

# 电测深反射系数“k”法解释中岩石非各向同性的影响和改正

陈绍求

(中南工业大学·湖南长沙市)

文中讨论了岩石非各向同性对反射系数“k”法解释电阻率测深曲线结果的影响,并以实例说明其影响程度及其改正方法。

关键词: 反射系数法; 岩石的非各向同性。



物探与地球物理

反射系数“k”法解释电阻率测深曲线无需已知中间层电阻率值,方法简便,误差较小,近年来得到重视和应用。但任何一种解释方法都有其应用条件。反射系数“k”法除了在地形平坦、水平层状岩层地区应用效果较好外,岩石的非各向同性也是影响其应用效果的重要因素。下面就非各向同性对反射系数“k”法解释结果的影响进行讨论,并对有、无非各向同性岩层的两个测区的 $\rho_s$ 曲线采用反射系数“k”法解释结果进行了说明。

在层状或似层状各向同性岩层的直流电场中,电流遇到电阻率分界面时,界面向电源所在岩层反射回一部分电流,其大小决定于分界面两侧岩层的电阻率,即反射系数k的大小。由 $\rho_s = \rho_1 [(1 + k(r_1 / r_2)^2 \cos \alpha)]$ 知,反射系数k的大小决定着 $\rho_s$ 值的大小和 $\rho_s$ 曲线的形态。所以,利用反射系数“k”法对各向同性层状岩层的电阻率测深曲线进行解释,可得到每一层岩层的电阻率值和厚度。但是,岩层的非各向同性将使理想条件下(均匀各向同性)的电场分布发生明显畸变,并导致推断解释工作复杂化。

非各向同性地层对电阻率测深的观测结

果同样存在着影响。如图1所示,若供电极A(I)位于地表,取A为坐标原点,x、y轴在地表面,z轴垂直向下。若第2、3层的顶部埋深分别为 $h_1$ 、 $H_2$ ,其厚度分别为 $h_1$ 和 $h_2$ ,各岩层不同方向的电阻率分别为

$$\rho_{1x} = \rho_{1y} = \rho_{11}, \quad \rho_{1z} = \rho_{n1}$$

$$\rho_{2x} = \rho_{2y} = \rho_{12}, \quad \rho_{2z} = \rho_{n2}$$

$$\rho_{3x} = \rho_{3y} = \rho_{13}, \quad \rho_{3z} = \rho_{n3}$$

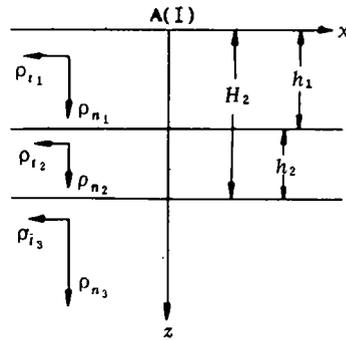


图1 均匀非各向同性水平地层

除供电点A外,地下电流密度的散度为零( $\text{div} j = 0$ ),各层岩石中的电位 $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 满足拉普拉斯方程,利用边界条件和极限条件得到地表距A为r的观测点P的电位为

$$U_1 = \frac{\rho_{1m} I}{2\pi} \int_0^{\infty} [1 + 2B_{\lambda}(m)] J_0(mr) m dm$$

$B_{\lambda}(m)$ 为核函数,只与非各向同性岩层

本文1992年3月收到。

的电阻率及厚度有关。

当只有一层时,  $B_{\lambda}^{(1)}(m) = 0$ ;

当有两层时,

$$B_{\lambda}^{(2)}(m) = \frac{K_{12}^m e^{-2m\lambda_1 h_1}}{1 - K_{12}^m e^{-2m\lambda_1 h_1}},$$

当只有三层时,

$$B_{\lambda}^{(3)}(m) = \frac{K_{12}^m e^{-2m\lambda_1 h_1} + K_{23}^m e^{-2m(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)}}{1 - K_{12}^m e^{-2m\lambda_1 h_1} - K_{23}^m e^{-2m(\lambda_1 h_1 + \lambda_2 h_2)} + K_{12}^m K_{23}^m e^{-2m\lambda_1 h_1}}$$

其中,  $K_{12}^m = \frac{\rho_{2m} - \rho_{1m}}{\rho_{2m} + \rho_{1m}},$

$$K_{23}^m = \frac{\rho_{3m} - \rho_{2m}}{\rho_{3m} + \rho_{2m}},$$

$$\rho_{1m} = \sqrt{\rho_{n1} \cdot \rho_{t1}},$$

$$\rho_{2m} = \sqrt{\rho_{n2} \cdot \rho_{t2}},$$

$$\rho_{3m} = \sqrt{\rho_{n3} \cdot \rho_{t3}},$$

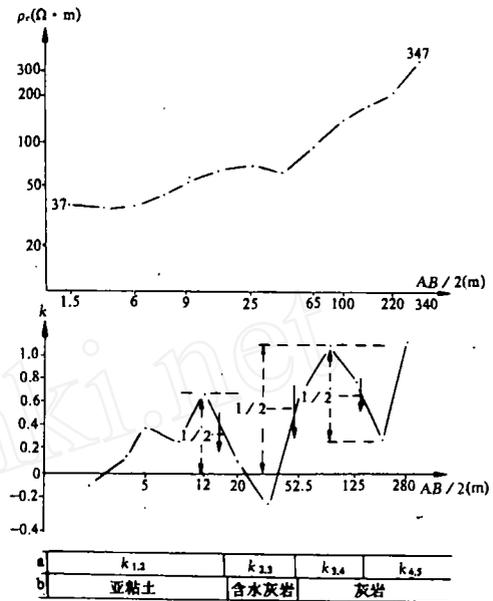
$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{\rho_{n1}}{\rho_{t1}}}, \quad \lambda_2 = \sqrt{\frac{\rho_{n2}}{\rho_{t2}}},$$

四极对称电阻率测深的  $\rho_s$  表达式为:

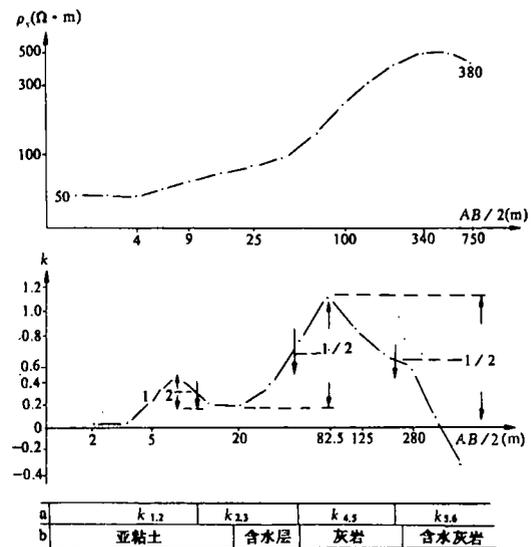
$$\rho_s = \rho_{1m} r^2 \int_0^{\infty} [1 + 2B_{\lambda}(m)] J_0(mr) m dm$$

因而在非各向同性的水平岩层条件下, 将测深  $\rho_s$  曲线解释结果所得各层的电阻率值为各层的平均电阻率值  $\rho_{1m}$ 、 $\rho_{2m}$ 、 $\rho_{3m}$ ... 各层的厚度为  $\lambda_1 h_1$ 、 $\lambda_2 h_2$ ... 用量板法解释时, 将各层厚度的解释结果除以各层相应的非各向同性系数  $\lambda_i$ , 便是各层的真厚度。

同样, 由于  $k_{\lambda}$  决定着  $B_{\lambda}(m)$  的大小, 而  $B_{\lambda}(m)$  又与非各向同性岩层的层参数有关, 所以  $k_{\lambda}$  也决定着非各向同性岩层电阻率测深  $\rho_s$  曲线的形态及  $\rho_s$  值的大小。所以岩石的非各向同性同样会给反射系数“k”法的解释结果带来很大误差。也就是说, 反射系数“k”法的解释结果为  $h_{1m}$ 、 $h_{2m}$ ... 然后将各层厚度的解释结果  $h_{im}$  除以各层相应的非各向同性系数  $\lambda_i$ , 这才是各层的真厚度。下面就有、无非各向同性岩层的两个测区  $\rho_s$  曲线的反射系数“k”法的解释结果来说明岩石非各向同性对这一解释方法的影响。



(1)



(2)

图2 湖南某测区测深点  $\rho_s$  曲线和 k 曲线图

(a 为单 k 解释柱状图; b 为钻孔地质柱状图)

湖南某测区，地形平坦，地表为厚度较大的第四纪亚粘土，其下为中泥盆统棋梓桥组灰岩，构造发育。电阻率测深的目的是寻找地下含水构造裂隙或溶洞，解决城市生活用水。

在用联合剖面法首先确定构造裂隙位置的前提下，分别在两个构造破碎带的有利部位进行电测深。图 2 中(1)和(2)分别为两个测深点的  $\rho_s$  曲线和“k”曲线。(1)中的  $\rho_s$  曲线为 AA 型，(2)中的  $\rho_s$  曲线为 AK 型。而

两条单支“k”曲线都存在两个正峰，说明地下含水的低阻层和隔水的高阻层交替出现。表 1 为上述两个测点的  $\rho_s$  曲线经反射系数“k”法解释的结果和钻孔验证的资料对比。除了图 2(2)中测深点地表浮土属人工充填而导致解释误差较大外，其余的解释结果精度都是高的。究其原因，除了测区内地形平坦、岩层为水平外，主要是棋梓桥灰岩的非各向同性不明显，因而使得反射系数“k”法的解释结果与钻孔揭露情况十分吻合。

表 1 (1)(2)两测点  $\rho_s$  曲线经“k”法解释与钻孔验证对比

测深点	$h_1$ (m)浮土			$h_2$ (m)第一含水层底板			$H_3$ (m)第二含水层顶板		
	钻孔揭露	单支 k 曲线解释	相对误差	钻孔揭露	单支 k 曲线解释	相对误差	钻孔揭露	单支 k 曲线解释	相对误差
(1)	16.55	16	3.3%	50	49	2%	100m 处终孔	138	-
(2)	17.55	10	43%	50	49	2%	240	214	10%

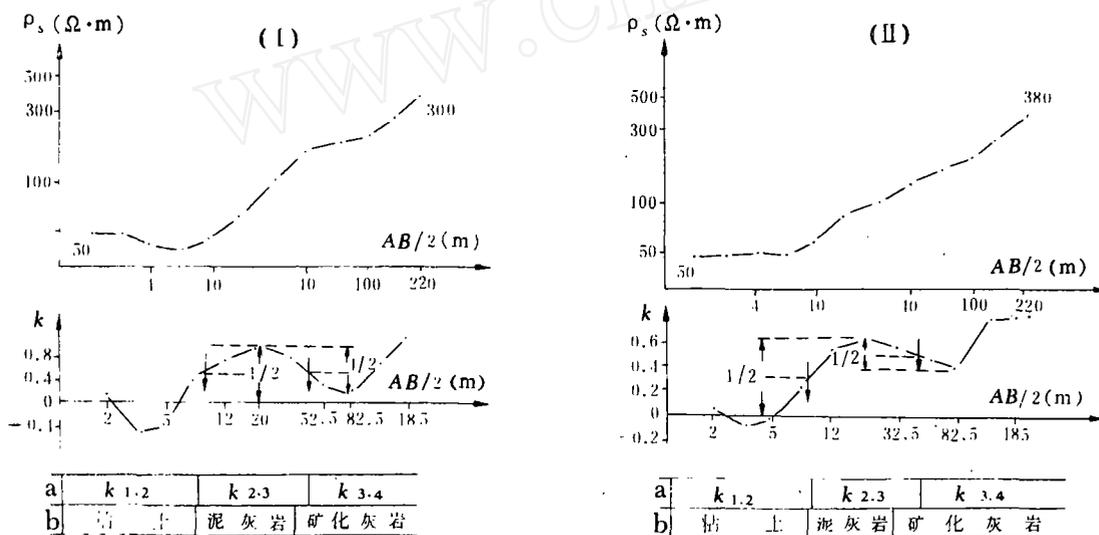


图 3 广东某矿区测深点  $\rho_s$  曲线与 k 曲线

(a 为单 k 解释柱状图; b 为钻孔地质柱状图)

广东某矿区地表为第四纪浮土覆盖，属于沉积改造型的黄铁铅锌矿，顺层产于石磴子组中、下段灰岩中。上部围岩为泥灰岩。电测深的目的是了解作为找矿标志的含矿石磴子组灰岩的顶板埋深情况。图 3 为经钻孔验证的 I、II 两个测深点的  $\rho_s$  曲线和单支

k 曲线。 $\rho_s$  曲线均为 AA 型，所以单支“k”曲线的形态也相同。表 2 为反射系数“k”法的解释结果和钻孔验证的资料对比。

从中可以看出，每个测点的  $h_1$  解释结果与实际厚度误差都很小，而含矿的石磴子灰岩之埋深解释结果误差却很大。究其原因

表2 I、II两测深点“k”法的解释结果与钻孔验证对比

测深点	$h_1$ (m)粘土			$H_2$ (m)石磴子灰岩埋深		
	钻孔揭露	单支k曲线解释	相对误差	钻孔揭露	单支k曲线解释	相对误差
I	7.8	8.5	8.9%	31	41	32.3%
II	8.4	8.8	4.8%	30	43	43.3%

因，测区内泥灰岩的成因为泻湖相、生物化石、泥质、有机质都沿湖水的排出方向定向排列沉积而导致泥灰岩有较大的非各向同性。所以反射系数“k”法的解释结果，泥灰岩的厚度应是  $h_m$ ，利用 I 测点钻孔揭露的泥灰岩的真厚度，计算出为

$$\lambda = \frac{h_m}{h} = \frac{32.5}{23.2} = 1.4$$

然后去反算测点 II 的泥质灰岩真厚度，就与钻孔控制的厚度非常接近了。

## 结 论

上述两测区  $\rho_s$  曲线反射系数“k”法解释结果说明，反射系数“k”法的解释精度与岩石本身的非各向同性有关，而非各向同性的大小又由各种岩石本身所决定的。通常泥灰岩的  $\lambda$  在 1.1~1.6 范围内变化，而泥质页岩的  $\lambda$  更大，在 1.4~2.25 范围内变化，如果不进行非各向同性影响的改正，将会对解释结果带来很大误差。

### The Influence of Rock Anisotropism on 'Reflection Coefficient k Resistivity Sounding Interpretation and Its Correction

Chen Shaoqui

In the present paper the influence of rock anisotropism on the curves measured by 'reflection coefficient k' resistivity sounding is discussed. The extent of influence and the method for making a correction are illustrated with two practical examples.

### 《矿床成因理论的历史演化》出版

由关广岳教授与刘洪波博士合著，请王鸿楨教授大笔作序的《矿床成因理论的历史演化》一书已由东北工学院出版社出版。这是国内外第一部全面阐述了从古希腊时期至现代的矿床成因理论的历史演化、并从科学认识论角度总结了各个历史时期矿床成因理论研究思想方法及方法论特点的学科史和思

想史专著，适合于地质学、地质学史、科学史及自然辩证法工作者阅读，特别适合作为矿床学专业大学生和研究生的教学参考书。

全书 23 万余字，32 开，压膜折口平装，定价 6.90 元，有意邮购者请与沈阳市东北工学院 265 信箱刘洪波联系，邮编 110006。