

约束条件下 3D 重磁位场自动反演

刘 璎¹, 吕庆田², 严加永²

(1 东华理工大学核工程学院地球探测与信息技术, 江西 抚州 344000; 2 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

重磁反演可以分为以下 3 类:第一类是根据密度差或磁化率圈定某一区间密度体或磁性体, 结合先验信息(如地质或钻孔资料)的约束, 以在地质解释时取得最佳的结果; 第二类是位场的变换处理(如传统的求导数、延拓、匹配滤波等技术)与图像处理技术(边缘检测、图形增强等)相结合的定性分析方法, 推断出地下目标体的构造格架图; 第三类是介于上述两类技术之间的位场自动反演技术, 如: 解析信号法、Euler 反褶积法、SPI 法(场源参数成像)和利用复小波变换进行反演的方法等。位场自动反演是在一般性的假设前提下进行的, 无需知道场源物性(密度或磁)和场源形状等先验知识, 只需利用重、磁异常及其导数就可以进行反演, 快速圈定异常源的基本轮廓并给出相应的埋深参数。

约束性反演概述 重磁测量数据通过处理, 如区域场分离、滤波等处理, 保留反演拟达到的深度范围内的信息; 用以反演数据的误差估计, 包括数据噪声估计, 观测点定位误差等导致数据的误差。先验信息收集, 包括地质、构造、钻孔、物性资料等先验资料, 先验信息(约束条件)可以为后续模型构建、权重函数设置、模型单元的物性(密度或磁化率)边界范围选取提供有用的信息。

1 目标函数的确定

为找到一个特定的模型, 地球物理反演理论定义了一个关于密度(磁化率)的目标函数, 以使其最小化以符合实际情况。目标函数的细节取决于具体的问题, 并且可以随着先验信息的改变而改变, 但是一般而言, 目标函数应该具有一定的灵活性以使所构造的模型接近参考模型, 并使产生的模型在三维空间里是平滑的。目标函数的定义如下式所示(以重力为例):

$$\begin{aligned} \phi_m = & \alpha_s \int_V \omega_s \omega^2(z)(\rho - \rho_0)^2 dv + \alpha_x \int_V \omega_x \left(\frac{\partial \omega(z)(\rho - \rho_0)}{\partial x} \right)^2 dv \\ & + \alpha_y \int_V \omega_y \left(\frac{\partial \omega(z)(\rho - \rho_0)}{\partial y} \right)^2 dv + \alpha_z \int_V \omega_z \left(\frac{\partial \omega(z)(\rho - \rho_0)}{\partial z} \right)^2 dv \end{aligned} \quad (1)$$

式中: ω_s , ω_x , ω_y 和 ω_z 空间相关函数, 而 α_s , α_x , α_y 和 α_z 决定沿某个方向重要性的系数, 它们决定着模型的圆滑程度。

2 网格剖分

即模型离散化, 将地下半空间剖分成若干合适的矩形体(代表地质体单元), 组合形成三维模型区域。在物性反演中, 一旦模型的剖分关系确定下来后, 其几何形态及与测点的相对关系将始终保持不变。网格剖分时即需要考虑模型的精度, 如多大的模型单元才能反映感兴趣地质体分布, 同时, 还好考虑计算量, 在满足精度需求前提下控制模型单元的数量, 从而减少反演所需的时间, 实现快速反演。

3 深度加权

由于重磁数据没有固有和确定的垂向分辨率,因此,浅部小的地质体与深部大的地质体引起的重磁异常很难区分。在模型构建过程中,这直接表现为核函数随深度衰减,由于其幅值随深度增加迅速衰减,地面观测数据的不足于产生具有深度分辨率的核函数。为克服这种现象,反演需要引入深度加权方法来减少这种自然衰减对反演结果的影响。将深度加权函数定义如下:

$$\omega(\bar{r}_j) = \left[\frac{1}{\Delta z_j} \int_{\Delta z_j} \frac{dz}{(z+z_0)^2} \right]^{1/2}, j=1 \cdots M \quad (2)$$

\bar{r}_j 是第 j 个网格单元与观测点的距离, Δz_j 是第 j 个单元的厚度,此加权函数是一个归一化的函数,所以其最大值为一个单位。数值模拟试验表明当使用深度加权函数时,(1)式模型目标函数最小化多的的密度模型能使引起重磁异常的源体出现在正确的位置上。

4 差值拟合

反演问题是通过寻找一个合适的密度模型使 ϕ_m 和拟合差最小化来实现的,即使 $\phi(\rho) = \phi_m - \lambda^{-1}(\phi_d - \phi_d^*)$ 最小化, ϕ_d^* 是拟合差的目标值, λ 是拉格朗日算子。最小化过程通过泛子空间 (generalized subspace) 技术求解,通过多次迭代得到合适的解。

5 结论

(1) 如何借助先验信息,定义反演过程所用到的参数,来确定目标函数及空间相关系数、深度加权函数等是决定反演结果好坏的重要步骤。

(2) 设置合适的拟合差,通常将其设置为测量数据的标准偏差,这样有助于控制在计算过程中正演场与实测场的均方误差。

(3) 解的评价,从收敛性、地质解释的合理性对反演结果进行综合评价,并在三维可视化环境下与其他相关信息(约束条件)综合集成,进行反演结果的解释,已取得良好的综合解释效果。

(4) 由于三维反演的有着巨大的数据量,在网格剖分与运算中必须选择合适的剖分单元,并选择合适的算法,在计算与数据储存找到一个途径,提高反演的速度与能力。

参考文献

姚长利. 2002. 重磁反演约束条件及三维物性反演技术策略[J]. 物探与化探

Nicholas Cory Williams. 2008. Geologically-constrained UBC-GIF Gravity and Magnetic Inversions With examples from the Agnew-Wiluna Greenstone Belt, Western Australia.