

关于激发极化测深定量解释问题

石 昆 法

电阻率垂向电测深曲线定量解释已有系统的量板,因而比较成熟,而激发极化法的垂向电测深曲线的定量、半定量解释正处于逐步深入的阶段。目前野外已广泛运用 η_K 测深曲线的转折点或趋近饱和值点处的 $AB/2$ 极距估算矿体的顶部埋深。为了寻找 η_K 曲线的更多特征点估算矿体的埋深,丰富定量解释的手段,我们对 η_K 测深曲线的拐点进行了探讨。另外根据国外一些文献所见,利用改变装置的测量,如固定电源梯度测量,正交装置测深等也可以大致地估算矿体的中心埋深,顺便在此也作一简单介绍。

一、利用激发极化测深曲线的特征点计算矿体顶部埋深的方法

(一) 拐点法:有些文献谈到,激发极化测深 η_K 曲线的拐点对应的 $AB/2$ 极距恰是矿体顶部的埋深,为了弄清其究竟,以便更可靠地运用这一方法,我们进行了数学推导,发现这一说法不够严格。下面仅就球体和二层断面进行推导,并得到了一个简单的关系式。而对于板状体,由于推导复杂只举出一个实例。

我们知道,对某函数 $f(x)$ 在某点 (x_0) 的二阶导数等于零,即 $f''(x_0) = 0$,且在 x_0 点的左方和右方有 $f''(x_1) < 0$ 和 $f''(x_2) > 0$,则在 x_0 处给出了函数 $f(x)$ 曲线的拐点。

对于球状矿体,当矿体与围岩电阻率相同的情况下,激发极化测深 η_K 理论曲线的公式为

$$\eta_K = \eta_1 + \frac{C}{(1 + \lambda^{-2})^{3/2} + C}$$

式中 $C = \frac{2\eta_2}{3 - \eta_2} - \left(\frac{a}{h}\right)^3$, $\lambda = AB/2h$,

$\eta_2 = \eta_0 - \eta_1$, a 为球半径, h 为球心埋深, η_0 , η_1 分别为球体和介质的极化率。

由于 η_K 曲线的拐点与 C 有关系,所以在求导数的过程中可先假定它为某一定值,于是 C 可认为常数,又因为 $\lambda = AB/2h$ 在作图时是以对数形式出现的,所以应对 $\lg \lambda$ 求导数。

$$\text{从} \quad \frac{\partial^2 \eta_K}{\partial (\lg \lambda)^2} = 0$$

可得出 η_K 曲线的拐点方程式为

$$3\lambda^{-4} + \lambda^{-2} - 2 - 2c(1 + \lambda^{-2})^{1/2} - \lambda^{-2}c(1 + \lambda^{-2})^{-1/2} = 0$$

当 $c = 0.05$ 时,可解得

$$\lambda = 1.2$$

因为 $\lambda = AB/2h$,所以可求出拐点处的 $AB/2$ 极距(l)与球心埋深(h)的关系

$$l = 1.2h$$

若 $c = 0.01$,可解得

$$\lambda = 1.23$$

于是

$$l = 1.23h$$

可见对于不同的 c 值, l 变化不大。在野外情况下,一般取 $\eta^* = 4\% \sim 45\%$,

$$\frac{a}{h} = \frac{1}{1.5} \sim \frac{1}{3}, \text{于是给定了} c \text{的范围}$$

为 $0.01 \sim 0.1$,由此可求出拐点处的 $AB/2$ 极距 l 与球体上顶面的埋深 H 的关系为

$$l = 1.8 \sim 3.5H$$

在野外实际情况下,一般取 $\frac{a}{h} = \frac{1}{2}$,

于是得到:

$$l = 2.5H$$

这就说明了 η_K 测深曲线拐点对应的 $AB/2$ 极距并不正好等于球体顶部的埋深,而是约为2.5倍的关系。

为了验证这一关系式的正确性,我们举一应用实例。图1为一似球状的黄铁矿化富集体,在它的中心上方做激发极化测深,得

到的 η_K 曲线如图所示。我们求出其拐点为 A，它所对应的 AB/2 极距 $l = 35$ 米，按关系式 $l = 2.5H$ 可求出球状体的上顶面埋深约为 14 米，后来打钻验证了这一结果。

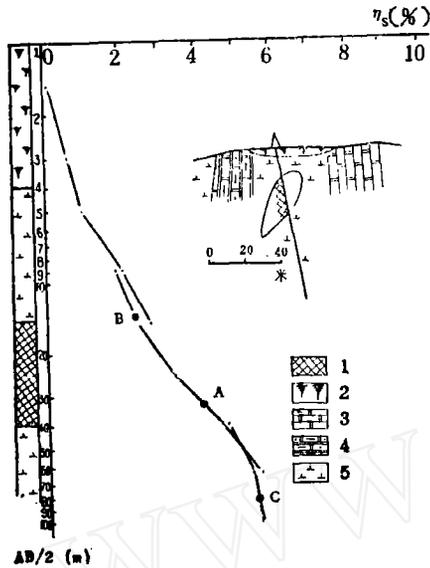


图1 ××矿区58/32点测深曲线

- 1. 黄铁矿化富集体; 2. 覆土; 3. 白云岩;
- 4. 砂卡岩; 5. 闪长斑岩

$$\frac{\partial^2 \eta_K}{\partial (\lg \lambda)^2} = 12 \lambda (\ln 10)^2 - \frac{[-2 \lambda^{-3} (1+4 \lambda^{-2})^{1/2} - 4 \lambda^{-6} (1+4 \lambda^{-2})^{-1/2}]}{(1+4 \lambda^{-2})^4} (1+4 \lambda^{-2}) \cdot 24 \lambda^{-6} (1+4 \lambda^{-2})^{1/2} = 0$$

解此方程得

$$\lambda = 2.45$$

所以得关系式

$$l = 2.45H$$

为了验证这一关系的正确性，我们做一条二层断面的理论曲线，假设 $\eta_2 = 5\%$ ， $\eta_1 = 1\%$ ， $k = 0$ ， $H = 1$ 米，根据二层断面 η_K 表达式可绘出一条理论曲线（图 2），然后求出其拐点 A，A 点对应的 AB/2 极距 $l = 2.5$ 米，因此可按上式求得第二层介质上顶面的埋深 $H = 1$ 米，这个结果与假设条件符合。

对于板状体，因为理论公式十分复杂，所以仅给出模型实验的大致结果为

$$l = 2H$$

现举一实例，矿体为缓倾斜板状体，在

对于二层断面， η_K 测深曲线的近似公式为

$$\eta_K = \eta_1 + (\eta_2 - \eta_1)(1 - k^2)$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \frac{nK n^{-1}}{\left(1 + \frac{4n^2}{\lambda^2}\right)^{3/2}} \left(1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Kn}{\left(1 + \frac{4n^2}{\lambda^2}\right)^{3/2}}\right)$$

式中 $k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1}$ ， $\lambda = AB/2H$ ， η_1 ， η_2

分别为上下层介质的极化率， ρ_1 ， ρ_2 分别为上下层介质的电阻率。

现在假设 $\rho_2 = \rho_1$ ，即 $k = 0$ ，则上式可简化为

$$\eta_K = \eta_1 + (\eta_2 - \eta_1) \frac{1}{\left(1 + \frac{4}{\lambda^2}\right)^{3/2}}$$

对上式求二阶导数并令其等于零则得

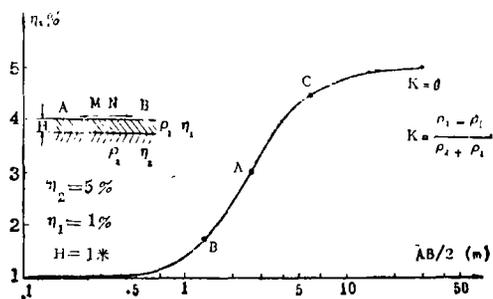


图2 二层断面 η_K 测深理论曲线

通过矿体中心上方的18线106点获得的 η_K 测深曲线如图 3 所示，钻孔柱状图列于左边，我们从曲线上求出其拐点 A，它对应的 AB/2 极距 $l = 10$ 米，根据关系式 $l = 2H$ ，求得矿体顶面埋深约为 5 米，这个结果与实际情况基本符合。

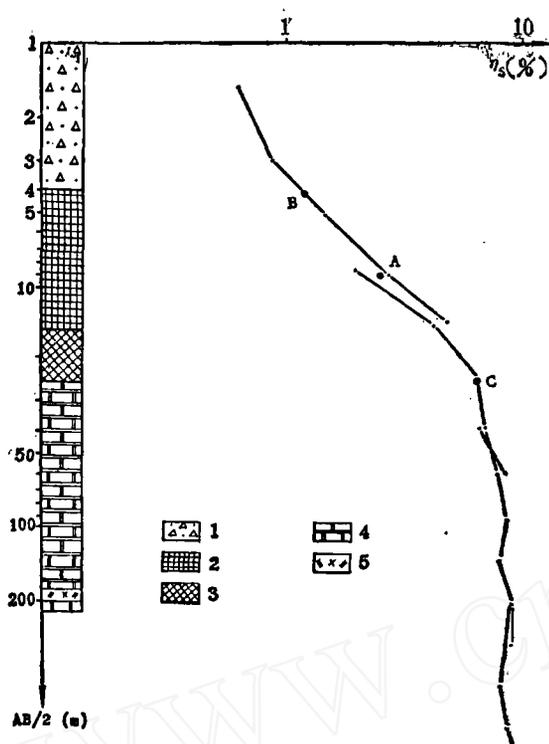


图3 ×××矿区18线106点 η_{κ} 测深曲线

1.表土; 2.铁帽; 3.矿体; 4.大理岩;
5.花岗闪长岩

如果在实际工作中,因为种种原因, η_{κ} 曲线的拐点不明显或难以求出时,则可以采用转折点法或趋近饱和值点法。

(二) 转折点法和趋近饱和值点法: 转折点法及趋近饱和值点法是分别利用激发极化测深 η_{κ} 曲线前支斜率变化最剧烈的点处对应的 $AB/2$ 极距 l 和趋近 η_{κ} 饱和值时的 $AB/2$ 极距 L 求矿体顶部埋深 H 的方法。在这里仅引出其结果,详细推导请见有关文献。

球体:

$$l = 1.35H$$

$$L = 7H$$

二层断面:

$$l = 1.33H$$

$$L = 5 - 7H$$

板状体

$$l = H$$

$$L = 5 - 6H$$

为了同拐点法进行对比,我们在图1、2、3中分别找出其转折点B和趋近饱和值

的点C,利用上面引出的关系式求其埋深。

例如如图1中,转折点B和趋近饱和值的点C对应的 $AB/2$ 极距分别为 $l = 18$ 米和 $L = 100$ 米,根据球体关系式可求得极化体的埋深大致为14米。这一结果与拐点法求出的埋深相同。

图2二层断面, η_{κ} 测深曲线转折点B和趋近饱和值的点C对应的 $AB/2$ 极距分别为 $l = 1.3$ 米, $L = 6$ 米,根据二层断面的关系式可求出二层介质的埋深 $H = 1$ 米。

图3 η_{κ} 曲线的转折点B和趋近饱和值的点C对应的 $AB/2$ 极距分别为 $l = 4$ 米和 $L = 25$ 米,利用板状体的关系式求得其顶部埋深 $H = 4$ 米。

应该指出的是当 AB 连线通过球心在地面的投影或垂直于矿脉时,如果装置中心偏离矿体不很远时,仍可应用上面的关系式,但从理论上可以证明,当测深点远离矿体中心时,则利用上述方法求出的埋深比实际矿体的顶部埋深要大。当 AB 连线方向平行矿体走向或平行于通过球心投影点的直线,则曲线形状不变,当位移不大时,经验得出转折点处的 l 值基本上等于测深点至矿体的最短距离,而拐点处的 l 值则约等于1.5倍的测深点至矿体的最短距离。另外对于板状体,缓倾斜的较准确,而对陡倾斜的则必须考虑头部的影响,因为它会使求出的埋深比实际的浅些。图3的实例说明了这一问题。另外矿体与围岩电阻率差别较大时,也会带来影响,但对于浸染状矿体,一般电阻率差异较小,所以仍符合上述的假设条件。

还应该指出的是,因为实际条件十分复杂,有时可能难以在 η_{κ} 曲线上求出这些特征点,这就需要用其他的方法来估算矿体的埋深,如下面介绍的正交装置测深。

二、正交装置测深

所谓正交装置测深是供电极 AB 保持不动,在垂直于 AB 的方向上移动 MN 极,可得到一条正交测深曲线,如果欲求矿体的埋深,则只需改变一次 AB 的距离,再做一条

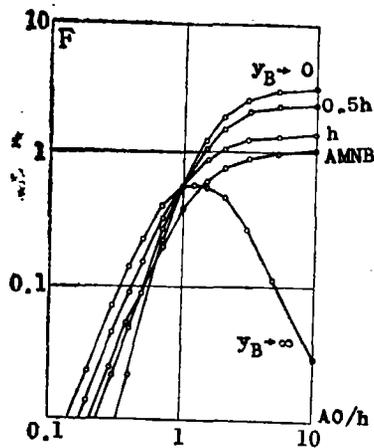


图4 正交测深F曲线

正交测深曲线，则两条曲线的交点对应的AO距恰是矿体的中心埋深，其理论根据请看有关的文献，图4是正交测深形状因数F曲线。从图可见当B极在不同位置时得到的F曲线（它和 η_K 曲线一样），在 $AO=h$ 点相交，这个规律同样可以用来估算矿体的埋深。

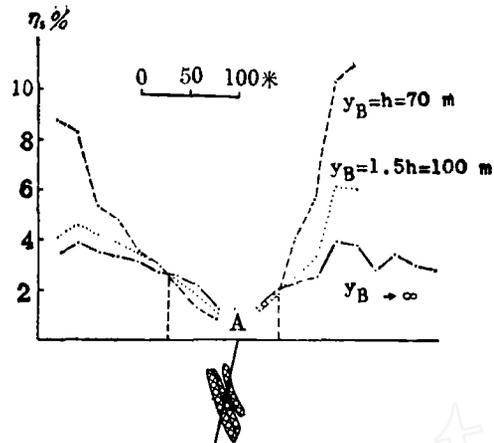
为了验证这一方法，在内蒙某矿区已知矿体上进行了正交装置测深的实验。其方法是，在矿体的地面投影位置上布置A电极，在任一方向上（设为y轴方向）布置B电极，AB距离第一次选择约等于矿体的埋深h即 Y_B $h=70$ 米，在AB的正交方向（即x轴方向）逐点移动MN极，得到一条正交测深曲线，然后改变B极的距离，使 $Y_B=1.5h=100$ 米，再作一条正交测深曲

（上接封三）

此岩株中的辉石含量可以表明岩浆的含水量相当低。属于含矿的克累顿峰岩株也含有辉石，未蚀变样品的黑云母氯含量为0.28~0.39%，可能是岩浆中水分少的缘故。

从图2看出，矿化和未矿化的深成岩体之间没有明显的区别，但不含矿的岩株氯含量值最低，而矿化岩株氯含量值一般较高。分析的样品太少，不可能作出可靠的统计。

这些黑云母和其他黑云母的其他成分参数目前正在测定，可能与导致矿石沉淀的火

图5 内蒙×××矿区已知矿体上正交测深 η_K 曲线

线，两条曲线的交点对应的AO距正好为矿体的中心埋深，为了进一步验证这个结果，我们又改变了一次B极的距离使 $Y_B \rightarrow \infty$ ，又得出一条正交测深曲线，三条曲线恰好交在一点，A点两侧的两个交点对应的AO距之平均值约等于70米，这与已知矿体的埋深基本一致。因此这方法可以在野外试用。A点两侧的AO距不等，可能是由于矿体倾斜引起的，所以最好在A点两侧同时测量，然后取其AO的平均值作为矿体的中心埋深。为了更准确起见，可在交点附近适当加密测点。该方法的优点是既可以作定量半定量计算，又减少了逐点移动供电极AB的笨重劳动，因此有一定实用价值，但是面对野外十分复杂的条件，还需通过实践进行检验。

成和热液活动的次序有关。

※ ※ ※

“盆地”和“山区”的黑云母含量范围在0.1~0.4%（相差约40倍）。黑云母氯含量作为一种找矿手段的效果还没有得到证实（缺少足够的统计分析）。但是，黑云母氯含量与铜含量有密切关系，并且由确定的黑云母氯含量和矿床之间的关系证明氯含量可能作为一种有效的找矿手段。

贝 庚译自《Economic Geology》，
1972, Vol.67, No.7, P.972-975
作者：W.T.帕里