

地-井瞬变电磁法响应特征分析

侯 宁^{1*} 李恩虎¹ 苏亚超²

1. 绿能慧充数字技术有限公司 陕西西安 712044

2. 太原重型机械集团有限公司 山西太原 030032

摘要: 地-井瞬变电磁法是在传统瞬变电磁法的基础上衍生的一种新的电磁勘探方法, 能够大大提高勘探效率。本文以地-井瞬变电磁法的理论为依据, 利用COMSOL有限元软件建立地-井勘探模型, 分别研究其不同发射电流强度下和非均匀地层条件下异常体电导率变化后的瞬变电磁响应特征, 分别研究均匀地层和非均匀地层条件下的瞬变电磁响应特征, 为之后的反演工作奠定基础。

关键词: 地-井探测; COMSOL; 响应特征

一、绪论

随着瞬变电磁法勘探向着大深度、大精度的方向发展, 地-井瞬变电磁法取得了飞速发展^[1]。地-井瞬变电磁法是瞬变电磁法的一种形式, 由名字就可以知道, 它是将发射装置放在地面上或者井空上方, 在外场源给出激励, 用接收探头测量地下地质体中产生的瞬变电磁场。相比于传统的瞬变电磁法, 它的接收装置更加接近地质体, 更容易近距离的获取井下的异常响应, 对探测目标具有更强的分辨力^[2]。此外, 由于它的接收系统置于井下, 能够大大提高观测所得数据的信噪比。近些年来在矿产资源勘测等方领域受到广泛的应用并取得了非常好的勘查效果。

地-井瞬变电磁法起源于上世纪七八十年代, 至今已取得大量的理论与应用成果。地-井瞬变电磁法在国外起步比较早, 20世纪80年代, 加拿大CRONE公司和Geonic公司联合澳大利亚的MCI公司联合推出了商用地-井瞬变电磁系统。我国则是于2018年由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所推出了国产地-井IG-

GETEM4.0三分量系统^[3]。武军杰等对电性源地-井瞬变电磁法三分量响应特征进行了分析^[4]; 孟庆鑫等研究了大地介质影响下的地-井瞬变电磁法的正演模拟特征^[5]。目前, 地-井瞬变电磁法勘探尚处于开发阶段, 在正反演方面仍然存在一些问题。因此, 本文建立地-井勘探模型, 然后利用COMSOL有限元软件对进行仿真, 通过改变发射电流强度和改变异常体的电导率对其相应特征进行分析。

二、地-井模型的建立

以地-井瞬变电磁理论为基础, 利用COMSOL Multiphysics有限元软件建立地-井地质模型, 也就是将发射装置布置于地面, 接收装置位于井下。以方波信号作为激励, 分别研究均匀模型下不同发射电流强度和非均匀模型下异常体电导率变化时的瞬变电磁响应特征。

构建的地-井地模型如图1所示。在此模型中, 上面为空气域, 下面为地层域, 中间依次为发射线圈、异常体和接收套管, 该地-井模型参数如表1所示, 方波激励如图2所示。

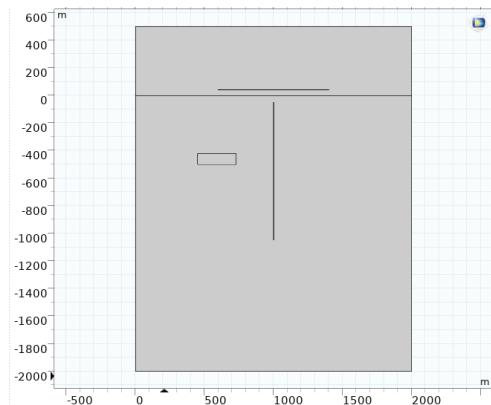


图1 地-井模型

作者简介:

侯宁(1986年), 性别: 男, 籍贯: 河北, 民族: 汉, 学历: 学士, 工作单位: 绿能慧充数字技术有限公司, 职称: 中级工程师, 研究方向: 新能源汽车充电桩开发和化学电池储能技术研究;

李恩虎(1979年), 性别: 男, 籍贯: 陕西, 民族: 汉, 学历: 学士, 工作单位: 绿能慧充数字技术有限公司, 职称: 中级工程师, 研究方向: 新能源汽车充电桩开发和化学电池储能技术研究。

表1 地-井模型参数表

参数名称	参数值
空气域宽度	2000
空气域高度	500
地层域宽度	2000
地层域高度	2000
套管井长度	1000
套管井直径	1
发射线框长度	800
发射线框宽度	1
异常体宽度	280
异常体高度	80

上表中单位均为m。此外，在此模型中，空气域的电导率为0S/m，地层域的电导率为0.01S/m，接收套管的电导率为4.032e6S/m，它们的相对介电常数均为1。

1. 均匀地层模型下不同发射电流强度的瞬变电磁响应

在异常体被禁用且保证其他参数不变的情况下，分别使用幅值为1和幅值为10的方波激励，并且均设置地层电导率为0.01S/m，分别观察各自激励下的瞬变电磁响应特征。

2. 非均匀地层模型的瞬变电磁响应

启用异常体之后，通过改变异常体的电导率的值来研究在非均匀地层情况下的瞬变电磁响应。

三、响应特征分析

通过上述模型的构建，分别设置好相关参数后，得到各自仿真结果如下：

1. 不同发射电流强度的响应特征结果

如图：图2和图3分别是幅值为1和幅值为10的方波激励下的电势等值线图；图4和图5分别为幅值为1和幅值为10的方波激励下接收套管的电势变化

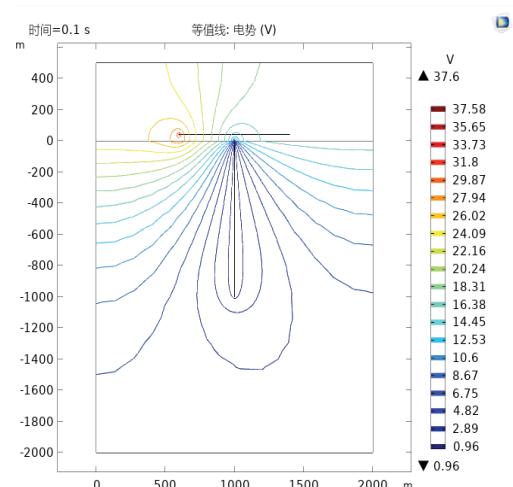


图2 幅值为1的方波激励电势等值线

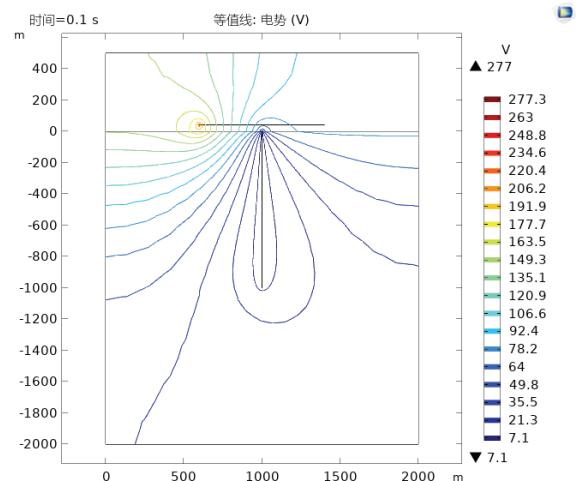


图3 幅值为10的方波激励电势等值线

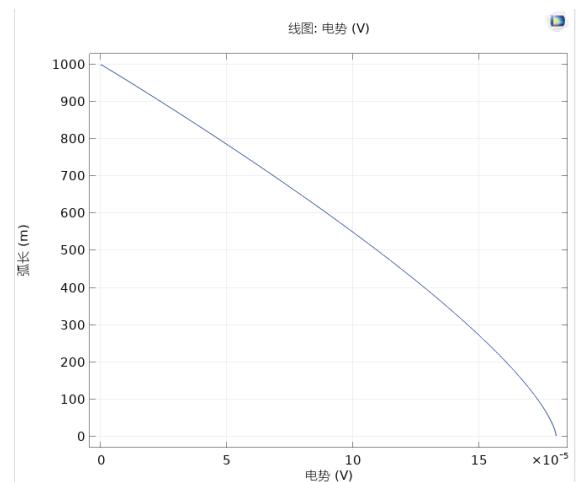


图4 幅值为1的方波激励接受套管的电势变化

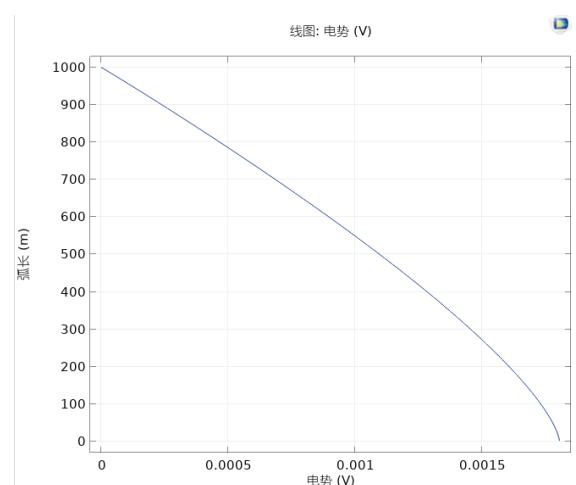


图5 幅值为10的方波激励电接收套管电势变化

由图2和图3可以看出：改变发射电流的强度之后，电场线的分布情况是没有发生变化的，只是电势的幅值发生了变化，电流越大，幅值越大。

由图4和图5可以看出：当发射电流强度变化之后，接收套管处的电势变化曲线也是没有发生变化的，只是幅值随着电流的增大相应的变大。

2. 非均匀地层的响应特征

下图分别为异常体电导率为10、电导率为1和电导率为0.1的电势等值线

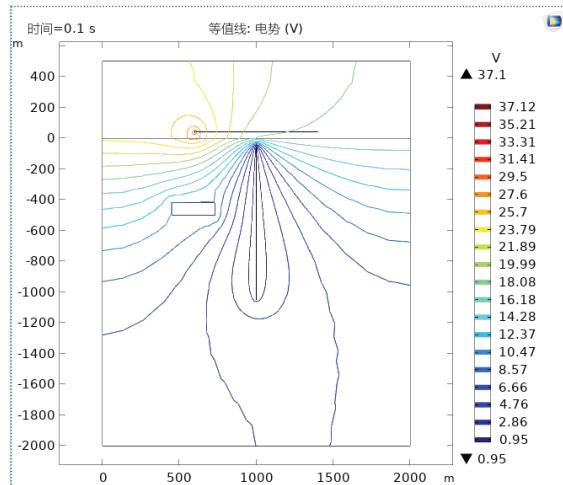


图6 电导率为10的异常体电势等值线

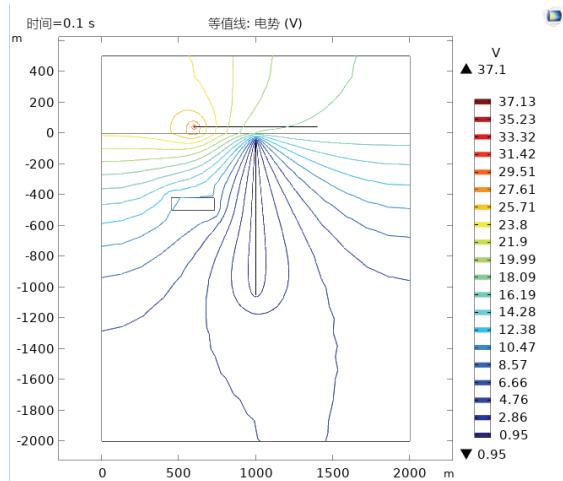


图7 电导率为1的异常体电势等值线

对比图6、图7和图8可以看出：当异常体的电导率发生变化之后，电场线的幅值没有太大的变化，但异常体周围的电场线分布也发生了变化。电导率越大的异常体，等值线的分布变化越明显，这也反映了瞬变电磁法对低阻体比较敏感的特点。

综上所述：通过在均匀地层和非均匀地层建立的地-井模型对其响应特征进行分析，我们可以得出结论：在均匀地层条件下，其他参数不变时，只改变电流强度

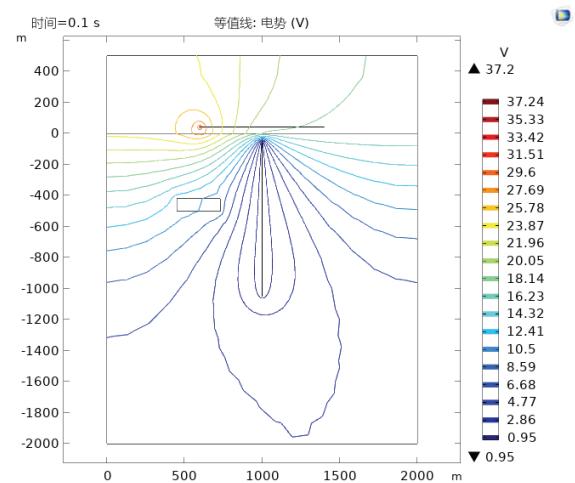


图8 电导率为0.1的异常体电势等值线

时，电场线分布跟瞬变电磁响应是没有变化的，只是幅值发生了变化；在非均匀地层条件下，当异常体的电导率发生变化时，电场线的幅值没有太明显的变化，但是电场线在异常体处的分布发生了变化。

结语

本文利用COMSOL有限元软件建立了地-井模型，并对其响应特征进行了分析。由于正演是反演的基础，而反演是整个探测的最终结果，正演的计算结果可以为反演提供所需的基础数据，也是整个探测过程中非常重要的一个环节。因此，本文通过COMSOL得到正演结果之后，可以为后续进行的反演工作提供强大的支撑。

参考文献

- [1] 张莹莹. 电性源瞬变电磁法综述 [J]. 物探与化探, 2021, 45 (04): 809–823.
- [2] 陈卫营, 韩思旭, 薛国强. 电性源地-井瞬变电磁法全分量响应特性与探测能力分析 [J]. 地球物理学报, 2019, 62 (05): 1969–1980.
- [3] 杜庆丰, 冯晓兰, 黄跃. 地-井瞬变电磁关键技术问题研究 [J]. 物探与化探, 2019, 43 (01): 143–147.
- [4] 武军杰, 李貅, 智庆全, 戚志鹏, 郭建磊, 邓晓红. 电性源地-井瞬变电磁法三分量响应特征分析 [J]. 地球物理学进展, 2017, 32 (03): 1273–1278.
- [5] 孟庆鑫, 潘和平. 地-井瞬变电磁响应特征数值模拟分析 [J]. 地球物理学报, 2012, 55 (03): 1046–1053.