

· 专题 15: 沉积盆地金属矿床成矿系统及找矿勘查技术 ·

## 大地电磁测深正反演研究进展

柯颂颂<sup>1,2</sup>, 刘云<sup>1\*</sup>, 王赞<sup>1,3</sup>, 许小凯<sup>1</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 中国地质大学(北京), 北京 100083

大地电磁测深法 (manetotelluric, MT) 是苏联学者 Tikhonov (1950) 和法国学者 Cagniard (1953) 于 20 世纪 50 年代提出, 是基于电磁感应原理以天然电磁场为场源, 在地表测量相互正交的电场和磁场来研究地壳和上地幔电性分布的地球物理方法。当交变电磁场在地下介质中传播时, 由于趋肤深度的作用, 不同频率的信号具有不同的穿透深度, 在地面上观测大地电磁场, 它的频率响应将反映着地下介质电性的垂直分布情况。经过多年的发展, 现在已被广泛应用于矿产和油气勘查、地下水资源寻找、地壳和上地幔构造探测、区域地质调查和地震预报等方面。

正演和反演是大地电磁测深数据解释过程中两类重要技术: 正演是通过给定初始模型及边界条件求解理论场值; 反演则是相反的过程, 由观测场值的大小及分布反推介质模型。大地电磁的最终目标是获取尽可能接近真实地下介质的电性结构模型。因此, 必须通过一系列正、反演计算, 寻求反演模型理论响应与实测资料的最佳拟合。

### 1 正演方法

在大地电磁测深正反演理论中, 正演模拟的精度与速度怎么样? 将决定反演计算的稳定性、精度和速度, 这些问题都是反演方法推广中所需解决的主要问题。在实际应用中, 除了少数简单的构造形态外, 正演需要借助于解偏微分方程或积分方程的数值计算方法求出近似解。目前, 用于大地电磁测深正演数值模拟主要有有限差分法、有限单元法、积分方程方法等方法。

有限差分法: 有限差分法是近似求解偏微分方程边值问题常用的方法之一, 其基本原理是, 将连续微分方程及边界条件用含有限个未知数的离散差分

方程近似代替, 差分方程的解就是微分方程边值问题的近似数值解。

有限单元法: 有限单元法需要将求解区划分为互不重叠的有限个小单元, 并选择合适的节点作为每个单元求解函数的插值点, 然后利用各变量的节点值代替原微分方程中的变量, 后根据所选的插值函数, 离散求解原微分方程。

积分方程法: 积分方程法是将模型中的电导率分布划分为背景电导率和异常体电导率, 则空间中任意点的电场可表示为由入射源在背景电导率中产生的背景电场和由异常电导率引起的散射电场的迭加。由于二次散射电场可以通过场源电流乘以适当的张量格林函数再对异常体所占体积积分得到, 故在均匀大地中可得到三维异常体电磁响应的积分方程。

### 2 反演方法

MT 反演的目的, 是为得到地下目标体的电性参数及其空间分布特征。反演解释是大地

电磁测深至关重要的环节, 而地球物理场具有多解性, 无法消除, 只有尽可能地减小解的非唯一性, 因此在一定程度上反演解释反映大地电磁测深的研究水平。大地电磁反演方法研究经历了从定性近似反演到数值反演、从一维、二维反演到三维反演及线性到非线性全局最优化反演方法的发展阶段。一维反演常用的反演方法包括 Bostick 反演法、高斯-牛顿法、梯度法和连续介质反演法等。二维反演现在主要推广二维快速松弛反演方法。三维反演方面, 目前, 大地电磁测深 (MT) 资料的三维正、反演问题, 已成为国际地球内部电磁感应领域研究的前沿课题。随着三维正演的发展, MT 的三维反演研究也日趋升温, 反演方法众多, 主要有共轭梯度法极大似然反演、非线性

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFC0600505-5)

第一作者简介: 柯颂颂 (1992-), 男, 硕士研究生. E-mail: 1227195172@qq.com.

\* 通讯作者简介: 刘云 (1973-). E-mail: liuyun@vip.gyig.ac.cn.

性共轭梯度反演和拟线性近似反演等。

### 3 结论与讨论

目前,大地电磁测深一维、二维正演方法已相对成熟,然而三维正演方法还处于发展阶段,特别是对复杂地形的大地电磁模型的数值模拟,具有极大的挑战。而对于反演而言,由于每一种反演方法都存在优势和不足,因此在实际应用中应充分发挥它们

的优点,根据实际问题的约束条件和要求,选用优的反演方法。对于以后而言,要加强复杂物理模型算法理论的研究,提高大地电磁正演的精确性,改进大地电磁正演研究方法,特别是对三维正演方法的突破。对于反演而言,要研究新的反演方法,提高反演速度,还要加快与其他地球物理资料联合反演或约束反演的研究。