



## 两极排列的激发极化法

中南冶金地质勘探公司六〇六队 李悦贵 李祖文 李革锋 丁进

随着大面积激电普查找矿工作的开展,中梯排列显得很不适应。其缺点是装置笨重,山区工作不便;而且在低阻覆盖区,由于测得的一、二次电位低,数据的可靠程度差,使方法的探测能力降低。两极排列是  $B、N$  两极置于无限远的  $AM$  电位装置,有其独特的优点,特别适用于普查找矿工作。方法的特点和效果在有关的文献中已作过介绍。由于因循守旧或者是工作者的偏爱,在普查找矿工作中,未能多方面考虑经济因素,往往一开始就大面积地铺开中梯(或联剖)工作,两极排列至今仍未能推广。鉴于这种情况,我们

对两极排列的激发极化法进行了试验研究,现将试验结果报道于下。

### 方法原理

#### 1. 点源场中球体的激发场及 $\eta$ 表达式(体极化)

设有半径为  $a$ , 球心埋深为  $h$ , 电阻率为  $\rho_2$ , 极化率为  $\eta_2$  的球体, 位于电阻率为  $\rho_1$ 、极化率为  $\eta_1$  的半空间均匀介质中, 其他参数见图 1。在地面上任意一点  $A$  向地下供电, 电流强度为  $I$ 。在没有极化效应时, 则地面上任意一点  $M$  的电位为:

$$U_0 = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left[ \frac{1}{R} + 2 \sum_{n=0}^{\infty} q_n \frac{a^{2n+1}}{d^{n+1}r^{n+1}} P_n(\cos\theta) \right] \quad (1)$$

式中:  $q_n = \frac{n(\mu-1)}{n+(n+1)\mu}, \quad \mu = \rho_2/\rho_1$

$$r = (x^2 + y^2 + h^2)^{1/2}$$

$$d = (x_0^2 + y_0^2 + h^2)^{1/2}$$

$$R = [(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2]^{1/2}$$

$P_n$  = 勒让德多项式

$$\cos\theta = \frac{h^2 + xx_0 + yy_0}{dr}$$

当有极化效应时, 可将  $\rho_1^* = \rho_1/(1-\eta_1), \rho_2^* = \rho_2/(1-\eta_2)$  代入(1)式中的  $\rho_1$  和  $\rho_2$ , 则  $M$  点的电位为:

$$U_0 = \frac{I\rho_1}{2\pi(1-\eta_1)} \left[ \frac{1}{R} + 2 \sum_{n=0}^{\infty} q_n^* \frac{a^{2n+1}}{d^{n+1}r^{n+1}} P_n(\cos\theta) \right] \quad (2)$$

式中:

$$q_n^* = \frac{n(\mu^*-1)}{n+(n+1)\mu^*}, \quad \mu^* = \mu \frac{1-\eta_1}{1-\eta_2}$$

由视极化率的定义可得出:

$$\eta_s = \frac{U_2}{U} = \frac{U-U_0}{U} = \eta_1 + (1-\eta_1) \frac{2R \sum_{n=0}^{\infty} (q_n^* - q_n) Y_n}{1 + 2R \sum_{n=0}^{\infty} q_n^* Y_n} \quad (3)$$

式中:

$$Y_n = \frac{a^{2n+1}}{d^{n+1}r^{n+1}} P_n(\cos\theta)$$

#### 2. $\eta_s$ 曲线的分布特征

(1) 球体 图 2 为由 (3) 式取  $n=2$ ,  $y=0$  (中心剖面) 计算的视极化率曲线。图 3 为

水槽模型实验测得的视充电率曲线。曲线有如下的分布特征:

- ①当  $R < 0.95h$  时, 曲线呈单峰;
- ②当  $R > 0.95h$  时, 曲线呈双峰;
- ③曲线对称于  $y$  轴。

在此必须说明的是, 理论计算以及文中部分

结果所用参数为视极化率  $\eta_s$  (单位为%), 而模型实验和野外观测结果所用参数为视充电率  $M_s$  (单位为毫秒 ms)。这是因为使用了不同仪器, 所给出参数不同的缘故。根据视充电率的定义:

$$M_s = \frac{\int_{t_1}^{t_2} v_2(t) dt}{v_1}$$

当  $\Delta T = t_2 - t_1$  很小时, 可以认为  $v_2(t)$  在  $\Delta T$  时间内呈线性变化, 则有

$$M_s = \frac{\int_{t_1}^{t_2} v_2(t) dt}{v_1} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} \bar{v}_2 dt}{v_1}$$

$$= \frac{\bar{v}_2}{v_1} \cdot \Delta T = \eta_s \cdot \Delta T$$

可见,  $\eta_s$  与  $M_s$  虽然为两个不同的参数, 但所表征的是同一种地球物理性质。为了叙述方便, 全文统一用  $\eta_s$  叙述。

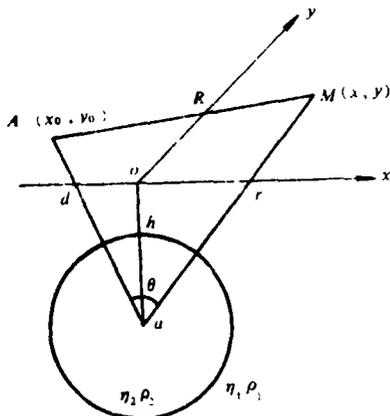


图 1

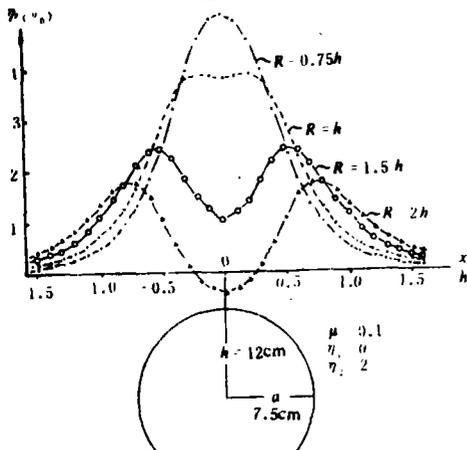


图 2

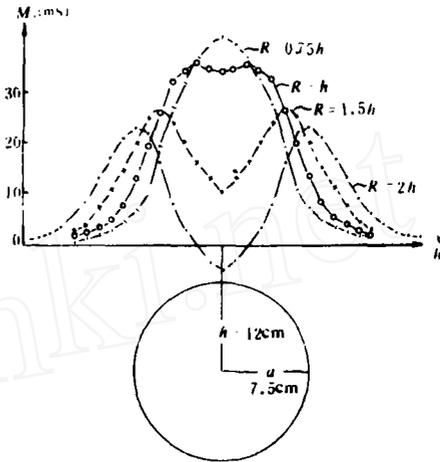


图 3

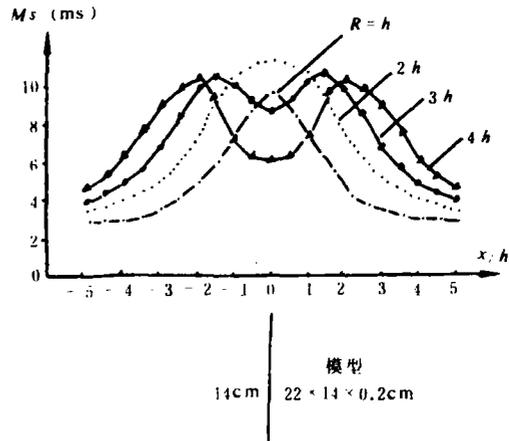


图 4

(2) 板状体 图4为垂直铜板模型实验曲线, 其分布特征与球体的类似:

- ①当  $R < 1.5h$  时, 曲线呈单峰;
- ②当  $R > 1.5h$  时, 曲线呈双峰;
- ③曲线对称于  $y$  轴。

### $\eta_s$ 随电极距大小的变化特性

1.  $\eta_s$  随  $R$  的变化特性 图5为理论计算曲线 [球体的, 利用 (3) 式,  $n = 2, y = 0$ ], 模型实验曲线 (球体和板状体) 以及野外实测曲线, 可以看出  $\eta_s$  随  $AM$  两极之间的距离  $R$  的改变而改变, 当  $R$  小时 ( $R$  以深度  $h$  归一化),  $\eta_s$  小;  $R$  达到某一定值,  $\eta_s$  达到最大。此后,  $\eta_s$  随  $R$  增大而减小。其原因是:  $R$  小时,  $M$  极靠近场源, 在近场源区,  $\frac{\partial U}{\partial R} > \frac{\partial U}{\partial R}$ , 因此  $\eta_s$  随  $R$  的减小而减小。

当  $R > 0$  时,  $\frac{\partial U}{\partial R} \gg \frac{\partial U_2}{\partial R}$ , 所以  $\eta > 0$ 。当  $R$  达到

某一定值, 即  $M$  极位于场源中区,  $\frac{\partial U}{\partial R} \approx \frac{\partial U_2}{\partial R}$ ,

于是  $\eta$  达到最大。此后,  $R$  再增大, 则  $A$  极和  $M$  极位于极化体上方各出现  $\eta$  极大,  $\eta$  曲线呈双峰。 $R$  小, 两峰叠加增强;  $R$  大, 叠加减弱, 所以  $\eta$  随  $R$  的增大而减小。

2.  $\eta$  随  $AB$  大小的变化特性 选择适当的  $R$ , 将  $A$  极和  $M$  极置于异常最大时的位置上, 这时数据大, 便于观测。移动  $B$  极改变  $AB$  的大小,  $\eta$  的变化如图 6 所示。即  $AB$  小时,  $\eta$  小。当  $AB \geq 3h$  时,  $\eta$  达到最大, 并保持恒定不变。

原因是:  $AB$  小时,  $A$  不具备点源场的性质, 电流穿透深度小, 所以  $\eta$  小。当  $AB$  很小时,  $\eta$  为围岩的视极化率。当  $AB = 3h$ ,  $A$  已具有点源场性质,  $\eta$  值达到最大。 $AB$  再增大,  $A$  的性质不变, 因此  $\eta$  值也保持恒定不变。

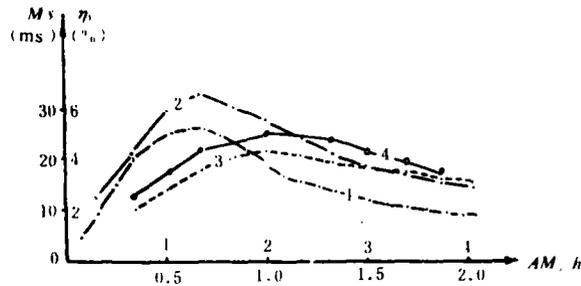


图 5  $M_s$ 、 $\eta$  随  $R$  大小的变化特性曲线

- 1—球体的理论曲线 ( $a = 7.5\text{cm}$ ,  $h = 12\text{cm}$ );
- 2—球体的模型实验曲线 ( $a = 7.5\text{cm}$ ,  $h = 12\text{cm}$ );
- 3—垂直板状体模型实验曲线 (板:  $0.2 \times 14 \times 22\text{cm}$ ,  $h = 4\text{cm}$ );
- 4—野外实测曲线 (矿体呈透镜状,  $h = 14\text{m}$ )

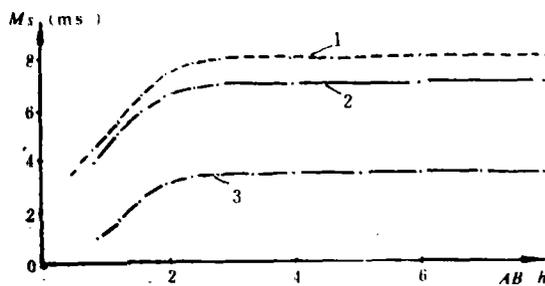


图 6  $M_s$  随  $MN$  大小的变化特性曲线

- 1—水平铜板 ( $h = 5$  厘米)
- 2—垂直铜板 ( $h = 5$  厘米)
- 3—野外实测曲线 ( $AM = 10$  米,  $h = 25$  米)

3.  $\eta$  随  $MN$  大小的变化特性 选择适当的  $R$ , 令  $AB \geq 5h$ , 将  $A$  和  $M$  极置于读数较大的位置, 移动  $N$  极, 改变  $MN$  的大小观测  $\eta$  的变化, 得图 7 所示的结果。在  $MN$  小时,  $\eta$  小;  $MN > 3h$  时,  $\eta$  达到最大, 并保持恒值。其原因是:  $MN$  小, 属于梯度装置, 所以  $\eta$  小。当  $MN = 3h$  时,  $M$  已具有电位装置的性质,  $\eta$  达到最大。 $MN$  再增大,  $M$  的电位性质不变,  $\eta$  值得以保持恒定。

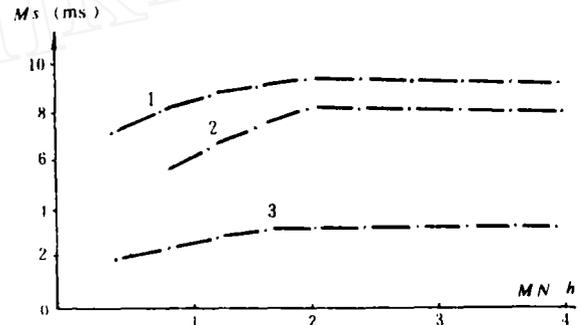


图 7  $M_s$  随  $MN$  大小的变化特性曲线

- 1—水平铜板 ( $R = 5\text{cm}$ ,  $h = 5\text{cm}$ );
- 2—垂直铜板 ( $R = 5\text{cm}$ ,  $h = 5\text{cm}$ );
- 3—野外实测曲线 ( $R = 10\text{m}$ ,  $h = 25\text{m}$ )

## 方法和技术

1. 装置条件 根据上述特性可以提出使  $\eta$  受  $AB$  和  $MN$  大小改变影响为最小的装置条件是:  $AB \geq 5R$ ,  $MN \geq 5R$ 。  $R$  依  $h$  而定,  $B$  极和  $N$  极应布于测线两侧的中垂线附近为宜, 以避免电磁感应耦合的影响。

2.  $R$  的选择 要求在极化体上方观测到的  $\eta$  值尽可能的大, 以提高勘探深度; 避免  $\eta$  曲线出现双峰, 以提高异常的清晰度; 在给定的工作电源电压条件下, 要求一二次电位尽可能的大, 以提高观测精度。从模型实验结果得出: 球体取  $R = 0.75h$ , 板状体取  $R = 1.5h$  时,  $\eta$  值最大, 即勘探深度最大, 效果最佳。但在实际工作中, 由于矿化范围比矿体大,  $R$  不宜选得过大。一般取  $R = 10 \sim 20$  米为宜, 以  $AM$  的中点为纪录点。

3. 异常极大值位移的估计 从图 4 模型实验曲线可看出, 当  $R < 2h$  时,  $\eta$  呈单峰。但  $\eta$  极大与模型顶端有一定的位移。  $R$  愈大, 其位移也愈大。位移的极限小于  $R$ 。

顺便指出,  $\eta_s$  的分布特征及其强度, 与  $R$  和  $h$  有关。所讨论的两极排列只适用于在普查中发现的异常。发现异常后再用其他方法详测。两极排列由于  $MN$  的距离大, 所受干扰也大, 应予以注意。

### 方法试验结果

在鄂东地区八个铜矿或含铜磁铁矿上, 用两极排列进行了测量, 都取得了较好的找矿效果。下面是几个实例。

1. 刘家畈含铜磁铁矿 矿体产于闪长岩与三迭系大理岩的接触带上, 呈透镜状, 矿体中心埋深约45米。地形平坦。从图8可以看出,  $AM$  装置与中梯装置所获得的异常相当吻合。

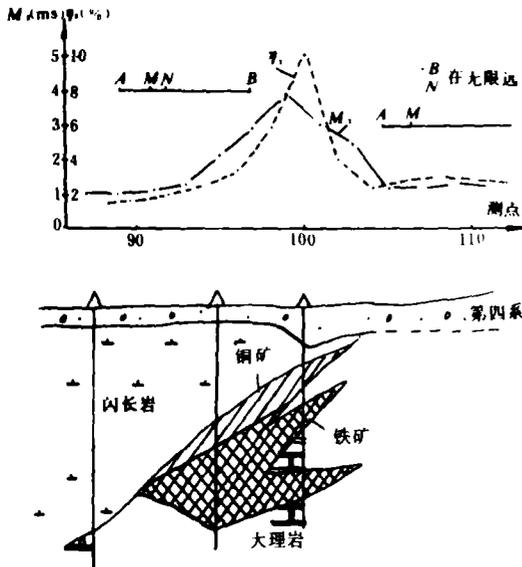


图8 刘家畈含铜磁铁矿上两极与中梯排列的异常对比图

2. 石头嘴铜铁矿 矿体呈凹兜状, 埋深约60米。矿石以氧化铁矿为主。早在1965年投入长脉冲中梯激电工作, 异常不明显。后来改用两极排列工作, 获得了很清晰的异常。异常特征与矿体形态相符(图9)。

3. 白云山斑岩型铜矿 矿体产于斑岩脉中, 呈倾斜板状。1979年和1981年两次投入中梯激电, 由于地形切割, 地形影响很大, 异常不明显。后来改用两极排列测量, 发现与矿体位置很吻合的十分清晰的异常(图10)。

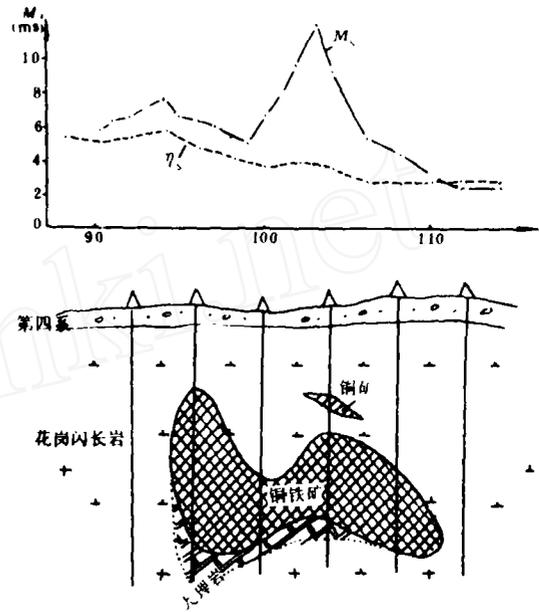


图9 石头嘴铜铁矿上两极与中梯两种排列成果的对比图

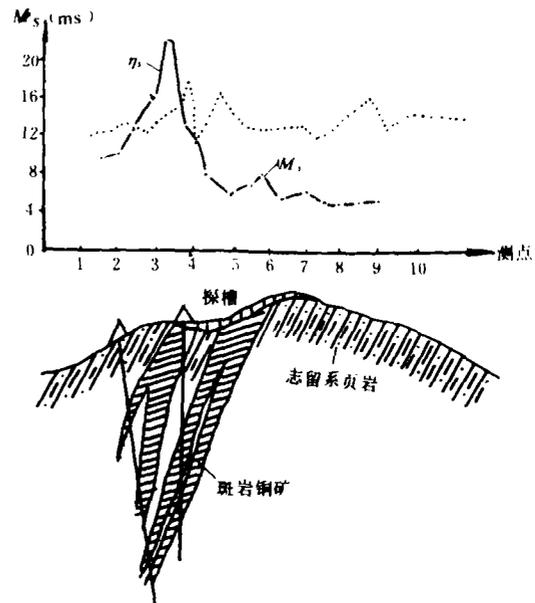


图10 白云山斑岩铜矿上两极与中梯排列成果的对比图

### 结 语

1. 两极装置与中梯装置一般具有同等的找矿效果(见例1, 图8)。

2.  $AM$  装置将场源移到每个测点上, 加大了有效激发强度, 有利于提高勘探深度。在例2(图9)中, 矿体埋深较大, 且大部分为氧化铁矿,

矿体为高阻体，中梯激电虽向地下供有较大的电流，但绝大部分电流沿低阻地段流动，通过矿体的电流微弱，所激发的二次电位微弱，因此异常不明显。AM 装置将场源移到矿体上方直接激发，产生了较强的激发极化，也加大了勘探深度。

3. 在每一测点上，两极装置的一、二次电位较大，有利于克服地形影响和提高数据的观测精度，突出找矿的地质效果。

在例 3 (图 10) 中，由于地形切割，中梯激电的一次电位通常在 10 毫伏以下。如按  $\eta_1 = 10\%$  的异常计算，最大二次电位均在 1 毫伏以下，而野外一般都存在着零点几毫伏的干扰电平。因此异常极容易被干扰所掩盖。

在地形崎岖的地区，能否通过加大供电电流来提高一、二次电位强度呢？我们曾作过多次试验，其中有一次的试验结果如下：

$I = 1$  安时， $\Delta v_1 = 9.5$  毫伏； $I = 2$  安时， $\Delta v_1 = 10.5$  毫伏； $I = 3$  安时， $\Delta v_1 = 11.0$  毫伏。

不同地段情况略有差异。但总的来说，地形崎岖，特别是在基岩出露地区，供电电流加大一倍，一、二次电位增大无几。因此，通过加大供电电流的方式，以克服地形影响，是极其困难的。

4. AM 装置所需的供电功率较小，用二至四块 45 伏干电池组即可工作。所以装置轻便，生产成本低，有利于开展激电普查找矿。

## 利用钻孔岩芯作定向磁性标本的方法

中南矿冶学院物探教研室 黎超群

当钻孔穿过层状岩(矿)层时，如果钻孔轴线和岩(矿)层不正交，也不平行，则岩(矿)层的层面和层理面在岩芯柱上呈一椭圆面或椭圆迹圈(图 1)。经研究发现，该椭圆长轴的方位是钻孔倾斜方位角  $\phi_{\text{钻}}$ 、倾角  $\theta_{\text{钻}}$  以及岩(矿)层倾向方位角  $\phi_{\text{岩}}$ 、倾角  $\theta_{\text{岩}}$  的函数。由此函数关系出发，进一步求出此椭圆长轴与钻孔轴线确定的平面和通过钻孔轴线的铅垂平面的夹角  $\gamma$ ，就可以在岩芯横截面上画出钻孔的倾斜方位线，从而恢复了岩芯的原始方位，达到利用钻孔岩芯作为定向标本来测定剩磁参数的目的。

### $\gamma$ 角的数学推导

为导出  $\gamma$  角和  $\phi_{\text{钻}}$ 、 $\theta_{\text{钻}}$ 、 $\phi_{\text{岩}}$ 、 $\theta_{\text{岩}}$  的函数关系，先建立以钻孔在地面的孔位  $O$  为坐标原点， $x$  轴指向磁北， $y$  轴指向磁东， $z$  轴向下的坐标系(图 2)。

钻孔轴线的单位矢量  $\vec{n}_{01}$  可表示为：

$$\vec{n}_{01} = \cos\theta_{\text{钻}} \cdot \cos\phi_{\text{钻}} \cdot \vec{i} + \cos\theta_{\text{钻}} \cdot \sin\phi_{\text{钻}} \cdot \vec{j} + \sin\theta_{\text{钻}} \cdot \vec{k} \quad (1)$$

钻孔轴线在地面投影线的单位矢量  $\vec{n}_{02}$  为：

$$\vec{n}_{02} = \cos\phi_{\text{钻}} \cdot \vec{i} + \sin\phi_{\text{钻}} \cdot \vec{j} + 0 \cdot \vec{k} \quad (2)$$

于是，过钻孔轴线的铅垂面的法线的单位矢量  $\vec{n}_{03}$  为：

$$\vec{n}_{03} = \vec{n}_{01} \times \vec{n}_{02} = -\sin\theta_{\text{钻}} \cdot \sin\phi_{\text{钻}} \cdot \vec{i} + \sin\theta_{\text{钻}} \cdot \cos\phi_{\text{钻}} \cdot \vec{j} \quad (3)$$

过坐标原点岩层的法线的单位矢量  $\vec{n}_{04}$  为：

$$\vec{n}_{04} = -\sin\theta_{\text{岩}} \cdot \cos\phi_{\text{岩}} \cdot \vec{i} - \sin\theta_{\text{岩}} \cdot \sin\phi_{\text{岩}} \cdot \vec{j} + \cos\theta_{\text{岩}} \cdot \vec{k} \quad (4)$$

此岩层的法线和钻孔轴线构成的平面法线的单位矢量  $\vec{n}_{05}$  为：

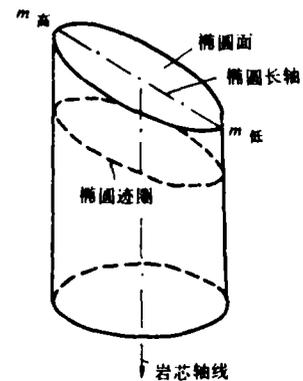


图 1 岩芯上椭圆面示意图