]. 吉林: 吉林大学地球科学学院, 2009.  
Lv Weiguo. Study on induction logging and electromagnetic wave logging responses in horizontal wells [D]. Jilin: College of Earth Sciences, Jilin University, 2009.
- [8] 葛哲学, 孙志强. 神经网络理论与 Matlab R2007 实现 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.  
Ge Zhexue, Sun Zhiqiang. The theory of neural network and realization of Matlab R2007 [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
- [9] 王滨涛, 吴锡令, 苑娜. 随钻电磁波电阻率测井视电阻率提取及正演模拟分析[J]. 科学技术与工程, 2010, 10(13): 3051-3052.  
Wang Binta, Wu Xiling, Yuan Na. *Science Technology and Engineering*, 2010, 10(13): 3051-3052.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·



## “2010年全国压电和 声波理论及器件技术 研讨会”征文

中国力学学会、中国声学学会将于 2010 年 12 月 10 日召开“2010 年全国压电和声波理论及器件技术研讨会”。

征文内容:压电理论(包括微纳米压电理论),声波理论(表面波、体波等),压电器件设计与分析(谐振器、传感器、换能器、MEMS/NEMS/Nano 压电器件等),压电材料(陶瓷、晶体、薄膜、微纳米等压电材料),超声技术,压电器件的加工与制造技术(包括微纳米材料与器件的制造与制备技术),振荡器、滤波器的设计与制造。

征文截止日期:2010 年 10 月 31 日

联系方式:福建省厦门市厦门大学萨本栋微纳米技术研究中心 407 (361005) 郭航,电话:0592-2186897,传真:0592-2187196,电子信箱:hangguo@xmu.edu.cn。

会议网站:<http://piezo.xmu.edu.cn>

·学术动态·

## “2011 年全国 第一届水下安保技术 学术交流会”征文

中国声学学会将于 2011 年 3 月 1 日在北京召开“2011 年全国第一届水下安保技术学术交流会”。

征文内容:水下安保系统总体技术,水下安保中的水声技术,水下安保中的非声学技术,水下安保实际应用案例等。

征文截止日期:2010 年 10 月 31 日

联系方式:地址:北京市北四环西路 21 号中国科学院声学研究所图像声纳技术实验室(100190) 杨娟,电话:010-62565804-809,电子信箱:yangjuan@mail.ioa.ac.cn。

会议网站: <http://www.aschina.org>