

42-45 电阻率测深自动直接解释法的若干技术问题

张献民

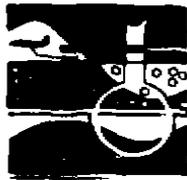
(河北地质学院·石家庄·050031)

p631.322

A 讨论了应用 Koefoed 法自动直接解释电测深曲线中的数据采集、归化采样值的计算、反演计算、正演计算、图形显示以及计算精度等问题,并介绍了由作者开发的一套完整的电测深自动解释软件。

关键词 电阻率测深, Koefoed 法, 自动直接解释法

自动化



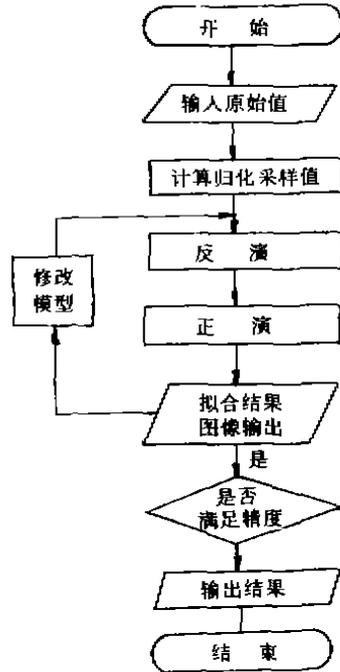
张献民 张献民

Koefoed (1979) 提出的自动直接解释法, 是一种计算速度快、使用方便灵活的方法。解释过程自动进行, 不需输入起始层参数模型, 其基本步骤是: (1) 根据野外观测的视电阻率值确定转换电阻率; (2) 利用电阻率转换曲线的前段确定第一、二层的电阻率和第一层的厚度; (3) 用 Pekeris 电阻率转换递推关系把转换曲线降低到下一个界面。然后反复 (2) 和 (3) 步骤, 确定下一层的电阻率和厚度, 直到降低后的转换曲线为二层曲线为止。笔者采用 FORTRAN77 语言将自动直接解释、正演拟合与图形显示连接在一起, 组成一套完整的电阻率测深自动直接解释的实用程序 (见图)。

式。该方案的理论依据是: 在 $AB/2 = 65m$ 时, 用 $MN/2 = 1m$ 和 $MN/2 = 5m$ 获得的数据几乎相等; 在 $AB/2 = 330m$ 时, 用 $MN/2 = 5m$ 及 $MN/2 = 20m$ 获得的数据几乎相等。即此时 $MN/2$ 的变化不影响探测深度,

1 原始数据的采集

常规的施伦贝尔装置电测深方案, 其观测结果包含有曲线接口。在输入原始数据前, 需将原始曲线进行转动圆滑处理, 然后再从对数坐标纸上读出数据输入计算机, 这给解释的准备工作带来了极大的不便。为解决这一问题, 同时为了提高精度, 避免人为处理曲线接口带来的误差, 本文给出一种非接口极距方案。例如表 1 是一种非接口极距组合方



程序框图

亦即相当于外场均匀的情况。这已由理论计算所证实。上述方案在 $AB/2 = 40m, 225m$ 和 $700m$ 处需加大电源提高信噪比。这种方案

本文 1994 年 12 月收到, 林镇泰编辑。

既兼顾了温纳装置曲线的圆滑性,又考虑了施伦贝尔装置探测深大、工作效率高的特点、

同时给程序解释带来了便利。实践证明该方案有效可行。

表 1

AB/2	3	45	6	9	12	15	25	40	65	100	150	225	330	500	700
MN/2	1	1	1	1	1	1	1	1	5	5	5	20	20	20	20

2 归化采样值的计算

设计程序时,考虑到野外极距序列不定性,当野外极距序列与程序中的极距序列不一致时,只要根据新的极距序列按要求修改极距序列数据文件即可。程序设计时,实际取采样间隔为每十进位对数等间距取 8 个样。当

野外极距序列与此不相适应时,采用如下方法进行归化处理。

设野外极距序列为 $(AB/2)_i (i=1, 2, \dots, m)$, 对应的视电阻率值为 $\rho_n (n=1, 2, \dots, m)$; 程序设计的采样序列为 $(AB/2)_k (k=1, 2, \dots, n)$ 。当 $(AB/2)_i \leq (AB/2)_k \leq (AB/2)_{i+1}$ 时, 则归化采样值 ρ_k 为

$$\begin{cases} \rho_k = e^y \\ y = \ln \rho_n + \left[\frac{\ln \rho_{i+1} - \ln \rho_n}{\ln(AB/2)_{i+1} - \ln(AB/2)_i} \right] \cdot [\ln(AB/2)_k - \ln(AB/2)_i] \end{cases} \quad (1)$$

(1) 式为对数线性插值表达式。

3 反演计算

首先根据归化采样值计算转换电阻率, 根据 Ghosh(1970) 提出的线性滤波法, 有

$$T_i = \sum_j f_j \rho_i (i-j) \quad (2)$$

式中: T_i 为转换电阻率; f_j 为滤波系数。

电阻率转换函数降低到下一个界面的计算采用 Pekeris 递推关系

$$T_{i+1} = \frac{T_i - \rho_i \tanh(\lambda t_i)}{1 - T_i \tanh(\lambda t_i) / \rho_i} \quad (3)$$

式中: ρ_i 和 t_i 分别为上层的电阻率和厚度; λ 为积分常数。

根据 Pekeris(1940) 提出的修正核函数定义

$$G_i(\lambda) = \frac{T_i(\lambda) - \rho_i}{T_i(\lambda) + \rho_i} \quad (4)$$

对于二层情况转换电阻率表达式可以根据 Pekeris 递推关系写为

$$T = \frac{\rho_1[\rho_2 + \rho_1 \tanh(\lambda t_1)]}{\rho_1 + \rho_2 \tanh(\lambda t_1)} \quad (5)$$

将(5)式代入(4)式, 得二层情况下的修正核函数

$$G = \frac{k_1[1 - \tanh(\lambda t_1)]}{[1 + \tanh(\lambda t_1)]} \quad (6)$$

式中: k_1 为反射系数。根据双曲正切的定义, (6) 式可简化为:

$$G = k_1 e^{-2\lambda t_1} \quad (7)$$

两端取自然对数得:

$$\ln G = \ln k_1 - 2\lambda t_1 \quad (8)$$

由(8)式可见, 当绘制 $\ln G$ 与 λ 的关系曲线时, 所得到的是一条直线, 其斜率等于 $-2t_1$, 它在 $\ln G$ 轴上的截距等于 $\ln k_1$ 。利用这个性质, 只要知道两个 λ 值所对应的 G 值, 就可以求得 k_1 和 t_1 。当 ρ_1 已知时, ρ_2 为:

$$\rho_2 = \frac{1 + k_1}{1 - k_1} \rho_1 \quad (9)$$

为了判别随着 λ 的减小, 在什么范围内可以当作二层曲线来解释, 必须首先确定电阻率转换 T 的上、下置信界限 T_A 和 T_B :

$$T_A = T / (1 + p) \quad (10)$$

$$T_B = T \times (1 + p) \quad (11)$$

式中: p 为置信程度, 一般取 1%~2%。根据 T_A 和 T_B 可以计算出修正核函数 G 的上、下置信界限 G_A 和 G_B 。

当我们逐点计算 $G_c(\lambda)$ 及其上、下置信界限时, 检验各点的最小二乘回归直线是否在 $\ln G_A$ 和 $\ln G_B$ 的置信范围之内。如果在置信范围内, 则认为它们属于同一二层曲线。假如计算到某点的 $G_c(\lambda)$, 其最小二乘回归直线不能落在 $\ln G_A$ 和 $\ln G_B$ 的范围之内, 则认为该点已受到第三层影响, 不属于该二层曲线。从该点开始, 把电阻率转换函数降低到下一个界面, 该点作为下一个二层曲线拟合的第一个取样点。

4 正演计算

正演计算采用 Ghosh(1971) 提出的线性滤波法, 其算法的基本步骤分为两步: 第一步根据层参数转换电阻率的取样值, 可利用 Pekeris 递推关系求得:

$$T_i = \frac{T_{i+1} + \rho_i \tan(\lambda z_i)}{1 + T_{i+1} \tanh(\lambda z_i) / \rho_i} \quad (12)$$

在计算时由底层向上递推, 底层的转换电阻率 T_n 等于其本身的电阻率 ρ_n ; 第二步根据转换电阻率用线性滤波法确定视电阻率的取样值:

$$\rho_a(x_0) = \sum_i f_i T(x_0 - jAx) \quad (13)$$

式中 f_i 为滤波系数。

5 图形显示

为使解释过程简便直观, 我们开发了二维科技绘图软件, 使解释结果以图形形式在微机屏幕上实时输出。在解释过程中, 根据自动直接解释的地电参数进行正演计算, 其结果自动形成 PA.DAT 文件。将该文件与归化后的原始数据 PS.DAT 文件自动读入二维绘图模块即可。整个过程通过批处理命令全部自动完成。屏幕显示时, 其坐标轴按对数规律, 据屏幕尺寸及野外的大小自动伸缩, 具有适应广的特点。在图形输出的同时, 解释结果的正演曲线与原始曲线的拟合程度以误差指标给出。

6 解释精度

表 2 为对 H、K、A 和 Q 四种类型的理论电测深曲线的自动直接解释的试算结果。试算时, 电阻率参数 ρ_2/ρ_1 和 ρ_3/ρ_2 采用 10 或 0.1, 第二层与第一层的厚度之比 h_2/h_1 分别为 0.5, 1, 2, 3, 5, 10。解释结果计算出第二层厚度的相对误差 $\Delta h_2/h_2$ 和第二层电阻率的相对误差 $\Delta \rho_2/\rho_2$ 。

表 2

曲线类型	$h_2/h_1 = 0.5$		1		2		3		5		10	
	$\Delta h_2/h_2$	$\Delta \rho_2/\rho_2$										
H	1.59	2.93	2.43	1.83	0.90	0.73	0.65	0.53	0.38	0.30	0.13	0.09
K	1.58	-0.75	2.43	-0.65	0.90	-0.42	0.64	-0.35	0.38	-0.23	0.13	-0.09
A	漏层		漏层		漏层		1.06	1.73	0.32	0.39	0.11	0.11
Q	漏层		漏层		漏层		1.08	-0.61	0.31	-0.26	0.11	-0.09

由表 2 可见, 当第二层厚度小于第一层厚度时, A 和 Q 型曲线解释结果成为二层曲线, 亦即第二层被漏掉。H 和 K 型虽然可以解释出第二层, 但误差较大。当 $\Delta h_2/h_2 \geq 3$ 时, A 和 Q 型虽可以解释出第二层, 但仍存在较大的误差。随着 $\Delta h_2/h_2$ 值的增大, 其解误差均逐渐降低。

造成这种误差的原因, 一方面是由于中间层厚度较薄时, 电测深曲线存在着等值性, 这种等值性对于 Q 型和 A 型曲线尤为明显。这种误差是电测法固有的。另一方面, 由于 Koefoed 的自动直接解释法是以二层曲线解释为基础来解释多层曲线的, 在解释前段时忽略了第三层影响, 造成解释误差。从反演计

算过程可知,如果第二层厚度较薄时,只有较少的 $G_c(\lambda)$ 点属于该二层曲线的范围之内,随着 λ 减小,第三层的影响很快出现。对于 Q 型和 A 型曲线 $\Delta\rho_3/\rho_2$ 与 $\Delta\rho_2/\rho_1$ 变化方向一致的,所以用最小二乘回归直线是否落在 G 的置信范围内来判别是否换层时,必须有足够的 $G_c(\lambda)$ 点,也就是说第二层要有足够的厚度,否则将不能判别,造成漏层。对于 H 型和 K 型曲线,虽然它的 $\Delta\rho_3/\rho_2$ 与 $\Delta\rho_2/\rho_1$ 的变化方向相反,容易判别换层,但用较少的点位于回归直线上来计算第二层的厚度和电阻率,也会产生较大的误差。因此, Koefoed 的自动直接解释法要求中间层有足够的厚度,才能解释出满足必要精度的层参数。

为了克服由于中间层厚度较小时 Koefoed 法在自动直接解释中产生的误差,在整个解释过程中设置了正演模块,当应用 Koefoed 自动直接解释模块对野外数据解释后,其解释结果自动送给正演模块进行计算。当正演结果与野外数据拟合精度符合要求时,

Koefoed 自动直接解释结果即可作为最终结果。否则,要修改地电模型进行正演拟合计算,以弥补 Koefoed 自动直接解释法的不足。

应该指出,由于等值性造成的误差,是电阻率测深法本身所固有的,可结合等值性来解决。

参考文献

- 1 Ghosh D P. The application of linear filter theory to the direct interpretation of geoelectrical resistivity measurements, 1970
- 2 Ghosh D P. Inverse filter coefficients for the computation of apparent resistivity standard curves for a horizontally stratified earth. Geophys Prospect, 1971, 19: 769-775
- 3 Koefoed O. Progress in the direct interpretation of resistivity soundings; an algorithm. Geophys Prospect, 1976, 24: 233-240
- 4 Koefoed O. Resistivity sounding measurements. in: Geosounding Principles 1, Elsevier Scientific Publishing Company, 1979
- 5 陈文华. 对电阻率测深自动直接解释法精度问题的探讨. 南京建筑工程学院学报, 1986, 2

Some Technical Problems of the Automatic Direct Interpretation Method for Resistivity Sounding

Zhang Xianmin

In this paper, the data acquisition, the calculation of the Standard Sample Values, the inverse calculation, the forward calculation, the graphic display for interpretation results and the calculation precision are discussed in using the Koefoed automatic direct interpretation method for resistivity sounding. The softwares of automatic interpretation for resistivity sounding are developed.

Key word: resistivity sounding method, Koefoed method, automatic direct interpretation

1996 年北京国际岩土基础施工技术研讨会暨设备展览会

为适应当前我国大规模基础建设的需要,全国岩土钻凿工程信息网将于 1996 年春在北京召开“岩土基础施工技术研讨会暨设备展览会”。

本次会议将为国内外制造厂家、施工单位和科研教学单位提供一个良好的技术交流与设备供求洽谈场所。

[全国岩土钻凿工程信息网]