

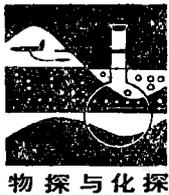
强化垂直聚焦剖面法的异常特征

王文辉

(东北工学院秦皇岛分院)

本文以理论计算结果,指出了球体上强化垂直聚焦法的 ρ_s 剖面曲线的异常规律,并与一般垂直聚焦剖面法和三极剖面法在低、高阻球体主剖面上的视电阻率 ρ_s 异常特征作了比较。文中还给出了水槽模型实验结果,使理论计算得到的异常规律得到证实。

关键词: 强化垂直聚焦剖面法; 常规垂直聚焦剖面法; 三极剖面法; 球体 ρ_s 异常



物探与化探

近年来,有些研究者试图在垂直聚焦法(图1b)的基础上,进一步使地下电流沿垂向聚焦分布,以便提高勘探深度、克服低阻覆盖层的影响;并提出了强化垂直聚焦法(供电

系统见图1a)。有的物探队还用此法进行了野外工作。

在球体上进行了强化垂直聚焦、一般垂直聚焦和三极法的 ρ_s 剖面曲线的理论计算及模型实验,同时对所得异常作了比较。结果表明,强化垂直聚焦剖面法的异常信息,并不比一般垂直聚焦法和三极剖面法有所增强,甚至有所减弱。

强化垂直聚焦剖面法的 ρ_s 表达式

通过球体在地面的主剖面上,强化垂直聚焦法的电极布置,是分别由电极 A 、 A_0 、 A' 供以电流 $I/4$ 、 $I/2$ 、 $I/4$, A_0 极两侧距离分 L_0 任意一点 M 处进行观测的。

由文献[1]得知, M 点电位依场的叠加

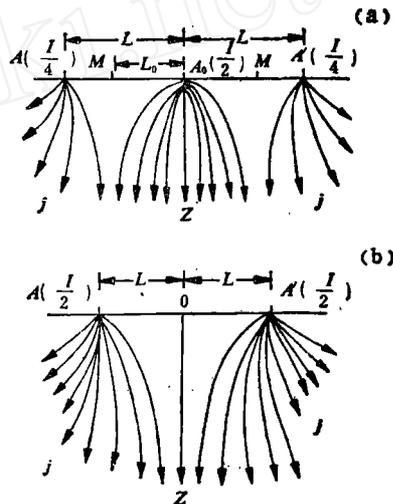


图 1 两种垂直聚焦装置供电系统地下电流分布示意图
a—强化垂直聚焦装置; b—一般垂直聚焦装置

原理,为由 A 、 A_0 、 A' 供电时在 M 点产生电位的代数和,其电位表达式为:

$$U_M = U_M^A + U_M^{A_0} + U_M^{A'}$$

上式中 U_M^A 、 $U_M^{A_0}$ 、 $U_M^{A'}$ 为含有 n 阶勒让德函数的级数项函数。当取 $n=1$ 时,略去 $n \geq 2$ 的级数项,经推导化简整理后,代入 $\rho_s = K(U_M/I)$ 式中,即得到 M 点视电阻

率的一级近似表达式:

$$\rho_s = 4\pi[(L^2 - L_0^2)L_0]/(L^2 + L_0L - L_0^2) \cdot U_M/I$$

式中:

$$K = 4\pi[(L^2 - L_0^2)L]/(L^2 + L_0L - L_0^2), \text{ 为布极系数;}$$

$$U_M = \frac{I\rho_1}{4\pi} \left\{ \frac{L^2 + L_0L - L_0^2}{L_0(L^2 - L_0^2)} + \frac{\mu - 1}{2(1 + 2\mu)} \right.$$

$$\cdot \frac{R_0^3}{R^3} \left[\frac{d_1^2 + R^2 - (L - L_0)^2}{d_1^3} + \right.$$

$$\left. + 2 \frac{d_2^2 + R^2 - L_0^2}{d_2^3} + \right.$$

$$\left. + \frac{d_3^2 + R^2 - (L + L_0)^2}{d_3^3} \right\};$$

$L = AA_0 = A_0A'$, 为供电极距;

$L_0 = A_0M$, 为观测点 M 到 A_0 极的距离;

U_M 式中, $\mu = \rho_2/\rho_1$; ρ_1 为围岩电阻率; ρ_2 为球体电阻率; R_0 为球体半径; R 为 M 点到球心的距离; d_1 、 d_2 、 d_3 分别为球心到供电极 A 、 A_0 、 A' 的距离。

球体上强化垂直聚焦法 剖面曲线异常特征

1. 低阻球体上的异常特征

由图2a给出的条件, 算得一组理论曲线, 其异常特征为:

(1) ρ_s 剖面曲线均呈不对称状。当极距较小时, 曲线异常特征为极小型, 且异常幅度随极距 AA_0 的增大而增加。在 $AA_0 = H_0 = 9\text{cm}$ 时, 异常幅度最大达13.7%。就是说, 有最佳极距。当 $AA_0 > H_0$ (球心埋深) 以后, 异常幅度随极距的增大而变小, 曲线形状也变得越加复杂。当极距 AA_0 较大时, 曲线右半支将变为高阻异常特征 (图2a⑥、⑦曲线), 曲线左半支由低阻逐渐过渡为高阻, 异常范围也逐渐变宽。

(2) 当极距 AA_0 较小时, 在所给条

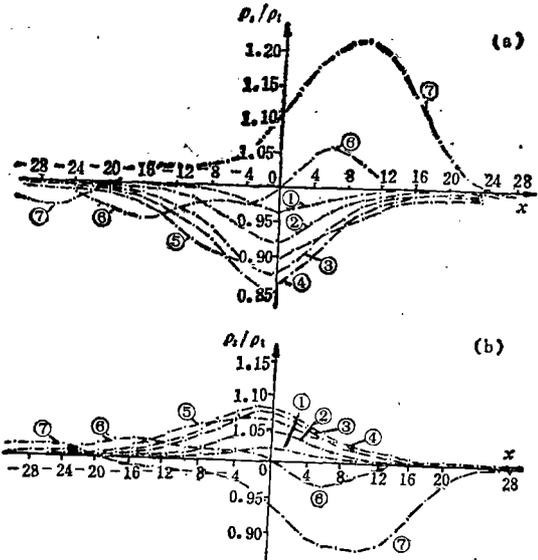


图2 强化垂直聚焦法 ρ_s 剖面理论曲线

a— $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=10\Omega\text{m}$, $R_0=6\text{cm}$, $H_0=9\text{cm}$;
b— $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=1000\Omega\text{m}$, $R_0=6\text{cm}$, $H_0=9\text{cm}$;

① $AA_0=1.2\text{cm}$, ② $AA_0=3\text{cm}$, ③ $AA_0=6\text{cm}$,
④ $AA_0=9\text{cm}$, ⑤ $AA_0=15\text{cm}$, ⑥ $AA_0=25\text{cm}$,
⑦ $AA_0=40\text{cm}$; 测点距 $\Delta x=4\text{cm}$

件下, 异常极小值点均偏向球体左侧; 极距 AA_0 越增大, 极小值点越向左移动。

(3) 对于理想导电球体, 即在 $\rho_2 \rightarrow 0$ 的极限条件下, 强化垂直聚焦法 ρ_s 剖面理论曲线除具上述特征外, 当采用最佳极距时, 异常幅度达18.8%, 较 $\mu_{12}=0.1$ 和 $\mu_{12}=0.01$ 条件下异常幅度差分别为5.7%和0.4%。可见良导球体与其围岩电阻率差异在1个级次以上时, 强化垂直聚焦剖面法会产生较明显的异常。

2. 高阻球体上的异常特征

由图2b给出的条件, 算得一组理论曲线, 其异常特征为:

(1) ρ_s 剖面曲线呈不对称状。当极距 AA_0 较小时, 曲线异常特征为极大形, 且异常幅度随 AA_0 的增大而增加。在 $AA_0 = H_0 = 9\text{cm}$ 时, 即最佳极距条件, 最大异常幅

度达8%。当 $AA_0 > H_0$ 以后,异常幅度随 AA_0 的增大而减小,曲线形状变得越加复杂。当 AA_0 较大时,曲线右半支将变为低阻异常特征(图2b⑥、⑦曲线),曲线左半支由高阻逐渐过渡为低阻,异常分布范围亦逐渐变宽。

(2) 在极距 AA_0 较小时,异常的极大值点均偏向球体左侧,极距越增大,极大值点越向左移动。

(3) 当球体为绝缘体时,即 $\rho_2 \rightarrow \infty$ 的极限条件下,强化垂直聚焦 ρ_s 剖面理论曲线除具有前述特征外,在采用最佳极距时,异常幅度达9.3%;比 $\mu_{12}=10$ 和 $\mu_{12}=100$ 的条件下,异常幅度差分别为1.3%和0.3%。可见高阻球体与其围岩的电阻率差异在1个级次以上时,强化垂直聚焦 ρ_s 剖面曲线也将产生可辨认的异常,但不如良导体球体的异常明显(对同级次的电阻率差异而言)。

三种剖面法 ρ_s 异常特征之比较

下面以良导体球体为例(取球体电阻率 $\rho_2=10\Omega\text{m}$ 、围岩电阻率 $\rho_1=100\Omega\text{m}$ 、球体半径 $R_0=6\text{cm}$ 、球心埋深 $H_0=9\text{cm}$),进行强化垂直聚焦法、一般垂直聚焦法和三极剖面法 ρ_s 曲线异常特征的对比如讨论。

从图2a、图3和图4可见,当观测所用极距相同或接近相等时,上述三种方法在主剖面球顶上方的 ρ_s 异常均表现为极小,只是异常特征(曲线形态、异常幅度和分布宽度等)有以下明显差异:

1. 一般垂直聚焦法 ρ_s 剖面曲线为对称状,极小型(见图3)。有最佳极距,即当极距 $AO=6\text{cm}$ 时,异常幅度最大,达17.2%。当极距较小时,异常幅度随极距的增大而增加;当极距 $AO > 6\text{cm}$,异常幅度随极距的增大而减小,曲线形状亦变得越加复杂,在主极小点两侧分别出现对称的次极小值(图

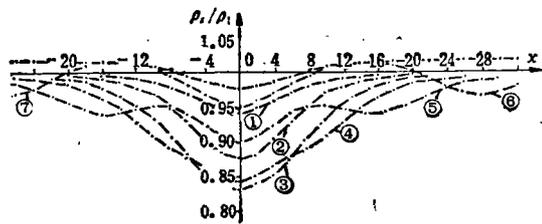


图3 一般垂直聚焦法 ρ_s 剖面理论曲线
 $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=10\Omega\text{m}$, $R_0=6\text{cm}$, $H_0=9\text{cm}$,
 ① $AO=1.2\text{cm}$, ② $AO=3\text{cm}$, ③ $AO=6\text{cm}$,
 ④ $AO=9\text{cm}$, ⑤ $AO=15\text{cm}$, ⑥ $AO=25\text{cm}$,
 ⑦ $AO=40\text{cm}$, 测点距 $\Delta x=4\text{cm}$

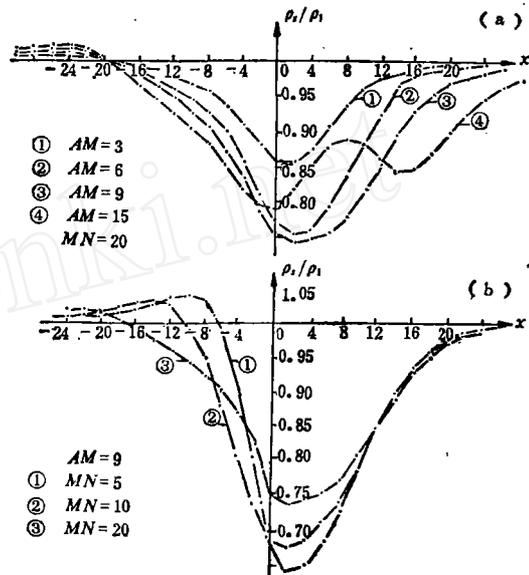


图4 三极法 ρ_s 剖面理论曲线
 $\rho_1=100\Omega\text{m}$, $\rho_2=10\Omega\text{m}$, $R_0=6\text{cm}$, $H_0=9\text{cm}$,
 cm , $\Delta x=4\text{cm}$

3中⑤、⑥曲线)。

2. 强化垂直聚焦法 ρ_s 剖面理论曲线和三极法 ρ_s 剖面理论曲线均为不对称状、极小型,其特征是:

(1) 对于强化垂直聚焦法 ρ_s 剖面曲线而言,在极距较小时,异常幅度随极距的增大而增加。当极距大于最佳极距以后,异常幅度随极距的增大而变小,曲线形状变得越加复杂;曲线右半支升高,甚至呈高阻极大型;曲线左半支越接近围岩电阻率 ρ_1 。在图

2a给出的条件下,最佳极距 $AA_0 \approx 9\text{cm}$,其最大异常幅度达14.2%。

(2) 对于三极法 ρ_s 剖面曲线,在极距较小时,其异常幅度随极距的增大而增加。当极距增大到最佳极距时,即 $AM = 9\text{cm}$ 的情况下,异常幅度最大,达26%;当极距 $AM > 9\text{cm}$ 以后, ρ_s 曲线随极距的增大而变得越加复杂。如当极距 $AM = 15\text{cm}$ 时,在曲线主极小值点右侧,出现一个明显的次级极小值点(图4a)。

当采用最佳极距时,测量极距 MN 越小,异常幅度越大(图4b)。当测量极距 $MN = 5\text{cm}$ 时,异常幅度最大可达35%。

综上所述,当地电条件相同时,三种方法均采用最佳极距观测,则所得剖面曲线异常幅度有明显差异。其中以三极法 $AM = 9\text{cm}$, $MN = 5\text{cm}$ 时,异常幅度最大,达35%,且异常分布范围较窄。而一般垂直聚焦法和强化垂直聚焦法采用最佳极距时,所得剖面曲线的异常幅度分别达17%和13.7%。可见,强化垂直聚焦 ρ_s 剖面法的异常幅度最小,具宽缓的低阻异常特征。

实验结果

为了验证强化垂直聚焦法 ρ_s 理论剖面曲线的异常特征及其实用性,在大水槽中分别进行了良导球体(紫铜球)和直立良导板状体(黄铜板)的上述三种方法的模型实验观测,结果如下:

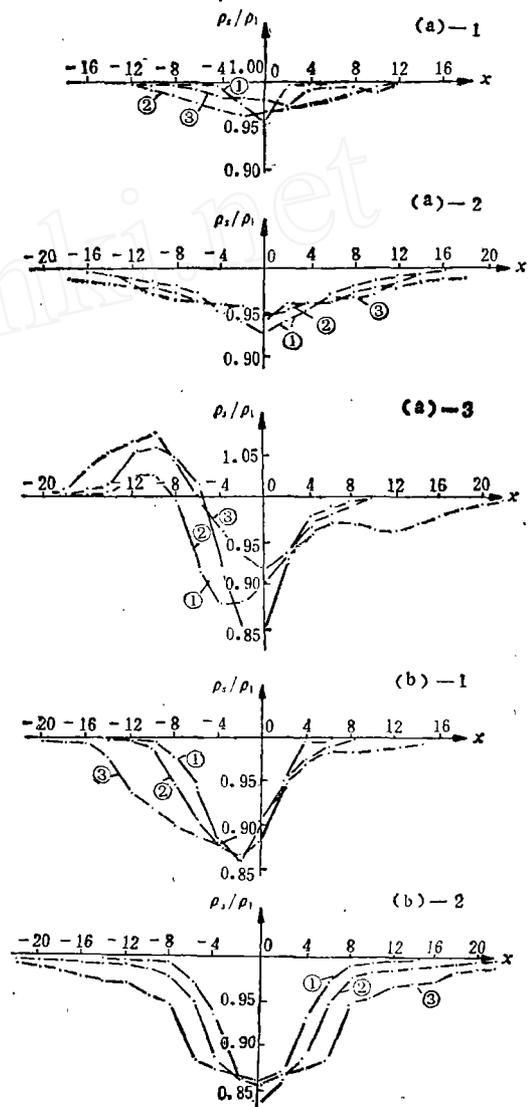
1. 良导球体

水槽中埋设一个半径 $R_0 = 6.5\text{cm}$ 的紫铜球,球心埋深 $H_0 = 9.5\text{cm}$,在主剖面上分别进行了三种方法的观测,对所获资料(图5a)的分析,得到以下几点认识:

(1) 从异常形态上看,与前述三种方法的理论曲线的形态特征基本相同,即一般垂直聚焦法 ρ_s 剖面曲线为对称状极小型,极小点对应球心的水平投影位置。而强化垂直聚焦法和三极剖面法的 ρ_s 剖面曲线呈不对

称状极小型。当极距较小时,曲线的异常幅度随极距的增大而增加,极小值点偏离球心水平投影位置也越远。当采用最佳极距时,异常极小值点偏离球心的水平投影位置最远。三种方法均有最佳极距。当极距超过最佳极距以后,剖面曲线形态随极距的增大而愈加变得复杂。即除有主极小值外,还出现次级极小值。

(2) 从异常幅度的大小看,也与前述理论曲线相一致。当三种装置均采用最佳极距时,异常幅度以三极法为最大(15.5%)、



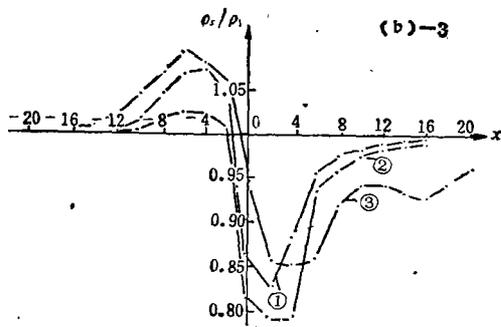


图5 三种剖面法在良导体球体(a)和直立良导体板状体上的模型实验曲线

a-1, b-1为强化垂直聚焦法;

① $AA_0=6\text{cm}$, ② $AA_0=9\text{cm}$, ③ $AA_0=15\text{cm}$;

a-2, b-2为一般垂直聚焦法;

① $AO=6\text{cm}$, ② $AO=9\text{cm}$, ③ $AO=15\text{cm}$;

a-3, b-3为三极剖面法;

① $AM=6\text{cm}$, ② $AM=9\text{cm}$, ③ $AM=15\text{cm}$

一般垂直聚焦法次之(7.5%)、强化垂直聚焦法最小(4.1%)。

2. 直立良导体

水槽中埋设一块直立黄铜板(尺寸: $30 \times 20 \times 0.4\text{cm}^3$), 板顶埋深 $H=3\text{cm}$, 在主剖面上分别进行了前述三种方法的剖面观测(图5b), 异常特征如下:

(1) 从剖面曲线异常形态和幅度大小上看, 均与良导体球体上实验所得特征基本相同。

(2) 与良导体球体实验的主要不同是: 用极距相同的同种装置观测时, 直立良导体

上的异常幅度明显大于良导体球体。

结 论

理论计算和水槽模型实验表明, 强化垂直聚焦法并未使 ρ_1 异常增强, 相反却明显比另两种方法的异常弱。故可认为: 强化垂直聚焦法并没有进一步提高勘探深度和找矿的能力。而且该法观测工作很繁重, 给野外工作带来很多不便。

由于强化垂直聚焦法的 ρ_1 资料可以由相应的二极法 ρ_1 数据换算得到^[1], 故可不必进行该法的实际观测, 只做相应极距的二极法观测即可。

笔者赞同某些学者^[1,2]的观点, 对电法勘探的某些变种方法, 应取慎重态度。首先应弄清其理论前提和应用基础, 避免实际应用中的盲目性。这样, 既可避免时间浪费, 又可减少不必要的经济损失。

本文在完成的过程中, 得到傅良魁、徐济民、罗德传等同志的支持和帮助, 在此表示谢意。

主要参考文献

- [1] 傅良魁, 《近场源激发极化法》, 地质出版社, 1986.
- [2] 傅良魁等, 现代地质, 1988, 第1期.
- [3] 黄启声, 物探与化探, 1981, 第3期.
- [4] 傅良魁, 桂林冶金地质学院学报, 1985, 第2期.

Anomaly Characteristics of Strengthened Vertically Focused Electric Profiling

Wang Wenhui

In the light of theoretical computation and model experiments some characteristics of anomaly curves due to a conducting sphere in resistivity profiling with strengthened vertically focused array are shown in this paper. These curves were compared with those obtained by the common vertically focused and pole-dipole arrays. It is concluded that the strengthened vertically focused profiling is unable to increase its depth of investigation further to an extent higher than that of other profiling methods. In addition, it has a very low work efficiency in the field owing to the cumbersome configuration of its electrode configuration.