

# 水平电偶源频率测深远区、近区场视电阻率值的讨论

甘肃煤田综合普查队 罗东山

众所周知，对均匀介质或均匀水平层状介质的远区场来说，频率测深视电阻率值同观测点的位置( $r, \theta$ )<sup>①</sup>以及发射源的供电电流 $I$ 、供电极距 $AB$ 都无关系，而只与介质电性及频率有关。当频率一定时，频率测深电场、磁场各分量定义的视电阻率值全等同。

在实际工作中，由于选择 $r$ 距受发射功率限制，随着频率的变低，远区条件不能满足时，则视电阻率值不仅变得与 $r$ 和 $\theta$ 有关，而且从不同分量定义的视电阻率值也不一样，显示出电磁场的远区和近区之分。通常，频率测深曲线高频段为远区，低频段为近区，其间为过渡场区，使解释复杂化。还有，装置系数 $K$ 值在计算整条曲线中是不变的，曲线进入近区后仍按远区公式来计算，这又使近区视电阻率不反映介质电阻率真值。由于电偶极子在近区的电场 $E_x$ 不同于磁场，它仍与介质的电性有关，故还有进一步研究之必要。

## 一、均匀介质 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线特征

现利用美国ZONGE工程公司提供的频

率测深曲线微机正演程序来计算均匀介质赤道( $\theta = 90^\circ$ )和轴向( $\theta = 0^\circ$ )装置时的水平电场分量 $E_x$ ，然后再按下列远区公式计算并绘出视电阻率 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线(图1)。

频率测深视电阻率 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 计算公式：

$$\text{远区 } \rho_{\phi}^{Ex} = \frac{2\pi r^3}{I \cdot AB} \left| \frac{E_x}{3\cos^2\theta - 2} \right|$$

$$\text{近区 } \rho_{\phi}^{Ex} = \frac{2\pi r^3}{I \cdot AB} \left| \frac{E_x}{3\cos^2\theta - 1} \right|$$

均匀介质真电阻率 $\rho_z = 10\Omega \cdot m$ 正演计算成果见表1。

从上述计算结果和远区、近区 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 计算公式可看到：

(1) 在同等观测条件下，无论远区、近区以及赤道、轴向装置，其场强关系如下：

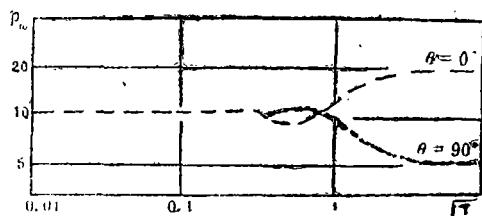


图1 均匀介质( $\rho_z = 10$ ) $\rho_{\phi}^{Ex}$ 正演曲线

表1

| 场 区                                | 远 区  |  | 近 区  |  |
|------------------------------------|--|--|--|--|
|                                    | ( $f = 4096\text{Hz}, \sqrt{T} = 0.0156$ ) | ( $f = 0.0313\text{Hz}, \sqrt{T} = 5.66$ ) | ( $f = 4096\text{Hz}, \sqrt{T} = 0.0156$ ) | ( $f = 0.0313\text{Hz}, \sqrt{T} = 5.66$ ) |
| 装 置                                | 赤道( $\theta = 90^\circ$ )                  | 轴向( $\theta = 0^\circ$ )                   | 赤道( $\theta = 90^\circ$ )                  | 轴向( $\theta = 0^\circ$ )                   |
| $E_x(\text{V/m})$                  | $2.35523E-08$                              | $1.18258E-08$                              | $1.26377E-08$                              | $2.34289E-08$                              |
| $\rho_{\phi}^{Ex}(\Omega \cdot m)$ | 9.99                                       | 10.03                                      | 5.10                                       | 19.87                                      |
|                                    |  |  | 按远区公式计算                                    |  |

① $r$ 为偶极中心距， $\theta$ 为供电电极 $A$ 、 $B$ 同 $r$ 的夹角。

$$|E_x|_{\text{远、赤}} = 2 |E_x|_{\text{近、赤}} \\ = 2 |E_x|_{\text{远、轴}} = |E_x|_{\text{近、轴}}$$

(2) 均匀介质中, 无论远区、近区以及赤道、轴向装置所计算的 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 值都应相等, 即为均匀介质的真电阻率 $\rho_z \approx 10 \Omega \cdot m$ 。表中计算的两种装置在远区时,  $\rho_{\phi}^{Ex} = \rho_z$ ; 而在近区时,  $\rho_{\phi}^{Ex}$ 值分别为 $\frac{1}{2}\rho_z$ 和 $2\rho_z$ 的原因是由于模拟曲线的计算中都按远区公式所致。近区场理应按近区公式计算才是真值, 这时无疑 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 和 $\rho_z$ 相等。如果模拟曲线都按近区公式计算, 则赤道、轴向装置在近区时,  $\rho_{\phi}^{Ex} = \rho_z$ ; 而在远区时,  $\rho_{\phi}^{Ex}$ 值又分别变成 $2\rho_z$ 和 $\frac{1}{2}\rho_z$ 了。为此, 在通常用远区公式计算 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线的实际工作中, 欲求近区 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 的真值, 对赤道装置而言,  $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线尾支水平渐近值的2倍即为所求; 对轴向装置而言, 则应取曲线尾支水平渐近值的一半。这在实测地层露头参数时, 掌握这一规律尤为重要。

(3) 在均匀水平层状介质时, 频率测深近区电场和同装置的直流偶极子电场相同, 尤其对 $\theta = 90^\circ$ 的赤道装置, 频率测深近场 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 计算公式还同常用的点电源对称四极视电阻率 $\rho_s$ 计算公式在 $r = AB/2$ 时形式上完全相同。因此, 用远区公式计算的 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线尾支水平渐近值的2倍, 应该和同装置的直流偶极和相应的对称四极的视电阻率 $\rho_s$ 值相等。

例1 按二层断面分别模拟了赤道装置 $r = 400 \sim 800 m$ 四条 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线, 同时也绘出了同一断面的直流对称四极 $\rho_s$ 理论曲线(图2)。通过对比表明, 频率测深 $r = 400 m$ 的 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线尾支水平渐近值的2倍同直流 $AB/2 = 400 m$ 的 $\rho_s$ 值相等; 其它 $r = 500 m, 600 m, 800 m$ 的近区 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 值的2倍, 也都分别同直流 $AB/2 = 500 m, 600 m, 800 m$ 的 $\rho_s$ 值相等。如果我们采用近区场作变距测深(此时与频率无关), 并用近区公式计算, 则不同 $r$ 距的 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 值和相应极距直流测深的 $\rho_s$ 值就全等。

例2 在图3中绘出了甘肃山丹水5孔孔

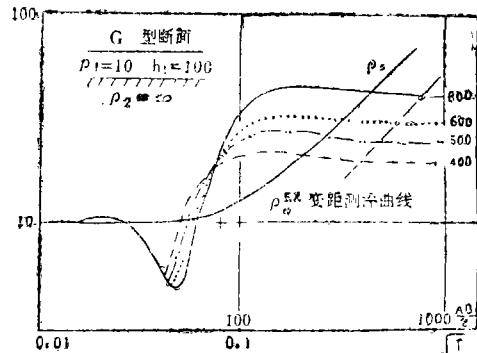


图2  $\rho_{\phi}^{Ex}$ 近区变距测深和直流 $\rho_s$ 曲线对比

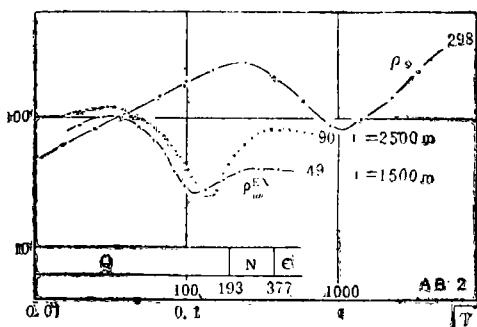


图3 水5孔 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 和 $\rho_s$ 实测曲线

旁直流对称四极 $\rho_s$ 曲线和两种 $r$ 距的 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线。 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 近区水平渐近值的2倍分别等于 $AB/2 = 1500 m, 2500 m$ 的直流 $\rho_s$ 值。从一系列实测曲线表明, 尽管偶极和对称四极两种装置体积效应不同, 但只要介质在水平方向电性变化较为稳定, 上述规律一般反映较好。因此, 利用直流对称四极 $\rho_s$ 曲线来构制在不同 $r$ 距近区 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 曲线的水平渐近值; 或者利用不同 $r$ 距近区 $\rho_{\phi}^{Ex}$ 值来构制直流测深 $\rho_s$ 曲线, 是完全能实现的。

## 二、水平层状二层断面曲线特征

二层断面正演模拟了赤道装置G型( $\mu_2 = 4$ )和D型( $\mu_2 = \frac{1}{4}$ )在 $r/h_1 = 4, 8, 40, 100$ 的 $\rho_{\phi}^{Ex}, \rho_{\phi}^{Hx}$ 曲线(图4、图5)。假设第一层厚度为 $h_1$ , 集肤厚度 $\delta_1 = 503 \sqrt{\rho T} (m)$ , 曲线分析特征如下:

(1) 当 $h_1 \gg \delta_1$ 时, 则 $\rho_{\phi} = \rho_1$ , 即集肤厚

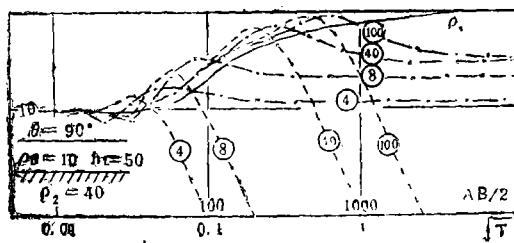


图 4 G型断面 ( $\mu = 4$ )  $\rho_0^{EX}$ ,  $\rho_0^{DC}$  正演曲线

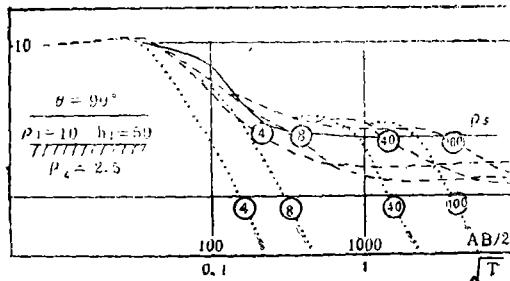


图 5 D型断面 ( $\mu = \frac{1}{4}$ )  $\rho_0^{EX}$ ,  $\rho_0^{DC}$  正演曲线

度和第一层厚度比较非常小时，可以认为电磁波没有受到第二层电性的影响，故 $\rho_0$ 等于第一层真电阻率。

(2)当 $h_1 \ll \delta_1$ 时，则 $\rho_0 = \rho_2$ ，即第一层厚度在整个集肤厚度范围内小到忽略不计，而主要由第二层电性来决定时， $\rho_0$ 等于第二层真电阻率。

(3)频率测深曲线有假极值效应，若第二层为高阻时，曲线在对应高阻层上升前有极小；若第二层为低阻时，曲线在对应下降前有极大。假极值效应在层厚较大时，可增强界面的分辨能力；但在层厚较小时，又往往使层位划分混淆不清。

(4)在模拟二层断面曲线中，采用的是 $r/h_1$ 一定的有限极距，为此，当 $r \gg \delta_1$ ，即 $|k_r| \gg 1$ 为远区场时( $k$ 为波常数)，曲线的表现是不同 $r$ 距 $\rho_0^{EX}$ 曲线在首支的重合。例如：在图4、图5中， $r/h_1 = 100$ 的曲线，由于 $r$ 距选择较大，则在曲线中段出现第二层的真电阻率，并和直流第二层电阻率一致，说明这时的电磁场仍属远区，其性质完全由第二层电性决定。

随着频率的降低，曲线又开始进入过渡区和近区( $r \gg \delta_1$ ，即 $|kr| \ll 1$ )这时 $\rho_0^{EX}$ 曲线尾支出现水平渐近值。前已述及，由于是用远场公式计算，故不同 $r$ 距的水平渐近值 $\rho_0^*$ 刚好为相应极距直流测深 $\rho_0$ 值的一半。

应该指出，在曲线解释中，要注意避免把二层断面误判为K型或Q型的三层断面，这时要充分利用磁场曲线来综合划分远、近区。另外，如果 $r$ 距选择较小，例如图4、图5中 $r/h_1 = 4$ 的曲线反映为穿过第一层，但第二层无法完全反映而进入近区。可以想像，若 $r$ 距相对 $h_1$ 选择得更小，则电磁波连第一层都未穿过而进入近区，这时反映第一层底界面的十字点也就无法求出。在实际工作中，采用不同 $r$ 距以及利用直流电测资料来综合解释是十分有益的。

从图6已知钻孔旁频率测深( $\theta = 90^\circ$ )和直流测深的实例可知，当反映层厚较大的第三系时，频率测深远区 $\rho_0^{EX}$ 曲线同直流测深一样，将出现接近该层真电阻率的水平段，其值同直流测深曲线相应的水平段接近或相等。

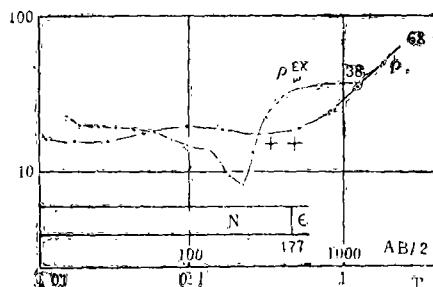


图 6 普8孔  $\rho_0^{EX}$  和  $\rho_0$  实测曲线

### 三、结语

(1)频率测深用 $E_x$ 定义的视电阻率对均匀介质无论是远区、近区或者赤道、轴向装置，尽管场强不同，如果远区和近区的视电阻率值分别按远区、近区的公式计算，则都

# 巷道槽波透射法适用环境和影响因素的探讨

煤炭科学研究院西安分院 郭恩惠

由于采煤综合机械化程度的不断提高，矿井地质小构造对采掘工作面的影响越来越大，及时而准确地预报采掘工作面内地质构造情况和断层分布已为生产所必须。目前，槽波地震探测技术被公认为解决此类问题有效的、经济的物探手段。随着研究的深入和方法技术的发展，综合采用槽波反射法和槽波透射法进行探测，将会提高该方法的效力和探测精度。在实际探测中，由于井下环境、施工因素及反射法本身的局限性等因素影响，槽波透射法的应用几率往往高于槽波反射法的应用几率。同时，槽波透射法也是进行槽波地震探测（未探测区）所必须采用的方法。本文着重总结巷道槽波透射法在我国煤矿的适用环境分类并加以详细讨论，从而为进一步提高槽波探测技术的发展和普及应用，更好地为提高煤矿生产效率服务。

## 一、巷道槽波透射法及其功能

巷道槽波透射测量中，要观测的是直达槽波而非反射槽波。为了进行透射测量，需要在煤层的一条巷道中安置检波器，在该煤层另一条巷道（或钻孔）布置爆炸点，以研究未揭露煤层部分传播的槽波。

应具有相同的值——均匀介质真电阻率，并和直流测深的视电阻率等同（当然这都是指达到渐近线的值）。

(2)在实际工作中，通常用远区公式计算近区的视电阻率，因此，对赤道装置而言， $\rho_{\phi}^{\text{F}}$ 曲线在近区水平渐近值的2倍应和相同装置的直流偶极以及点电源对称四极装

透射槽波法测量能预测有无相当于煤层厚度的断层。在透射资料中，若观测到确切的槽波，这就意味着在透射所能覆盖的区域内，没有超过煤层厚度的不连续体（断层、冲刷、陷落柱等）。反之，则接收不到槽波。当然清楚的槽波接收和未观测到槽波间有中间级，如很弱的槽波或延时槽波接收，则可能意味着小断层等构造的存在。

在适宜的条件下，尚可确定煤层不连续体的位置，如构造简单地区布置很密的透射线等。

槽波透射法具有以下三个基本功能：

1)通过测量直达槽波信号的有无，可以判断震源至接收点间的煤层中是否有煤层不连续体存在。

2)若震源至接收点间没有不连续体存在，则可利用透射槽波数据计算拉夫型槽波的频散曲线，进而确定所探测区煤层中槽波群速度曲线埃里相频带和速度，从而为反射法数据处理提供滤波参数和速度参数。

3)通过槽波透射法探测，可以确定所探测区槽波的赋存情况，从而提供该区域应用槽波地震探测技术的前景如何。

置的视电阻率等同。在水平层状介质或者体积效应差别不大时，三者可通用。

(3)要充分利用磁场曲线、变r装置以及直流电测深曲线的综合对比，来划分 $\rho_{\phi}^{\text{F}}$ 曲线的远、近区，避免判层错误。

本文插图得到钟文胜、王丽英的帮助，谨致谢意。