文章编号：1006－544X（2009）04－0461－03

利用纵向电导进行一维直流电测深直接反演

欧东新，梁芳敏，崔 雷

（桂林理工大学 广西地质工程中心重点实验室，广西 桂林 541004）

摘 要：根据 Dar Zarrouk 曲线与视电阻率曲线基本重合的性质，以及纵向电导和横向电阻的概念，推导出一种利用视电阻率曲线直接反演垂向电阻率分布的方法。把大地表示为一维层状均匀模型，每个极距对应一个深度，深度之间地层电阻率不变，把某个深度之上的横向电阻率和纵向电阻率用对应的视电阻率代替。公式中不用求对数，只需简单的运算即可把视电阻率随极距变化的曲线直接转换为电阻率随深度变化的曲线。算例表明，本方法能反演复杂的一维模型，可以为进一步的精确反演提供初始模型。

关键词：纵向电导；横向电阻；一维；电测深；直接反演

中图分类号：P631.325 **文献标志码：**A

直流电测深的二维反演已经比较成熟[1]，目前的发展方向是三维正反演[2]，但是一维反演仍然有它的作用，如一维反演的结果可以作为二维反演的初始模型。好的初始模型可以加快反演的速度、避免陷入局部极小。

针对一维电阻率测深的反演方法很多，主要有迭代法[3－4]、尝试法、图解法等。前两种方法都要不断和实测曲线进行对比，利用对比的误差来修改模型。有的迭代法（如最小二乘法）还要计算偏导数、解线性方程组，过程比较复杂[3]。最简单的图解法就是量板法，但多层量板有限。此外还有一些图解法，如 Zohdy[5] 等的辅助点法，这种方法把多层问题变为两层问题，然后再利用量板来解释，过程复杂并且需要量板。

阮百尧对 Dar Zarrouk 曲线[6]进行分析，通过取对数、求导等变换得到一种直接反演方法[7－8]，从方法的形式和效果，都和大地电磁测深中的 Bostick 方法相似，从而为电阻率测深解释提供了一种新的直接反演方法。

本文同样从 Dar Zarrouk 曲线出发，利用纵向电导的概念，不需求导，不需求对数，仅仅是简单的运算就可以把极距和视电阻率转化为深度和电阻率。

1 基本原理

在一维层状或连续介质情况下，设：

$$T(z) = \int_0^z \rho(z)\,\mathrm{d}z, \quad S(z) = \int_0^z \sigma(z)\,\mathrm{d}z, \qquad (1)$$

式中：$\rho(z)$、$\sigma(z)$ 为深度 z 处的电阻率和电导率；$T(z)$、$S(z)$ 是深度为 z 以上介质的总横向电阻和总纵向电导。对上式求导得

$$\mathrm{d}T(z) = \rho(z)\,\mathrm{d}z,\ \mathrm{d}S(z) = \sigma(z)\,\mathrm{d}z。 \qquad (2)$$

定义

$$P(z) = \sqrt{T(z)/S(z)},\quad L(z) = \sqrt{T(z)S(z)}。 \qquad (3)$$

$P(z) - L(z)$ 曲线称为 Dar Zarrouk 曲线[6]。Zohdy 认为它与电测深曲线 $\rho(r) - r$ 近似，即

$$\rho_s(r) \approx \sqrt{T(z)/S(z)},\quad r \approx \sqrt{T(z)S(z)}。 \qquad (4)$$

由上式可得

$$T(z) \approx \rho_s(r)\cdot r,\quad S(z) \approx r/\rho_s(r)。 \qquad (5)$$

又有

收稿日期：2008－09－09

基金项目：国家自然科学基金资助项目（40774057）；广西地质工程中心重点实验室开放基金项目（桂科能07109011－K003）

作者简介：欧东新（1974—），男，博士，副教授，研究方向：地球物理正反演，E-mail：oudx@glite.edu.cn。

$$T(z) = \rho_t(z)z, \quad S(z) = z/\rho_l(z)。 \tag{6}$$

其中:$\rho_t(z)$ 和 $\rho_l(z)$ 分别为 z 深度之上的横向电阻率和纵向电阻率。

对比(5)、(6)两式,可令 $\rho_t(z) = \rho_l(z) = \rho_s(r)$,得

$$T(z) \approx \rho_s(r) \cdot z, \quad S(z) \approx z/\rho_s(r)。 \tag{7}$$

这样某一个深度的横向电阻与纵向电导都可以从视电阻率曲线上算出来。有多少个极距就有多少个深度。每个极距 r_i 所对应的深度为 z_i,经过试验令 $z_i = r_i/2$ 比较好。令两个深度之间的地层是均匀的,厚度为 $h_i = z_i - z_{i-1}$,电阻率为 ρ_i,这样利用纵向电导,有直接反演公式

$$\left.\begin{aligned}
&1\text{层 } S_1 \approx \frac{z_1}{\rho_s(r_1)} = \frac{h_1}{\rho_1}, \quad \text{所以 } \rho_1 = \frac{h_1}{S_1};\\
&2\text{层 } S_2 \approx \frac{z_2}{\rho_s(r_2)} = \frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} = S_1 + \frac{h_2}{\rho_2}, \text{ 所以 } \rho_2 = \frac{h_2}{S_2 - S_1};\\
&\cdots\\
&n\text{层 } S_n \approx \frac{z_n}{\rho_s(r_n)} = S_{n-1} + \frac{h_n}{\rho_n}, \text{ 所以 } \rho_n = \frac{h_n}{S_n - S_{n-1}};\\
&\text{其中: } z_i = r_i/2,\ h_i = z_i - z_{i-1}。
\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

式(8)非常简单,首先求出每个极距所对应的深度 z_i,这样也就知道每个地层的厚度。此外每个深度之上的纵向电导 S_i 可以从视电阻率曲线和 z_i 直接求出,然后可以利用上面的公式直接计算每个地层的电阻率 ρ_i。

同理,利用横向电阻概念,也有直接反演公式

$$\left.\begin{aligned}
&1\text{层 } T_1 \approx z_1 \cdot \rho_s(r_1) = h_1 \cdot \rho_1, \text{ 所以 } \rho_1 = \frac{T_1}{h_1};\\
&2\text{层 } T_2 \approx z_2 \cdot \rho_s(r_2) = h_1 \cdot \rho_1 + h_2 \cdot \rho_2\\
&\qquad = T_1 + h_2 \cdot \rho_2, \quad \text{所以} \rho_2 = \frac{T_2 - T_1}{h_2};\\
&\cdots\\
&n\text{层 } T_n \approx z_n \cdot \rho_s(r_n) = T_{n-1} + h_n \cdot \rho_n, \text{ 所以}\\
&\qquad \rho_n = \frac{T_n - T_{n-1}}{h_n},\\
&\text{其中: } z_i = r_i/2,\ h_i = z_i - z_{i-1}。
\end{aligned}\right\} \tag{9}$$

式(8)与式(9)可以单独使用,但最好同时使用,因为 $S_n - S_{n-1}$ 或 $T_n - T_{n-1}$ 有可能为负值,但一般不会同时为负值。在直接反演时以一个公式为主,如果反演的层电阻率有负值,用另一个公式的计算值代替。

2 算 例

用6个分层均匀模型来试验,利用式(8)进行反演,将本文方法反演结果与文献[7]反演结果进行对比,结果见图1~图6,图中横坐标为从极距转换来的深度,纵坐标为这个深度对应的电阻率。

从上面的算例可以看出,本文方法反演效果和文献[7]方法反演效果基本相同。但是本文方法在电阻率急剧下降时反演出一个低电阻率层(图4)。而文献[7]没有这种情况。但是对真的有一个低电阻率层存在的情况,本文方法也有所反应,而文献

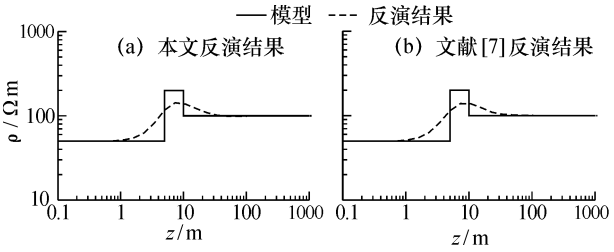


图1 模型1及反演电阻率

Fig. 1 Resistivity parameters of Model 1 and inversion

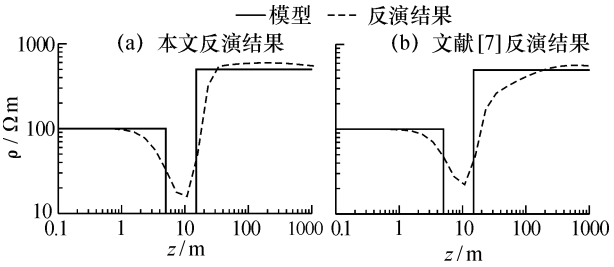


图2 模型2及反演电阻率

Fig. 2 Resistivity parameters of Model 2 and inversion

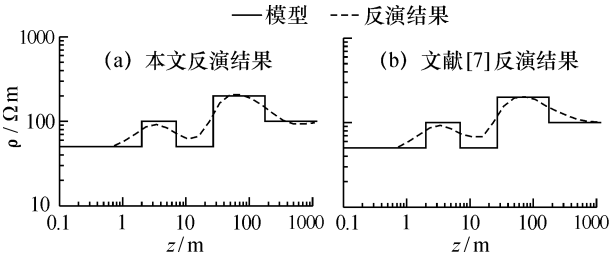


图3 模型3及反演电阻率

Fig. 3 Resistivity parameters of Model 3 and inversion

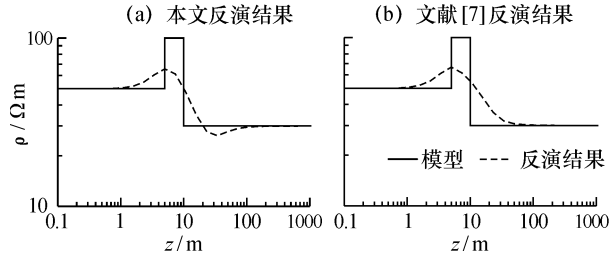


图4 模型4及反演电阻率

Fig. 4 Resistivity parameters of Model 4 and inversion

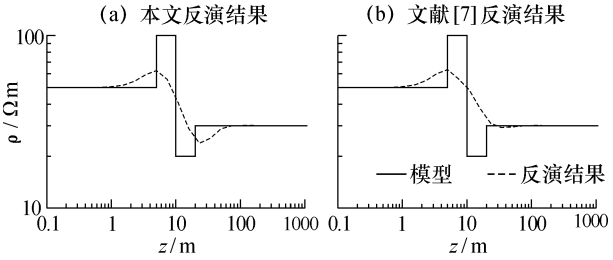


图 5　模型 5 及反演电阻率

Fig. 5　Resistivity parameters of Model 5 and inversion

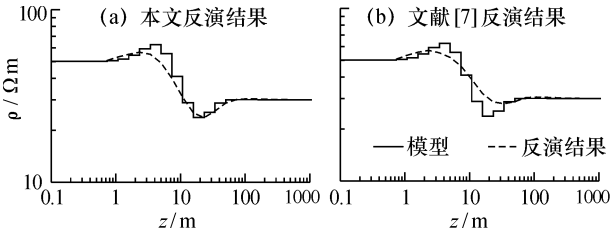


图 6　模型 6 及反演电阻率

Fig. 6　Resistivity parameters of Model 6 and inversion

[7]反演结果对这个低阻层几乎没有反应(图 5)。对于图 6 中阶梯模型的低阻部分，本文反演结果拟合更好。这两种反演结果的不同应该是反演多解性的表现，同时也说明本文方法对低阻反应更灵敏。

3　结　论

(1) 本文直接反演方法的推导是合理的，反演结果基本反映地下的垂向电性分布情况，尤其在电性变化不大的情况下更加准确。

(2) 通过与文献［7］中的直接反演法进行对比，在电阻率下降剧烈的情况下，本文方法有可能反演出多余的低阻层，但同时也说明本文方法对低阻层反应敏感。

(3) 本文反演方法概念、公式极为简单。反演结果可以作为精确反演的初始模型。

参考文献：

[1] 熊彬，阮百尧，黄俊革. 直流电阻率测深中二维反演程序对三维数据的近似解释［J］. 地球科学，2003，28 (1)：102－106.

[2] 黄俊革，阮百尧，鲍光淑. 基于有限单元法的三维地电断面电阻率反演［J］. 中南大学学报：自然科学版，2004，35 (2)：295－299.

[3] 阮百尧. 电阻率/激发极化法测深数据的一维最优化反演方法［J］. 桂林工学院学报，1999，19 (4)：321－325.

[4] Zohdy A A R. A new method for the automatic interpretation Schlumberger and Wenner sounding curves［J］. Geophysics，1989，54 (2)：245－243..

[5] Zohdy A A R. The auxiliary point method of electrical sounding interpretation，and its relationship to theDar Zarrouk parameters［J］. Geophysics，1964，30 (2)：644－660..

[6] Maillet R. The fundamental equations of electrica1 prospecting［J］. Geophysics，1947，12 (4)：529－556..

[7] 阮百尧，徐世浙. 直流电阻率测深曲线解释中的直接反演法［J］. 物探化探计算技术，1996，18 (2)：11－17.

[8] 阮百尧. 电阻率测深曲线解释中的一种新的反演方法［J］. 桂林冶金地质学院学报，1994，14 (1)：80－85.

Direct Inversion Method of 1-D Direct Current Sounding Curves by Longitudinal Conductance

OU Dong-xin，LIANG Fang-min，CUI Lei

(*Key Laboratory of Geological Engineering Centre of Guangxi*，*Guilin University of Technology*，*Guilin* 541004，*China*)

Abstract：Based on the Dar Zarrouk curves and the conception of longitudinal conductance and transverse resistance，a direct inversion method of one-dimension direct current sounding curves is derived. Earth is represented as 1-D layered homogeneous model，each polar distance corresponds to a depth，the resistivity between adjacent layers is homogeneous. The longitudinal conductance and transverse resistance over certain depth are replaced with the corresponding apparent resistivity. This method is simple，without calculating derivative and logarithm. The apparent resistivity curves can easily be transformed into the curves of resistivity vs depth. The inversion results can be used as initial model for more accuracy inversion.

Key words：longitudinal conductance；transverse resistance；one-dimension；direct current sounding；direct inversion