

采用信赖域方法对各种时间域电磁数据组合的一维反演

贾瑞忠 L.J. Davis R.W. Groom

Petros Eikon Inc, Brampton, Canada, L6W 3R6

电子邮件:rjia@petroseikon.com

摘要

自 80 年代初以来,人们热衷于对以位于发射器线圈内的接收器采集的时间域电磁数据进行一维反演.这些处理法,包括允许未知参数多于已知数据的平滑模型的反演,为电磁探测设备制造商所倡导.由于种种原因,我们反对这种过于简单的方法,并寻求更精确的方法,以找出满足实际地质约束条件的具有更高的分辨精度的模型.在以前的研究中,我们已经研究了准确了解测量系统的重要性,以及如何在反演中利用地质约束条件得到更精确的地质背景分层模型.在本文中,我们提出一种带约束条件的信赖域方法,可同时反演多个测点和多个分量的时间域电磁数据,以便更好地探索结合多种数据来寻求准确和可靠的地质背景模型.这种信赖域方法具有较快的收敛速度,并可以利用已知的地质信息为约束条件。

简介

时间域电磁技术成功地应用于地球探测的各个领域.一些作者努力利用各种数据来得出高分辨精度的反演模型.参考文献[1] 研究对地表和钻孔数据联合反演的价值.参考文献[2] 利用相邻的一维模型为横向约束条件得出高分辨精度的地层模型.参考文献[3] 尝试利用一维反演产生三维模型.我们在参考文献[4]中,分别对位于发射线圈内,外的接收器采集的数据进行反演,并得出结论,线圈外数据可能比线圈内数据更好地探测深层的结构.参考

文献[5]表明，一维多测点数据反演有助于准确建立三维构造异常模型。在本文中，我们提出一种带约束条件的信赖域方法，同时反演多个测点和多个分量的数据。

信赖域方法

我们的信赖域方法用来解决一个简单限界约束的非线性最小二乘法问题。在反演过程中，我们利用泰勒级数展开式作为目标函数的二阶近似。我们利用投影梯度法，确定一个初始点，在该点目标函数的二阶近似式有足够的减少。利用投影梯度法更为有效，因的几个约束约束可以一次行的同时添加。进入第二阶段的计算，进一步寻求如何减少目标函数的二阶近似，目的是为了加快反演的收敛速度，附加约束条件为，落在其边界的参数在第二个阶段保持不变。

结果

我们用**信赖**域反演法对模拟的地面时间域数据进行反演。模拟勘测设计中，发射器是一个以(0, 0)为中心 400×400 米的线圈。接收器位置分别处于每隔 100 米的南北线上，从 0N 到 800N (200N 除外，因这恰好是北侧线圈的位置)。该系统的基频是 30 赫兹，并有 20 断电时间窗口。模拟数据由以下这样的一维模型产生，在 $500 \Omega M$ 的半空间中，位于 400 米的深度插入一个厚 50 米 $50 \Omega M$ 导电层。反演初始模型为：在 $500 \Omega M$ 的半空间中，位于 160 米的深度插入一个厚 50 米 $50 \Omega M$ 导电层。也就是说，与实际模型比较，导电层的位置向上移了 240 米。采用导电层位于 160 米的深度的模型为初始模型，单测点数据反演只在几个测点的反演结果较好。最初的反演(图 1)是对单测点垂直分量进行的，并采用上述的初始模型。只在两个数据点的结果不错：300N 和 600N。在这两个点的反演模型接近实际模型，第一和第三层的电阻率接近 $500 \Omega M$ ，第二层的电导接近 1S，正与实际模型符合。数据对第二层的电导率并不是非常敏感，但对该层的电导非常敏感。在其他五

个测点 (0N, 100N, 500N, 700N, 800N), 反演结果相似, 但模型不拟合数据。在这些模型中, 顶层的电阻率接近 $500 \Omega \text{M}$, 但第二层是在 200 米深的强电阻层, 再下面近乎导电层, 电阻率约为 $200 \Omega \text{M}$ 。这些模型拟合早期时间窗口数据, 但不满足中后期时间窗口曲线的曲率 (图 2)。

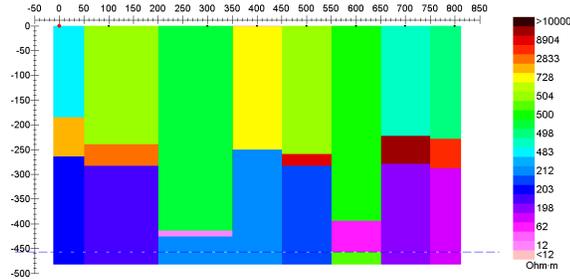


图 1: 垂直分量的单测点数据一维反演结果一览。

多测点数据的反演, 显著改善了垂直分量的反演结果。使用所有八测点数据的反演, 获得非常好的结果 (图 2)。该模型拟合数据且接近实际模型。只有 5 次迭代后反演数据误差就低于 1%。另一个多测点数据反演, 仅利用测点 0N 和 800N, 亦得到很好的结果。在这两个测点, 单测点数据反演效果都不佳, 但在多测点反演一起使用时, 产生一个很好的模型。这个现象出现的原因可能是有多个模型满足单测点数据, 而似乎只能有一个合理的模型同时满足多测点数据。

结论

可以采用信赖域反演方法处理各种时间域数据以得到一个合适的地质背景分层模型。数据可以来自多个测点, 也可以是不同的分量数据。对不同数据组合的反演有很多好处, 包括提高反演过程中的信噪比, 也使要寻求的分层模型的数量的大大地减少。

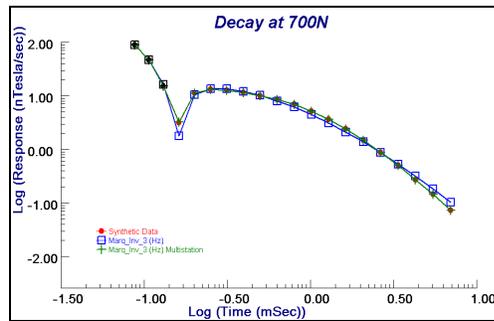


图2: 在测点 700N 的衰变。红色是模拟数据。蓝色是在 700N 测点垂直分量单测点数据的反演结果。绿色是所有八个测点数据的联合反演结果。

参考文献

- [1] Zhang, Z. and Xiao, J. 2001, Inversions of surface and borehole data from large-loop transient electromagnetic system over a 1-D earth [J], Geophysics, 66:1090~1096.
- [2] E. Auken, A. V. Christiansen, L. Jacobsen, and K. I. Sørensen. 2005, Laterally Constrained 1D-Inversion of 3D TEM Data, SAGEEP Proceedings, 18:514~518.
- [3] Viezzoli, A., Christiansen, A., Auken, E. 2008, Spatially constrained inversion for quasi 3d modeling of AEM data, SAGEEP Proceedings, 20 :104~108.
- [4] Groom, Ross, and Jia, Ruizhong. 2005, On time-domain transient electromagnetic soundings, SAGEEP Proceedings, 18:506~513.
- [5] L.J. Davis and R.W. Groom. 2010, Applications of multi-station time domain inversions, SEG Expanded Abstracts, 29:634~638.