

直流电阻率测深中二维反演程序对 三维数据的近似解释

熊 彬¹, 阮百尧², 黄俊革²

(1. 中国地质大学物探系, 湖北武汉 430074; 2. 桂林工学院, 广西桂林 541004)

摘要: 直流电阻率测深剖面数据解释最好的方法是二维反演, 这是由于它反演速度快, 而三维反演则需要很多的实测数据、很长的计算时间。而且通过对几种三维模型测深数据的二维反演结果的研究, 发现尽管对无走向的良导矿体, 二维反演方法所圈定的异常中心与真实矿体中心有一定的误差, 但基本上还是能反映矿体的真实形态和中心位置。当矿体具有一定的走向长度时, 则无论对高阻矿体还是良导矿体二维反演的效果都很好。

关键词: 直流电阻率测深; 二维反演; 三维模型; 近似解释。

中图分类号: P624 文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2003)01-0102-05

作者简介: 熊彬(1974—), 男, 在读博士研究生, 地球探测与信息技术专业, 主要从事电阻法的正演模拟及反演成像研究。E-mail: cug_xiongbin@sina.com

0 引言

在实际工作中, 由于受自然条件和工作成本的影响, 直流电阻率测深很少进行面积性的工作, 通常情况是选择有限的几条测线作电测深剖面。这对三维反演来说, 实测数据显然太少, 并且数据分布也欠均匀, 很难取得满意的解释结果^[1~5]。另外, 由于三维反演对计算机的内存需求大、计算时间长等缺陷, 也导致实际中应用不广。因此, 对电阻率测深剖面数据解释的最好方法应是二维反演。但由于实际工作中遇到的往往是三维的地质构造, 所以采用二维反演方法所得的结果能否近似反映三维地质构造、所确定的异常体中心位置与真实的位置相差多远是必须讨论的问题。

Beard等^[6]曾讨论过电阻率测深中用一维反演的方法解释二维地电断面的问题, 给出了一个确定高阻体和低阻体界面的公式。阮百尧^[7]也曾在大地电磁测深中探讨过用一维反演结果来近似二维地电断面的效果。本文将在直流电阻率测深中研究用二

维的反演结果近似三维地电断面的效果。

1 实际模型

本文所用的三维地质构造上的电阻率测深数据是用有限元法数值模拟得到的^[8,9]。有限单元采用正六面体, 考虑到实际地质条件下, 矿藏表面都存在矿化层, 单元中的电导率参数采用三线性函数进行插值。测量装置采用偶极—偶极法。具体的网格剖分情况见图1。其中测线 x 方向, 共58个单元, 基线 y 方向26个单元, 深度 z 方向17个单元, 各单元网格步长见表1, 计算区域位于步长为1的网格区域内。

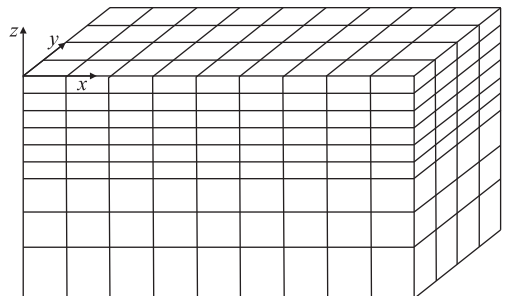


图1 三维正演的有限元网格

Fig. 1 Finite element mesh used for 3-D forward

收稿日期: 2002-04-12

基金项目: 国家自然科学基金(No. 40064001); 广西自然科学基金匹配项目; 教育部优秀青年教师基金项目; 广西培养新世纪学术和技术带头人专项资金资助的部分研究内容。

表 1 有限单元网格间距

Table 1 Mesh intervals of finite element

m

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
x 方向间距	150	100	50	30	15	10	5	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
序号	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	
x 方向间距	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5
序号	53	54	55	56	57	58																					
x 方向间距	10	15	30	50	100	150																					
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
y 方向间距	100	50	30	15	10	5	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5	10	15	30	50	100	
序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
z 方向间距	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	5	10	15	30	60										

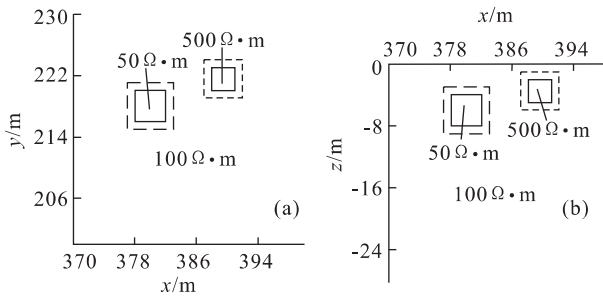


图 2 模型 1 的平面图(a)及剖面图(b)

Fig. 2 The x - y plane view (a) and the x - z cross section view (b) of the model 1

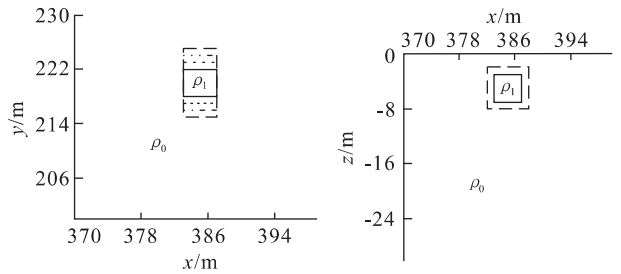


图 3 模型 2 和模型 3 的平面图(a)及剖面图(b)

Fig. 3 Plane views (a) and section views (b) of the model 2 and model 3

(a)围岩电阻率 $\rho_0=50 \Omega \cdot m$, 矿体电阻率 $\rho_1=100 \Omega \cdot m$; (b)围岩电阻率 $\rho_0=100 \Omega \cdot m$, 矿体电阻率 $\rho_1=50 \Omega \cdot m$

共计算了 3 种三维地质模型。

模型 1 为水平地形下含有 2 个体积、电阻率均不相同的方形矿体,其中围岩电阻率为 $100 \Omega \cdot m$; 矿体 1 为电阻率 $50 \Omega \cdot m$ 的良导体,体积 $4 m \times 4 m$,顶部埋深为 $4 m$; 矿体 2 为电阻率 $500 \Omega \cdot m$ 的高阻体,体积 $3 m \times 3 m \times 3 m$,顶部埋深 $2 m$ 。两矿体横向间距 $7 m$,从矿体(实线)到围岩(虚

线)有 $1 m$ 厚的矿化层,内中电导率线性变化,参见图 2,图 2,3 中坐标轴 x, y 的刻度只标出近矿体部分区域)。研究目的是二维反演结果能否反映三维良导体和高阻体的存在,异常中心位置是否与良导体和高阻体中心位置相同。

模型 2 和模型 3 为水平地形下含有一走向长度

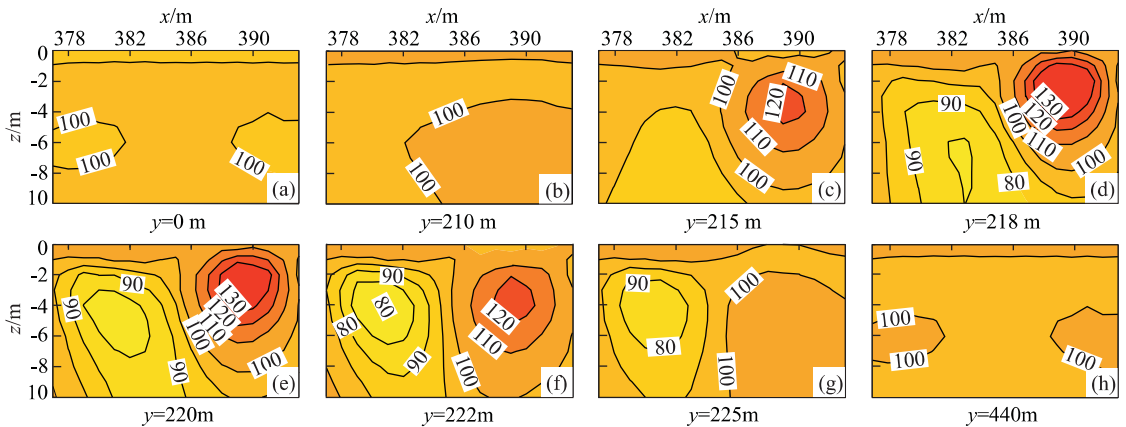


图 4 模型 1 偶极—偶极测深反演断面等值线(等值线单位 $\Omega \cdot m$)

Fig. 4 Cross section contours of pole-pole sounding inversion for the model 1

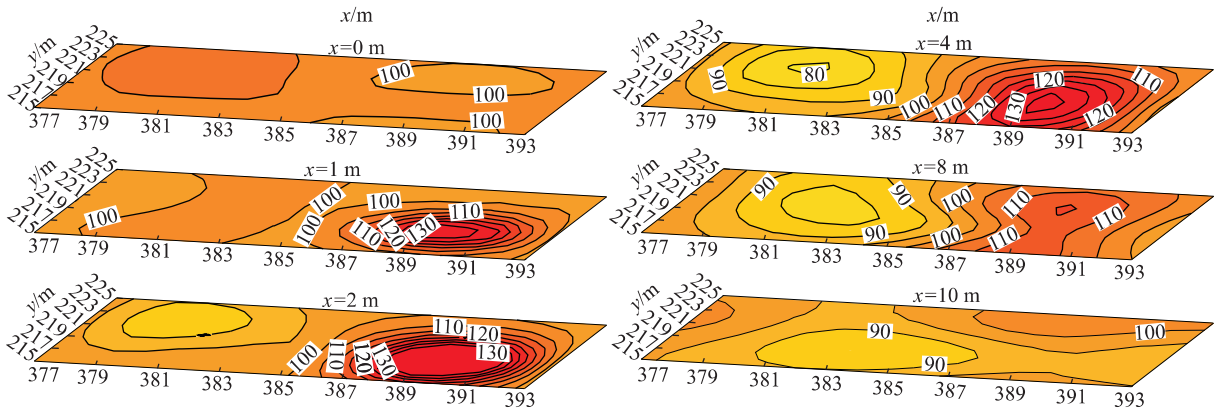


图 5 模型 1 偶极—偶极测深反演平面等值线(等值线单位 $\Omega \cdot m$)

Fig. 5 Horizontal section contours of pole-pole sounding inversion for the model 1

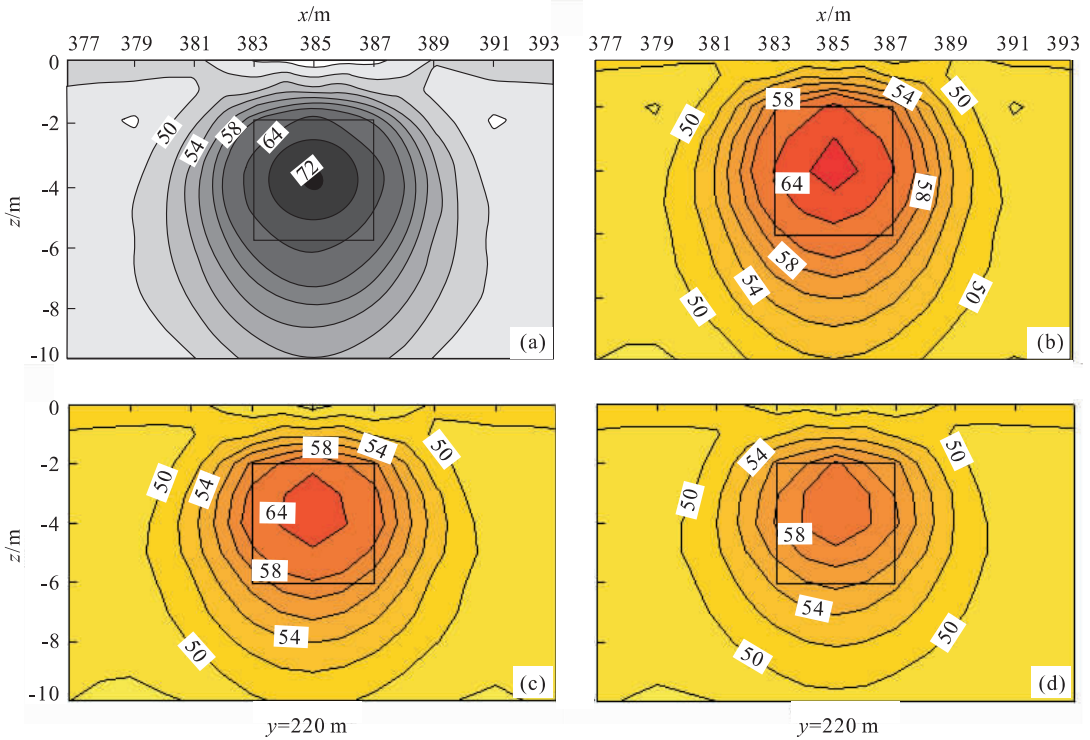


图 6 不同延深的高阻矿体主剖面视电阻率反演断面等值线(等值线单位 $\Omega \cdot m$)

Fig. 6 Contours of apparent resistivity inversion in main profiles of high resistivity ore-bodies with different strike lengths

a. 矿体体积 $4 m \times 10 m \times 4 m$; b. 矿体体积 $4 m \times 8 m \times 4 m$; c. 矿体体积 $4 m \times 6 m \times 4 m$; d. 矿体体积 $4 m \times 4 m \times 4 m$

变化的矩形矿体,其中模型 2 为电阻率 $100 \Omega \cdot m$ 的高阻矿(围岩电阻率 $50 \Omega \cdot m$);模型 3 为电阻率 $50 \Omega \cdot m$ 的良导矿(围岩电阻率 $100 \Omega \cdot m$),从矿体(实线)到围岩(虚线)也有 $1 m$ 厚的矿化层,内中电导率线性变化,如图 3 所示.矿体顶部埋深为 $3 m$, x 方向长度为 $4 m$, z 方向厚度也为 $4 m$, y 方向(走向)长度则有 $4, 6, 8$ 和 $10 m$ 4 种变化.主要研究矿体走向长度变化时,二维反演结果的精度变化情况.

2 二维反演方法和对三维数据的反演结果

本文所用的二维反演方法是最小二乘反演方法^[10,11],它的核心是二维有限元法正演.在计算视电阻率对模型电阻率的偏导数中采用了电位函数与模型参数间的简单关系^[12],从而在有限元正演中就得到了反演所需的 Jacobian 矩阵,大大节省了反演

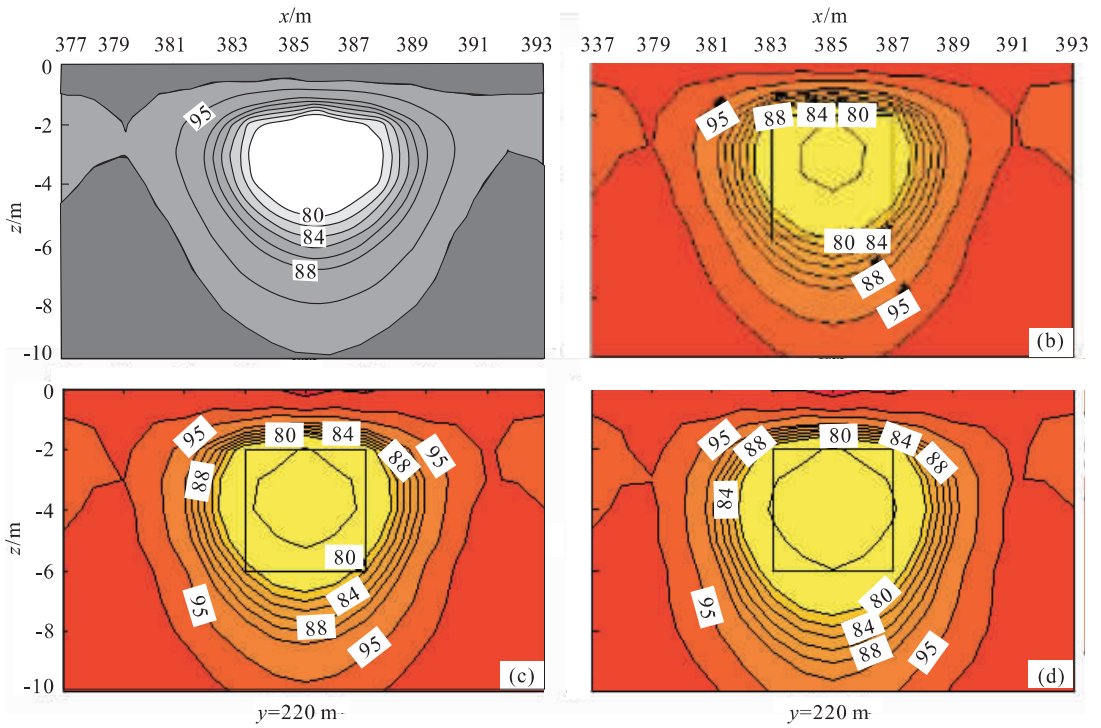


图 7 不同延深的低阻矿体主剖面视电阻率反演断面等值线(等值线单位 $\Omega \cdot \text{m}$)

Fig. 7 Contours of apparent resistivity inversion in main profiles of low resistivity ore-bodies with different strike lengths
a. 矿体体积 $4\text{ m} \times 4\text{ m} \times 4\text{ m}$; b. 矿体体积 $4\text{ m} \times 6\text{ m} \times 4\text{ m}$; c. 矿体体积 $4\text{ m} \times 8\text{ m} \times 4\text{ m}$; d. 矿体体积 $4\text{ m} \times 10\text{ m} \times 4\text{ m}$

时间. 另外为了解决反演问题的多解性, 笔者在目标函数中加入最简单模型和背景场等先验信息, 使反演结果更接近实际情况. 考虑到许多情况下, 岩石的电导率参数常常是连续变化的特点, 网格单元中的电导率采用连续变化.

图 4 是模型 1 上视电阻率测深剖面数据经二维反演后绘出的不同测线的断面等值线图, 其中实线方框为真实矿体位置; 图 5 为反演结果各深度的平面等值线图. 从图中可以清楚地看到, 主剖面上高阻异常中心与实际的高阻矿体中心重合很好, 低阻异常中心则与实际的良好导矿体中心位置略有偏差. 在基线方向上异常长度比真实矿体的长度要大, 如图 4c 有很好的高阻异常, 但剖面下方已没有高阻矿体, 再如图 4g 有很好的低阻异常, 剖面下方也没有低阻矿体. 所以在实际工作中, 如果只作一条测深剖面, 必须用其他的物探方法如电阻率剖面法确定三维异常的中心, 然后将测深剖面布置在异常的主剖面上. 否则就会得出错误的结论.

图 6 为不同走向长度高阻矿体主剖面上视电阻率测深数据二维反演断面等值线图, 其中实线方框为真实矿体位置. 可以看到, 对高阻矿体, 不论走向长度多大, 异常的中心位置与矿体的真实位置基本

相同. 但随着矿体走向长度的增大, 异常中心的电阻率值也越来越大, 趋近于矿体的真实电阻率.

图 7 为不同走向长度良导矿体主剖面上视电阻率测深数据二维反演断面等值线图, 其中实线方框为真实矿体位置. 对良导矿体, 可以看到当走向长度较小时, 异常的中心位置与矿体的真实位置有一定的偏差, 但随着矿体走向长度的增大, 异常的中心位置与矿体的真实位置也越来越接近.

3 结论

通过对以上 3 个理论模型的研究, 可以发现, 在直流电阻率测深中, 用二维反演的结果来进行三维地电体资料的近似解释, 是可行的. 尽管在良导体上用二维反演得到的异常中心与真实矿体中心有一定的偏差, 但是异常形态和位置基本上还是较好地反映了地质体的地下赋存情况.

参考文献:

[1] Dabas M, Tabbagh A, Tabbagh J. 3-D inversion in sub-surface electrical surveying- I Theory [J]. Geophys J Internat, 1994, 119: 975-990.

- [2] Ellis R G, Idenburg D W. The pole-pole 3-D Dc-resistivity inverse problem: a conjugate-gradient approach [J]. *Geophys J Internat*, 1994, 119: 111—119.
- [3] Li Y, Oldenburg D W. Inversion of 3-D Dc resistivity data using an approximate inverse mapping [J]. *Geophys J Internat*, 1994, 116: 527—537.
- [4] Sasaki Y. 3-D resistivity inversion using finite element method [J]. *Geophysics*, 1994, 59: 1839—1848.
- [5] Gregory A N, David L A. Three-dimensional magnetotelluric inversion using non-linear conjugate gradients [J]. *Geophys J Internat*, 2000, 140: 410—424.
- [6] Beard L P, Morgan F D. Assessment of 2-D resistivity structures using 1-D inversion [J]. *Geophysics*, 1991, 56(6): 874—883.
- [7] 阮百尧. 大地电磁测深中用一维反演结果近似二维地电断面的效果[J]. *石油地球物理勘探*, 1997, 32(4): 589—595.
RUAN B Y. Effect of approximating 2-D geoelectric fault plane by using 1-D inversion result in magnetotelluric sounding [J]. *Oil Geophysical Prospecting*, 1997, 32(4): 589—595.
- [8] 阮百尧, 熊彬, 徐世浙. 三维地电断面电阻率测深有限元数值模拟[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2001, 26(1): 73—77.
RUAN B Y, XIONG B, XU S Z. Finite element method for modeling resistivity sounding on 3-D geoelectric section [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2001, 26(1): 73—77.
- [9] 阮百尧, 熊彬. 电导率连续变化三维电阻率测深有限元模拟[J]. *地球物理学报*, 2002, 45(1): 131—138.
RUAN B Y, XIONG B. A finite element modeling of 3-dimensional resistivity sounding with continuous conductivity [J]. *Chinese J Geophys*, 2002, 45(1): 131—138.
- [10] 阮百尧, 村上裕, 徐世浙. 激发极化数据的最小二乘二维反演方法[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 1999, 24(6): 619—624.
RUAN B Y, Yutaka M, XU S Z. Least square 2-D inversion method for induced polarization data [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 1999, 24(6): 619—624.
- [11] 阮百尧, 村上裕, 徐世浙. 电阻率/激发极化率数据的二维反演程序[J]. *物探化探计算技术*, 1999, 21(2): 116—125.
RUAN B Y, Yutaka M, XU S Z. 2-D inversion programs of induced polarization data [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 1999, 21(2): 116—125.
- [12] Sasaki Y. Automatic interpretation of induced polarization data over two-dimensional structures [J]. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University*, 1982, 42: 59—74.

Approximate Interpretation of 3-D Data Using 2-D Inversion Program in the DC Resistivity Sounding

XIONG Bin¹, RUAN Bai-yao², HUANG Jun-g²

(1. *Department of Geophysics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China*; 2. *Guilin Institute of Technology, Guilin 541004, China*)

Abstract: The 2-D inversion is the best method in the interpretation of DC resistivity sounding profiles data owing to its high speed, but the 3-D inversion, by contrast, needs more measured data and more computer time. Through the 2-D inversional study of several 3-D models, we know that for the good conductor ore-body without strike, there is some deflection between the center of real ore-body and the center of anomaly enclosed by the 2-D inversion, however, the anomaly can still reflect the true shape and the center position of the ore-body in the main. When the ore-body has certain lengths in strike, the effect of 2-D inversion is good to it, no matter its resistivity is high or low.

Key words: DC resistivity sounding; 2-D inversion; 3-D model; approximate interpretation.