

# 地面核磁共振数据投影迭代反演

翁爱华<sup>1,2</sup>, 肖占山<sup>1</sup>, 徐世浙<sup>1</sup>

1 浙江大学 理学院, 杭州, 310027; 2 吉林大学 应用地球物理系, 长春, 130026

## 1. 前言

将观测到的核磁信号转化为地下含水层含水量分布是地面核磁共振数据的反演。在自由空间中, 地面核磁共振数据的反演可转化为线性方程组求解问题。该方程组求解实际是混定方程组的解。为获得稳定的解, 通常采用正则化方法进行求解。尽管如此的处理可以获得方程组的解, 在实际工作中, 由于导电性的影响, 套用自由空间的线性方程组计算, 仍然可能得到没有实际意义的负含水量。

由于由地面核磁共振信号求含水量分布的过程与核磁测井谱分解的相似性, 我们提出采用核磁测井谱分解中的投影迭代方法对地面核磁共振测量数据进行反演。

## 2. 地面核磁共振反演公式

假设发射线圈为圆环线, 在地面核磁共振勘探中, 当激发脉冲电流停止后, 回线中将产生随时间  $t$  变化的自由感应信号。当地下含水层呈层状分布时, 信号的初始强度 (振幅)  $E_0(Q)$  可化为对深度变量  $z$  的积分形式, 即

$$E_0(Q) = \int_0^{\infty} K(Q, z)n(z)dz \quad (1)$$

式中  $n(z)$  是地层含水量,  $K(Q, z)$  称为积分核。对激发电流脉冲强度  $Q$  和深度  $z$  离散化后有

$$E_{0i} = K_{ij}n_j, \quad (2)$$

其中  $n_j$  为第  $j$  含水层的含水量, 并且  $0 \leq n_j \leq 1$ 。进一步可将上式写成如下的矩阵形式

$$Kn = E. \quad (3)$$

## 3. 投影迭代反演原理

(3)式的求解与如下的极值优化问题等价, 即:

$$\begin{aligned} Ax = y & \quad \min : \|y - Ax\|^2 + \alpha^2 \|Wx\|^2 \\ s.t. & \quad s.t. \\ 0 \leq x_j \leq 1 & \Leftrightarrow x_j \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$\alpha^2$  称为正则化因子,  $W$  是体积为  $K \times N$  的模型约束条件矩阵, 取决于模型限制方式。优化问题(4)的数值实现有多种方法。这里采用负解迭代消去法, 具体过程如下:

- (1). 利用正则化方法求解(3)式, 获得谱分布的一个可能解;
- (2). 对每一个解分量, 判断是否非负。若否, 则删除对应于该分量的矩阵与右手边向量的行与元素。转(1);
- (3). 输出反演结果。

## 4. 结论

地面核磁共振数据反演由于反演本身的病态特征, 采用常规的正则化方法反演的结果可能会出现负值解。文中提出利用投影方法实现地面核磁共振数据的反演, 克服了常规正则化反演的缺点。

本文的研究由国家自然科学基金 (No. 40304009) 资助。

## 参考文献

- 1 翁爱华等. 层状导电介质中地面核磁共振响应特征理论研究, 地球物理学报, 44, 1, 2004
- 2 翁爱华等. 核磁共振测井数据高分辨率反演方法研究, 测井技术, 26, 6, 2002