

感应式磁参数仪的试制与试验

磁法勘探是以岩石磁性为物理基础的,它的地质效果在很大程度上取决于对矿区内岩石磁性的研究程度。

目前,野外队一般都采用磁称法测定岩石磁性。这种方法操作简单,不需要特殊设备,但是它的测量灵敏度低,适用于对中、强磁性岩石标本磁参数的测量,而对于 $500 \cdot 10^{-6}$ CGSM 单位以下的弱磁性标本,一般不能可靠的测量出来。无定向磁力仪法虽然具有较高的灵敏度,由于这种仪器极少而未能得到广泛的运用。所以在磁参数测定工作中,还缺乏适用的、灵敏度高的测量仪器。

为了解决上述问题,我们试制了感应式磁参数仪。在仪器的试制过程中,由于认真学习了毛主席著作,树立了敢想、敢干、敢于革命的精神,对国外一切好的经验、好的技术,都要吸收过来,为我所用。从而,吸取了冲击法的优点,并克服了该方法不能测量剩余磁化强度的缺点。在实践中不断总结,从失败中吸取教训,终于获得了成功。

仪器通过半年多的野外生产试验,结果表明:性能稳定,具有较高的灵敏度,操作计算简单,适用于野外队。现在介绍出来,以供参考。

一、基本原理

感应式磁参数仪是专门用来测量岩石标本磁化率和剩余磁性的,其装置分为三个部分:电磁感应器、检流计和电池组(图1)。

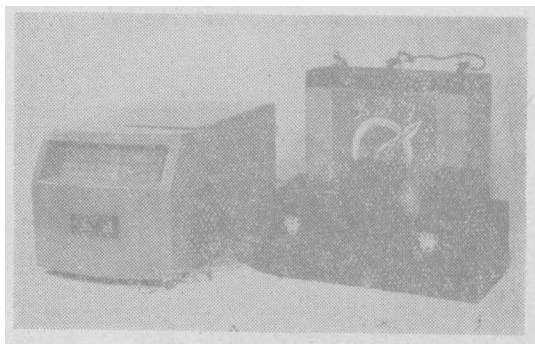


图 1

电磁感应器的制做原理:以电磁感应为基本原理,将对磁的测量转变为对电的测量。根据法拉第电

磁感应定律,即

$$\varepsilon_i = -K \frac{d\Phi}{dt}.$$

式中 K 为比例系数,负号是楞次定律的数学表示。

我们得出由于岩石标本的磁化率而使回路中磁通量发生改变。电磁感应器的装置见图2。

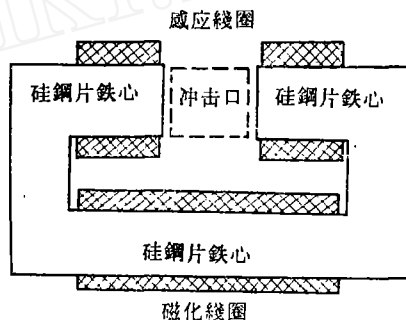


图 2

根据磁路定律计算由不同导磁率所组成的串联式磁路。假设:

磁化线圈的磁通势 $\varepsilon_m = 0.4\pi N I_a$

$$\text{铁心磁阻 } r_{m1} = \frac{l_1}{S\mu_1}$$

$$\text{标本磁阻 } r_{m2} = \frac{l_2}{S\mu_2}$$

$$\text{冲击口间空气磁阻 } r_{m0} = \frac{l_2}{S\mu_0}$$

上式中 N 为磁化线圈的匝数;

I_a 为通入磁化线圈的电流强度(安培);

S 为铁心的横切面积;

l_1 为铁心平均长度;

l_2 为标本长度(也就是冲击口宽度);

μ_1 为铁心导磁率;

μ_2 为标本导磁率;

μ_0 为空气导磁率 ($\mu_0 = 1$)。

为了便于计算,假设磁力线全集中在高导磁率的铁心内,铁心中各点磁通量相等。在没放入标本时,铁心中的磁通量为 Φ_1

$$\Phi_1 = \frac{\varepsilon_m}{r_{m1} + r_{m0}} = \frac{0.4\pi N I_a}{\frac{l_1}{S\mu_1} + \frac{l_2}{S}} \quad (1)$$

当将岩石标本放入冲击口内并充满其空间, 铁心中磁通量变为 Φ_2

$$\Phi_2 = \frac{\varepsilon_m}{r_{m1} + r_{m2}} = \frac{0.4\pi N I_a}{\frac{l_1}{S\mu_1} + \frac{l_2}{S\mu_2}} \quad (2)$$

因标本的导磁率而使磁路中磁通量发生改变, 其变化量为 (2) 式与 (1) 式之差, 即

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 0.4\pi N I_a S \mu_1 \left(\frac{\mu_2}{l_1 \mu_2 + l_2 \mu_1} - \frac{1}{l_1 + l_2 \mu_1} \right) \quad (3)$$

由于 $\mu_1 \gg \mu_2$, 所以 $l_1 \mu_2 + l_2 \mu_1 \approx l_1 + l_2 \mu_1$, 这样代换其误差小于 1%。又 $\mu_2 = 1 + 4\pi\kappa$, κ 为岩石标本的磁化率。代入 (3) 式可化简为

$$\Delta\Phi = 0.4\pi N I_a S \mu_1 \frac{\mu_2}{l_1 + l_2 \mu_1} = \frac{1.6\pi^2 N I_a S \mu_1}{l_1 + l_2 \mu_1} \cdot \kappa \quad (4)$$

表达式 (4) 右侧前项, 当仪器装置好以后除 I_a 可变外, 其它量均为定值。因此, 从 (4) 式看出磁路中磁通量的改变与标本磁化率成正比。磁通量的改变使感应线圈中产生了感应电动势, 其值可用光点检流计的偏转值 n 来表示, 当 n 值不大时, 可认为是电动势的线性函数, 即

$$\varepsilon_i = \Delta\Phi N_1 = cn \quad (5)$$

式中: c 为装置常数, 与检流计灵敏度有关;

n 为检流计偏转值;

N_1 为感应线圈的匝数。

将 (4) 式代入 (5) 式, 则得:

$$\kappa = \frac{c(l_1 + l_2 \mu_1)}{1.6\pi^2 N N_1 I_a S \mu_1} \cdot n$$

$$\text{若令 } K = \frac{c(l_1 + l_2 \mu_1)}{1.6\pi^2 N N_1 I_a S \mu_1} \quad \text{则 } \kappa = K \cdot n \quad (6)$$

公式 (6) 中 K 实质上就是仪器的灵敏度的表达式。但是仪器的灵敏度并不能根据公式 (6) 来计算, 因为在公式推导过程中都是以磁力线全集中在铁心内为前提, 而实际上, 在矩形铁心拐角处将有较多的磁力线进入空气中, 即所谓的“磁漏”。另一方面铁心导磁率 μ_1 并非为常数, 它随磁化电流强度的改变而做非线性的变化。这些因素促使公式 (6) 没有定量计算的价值, 只是定性的表达出相互依从关系。

在推导上述公式时也假设了标本充满冲击口的空间, 实际上在进行野外标本测量时, 标本体积常常小于其空间, 因此需要引入与标本体积成比例的修正系数

$$A = \frac{V'}{V}$$

$$\kappa = A \cdot K \cdot n = \frac{V'}{V} K \cdot n = K_1 \cdot \frac{n}{V} \quad (7)$$

$$K_1 = V' K$$

公式中 V' 是冲击口空间体积 ($V' = l_2 \cdot S$);

V 是标本体积。

K_1 值可以用已知匝数和体积的试验小线圈来确定, 也可用已知磁化率的标本来确定。由于后一种方法既方便又符合实际, 故采用对比法确定 K_1 值。假设标准标本磁化率值为 κ_0 , 体积为 V_0 , 检流计读数为 n_0 , 于是

$$K_1 = \frac{\kappa_0 V_0}{n_0} \quad (8)$$

仪器的装置常数并非为一固定值, 它随磁化电流强度的改变而改变。所以我们用控制磁化电流大小的办法, 取得需要的仪器灵敏度, 以满足测量不同磁性标本的要求。

感应式磁参数仪可以测量岩石标本的剩余磁化强度。测量剩余磁性时不接通磁化电源。假设有一块具有剩余磁性的标本放入仪器的冲击口, 其强度为 I_r , 沿测量方向有 I_{rx} 的分量, 在该磁场的作用下, 硅钢片铁心中磁通量由零增到 Φ , 并使感应线圈中产生一个感应电动势

$$\varepsilon_i = \mu_2 H_x S N_1 \quad (9)$$

式中: H_x 是标本剩余磁性在测量方向上的磁场强度;

S 是铁心的横切面积;

N_1 是感应线圈匝数;

μ_1 是铁心导磁率。

感应电动势 (ε_i), 可以用光点检流计读取, 其表示式为:

$$\varepsilon_i = cn = \mu_1 H_x S N_1$$

$$\text{或} \quad H_x = \frac{cn}{\mu_1 N_1 S} \quad (10)$$

由于 $H_x = V J_{rx}$, 所以上式可写成

$$J_{rx} = \frac{c}{\mu_1 S N_1} \cdot \frac{n}{V} = K_2 \cdot \frac{n}{V} \quad (11)$$

为了消除外界磁场的干扰, 一般是将标本在每个轴向上旋转 180° 取两次读数, 取其半差, 即

$$n = \frac{n_1 - n_2}{2}$$

剩余磁性测定的常数 K_2 , 可利用已知剩余磁化强度的标本用比较法确定, 做类似于公式 (8) 的计算

算。

$$K_2 = \frac{J_{rx} V_0}{n_0}$$

由于剩余磁化强度测量仅利用铁心的导磁率，因而剩余磁化强度的测量灵敏度低于磁化率的测量灵敏度。

二、仪器的制做数据

根据前节公式的推导和试验，仪器制做数据如下：

电磁感应器的铁心选用优质的硅钢片冲制成矩形，如图3所示。硅钢片的选厚为3厘米。

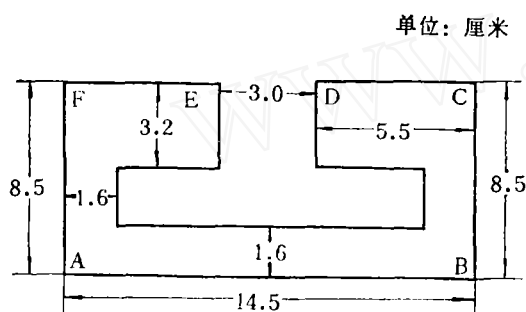


图 3

电磁感应器可以装在 $25 \times 11.5 \times 11$ 厘米的木盒内，重量约 3 公斤。

磁化线圈用直径为 0.29 毫米的漆色线密绕六千匝。感应线圈分为两组绕在 CD 和 EF 上，用直径为 0.15 毫米的漆包线密绕一万多匝。

光点检流计选用临界电阻为 1000 欧姆，灵敏度为 2×10^{-8} 安培/毫米，固有振动周期 2.2 秒。光点检流计的固有振动周期大一些更好，如 4—5 秒。

待测标本尽可能打成立方体，体积约为 $3 \times 3 \times 3$ 厘米。

仪器线路如图 4 所示。

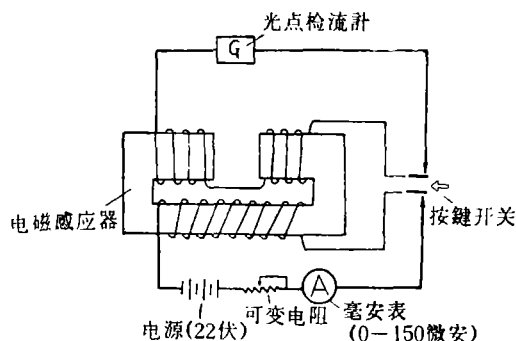


图 4

三、几个问题的讨论

(一) 标本运动速度对读数的影响

此种仪器是利用标本进入（或离开）冲击口的瞬间在感应线圈中产生的感应电动势，促使检流计偏转。仪器的读数就是光点检流计的最大偏转角，由于瞬时电流作用在光点检流计上的时间极短，基本上满足于冲击检流计的作用原理，故光点检流计的偏转角与通入检流计的电量大小成正比。电量与回路中的磁通量的增量成正比，与磁通量变化率无关。标本运动速度的快慢只能改变磁通量的变化率，所以说标本运动速度对读数没有影响。其数学根据是：

$$q = I \Delta t = \frac{e_i}{R} \Delta t = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \cdot \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R}$$

这里应该指出，上述规律的正确性是以电流作用于检流计的时间相对于检流计固有振动周期要小得很多为条件。现在我们采用的检流计的振动周期为 2.2 秒，标本离开（或进入）磁路需要十分之一秒左右的时间就可完成，基本上满足了条件。从这里可以知道，尽量选择振动周期大的检流计的目的，除了便于读数外，还能消除标本运动速度对读数的影响。则同一块标本进行多次观测其结果为：

29.8, 29.8, 29.8, 29.8, 29.8, 29.6,
29.5, 29.7, 29.0, 29.6, 29.2, 29.5,
29.8, 29.6, 29.8, 29.8, 29.3, 29.0,
29.6, 29.2, 29.2, 29.0, 29.0, 29.0,
29.2, 29.0, 28.8, 29.0, 29.0, 29.0,
29.2, 29.2, 29.2。

最大差为 1 格，平均相对误差为 1 %。

(二) 测量灵敏度及其精度

这一问题的试验是从标定仪器格值开始。为了获得已知磁化率标本，将具有磁性的岩粉盛入球形容器内，利用磁称法，放置高斯第二位置（磁系中垂线）测定磁化率，在不同距离上多次观测，在相对误差不大于 10% 的情况下，求其平均值，做为标准粉磁化率值，然后用其标定仪器的格值，其结果是：

磁化电流为 100 毫伏时 $K_1 = 898 \cdot 10^{-6} \text{ CGSM}$

50 毫伏时 $K_1 = 1970 \cdot 10^{-6} \text{ CGSM}$

25 毫伏时 $K_1 = 5320 \cdot 10^{-6} \text{ CGSM}$

如果采用体积为 25 厘米³ 的标本，检流计偏转 0.2 格，那么可测得最低磁化率为 $7 \cdot 10^{-6} \text{ CGSM}$

为了检验仪器的灵敏度和精确度，进行了近半年时间的野外生产试验，图 5 是某地区岩石磁化率测定检查结果的一部份资料，采用的是块状标本，体积最

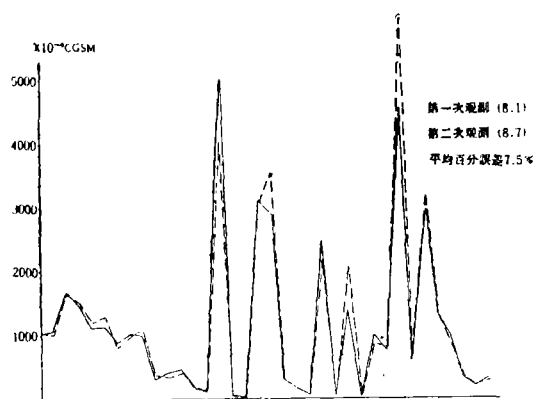


图 5

小是10厘米³，最大是25厘米³，形状近于等轴状。重复检查的平均相对误差为7.5%。在其它场合下，重复测量的相对误差也都不大于10%。所以，此仪器对磁化率的测量精确度误差可保证在10%以内。

(三) 不同标本形状对测量值的影响

不同标本形状对测量值是有影响的。其原因是：标本的形状不同磁化时有不同的消磁系数，也就是在磁路中的磁阻不同；其次近似假设在冲击口中的标本体积变化与检流计偏转值有线性变化关系。应该指出，对于不同作用原理的仪器，上述的影响程度也不同。为了确定各种标本形状对测量值的影响，做了如下试验：

将具有磁性的岩粉和石膏粉搅拌均匀，加入适当的水，做成各种几何形状体：如立方体，圆柱体，球体，三角形，薄板状体，奇形等等如表所示。我们认为上述各种几何形体的磁化率是均匀的，那么对各种形状标本所测之值，彼此间的差异，就是标本形状的影响。如图6所测结果，仅54×14×28毫米和54×54×12毫米板状体影响较大，其它均不显著。

由此可以得出结论，只要标本体积不大于3×3×3厘米的任意形状的标本，对测值与应有值的相对误差不大于10%。

(四) 关于测量剩余磁性问题

剩余磁性测量应在磁化率测量前进行，免受人工磁场磁化而产生偏差。剩余磁性仅测标本固有磁性，所以仪器的测量灵敏度较低，最低可测500·10⁻⁶ CGSM。

剩余磁性测量对标本形状要求较严格，为的是能准确的旋转180°和沿三个轴向进行测量。

标本形状 单位：毫米

代号	形状	规格	代号	形状	规格
0	立方体	28×28×28	10		28×29×14
1		30×30×29	11	板状体	27×27×13
2		30×29×28	12	三角形	1/2(26×30×30)
3		28×27×26	13	"	1/2(30×30×26)
4		24×21×20	14	球形	D=32
5		20×19×18	15		D=28
6		19×19×19	16		D=32
*7	板状体	54×14×28	17	圆柱体	φ21×29
*8	板状体	54×54×12	18	"	φ19×27
9		30×30×12	19	奇形	

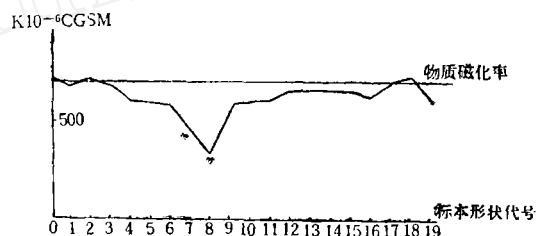


图 6

四、操作方法

(一) 接通电路，首先检查按键开关是否弹出，弹出后接上电源。电池选用22.5伏特（可用45伏特乙电池改制），为了保持工作电源稳定，将四组电池并联。然后接通测量电路。

(二) 缓慢按下按键开关。根据按键的结构先接通磁化电路，后接通测量电路，以保护检流计不致受强大的感应电流而损坏。所以按键开关按下后，必须经过几秒钟再测量。调节电流须在接通磁化电路的一瞬间进行。

(三) 将待测的标本放入冲击口中央，再迅速取出标本，读光点检流计的最大偏转。每块标本可取三次或六次读数。

如果标本需测剩余磁性，应在磁化率测量前进行，以免标本受人工磁场磁化造成误差。

(四) 做剩余磁性测量时不接电源。每块标本做六次观测。准确旋转180°。对测量剩余磁性标本形状严格要求为3×3×3厘米的立方体。

(五) 求标本体积。若用量杯来求体积，必须先将被测标本用水浸泡一小时。量杯中放适量的墨水染色，便于读数。准确到0.2厘米³。

(六) 按下列公式进行计算：

$$\kappa = K_1 \frac{n}{V} \quad n = 1/3 (n_1 + n_2 + n_3)$$

$$J_{rx} = K_2 \frac{n_x}{V} \quad n_x = 1/2(n_2 - n_1)$$

$$J_r = \sqrt{J_{rx}^2 + J_{ry}^2 + J_{rz}^2}$$

(七) 注意事项:

1. 工作間隙时间应及时拔出按键开关, 断开电路, 节省电源。
2. 仪器对外界磁场反映不灵敏, 只要求在仪器的临近(半米的周围)无铁磁物质或无变化磁场。
3. 光点检流计是阻尼锁止, 在搬运过程中避免强烈振动。

结 语

感应式磁参数仪经过了半年多的野外生产试验, 实践证明, 此种磁参数测定仪是比较好的, 与其它测量仪器比较起来有如下优缺点:

优点:

1. 仪器的测量灵敏度较高。最低可测磁化率值约为 $5-10 \cdot 10^{-6}$ CGSM。这样, 比磁称法高 15—20 倍, 比多尔吉诺夫无定向磁力仪稍高一些。
2. 仪器的测量精度较高。对于具有 $30 \cdot 10^{-6}$

CGSM 的磁化率的标本, 精度可达 10% 以上, 而磁称法一般为 30%, 无定向法为 10%。

3. 仪器可以采用块状标本, 也可用粉末状标本, 由于采用的标本较小, 大大减轻标本采集和搬运的劳动力。仪器对标本形状要求不太严格。

4. 操作简便, 使用方便, 计算容易, 大大优越于磁称法和无定向法。

5. 仪器制做简单, 成本低。

缺点:

1. 目前仪器分为电磁感应器、光点检流计和电池三部份, 携带有些不便。

2. 测量时标本需要运动, 读数较困难, 降低了读数精度。

3. 剩余磁性测量灵敏度较低, 最低可测值约 $500 \cdot 10^{-6}$ CGSM, 低于磁称法。

克服上述缺点, 正是仪器今后改进方向。剩余磁性测量灵敏度低的问题, 根据初步摸索如果在测量电路中增设一个电子放大器, 在现有的基础上灵敏度将提高十倍左右, 能可靠地测出 50×10^{-6} CGSM 的剩余磁性来, 将满足磁法勘探工作的需要。应该说, 这样的改进并不是很困难的事。

东北有色局地质勘探公司 杨大洲

(上接 14 页)

生量样品中锌的测定, 扩大了化探指示元素。

在以“高质量、快速度”为内容的化验技术革新和技术革命活动中, 我们集中了群众的智慧, 人人出主意, 想办法, 人人动手试验, 大家反复研究, 制定方案, 画图纸, 做模型, 在修配车间的大力协助下, 制成了‘电动摇管机’。过去一个人一次只能摇 6 支比色管, 消耗体力很大, 有了摇管机, 一次可以摇 50 支, 两三分钟就萃取完全了。提高了工作效率, 减轻了体力劳动, 大家都说: 这回咱们搞化探分析的“解放了”!

与此同时, 群众性的“四小”(指小发明、小创造、小改革、小建议)活动也较普遍地开展起来, 化探分析改进了加入试剂的方法, 效率有所提高, 极谱分析改进了电解池, 方便了操作。在增产节约运动中, 化探分析同志, 本着节约“一厘钱”精神, 自己动手用六分钱买一支的普通试管划上刻度, 代替价值一元五角多一支的溶解管。每年以六百支计算, 可给国家节约八百多元的财富。

有为找矿勘探服务的思想, 敢闯敢创的革命精

神, 地质化验工作就会在技术革新和技术革命中出成果, 山沟里的化验室一样能够闹革命。

我们在为找矿勘探工作服务方面, 虽然作了一点工作, 但这仅仅是开始, 离党的要求相差很远, 与先进单位比较, 还有很大差距。我们的工作还有很多缺点, 还没有做到完全彻底为地质找矿勘探服务, 比如野外化验点的摊子还比较大, 有些普查组找矿地区分散, 还得往化验点送样品。我们还缺乏自力更生, 敢想敢干的革命精神, 对一些元素, 还没有适合野外条件的快速分析方法。这都说明我们在“用”字上下苦功夫还很不够。

我们深深体会到, 化验工作同样存在着两条道路, 两种思想的斗争。因此, 必须突出政治, 坚持用毛泽东思想统帅化验工作。我们决心高举毛泽东思想伟大红旗, 以政治统帅业务, 把毛主席的书当做化验工作的最高指示, 活学活用毛主席著作, 切实在“用”字上下功夫, 促进思想革命化。学习兄弟单位的先进经验, 用一分为二的观点, 不断总结工作经验, 以便更好地为地质找矿评价和勘探工作服务。