

水平多层电测深的计算机正演解释和应用

西南冶金地质勘探公司物探队 葛为中*

水平层状介质的直流电阻率测深理论早在二十年代就已建立,但直到六十年代出版的量板仍以二、三层曲线为主。多层曲线只能借助三层或二层量板再加辅助量板图解来进行解释,方法繁琐,使用效果不能令人满意。

六十年代后期,国外开始利用电子计算机解释电测深实测结果。国内只是在1976年以后才予以注意。有些单位也取得了一些结果。

这种方法的实质是,用最优化方法对输入的实测曲线进行反演自动解释,要求实测曲线误差小、圆滑、利用前支能外推 ρ_1 ,用后支能估计 ρ_N 。然而实测曲线往往不易达到这些要求。如果对曲线作过份的人为处理,又必然混入较大的误差信息,影响解释的正确性。

本文介绍正演解释方法原理、编制程序及其实际应用。

原 理

水平层状介质电测深的视电阻率的积分表达式为

$$\rho_s(r) = r^2 \int_0^{\infty} T(\lambda) J_1(\lambda r) \lambda d\lambda \quad (1)$$

式中 $r = AB/2$ (令 $MN \rightarrow 0$), λ 为参变量, $1/\lambda$ 为空间尺度,

$J_1(\lambda r)$ 为一阶贝塞尔函数, $T(\lambda r)$ 为电阻率转换函数。

各层介质参数为 $\rho_1, h_1, \rho_2, h_2, \dots, \rho_{j-1}, h_{j-1}, \rho_j, h_j, \dots, \rho_{N-1}, \rho_N$ (图1)。

如已知各层的参数,即可用递推公式来计算电阻率转换函数 $T(\lambda)$:

$$T_N(\lambda) = \rho_N$$

$$T_{N-1}(\lambda) = \rho_{j-1} \cdot \frac{\rho_{j-1}(1 - e^{-2h_{j-1}\lambda}) + T_j(\lambda)(1 + e^{-2h_{j-1}\lambda})}{\rho_{j-1}(1 + e^{-2h_{j-1}\lambda}) + J_j(\lambda)(1 - e^{-2h_{j-1}\lambda})} \quad (2)$$

$$j = N, N-1, \dots, 2$$

$$T(\lambda) = T_1(\lambda)$$

鉴于电测深曲线是用双对数坐标表示的,对空间尺度 $(r, 1/\lambda)$ 取对数:

$$x = \ln r, y = \ln(1/\lambda).$$

代入(1)

$$\rho_s(e^x) = \int_{-\infty}^{\infty} T(e^{-y}) J_1(e^{x-y}) \cdot e^{2(x-y)} dy$$

简写为

$$\rho(x) = \int_{-\infty}^{\infty} T(y) \cdot c(x-y) dy \quad (3)$$

上式为褶积积分。式中 T 由介质层参数确定,而 C 与介质层参数无关,它是褶积系数。只要

* 昆明水电勘测设计院邱伟同志协助工作。

知道C, 即可用任意种层状介质的T来计算 ρ_s 值。

应用富里哀变换的褶积定理, 将空间域中函数的褶积关系式变换为频率域线性滤波关系式。为了确定滤波系数, 格霍什(D.P.Ghosh)^[2]提出了几对具体函数。从而求出褶积系数C。当C的离散取样间隔为 Δ , 则截止频率为 $f_N = 1/2\Delta$ 。

$$C(Z) = \frac{1}{f_N} \int_0^{f_N} Q_f \cos[\phi(f) + 2\pi f z] df \quad (4)$$

设 $z = x - y$, 又使 x 、 y 的取样间隔都为 Δ , 那末

$$x = i\Delta, z = k\Delta, y = x - z = (i - k)\Delta$$

此外, 由褶积性质可知, 对任何位移 s , (3)式均与下式等价

$$\rho(x) = \int_{-\infty}^{\infty} T(y+s) \cdot C(x-y-s) dy \quad (5)$$

柯依福德(O.Koeford)^[3]建议计算 $z-s$ 点上的C。这样使 x 取样点逐渐与C的节点重合, 以便缩短计算, 减少误差。

$$\rho(I) \approx \rho_N \cdot C^*(k_1) + \sum_{k_1+1}^{k_2-1} T(1-k) \cdot C(k) + \rho_1 \cdot C^*(k_2) \quad (6)$$

式中

$$C^*(k_1) = \sum_{k=-\infty}^{k_1} C(k), C^*(k_2) = \sum_{k=k_2}^{\infty} C(k)$$

(6)式可简写为

$$\rho(I) \approx \sum_{k=k_1}^{k_2} T(1-k) \cdot C(k) \quad (7)$$

用(7)式的代数运算代替(1)式的积分, 从而求得某种极距(r_i)上的视电阻率 $\rho_s(r_i)$ 。

取样间隔是在对数坐标上选取的, 为了有足够精度, 每一级对数范围内取10个点, 即

$$\Delta = \ln 10 / 10$$

约翰逊(H.K.Johansen)确定 $k_1 = -100$, $k_2 = 40$; 位移 $s = -1.7239458$; 褶积系数、(也称作滤波系数)有141个: $C^*(-100)$ 、 $C(-99)$ 、 $C(-98)$ …… $C(-1)$ 、 $C(0)$ 、 $C(1)$ …… $C(39)$ 、 $C(40)$, 精确到8位小数^[1]。

程 序

鉴于实测电测深曲线或量板曲线的长度不超过四级对数, 因此 $\rho(x)$ 的纪录点有41个点就足够了。在模数为6.25厘米的对数坐标上, 点的间隔为0.625厘米。在AB/2轴(r 轴)上, $\rho_s(r_i)$ 值的纪录点坐标由下式确定, 算出 r_i 数列。

$$r_i = e^{xi} = e^{i\Delta} = 10^{(i/10)}, i = 0, 1, 2, \dots, 40$$

由(5)式可知, 在T中已包含了位移 S 。也就是说, 当计算 $T_j(\lambda_i)$ 时, λ_i 应包含位移。

$$\lambda_i = e^{-(xi+s)} = 10^{-((i/10) - 0.7487001)}$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, 120 \quad (8)$$

$T(\lambda_i)$ 长度的选择, 要考虑 $C(k)$ 长度和 $\rho_s(r)$ 长度, 取 $T(\lambda_i)$ 中的 $i = -40, -39, \dots, 139, 140$ 。

电算程序包括输入褶积系数, 输入层参数, 递推公式计算 $T(\lambda)$, 褶积运算求 $\rho_s(r)$ 和输出。所用公式为(2)、(7)、(8)等式。已编出ALGOL—60语言程序, 并在DJS—6、TQ—16等计算机上通过。程序简洁, 可以同时计算若干条曲线。此外程序还能改编使适用于在台式计算机上进行计算, 有利于在野外工作中推广使用。

应用

1. 快速、正确计算任意多层水平介质电测深曲线。用计算机计算一条曲线，从输入层参数、到输出计算所得的视电阻率数据，只需几秒钟的时间。

图 2 为三层曲线，电算时输入数据 $N = 3$, $\rho_1 = 1$, $h_1 = 10$, $\rho_2 = 0.3333$, $h_2 = 30$, $\rho_3 = 5$ ，它与三层量板 H-1/3-15-③曲线完全一致。

图 3 为十层曲线，这是用常规的镜象法计算不了的。

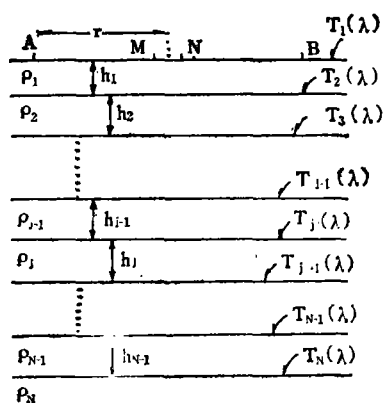


图 1

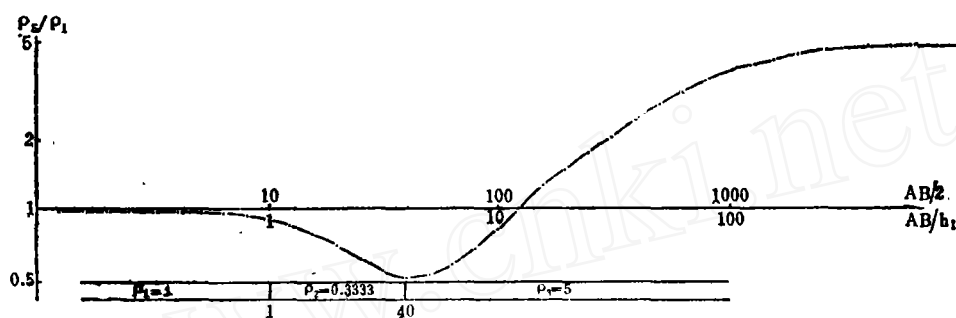


图 2

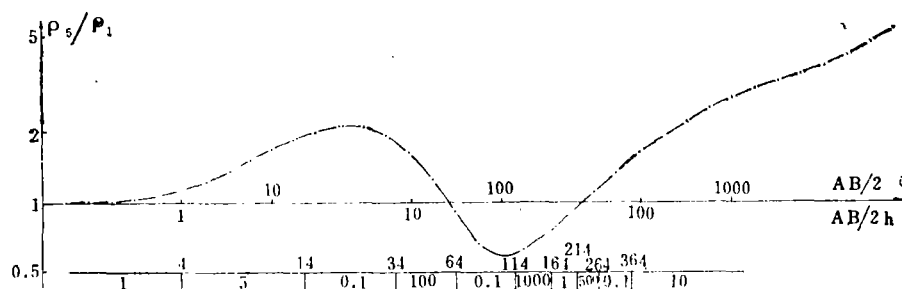


图 3

2. 在设计电测深工作时，还可用它估计某种层参数的勘探对象对否在曲线上有所反映，异常有何特点。判别这个地质问题是否具备地球物理前提。

3. 针对某工作地区的几种典型地层，根据它们的层参数变化范围计算一系列理论曲线作为临时性专用量板或寻找解释规律。这对该区大量实测的电测深资料的推断解释，有直接的指导意义。

4. 程序主要用途是对实测曲线作正演解释，也就是对比选择法。首先对实测曲线作初步推断，估计层数和层参数，初步推断可提出几种方案。将它们穿成数据纸带，随程序、C 数组后输入计算机，计算几条理论曲线。将它们与实测曲线对比、筛选。修改层参数后再电算，对比，再修改……直到解释者认为最后的理论曲线与实测曲线的主要异常接近为止。最

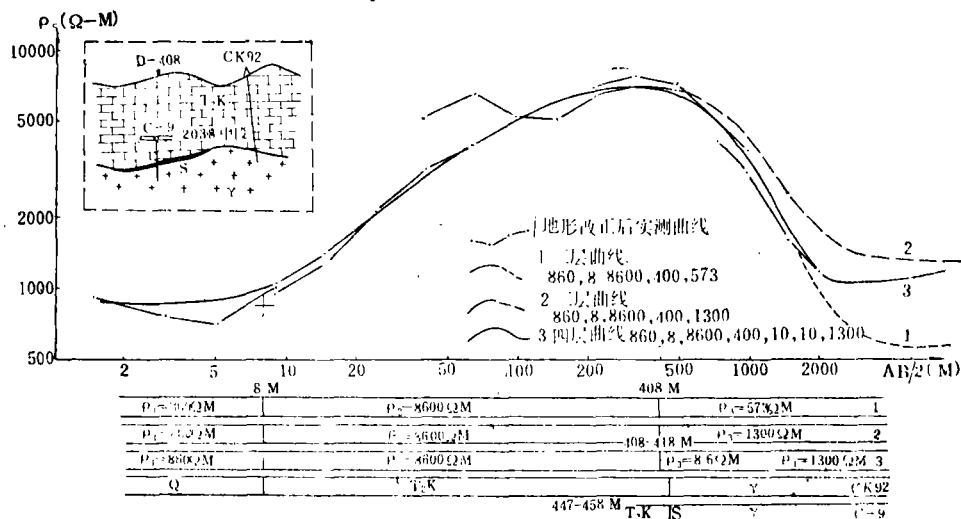


图 4

终理论曲线的层参数，即为理论推断结果。这时肯定存在“等值作用”。所以要尽可能地掌握地质、物性等已知资料。

在个旧锡矿某一测深点 (D—408) 上所得曲线受地形影响，尾支尚未趋近 ρ_N ，总的形态近于 K 型曲线。正演解释之前，先作地形改正 (参阅 [4] 第二章)。图 4 上点线表示地改正后的实测曲线。圆滑曲线 1、2、3 为正演解释过程中的三条理论曲线。曲线 1 是通过若干次选择获得的，它与实测曲线比较接近，推断第三层顶深 $h + h_2 = 408$ 米，电阻率 $\rho_3 = 573$ 欧姆米。在测深点北西几百米处有一钻孔 (CK92) 在 488 米处打到花岗岩。但分析参数可知该区隐伏花岗岩电阻率为 1000~2000 欧姆米。如果将参数 ρ_3 修改为 1300 欧姆米后，则得到曲线 2，它与实测曲线尾部相差甚远。推测在测深点下面的花岗岩顶部有导电性良好的薄层介质。于是提出四层的方案来解释，曲线 3 为最终结果，其层参数 $\rho_1 = 860$ 欧姆米， $h_1 = 8$ 米 (第四纪浮土)； $\rho_2 = 8600$ 欧姆米， $h_2 = 400$ 米 (大理岩)； $\rho_3 = 10$ 欧姆米， $h_3 = 10$ 米 (良导电性矿层)； $\rho_4 = 1300$ 欧姆米 (花岗岩)。计算机计算出的曲线 3 与实测曲线尾部更为接近。根据物探重新推断结果，在 D—408 点下面 2038 米中段坑道中布置了钻孔 (C—9)。钻探结果证实了在 447~458 米之间有一层硫化矿，含金属品位：铅—1.4%，锌—2.54%，锡—0.77%，铜—0.5%。效果良好。

主要参考文献

- (1) H.K. Johansen, 解释电阻测深曲线的计算机图形显示交互式系统: Geophysical Prospecting, 1975, 23 卷 8 期, 449~458 页
- (2) D.P. Ghosh, 应用线性滤波理论直接解释电测深曲线: Geophysical Prospecting, 1971 年 19 卷 1 期, 192~217 页
- (3) O. Koeford, 解释电阻率测深数据的线性滤波法注释: Geophysical prospecting, 1972 年 20 卷 1 期, 403~405 页
- (4) 直流电法推断解释的若干问题: 中南矿业学院和云南冶金物探队合编内部资料, 1978 年

矿石标本激电相频特性的研究

徐宝栋 马丽娟 翟玉贵

引言

激发极化法是普查勘探多金属矿床的一种重要手段，在寻找细脉浸染型硫化多金属矿床方面特别有效。不仅如此，在解决与多

金属硫化矿、氧化矿或与某些粘土矿或含碳有机物有关的铀矿地质问题中，也能发挥其积极作用。但随着激发极化法的应用范围日益扩大，区分矿异常与非矿异常特别是在有黄铁矿化和石墨化 (含碳) 干扰的情况下，