

中华人民共和国

国家计量检定规程

永磁材料标准样品磁特性

JJG 352—84

(试行)

国家计量局

北京

目 录

一、技术要求.....	(1)
二、检定装置.....	(2)
三、检定方法.....	(3)
四、检定结果的处理.....	(9)
附录 1 辅助磁性测量.....	(10)
附录 2 术语定义.....	(11)
附录 3 单位换算表.....	(12)
附录 4 检定证书格式.....	(13)

永磁材料标准样品磁性 试行检定规程

Verification Regulation of Standard
Sample for The Magnetic Properties
of Permanent Magnet Materials



本检定规程经国家计量局于1984年6月8日批准，并自1985年5月1日起施行。

归口单位：中国计量科学研究院

起草单位：中国计量科学研究院

本规程技术条文由起草单位负责解释。

永磁材料标准样品磁特性试行检定规程

本规程主要起草人：

郭 兰 (中国计量科学研究院)

本规程适用于永磁材料标准样品主要磁特性的检定。

本规程适用的永磁材料包括：铝镍钴永磁材料和铁氧体永磁材料。

本规程所述的检定方法，是在闭合磁路中测量永磁材料磁特性的冲击感应法。

一、技术要求

1 标准样品使用范围

永磁材料的标准样品是用来考查测量永磁材料磁特性的同类仪器的测量误差。它不作为材料性能鉴定的样品。

2 样品的要求

2.1 样品选取矩形或圆形截面的柱体，其截面在长度方向上偏差
不超过1%。

2.2 样品内部和外部不应有砂眼、缺口、裂纹或其它缺陷。

2.3 样品端面应互相平行，并垂直于轴线，其平行度和垂直度超
过0.1:100，光洁度不低于▽6。

2.4 样品尺寸的测量误差不得超过0.2%。

3 样品制作

标准样品选取不同牌号的永磁材料，按第2条的要求制备，然后
进行人工老化处理。

4 样品种类

标准样品按磁性能分类共选八块，其中铝镍钴永磁四块：

LN 10 30×10×10 mm

LN 34 50×10×10 mm

LN 32 40×10×10 mm

LN 60 40×10×10 mm

铁氧体永磁四块：

- Y 17 D 25 mm h 14 mm
- Y 20 D 27 mm h 15 mm
- Y 20 H D 26 mm h 14 mm
- Y 30 20 × 20 × 17 mm

二、检定装置

永磁材料标准样品检定装置主要包括：强磁场磁导计、直流电源、冲击电流计、标准互感、电流表等。

5.1 磁导计应具有使样品饱和磁化的能力，并能和样品构成闭合磁路。

5.2 磁导计由磁轭、磁极、磁化绕组三部分组成。磁极在水平方向上可以移动，以保证和样品紧密接触（见图1）。

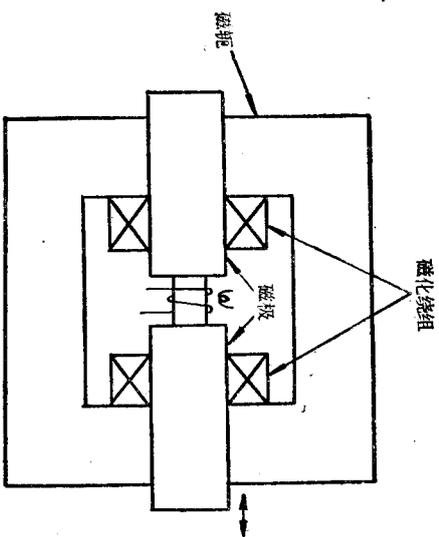


图1 磁导计

5.3 磁轭和极头由矫顽力小于100 A/m的软磁材料制成。极间距连续可调，两极面平行且与磁场方向垂直，极面光洁度不低于▽6。

5.4 磁化绕组的位置应尽量靠近试样，并相互对称，其轴线与磁

极轴线一致。

6 直流电源

电源功率必须满足磁化场的要求，测量时磁化电流的变化每分钟不超过0.01%，磁化电流连续可调，并能经受大电流反向冲击。

7 冲击电流计

冲击电流计是用来测量短脉冲电流所迁移的电量，这里用来测量与此有关的磁通量。

7.1 冲击电流计的自由振动周期不小于18s，冲击常数不大于 10^{-6} Wb/mm。

7.2 冲击电流计应安装在远离电磁场干扰的地方，也不应受任何机械作用力的影响。

7.3 冲击电流计的放置必须调节到严格水平，其镜面应与读数标尺平面保持平行。

7.4 冲击电流计读数标尺是直线型时，给出的读数应加以修正：

$$\alpha' = \alpha - \Delta\alpha \quad (1)$$

其修正量按下式计算：

$$\Delta\alpha = \frac{1}{3} \frac{\alpha^3}{d^2} \quad (2)$$

式中： α ——标尺偏转数；

d ——电流计镜面到标尺的垂直距离。

8 标准互感

标准互感是传递磁通量单位值的工作量具，必须定期检定，其准确度不小于0.2%，名义值为0.01H或0.001H。

9 电流表

电流表用来读取校准冲击常数时的电流值，同时用来监测磁场的稳定性，选用0.2级多量程直流安培表。

三、检定方法

10 检定永磁材料磁特性标准样品的方法是冲击感应法，其测量线路原理如图2所示。图中W为磁导计的磁化绕组，通过换向开关

K_1 ，安培计 A_1 可变电阻 R_1 与交流电源 E 相连接；磁场强度测量线圈 N_m 和磁感应测量线圈 N_s 通过转换开关 K_2 与冲击电流计 G 相接；标准互感 M 的次级与 N_s （或 N_m ）和电流计 G 相串联；转换开关 K_3 使电源接入互感的初级绕组或磁化绕组 W ；开关 K_1 与 K_2 同步，与安培表 A_2 电阻 R_2 连接用来测量退磁曲线。

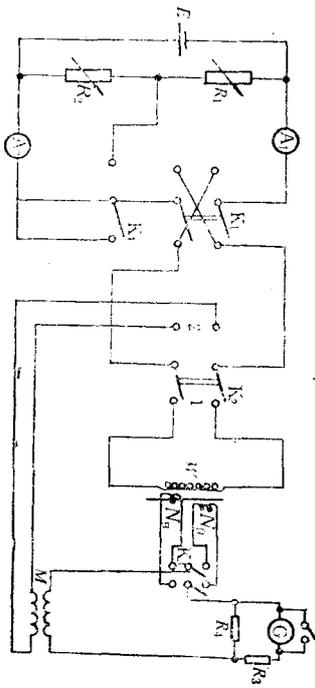


图2 线路原理图

11 环境条件

检定金属永磁材料，一般室温条件都可以，检定铁氧体永磁材料，室温不得超过 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ ，相对湿度不应超过 70%。

12 磁性检定时，磁极中的磁通密度值应保持比其他和磁通密度值低得多，以使极面尽可能接近磁等位面，纯铁极头其磁通密度应小于 1 特斯拉，铁钴合金极头磁通密度应小于 1.2 特斯拉。

13 磁化场均匀度应保持 1% 以内，为此，磁极尺寸和试样长度应满足下述条件：

$$D \geq d + 1.2L \quad (3)$$

$$D \geq 2.0L \quad (4)$$

式中：D——极面最短边长；

d——垂直于磁场方向的磁场均匀区的最大尺寸；

L——极间距离（即样品长度）。

14 样品检定时，各类材料所需最低饱和磁化场列于下表：

材料牌号	最低饱和磁化场 $H_{m,s}$, kA/m
LN8	240
LN10	200
LN13	240
LN20	240
LN32	240
LN40	240
LN52	240
LN132	400
LN160	400
LN172	400
铁氧体	800

15 磁场强度测量

15.1 平面测量线圈

15.1.1 测量线圈的常数（面积与匝数之乘积）由线路灵敏度而定，一般大于 100 cm^2 ，其测量准确度不低于 0.2%。

15.1.2 线圈的尺寸沿磁场方向不超过样品长度的 50%，在垂直磁场的方向，线圈尺寸不超过样品宽度的 70%。

15.1.3 测量线圈置于样品表面中间位置处，并对称于磁极极面，其轴向与磁场方向一致，线圈引线应绞合。

15.1.4 用地移法测量磁化场时，磁场值由下式计算：

$$H = \frac{C_H a}{(NA) \mu H_0} \quad \text{kA/m} \quad (5)$$

式中： C_H ——冲击常数；

a ——电流计偏转；

$(NA) \mu$ ——测量线圈常数；

H_0 ——磁常数，其值为 $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ 。

15.2 应用霍尔探头测量时，探头必须置于样品表面中间位置并与极面对称，其平面与磁场方向垂直，测量磁场的误差不得低于 1%。

16 磁通密度测量

磁通密度测量线圈紧绕于样品中部并与样品很好绝缘。测量线圈的线径不大于 0.1 mm，线圈引线应绞合，线圈匝数根据冲击线路的灵敏度而定。

16.1 磁通密度的变化量由下式计算:

$$\Delta B = \frac{C_B \alpha}{N_B A_0} \quad (6)$$

式中: C_B ——冲量常数;

α ——电流计偏转;

N_B ——测量线圈的匝数;

A_0 ——样品截面积。

16.2 考虑到测量线圈中包括空气磁通, 对这部分磁通密度变化量应进行修正, 修正后的磁通密度变化量由下式计算:

$$\Delta B = \frac{C_B \alpha}{N_B A_0} - \mu_0 \Delta H \frac{A - A_0}{A_0} \quad (7)$$

式中: ΔH ——引起磁通密度变化的磁场强度变化;

A ——测量线圈的有效横截面积。

17 退磁曲线测量

17.1 为了测量退磁曲线必须先测量最大磁通密度 B_m , 测量原理如图3所示, 增加电流直到磁场为 H_m 为止, 在此电流下换向不少于五

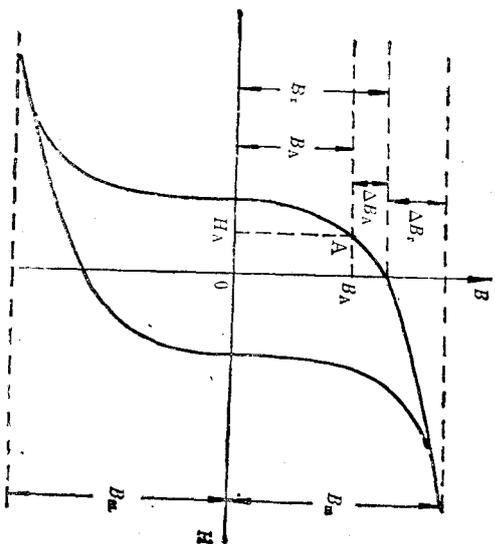


图3 退磁曲线测量原理

次, 对样品进行磁锻炼, 在改变电流的方向而不改变其大小时, 磁通密度根据接入测量线圈 N_B 后的电流计偏转来确定, 最大磁通密度按下式计算:

$$B_m = \frac{C_B \alpha_m}{2 N_B A_0} \quad (8)$$

17.2 剩磁测量

测定剩磁 B_r 时, 电流从最大跃变到零, 此时对应磁通密度变化量 ΔB_r 根据电流计偏转 α_r 进行计算:

$$\Delta B_r = \frac{C_B \alpha_r}{N_B A_0} \quad (9)$$

而剩磁 B_r 按下式进行计算:

$$B_r = B_m - \Delta B_r = \frac{C_B}{N_B A_0} \left(\frac{\alpha_m}{2} - \alpha_r \right) \quad (10)$$

17.3 测量剩磁时, 电流为零时的磁场值不应超过 0.2 kA/m , 若剩磁场太大, 电流调到一个负值使磁场不超过 0.2 kA/m , 同时允许用极限磁滞回线上两点的线性内插确定剩磁。

17.4 退磁曲线上任一点 A 对应的磁通密度 B_A 的测量。

试样在 H_m 下进行磁锻炼, 并切断磁化电流, 使磁通密度回到 B_r 点, 然后施加一反向磁化电流, 使磁场为 H_A , 测量所对应的磁通密度变化量 ΔB_A , 按下式计算 ΔB_A 值:

$$\Delta B_A = \frac{C_B \alpha_A}{N_B A_0} \quad (11)$$

此时 A 点所对应的磁通密度值 B_A 由下式计算:

$$B_A = B_r - \Delta B_A = \frac{C_B}{N_B A_0} \left(\frac{\alpha_m}{2} - \alpha_r - \alpha_A \right) \quad (12)$$

同理依次可以测量退磁曲线上任一点的磁通密度值。

17.5 退磁曲线上任一点的磁场强度按第15条进行测量, 其数值根据接入磁场测量线圈的电流计偏转而定, 计算公式如下:

$$H = \frac{C_H \alpha_H}{(NA) \mu \mu_0} \quad (13)$$

17.6.1 调节电流使对应磁通密度的电流计偏转 $\alpha_B = \alpha_m/2$, 此时所测的磁场值即为矫顽力 H_c 。

17.6.2 一般磁性材料的退磁曲线在 H_c 附近很陡, 要找到 $\alpha_m/2$ 偏转比较困难, 为此矫顽力的确定可以根据退磁曲线与 H 轴的内插决定, 测量时选取两点, 使对应磁通密度的偏转 $\alpha_1 < \alpha_m/2$, $\alpha_2 > \alpha_m/2$, 并且 α_1 与 α_2 的值越接近 $\alpha_m/2$ 越好。然后按 (12) 和 (13) 式求出 B_1 、 B_2 以及 H_1 、 H_2 之值, 代入下式可求出 H_c 值:

$$H_c = H_1 + \frac{B_1}{B_1 + B_2} (H_2 - H_1) \\ = \frac{C_H}{(NA) \mu} \left[\alpha_H + \frac{1}{2} \frac{\alpha_m - \alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_2 - \alpha_1} (\alpha_H'' - \alpha_H') \right] \quad (14)$$

式中: α_H' 和 α_H'' ——分别为第一点和第二点对应磁场的电流计偏转;
 α_1 和 α_2 ——分别为第一点和第二点对应磁通密度的电流计偏转。

17.7 冲击常数校准

公式中相应的 C_H 和 C_B 分别为测量磁场和测量磁通密度时的电流计常数, 亦即冲击常数。冲击常数校准以标准互感作为磁通量具对电流计进行分度。

校准时开关 K_2 置于位置 2, K_3 置于 3 或 4 位, 互感线圈一次绕组中至少通入三个不同的电流, 使电流计的偏转为标尺一半长度的五分之一、二、五分之三、五分之四的长度, 此时电流计的偏转应于测量时的偏转同向, 在每一个电流下电流计的偏转不少于三次, 然后取其算术平均值, 按下式求得冲击常数:

$$C = \frac{MI}{\alpha} \quad \text{Wb/mm} \quad (15)$$

式中: M ——标准互感值;

I ——通过互感初级的电流;

α ——电流计偏转。

18 最大磁能积测定

最大磁能积 (BH)_m 是退磁曲线上任一点点的磁通密度与磁场强度乘积的最大值。按第17条测出退磁曲线后即可求出 $(BH)_m$ 之值。

四、检定结果的处理

19 这里所指的误差实际是不确定度, 在对各项不确定度进行合成时, 考虑到局部不确定度只是大致的界限, 至于实际的大小和符号是不清楚的, 非与各项之间互不关联。根据误差理论, 在估计总的合成不确定度时按方和根法合成。由于各类材料磁性特性有很大的差异, 各项误差的分配也不相同, 因此按材料分类给出各个参数的误差。下面应引相对误差的概念给出标准样品各特征参数的误差:

制造永磁: 剩磁 B_r 的测量误差为 $\pm 1\%$

矫顽力 H_c 的测量误差为 $\pm 1.5\%$

最大磁能积 $(BH)_m$ 的测量误差为 $\pm 2\%$

铁液体永磁:

剩磁 B_r 的测量误差为 $\pm 1\%$

矫顽力 H_c 的测量误差为 $\pm 1.5\%$

最大磁能积 $(BH)_m$ 的测量误差为 $\pm 2.5\%$

20 经检定合格的永磁材料标准样品发给检定证书。检定不合格的永磁材料标准样品, 发给检定结果通知书, 不得作为标准样品使用。

21 标准样品的检定周期为一年。

附录

附录 1

辅助磁特性测量

- 1 在实际工作中，如果需要内禀特性曲线即 $J(H)$ 曲线，可以根据关系式 $J = B - \mu_0 H$ ，由 $B(H)$ 曲线换算得出 $J(H)$ 曲线，也可以用 J 测量线圈直接测量 $J(H)$ 曲线。
- 2 内禀矫顽力 H_{cJ} ，退磁曲线与 $B = \mu_0 H$ 的直线的交点所对应的磁场强度值为 H_{cJ} (如下图所示)。

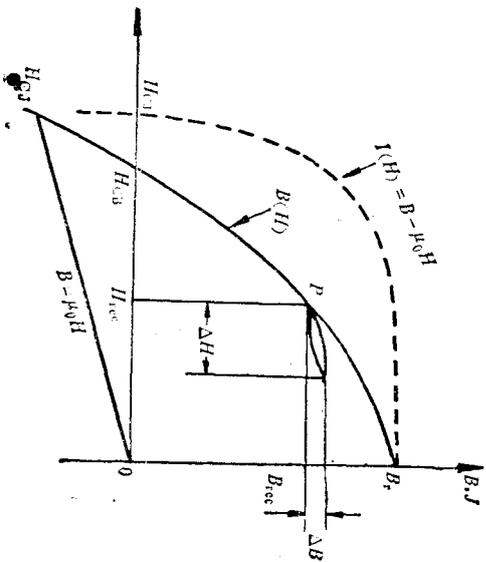


图 1-1 退磁曲线

3 回复磁导率 μ_{rec} 是指回复线的斜率。根据需要选取退磁曲线上的某点 P 作为回复线的基点 (见图 1-1)，然后选定 ΔH 值反复变化以使磁状态稳定，分别测出 ΔB 和 ΔH 值，按下式求得回复磁导率 μ_{rec} 值：

$$\mu_{rec} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta B}{\Delta H}$$

一般回复磁导率沿退磁曲线不是常数，因此应标明 μ_{rec} 和 B_{rec} 的值。

附录 2 术语定义

- 1 永磁材料标准样品 永磁材料标准样品是指经国家计量局批准、由计量部门制备并给定磁特性参量值的永磁材料试样。
- 2 退磁曲线 永磁材料的退磁曲线定义为饱和磁滞回线的第二、四象限部分 (如图 2-1 所示)。

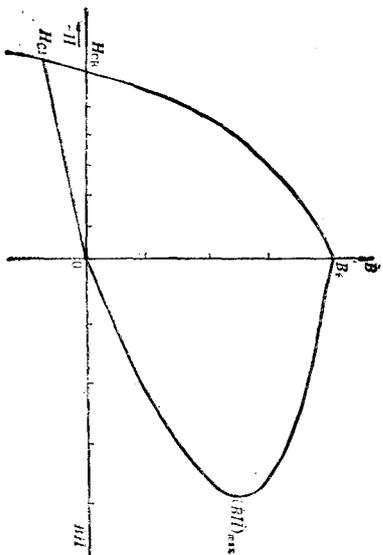


图 2-1 退磁曲线

- 3 剩磁 剩磁是指退磁曲线上磁场为零时的磁通密度值，符号记作 B_r 。
- 4 矫顽力 矫顽力是指退磁曲线上磁通密度为零时的磁场强度值，符号记作 H_c ，若为了和内禀矫顽力 H_{cJ} 区别也可记作 H_{cB} 。内禀矫顽力是

检定证书格式 (第二页)

检定结果

退磁曲线

(曲线绘在坐标纸上附在此处)

下次送检时必须带此证书