

MT方法中 Basokur 视电阻率定义的研究

王 桥¹, 朱咸智¹, 谢 波²

(1. 成都理工大学信息工程学院, 四川 成都 610059; 2. 四川省电力工业调整实验所, 四川 成都 610059)

摘 要:电法勘探中不同的视电阻率定义可以带来不同的反演效果,好的视电阻率定义可以提高反演分辨率。传统的 Cagniar 视电阻率(1953)只是利用了波阻抗的模值,而 Basokur 1994 年提出的视电阻率利用波阻抗的实部和虚部。本文做了 4 个不同模型的 Basokur 视电阻率响应及反演,结果显示新的视电阻率对薄层有很好的反应,对常规模型也有不错的表现。

关键词: MT 方法; Basokur 视电阻率; 定义; 模型; 反演

中图分类号: P631.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2010)01-0021-04

Study on the Definition of Basokur Apparent Resistivity Based on MT Method

WANG Qiao¹, ZHU Xian-zhi¹, XIE Bo²

(1. Information Engineering College, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

2. Test Institute of Electric Power Industry of Sichuan Province, Chengdu 610059, China)

Abstract: Different definitions of apparent resistivity can educe dissimilar inversion results in electrical exploration. A finer definition can improve the inversion accuracy. The traditional Cagniar apparent resistivity which was defined by Cagniar in 1953 only make use of modulus values of wave impedance, but Basokur defined the apparent resistivity in 1994 including real part and imaginary parts of wave impedance. In this paper the forward and inversion based on the Basokur definition for four different models are done. The results show that new resistivity can imagine different models with thin layers, and also with common layers in model.

Key words: MT method; Basokur apparent resistivity; Difinition; Model; Inversion

0 引言

在电法勘探中,通过引入适当的视电阻率使得视电阻率响应曲线比观测的场值更好地反映地下电性几面的存在(电性参数,位置),这是地球物理勘探中电法较之于其它方法的独特之处。

视电阻率定义方法虽然很多,但是应遵循如下原则:(1)根据定义由场值转换的视电阻率响应在曲线形态上应充分反映地下电性变化情况,曲线各部分应充分反映响应电性层的真电阻率;(2)逼近各电性层真电阻率的速度应很快,因此在充分反映地电信息条件下,场值观测的范围越窄越好;(3)所有的定义能充分压制由于各种震荡现象造成反映电性层

真电阻率的模糊性。

在电磁测深法中,依据均匀半空间表面的面阻抗与半空间电阻率的关系,Cagniar 于 1953 年引入 MT 视电阻率定义,称为 Cagniar 视电阻率,至今仍在广泛使用。这种视电阻率存在以下一些缺点:

(1) Cagniar 本人将视电阻率参数引入 MT 时就已经注意到,对于一个二层模型,视电阻率在高频段是无限震荡地趋于第一层电阻率的,多层地电模型地计算结果也是一样。

(2) 视电阻率曲线在反应下伏层电阻率变化前,往往有一个小的震荡干扰。如果下伏层是一个低阻层,则视电阻率曲线在下降之前往往会有一

个小的极大值;相反,在反应高层之前会出现一个小的极小值。

(3) 对中间层的反映不是很明显,尤其是中间薄层。

对于造成视电阻率震荡的原因, Morrison 等把它们归于层间多次反射和干涉的结果。Kunetz 在时域 MT 视电阻率曲线中没有发现频率域中视电阻率所表现出来的那种震荡性。Spies 和 Eggers 在 Cagniar 的基础上提出各种可能的视电阻率定义,并作了详细的研究和比较,认为用波阻抗实部定义的视电阻率比 Cagniar 用波阻抗的模定义的要好些;同时结合 Kunetz 的研究成果,指出 Cagniar 定义的视电阻率的震荡性主要是在定义的过程中人为引入的,并非层间多次波的多次反射或干涉所致。

Basokur^[1] 提出另外一种视电阻率定义方法,并做了几种经典三层模型的不同定义视电阻率曲线对比,说明新的视电阻率参数在减小震荡性和提高中间层的分辨能力等各方面均比传统的 Cagniar 视电阻率定义要好。

本文在 Basokur 视电阻率定义有基础上设计 4 个不同模型进行正反演,以研究这种视电阻率对薄层模型的反应情况。

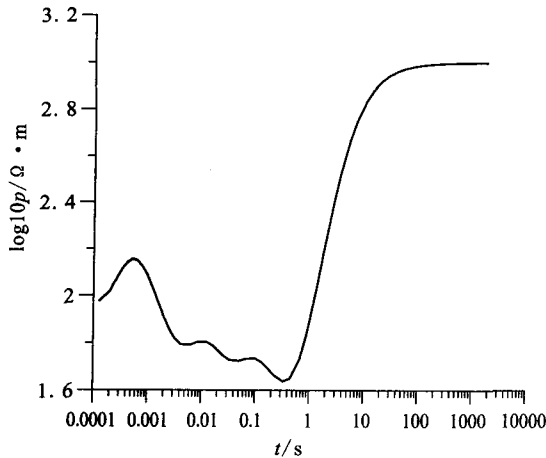
1 Basokur 视电阻率的定义

传统的 Cagniar 视电阻率定义是

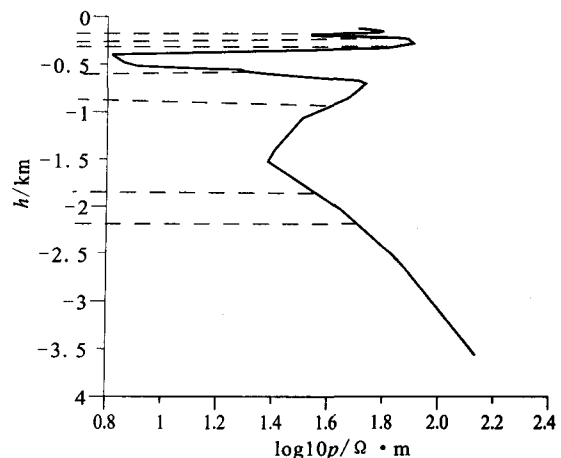
$$\rho_{ac} = \frac{1}{\omega\mu} |Z|^2 \quad (1)$$

其中 $Z = \frac{E(\omega)}{H(\omega)}$ 表示波阻抗。显然, ρ_{ac} 只是利用了

$\frac{E(\omega)}{H(\omega)}$ 的模值,还没有利用到它的虚部和相位。



(a) 正演图



(b) 反演图

图 1 模型 I 正、反演图

Fig. 1 Forward and inversion of model I.

Basokur 先给出了一种修改的波阻抗:

$$Y = \frac{Z}{(i\omega\mu)^{1/2}} \quad (2)$$

据此提出了如下的视电阻率定义:

$$\rho_{ab} = [(Y_r^2 - \text{sgn}(Y_i)Y_i^2)/(Y_r + Y_i)]^2 \quad (3)$$

式中: Y_r 、 Y_i 分别表示 Y 的实部和虚部; $\text{sgn}(Y_i)$ 为符号函数。

由实测的视电阻率 ρ_{ac} 和相位 φ 可以导出新定义视电阻率 ρ_{ab} 。由式(2)有

$$Y = \frac{Z}{\sqrt{\omega\mu}} e^{i\pi/4} = \frac{1}{\sqrt{2\omega\mu}} \{ [\text{Re}(z) + \text{Im}(z)] + i[\text{Im}(z) - \text{Re}(z)] \} \quad (4)$$

$$Y_r = \frac{1}{\sqrt{2\omega\mu}} [\text{Re}(z) + \text{Im}(z)],$$

$$Y_i = \frac{1}{\sqrt{2\omega\mu}} [\text{Im}(z) - \text{Re}(z)] \quad (5)$$

当 $Y_i \geq 0$, 实际上是 $\varphi \geq 45^\circ$, 由式(3)有

$$\rho_{ab} = (Y_r - Y_i)^2 = \frac{2}{\omega\mu} \text{Re}^2(z) = 2\rho_{ac} \cos^2 \varphi \quad (6)$$

当 $Y_i < 0$ 时, $\varphi < 45^\circ$, 由式(3)有

$$\rho_{ab} = [(Y_r^2 + Y_i^2)/(Y_r + Y_i)]^2 = \frac{\rho_{ac}}{2\sin^2 \varphi} \quad (7)$$

2 模型分析

对 MT 方法,薄互层是指高阻,低阻交互出现的地层。由于地层的厚度较小,像地震勘探这种高分辨率的方法都很难得出令人满意的结果。本文分别做了两组薄互层模型进行正反演的对比。模型 I 为 8 层介质模型(表 1),模型 II 为 4 层介质模型(表 2)。从图 1、2 可以看出新视电阻率识别薄互层较好,

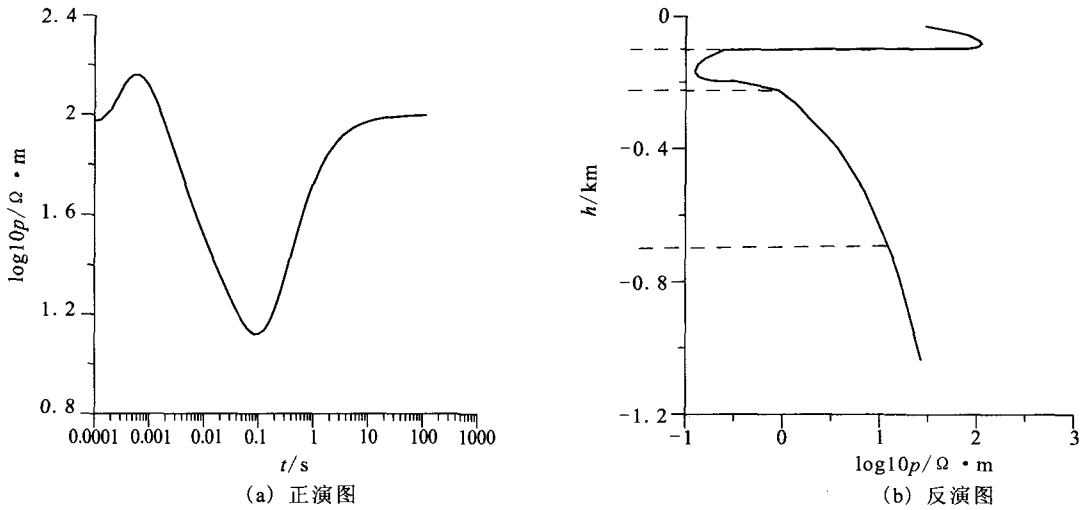


图 2 模型 II 的正、反演图

Fig. 2 Forward and inversion of model II.

对中间层的反映比较准确。

表 1 模型 I 的参数

参数	第 1 层	第 2 层	第 3 层	第 4 层	第 5 层	第 6 层	第 7 层	第 8 层
电阻率/ $\Omega \cdot m$	100	1 000	10	1 000	10	1 000	10	1 000
层厚度/km	0.1	0.1	0.05	0.4	0.15	1	0.4	

表 2 模型 II 的参数

参数	第 1 层	第 2 层	第 3 层	第 4 层
电阻率/ $\Omega \cdot m$	100	1000	10	100
层厚度/km	0.1	0.1	0.5	

演后划分的层位约为 0.1 km、0.25 km、0.7 km,也 同样与模型吻合。

表 3 模型 III、IV 的参数

模型	参数	第 1 层	第 2 层	第 3 层
III	电阻率/ $\Omega \cdot m$	100	1 000	
	层厚度/km	0.5		
IV	电阻率/ $\Omega \cdot m$	500	200	1 000
	层厚度/km	1	1	

本文同时也做了两组普通模型的正反演,分别为模型 III 和模型 IV。模型 III 为两层介质模型;模型 IV 为三层介质模型(表 3)。从正演曲线来看,视电阻率曲线形态的变化能够反映介质电阻率的变化,曲线的尾支趋近于真实的电阻率(图 3(a)、(c))。

从图 3(b)、(d)的反演图可以看到新视电阻率曲线还是可以比较准确的确定介质的界面。其中图 3(b) 在约 0.7 km 处划出地层界线,与模型 IV 的第 1 层 0.5 km 的厚度基本吻合。从图 3(d)的反演曲线得到第 1 层的厚度约为 0.85 km,第 2 层的分界线约在 1.7 km 处,与模型 IV 相符。

3 结论

从前面的 Basokur 视电阻率在各个不同模型上的分析和比较,可以看出 Basokur 视电阻率对薄互层的反映灵敏,并且对中间层的分辨更细腻,受等值性的影响要小,对基底的反映更真实,能有效的提高对薄互层的解释。在普通的模型的情况下 Basokur 视电阻率也可提供有价值的解释。因此新定义的视电阻率具有一定的实用价值。新视电阻率与常规视电阻率的对比,将在下一步做更深入的研究。

本文采用的反演方法是比较常用简单的 Bo-stick 反演。该方法不同于一般的曲线拟合法,它不需要给定初始模型,也不需要反复迭代,而是利用低频渐近线的焦点能反映深度 H 以上地层的平均电阻率,与底层的电性无关的原理进行反演的。该方法计算速度快,方便且具有一定的精度,生产上应用较普遍。反演后曲线交点应选在深度—电阻率曲线上的拐点位置,即二次导数为零之处。一般是将深度—电阻率曲线进行一次微商运算,这时原来拐点位置变成新曲线的极值位置,极值点就是交点的位置。我们可以根据这一原则确定地层的位置。图中蓝色虚线即为根据交点确定原理划出地层的位置。

从图 1(a)、2(a)的视电阻率曲线可以分辨出薄互层存在,视电阻率的首支能够反映真实的电阻率。中间频段的视电阻率曲线表现为高低交错,也说明模型为高低相间的薄互层,Basokur 视电阻率对中间层的分辨率是比较高的。图 1(b)、2(b)的反演曲线变化比较明显,根据交点原则划分出的地层位置在图 1(b)中和模型 I 各层的厚度吻合。模型 II 反

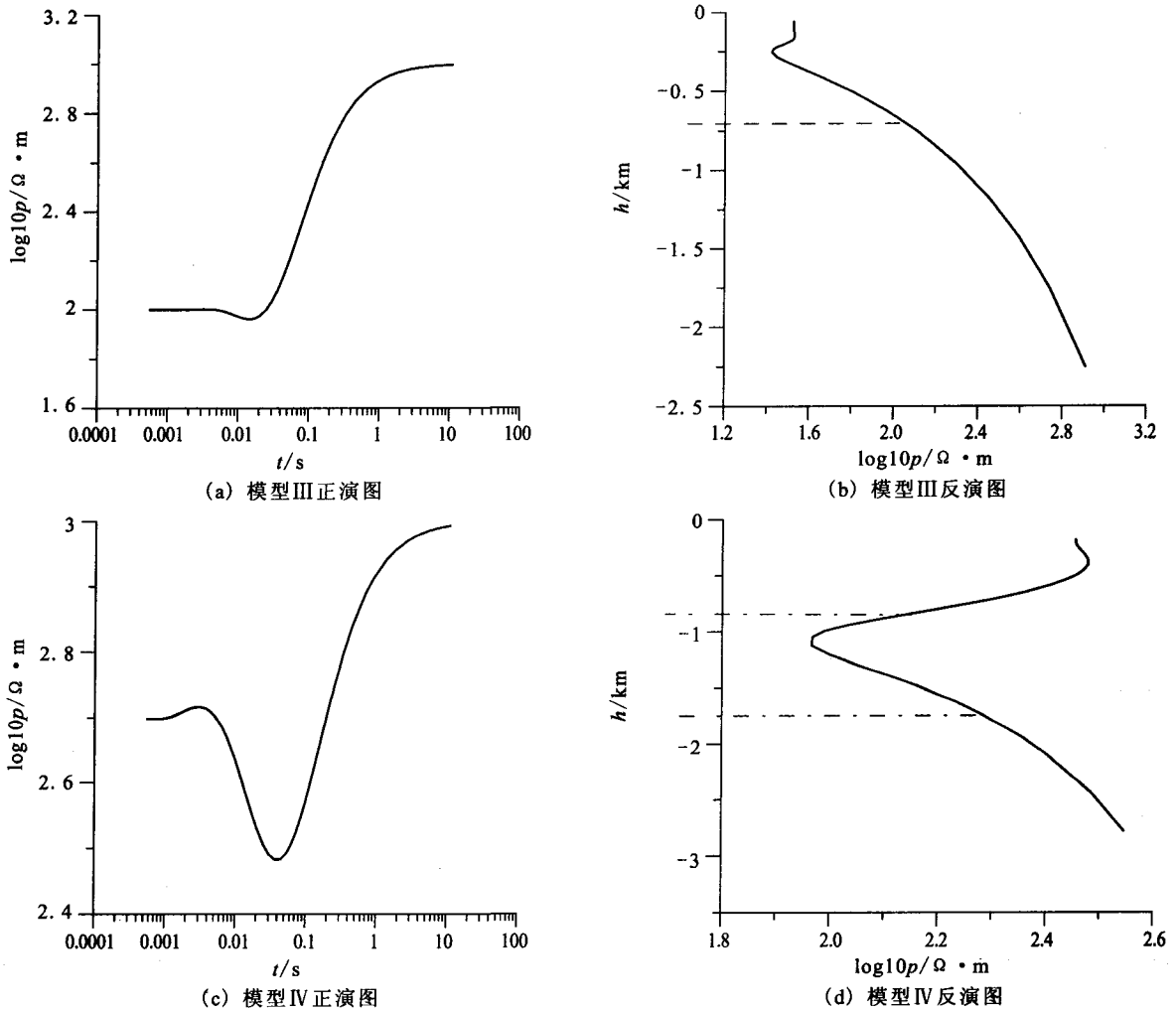


图3 模型III、模型IV正反演图

Fig. 3 Forward and inversion of model III and IV.

[参考文献]

- [1] Basokur A T. Definition of apparent resistivity for the presentation of magnetotelluric sounding data[J]. Geophysical Prospecting, 1994, 42 (2): 141-149.
- [2] 殷长春, 朴化荣. 电磁测深视电阻率定义问题的研究[J]. 物探与化探, 1991, 15(4): 290-299.
- [3] 周虬. 一种简易的一维大地电磁测深反演方法——博斯蒂克法反演及其应用[J]. 石油地球物理勘探, 1985, 20(1): 80-88.
- [4] 石应峻, 刘国栋, 等. 大地电磁测深法教程[M]. 北京: 地震出版社, 1986.
- [5] 杨长福, 林长佑, 陈军营, 等. 用 Occam 法及广义逆法对兰州地区 MT 资料的一维反演解释[J]. 西北地震学报, 2002, 24(4): 289-284.
- [6] 吴小平, 徐果明, 卫山, 等. 利用新的 MT 视电阻率定义识别薄互层[J]. 石油地球物理勘探, 1998, 33(3): 328-335.
- [7] 陈高, 王书明, 王家映, 等. 大地电磁地形校正——以镇巴区块为例[J]. 西北地震学报, 2006, 28(1): 6-10.
- [8] 张金会, 孙建国. 三维直流电场数值模拟的拟解析近似法: 张量近似[J]. 西北地震学报, 2009, 31(2): 3-6.