

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1830—2020

软磁材料直流磁特性测量仪校准规范

Calibration Specification for DC Magnetic Properties Measuring
Instruments for Magnetically Soft Materials

2020-01-17 发布

2020-04-17 实施

国家市场监督管理总局 发布

软磁材料直流磁特性

测量仪校准规范

Calibration Specification for DC Magnetic
Properties Measuring Instruments for
Magnetically Soft Materials

JJF 1830—2020

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：浙江省计量科学研究院

湖南省计量检测研究院

宁波市计量测试研究院

上海市计量测试技术研究院

本规范委托全国电磁计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

龚文杰 中国计量科学研究院

贺 建 中国计量科学研究院

参加起草人：

林安利 中国计量科学研究院

虞志书 浙江省计量科学研究院

徐 昱 湖南省计量检测研究院

王一民 宁波市计量测试研究院

王 炜 上海市计量测试技术研究院



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 磁导计磁场不均匀性	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(2)
5.1 初级电流 I	(2)
5.2 磁通 Φ	(2)
5.3 探测线圈常数 NS	(2)
5.4 磁导计磁场不均匀性 δ	(3)
5.5 磁特性参数	(3)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果表达	(8)
9 复校时间间隔	(8)
附录 A 初级电流、磁通、磁特性参数示值误差不确定度评定示例	(9)
附录 B 软磁材料直流磁特性测量仪校准原始记录格式	(16)
附录 C 校准证书内页格式	(19)

引 言

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范的基础性系列规范。

本规范参考了JJG 317《磁通表试行检定规程》、JJG 354《软磁材料标准样品试行检定规程》、JJG 407《电工纯铁标准样品试行检定规程》、JJF 1013《磁学计量常用名词术语及定义（试行）》、JJF 1094《测量仪器特性评定》、JJF 1587—2016《数字多用表校准规范》和GB/T 13012—2008《软磁材料直流磁性能的测量方法》。

本规范为首次发布。



软磁材料直流磁特性测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于环形试样法或 A 类磁导计法（以下简称磁导计法）的软磁材料直流磁特性测量仪的校准。环形试样法磁场强度上限为 10 kA/m；磁导计法磁场强度范围为（1~200）kA/m。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 317 磁通表试行检定规程

JJG 354 软磁材料标准样品试行检定规程

JJG 407 电工纯铁标准样品试行检定规程

JJF 1013 磁学计量常用名词术语及定义（试行）

JJF 1094 测量仪器特性评定

JJF 1587—2016 数字多用表校准规范

GB/T 13012—2008 软磁材料直流磁性能的测量方法

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 磁导计磁场不均匀性 magnetic field inhomogeneity of permeameter

磁导计螺线管中心附近一定区域内磁场强度与中心处磁场强度相对偏差的绝对值。

4 概述

软磁材料直流磁特性测量仪是采用环形试样法或磁导计法，测量软磁材料直流磁特性参数的专用仪器。对于环形试样法，通过测量初级电流得到磁场强度，主要适用于磁场强度 10 kA/m 以下的测量。对于磁导计法，通过探测线圈或霍尔效应探头组成的磁场探测系统测量磁场强度，用于磁场强度在（1~200）kA/m 范围内的测量。

环形试样法软磁材料直流磁特性测量仪的基本原理如图 1 所示。其磁化装置包括直流电源、电流测量装置和初级绕组。由初级绕组对试样进行磁化，通过电流测量装置测量初级电流，计算得到磁场强度，通过连接次级绕组的磁通计测量试样的磁通密度。进而得到饱和磁通密度、剩磁、矫顽力、起始磁导率和最大磁导率。

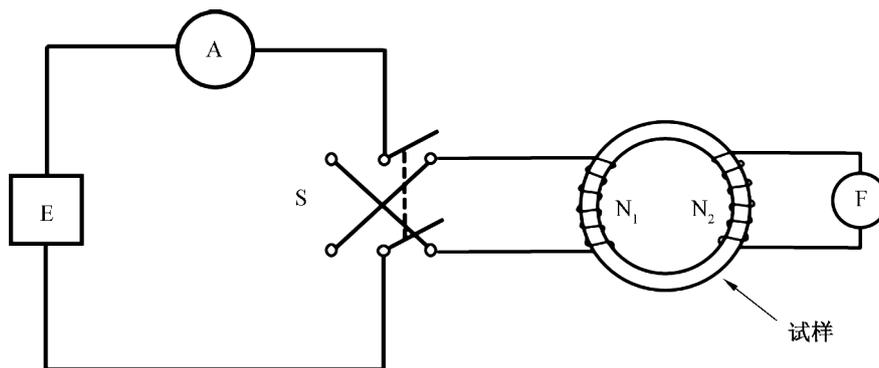


图1 (环形试样法) 软磁材料直流磁特性测量仪原理

E—连续可调的直流电源；A—电流测量装置；S—转换开关；

 N_1 —初级绕组； N_2 —次级绕组；F—磁通计

磁导计法软磁材料直流磁特性测量仪的基本原理如图2所示。其磁化装置包括直流电源、电流测量装置和磁导计。由磁导计对试样进行磁化，通过磁场强度探测线圈(H线圈)和磁通计测量磁场强度或通过磁强计测量磁场强度。通过连接次级的磁通密度探测线圈(B线圈)或磁极化强度探测线圈(J线圈)的磁通计，测量试样的磁通密度。

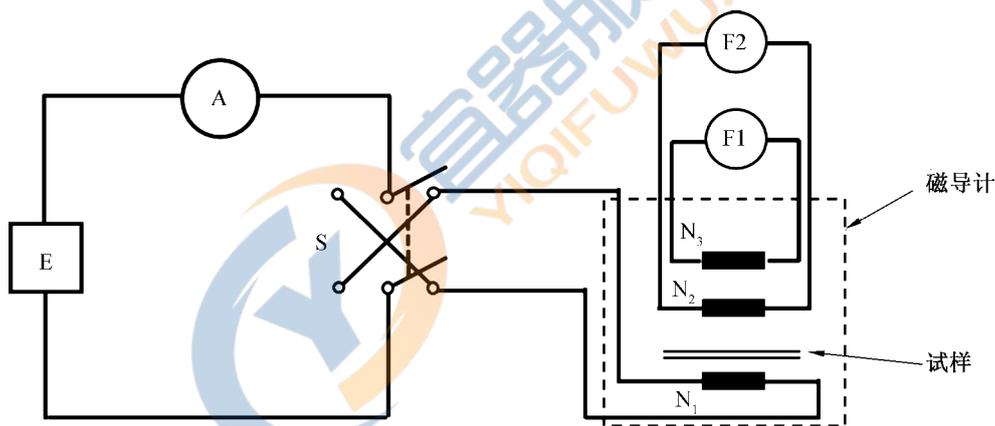


图2 (磁导计法) 软磁材料直流磁特性测量仪原理

E—连续可调的直流电源；A—电流测量装置；S—转换开关； N_1 —初级绕组； N_2 —磁通密度探测线圈(B线圈)或磁极化强度探测线圈(J线圈)； N_3 —磁场强度探测线圈(H线圈)； F_1 、 F_2 —磁通计

5 计量特性

5.1 初级电流 I

环形试样法，初级电流范围：(0 ~ 10) A，最大允许误差：±0.3%。

5.2 磁通 Φ

测量范围：0.2 mWb~20 mWb。

最大允许误差：±0.5%。

5.3 探测线圈常数 NS

磁导计法，探测线圈常数的最大允许误差：±0.5%。

5.4 磁导计磁场不均匀性 δ

磁导计法，螺线管中心处 ± 25 mm，轴向磁场的均匀性优于0.5%。

5.5 磁特性参数

环形试样法的磁特性参数包括饱和磁通密度 B_s 、剩磁 B_r 、矫顽力 H_c 、最大磁导率 μ_m 、起始磁导率 μ_i 。

磁导计法的磁特性参数为磁通密度 B 。

被校仪器磁特性参数示值误差应满足公式 (1) 要求：

$$|y - y_0| \leq \sqrt{U^2 + U_0^2} \quad (1)$$

式中：

y ——被校仪器测量标准样品磁特性参数的示值；

y_0 ——标准样品的磁特性参数值；

U ——被校仪器测量磁特性参数的不确定度；

U_0 ——标准样品磁特性参数的不确定度。

注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：23 °C \pm 5 °C。

相对湿度： $\leq 70\%$ 。

供电电源：电压变化不超过电源额定电压的 $\pm 10\%$ ，频率范围为 50 Hz \pm 0.5 Hz。

工作区无影响仪器正常工作的电磁干扰。

6.2 测量标准及其他设备

校准所用仪器应经过有效溯源。

6.2.1 直流电流表

直流电流范围：0 A \sim 10 A。

最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

直流电流表也可由数字电压表和标准电阻组成。

6.2.2 伏秒发生器或标准互感

磁通范围：0.1 mWb \sim 10 000 mWb。

最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

6.2.3 磁强计

直流磁场强度范围：8 kA/m \sim 200 kA/m。

最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

6.2.4 磁通计

磁通范围：0.2 mWb \sim 20 mWb。

最大允许误差： $\pm 0.2\%$ ，漂移小于 1 μ Wb/min。

6.2.5 标准样品

标准样品包括棒状标准样品、环形标准样品。

棒状标准样品为电工纯铁，磁特性参数为磁通密度，不确定度 $U_{\text{rel}}(B) = 1\%$ ($k = 2$)。

环形标准样品磁特性参数及不确定度见表 1。

表 1 环形标准样品磁特性参数的不确定度 U_{rel} ($k = 2$)

样品名称	饱和磁通密度	剩磁	矫顽力	最大磁导率	起始磁导率
电工纯铁	1%	1%	2%	3%	5%
坡莫合金	1%	1%	2%	3%	5%

6.2.6 数字多用表

直流电阻测量范围：1 Ω ~ 10 k Ω ，最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

交流电压测量范围：0.01 V ~ 200 V，频率不超过 60 Hz，最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

6.2.7 标准电阻

电阻值：1 Ω 或 10 Ω ，最大允许误差： $\pm 0.1\%$ 。

6.2.8 标准磁场源

标准磁场可由永磁体、电磁铁或螺线管产生。

在被校探测线圈的有效探测范围内，磁场不均匀性不超过 0.1%。

螺线管常数 K 的最大允许误差： $\pm 0.2\%$ 。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 2。

表 2 校准项目一览表

序号	校准项目	计量特性的条款	校准方法条款
1	外观及通电检查	—	7.2.1
2	初级电流 I	5.1	7.2.2
3	磁通 Φ	5.2	7.2.3
4	探测线圈常数 NS	5.3	7.2.4
5	磁导计磁场不均匀性 δ	5.4	7.2.5
6	磁特性参数 $B_s, B_r, H_c, \mu_m, \mu_i, B$	5.5	7.2.6

7.2 校准方法

7.2.1 外观及通电检查

7.2.1.1 外观检查

a) 仪器外观完好，无影响仪器使用性能的损伤，面板、按钮、接线端子无松动破损；

b) 被校仪器产品名称、制造厂家、仪器型号和出厂编号等均应有明确标记；

c) 连接线接口无松动，机柜应接地。

7.2.1.2 通电检查

- a) 被校仪器通电，所有开关、旋钮及按钮应灵活可靠；
- b) 各指示灯工作正常，数值显示清晰，无影响读数的缺陷；
- c) 测量软件应能正常工作。

7.2.2 初级电流

校准点的选取原则可只选择每个量程正负极性的量程值（接近量程值）点，也可按以下原则选取：

- a) 基本量程正极性选取 2~5 个校准点；
- b) 非基本量程正极性选取 2~3 个校准点；
- c) 各量程负极性可只选取量程值（接近量程值）1 个校准点；
- d) 正极性时，应覆盖量程值的 10% 点和量程值（接近量程值）点。

对于环形试样法，将直流电流表串联接入被校仪器的初级回路，调节被校仪器的初级电流输出值，使直流电流表的示值为校准点 I_0 ，记录被校仪器的初级电流示值 I 。被校仪器初级电流的示值误差按公式（2）计算：

$$\Delta I = I - I_0 \quad (2)$$

式中：

ΔI ——被校仪器的初级电流示值误差，A；

I ——被校仪器的初级电流示值（仪器示值），A；

I_0 ——直流电流表的测量值（标准值），A。

使用环形试样作为被测量对象时，被校仪器的初级电流示值 I 也可按公式（3）计算：

$$I = \frac{Hl_m}{N_1} \quad (3)$$

式中：

H ——被校仪器的磁场强度（仪器示值），A/m；

l_m ——环形试样的磁路长度，m；

N_1 ——环形试样的初级绕组匝数。

初级电流的校准，可参照 JJF 1587—2016 中 7.2.4 进行。

7.2.3 磁通

可参照 7.2.2 的选取原则。

7.2.3.1 伏秒发生器法

- a) 将伏秒发生器的输出端连接到磁通计的输入端；
- b) 调节磁通计漂移，使其小于 $1 \mu\text{Wb}/\text{min}$ ，磁通计置零；
- c) 选定校准点，设定伏秒发生器的输出值为校准点 Φ_0 ，并记录磁通计的示值 Φ ；
- d) 被校仪器磁通的示值误差按公式（4）计算：

$$\Delta\Phi = \Phi - \Phi_0 \quad (4)$$

式中：

- $\Delta\Phi$ ——被校仪器的磁通示值误差, Wb;
 Φ ——磁通计的示值 (仪器示值), Wb;
 Φ_0 ——伏秒发生器的输出值 (标准值), Wb。

7.2.3.2 标准互感法

使用标准互感校准, 可参照 JJG 317 进行。

7.2.4 探测线圈常数

探测线圈常数包括 H 线圈常数、 J 线圈残匝面积。

对于磁导计法, 探测线圈常数标称值的示值误差按公式 (5) 计算:

$$\Delta(NS) = (NS) - (NS)_0 \quad (5)$$

式中:

- $\Delta(NS)$ ——探测线圈常数标称值的示值误差, m^2 ;
 NS ——探测线圈常数标称值, m^2 ;
 $(NS)_0$ ——探测线圈常数校准值, m^2 。

7.2.4.1 抽拉法

a) 标准磁场源产生恒定的磁场, 将探测线圈和磁强计探头置于标准磁场源的磁场中心处, 使探测线圈轴向和磁强计探头与磁场源的磁场方向一致, 磁强计示值为 H_0 ;

b) 探测线圈连接磁通计, 调节磁通计漂移, 使其小于 $1 \mu\text{Wb}/\text{min}$, 然后将磁通计置零;

c) 迅速将探测线圈从标准磁场源中抽拉出, 记录磁通计示值 Φ_{H_0} 。探测线圈常数校准值 $(NS)_0$ 按公式 (6) 计算:

$$(NS)_0 = \frac{\Phi_{H_0}}{\mu_0 H_0} \quad (6)$$

式中:

- Φ_{H_0} ——磁通计示值, Wb;
 μ_0 ——真空磁导率, $4\pi \times 10^{-7} \text{ H}/\text{m}$;
 H_0 ——磁场强度, A/m。

7.2.4.2 低频交流法

a) 探测线圈置于螺线管中心处, 使探测线圈轴向与磁场源的磁场方向一致, 探测线圈连接至数字多用表;

b) 在螺线管中通入低频正弦交流电流, 产生正弦交变磁场;

c) 测量与螺线管串联的电阻上的电压 U_1 和探测线圈的感应电压 U_2 , 探测线圈常数校准值 $(NS)_0$ 按公式 (7) 计算:

$$(NS)_0 = \frac{U_2 R}{2\pi f \mu_0 K U_1} \quad (7)$$

式中:

- U_2 ——探测线圈的感应电压有效值, V;
 R ——标准电阻值, Ω ;
 f ——电流的频率, Hz;

- μ_0 ——真空磁导率， $4\pi \times 10^{-7}$ H/m；
 K ——螺线管常数，1/m；
 U_1 ——标准电阻上的电压有效值，V。

7.2.5 磁导计磁场不均匀性

- 闭合磁导计衔铁；
- 将直流电流源（或被校仪器的电源）接入磁导计初级回路；
- 将磁强计探头放入磁导计螺线管中心处，探头轴向与螺线管轴线方向一致；
- 调节电源输出至给定电流值（如 1 A）。沿螺线管轴线方向移动磁强计探头，每次移动 5 mm，记录距中心处 ± 25 mm 范围内不同位置的磁场强度值 H_x 。

不同位置点的磁导计磁场不均匀性 δ 按公式（8）计算：

$$\delta = \left| \frac{H_x - H_0}{H_0} \right| \times 100\% \quad (8)$$

式中：

- H_x ——磁导计螺线管中心处 ± 25 mm 范围内不同位置的磁场强度，A/m；
 H_0 ——磁导计螺线管中心处的磁场强度，A/m。

7.2.6 磁特性参数

对于环形试样法，推荐不少于 2 种环形标准样品。

对于磁导计法，推荐不少于 1 种棒状标准样品。

使用标准样品给定的几何尺寸和绕组信息。

测量前，被校仪器应对标准样品充分退磁。

按 GB/T 13012—2008，使用被校仪器测量标准样品，读取并记录被校仪器显示的磁特性参数值。

7.2.6.1 环形试样法

被校仪器的饱和磁通密度 B_s 、剩磁 B_r 、矫顽力 H_c 、最大磁导率 μ_m 和起始磁导率 μ_i 的示值误差为 $\Delta(B_s)$ 、 $\Delta(B_r)$ 、 $\Delta(H_c)$ 、 $\Delta(\mu_m)$ 、 $\Delta(\mu_i)$ ，分别按公式(9)～公式(13)计算：

$$\Delta(B_s) = B_s - B_{s,0} \quad (9)$$

$$\Delta(B_r) = B_r - B_{r,0} \quad (10)$$

$$\Delta(H_c) = H_c - H_{c,0} \quad (11)$$

$$\Delta(\mu_m) = \mu_m - \mu_{m,0} \quad (12)$$

$$\Delta(\mu_i) = \mu_i - \mu_{i,0} \quad (13)$$

式中：

- B_s ——饱和磁通密度的仪器示值，T；
 $B_{s,0}$ ——饱和磁通密度的标准值，T；
 B_r ——剩磁的仪器示值，T；
 $B_{r,0}$ ——剩磁的标准值，T；
 H_c ——矫顽力的仪器示值，A/m；
 $H_{c,0}$ ——矫顽力的标准值，A/m；
 μ_m ——最大磁导率的仪器示值，H/m；

$\mu_{m,0}$ ——最大磁导率的标准值，H/m；

μ_i ——起始磁导率的仪器示值，H/m；

$\mu_{i,0}$ ——起始磁导率的标准值，H/m。

7.2.6.2 磁导计法

测量棒状标准样品时，被校仪器的磁通密度 B 的相对示值误差按公式 (14) 计算：

$$\Delta B = B - B_0 \quad (14)$$

式中：

ΔB ——磁通密度的示值误差，T；

B ——磁通密度的示值，T；

B_0 ——磁通密度的标准值，T。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书（报告）上反映，校准证书（报告）应至少包括以下信息：

- a) 标题，如“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书或报告的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 对校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书和校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明。

校准原始记录格式见附录 B，校准证书（报告）内页格式见附录 C。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。送校单位也可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

初级电流、磁通、磁特性参数示值误差 uncertainty 评定示例

A.1 概述

本附录以环形试样法为例，说明软磁材料直流磁特性测量仪校准项目的 uncertainty 评定。

被校仪器电源输出端与直流电流表连接，输出待校初级电流值 5.000 mA，记录被校仪器初级电流示值；伏秒发生器输出端与被校仪器磁通计输入端连接，输出待校磁通值 3.000 mWb，记录被校仪器磁通示值；被校仪器测量环形标准样品的饱和磁通密度，记录被校仪器饱和磁通密度示值。

A.2 初级电流示值误差 uncertainty 评定

A.2.1 测量模型

被校仪器的初级电流示值误差可表示为：

$$\Delta I = I - I_0 \quad (\text{A.1})$$

式中：

ΔI ——被校仪器的初级电流示值误差，A；

I ——被校仪器的初级电流示值（仪器示值），A；

I_0 ——直流电流表的测量值（标准值），A。

A.2.2 标准 uncertainty 来源

A.2.2.1 被校仪器引入的标准 uncertainty $u(I)$ ，其包括：

——被校仪器测量重复性引入的标准 uncertainty $u_1(I)$ ；

——被校仪器分辨力引入的标准 uncertainty $u_2(I)$ 。

A.2.2.2 直流电流表引入的标准 uncertainty $u(I_0)$ 。

A.2.3 合成标准 uncertainty

全部 uncertainty 来源互不相关，合成标准 uncertainty 计算公式可表示为：

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2 [u_1^2(I) + u_2^2(I)] + c_3^2 u^2(I_0)}$$

A.2.4 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I} = 1, c_3 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_0} = -1$$

A.2.5 标准 uncertainty 的评定

A.2.5.1 由被校仪器测量重复性引入的标准 uncertainty $u_1(I)$

被校仪器输出 5.000 mA 初级电流至直流电流表，读取并记录被校仪器的显示值。

被校仪器 10 次的读数 I_k 见表 A.1。

表 A.1 被校仪器初级电流测量重复性

次数	读数/mA
1	5.002

表 A.1 (续)

次数	读数/mA
2	5.001
3	5.002
4	5.001
5	5.002
6	5.002
7	5.001
8	5.002
9	5.002
10	5.001

测量的平均值:

$$\bar{I} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} I_k = 5.002 \text{ mA}$$

单次测量的实验标准偏差:

$$s(I) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{10} (I_k - \bar{I})^2}{n-1}} = 0.0005 \text{ mA}$$

则:

$$u_1(I) = s(I) = 0.0005 \text{ mA}$$

A.2.5.2 由被校仪器分辨力引入的标准不确定度 $u_2(I)$

被校仪器在初级电流 5.000 mA 点的分辨力为 0.001 mA, 在 ± 0.0005 mA 区间内为均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u_2(I) = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} \text{ mA} = 0.00029 \text{ mA}$$

A.2.5.3 由直流电流表引入的标准不确定度 $u(I_0)$

直流电流表经过校准, 符合技术指标要求。使用说明书中技术指标给出 5 mA 点的最大允许误差 = $\pm (0.04\% \text{ 读数} + 0.002\% \text{ 量程}) = \pm (0.04\% \times 5.001 \text{ mA} + 0.002\% \times 20.00 \text{ mA}) = \pm 0.0024 \text{ mA}$ 。

区间半宽 $a = 0.0024 \text{ mA}$, 认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(I_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.0024}{\sqrt{3}} \text{ mA} = 0.0014 \text{ mA}$$

A.2.6 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 A.2。

表 A.2 标准不确定度分量汇总表

输入量	不确定度来源	概率分布	灵敏系数	不确定度分量/mA
I	被校仪器重复性 $u_1(I)$	正态分布	1	0.000 5
I	被校仪器分辨力 $u_2(I)$	均匀分布	1	0.000 29
I_0	直流电流表 $u(I_0)$	均匀分布	-1	0.001 4

A.2.7 合成标准不确定度

依照合成标准不确定度计算公式可得：

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{c_1^2 [u_1^2(I) + u_2^2(I)] + c_3^2 u^2(I_0)} = 0.001 5 \text{ mA}$$

A.2.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U = k \cdot u_c(\Delta I) = 2 \times 0.001 5 \text{ mA} = 0.003 \text{ mA}$$

A.3 磁通示值误差标准不确定度评定

A.3.1 测量模型

被校仪器的磁通示值误差可表示为：

$$\Delta\Phi = \Phi - \Phi_0 \quad (\text{A.2})$$

式中：

$\Delta\Phi$ ——被校磁通计示值误差，Wb；

Φ ——被校磁通计的示值（仪器示值），Wb；

Φ_0 ——磁通校准仪的值（标准器值），Wb。

A.3.2 标准不确定度来源

A.3.2.1 被校准仪器磁通计引入的标准不确定度 $u(\Phi)$ ，其包括；

——被校仪器磁通计测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\Phi)$ ；

——被校仪器磁通计分辨力引入的标准不确定度 $u_2(\Phi)$ ；

——被校仪器磁通计漂移引入的标准不确定度 $u_3(\Phi)$ 。

A.3.2.2 伏秒发生器引入的标准不确定度 $u(\Phi_0)$ 。

A.3.3 合成标准不确定度

全部不确定度来源互不相关，合成标准不确定度计算公式可表示为：

$$u_c(\Delta\Phi) = \sqrt{c_1^2 [u_1^2(\Phi) + u_2^2(\Phi) + u_3^2(\Phi)] + c_3^2 u^2(\Phi_0)}$$

A.3.4 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta\Phi}{\partial \Phi} = 1, \quad c_3 = \frac{\partial \Delta\Phi}{\partial \Phi_0} = -1$$

A.3.5 标准不确定度的评定

A.3.5.1 由被校仪器磁通计测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(\Phi)$

伏秒发生器输出 3.000 mWb 至被校仪器的磁通计，读取并记录被校仪器的显示值。

被校仪器 10 次的读数 Φ_k 见表 A.3。

表 A.3 磁通测量重复性

次数	读数/mWb
1	3.004
2	3.004
3	3.004
4	3.003
5	3.004
6	3.004
7	3.004
8	3.003
9	3.004
10	3.004

测量的平均值：

$$\bar{\Phi} = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \Phi_k = 3.004 \text{ mWb}$$

单次测量的实验标准偏差：

$$s(\Phi) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{10} (\Phi_k - \bar{\Phi})^2}{n-1}} = 0.00042 \text{ mWb}$$

则：

$$u_1(\Phi) = s(\Phi) = 0.00042 \text{ mWb}$$

A.3.5.2 由被校仪器磁通计分辨率引入的标准不确定度 $u_2(\Phi)$

被校仪器在 3mWb 下的分辨力为 0.001 mWb，在 ± 0.0005 mWb 区间内为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(\Phi) = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} \text{ mWb} = 0.00029 \text{ mWb}$$

A.3.5.3 由被校仪器磁通计漂移引入的标准不确定度 $u_3(\Phi)$

磁通计漂移小于 0.001 mWb/min。由于每次校准时间仅几秒钟，忽略漂移引入的不确定度 $u_3(\Phi)$ 。

A.3.5.4 由伏秒发生器引入的标准不确定度 $u(\Phi_0)$

伏秒发生器经过校准，符合技术指标要求，不确定度为 $U_{\text{rel}} = 0.05\%$ ， $k = 2$ 。在 $\Phi_0 = 3$ mWb 时：

$$u(\Phi_0) = \frac{U_{\text{rel}}}{k} \times \Phi_0 = \frac{0.05\%}{2} \times 3 \text{ mWb} = 0.00075 \text{ mWb}$$

A.3.6 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表 A.4。

表 A.4 标准不确定度分量汇总表

输入量	不确定度来源	概率分布	灵敏系数	不确定度分量/mWb
Φ	被校仪器重复性 $u_1(\Phi)$	正态分布	1	0.000 42
Φ	被校仪器分辨力 $u_2(\Phi)$	均匀分布	1	0.000 29
Φ_0	伏秒发生器 $u(\Phi_0)$	正态分布	-1	0.000 75

A.3.7 合成标准不确定度

依照合成标准不确定度计算公式可得：

$$u_c(\Delta\Phi) = \sqrt{c_1^2[u_1^2(\Phi) + u_2^2(\Phi)] + c_3^2 u^2(\Phi_0)} = 0.000 9 \text{ mWb}$$

A.3.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U(\Delta\Phi) = k \cdot u_c(\Delta\Phi) = 2 \times 0.000 9 \text{ mWb} = 0.002 \text{ mWb}$$

A.4 磁特性参数示值误差不确定度评定

A.4.1 测量模型

以饱和磁通密度为例进行评定，其他磁特性参数评定方法类似。

对于环形试样法，被校仪器的饱和磁通密度示值误差可表示为：

$$\Delta B_s = B_s - B_{s,0} \quad (\text{A.3})$$

式中：

ΔB_s ——被校仪器的饱和磁通密度示值误差，T；

B_s ——被校仪器的饱和磁通密度示值，T；

$B_{s,0}$ ——标准样品的饱和磁通密度值，T。

A.4.2 标准不确定度来源

A.4.2.1 被校仪器磁通计引入的标准不确定度 $u(B_s)$ ，其包括；

——被校仪器磁通密度测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(B_s)$ ；

——被校仪器磁通密度分辨力引入的标准不确定度 $u_2(B_s)$ 。

A.4.2.2 标准样品引入的标准不确定度 $u(B_{s,0})$ 。

A.4.3 合成标准不确定度

全部不确定度来源互不相关，合成标准不确定度计算公式可表示为：

$$u_c(\Delta B_s) = \sqrt{c_1^2[u_1^2(B_s) + u_2^2(B_s)] + c_3^2 u^2(B_{s,0})}$$

A.4.4 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta B_s}{\partial B_s} = 1, \quad c_3 = \frac{\partial \Delta B_s}{\partial B_{s,0}} = -1$$

A.4.5 不确定度的评定

A.4.5.1 由被校仪器磁通密度测量重复性引入的标准不确定度 $u_1(B_s)$

被校仪器测量环形标准样品，设定磁场 $H=1\ 600 \text{ A/m}$ ，读取并记录被校仪器的显

示值。

被校仪器 10 次的读数 $B_{s,k}$ 见表 A. 5。

表 A. 5 磁特性参数重复性

次数	读数/T
1	1.508
2	1.509
3	1.509
4	1.510
5	1.509
6	1.509
7	1.510
8	1.508
9	1.509
10	1.509

饱和磁通密度 B_s 测量的平均值：

$$\bar{B}_s = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} B_{s,k} = 1.509 \text{ T}$$

单次测量的实验标准偏差：

$$s(B_s) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{10} (B_{s,k} - \bar{B}_s)^2}{n-1}} = 0.00067 \text{ T}$$

则：

$$u_1(B_s) = s(B_s) = 0.00067 \text{ T}$$

A. 4.5.2 由被校仪器磁通密度分辨力引入的标准不确定度 $u_2(B_s)$

被校仪器的分辨力为 0.001 T，在 ± 0.0005 T 区间内为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则：

$$u_2(B_s) = \frac{0.0005}{\sqrt{3}} \text{ T} = 0.00029 \text{ T}$$

A. 4.5.3 由标准样品引入的标准不确定度 $u(B_{s,0})$

标准样品经过计量部门检定或校准，不确定度为 $U_{\text{rel}} = 1\%$ ， $k = 2$ 。在 $B_{s,0} = 1.508$ T 时：

$$u(B_{s,0}) = \frac{U_{\text{rel}}}{k} B_{s,0} = \frac{1\%}{2} \times 1.508 \text{ T} = 0.00754 \text{ T}$$

A. 4.6 饱和磁感的标准不确定度分量汇总

饱和磁感的标准不确定度分量汇总见表 A. 6。

表 A.6 饱和磁感的标准不确定度分量汇总表

输入量	不确定度来源	概率分布	灵敏系数	不确定度分量/T
B_s	被校仪器重复性 $u_1(B_s)$	正态分布	1	0.000 67
B_s	被校仪器分辨力 $u_2(B_s)$	均匀分布	1	0.000 29
$B_{s,0}$	标准样品 $u(B_{s,0})$	正态分布	-1	0.007 54

A.4.7 合成标准不确定度

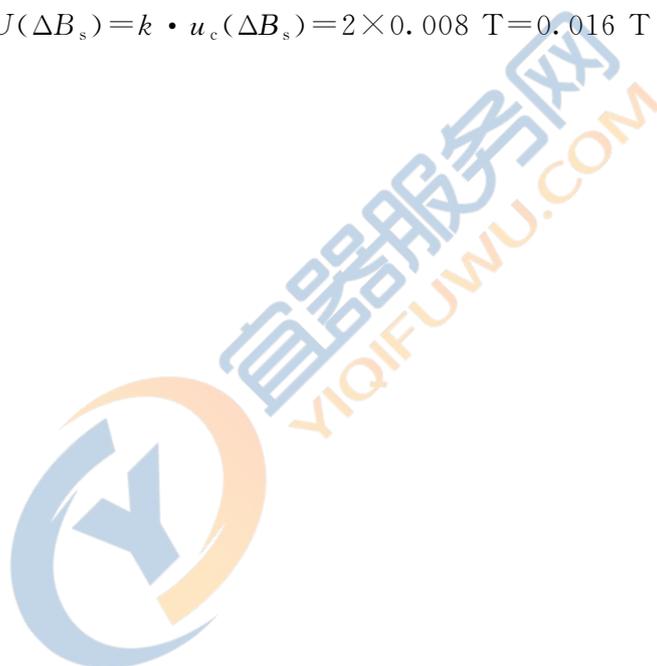
依照合成标准不确定度计算公式可得：

$$u_c(\Delta B_s) = \sqrt{c_1^2 [u_1^2(B_s) + u_2^2(B_s)] + c_3^2 u^2(B_{s,0})} = 0.008 \text{ T}$$

A.4.8 扩展不确定度

取 $k=2$ ，则扩展不确定度：

$$U(\Delta B_s) = k \cdot u_c(\Delta B_s) = 2 \times 0.008 \text{ T} = 0.016 \text{ T}$$



附录 B

软磁材料直流磁特性测量仪校准原始记录格式

第 页 共 页

委托单位：		校准证书编号：	
委托单位地址：		校准依据：	
仪器名称：		校准日期：	
规格型号：	出厂编号：	校准地点：	
制造单位：		环境温度：	℃
联系人：	联系方式：	环境湿度：	%RH

校准用主要计量标准器

名称	型号规格	出厂编号	测量范围	不确定度/准确度等级或 最大允许误差	证书编号	有效期至

1. 外观及通电检查

外观：

通电检查：

2. 初级电流 I (环形试样法)

量程	标准值	仪器示值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)

3. 磁通 Φ 3.1 磁通 Φ (环形试样法, 磁导计法)

量程	标准值	仪器示值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)

3.2 磁通 Φ (磁导计法)

量程	标准值	仪器示值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)

第 页 共 页

4. 探测线圈常数 NS (磁导计法)

4.1 抽拉法

磁场强度	磁通计示值	校准值	标称值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)

4.2 低频交流法

磁场强度	磁通计示值	校准值	标称值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)

5. 磁导计磁场不均匀性 δ (磁导计法)

位置/mm	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
磁场/ (kA/m)											

磁导计磁场不均匀性 (距螺线管中心 ± 25 mm): _____%, 测量不确定度: _____ ($k=2$)

6. 磁特性参数

6.1 环形试样法

参数: 截面积 $S =$ _____, 外径 $D =$ _____, 内径 $d =$ _____, 初级绕组 $N_1 =$ _____ 匝, 次级绕组 $N_2 =$ _____ 匝

磁场强度	磁特性参数	标准值	仪器示值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)
	饱和磁通密度 B_s				
	剩磁 B_r				
	矫顽力 H_c				
——	最大磁导率 μ_m				
	起始磁导率 μ_i				

标准样品为 _____，编号 _____，在磁场强度 $H =$ _____ 下测量。 μ_i 在 $H =$ _____ 下测得。

6.2 磁导计法

标准样品参数：直径 $D =$ _____，次级绕组 $N_2 =$ _____ 匝

磁场强度	磁通密度 B			测量不确定度 ($k=2$)
	标准值	仪器示值	示值误差	

校准员：_____ 核验员：_____

附录 C

校准证书内页格式

证书编号 ××××—××××

<校准机构授权说明> 校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求。				
校准环境条件及地点：				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

第×页 共×页

证书编号 ××××—××××

校准结果

1. 初级电流 I (环形试样法)

量程	标准值	仪器示值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)

2. 磁通 Φ

量程	标准值	仪器示值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)

3. 探测线圈常数 NS (磁导计法)

标称值	校准值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)

4. 磁导计磁场不均匀性 δ (磁导计法)

磁导计磁场不均匀性 (距螺线管中心 ± 25 mm): _____ %, 测量不确定度: _____ ($k=2$)

证书编号 ××××—××××

校准结果

5. 磁特性参数

5.1 环形试样法

标准样品参数：截面积 $S =$ _____，外径 $D =$ _____，内径 $d =$ _____，初级绕组 $N_1 =$ _____ 匝，次级绕组 $N_2 =$ _____ 匝

磁特性参数	标准值	测量值	示值误差	测量不确定度 ($k=2$)
饱和磁通密度 B_s				
剩磁 B_r				
矫顽力 H_c				
最大磁导率 μ_m				
起始磁导率 μ_i				

标准样品为 _____，编号 _____，在磁场强度 $H =$ _____ A/m 下测量。 μ_i 在磁场强度 $H =$ _____ A/m 下测得。

5.2 磁导计法

标准样品参数：直径 $D =$ _____，次级绕组 $N_2 =$ _____ 匝

磁场强度	磁通密度 B			测量不确定度 ($k=2$)
	标准值	测量值	示值误差	

说明：

根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下 _____ 个月校准一次。

声明：

1. 仅对加盖“×××××校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校准员：

核验员：



中华人民共和国
国家计量技术规范
软磁材料直流磁特性测量仪校准规范
JJF 1830—2020

国家市场监督管理总局发布

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

服务热线: 400-168-0010

2020年8月第一版

*

书号: 155066·J-3714

版权专有 侵权必究



JJF 1830—2020