

文章编号: 1001—1749 (2008) 04—0314—03

矩形大定源瞬变测深数据模型约束反演

翁爱华, 高玲玲, 刘云鹤

(吉林大学 应用地球物理系, 长春 130026)

摘要: 利用一维光滑模型约束反演对矩形大定源回线的数据进行反演, 大定源回线瞬变电磁响应采用计算速度很快的小方形回线等效叠加方法获得。光滑模型反演分别采用基于平坦约束和光滑约束进行, 通过对层状模型理论的垂直磁场感应电动势数据和实际数据进行反演, 结果表明, 采用光滑模型约束, 能较稳定地获得地下电阻率的合理分布。

关键词: 矩形大定源回线; 瞬变电磁测深; 一维模型; 约束反演

中图分类号: P 631.3⁺25 **文献标识码:** A

0 前言

目前, 瞬变电磁在矿产勘察中的应用越来越广泛, 已成为一个重要的方法。在实际应用中, 一般采用中心回线或重叠回线进行观测, 工作效率较低。由于大定源发射~移动接收组合敷设一回线, 在回线内、外都可以测量, 工作效率大幅度提高^[1]。但大定源瞬变电磁法的资料解释, 目前多采用多道电位(感应电动势)剖面进行定性解释, 因而影响了该瞬变电磁技术的实际应用及效果^[2]。为此, 翁爱华等^[3]提出了针对矩形大定源回线的全区视电阻率解释技术, 取得了较好效果。由于全区视电阻率具有平均效应, 对地电断面纵向分辨率不高, 因此, 最好是对数据进行反演解释, 目前, 电磁数据实用反演主要是一维模型反演。作者在矩形大定源回线快速正演模拟的基础上^[4], 利用光滑模型约束, 实现了大定源回线瞬变测深数据的反演。

1 正演原理

为计算矩形大定源回线, 这里采用小方形回线叠加技术^[4], 即认为大定源回线在空间产生的感应电动势, 可以由有限个边长相互重叠的方形回线产生的感应电动势叠加得到。其中, 最外边方形回

线的外边与矩形大定源边长重叠(见图 1)。该等效过程可以表示为

$$(x, y, t) = \sum_{i=1}^N i(x, y, t) \quad (1)$$

式中 (x, y, t) 为大定源回线产生的感应电动势; $i(x, y, t)$ 为方形小回线在距其中心 r_i 的计算点 (x, y) 处于 t 时刻产生的感应电动势; N 为总的小方形回线源个数。

在新的快速算法里, 先计算各个方形回线的频率域响应, 叠加后计算瞬变响应。这样只需在频率域计算一次 Hankel 变换, 就可以获得频率域响应^[5,6], 并通过一次余弦变换就可以完成瞬变响应的计算^[6,7], 计算速度快。

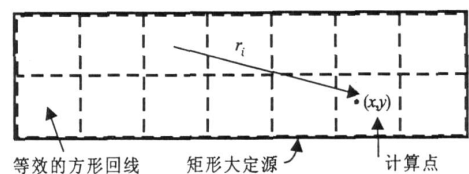


图 1 矩形大定源回线瞬变响应小方形回线等效原理
Fig 1 Large loop partitioned by smaller square loops in equivalent manner

2 模型约束反演

光滑模型约束反演是在广义反演^[8]的基础

上,加上对模型参数光滑性约束,因此常被称为光滑模型反演。该方法反演矩形大定源回线瞬变数据的基本思想是:假设观测到 N 个感应电动势 $d = \{d_i, i=1, \dots, N\}$,它可表示为相应的模型理论响应与观测误差的和,即:

$$d_i = f(Q_i, n) + \epsilon_i, i = 1, \dots, N \quad (2)$$

其中 ϵ_i 为方差,并且为 ϵ_i 的 0 均值数据独立随机噪音; n 为未知的层状电阻率分布矢量。反演要求模型电阻率使目标函数式 (3) 达到最小。

$$\chi^2(n^{est}, d) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{d_i - f_i[n^{est}]}{\sigma_i} \right)^2 \quad (3)$$

利用光滑模型约束极小化式 (3) 等价于如下的约束优化: $\min: J(n^{k+1}) = W n^{k+1}$, 并满足

$$J^k n^{k+1} = d - f(n^k) + J^k n^k \quad (4)$$

在式 (4) 中,假设迭代进行了 k 次,相应的模型为 n^k 。其中 n^{k+1} 为需要估计的第 $k+1$ 次模型参数; W 为模型光滑性约束矩阵; J^k 为第 k 次迭代的偏导数矩阵。

式 (4) 在适当变换后,用奇异值分解方法求解^[10]。由于式 (4) 的约束是直接对模型参数本身,而不是对其修正量进行的约束,因此在反演时,对

初始模型的具体估计准确性要求降低,迭代通常采用均匀半空间模型就可以了^[11]。利用上述方法,已经编制出实用化的程序^[12]。

3 数值结果

3.1 理论模型

光滑模型反演的优点很多,相对于常规的参数化反演,它更稳健,这些在诸多文献中都有例证。为了说明该方法在大定源回线中的效果,设计了如下的模型(见图 2)。回线宽为 1 000 m、长为 400 m 的长方形,反演针对回线内不同位置的三个测点进行,即图 2(a) 中的 O_1 、 O_2 和 O_3 ,相对大回线左下角,坐标分别为 (20, 20)、(420, 20) 和 (420, 120), 这些点分别代表大定源观测中可能的极限位置。地电模型为四层 KH 型模型(见图 2(b) 光滑模型区的细实线),其中第三层为模拟矿层的低阻薄层。设计这样的薄层,主要是考察反演的稳健性和分辨率。采用光滑模型和平坦模型约束反演的结果见图 2(b)。从图 2(b) 可见,不同测点的垂直磁场感应电动势不同,越靠近回线,垂直磁场感

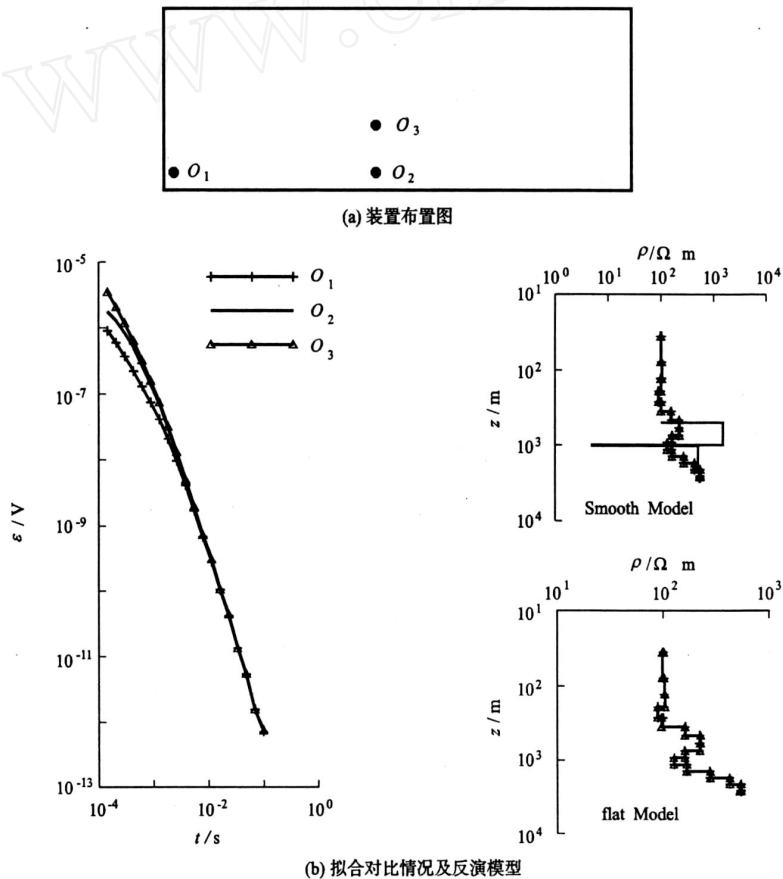


图 2 理论模型的反演结果

Fig 2 Theoretical responses and the inverted models

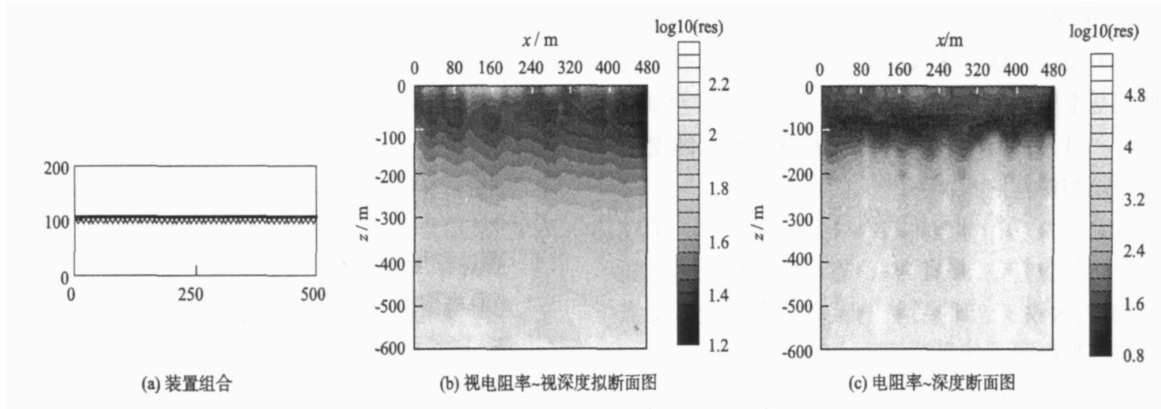


图 3 实际大定源组合观测的垂直磁场感应电动势数据计算结果

Fig 3 Interpretation results of real data collected from large loop configuration

应电动势就越小；不同测点观测数据反演的电阻率分布几乎一样，这反映了模型的真实变化规律；

低阻薄层在观测电动势曲线上表现非常微弱，虽然由于等值性其厚度与电阻率与真值差别较大，但在反演后，其反映非常明显；理论数据的光滑模型与平坦模型约束基本没有差别，对于噪音数据，约束的结果还受到正则化参数的影响^[9]。总之，大定源数据经光滑模型约束后，反演效果是良好的。

3.2 实际结果

利用文中的反演方法，对某实际观测的垂直磁场感应电动势数据进行了反演计算。图 3(a)是具体的装置组合，发射回线为 200 m × 500 m 长方形，▽为测点位置，共 48 个测点，测点距回线边最近只有 10 m。由观测数据计算的全区视电阻率~视深度拟断面图见图 3(b)，从图 3(b)可见，在视深度 60 m 附近存在一个低阻区。由剖面上原始电动势采用光滑模型反演得到的电阻率~深度断面见图 3(c)，从图 3(c)可见，剖面域内的电阻率变化规律基本和视电阻率拟断面图一致，但低阻异常位置得到了正确的归位，并且其厚度被大幅压缩，纵向分辨率增高。

4 结论

矩形大定源回线的数据解释研究目前尚没有过多展开，作者在快速正演的基础上，利用光滑模型约束反演，对大定源回线瞬变测深的垂直磁场感应电动势数据进行了一维导电模型反演。数值结

果表明，反演方法是可行的，反演结果是可靠的，这表明本文的工作为矩形大定源回线数据解释提供了新手段。

参考文献：

- [1] 蒋邦远. 实用近区磁源瞬变电磁法勘探 [M]. 北京：地质出版，1998
- [2] 陆桂福，张强，黄力军. 回线源瞬变电磁测深快速反演方法 [J]. 物探化探计算技术，2005，27(4)：289.
- [3] 刘继东，方文藻. 用线性数字滤波法计算大回线源在地下形成的瞬变电磁场 [J]. 物探化探计算技术，1996，18(3)：231.
- [4] 殷长春，刘斌. 瞬变电磁法三维问题正演及激电效应特征研究 [J]. 地球物理学报，1994，37(增 ID)：486
- [5] 杨文采. 地球物理反演的理论与方法 [M]. 北京：地质出版社，1997.
- [6] CONSTABLE S C, PARKER R L, CONSTABLE C G. Occam's inversion: a practical algorithm for generating smooth modes from electromagnetic sounding data [J]. Geophysics, 1987, 52(2)：289.
- [7] 翁爱华. 中心回线瞬变电磁测深一维 Occam 反演 [J]. 地质与勘探，2007，43(5)：74.
- [8] 欧阳联华，王家林，吴健生. 利用面波频散反演场地参数的 Occam 法 [J]. 物探化探计算技术，2003，25(1)：1.
- [9] 张文权，翁爱华. 地面核磁共振正则化反演方法研究 [J]. 吉林大学学报(地球科学版)，2007，37(4)：809.

作者简介：翁爱华(1969-)，男，安徽天长人，副教授，博士，从事电磁法勘探及地面核磁共振的理论模拟与应用研究。

In order to simulate the earth model of varying topography, this paper put forward the finite element method for the numerical modeling 3D direct current induced polarization data with continuous conductivity media. We used SSORCG method to solve the linear equation and discussed the problem of calculated precision and efficiency during the course of numerical simulation. At last, we verified that the algorithm used is accurate and workable through simulating the earth model with varying topography.

Key words: conductivity; finite element numerical simulation; pre-conditioned conjugate gradient method

INVERSION OF TEM DATA FROM RECTANGULAR LOOP ON A LAYERED EARTH MODEL

WENG Ai-hua, GAO Ling-ling, LU Yun-he (Department of Applied Geophysics, Jilin University, Changchun 130026, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2008, 30(4): 314

The paper presents the inversion of transient electromagnetic (TEM) sounding data of rectangular loop over layered conductive earths by a model constraint method. The TEM response of rectangular loop is estimated by partitioning large loop into much smaller square loops and integrating the response of each square loop. Inversion is adapted from Occam's inversion with both type constraints of the flattest model and the smoothest model. The inversion method is applied to a synthetic layered earth model and field data, and the results show that the model constraint inversion is feasible to rectangular data, and the inverted model is irrelevant with loop shape.

Key words: rectangular loop; TEM sounding; 1D model; constraint inversion

INDEPENDENT COMPONENT ANALYSIS AND ITS APPLICATION FOR PREPROCESSING

ZOU Yong-xiang^{1,2}, WU Jian-ping¹ (1. Dept of Nuclear Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu 650009, China; 2. Yibin University, Yibin Sichuan 644007, China).

COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION, 2008, 30(4): 317

Nuclear detector signal processing has all along been a hard task because of its poor signal to noise ratio (SNR) of the raw nuclear detector signals and almost "blind" about the latent targets what ones want to detect beforehand. A new approach that uses Independent Component Analysis (ICA), a newly developing blind signal processing (BSP) technique, to nuclear detector signal processing has been proposed in this paper. With the help of a fast ICA algorithm, it has successfully extracted quite weak target signals from the nuclear detector signal data with much strong background. So that the SNR of the nuclear detector signal and the detection performance of the nuclear detector signal have both improved greatly. The ambiguities of the sign uncertainty problems of separated target signal components in ICA practical use have also been overcome. The works show the good perspective of ICA application on nuclear detector signal processing.

Key words: independent component analysis; nuclear detector signal; blind source separation

THE TECHNOLOGY OF ULTRASONIC CT USE IN A BRIDGE

WANG He-wen¹, ZHANG Lu², KANG Shi-hai³ (1. Logistical Engineering University of PLA, Chongqing 400041, China; 2. Project test center of Nanjiang in Chongqing, Chongqing 401147, China; 3. Company Project Test Center of Nanjiang in Chongqing, Chongqing 401147, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2008, 30(4): 322

This paper introduces the application of ultrasonic CT technology through to test the pilings of The Chongqing bridge. The results show that the acquisition with sector method can receive abundant data and thus the CT technology can rebuild the internal image