

静磁实验室磁模拟系统

静磁实验室磁模拟系统,主要是为研究地质体磁性,设计新的测磁方法,研究新的推断解释方法和扩大磁法勘探应用范围而建立的一种实验装置。其主要功能是在 $6 \times 6 \times 6$ 立方米的空间中,用6米线圈组产生一任意方向的磁化场,以模拟我国任一地区的地球磁场来磁化模型体,并测量该模型体在全空间所产生的磁异常的三个分量。此磁化场可变范围为 $-65000 \sim +135000 \gamma$ 。相对线圈组中心点的磁场强度而言,磁场强度均匀变化 1% 的范围须有 $4 \times 4 \times 4$ 立方米。正常场测量精度均方误差 $< \pm 5 \gamma$,异常场相对百分误差小于 2% 。可用于航空、地面和井中的磁模拟实验。另外,还安装了互相正交的三个赫姆霍兹线圈,在中心可产生一任意方向的、强度为 $0 \sim 0.7$ 奥斯的磁化场使标本磁化,然后用测量仪器测量人控磁场磁化条件下的标本磁性,也可以提供一个无磁性的空间,供测量标本的剩余磁化强度及古地磁测量使用。

磁模拟的基本原理

1. 地球磁化场及磁性地质体磁化强度矢量的可模拟性 地磁场可以分为稳定的和变化的两种性质不同的部分,它们都可以磁化磁性地质体而引起异常。前者引起的异常称为磁异常,后者引起的异常称为磁变异常。在磁法勘探中,研究地磁场的稳定磁场和变化磁场,都具有重要意义。

地磁要素 X, Y, Z, H, T, D, I 七个量之间存在如下的关系(图1):

$$X = H \cos D, Y = H \sin D, Z = H \tan I, H = T \cos I, Z = T \sin I,$$

$$T^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 = H^2 + Z^2, \tan I = Z / H, \tan D = Y / X$$

式中: T —总磁场强度; X, Y, Z — T 在直角坐标轴 x, y, z 三个方向的分量; H — T 的水平分量; D —磁偏角; I —磁倾角。只要知道七个量中的任意三个,即可计算出其他诸量。所以只要用人控方法模拟出地磁场的 X, Y, Z 三个分量,就可以实现模拟地磁场 T 及其他地磁要素。

磁性地质体的磁性特征一般是以磁化率 κ 感应磁化强度 J_i ,剩余磁化强度 J_r ,总磁化强度 J 来表示,它们之间的关系为:

$$J = J_i + J_r$$

其中 $J_i = \kappa T$ 。磁化强度不仅有大小,还有方向。当 $J_r > 0$ 时,如不考虑消磁作用,地质体磁化强度的方向由当地地磁场的方向决定,其大小与 κ 和 T 值有关。当 T 确定以后,要模拟 J_i ,即可通过改变模型体的 κ 值来实现。

当 $J_r \neq 0$ 时,这时 J_r 的方向可能与 J_i 的方向相同,也可能不同,甚至相反, J_r 的大小也可以有不同的情况。

当考虑消磁作用后,地质体的有效磁化强度还可能随地质体的几何形态而变化。

对于具有各向异性、非均匀磁化的磁性地质体,其有效磁化强度还与矿体的结构构造有关。

因此,磁性地质体的磁性主要是指 J 的大小、方向及磁荷分布的均匀性。当地质体的 κ, J_r 及其形状、产状、结构构造和空间位置确定后,其有效磁化强度也就相应地被确定了。这样,我们可用实

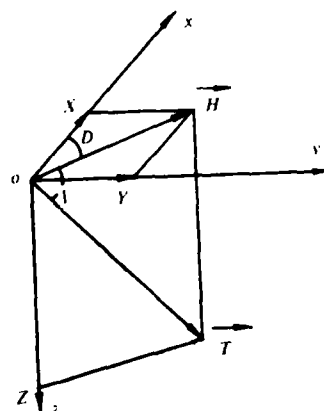


图1 地磁要素图

验方法,通过模拟磁性体的几何形态、产状、结构构造、磁化率及改变磁场的强度和方向,来达到模拟磁性地质体有效磁化强度的目的。

2. 磁化场模拟原理 磁化场模拟的物理基础是用载流导线产生磁场。在磁模拟系统中,我们采用方形和圆形两种线圈组来产生所需要的各个磁场分量。

(1) 六米三分量方形线圈组: 设正方形线圈的边长为 $2a$, 所载电流强度为 I , 坐标原点设在正方形线圈 $ABCD$ 的中心, 线圈平面在 xoy 平面内, z 轴垂直于线圈平面 (图 2), 根据毕奥—萨伐尔定律, 可以导出方形载流线圈在空间的磁场分量计算式。我们不准备作详细推导, 只写出最后结果。对于方形线圈的一边 AB 载流线段, 圈外一点 $P(x, y, z)$ 所产生的磁场 H 为:

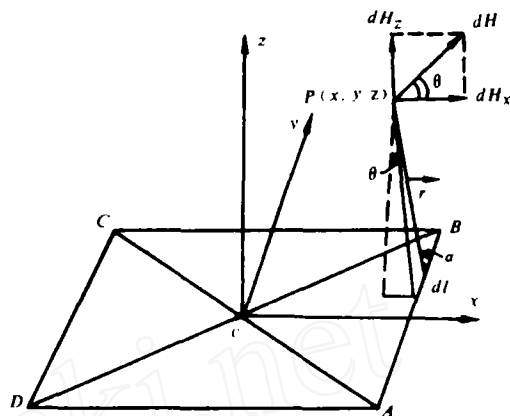


图 2 载流线圈的磁场分量

$$H_z = \frac{KI(a-z)}{(a-x)^2+z^2} \left[\frac{a-y}{\sqrt{(a-x)^2+(a-y)^2+z^2}} + \frac{a+y}{\sqrt{(a-x)^2+(a+y)^2+z^2}} \right]$$

$$H_y = 0$$

$$H_x = H_z / \tan \theta = \frac{z}{a-z} \cdot H_z$$

式中 K 为比例系数。

应用同样的方法, 可以求得正方形载流线圈的其他三边 BC , CD , DA 在 $P(x, y, z)$ 点产生的磁场强度的各个分量 (这里不一一写出)。

最后, 利用叠加原理, 将 AB , BC , CD , DA 的磁场相加, 即可得出边长为 $2a$ 的正方形载流线圈 (如果线圈有 n 匝, 则公式前还须乘上 n) 在 P 点产生的磁场的各个分量的数学表达式:

$$\begin{aligned} H_x &= \frac{KIz}{(a-x)^2+z^2} \left[\frac{a-y}{\sqrt{(a-x)^2+(a-y)^2+z^2}} + \frac{a+y}{\sqrt{(a-x)^2+(a+y)^2+z^2}} \right] \\ &\quad - \frac{KIz}{(a+x)^2+z^2} \left[\frac{a-y}{\sqrt{(a+x)^2+(a-y)^2+z^2}} + \frac{a+y}{\sqrt{(a+x)^2+(a+y)^2+z^2}} \right] \\ H_y &= \frac{KIz}{(a-y)^2+z^2} \left[\frac{a-x}{\sqrt{(a-x)^2+(a-y)^2+z^2}} + \frac{a+x}{\sqrt{(a+x)^2+(a-y)^2+z^2}} \right] \\ &\quad - \frac{KIz}{(a+y)^2+z^2} \left[\frac{a-x}{\sqrt{(a-x)^2+(a+y)^2+z^2}} + \frac{a+x}{\sqrt{(a+x)^2+(a+y)^2+z^2}} \right] \\ H_z &= \frac{KI(a-x)}{(a-x)^2+z^2} \left[\frac{a-y}{\sqrt{(a-x)^2+(a-y)^2+z^2}} - \frac{a+y}{\sqrt{(a-x)^2+(a+y)^2+z^2}} \right] \\ &\quad + \frac{KI(a-y)}{(a-y)^2+z^2} \left[-\frac{a-x}{\sqrt{(a-x)^2+(a-y)^2+z^2}} + \frac{a+x}{\sqrt{(a+x)^2+(a-y)^2+z^2}} \right] \\ &\quad + \frac{KI(a+x)}{(a+x)^2+z^2} \left[\frac{a+y}{\sqrt{(a+x)^2+(a+y)^2+z^2}} - \frac{a-y}{\sqrt{(a+x)^2+(a-y)^2+z^2}} \right] \\ &\quad + \frac{KI(a+y)}{(a+y)^2+z^2} \left[-\frac{a-x}{\sqrt{(a-x)^2+(a+y)^2+z^2}} + \frac{a+x}{\sqrt{(a+x)^2+(a+y)^2+z^2}} \right] \end{aligned}$$

对于 z 轴上测点 $P(0, 0, z)$ 的磁场强度, 其计算式可由上式加以简化得出, 即:

$$H_z = 8 a^2 K I / (a^2 + z^2) \sqrt{2 a^2 + z^2}$$

$$H_x = H_y = 0$$

在磁模拟系统中, 我们实际采用三组非均匀分布的线圈, 分别绕于三个互相垂直、六米见方的正方形框架上 (图 3)。

鉴于线圈组的对称性分布, 在计算磁场空间分布时, 仅对其中一组 (四个线圈) 进行。坐标原点设在正立方体中心, x 轴指向北, y 轴指向东, 它们分别垂直于正立方体的一个面, z 轴向下且垂直于正立方体的上、下顶面。此时三组线圈平面分别垂直于 x, y, z 三个轴, 每组的四个线圈互相平行, 不等距地放置 (两个外层线圈间的距离等于线圈的边长; 内层线圈的距离等于线圈边长的四分之一)。内外层线圈的安匝比为 3:7。对本系统六米三分量线圈组的每一组线圈应产生的磁场分量, 曾用中南冶金地质勘探公司 DJS-6 机作过计算。将所得结果绘成线圈组中心水平面、离该平面 1 米和 2 米水平面上的 H_z/H_{z_0} 理论值平面等值线图, 以及中心垂直轴上的 H_z/H_{z_0} 变化理论曲线 (限于篇幅, 文中未附)。若以正方体中心的磁场为准, 变化 1%, 即认为均匀, 从图可看出, 系统的均匀磁场空间范围达 $4 \times 4 \times 4$ 立方米, 为线圈几何尺寸的三分之二。线框绕就后, 实测结果与理论计算结果完全一致, 而且与电流大小无关。

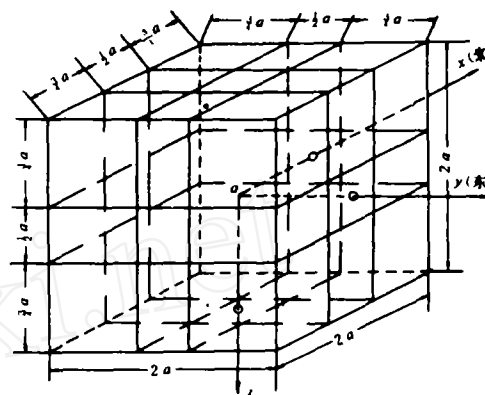


图 3 六米线圈组结构示意图

当三组线圈同时工作时, 在空间任意一点 P 所产生的总磁场强度 H 的某一分量 $H_j (j = x, y, z)$, 应是三组线圈各自所产生的磁场强度在这个方向上的分量的代数和。

我国境内 Z 最大变化值在 0.6 奥斯特以上 ($-9000 \sim 56000 \gamma$), H 最大变化值在 0.13 奥斯特以上, I 角最大变化值在 80° 以上 ($-13 \sim 70^\circ$)。为了模拟我国任一地区的地磁场, 并考虑到某些特殊需要, 必须使每组线圈系统在正立方体中心所产生的磁场分量为 1 奥斯特。实际工作中, 为了产生 1 奥斯特磁场, 每组四个线圈均采用 7:3:3:7 的比例, 使匝数扩大 5 倍, 安匝比变为 35:15:15:35。因此, 可使最大电流减到 9 安, 实际上所研制的电源的最大输出电流为 10 安。

(2) 直径二米三分量赫氏线圈组: 这是为了模拟高稳定度的无磁空间, 用来测量岩矿石的剩余磁化强度和为了产生一个高稳定度、强度从 0 变化至 0.7 奥斯特、任意方向的磁化场来磁化岩矿石标本, 以便研究标本在各种磁化场中的特征。

对于 N 匝载电圆环中心轴上 P 点的磁场 H 计算公式, 也不作详细推导, 直接写出它的表达式如下:

$$H = \frac{2 \pi N I R^2}{(R^2 + z^2)^{3/2}} \times 10^{-3} \text{ 奥斯特}$$

式中, N 为圆环匝数, R 为其半径, z 为中心轴上 P 点至环心的距离, I 为电流强度。

若令

$$F = \frac{(R^2 + z^2)^{3/2}}{2 \pi R^2} \times 10^{-3}$$

则

$$I \cdot N = H \cdot F$$

即当线圈组的几何尺寸固定时, 磁化场的强度与电流 I 和线圈匝数 N 的乘积成正比。

所采用的是三组互成正交的标准赫氏线圈组。图 4 a 为单组标准赫氏线圈, 图 4 b 为三组标准赫

氏线圈组的仰视示意图。鉴于三组线圈的计算原理相同,只要计算一组的磁场分布特征,就可很容易知道其他二组的特征。

单组赫氏线圈由两个圆环形线圈串联而成。根据上述计算公式可知,如果每个线圈的匝数为 N ,所通过的电流强度为 I ,则在两线圈中心轴向中心点 O 产生的磁场是单个圆环形线圈在该点产生的磁场叠加的和,两个圆环形线圈在中心点 O 处产生的磁场大小相等、方向相同,因此,其磁场表达式为:

$$H_z = \frac{2 N I R^2}{2 \left[R^2 + \left(\frac{R}{2} \right)^2 \right]^{3/2}} \text{ 安培米}$$

$$= \frac{N I R^2}{\left[R^2 + \left(\frac{R}{2} \right)^2 \right]^{3/2}} \times 4 \pi \times 10^{-3} \text{ 奥斯特}$$

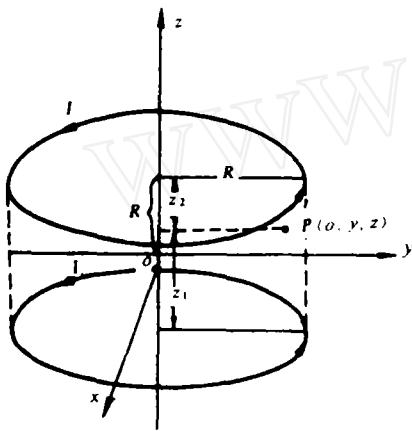


图 4 a 单组赫氏线圈图

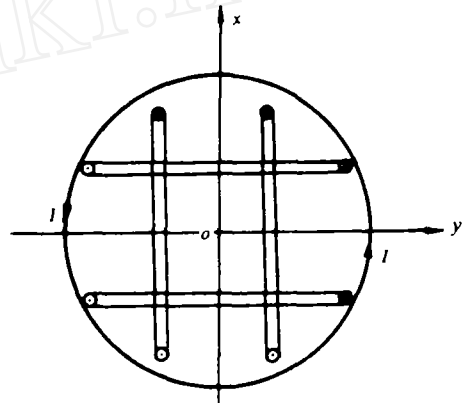


图 4 b 三组赫氏线圈仰视图

赫氏线圈 z 轴上的磁场强度计算公式为 (设坐标原点在线圈的圆心处):

$$H_z = \left[\frac{R^2 N}{2} \left(\frac{1}{\left[R^2 + \left(\frac{R}{2} + z \right)^2 \right]^{3/2}} + \frac{1}{\left[R^2 + \left(\frac{R}{2} - z \right)^2 \right]^{3/2}} \right) \right] \times 4 \pi I \times 10^{-3} \text{ 奥斯特。}$$

赫氏线圈中心平面 y 轴上任一点的磁场强度计算公式为 (不作推导):

$$H_y = 0$$

$$H_z = \frac{4 I N}{\left[\left(R + y \right)^2 + \left(\frac{R}{2} \right)^2 \right]^{1/2}} \left[K + \frac{R^2 - y^2 - \left(\frac{R}{2} \right)^2}{\left(R - y \right)^2 + \left(\frac{R}{2} \right)^2} E \right] \times 10^{-3} \text{ 奥斯特。式中,}$$

$$K = \frac{\pi}{2} \left[1 + \left(\frac{1}{2} \right)^2 k^2 + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right)^2 k^4 + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} \right)^2 k^6 + \dots \right]$$

$$E = \frac{\pi}{2} \left[1 - \left(\frac{1}{2} \right)^2 k^2 - \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} \right)^2 \frac{k^4}{3} - \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} \right)^2 \frac{k^6}{5} - \dots \right]$$

$$k^2 = \frac{16 R y}{5 R^2 + 8 R y + 4 y^2}$$

根据上面的 H_z 公式便可计算出赫氏线圈中心点 y 轴上磁化场 H_z 分量的分布特征。计算结果表

明, Y 轴上垂直分量变化1%的均匀磁场区可达线圈直径的四分之一。

当三组线圈同时工作时, 本线圈组在空间任一点 P 所产生的总磁场强度 H 的某一垂直或水平分量, 应是三组线圈各自产生的磁场强度在这个方向上的垂直和水平分量的叠加。

静磁实验室磁模拟系统的主要设备及技术指标

静磁实验室磁模拟系统主要由磁化场模拟装置 (六米三分量方形线圈组及直径为二米的三分量赫氏线圈组)、磁化磁场稳定装置——稳流电源 (包括二米赫氏线圈组稳流源)、模型移动装置、探头移动装置、磁测仪器 (CCH—1型磁强计)、三笔函数记录仪、模型移动 (或探头移动) 和磁测记录仪器的同步自动控制装置、调节标本与探头相对位置的三坐标调节器、模型室、静磁实验室结构及建筑等部分组成。图5为该系统的总框图。下面分别简述各主要设备的功能及技术指标。

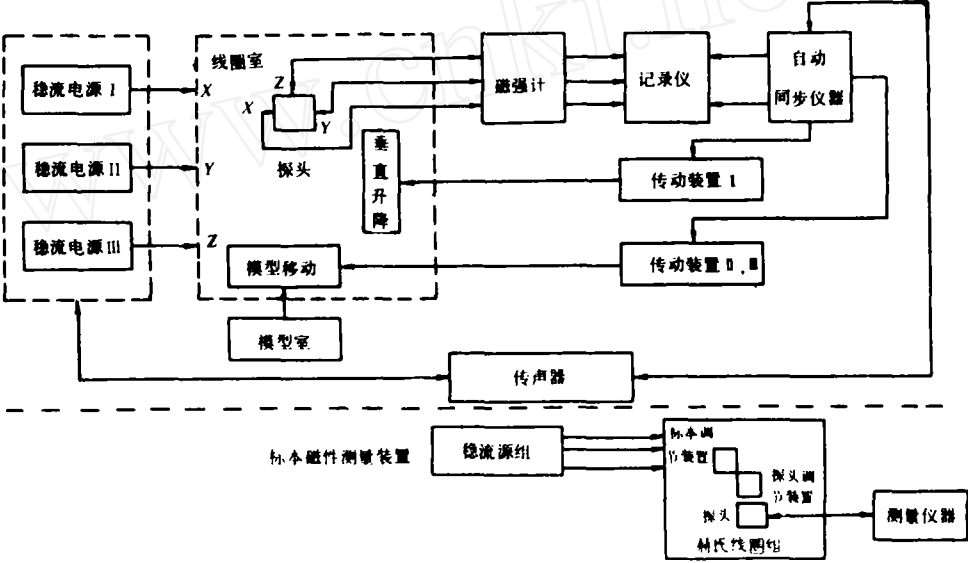


图5 静磁实验室磁模拟系统总框图

六米方形线圈组和二米赫氏线圈组的功能前面已讲过, 现将它们的技术参数分别介绍如下。

(1) 六米方形线圈: 东西、南北和垂直方向的三个线圈组的线圈常数分别为10646, 10676和10692 $\gamma/\text{安}$ 。理论计算值为10631 $\gamma/\text{安}$ 。图6是线圈常数的测定结果, 电流 I 与磁场 H 有很好的线性关系。线圈导线间耐压 500 伏, 分布电容为 6.8×0.01 微法, 直流电阻8欧姆, 电感量2.8毫亨。

(2) 赫氏线圈组: 框架材料为硬质聚氯乙烯塑料, 实测参数见表1。

表1

线圈参数	垂直分量线圈	南北分量线圈	东西分量线圈
线圈常数 ($\gamma/\text{毫安}$)	127.98	135.3	145.9
耐压 (伏)	500	500	500
分布电容 (微法)	0.035	0.03	0.03
直流电阻 (欧姆)	24	22	21
电感量 (毫亨)	18	14	11
半径 (米)	0.9875	0.885	0.7825
匝数 (匝)	270	260	250

(3) 稳流电源：六米方形线圈组需要有三组电源装置（包括 3 千伏安电子交流稳压器和 1.5 千伏安的稳流电源），稳流电源的功率容量是根据所需要的最大磁化电流所设计的磁场发生器的直流电阻大小来确定的。

据计算稳流源的最大输出功率需为 1200 瓦，输出电流 0 ~ 10 安培连续可调，最大电流输出时的输出电压为 100 伏，电流的稳定度为 10^{-4} 。

稳流电源包括：标准取样电阻，标准电源（参考电压），误差放大器，调整电路，辅助电源及主电源的整流滤波电路（图 7）。

输出电流如有变化，从取样电阻采得的变化电压，与标准电源的电压进行比较，其误差讯号经误差放大器加以放大，放大后的电压用来控制调整电路，改变负载两端的电压，以保证输出电流的稳定。

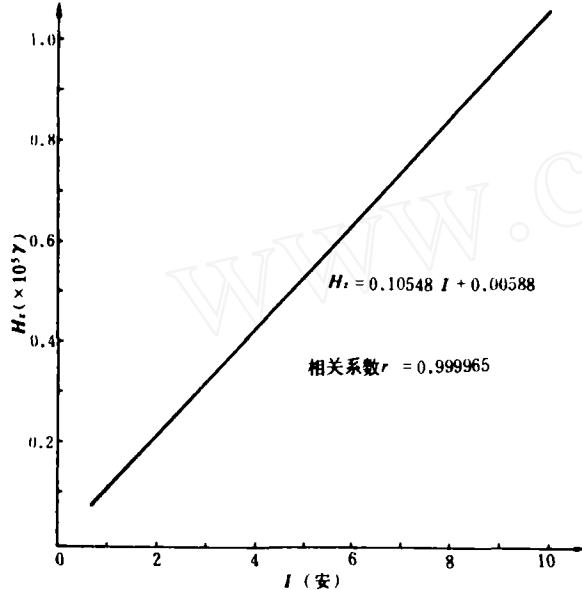


图 6 线圈电流与磁场相关曲线

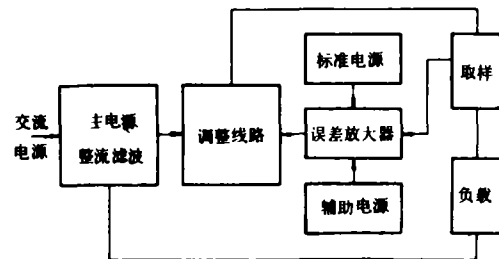


图 7 磁化电流稳定器方框图

(电子线路在此不作介绍)。上述稳定电流经过测试已达到预期指标（表 2）。

表 2

输出电流（安）	取样电阻两端电压（伏）		$\Delta I / I$
	1 小时 前	1 小时 后	
3	1.1290	1.1291	$< 10^{-4}$
4	1.4650	1.4651	$< 10^{-4}$
5	1.8388	1.8390	$< 10^{-4}$

为获得更加稳定的磁场，赫氏线圈组配备更高稳定度的稳流电流。其电流稳定度设计为 $\Delta I / I = 10^{-5}$ 。

工作原理及稳流过程和方形线圈的稳流电源基本相同。

环境温度的变化也将造成磁场的波动，所以实验室需配备空调设备。

(3) 模型移动装置：采用机械行车的形式，用一个卷扬机来牵引行车，使其在基准水平面的两个相互垂直的方向上移动，达到沿不同测线观测磁场的目的。改变探头相对模型体的高度，可以研究相当于不同埋深情况下场的分布特征。通过变速箱改变卷扬机的转速来改变行车的速度，从而改变模型移动速度。技术指标如下：

- ① 载重量（模型体）为500 kg时大梁弯曲度小于5 mm；
- ② 运行过程中方位误差小于1°；
- ③ 水平方向移动时高差小于5 mm；
- ④ 停车后移动的冲程小于3 mm；
- ⑤ 不同移动速度时（3米/分、2米/分）行程误差不大。

（4）探头移动装置：为了研究地质体空间磁场的垂向变化（类似于磁测井），采用移动探头、固定模型的办法。探头移动装置由滑动杆、标尺、升降平台和卷扬机组成。卷扬机使升降台沿滑动杆平稳地升降。探头固定在升降台上，模型置于距“井口”的不同位置即可达到上述研究目的。探头移动装置满足以下技术要求：

- 1 升降滑动平稳，固定探头的升降台在升降过程中无跳动；
- 2 升降过程中速度均匀，升降速度为3米/分、2米/分，其速度误差小于3毫米/分；
- 3 升降过程中产生的方位误差小于1°。

（5）磁测仪器（CCH—1型磁强计）：该仪器实质上是一个磁通门磁力仪（又称磁饱和磁力仪），其技术指标如下：

- 1 灵敏度（分辨率）2 γ ；
- 2 测量范围0 ~ $\pm 100000 \gamma$ ，分为以下几个测程： $\pm 100 \gamma$ ； $\pm 250 \gamma$ ； $\pm 500 \gamma$ ； $\pm 1000 \gamma$ ； $\pm 2500 \gamma$ ； $\pm 5000 \gamma$ ； $\pm 10000 \gamma$ ； $\pm 25000 \gamma$ ； $\pm 50000 \gamma$ ； $\pm 100000 \gamma$ 。
- 3 精度满量为 $\pm 2 \mu$ ；
- 4 开机15分钟后零点漂移小于5 γ /小时；
- 5 地磁场补偿范围0 ~ $\pm 130000 \gamma$ ；
- 6 仪器探头经人工磁场磁化后，其剩磁小于2 γ ；
- 7 配用记录仪满量程为 $\pm 5 \text{ mV}$ ，其过渡过程小于0.2秒。

为了能同时观测磁场的各分量，仪器配备有六个探头，经检验，一致性较好，各个灵敏元件间的误差小于10 γ 。

（6）记录仪器：为了连续测定，采用LZ3型函数记录仪，自动描绘两个电量的函数关系，配上CCH—1型磁强计直接记录磁场沿剖面方向的变化。LZ3型函数记录仪的工作原理及性能可参见仪器说明书。

（7）自动同步装置：用来保证在磁模拟测量过程中模型移动装置（或探头的移动装置）行程一致和函数记录笔的起始点一致，便于不同剖面间磁测资料的对比，并检验重复观测的误差。

（8）静磁实验室的结构及建筑：在设计时作了精心的研究。地址选在远离磁干扰源、地磁场的地方。建筑所用的材料都是无磁性或弱磁性的（如铜、铅、无磁钢、石灰岩、白水泥、黄沙等）。对线圈的布置、防震、隔热均作了专门考虑。实验室建成后，在六米线圈中心水平面的磁场垂直分量测量结果表明，任意两点的绝对误差均小于25 γ ，相邻两点磁场的变化小于5 γ 米。

磁模拟实验方法与技术

1. 磁性材料的选择 制作模型体可选用规则形状的块状铁磁性材料（如磁铁、硅钢片等）和天然磁铁矿粉、还原铁粉等铁氧磁性材料。

选用粉状磁性材料时，可将这些材料充填于一定形状的无磁性容器中，作成所需的模型体，也可将强磁性的铁矿粉与塑性橡皮泥调和来制作。由于磁性橡皮泥具有可塑性，易于塑造成任意形状的模型体，所以它是模型体的主要磁性材料。

磁性橡皮泥由磁性铁矿粉、胶结物、充填物调制而成，橡皮泥原料配方如表3所示。先按重量百分比把胶结物放入容器中加热熔化后，再按体积百分比加入充填物，搅拌成均匀浆糊状，最后加入磁性物质。为防止磁性颗粒在外磁场作用下沉淀时产生取向外磁场的磁化强度，需不断搅拌到橡皮泥冷却。务必放在无磁空间内冷却，否则模型体将带有强大的次生余磁。根据所设计的模型体的磁化率强弱，需加入相应体积百分含量的磁铁粉，以达到模拟物体的磁化率。目前能够模拟的磁化率范围为0.06~0.17 CGSM 之间。

表 3

原 料	磁性物质	胶 结 物 质				充 填 物 质		
	磁铁矿粉或 还原铁粉	凡士林	白石腊	地 腊	松 香	碳 酸 钙 粉	碳 酸 镁 粉	滑石粉
重量百分比		59.32	16.95	16.95	6.78			
体积百分比	1			1			0.5	

2. 剩余磁化强度的模拟 鉴于目前还没有比较合适的、制作具有剩磁的模型体的方法，用以模拟磁性地质体的剩余磁化强度，因此，采用了模拟磁性地质体的有效磁化强度 J_e 的方法。

3. 磁化率各向异性系数的模拟 为了模拟具各向异性磁化率的磁性地质体，采用磁性橡皮泥作为磁性层，硬纸板作为非磁性层，彼此相间排列。根据实际需要组合成相应的模型体，也可采用硅钢片代替磁性层来模拟磁各向异性。目前可模拟的各向异性系数范围为0~15。

4. 模型体几何形态的模拟 一般采用下面两种方式：

一是模仿式，先作出磁性地质体的木模，然后用石膏粉作出相应形态的模坯，最后用磁性橡皮泥充填模坯即得所需的磁性模型体。

二是积木式，对于复杂形态、磁性不均匀的地质体，一般可以分成若干个近似于形状规则、磁性均匀的形体。这样，根据场的叠加原理，就可以用若干个规则形状、磁性均匀的磁性体，按积木的方式，堆叠成所需的模型体。

几种几何形态模型体的磁模拟实验结果

为了检验本系统的模拟效果，曾对几种几何形状简单的模型体进行了模拟，实测结果与理论计算结果非常吻合。

对于均匀磁化的球体（直径16.3cm，真磁化率为0.09578 CGSM，埋深26cm，磁化场 T 0.5奥斯特， $I = 90^\circ$ ），测量的均方误差 $\approx \pm 10 \gamma$ 。

对于一倾斜六面棱柱体（视厚度：延深：走向长 10:30:40cm，倾角 60° ，顶底面水平， χ' 0.1468 CGSM），其真磁化率是将作模型所用的材料搓成小球后实测出来的。模型各主要轴向的视磁化率是用同样介质，装入比模型实际体积小5倍的有机玻璃盒内沿各轴向测得的，所得数据见图8。

将棱柱体放在强度为0.5奥斯特、倾角 60° （顺层磁化）、方位角为 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ$ 的五种磁化场中进行测量。

为了获得倾斜六面棱柱体全空间磁场特征，在不同的空间位置测量了192个孔（测线），对每个孔（测线）均在五种磁化场磁化条件下测量模型体的磁异常的三个磁场分量。每个孔都进行了探头上、下降两条完整曲线的测量。重复观测结果，正常场的均方误差均小于 $\pm 5 \gamma$ ；

异常场的平均相对百分误差为0.7%。与理论计算结果对比，均方误差都小于10%。限于篇幅，文中

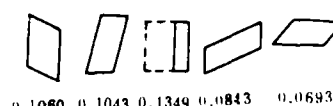


图 8 模型侧面形态及其垂向轴的磁化率值（单位 CGSM）

未附入实测曲线。还做了一些比较复杂的模拟实验和磁各向异性方面的研究,另外还解决了某些矿山生产中的找矿勘探问题,当另外撰文介绍。

总之,磁模拟系统的建成,对研究复杂形态非均匀磁化磁性地质体(包括三度体、磁各向异性体)的异常解释,和航空、地面、井中磁测的正反演,研究磁变法勘探以及研究岩石磁参数都是有用的,最近组织各有关方面鉴定,得到通过已正式启用。

电测深曲线数字解释人机对话程序

河北省地矿局物探队 王树青

日本夏普PC-1500袖珍计算器,除配有8K存储块、录音机和扩充的BASIC语言编译系统外,还配有打印机,可用四种颜色、九种大小不同的字体书写数字和符号,还可准确地绘出精美的曲线。从某种意义上讲,完全可替代荧光屏终端显示及其拷贝的功能。该机体积小,重量轻,便于携带。本文给出了野外就地进行“终端显示”测深曲线,并作数字解释的人机对话程序。所需要的只是稍加消差圆滑的原始观测数据,不需繁琐的对量板、外延、内插加密取样工作,避免了人为因素对原始信息的干扰。所拟合的是整条曲线,因而充分地利用了包含在测深曲线中的有关地下电性层的信息。本程序除给出各测点上拟合的相对百分误差外,还给出“终端显示”结果,绘出相互拟合的实测和理论 ρ_a 曲线(分别用实线和虚线表示)。图象清晰、直观,便于修改参数重新计算,直到满足给定精度为止。野外解释人员根据经验,可以给出比较准确的参数,并能对解释结果进行约束。这对克服位场解

释及中间层效应的多解性,是十分有利的。测深反演自动解释的成败,关键在于所给的初始值。本文介绍的这种正演选择法,为解决这一关键问题提供了一条可靠的途径。使用本程序完成一次正演选择法计算仅需十多分钟。

符号和公式

M 为观测点数;

$r_k, \rho_a(k)_x, \rho_a(k)_y$ 分别为各测点相应的 $AB/2$ 米距离,实测和理论 ρ_a 值, ($k=1, 2, \dots, M$);

N 为电性层的层数;

h_j 为各电性层的厚度 ($j=1, 2, \dots, N-1$)

ρ_j 为各电性层的电阻率 ($j=1, 2, \dots, N$);

Δ 为取样间隔, $\Delta=0.1 \text{ LN}10$;

S 为取样点位移, $S=1.7239458$

递推公式如下:

$$T_N(i\Delta + S) = \rho_N$$

$$E = \exp(-2h_j \exp(-i\Delta - S))$$

$$T_j(i\Delta + S) = \rho_j \frac{\rho_j(1-E) + T_{j-1}(i\Delta + S)(1+E)}{\rho_j(1+E) + T_{j-1}(i\Delta + S)(1-E)} \quad (1)$$

$$(i = -49, \dots, 149), (j = N-1, \dots, 1)$$

褶积公式:可由公式(1)最后推出地表核函数 $T_1(i\Delta + S)$,再用 $T_1(i\Delta + S)$ 与滤波系数 $b(j\Delta - S)$ 褶积(正演滤波系数见文献[1]59页表1),其公式为:

$$\rho_a(i\Delta) = \rho_N b(-100) + \sum_{j=1}^{N-1} T_1[(i-j)\Delta + S] b(j\Delta - S) + \rho_1 b(40)$$

$$i = -10, \dots, 50$$