

古埃磁天平

古埃(Gouy)磁天平的特点是结构简单,灵敏度高。用古埃磁天平法测量物质的磁化率进而求得永久磁矩和未成对电子数,这对研究物质结构具有重要意义。这里以 FD-FM-A 型古埃磁天平为例来说明其结构原理及使用方法。

I、工作原理

古埃磁天平的工作原理如下图所示。

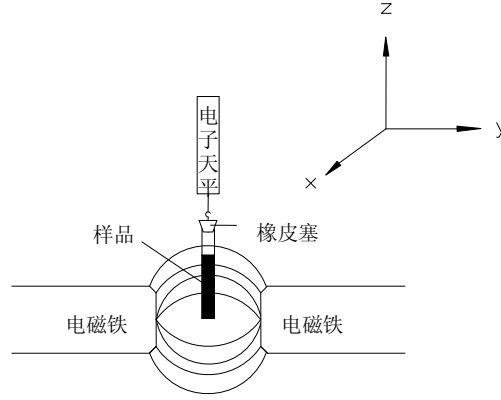


图 古埃磁天平工作原理示意图

将圆柱形玻璃样品管(内装粉末状或液体样品)悬挂在分析天平的一个臂上,使样品管底部处于电磁铁两极的中心(即处于均匀磁场区域),此处的磁场强度最大。样品管的顶端离磁场中心较远,磁场强度很弱,而整个样品处于一个非均匀的磁场中。但由于沿样品轴心方向,即图示 z 方向,存在一磁场强度梯度 $\partial H / \partial z$,故样品沿 z 方向受到磁力的作用,它的大小为:

$$f_z = \int_{H_0}^H (\chi - \chi_{\text{空}}) \mu_0 S H \frac{\partial H}{\partial z} dz \quad (1)$$

式中 H 为磁场中心磁场强度, H_0 为样品顶端处的磁场强度, χ 为样品的体积磁化率, $\chi_{\text{空}}$ 为空气的体积磁化率, S 为样品的截面积(位于 x 、 y 平面), μ_0 为真空磁导率。

通常 H_0 即为当地的地磁场强度,约为 $40\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$,一般可略去不计,则作用于样品的力为:

$$f_z = \frac{1}{2} (\chi - \chi_{\text{空}}) \mu_0 H^2 S \quad (2)$$

由天平分别称得装有被测样品的样品管和不装样品的空样品管在有外加磁场和无外加磁场时的质量变化,则有:

$$\Delta m = m_{\text{磁场}} - m_{\text{无磁场}} \quad (3)$$

显然,某一不均匀磁场作用于样品的力可由下式计算:

$$f_z = (\Delta m_{\text{样品+空管}} - \Delta m_{\text{空管}}) g \quad (4)$$

于是有

$$\frac{1}{2} (\chi - \chi_{\text{空}}) \mu_0 H^2 S = (\Delta m_{\text{样品+空管}} - \Delta m_{\text{空管}}) g \quad (5)$$

整理后得

$$\chi = \frac{2(\Delta m_{\text{样品+空管}} - \Delta m_{\text{空管}}) g}{\mu_0 H^2 S} + \chi_{\text{空}} \quad (6)$$

物质的摩尔磁化率 $\chi_M = \frac{M\chi}{\rho}$, 而 $\rho = \frac{m}{hS}$

故

$$\chi_M = \frac{M}{\rho} \chi = \frac{2(\Delta m_{\text{样品+空管}} - \Delta m_{\text{空管}})ghM}{\mu_0 m H^2} + \frac{M}{\rho} \chi_{\text{空}} \quad (7)$$

式中 h 为样品的实际高度, m 为无外加磁场时样品的质量, M 为样品的摩尔质量, ρ 为样品的密度(固体样品则指装填密度)。

(7)式中真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{N} \cdot \text{A}^{-2}$, 空气的体积磁化率 $\chi_{\text{空}} = 3.64 \times 10^{-7} \text{m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1}$, 但因样品管体积很小, 故常予以忽略。该式右边的其他各项都可通过实验测得, 因此样品的摩尔磁化率可由(7)式算得。

(7)式中磁场两极中心处的磁场强度 H , 可用特斯拉计(原称高斯计)测量, 或用已知磁化率的标准物质进行间接测量。常用的标准物质有纯水、 NiCl_2 水溶液、莫尔氏盐 $[(\text{NH}_4)\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 、 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{Hg}[\text{Co}(\text{NCS})_4]$ 等。例如莫尔氏盐的 χ_m 与热力学温度 T 的关系式为:

$$\chi_m = \frac{9500}{T+1} \times 4\pi \times 10^{-9} \text{m}^3 \cdot \text{Kg}^{-1} \quad (8)$$

II、仪器的结构及使用

一、FD-FM-A 型古埃磁天平的整机结构如下图所示(图未画)。它是由电磁铁、稳流电源、分析天平、数字式毫特斯拉计、数字式电流表和照明等部件构成的。该仪器的主要技术参数如下:(仪器变时须改)

磁极直径: 40 mm

气隙宽度: 6~40 mm

磁场强度: 0~0.85 T, 连续可调

磁场稳定性: 优于 0.1h^{-1}

励磁电流工作范围: 0~10 A

励磁电流工作温度: $< 60^\circ\text{C}$

功率总消耗: 约 300 W

二、磁场

仪器的磁场由电磁铁构成, 磁极材料用软铁, 使励磁线圈中无电流时, 剩磁为最小(数字显示 0.00 ± 0.0001)。磁极端为双截锥的圆锥体, 极的端面须平滑均匀, 使磁极中心磁场强度尽可能相同。磁极间的距离连续可调, 便于实验操作。

三、稳流电源

励磁线圈中的励磁电流由稳流电源供给。电源线路设计时, 采用了电子反馈技术, 可获得很高的稳定性, 并能在较大的幅度范围内任意调节其电流强度。

四、分析天平

FD-FM-A 型古埃磁天平需与分析天平配套使用。在作磁化率测量中, 常配以半自动电光天平。在安装时需作些改装, 将天平左边盘底托盘拆除, 改装一根细铁丝。在铁丝中点系一根细的尼龙线, 线从天平左边盘处孔口穿出, 线下端连接一只和样品管口径相同的橡皮塞, 以便连接样品管用。

五、样品管

样品管由硬质玻璃制成, 直径 0.6—1.2 cm, 长度大于 16 cm, 一般样品管露在磁场外的

长度应为磁极间隙的 10 倍或更大；样品管底部用喷灯封成平底，要求样品管圆而均匀。测量时，将上述橡皮塞紧紧塞入样品管口，样品管则悬挂于天平盘下。注意样品管底部应处于磁场中部。

样品管为逆磁性，可按式(4)予以校正，并注意受力方向。

六、样品

金属或合金物质可做成圆柱体直接挂在磁天平上测量；液体样品则装入样品管测量；固体粉末状物质要研磨后再均匀紧密地装入样品管测量。古埃磁天平不能测量气体样品。

微量的铁磁性杂质对测量结果影响很大，故制备和处理样品时要特别注意防止杂质的沾污。

七、MT-A 型毫特斯拉计使用说明

MT-A 型毫特斯拉计及电流显示均为数字式，同装在一块面板上，面板结构如下图所示。

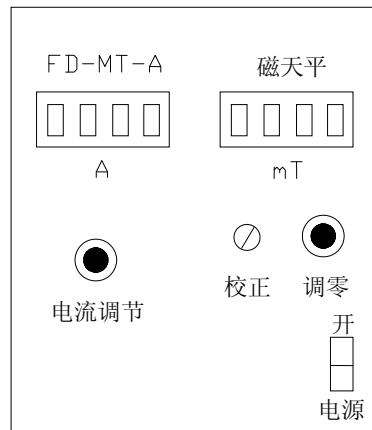


图 毫特斯拉计面板示意图

其操作步骤说明如下：

1. 检查两磁头间的距离，应在 20 mm 左右，试管尽可能在两磁头间的正中。
2. 将电流调节器(多圈电位器)左旋至最小，即接通电源时电流为零。
3. 接通电源，此时 A 表应显示 0000，mT 表显示值不一定是全零，仪器预热 5 min 后，通过调节调零电位器使 mT 表显示正或负的全零值。
4. 校正 mT 表：调节电流电位器使 A 表显示 10.00(10A)，此时 mT 表显示值应在 900 ± 30 个字。偏差较大时可检查磁头间距，如果磁头间距确在 20mm 处，可检查探头是否处于磁场最强处，如果上述两项结果均正常则可用小螺丝刀旋转校正电位器使数值达到要求。然后复位到全零或再作一次电源与毫特斯拉计的对应操作。

八、注意事项

1. 磁天平的总机架必须水平放置，分析天平应作水平调整。
2. 吊绳和样品管必须与其他物品至少相距 3mm 以上。
3. 励磁电流的升降应平稳、缓慢。
4. 测试样品时，应关闭仪器的玻璃门，避免环境对整机的振动。
5. 霍尔探头两边的有机玻璃螺丝可使其调节至最佳位置。在某一励磁电流下，打开毫特斯拉计，然后稍微转动探头使特斯拉计读数在最大值，此即为最佳位置。将有机玻璃螺丝拧紧。如发现毫特斯拉计读数为负值，只需将探头转动 180° 即可。