面极化对电阻率模型试验的影响

解释电法勘探资料常用形状规则的模型靶进行物理模拟实验。靶往往都是用电子导电金属材料制作或将细粒导电材料与不导电的材料混合，经树脂或水泥胶结而成。

实验一般采用四极装置进行测量，用交流电供给。常使用一个固定频率（1000赫左右），有时也用低到50或60赫，甚至更低的频率。由于靶与电解质界面间的阻抗随频率改变，所以测得的视电阻率都是复数。频率很低时，界面的阻抗很高；高频时，小到可以忽略。

本文目的在于查明与工作频率有关的视电阻率的确切性质与靶的大小、形状，靶相对于电极排列的位置、电极排列的方式以及靶和电解质性质的关系。

基本要点

可以认为在电子导体与电解质界面上发生的电极化现象是界面间在低电流密度（即每平方厘米1微安左右）情况下的一种线性过程。面间阻抗可用图1所示的等效电路来代表。

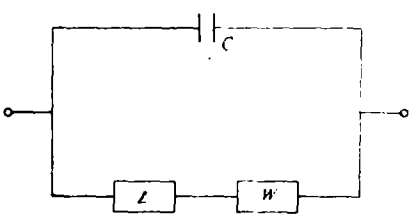

图 1

图中电容C为总的面间电容，其数值对大多数表面来讲为每平方厘米零点几微法至几微法。当面间电流很小时，电抗性阻抗Z对发生的作用来讲与平衡交换电流密度成反比。W是扩散阻抗。在频率极低时，W相当于厚度L（扩散距离），电导率等于只有作用离子存在时的溶液的导电率。在较高的频率时，W值按照公式$[2\pi f\sqrt{(-1)}]^{-1/2}$随频率$f$的增高而减小。即使反应复杂，这个基本电路一般也能与实验数据拟合。

无论在界面上的确切机理和反应究竟是什么，电子导体—电解质界面间的阻抗在非常高的频率时小得可以忽略，并随频率的降低而增大，在直流时停止在某一高的数值。阻抗随频率发生这种变化的方式取决于电荷转移反应，离子浓度以及其他一些因素。这些因素决定了界面上电偶层和扩散过剩电荷层的性质。

对电阻率模拟实验来说，仅需要两种纯电阻性的介质相接触。代替的办法是一个电偶层（接着是一扩散过剩电荷层）夹在两种介质之间。这样组合的层，其阻抗在很大程度上与频率有关。所要讨论的全部问题都是由这样的组合层引起的。讨论中假设靶和电解质界面附近的电流密度都很小，也就是说在线性范围内。如果送入界面的电流在界面两侧产生的电压在室温情况下小于5毫伏，那么上述情况就能成立。

将金属模型靶浸在电解质中，利用与电解质接触的电极激发，电流一定穿过界面层，在靶中进出。在频率极低（近乎直流）的情况下，因为面间阻抗很高，靶的表面象是一个高电阻的覆盖层。这就造成电流偏离导电的靶，而不是直接引入到靶。其结果是测得的视电阻率值不与高阻介质中的低阻靶的电阻率值对应，而是象埋在低阻介质中的高阻靶的反映。图2表明采用温纳电极系，在用铝制成的圆柱状靶的上方用宽频率测到的响应曲线。可以看出，在低频时，铝模型的表现类似绝缘体。具有较高的视电阻率值。当频率增高时，曲线发生变化，随频率的增大，曲线逐渐接近模型预期的视电阻率曲线。文中“高频”是指在这种频率上，与传导效应相比，感应效应和位移效应都很小。

我们感兴趣的是模型由电阻性变成电导性时的频率。在低频测得的视电阻率趋近某一值，在特别高的频率则达到另一值，随频率的增高从前者向后者平稳地变化。用直流测量的视电阻率是纯电阻值。在高频端，只要感应效应和位移效应相对传导效应而言小得可以忽略时，视电阻率就再次是个纯电阻值。在此两极端的频率之间视电

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

阻率为复数值。也就是说，所观察到的电压与供入电流的相位不同。电阻率的相位角即电流和电压之间的夹角，在某个中间频率时变得最大，称之为“特征频率（f_c）”。另外还把视电阻率的低频和高频的渐近值分别称为A_0和A_∞，把相位移的峰值称为特征相位移θ_c。

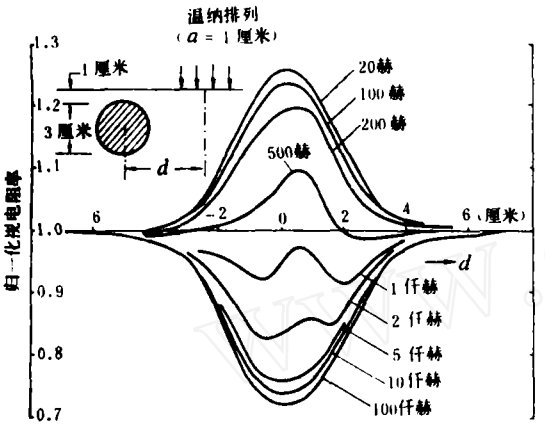

图 2

试验结果

图3说明在其他各项条件相同的情况下，两种不同材料(铜和钢)的靶，其f_c值和A_0/A_∞比值相差很大。但A_∞的值在这两种情况下是相同的。

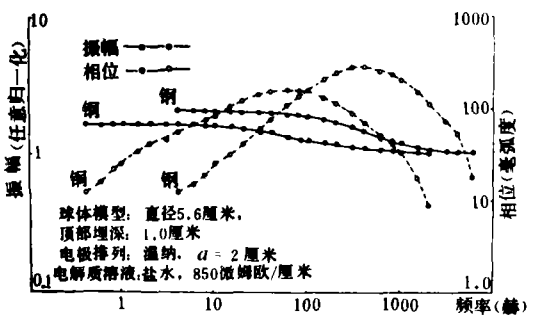

图 3

同样的电极排列，利用埋深相同，但直径不同的圆柱状导体作模型测量，f_c值随直径的增大而减小。

在模型和电极排列给定的情况下进行复视阻率测量，发现f_c的值随电极排列安放的位置也就是随模型中心到电极排列中心的距离（d）改变。

靶和电解质相同，用不同的电极排列测得的f_c值可以有很大改变。用垂直薄铝板作模型，在模型中心上方用温纳，两极和三极三种不同的电极排列，在0.1赫～1千赫的频率范围内测量f_c和A_0/A_∞比。在这种特殊情况下，由于两极或三极电极排列供电不对称，测得的f_c值都比温纳电极排列测得的大。

模型的几何形状、电极排列、电解质的导电率都相同；在制作模型用的材料不同和电解质不同的情况下，测量了f_c值与A_0/A_∞值。所用模型为铝球、铜球和不锈钢球，直径都是5.6cm，顶板埋深1厘米，用a = 2厘米的温纳电极排列测量。用的电解质有自来水、HCl稀溶液和NaCl稀溶液，它们的导电率都是850μmho/cm。HCl溶液和NaCl溶液是用新鲜蒸馏水配制的。由于发生化学反应，不能把铜球放在HCl溶液中测试。在所有情况下A_∞值都相同，f_c值则有很大的差别。

其他实验条件相同，仅改变电解质的导电率，测试其影响。开始时把一个铜制小模型放在蒸馏水中（48μmho/cm）进行测量。然后加入H_2SO_4使导电率逐渐增大到480μmho/cm和1500μmho/cm，测得的f_c则由4.5赫增大到20赫，最后增大到100赫。

用铜制模型放在水中的实验结果表明，f_c值随着模型尺寸的增大而减小。对于大小不同而形状相同的模型，用同样材料制成的模型和同样的电解质进行了实验，看看有没有适用于它们的某种频率相似定律，结果发现振幅谱和相位谱的变化与比例因数并无独特关系。实验中采用了比例为1:2的两个形状相同的模型。如果有适合谱线的比例关系，那么谱线应该只在频率轴上位移某一恒定不变的距离，而不会改变其振幅和相位值。但是并没发现上述这种情况。

图4说明用温纳电极排列，测得自来水中水平放置的不锈钢圆柱体的振幅谱和相位谱。尺寸大的圆柱体长30厘米，直径2.54厘米，顶部埋深2厘米，电极距a = 4厘米，圆柱体中点正上方为电极排列的中心。尺寸小的圆柱体长15厘米，直径1.27厘米，顶部埋深1厘米，放在a = 2厘米的温纳电极之下。两个模型的高频视电阻率值相同。实验中比例因数改变了2，似乎使振幅谱

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

和相位谱在频率轴上位移了大约2.6倍。θ_c 的变化很小。

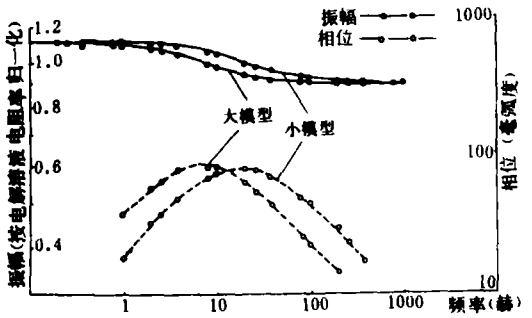

图 4

图5说明以图4中所用的两个不锈钢圆柱体和同样的电解质获得的谱。不过圆柱体的轴是竖直安放的。其上端与电解液液面处于同一水平面。采用三极排列，供电电极C_1、C_2和测量电极P_1、P_2沿直线排列，其顺序为C_1，P_1，P_2和C_2。对尺寸大的模型来讲，C_1P_1和P_1P_2间的距离各为4厘米，P_2C_2为18厘米。竖直安放的直径为2.54厘米的圆柱体的轴垂直于电极排列的轴线，经过C_1P_1中点，离电极排列的轴2.47厘米。在尺寸小的模型实验中，各尺寸都正好是大模型的一半。在这种情况下，比例尺改变使f_c值在频率轴上位移了大约14倍。θ_c值变化显著，小模型的相位谱变宽。

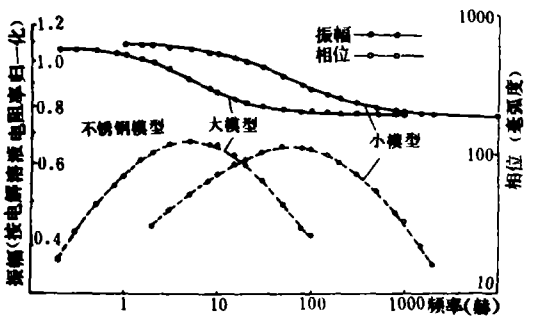

图 5

图6是用尺寸与图5所用的不锈钢圆柱体完全相同的铜制圆柱体作模型，其他条件不变，重复图5的实验所得到的结果。在这项实验中尺寸改变引起f_c位移，大约为2.2倍。与图5一样，也能看到相位谱形状的改变。

图4、图5和图6指出，在其他条件保持相同的情况下，改变模型的尺寸，不仅产生比例尺位移而且也改变了视电阻率谱的形状。频率比例尺上位移的多少对于不同的靶或者同样的靶放在不同的位置都是不同的。这些结果似乎表明不存在与比例尺有关的均匀的频率相似定律。

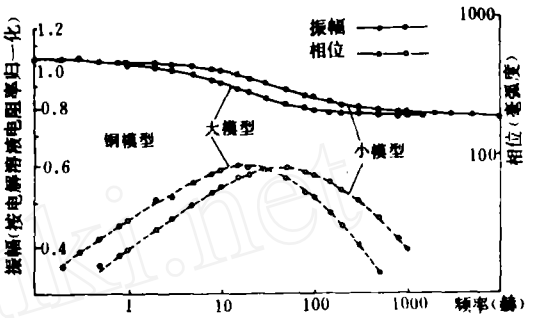

图 6

虽然正如上述所有实验一样，对于实心的导电靶，其视相位谱有一个单一峰，但是对两个组合在一起的不同的靶就不完全是这样。如果两个靶在同一电极排列下在不同位置各自表现出不同的f_c值，那么用两个靶放在一起测得的相位谱或多或少象是两个单独相位谱的和。在大多数情况中，总的谱是一个宽的单个峰。可是，挑选两个f_c值差别很大的靶并将它们置于电极下适当的位置将获得图7所示的两个明显的峰。

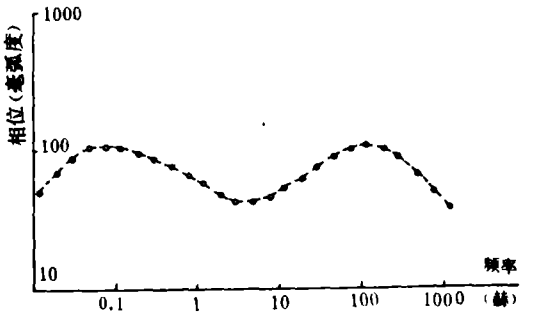

图 7

用蒸馏水配制溶液，测试前把金属模型清洗干净，测量结果的重复性是很好的。模型沾染了油脂会使测得的视电阻率值发生变化，在视电阻率剖面上可能出现不对称现象，如图2和图4，在中间频率发生谱的不对称，可能都是由于模型材料表面局部沾染杂质引起的。

虽然如此，所有的靶都表现有可重复的高频

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

测量结果，做为电阻率模型实验似乎是可以接受的。这是因为在高频时，视电阻率是纯电阻性的，并且正确地遵循相似定律。

讨论和结论

根据上述实验结果，利用浸在电解质中的实心导电靶进行电阻率模拟实验，只能在所观察的视电阻率没有相位角的高频下进行。否则观察结果不会遵循几何的相似定律。

过去作的类似的模型实验，没有选择正确的工作频率，得到的定量电阻率模拟资料大部分是值得怀疑的。

某些工作者，例如哈罗夫，曾采用含盐的凝胶做模型材料。因为在这情况下靶和电解质都是离子异体，用这种模型作实验得到的结果比较可靠。可是，因为未能采取任何措施防止离子穿出或进入胶质的靶，在一段长时间实验后，总会产生靶的导电率不稳定的问题。

为了模拟不同的电阻率差异，把导电的和不导电的材料混合后用树脂或水泥胶结成靶。这种树脂胶结的混合物没有孔隙，只是在表面产生极化。上面提供的证据表明，除非测量频率选择得适当，否则用这种模型得到的结果与用实心电子导体模型一样是有错误的。在使用多孔的水泥胶结的混合物作靶时，它可以允许电解质进入与电子导电的颗粒接触，使靶产生体积极化，须用足够高的频率才能进行正确的电阻率模型实验，因为在较高的频率下，模型的特性才是纯电阻性的。

因此，在用电子导体作靶的电阻率模型实验中，建议使用频率可变化的复阻抗测量系统。首先确定视电阻率的频率特性，然后再用这样一种高工作频率进行实际测量，要求测得的相位角小到可以忽略不计。在选择靶、电解质和工作频率时，可以记住下面几条指导原则。

（1）对于只显示单峰的相位谱模型，采用比f_c高20倍的工作频率，看来是比较保险的。在所显示的相位谱比较宽或不止一个相位峰的模型的情况下，工作频率应该很高，以致相位角小得可以忽略。

（2）因为谱还取决于靶和电极排列的几何位置，研究所有电极排列的配置。主要的是测到最高的f_c值。这与构制模型实验假剖面或对同一靶比较不同电极排列测得的结果，有很大关系。

（3）用实心电子导体做靶时，f_c值随离子浓度的增大和靶的尺寸减小而升高。

对制作靶的材料和电解质的选择，提供一个简单的指导原则还有困难。应该避免使用象铝这样易氧化的材料制作靶。

本文的主要目的虽然是研究与电阻率模型实验有关的问题，但根据上述实验结果我们对激发极化法也能作出相似结论。

IP模拟可借助电阻率模拟，利用靶与电解质稍许不同的电阻率差异来确定“稀释因数”。对于实心导体的靶，比例尺改变，所测得的视电阻率变化似乎并不遵循任何均匀相似法则。这使得用小比例尺模拟埋藏的块状导体靶的视极化率有很大困难。

译自 GEOPHYSICS，1983，vol. 48，№. 1，
作者 D. Guptasarma
何 玫译（原文过长，本刊作了删节）

招掖地区金矿床的原生地球化学异常特征及找矿方法

刘汉忠　李富国　张伯春

招掖金矿带位于沂沭断裂带东侧，胶北隆起西北端栖霞复背斜北翼，受东西向阜山背斜控制。金矿床受新华夏系北东向压扭性断裂与东西向构造复合部位控制，金矿带内地层主要为上太古界—下元古界胶东群，其下部蓬莱组是金矿带的主要层位，分布于混合花岗岩体的周边地段。中部民山组零星分布于矿带北部边缘；上部富阳组分布于招掖以东。胶东群地层走向为东西—北西西

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net