

中 华 人 民 共 和 国

国家计量检定规程

# 软磁材料音频磁特性标准样品

(交流磁化曲线及幅值磁导率)

JJG 493—87

---

**软磁材料音频磁特性标准样品**

**检定规程**(交流磁化曲线及幅值磁导率)

Verification Regulation for Audio Magnetic  
Properties of Standard Specimen  
of Soft Magnetic Materials.  
(A-C Magnetization Curve and  
Amplitude Permeability)



JJG 493—87

---

本检定规程经国家计量局 1987 年 3 月 9 日批准，并自 1988 年  
1 月 9 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。

**本规程主要起草人：**

刘淑敏（中国计量科学研究院）

# 目 录

|                             |       |
|-----------------------------|-------|
| 一 概述.....                   | ( 1 ) |
| 二 技术要求.....                 | ( 2 ) |
| 三 检定条件.....                 | ( 3 ) |
| (一) 检定用设备 .....             | ( 3 ) |
| (二) 检定环境条件 .....            | ( 4 ) |
| 四 检定项目.....                 | ( 5 ) |
| 五 检定方法.....                 | ( 5 ) |
| 六 检定结果处理和检定周期.....          | ( 9 ) |
| 附录 1 名词、术语及其定义 .....        | (10)  |
| 附录 2 伏-安法测量原理线路 .....       | (11)  |
| 附录 3 检定证书和检定结果通知书背面格式 ..... | (14)  |
| 附录 4 检定原始记录格式 .....         | (15)  |

# 软磁材料音频磁特性标准样品检定规程

(交流磁化曲线及幅值磁导率)

本规程适用于金属软磁合金带材或板材制成的环形标准样品，在45 Hz~20 kHz 频率范围内的交流磁化曲线及幅值磁导率曲线的检定。

检定方法为伏-安法。

## 一 概 述

软磁材料音频磁特性标准样品是指由计量部门按规定的技术条件制作，给出音频磁特性参数值，经一定时间考核，性能稳定再经国家计量局批准的软磁材料环形样品。

软磁材料音频磁特性标准样品是用来校准或评定测量软磁材料音频磁特性的仪器或装置的误差。

标准样品性能的高低，不作为判别该样品材料性能优劣的依据。

本规程采用的检定方法是建立在电磁感应定律基础之上的伏-安法。直接测量的磁参数是磁场强度峰值 $\hat{H}$ 和磁感应强度峰值 $\hat{B}$ ，导出幅值磁导率 $\mu_a$ ， $\mu_a$ 即为 $\hat{B}$ 对 $\hat{H}$ 之比值。

测量 $\hat{H}$ 的方法规定用两种：

方法A——峰值压降法。用峰值电压表测量串联在样品初级回路中的交流电阻 $R_s$ 两端的峰值电压 $\hat{U}$ ，再按给定公式计算出 $\hat{H}$ ；

方法B——互感法。将交流互感线圈的初级绕组串联在样品的初级回路中，用平均值电压表测量交流互感线圈次级绕组两端的感应电压平均值 $U$ ，然后按给定公式计算出 $\hat{H}$ 。

测量 $\hat{B}$ 的方法是用平均值电压表测量样品次级绕组上感应电压平均值 $U_2$ ，再按给定公式计算出 $\hat{B}$ 。

由低而高测量同一样品很多组 $\hat{H}$ 值及对应的 $\hat{B}$ 值，即可得到该样品在某频率下 $B-\hat{H}$ 曲线及 $\mu_a-\hat{H}$ 曲线。

## 二 技术要求

### 1 标准样品的制作与要求

1.1 制作标准样品用带材或板材，表面应平整、光洁、无缺陷，剪切后边缘应无毛刺。

1.2 材料厚度小于0.15 mm的带材，经涂绝缘层后，沿轧制方向卷绕成具有均匀横截面和宽度的环形铁芯。大于或等于0.15 mm厚的带材或板材，制成叠片环形铁芯。叠片间要有良好的绝缘。

1.3 标准样品应按各牌号常规热处理工艺进行高温退火处理，处理后不应有明显的塔形和椭圆形的变形。

1.4 用感量为1 mg的天平称量样品的质量，用千分尺测量其尺寸，测量次数应不少于4次。

1.5 样品再经时效老化处理和稳定性处理，然后将样品装入保护盒中，并加以绝缘性能良好的填塞物，使样品不受应力，不受振动。

1.6 保护盒应由非磁性绝缘材料如硬质塑料等制成。盒的横截面积应不大于样品横截面积的2倍。

### 2 标准样品尺寸

2.1 为减小磁化场沿样品径向分布的不均匀性，原则上按下列关系式选择标准样品尺寸，即

$$\frac{D}{d} \leq 1.3 \quad (1)$$

式中：D——样品的外径；

d——样品的内径。

标准样品的形状见图1(附录2)。

2.2 标准样品尺寸应符合表1规定。

2.3 标准样品的横截面积，可根据材料密度、样品质量、内外径等按下式计算：

$$A_s = \frac{2m}{\pi\rho_m(D+d)} \quad (2)$$

式中：A<sub>s</sub>——样品的横截面积 (m<sup>2</sup>)，

$m$ ——样品的质量 (kg) (应不少于 0.02 kg);  
 $\rho_m$ ——样品材料的密度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

表 1 标准样品尺寸要求 (mm)

| $D$ | 允许偏差      | $d$ | 允许偏差      | $h^*$ | 允许偏差      | $\frac{D}{d}$ |
|-----|-----------|-----|-----------|-------|-----------|---------------|
| 40  | $\pm 0.2$ | 32  | $\pm 0.2$ | 10    | $\pm 0.3$ | $< 1.3$       |
| 32  |           | 25  |           | 10    |           |               |

\* 样品高度

2.4 标准样品的平均磁路长度按下式计算

$$l = \pi \frac{D-d}{\ln \frac{D}{d}} \quad (3)$$

式中:  $l$ ——样品的平均磁路长度 (m).

对于外径与内径之比符合  $\frac{D}{d} \leq 1.1$  的样品, 平均磁路长度也可按下式计算:

$$l = \pi \frac{D+d}{2} \quad (4)$$

3 磁感应强度波形失真度, 在激磁频率高于或等于 400 Hz 时, 对于硅钢片样品应不大于 1%, 对于坡莫合金样品应不大于 3%, 在激磁频率低于 400 Hz 时, 其波形失真度可分别扩大到 5% 及 10%.

4 标准样品磁滞回线的矩形比应较低, 使样品的磁化电流在正、负峰值之间作单调变化.

5 适用磁场强度范围: 0.08~1600 A/m.

### 三 检定条件

#### (一) 检定用设备

由音频稳压电源, 交流电阻, 交流互感线圈, 平均值电压表, 峰值电压表, 频率计, 失真度测量仪等设备组成检定装置 (装置原理线

路见附录2中图2。

#### 6 音频稳压电源

频率范围: 40 Hz~20 kHz;

频率稳定性: 优于 $\pm 0.1\%/20\text{ min}$ ;

输出电压稳定性: 优于 $\pm 0.1\%/min$ ;

输出电压: 0~50 V (分档, 连续可调);

输出功率: 不低于40 W。

#### 7 峰值电压表

频率范围: 40 Hz~20 kHz;

测量范围: 25 mV~50 V (满量程);

输入阻抗: 不低于1 M $\Omega$ ;

准确度: 优于 $\pm 1\%$ 。

#### 8 平均值电压表

频率范围: 40 Hz~20 kHz;

测量范围: 10 mV~100 V;

输入阻抗: 不低于1 M $\Omega$ ;

准确度: 优于 $\pm 0.2\%$ 。

#### 9 频率计

准确度: 优于 $\pm 0.05\%$ 。

#### 10 交流电阻

阻值0.1  $\Omega$ , 1  $\Omega$ , 10  $\Omega$ 。在测量的频率及磁场强度范围内, 其准确度优于 $\pm 0.2\%$ , 时间常数不大于 $5 \times 10^{-3}$  s。

#### 11 交流互感线圈

采用环形空芯互感线圈。互感值为0.1 mH, 1 mH。在测量频率及磁场强度范围内, 准确度优于 $\pm 0.2\%$ 。

#### 12 失真度测量仪

频率范围: 40 Hz~20 kHz;

准确度: 优于 $\pm 10\%$ (满量程) $\pm 0.01\%$ 。

#### (二) 检定环境条件

13 在样品周围(20×20×20)cm<sup>3</sup>空间范围内, 应避免电磁干

扰，必要时应将样品放入电磁屏蔽盒中。

14 检定应在室温  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ；相对湿度不大于 70% 条件下进行。

#### 四 检定项目

15 标准样品应检定下列参数：

交流磁化曲线。

幅值磁导率曲线，包括起始幅值磁导率和最大幅值磁导率。

#### 五 检定方法

16 检定前的准备

16.1  $N_1$ 、 $N_2$  绕组

16.1.1 标准样品的次级绕组  $N_2$ ，宜用线径为 0.1~0.3 mm 的高强度漆包线，紧贴样品保护盒外，沿周长均匀绕制，引出线应绞合， $N_2$  匝数按下式估算：

$$N_2 \geq \frac{\bar{U}_{2\min}}{4 f A_s \hat{B}_{\min}} \quad (5)$$

式中： $\bar{U}_{2\min}$ ——为保证测量准确度平均值电压表所需要的最小输入电压值 (V)；

$\hat{B}_{\min}$ ——给定测量的磁感应强度峰值的最小值 (T)；

$f$ ——给定的测量频率 (Hz)。

16.1.2 标准样品的初级绕组  $N_1$ ，宜用线径为 0.6 mm 的高强度漆包线，紧贴样品次级绕组  $N_2$  的外面，沿周长均匀绕制，引出线应绞合。

满足下列要求，即能在给定的最大磁场强度峰值下对样品激磁，能在给定的测量范围内，保证磁感应强度波形失真度符合第 3 条规定，并保证磁场强度峰值的测量有一定的准确度情况下，用下式估算  $N_1$  的匝数：

方法 A——峰值压降法

$$N_1 \geq \frac{I R_n}{\hat{O}} \hat{H}_{\max} \quad (6)$$

式中:  $R_n$ ——串联在样品初级回路中的交流电阻 ( $\Omega$ );

$\hat{H}_{m,x}$ ——给定的最大磁场强度峰值 (A/m);

$\hat{U}$ ——最大磁场强度峰值所对应的交流电阻  $R_n$  两端的电压峰值 (V)。其准确度优于  $\pm 1.5\%$ 。

方法 B——互感法

$$N_1 \geq \frac{4 f l M}{\hat{U}} \hat{H}_{m,x} \quad (7)$$

式中:  $M$ ——串联在样品初级回路中的交流互感线圈的互感值(H);

$\bar{U}$ ——最大磁场强度峰值所对应的互感线圈次级两端的感应电压平均值 (V)。

16.1.3 为了适合不同频率下的测量, 标准样品上可有两组不同匝数的  $N_1, N_2$ 。  $N_1, N_2$  绕组间应有良好的绝缘。

16.2 确定磁场强度峰值  $\hat{H}$  的测量点

16.2.1 若采用方法 A——峰值压降法测量磁场强度峰值  $\hat{H}$  时, 则交流电阻  $R_n$  两端的电压峰值  $\hat{U}$  与  $\hat{H}$  的关系为:

$$\hat{H} = \frac{N_1 \hat{U}}{l R_n} \quad (8)$$

按给定的每个  $\hat{H}$  值用式 (8) 计算出所对应的每个电压峰值  $\hat{U}$ 。

16.2.2 若采用方法 B——互感法测量磁场强度峰值  $\hat{H}$  时, 则交流互感线圈次级两端的感应电压平均值  $\bar{U}$  与  $\hat{H}$  的关系如下:

$$\hat{H} = \frac{N_1 \bar{U}}{4 f l M} \quad (9)$$

按给定的每个  $\hat{H}$  值用式 (9) 计算出所对应的每个电压平均值  $\bar{U}$ 。

16.3 样品的退磁

16.3.1 退磁频率采用交流 50 Hz, 在检定低磁感应区域的参数时, 退磁速度为 30 s ~ 1 min, 检定高磁感应区域的参数时, 均为 20 s。

16.3.2 退磁场强度的大小, 应使样品磁化到基本饱和 (超过磁化曲线的膝点)。

16.3.3 退磁后放置时间: 从低磁感应区域开始测量时, 放置时间为 10~15 min; 从中、高磁感应区域开始测量时, 放置时间为 2~3 min.

## 17 检定

17.1 若采用方法 A——峰值压降法测量某给定磁场强度峰值  $\hat{H}$  下的磁感应强度峰值  $\hat{B}$  时, 则将开关  $S_1$  置于“①”位置, 然后调节电源频率为给定值, 用频率计监测, 低频时监测周期, 高频时监测频率, 其准确度均应优于  $\pm 0.05\%$ .

17.1.1 再调节电源电压输出为某一值, 使峰值电压表指示值为按 16.2.1 项计算出的某值  $\hat{U}$ .

17.1.2 同时将开关  $S_2$  置于“③”位置, 观测样品次级感应电压波形失真度是否符合要求, 若不符合要求, 应调整, 待符合要求后, 断开  $S_2$  开关.

17.1.3 同时观察样品次级两端的平均值电压表指示值  $U_2$ , 待其相对变化小于  $\pm 0.1\%$  时, 立即读取此时电压平均值  $U_2$ , 并按下式计算样品在该磁场强度峰值下的  $\hat{B}$  值.

$$\hat{B} = \frac{U_2}{4 f N_2 A_r} \quad (10)$$

17.2 若采用方法 B——互感法测量给定某磁场强度峰值  $\hat{H}$  下的磁感应强度峰值  $\hat{B}$  时, 则将开关  $S_1$  置于“②”位置, 然后调节电源频率为给定值, 用频率计监测, 监测方法及要求同 17.1 款.

17.2.1 再调节电源电压输出为某一值, 使平均值电压表指示为按 16.2.2 项计算的某值  $U$ .

17.2.2 然后按 17.1.2; 17.1.3 项操作, 计算.

17.3 测量磁化曲线时, 磁场强度峰值应保持平稳, 单调地增加. 若测量过程中, 磁场强度峰值增加的量超过给定值, 则样品应重新退磁和测量.

17.4 测量低磁感应区域的参数时 17.1.2 项的操作可以省略.

17.5 其他磁场强度峰值下  $\hat{B}$  值的检定步骤按 17.1、17.2 款进行

17.6 若测量大于 800 A/m 磁场强度峰值  $\hat{H}$  所对应的  $\hat{B}$  值时, 应按式 (11) 进行空气磁通修正

$$\hat{B} = \frac{U_2}{4 f N_2 A_s} - \mu_0 \hat{H} \left( \frac{A_s}{A_t} - 1 \right) \quad (11)$$

式中:  $A_t$ ——样品次级绕组的有效横截面积 ( $\text{m}^2$ );

$\mu_0$ ——真空磁导率,  $\mu_0 = 4 \pi \times 10^{-7} (\text{H/m})$ .

17.7 在测量很多组  $\hat{B}$  和  $\hat{H}$  的对应值后, 便可画出交流磁化曲线。

18 幅值磁导率按下式计算:

$$\mu_a = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \hat{H}} \quad (12)$$

式中:  $\mu_a$ ——样品的幅值磁导率。

18.1 由 17.7 款得到很多组  $\hat{B}$  对  $\hat{H}$  的对应值, 将其数值一一代入式 (12), 便可得到幅值磁导率曲线。

18.2 起始幅值磁导率的测量

按式 (8) 或式 (9) 计算出给定的  $\hat{H}_i$  所对应的  $\hat{B}_i$  或  $U_{2i}$ , 然后按 17.1, 17.2 款进行操作并按下式计算:

$$\mu_{i,a} = \frac{\hat{B}_i}{\mu_0 \hat{H}_i} \quad (13)$$

式中:  $\mu_{i,a}$ ——起始幅值磁导率;

$\hat{B}_i$ ——对应于  $\hat{H}_i$  的磁感应强度峰值 (T);

$\hat{H}_i$ ——给定的磁场强度峰值 (A/m)。

18.3 最大幅值磁导率的测量

最大幅值磁导率可通过测量磁化曲线, 寻求  $\hat{B}$  与  $\hat{H}$  之最大比值来确定并按下式计算:

$$\mu_{\max a} = \frac{\hat{B}_A}{\mu_0 \hat{H}_A} \quad (14)$$

式中:  $\mu_{\max a}$ ——最大幅值磁导率;

$\hat{B}_A$ ——对应于  $\mu_{\max a}$  的磁感应强度峰值 (T);

$\hat{H}_A$ ——对应于  $\mu_{max}$  的磁场强度峰值 (A/m)

19 在不同频率下测量时, 每变换频率测量前, 样品应先进行退磁。

## 六 检定结果处理和检定周期

### 20 测量与计算值位数的确定

20.1 读取数值时, 按仪器 (仪表) 的有效位数读取, 最多估读一位数字。

20.2 中间运算的数字, 可以比有效数字多取一位, 计算结果的有效数字应与参加计算的各量值中有效位数最小的相同。

测量值以算术平均值为准。

### 20.3 最终结果位数的确定

各参数的最终结果有效位数, 应根据参数的不确定度决定, 并按下述方法化整, 即以保留数字的末位为单位, 它后面的数大于 0.5 者, 末位进 1; 小于 0.5 者, 末位不变, 恰为 0.5 者, 则使末位凑成偶数, 即末位为奇数时进 1, 为偶数时舍去。

21 标准样品的检定数据, 应有原始记录 (格式见附录 4)。

### 22 检定不确定度

严格按本规程检定时, 各参数的不确定度如表 2 所示。

表 2 被测各参数的不确定度 (%)

| $\hat{H}$           | $\hat{B}$           | $\mu_0$             | $\mu_{max}$         | $\mu_{10}$          |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $\pm(0.5 \sim 1.5)$ | $\pm(1.5 \sim 3.0)$ | $\pm(2.0 \sim 4.0)$ | $\pm(2.0 \sim 3.0)$ | $\pm(2.0 \sim 4.0)$ |

### 23 检定周期

软磁材料音频磁特性标准样品的检定周期不得超过一年。

24 回检的标准样品各参数的相对变化量符合表 2 规定值时, 发给检定证书, 否则, 发给检定结果通知书。

## 附录 1

## 名词、术语及其定义

## 1 交流磁化曲线

对磁性体加一周期对称变化的磁场, 改变磁场强度的幅值, 可以获得一系列不同的相对于坐标原点对称的磁滞回线, 顺序联接这些回线的顶点, 所得到的曲线称为交流磁化曲线。

2 幅值磁导率  $\mu_a$ 

当磁场强度随时间作对称周期变化, 且材料开始时是在规定的中性状态, 固定磁感应强度峰值  $\hat{B}$  或磁场强度峰值  $\hat{H}$  中的任一个值, 测得相对应的另一个值, 由此获得的相对磁导率。

3 起始幅值磁导率  $\mu_{ia}$ 

当磁场强度趋近于零时, 幅值磁导率的极限值。

$$\mu_{ia} = \lim_{H \rightarrow 0} \mu_a$$

注: 实际工作中, 磁场强度取技术约定值, 其值由有关国家标准规定。

4 最大幅值磁导率  $\mu_{max a}$ 

当磁场强度的幅值变化时, 测得的幅值磁导率的最大值。

## 附录 2

## 伏-安法测量原理线路

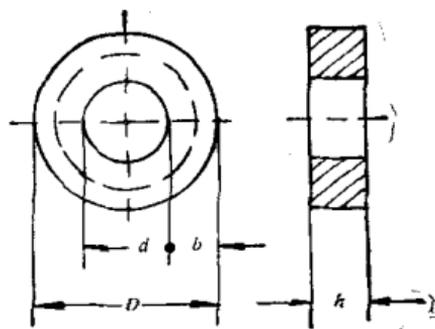


图 1 标准样品的示意图

- 图中： $d$ —样品内径，  
 $D$ —样品外径，  
 $b$ —样品的截面宽度，  
 $h$ —样品的高度。

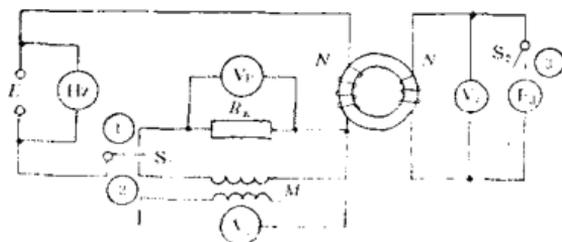


图 2 伏-安法测量原理线路图

- 图中： $E_s$ —音频稳压电源，用于磁化样品；  
 $f_z$ —频率计，用于测量频率；  
 $V_P$ —峰值电压表，用于测量  $R_s$  上的峰值电压；  
 $R_s$ —交流电阻，用于测量峰值电流；  
 $N_1$ —样品初级绕组；  
 $N_2$ —样品次级绕组；  
 $V_1$ —平均值电压表，用于测量样品次级感应电压平均值；  
 $S_2$ —开关，用于接通或断开失真度测量仪；  
 $F_d$ —失真度测量仪，用于测量样品感应电压波形失真度值；  
 $M$ —交流互感线圈，用于测量峰值电流；  
 $V_1$ —平均值电压表，用于测量交流互感线圈次级感应电压平均值；  
 $S_1$ —开关，用于接通或断开交流电阻或交流互感线圈。

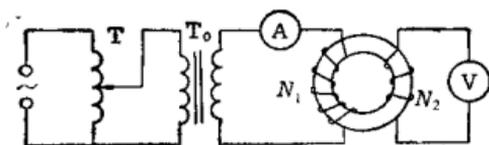


图3 环形标准样品退磁原理线路图

- 图中： $\sim$ —工频电源，50 Hz，220 V；  
 $T$ —自耦变压器；  
 $T_0$ —退磁变压器；  
 $A$ —交流电流表，用于监测退磁电流；  
 $N_1$ —样品初级绕组；  
 $N_2$ —样品次级绕组；  
 $V$ —平均值电压表，用于监视样品次级感应电压的大小。

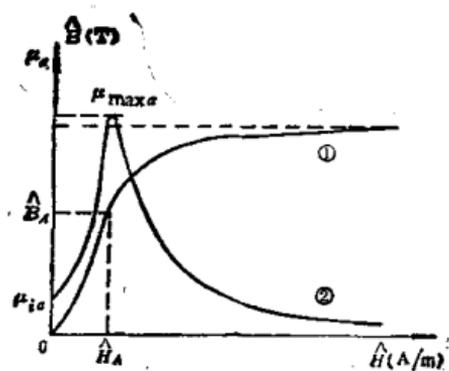


图 4 ①交流磁化曲线  
②幅值磁导率曲线

## 附录 3

## 检定证书和检定结果通知书背面格式

## 检 定 结 果

$m =$  \_\_\_\_\_ (kg)       $\rho_m =$  \_\_\_\_\_ (kg/m<sup>3</sup>)

$D =$  \_\_\_\_\_ (m)       $d =$  \_\_\_\_\_ (m)

$l =$  \_\_\_\_\_ (m)       $A_0 =$  \_\_\_\_\_ (m<sup>2</sup>)

$N_1 =$  \_\_\_\_\_ (匝)       $N_2 =$  \_\_\_\_\_ (匝)

|      |           |           |         |              |            |
|------|-----------|-----------|---------|--------------|------------|
| $f$  | $\hat{H}$ | $\hat{B}$ | $\mu_0$ | $\mu_{max0}$ | $\mu_{t0}$ |
| (Hz) | (A/m)     | (T)       |         |              |            |

## 不 确 定 度

|      |           |           |         |              |            |
|------|-----------|-----------|---------|--------------|------------|
|      | $\hat{H}$ | $\hat{B}$ | $\mu_0$ | $\mu_{max0}$ | $\mu_{t0}$ |
| (±%) | _____     | _____     | _____   | _____        | _____      |

$T =$  \_\_\_\_\_ (°C)

注：下次复检时，必须带此证书。

## 附录 4

## 检定原始记录格式

## 软磁音频磁特性样品检定原始记录

|   |                    |  |                                 |   |                     |                  |         |              |                   |
|---|--------------------|--|---------------------------------|---|---------------------|------------------|---------|--------------|-------------------|
| 送检单位                                    | 样品名称               | 牌 号  | 编 号                             | 证书号                                     |                     |                  |         |              |                   |
| $D =$ (m)                               | $d =$ (m)          | $l =$ (m)                                  | $A_s =$ (m <sup>2</sup> )       |   |                     |                  |         |              |                   |
| $N_1 =$ (匝)                             | $N_2 =$ (匝)        | $m =$ (kg)                                 | $\rho_m =$ (kg/m <sup>3</sup> ) |   |                     |                  |         |              |                   |
| $R_n =$ ( $\Omega$ )                    | $M =$ (H)          |  |                                 |   |                     |                  |         |              |                   |
| $\hat{H} = \frac{N_1 \hat{I}}{l}$ (A/m) |                    | $\hat{B} = \frac{\bar{U}_2}{4fN_2A_s}$ (T) |                                 | $\mu_o = \frac{\hat{B}}{\mu_0 \hat{H}}$ |                     |                  |         |              |                   |
| $f$<br>(kHz)                            | $\hat{H}$<br>(A/m) | $\hat{I}$<br>(mA)                          | $\hat{U}$<br>(mV)               | $\bar{U}$<br>(mV)                       | $\bar{U}_2$<br>(mV) | $\hat{B}$<br>(T) | $\mu_o$ | $F_o$<br>(%) | $T_1/T_2$<br>(°C) |
|   |                    |  |                                 |   |                     |                  |         |              |                   |
| 检定员                                     | 核验员                | 日 期  | 年                               | 月                                       | 日                   |                  |         |              |                   |

## 附加说明:

该规程经国家计量检定规程审定委员会电磁专业委员会审定通过。  
主审人: 梅文余