对激电二次场时间特性影响因素的实验研究

石昆法　莫焰玉

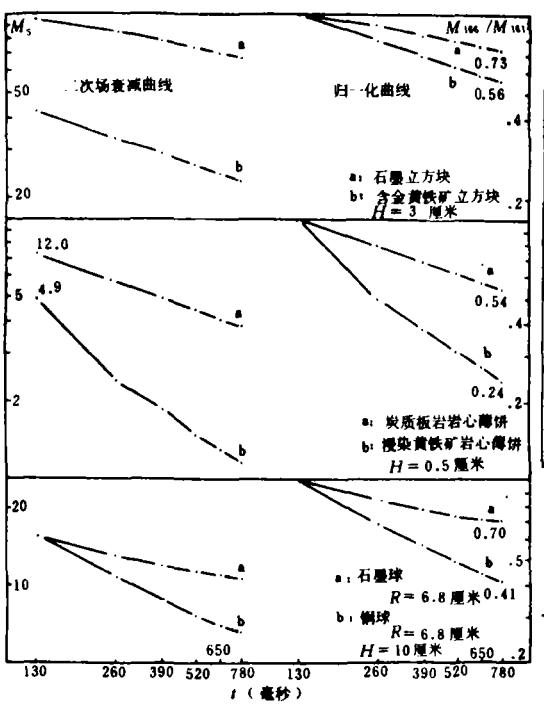
在实验室内测定不同物质成分或不同结构构造的标本时，其二次场时间特性确实存在着一定的差异，有的还很明显。但在野外条件下，由于各种因素对二次场的干扰，上述本质上的差异被淹没掉，使区分工作变得复杂，甚至不可能区分。

我们利用大水槽进行了一系列实验，初步认为，保持与野外基本相当的地电条件，在电流密度较小的情况下（$J=10\mu A/cm^2$），对于不同物质成分或不同结构构造的矿体，在水面观测二次场时间特性时，发现有明显差异，因而区分的前提是存在的。实验结果表明，除矿体的埋深与大小对二次场时间特性影响较大外，其他因素的影响都较小。我们详细地研究了埋深对二次场时间特性影响值的大小与规律，然后利用这个规律对实测值进行改正，达到消除这种干扰的目的。

实验装置与精度

水槽长2米，宽2米，深1.6米。一般采用中梯装置：$AB=120$厘米，$MN=1\sim2$厘米。用炭棒作供电电极，用滴定管做的不极化电极作测量电极，极差相当稳定。供电电流保证电流密度不大于$10\mu A/cm^2$。采用IPC—8型时域发送器供电，供电时间为2秒。用IPR—8型时域接收机测量，精度经重复观测统计小于2%。二次场时间特性由断电后65毫秒至845毫秒之间等分的六块积分面积而获得，由第六块面积与第一块面积之比求得二次场的视衰减速度（$C_s^{2''}$），即：

$$C_s^{2''}=\frac{M_{166}}{M_{161}}$$



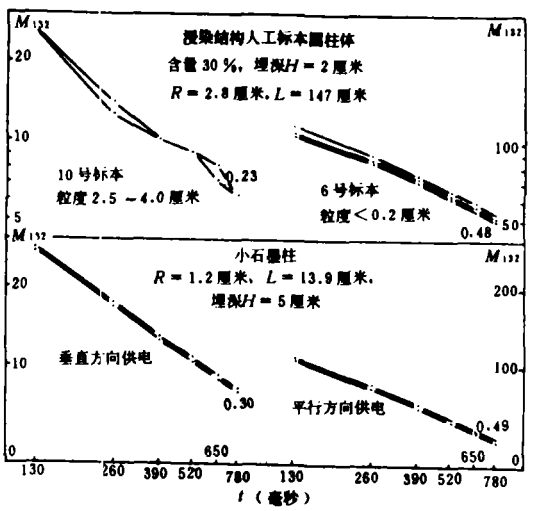


图2　不同结构岩矿标本的衰减曲线
$AB=120$厘米；$MN=1$厘米

图1　不同物质成分岩矿标本的二次衰减曲线及归一化曲线
$AB=120$厘米；$MN=1$厘米；$T=2$秒

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

不同物质成分标本的二次场时间特征

实验时，保证标本大小、形状、埋深、极距等条件严格一致，选择石墨球与铜球作对比，还采集野外的黄铁矿标本与炭质板岩进行对比。

图1分别绘出了石墨球与铜球（半径均为6.8厘米），黄铁矿小方块与石墨小方块（大小均为3×3×3厘米^3），浸染黄铁矿小圆饼与炭质板岩小圆饼（半径2.8厘米，厚1.5厘米）的二次场时间特性和视衰减速度归一化曲线。由图可见，不同的物质成分，其时间特征和衰减速度不同。一般来说，黄铁矿与黄铜矿的二次场衰减曲线前部稍"翘起"，衰减速度较快；而石墨与炭质标本的曲线前段略向下"低垂"，衰减速度较慢。

不同结构构造标本的二次场时间特征

所谓岩矿石的结构构造主要是指粒度及导电矿物的连通情况及排列方向。不同粒度标本由人工做成，石墨颗粒的体积含量均为30%，两块标本，一个粒度小于0.2毫米；一个粒度为2.5～4毫米。不同排列方向是通过平行与垂直小石墨柱方向供电来实现。

图2说明小粒度与平行方向供电的小石墨柱的二次场衰减曲线有"下垂"现象，衰减速度较慢，而大粒度及垂直方向供电的小石墨柱的二次场衰减曲线则"翘起"，衰减速度较快。

以上实验说明，不同物质成分与不同结构构造的岩矿石标本，其二次场时间特性和衰减速度不一样，因而有可能利用激电二次场时间特性来区分异常性质。

埋深对二次场时间特征的影响

这是本次实验的重点，我们选择了板状体、水平圆柱体、立方体、球体四种不同形状的标本，其中有良导的面极化体，也有人工做的浸染的体极化标本，还有野外采集的天然标本。"矿体"用细绳悬挂水中，靠改变水深来变更埋深，AB极距固定为120厘米，MN固定为1厘米，测点位置严格保持在矿体正上方，然后逐一改变矿体埋深进行二次场时间特性测量。

实验研究表明，矿体埋深对二次场衰减速度的影响与矿体大小对二次场衰减速度的影响是等效的。一般矿体埋深越大（或越小），衰减速度就越快，但对不同形状矿体，影响程度不同（图3）

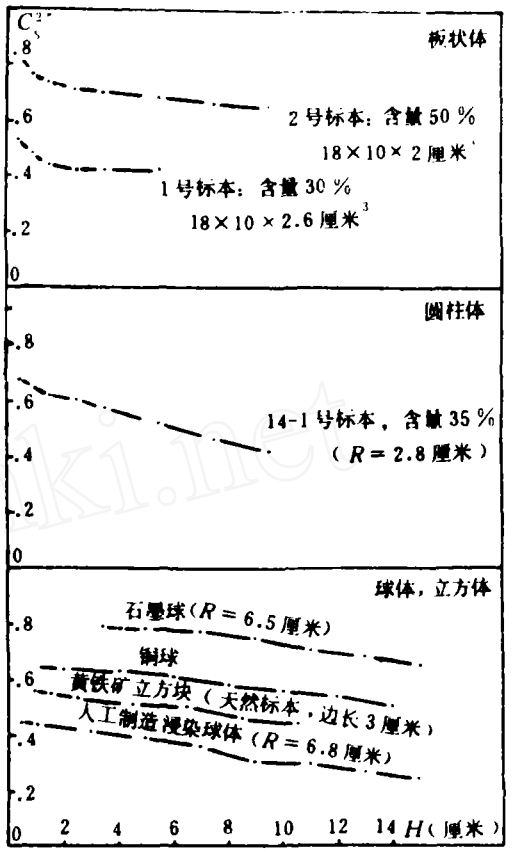


图3　不同形状极化体的埋深与二次场衰减速度（S）的关系

AB=120厘米；MN=1厘米；

I=120毫安；T=2秒

二次场衰减速度为什么受矿体埋深和大小的影响呢？由cole-cole模型不难导出岩矿标本等效电路的阻抗的表达式

$$Z(\omega)=R_0^3\left[1-m\left(1-\frac{1}{1+(i\omega\tau)^c}\right)\right] \quad (1)$$

式中

$$m=\frac{R_0}{R_0+R_1} \quad (2)$$

$$\tau=\chi\left(\frac{R_0}{m}\right)^{1/c} \quad (3)$$

式中，R_0—低频时的电阻；χ—岩矿石标本的电

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

容量；m—充电率；c—与频率有关的系数，一般取0.25。

由（3）式可见，时间常数τ不仅与电容量χ有关，而且也与直流电阻和充电率有关。在野外条件下或在大水槽中测到的时间常数，具有"平均"的概念，因此（3）式可改写为

$$\tau_s = \chi_s \left(\frac{\rho_s}{m_s}\right)^{1-c} \qquad (4)$$

即视时间常数τ_s不仅与岩、矿石的电容性质χ有关（即与物质成分和结构构造有关），而且与视电阻率ρ_s及视充电率m_s有关，而ρ_s与m_s又是矿体埋深和大小的函数，因此τ_s（或$C_s^{2''}$）也与矿体的埋深与大小有关。从物理意义上看，我们认为，二次场放电速度的快慢主要是与放电路径的通畅与否有关，当矿体埋深浅时，二次场电流受地面（或水面）的挤压，放电路径不通畅，所以放电速度慢，而当矿体埋藏深度增大时，地面影响减小，二次场电流放电路径通畅，所以衰减速度亦变快。对于板状体而言，它不仅有一定的走向长度，而且向下有一定延深，被激发出的二次电流只能从矿顶上方通过，因此地面对其二次电流的阻挡比较明显，以至二次场衰减速度变慢，埋深稍有变化，二次场衰减速度也随之变化，矿体埋藏越浅，这种影响就越加明显，图3所示的板状体衰减速度与埋深的关系曲线说明了这一点。为了进一步从数量上证实这个问题，我们作了如下的简单计算：假定被激发产生的二次电流的强度为1毫安，它流经的路线是板顶至水面之间一块垂直面积，这块面积是随板状体埋深的变化而变化的，计算出矿体由浅变深时流过这块面积的二次电流密度后，绘出二次电流密度与埋深的关系曲线（图4），可以清楚地看出地面对二次电流的影响程度不是线性的，矿体埋藏越浅，地面对二次电流的阻塞越强烈，所以对二次场衰减速度的影响也越大。

对于水平圆柱体而言，二次电流尽管在走向长度上受到阻挡，但二次电流可以在柱体的下方形成通路，所以二次场衰减速度随埋深的变化较小（图3）；对球体而言，二次电流不仅在球体下方形成通路，而且在球体两侧也可以形成通路，

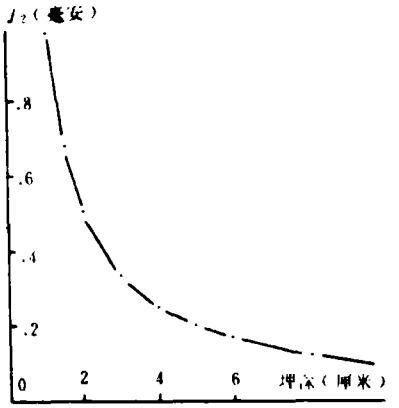


图 4

所以地面对二次电流的影响就不十分明显，因此它的衰减速度受埋深的影响也小。

我们还在薄水槽中用圆柱体做了全空间与半空间的埋深实验，在全空间情况下二次电流基本上不受地面影响，所以二次场衰减速度也几乎不受埋深的影响（图5，曲线1），尤其在矿体

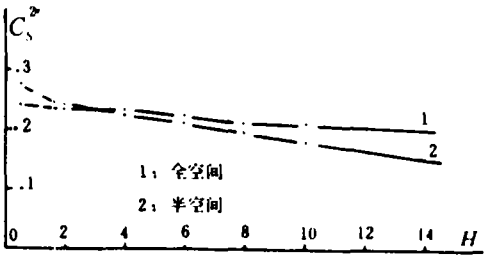


图5 圆柱体全空间、半空间 S与H关系曲线

埋藏较浅时，这种影响就更小；相反在半空间情况下（曲线2）衰减速度受埋深的影响较明显，这又从另一个侧面证明了二次场衰减速度的变化主要和二次电流放电路径的通畅与阻塞有关。

掌握了上述这些规律，就可以对埋深的影响进行改正。我们取矿体的半厚度与矿体埋深之比为横轴，以埋深对衰减速度的影响值为纵轴，根据表1绘制了改正曲线如图6，可以对埋深的影响进行改正。

图7是对野外实测曲线的改正结果。图中赤铁矿出露地表，无需改正；黄铁矿埋深50米，半厚度25米，形状近板状，原来2秒供电时三个异

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

常点的衰减速度分别为0.53、0.56、0.53，经改正后变为0.62、0.65、0.62，这就与赤铁矿体上的衰减速度0.47差异更大了。另外4秒供电时衰减速度（$C_s^{4''}$）剖面曲线上凸（黄铁矿）下凹（赤铁矿）的特征更加明显。

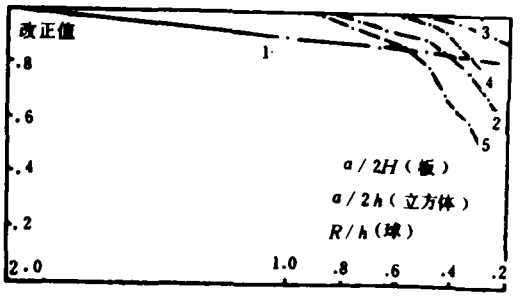


图 6　不同形状矿体埋深与二次场衰减速度改正曲线
1—直立板状体；2—水平圆柱体；3—立方体；4—面极化球体；5—体极化球体

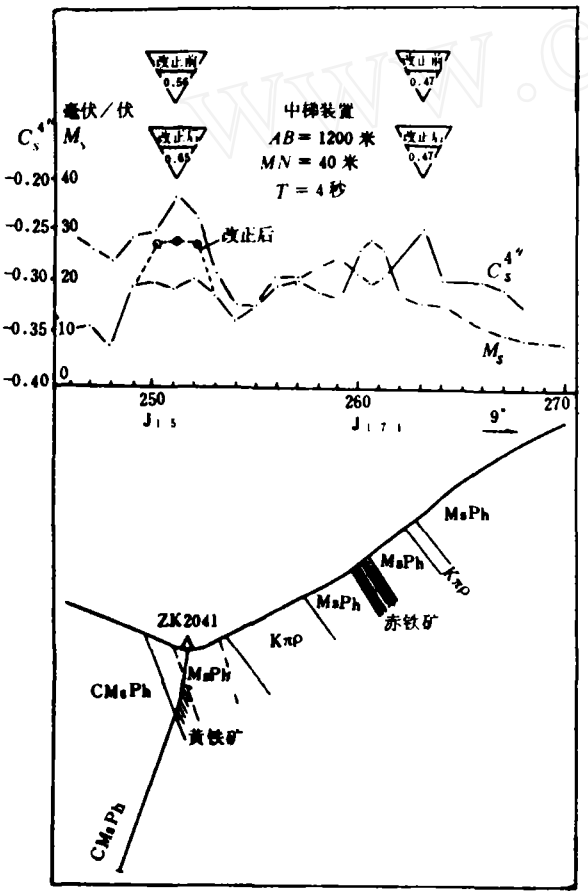


图 7　204线埋深对二次场衰减速度改正结果

二次场时间特征的空间分布

对石墨球、铜球、人工浸染球、人工浸染圆柱体进行了剖面测量，分别绘出了视充电率与视衰减速度的空间分布曲线。由图8、图9可见，衰减速度的剖面曲线与充电率的曲线有些相似，说明二次场衰减速度的空间分布类似偶极子场的空间分布。另外还可以看出在充电率异常中心的部位上衰减速度的变化很小，近于平顶曲线。因

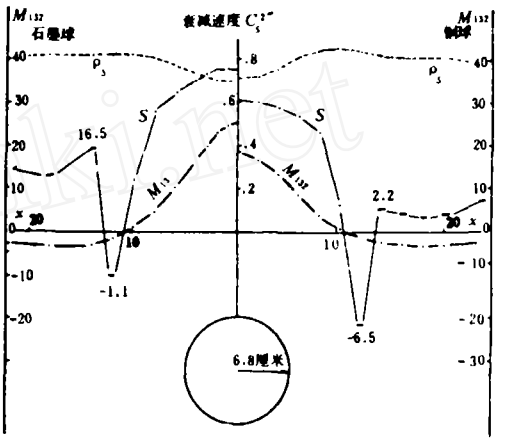


图 8　大水槽球体二次空间分布曲线
AB = 160厘米；MN = 2厘米；
H = 8厘米；I = 120毫安

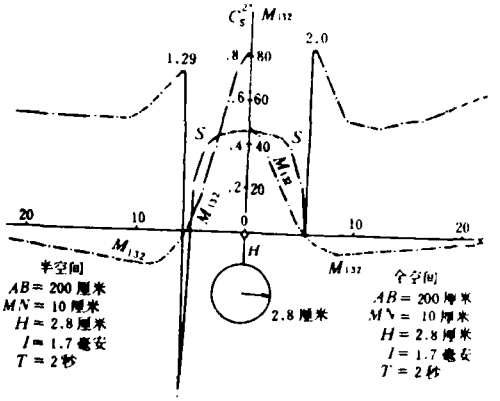


图 9　全空间、半空间圆柱体二次场分布特征

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

此在利用二次场时间特性区分异常性质时应主要研究异常中心部位的衰减曲线，那里二次场读数较大，值也稳定。

结　论

1.不同物质成分、不同结构构造的岩、矿石其二次场时间特性和衰减速度存在明显的差异，是区分异常的前提和基础；

2.矿体埋深和大小对衰减速度有影响，在野外应进行必要改正；

3.异常中心部位二次场的值大而稳定，异常的区分工作最好选在异常中心进行。

由于实验工作量不多，上述结论可能不一定正确，望读者批评指正。

圈定斑岩铜矿蚀变矿化范围及分带的新途径

段祝龄　　吕秀峰

斑岩体及其围岩蚀变，是斑岩铜（钼）矿床极为重要的找矿标志。斑岩铜矿通常都具有明显的蚀变分带。矿化与蚀变关系密切，矿体主要赋存在石英—绢云母化带或钾长石化带内。蚀变又是矿化规模和富集程度的标志，矿床规模越大，蚀变越强，分带性愈好，则矿化富集程度愈高。因此，在普查找矿评价中，研究斑岩与围岩蚀变及其分带特征具有重要的意义。很多人常把蚀变带看成是寻找斑岩铜（钼）矿富集部位的"脉搏"。

地质上对蚀变岩石的命名及蚀变带划分的方法是以恢复原岩性质为基础，根据标型蚀变矿物的种类和强度以及 SiO_2，K_2O，Na_2O，CaO，FeO，Fe_2O_3 等常量元素的含量来确定。常需作大量的镜下鉴定和常量元素的分析，常因岩浆的多期性、围岩性质及构造因素，使蚀变带的划分成为较复杂的工作，跟不上普查找矿评价工作的需要。本文介绍了圈定斑岩铜矿蚀变矿化范围及分带的数理统计方法及其应用效果。

方法的选择

采用数理统计方法解决地质问题的关键，是选择恰当的数学模型。这就需要对数学方法的数学前提及地质条件进行深入的分析。如所周知，斑岩铜矿的蚀变分带一般都有一定的规律，每个蚀变带都含有标型矿物。反映在元素上，微量和常量元素的含量在各个蚀变带都存在一定的差异（见表1）。从数理统计的观点讲，各蚀变带之间的元素差异大，就表明元素的离差大，而带内元素的含量较均匀，则说明离差小。对蚀变带的划分问题实际上就是解决分类问题。分类问题一般可采用聚类分析的方法。现在我们所观察到的蚀变分带，是由于在成矿过程中，在时间和空间上，元素经过迁移与沉淀、分散与集中、带入与带出变化而形成的蚀变矿物晕。基于上述分析，对蚀变带的划分是采取从元素的空间分布规律出发，以聚类分析方法为手段的一条快速和较准确地圈定蚀变矿化范围及分带的数理统计途径。

富家坞各蚀变岩石中元素的含量　　表1

元素	千枚岩	绿泥石绿帘石化带	伊利石水白云母化带	石英—绢云母化带		钾长石化带	斑岩
				千枚岩	斑岩		
SiO_2	67.67	64.03	62.89	69.58	80	65.62	66.63
Al_2O_3	14.64	16.06	15.26	13.4	6.88	14.81	14.19
K_2O	2.38	3.49	4.83	5.33	1.77	3.16	3.21
Na_2O	2.65	0.77	0.29	0.66	0.26	3.76	3.31
H_2O^-	2.84	3.82	2.23*	1.68*	1.28*	1.22	1.27
Cu	123.3	174.7	1069.3	4592	6250	3426.7	131.7
Mo	1	3	3	131	4	49	2
Pb	36	29	14	25	19	29	23
Mn	1359	1221	588	549	915	736	703

* 供参考

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