

论曲线与实测曲线有所接近(图3)。

③如果考虑地质、物性等因素,就可以确定矿体的赋存(该矿体的赋存已得到验证)。

④否则进一步对有关的参数进行修改,直到理论计算曲线与实测曲线的主要异常接近才结束。

这里要特别说明的是井中激电的特色是临近矿体测量,研究的对象是一个复杂的地质体,并且干扰因素很多,显然用均匀极化的孤立形体来模拟实际矿体,缺乏必要的地球物理前提。因而在实际应用时,必须根据已有资料,对矿体的性质和特征作出合乎实际的判断,有选择地计算,才能取得应有效果。

结 语

本文用类磁法计算椭球矿体的井中激电异常,这种形体近似于各种赋存的透镜状矿体:当椭球半径 $a \approx b \approx c$ 时,则椭球近似于球状;当 $a \gg b \approx c$ 时,椭球近似圆柱状矿体;当 $a < b \approx c$ 椭球则与薄板状矿体相近;当 $a \neq c$, $b \rightarrow \infty$,椭球变为椭圆柱体。因此,用类磁法计算椭球矿体的井中激电异常具有一定的普遍适应范围。

引入和弄清类磁法的意义和规律,它可以象磁法一样使井中激电异常正演公式系统化^[1],方法直观、简便,易于掌握,有助于推广井中激电的电算数据处理^{*}。特别是对正确认识井中激电异常规律,合理布置野外工作和选择方法技术,以及作定性、定量解释,都有实用价值。

本方法虽经分析和实际计算,证明效果较好,但由于我们实践工作少,加上水平有限,文中仍有不妥之处,有待于进一步完善和提高。

参 考 文 献

- [1] 萨波洛夫斯基, А. И. :《特殊函数》,北京,石油工业出版社,1957年
- [2] 黄智辉:物探与化探,1979,第3期
- [3] 常守恩:物探与化探,1982,第3期
- [4] 宋子齐:西安地质学院学报,1984,第2期
- [5] 数学手册编写组:《数学手册》,北京,人民教育出版社,1979年
- [6] Камаров, В. А. : 1971, ВИТР, Скважинная рудная геофизика

导磁性对瞬变响应影响的实验研究

刘本浩 马建才

(冶金部第一冶金地质勘探公司物探大队)

脉冲瞬变电磁法除用来寻找导电性的矿体外,还可用来找磁铁矿,但效果不及磁法,因而未能广泛使用。不过这种方法对复杂的磁异常能作出评价,甚至可以粗略估计矿体的磁性矿物含量。本文从实验出发,分析和归纳了磁性对瞬变响应影响的一些规律,并试图用磁张弛效应从理论上进行解释。

磁张弛效应的物理基础

在研究磁性对瞬变响应的影响时,复磁导率随外场频率改变而改变,这一特征不可忽视,根据一维条件下的Cole-Cole张弛模型^[1],可导出复磁导率的表达式如下:

$$\mu = \mu' + j\mu'' = \mu_{\infty} + \frac{\mu_0 - \mu_{\infty}}{1 + (j\omega\tau)^c} \quad (1)$$

式中 $\mu_{\infty} = \lim_{\omega \rightarrow \infty} \mu'$,

$\mu_0 = \lim_{\omega \rightarrow 0} \mu'$,

τ = 时间常数,

c = 频率相关系数。

图1是实测的单晶磁铁矿复磁导率的频谱^[1], 此结果与上述理论相符, 复磁导率的振幅随频率的递减(相当于瞬变电磁系统的观测延时增大)而递增。

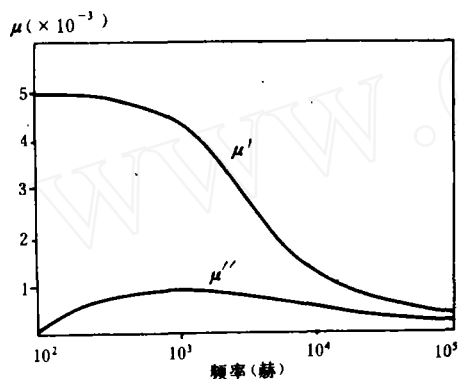


图1 单晶磁铁矿的复磁导率频谱

瞬变电磁法是观测一次场断开后的感应二次场。在一次场断开前, 导磁导电体所表现的磁导率, 对某一地质体而言是一个常数。一次场断开后, 由于感应涡流的瞬变性, 使磁性体的磁化状态不断改变, 这种改变又反过来影响感应涡流的分布。导电性和导磁性相互影响, 决定了导磁导电体的响应特征。

实验结果分析

实验所用材料为铝、铁和磁铁矿粉, 制成球状和板状模型体。模型体置于空气中, 采用 10×10 厘米的回线进行同点观测。所用仪器为 STROTEM-II 电磁系统。

1. 时间谱特征的分析: 从铁球(导磁导电体)和铝球(导电体)的时间谱曲线来看, 铁球早期(0. n 毫秒)响应大于导电体铝球的响应, 但衰减较快; 在中期(0. n ~ n 毫秒), 其响应比铝球的小, 晚期又明显地大于铝球的响应, 且衰减

较慢(图2)。大小和埋深相同的铁球和铝球的时间谱曲线有两个交点: 一个在0. n 毫秒附近, 另一个在十几毫秒附近。交点对应的延迟时间随模型体的物理参数、大小及埋深而变化。随球体半径的增大, 两交点均向晚期移动; 半径相同的铝球和铁球其时间谱的第一个交点, 随埋深的加大向晚期移动, 而第二个交点则向早期移动, 但不明显。不难看出, 铁球的响应强度受埋深的影响相对铝球而言要小少许。大小和埋深不同的铁球的时间谱曲线, 在双对数坐标图纸上是近于平行的直线, 说明其晚期衰减特征受矿体大小和埋深的影响很小, 它主要取决于其导磁性。综上所述, 无论是响应的强度还是衰减特征, 均有明显的差异, 遵循各自的规律。导致这种现象的物理原因, 可作如下初步解释:

(1) 对导磁导电体而言, 早期高频成分占优势, 这时复磁导率的振幅小, 导电性的响应远大于导磁性影响; 又由于铁比铝的电导率小, 故铁球的初始响应大于铝球的响应, 但衰减较快。

(2) 由于复磁导率的振幅随频率的递减而单调地递增, 而晚期响应信号主要是低频成分, 这就使磁性响应随延时的增大而越来越明显。

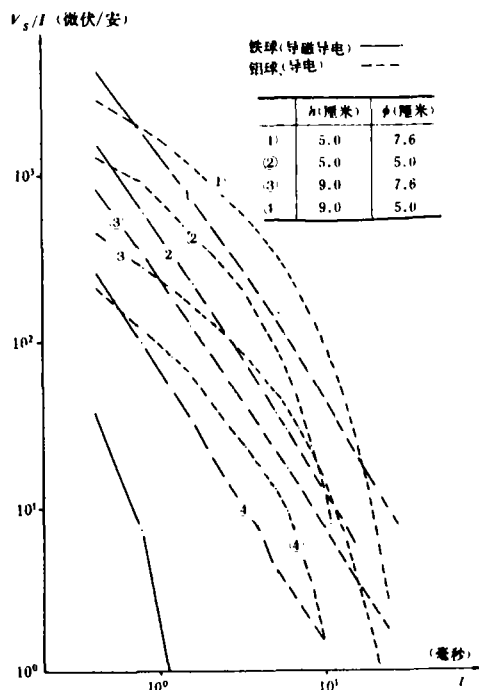


图2 导电、导磁球体极值点时间谱对比曲线

(3) 地质体由外场激励而产生的涡流磁场, 可用一等效涡流圈所产生的磁场代替。由于磁性体的集磁作用, 相对于导体来说, 在晚期将明显地束缚等效涡流圈的扩散速度; 同时磁性体在外磁场作用下, 磁畴定向排列, 分子电流垂直外磁场分布, 导致垂直磁场方向的复电阻率减小, 而平行磁场方向的复电阻率增大, 相应地使感应涡流得到加强, 同时也束缚等效涡流向下扩散的速度。综合作用的结果, 必然导致晚期导磁导电体的响应明显地大于导电体的响应 (二者的导电性相近)。

为了研究衰减特征与磁导率的关系, 采用大小相同、磁铁矿粉含量不同的人工制作的标本 ($12 \times 12 \times 12$ 厘米) 测量其时间谱 (图 3)。测量结果在双对数坐标纸上均近于直线, 其斜率 (即衰减指数) 随磁铁矿粉百分含量的增加而稍有减少 (见表)。这表明高阻磁性体可以产生瞬变响应, 但具有不同于导电体的响应衰减特征。正是这种特征决定了可以用瞬变法来评价磁性矿体。

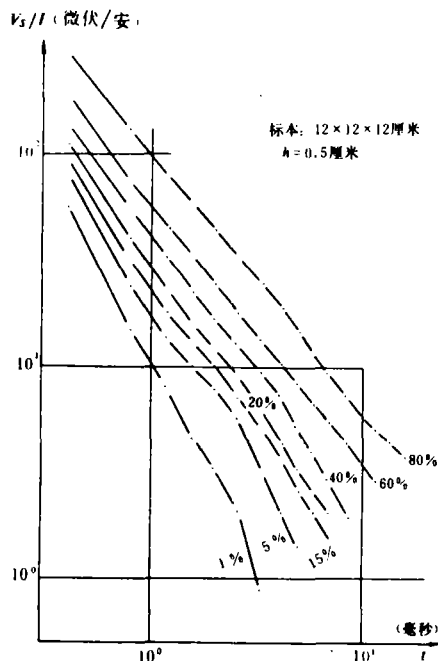


图 3 不同含量的磁铁矿人工标本的时间谱
标本: $12 \times 12 \times 12$ 厘米; $h = 0.5$ 厘米

图 4 是不同倾角的铁板的时间谱, 响应随板状体倾角的减小而增大。对此不难用回线与板状体的耦合关系来解释。从图可以看出, 响应曲线

随倾角的减小而变陡, 衰减加快。这是由于磁各向异性所致。由退磁效应可知, 其视磁化率为

$$\kappa' = \frac{\kappa}{1 + N \kappa} \quad (2)$$

$$\mu = 1 + 4\pi \kappa' \quad (3)$$

顺层激发时 (相当于直立的板), $N = 0$; 垂直板面激发时 (相当于水平板), $N = 4\pi$, 对铁磁性物质来说, $N = 0$ 比 $N = 4\pi$ 时的视磁化率大几倍至十几倍。由 (3) 式可知, 磁导率随倾角的加大而递增, 磁张弛效应随倾角的加大而增强, 使响应衰减变慢。

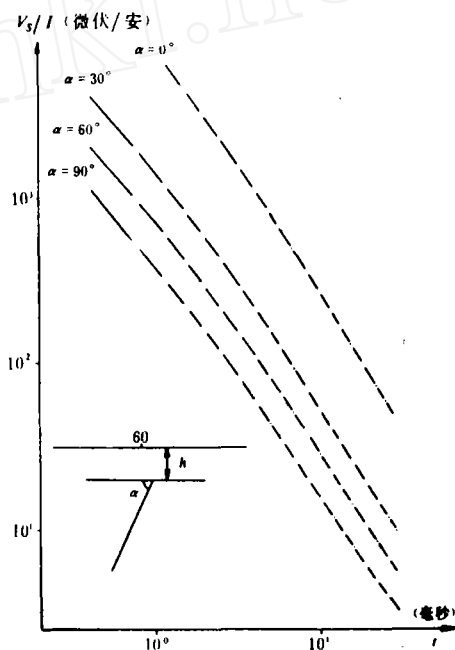


图 4 不同倾角铁板的时间谱
铁板: $30 \times 30 \times 1.5$ 厘米
 $h = 5$ 厘米; $2b = 10$ 厘米

2. 剖面特征的分析 图 5 为直立铝板和铁板的多延时剖面图。铝板的多延时剖面曲线均为双峰; 而铁板在早期为单峰, 中晚期则为双峰, 其中心位置的响应明显地大于铝板的响应, 因为在中心点铁板处于顺层激发状态, 这时其视导磁率最大, 磁张弛效应的响应也最强, 从而使响应强度增大, 导致早期剖面异常呈单峰状。当线圈偏离中心位置后, 渐渐趋于垂直板面激发, 磁性影响减弱, 涡流影响相对地迅速增强。随延时的增大, 逐渐出现双峰特征

野外实例

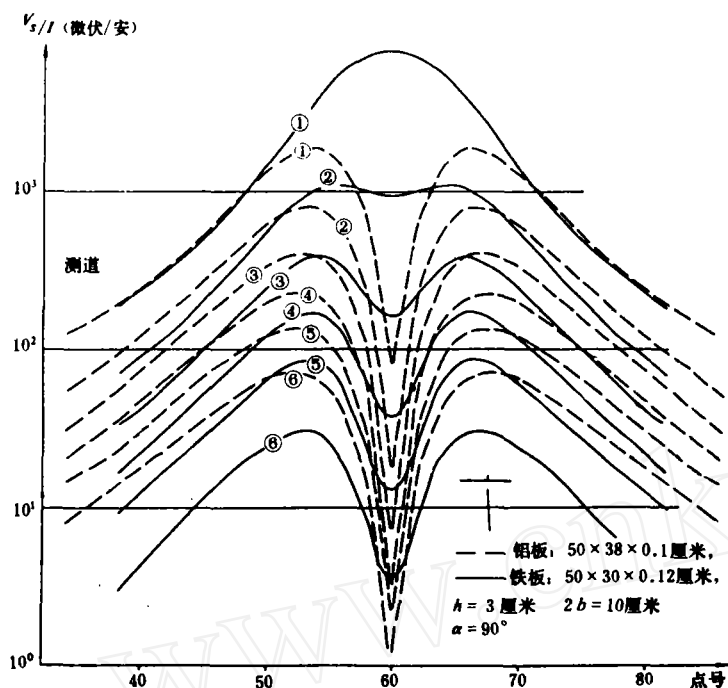


图5 直立铁板和铝板多延时剖面图

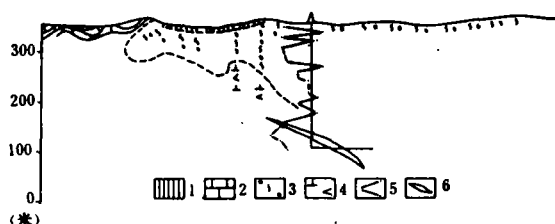
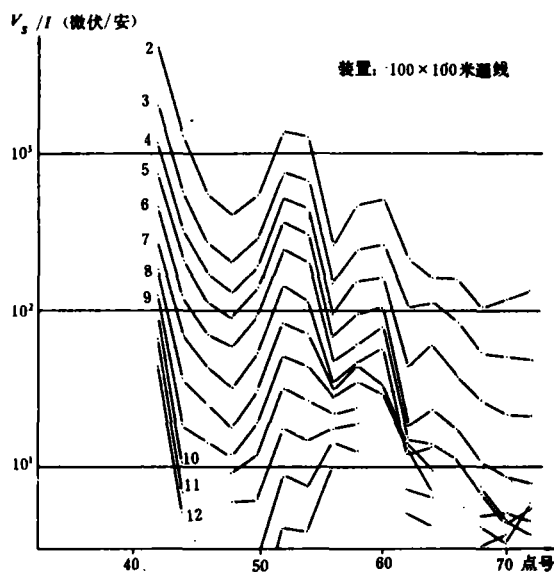


图6 武安县马家脑铁矿16线
地质物探综合剖面

河北省武安县马家脑铁矿位于涡轮状构造西侧呈北东走向的弧形接触带上。现已探明的储量近600万吨,平均品位44%。矿体受中奥陶统灰岩和二长岩接触带控制,呈北东向延长,向东南倾斜插入岩体中,延深大、产状缓。开采深度约100米。图6是矿体上的一条脉冲瞬变电磁法剖面,异常响应有较好的规律。在42~54号点有明显的双峰,晚期道东侧峰值高于西侧峰值,场源体向东倾斜,与矿体实际赋存状态一致。其时间谱(图7)中晚期衰减缓慢,响应较强,按幂函数规律衰减,具有明显的磁性体

响应特征,说明是磁铁矿引起的异常,已被钻孔和磁测井结果所证实。

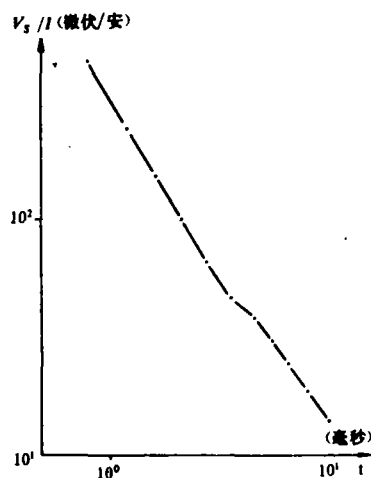


图7 马家脑铁矿58/16号点时间谱曲线

讨论

1. 导磁性影响使导磁导电体的时间谱和多延时剖面特征,与导电体的特征有明显的差别,并遵循不同的规律。导电体的时间谱按负指数规律衰减^[3];导磁导电体的时间谱在双对数坐标中近于直线,在晚期则按 t^{-n} 幂函数规律衰减。晚期

特征主要取决于其复磁导率及其几何形状,其大小、埋深的影响很小。

2. 由于磁性影响,矿体的瞬变响应增强(特别是在晚期),从而有利于提高瞬变场法的勘探深度。其时间谱特征与导电体响应的明显差别,为划分异常类型,评价复杂磁异常,寻找磁铁矿矿床提供了理论依据。

3. 在研究非等轴状导磁导电体的响应时,还必须考虑其退磁影响。

4. 从通用的电磁模拟相似准则来看
($\sigma_m \mu_m \frac{1}{l_m} = \sigma_f \mu_f \frac{1}{l_f}$), 磁导率 μ 增大 n 倍的效果与电导率 σ 增大 n 倍是等效的,但实际上导磁

导电体除可产生感应涡流外,还存在磁张弛效应,因此上述相似准则不适用于导磁导电体。导磁导电体的模拟除要遵循上述准则外,还必须使野外地质体与模型体具有相同的频率特性。

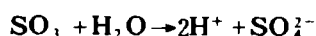
编写本文过程中,得到中南矿冶学院物探教研室的牛之珏同志的帮助和指导,在此表示感谢。

参 考 文 献

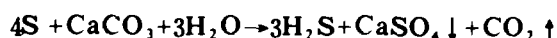
- [1] 牛之珏: 中南矿冶学院学报, 1985, 第2期
- [2] 长春地质学院磁法教研室: 《磁法勘探》, 北京, 地质出版社, 1979年
- [3] 傅良魁: 《电法勘探教程》, 北京, 地质出版社, 1983年

(上接第17页)

证明了我们1981年实验研究得出的这个结论是对的。其中 SO_2 与水反应生成 SO_4^{2-} , SO_4^{2-} 与热液中 Ca^{2+} 反应则形成硬石膏。其反应为:



总反应式为:



在岩浆热液型铅锌矿床、铁铅锌多金属矿床,以及斑岩铜矿床深部都有硬石膏出现,解释了岩浆热液型矿床中矿石的硫同位素与硬石膏硫同位素一致性的问题,解决了有关矿床中出现硬石膏的 SO_4^{2-} 来源问题。

参 考 文 献

- [1] 徐克勤等: 《矿床学》, 北京, 地质出版社, 1963年
- [2] 冶金部北京地质研究所: 《夕卡岩金属矿床八十例》, 北京, 冶金工业出版社, 1974年
- [3] 王玉荣等: 《成岩成矿论文集》, 北京, 科学出版社, 1979年
- [4] 韩发等: 《成岩成矿论文集》, 北京, 科学出版社, 1979年
- [5] 梁祥济: 地质学报, 1982, 第2期
- [6] 吴厚泽等: 地质与勘探, 1980, 第7期
- [7] 吴厚泽等: 地质与勘探, 1982, 第12期
- [8] Hsu, L. L.: J. of Petrology, 1968, No. 3
- [9] Wiggins, L. B., et al.: Econ. Geol., 1980, V. 75, No. 5
- [10] Garrels, R. M., et al.: Solutions, Minerals, and equilibrium, 1966
- [11] Park, C. F., Jr.: Ore deposits, W. H. Freeman & Company, 1975