

利用插值实现高精度地面核磁共振数据正反演计算

翁爱华 王雪秋

(吉林大学应用地球物理系 吉林长春 130026)

地面核磁共振是勘探地下水的直接方法,在工作条件较好时,效果较为明显。为由观测到的地面核磁共振信号获得地层含水量的分布,通常要进行数据反演。但目前地面核磁共振勘探深度较小,而且在相对深部,反演精度与分辨力下降。究其原因,部分来自积分核函数计算精度在深部下降所致。为此,我们提出提高积分核计算精度的一个途径。

1. 地面核磁共振灵敏度矩阵公式

假设发射线圈为圆回线,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,信号的初始强度(振幅) $E_0(Q)$ 为

$$E_0(Q) = \frac{\omega}{I} \int_V M_{\perp}(\vec{r}, Q) \cdot B_{1\perp}(\vec{r}) dV \quad (1)$$

式中 $Q = I\tau$ 称为激发电流脉冲强度, I 为电流强度, τ 是电流持续时间, ω 为水中质子在地磁场中的核磁共振圆频率, $B_{1\perp}(\vec{r}) = \mu_0 H_{1\perp}(\vec{r})$, μ_0 为真空磁导率, $H_{1\perp}(\vec{r})$ 是回线源在位置 \vec{r} 产生的磁场强度垂直于地磁场的分量, M_{\perp} 是地下含水层中质子磁矩被激发磁场扳倒后垂直于地磁场的分量。当地下含水层呈层状分布时, $E_0(Q)$ 可化为对变量 z 的积分形式,即

$$E_0(Q) = \int_0^{\infty} K(Q, z) n(z) dz \quad (2)$$

式中 $n(z)$ 是地层含水量, $K(Q, z)$ 称为积分核,并有如下表达式

$$K(Q, z) = \frac{\omega}{I} M_{\perp} \iint_{x,y} B_{1\perp}(x, y, z) \sin(\theta(x, y, z, Q)) dx dy \quad (3)$$

从(2)式和(3)式可见,为提高地面核磁共振正演模拟与反演的精度,必须较精确地计算出积分核函数 K 。

2. 提高计算量计算精度途径

地面核磁共振数据正演与反演的计算量较大,地下模型空间剖分的方法决定了该计算量及计算精度。

计算量主要来自两个方面,一个是地面大回线源在空间任意一点产生的磁场的计算,此时磁场是振荡 Bessel 函数的积分;另一计算量来源于地面核磁信号的空间积分。在两者中,前者相对重要,因为后者主要涉及核函数的积分,而该核函数与磁场的计算有关。显然,为提高计算积分的精度,要尽可能细化计算空间,但这是不切合实际的。为此,我们从两个方面着手来提高地面核磁共振数值模拟的计算精度与速度。首先,由于连分式的一系列特点与优点,我们研究了利用连分式由尽可能少的空间节点处的磁场,插值获得空间其他剖分节点处高精度磁场的可能性。接着,在计算积分核函数时,采用精度较高的高斯求积公式代替简单的矩形积分,在那里积分的计算只由剖分节点处的计算值决定,而采用求积公式时,积分节点处的磁场值可利用连分式插值由少量空间节点的磁场通过插值进行求取。

通过对层状导电模型的数值模拟,结果表明我们的计算思路是合理的,理论模拟的计算速度快,同时在深部计算的精度相对简单的矩形方法要高很多。这为提高地面核磁共振数据深部反演的分辨率提供理论依据。

本文得到国家自然科学基金(40403009)和吉林大学青年教师基金的联合资助。

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] Shushakov O A, Legchenko A V. Calculation of Underground Water Proton Magnetic Resonance Signal with Regard to Conductivity. Geology and Geophysics (In Russian), 35, 1994