

JJF

# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

---

## 电工钢测量用 H 线圈校准规范

Calibration Specification for Electrical Steel Measurement H-Coil

(征求意见稿)

××××—××—×× 发布

××××—××—×× 实施

国家市场监督管理总局 发布

电工钢测量用 H 线圈校准规范

Calibration Specification for

Electrical Steel Measurement H-Coil

JJF XXXX—XXXX

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

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：

参加起草人：



# 目 录

1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语与计量单位.....	1
3.1 匝面积 turn area.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	3
5.1 匝面积.....	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.....	9
附录 A 测量不确定度评定示例（方法 A）.....	10
附录 B 校准原始记录格式.....	10
附录 C 校准证书内页格式测.....	10

## 引言

本规范依据国家计量技术规范 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

本规范是首次制定的国家计量校准规范。

# 电工钢测量用 H 线圈校准规范

## 1 范围

本规范适用于电工钢带（片）试样或铁基非晶单片试样磁场强度测量用 H 线圈的校准。频率范围为 45Hz ~ 400Hz。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T 13789-202X 用单片测试仪测量电工钢带(片)磁性能的方法

GB/T 39042-2020 电工钢单片磁性能测试 H 线圈法

GB/T 19346.3-2021 非晶纳米晶合金测试方法 第 3 部分：铁基非晶单片试样交流磁性能

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规范；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 术语与计量单位

### 3.1 匝面积 turn area

线圈匝数与面积的乘积，符号计作  $NS$ ，单位：平方米（ $m^2$ ）。

## 4 概述

H 线圈是在一块既不导磁也不导电的平板上绕单层漆包线的磁场线圈，通常安装于励磁机构内，靠近试样表面放置，可用于直接检测试样的真实磁场强度。如图 1 所示。主要应用于电工钢带（片）试样或铁基非晶单片试样磁场强度的测量。试样磁场强度的测量原理如图 2 所示：当 H 线圈靠近试样表面放置且测量方向与磁场方向一致时，可以通过探测 H 线圈上的感应电压  $U_H$  来获得穿过试样的磁场强度  $H$ 。计算公式如式（1）所示。

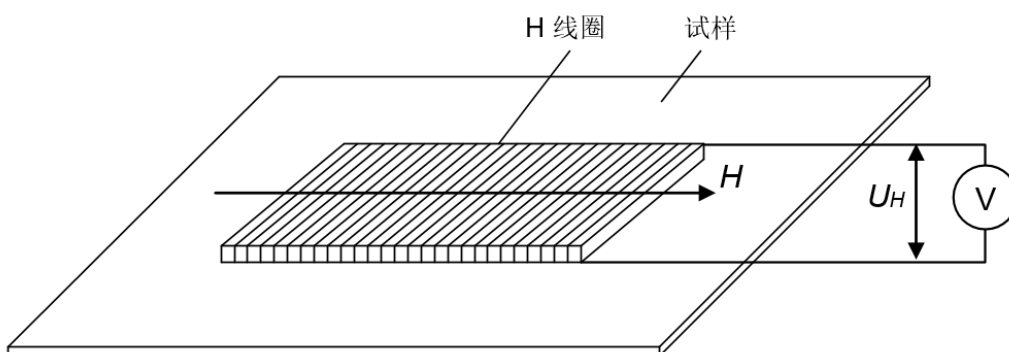


图 1 H线圈示意图

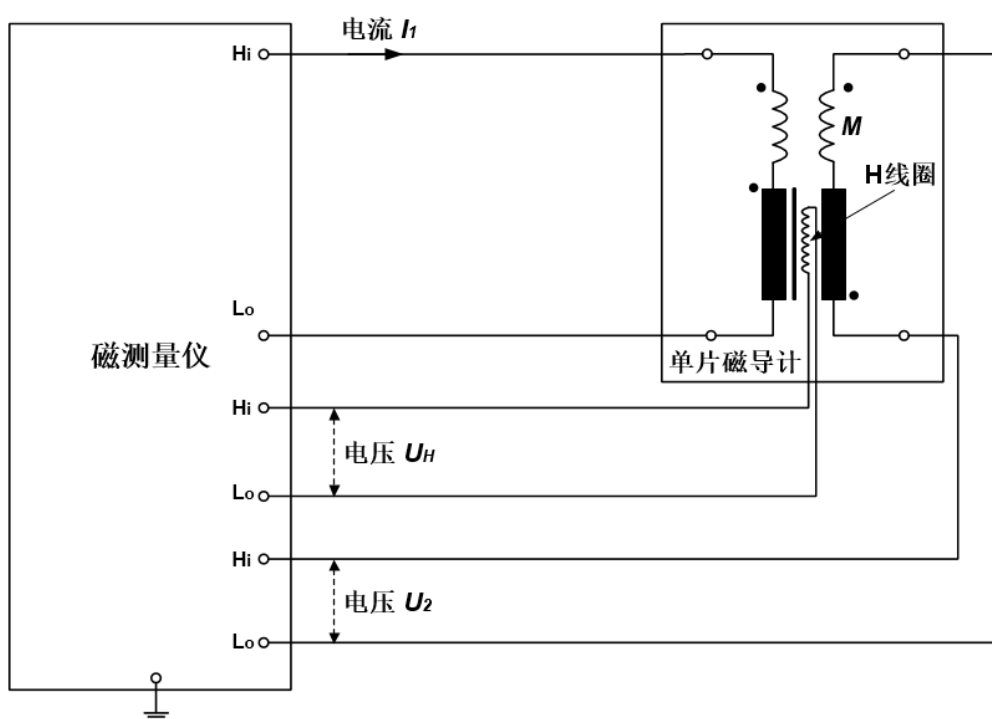


图 2 H线圈法典型应用示意图

$$\hat{H} = \frac{\overline{U_H}}{4f\mu_0(NS)} \quad (1)$$

式中：

$\hat{H}$ ——被测磁场强度的峰值，A/m；

$\overline{U_H}$ ——H线圈感应电压的平均值，V；

$\mu_0$ ——真空磁导率，约 $4\pi \times 10^{-7}$ H/m；

$f$ ——交流磁场频率，Hz；

$NS$ ——H线圈匝面积， $m^2$ 。



## 5 计量特性

### 5.1 匝面积

H 线圈的匝面积值准确度等级分为 0.05 级、0.1 级、0.2 级、0.5 级四个级别，宜满足表 1 的要求。

表 1 匝面积准确度等级的要求

准确度等级	0.05	0.1	0.2	0.5
最大允许误差	$\pm 0.05\%$	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.2\%$	$\pm 0.5\%$

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件

环境温度： $(20\pm 5)$  °C；

相对湿度：20%~80%；

供电电源：电压  $(220\pm 22)$  V，频率  $(50\pm 1)$  Hz；

周围不存在影响测量的机械振动和电磁干扰。

### 6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 可采用三种方法对匝面积进行校准，各方法所需的标准器设备及要求见表 2，可根据实际需求选择。

表 2 标准器要求

校准方法	标准器	标准器要求
方法 A	交流恒流源	电流应连续可调，经螺线管励磁后产生的磁场强度应覆盖校准所需的范围。输出电流频率应覆盖频率校准点，其输出电流在 60s 内的变化值所引入的误差不超过被校 H 线圈匝面积最大允许误差的 1/10。
	交流标准电流表	交流标准电流表在实际测量范围内的电流测量与频率测量误差应不超过被校 H 线圈匝面积最大允许误差的 1/5。
	交流标准电压表	交流标准电压表在实际测量范围内的误差应不超过被校 H 线圈匝面

		积最大允许误差的 1/5。
	螺线管	线圈常数引入的误差不大于被校 H 线圈匝面积最大允许误差的 1/5。
方法 B	恒流源	电流应连续可调，经螺线管励磁后产生的磁场强度应覆盖校准所需的范围。其输出电流在 60s 内的变化值所引入的误差不超过被校 H 线圈匝面积最大允许误差的 1/10。
	直流标准电流表	直流标准电流表在实际测量范围内的误差应不超过被校 H 线圈匝面积最大允许误差的 1/5。
	磁通计	磁通计在实际测量范围内的误差应不超过被校 H 线圈匝面积最大允许误差的 1/5，漂移小于 $1\mu\text{Wb}/\text{min}$ 。
	螺线管	同方法 A。
方法 C	标准 H 线圈	标准 H 线圈的匝面积最大允许误差应不超过被校 H 线圈匝面积最大允许误差的 1/3。
	交流标准电压表	同方法 A。

以上各方法组成的校准装置的扩展不确定度 ( $k=2$ ) 应不大于被校 H 线圈的最大允许误差绝对值的 1/3。

校准装置应具有良好的接地和屏蔽保护，远离电磁场的干扰。

校准所用仪器设备应经过计量技术机构检定（或校准），并在有效期内。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

H 线圈校准项目为匝面积。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 外观检查

目视或手动操作，检查被校 H 线圈，应符合以下要求：

- a) 外形结构完好，无影响正常工作的机械损伤；
- b) 外露部件应无松动；
- c) 线圈骨架无弯曲。

7.2.2 校准点的选择

7.2.2.1 磁场强度校准点的选取原则包括：

- a) 校准点一般选择在被校 H 线圈所在磁测系统的最大励磁磁场的 50% 以上。
- b) 可根据实际情况或送检单位的校准需求选取校准点。

7.2.2.2 频率校准点的选取

- a) 在方法 A 和方法 C 中，频率校准点应选取 50Hz 和 60Hz，若磁测系统实际使用可到 400Hz，则应增加 400Hz 的校准点。
- b) 可根据实际情况或送检单位的校准需求选取校准点。

7.2.3 匝面积校准

7.2.3.1 方法 A：交流电压测量法

- a) 按如图 3 所示，H 线圈置于螺线管中心处，使 H 线圈磁场测量方向与标准磁场方向一致，H 线圈连接至交流标准电压表；
- b) 用交流恒流源向螺线管中通入正弦交流电流，产生交流磁场；
- c) 记录交流标准电流表测得的电流峰值  $\hat{I}$  以及交流标准电压表测得的 H 线圈感应电压平均值  $\overline{U_H}$ 。

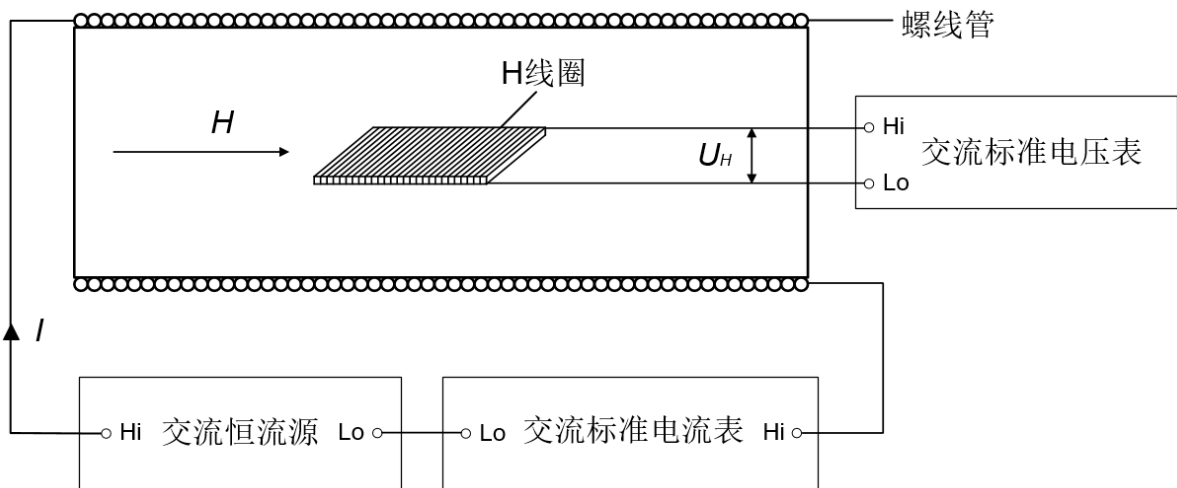


图 3 方法 A 校准示意图

螺线管中产生的磁场强度峰值  $\hat{H}$  按公式 (2) 计算。

$$\hat{H} = K\hat{I} \quad (2)$$

式中：

$\hat{H}$ ——螺线管产生的磁场强度的峰值, A/m;

$K$ ——螺线管线圈常数, 1/m;

$\hat{I}$ ——交流标准电流表测得的电流峰值, A。

H线圈匝面积实际值按公式(3)计算:

$$(NS)_s = \frac{\overline{U_H}}{4f\mu_0\hat{H}} \quad (3)$$

式中:

$(NS)_s$ ——H线圈匝面积实际值(标准值),  $m^2$ ;

$\overline{U_H}$ ——交流标准电压表测得的电压平均值, V;

$\mu_0$ ——真空磁导率, 约 $4\pi \times 10^{-7}$  H/m;

$f$ ——螺线管产生的交流磁场频率, Hz。

H线圈匝面积的示值误差按公式(4)计算:

$$\Delta = (NS)_x - (NS)_s \quad (4)$$

式中:

$\Delta$ ——H线圈匝面积的示值误差,  $m^2$ ;

$(NS)_x$ ——H线圈匝面积标称值,  $m^2$ 。

H线圈匝面积的相对误差按公式(5)计算:

$$\gamma = \left| \frac{\Delta}{(NS)_s} \right| \times 100\% \quad (5)$$

式中:

$\gamma$ ——H线圈匝面积的相对误差。

### 7.2.3.2 方法B: 直流磁通测量法

a) 按如图4所示, H线圈置于螺线管中心处, 使H线圈磁场测量方向与标准磁场方向一致, H线圈连接至磁通计, 调节磁通计漂移;

b) 根据磁场强度校准点选择恒流源的输出电流, 记录直流标准电流表的示值 $I_1$ , 磁通计清零后断开电流输出, 记录磁通计示值 $\Phi_1$ ;

c) 将恒流源输出电流反向, 记录直流标准电流表的示值 $I_2$ , 磁通计清零后断开恒流

源输出，记录磁通计示值  $\Phi_2$ 。

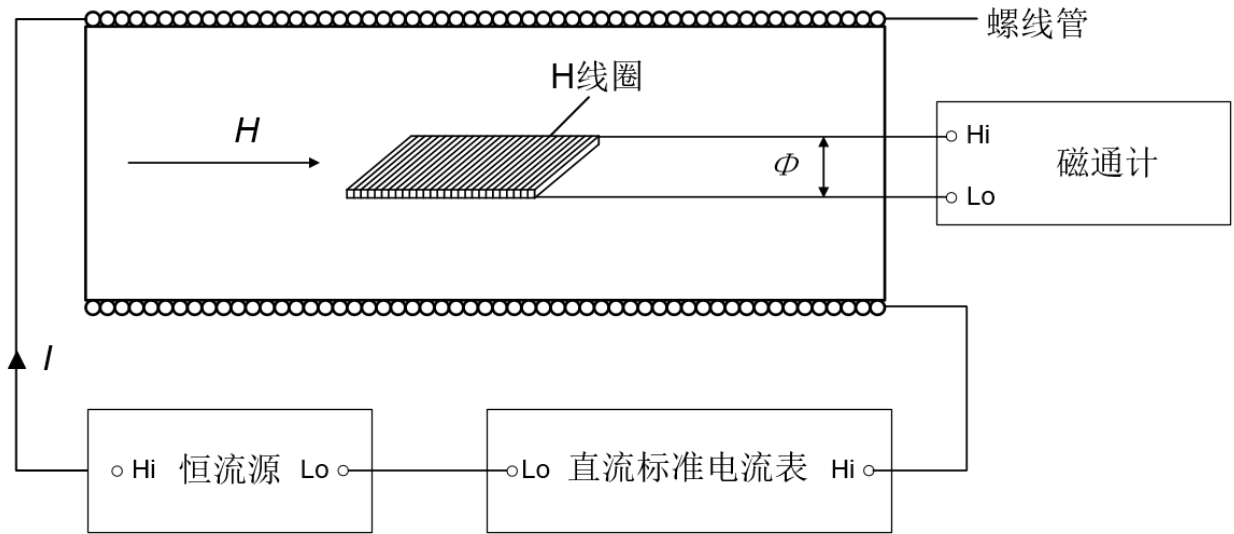


图 4 方法 B 校准示意图

H 线圈匝面积实际值按公式 (6) 计算：

$$(NS)_s = \frac{|\Phi_1| + |\Phi_2|}{\mu_0 K (|I_1| + |I_2|)} \quad (6)$$

式中：

$\Phi_1$ ——正向电流输出断电后磁通计示值，Wb；

$\Phi_2$ ——反向电流输出断电后磁通计示值，Wb；

$I_1$ ——正向电流输出时直流标准电表示值，A；

$I_2$ ——反向电流输出时直流标准电表示值，A；

H 线圈匝面积的示值误差按公式 (4) 计算。

H 线圈匝面积的相对误差按公式 (5) 计算。

### 7.2.3.3 方法 C：标准线圈比较法

当被校 H 线圈无法从磁测系统中取出时，可采用方法 C。校准方法如下。

- 将标准 H 线圈置于磁导计中心处，使 H 线圈磁场测量方向与磁场方向一致；
- 标准 H 线圈与被校 H 线圈先后接入交流标准电压表；
- 根据磁场强度校准点选择磁测系统的输出电流与输出频率，记录交流标准电压表两次测量的示值，连接标准 H 线圈时电压表的示值为  $U_0$ ，连接被校 H 线圈时电压表的示

值为  $U$ 。

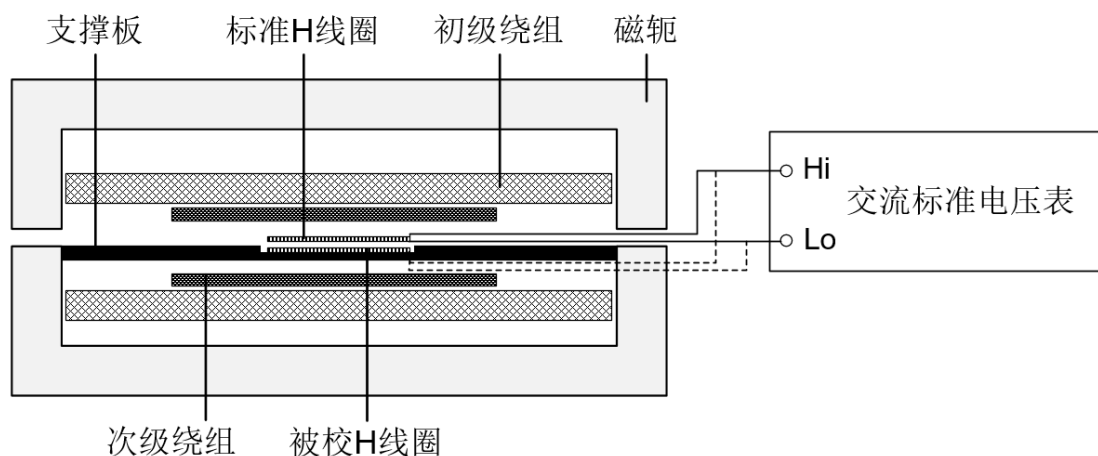


图 5 方法 C 校准示意图

H 线圈匝面积实际值按公式 (7) 计算:

$$(NS)_s = \frac{U}{U_0} (NS)_0 \quad (7)$$

式中:

$U$ ——连接被校 H 线圈时电压表的示值, V;

$U_0$ ——连接标准 H 线圈时电压表的示值, V;

$(NS)_0$ ——标准 H 线圈匝面积,  $\text{m}^2$ 。

H 线圈匝面积的示值误差按公式 (4) 计算;

H 线圈匝面积的相对误差按公式 (5) 计算。

## 8 校准结果表达

校准结果应在校准证书(报告)上反应, 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。

## 9 复校时间间隔

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

## 附录 A

## 测量不确定度评定示例（方法 A）

## A.1 概述

本附录在规定的条件下，按照本规范 7.2.3 方法 A 校准匝面积标称值为  $0.4\text{m}^2$  的 H 线圈，磁场强度校准点为  $1000\text{A/m}$ ，频率校准点为  $50\text{Hz}$ 。选取标准器螺线管线圈常数为  $4000\text{ 1/m}$ ，线圈常数测量不确定度为  $0.01\%$ 。

## A.2 测量模型

H 线圈匝面积的测量模型为：

$$(NS)_S = \frac{\overline{U}_H}{4f\mu_0 K \hat{I}}$$

式中：

$(NS)_S$ ——H 线圈匝面积实际值， $\text{m}^2$ ；

$K$ ——螺线管线圈常数， $1/\text{m}$ ；

$\overline{U}_H$ ——交流标准电压表测得的电压平均值， $\text{V}$ ；

$\hat{I}$ ——交流标准电流表测得的电流峰值， $\text{A}$ ；

$f$ ——交流标准电流表测得的电流频率， $\text{Hz}$ ；

$\mu_0$ ——真空磁导率，约  $4\pi \times 10^{-7}\text{H/m}$ 。

## A.3 测量不确定度主要来源

测量不确定度主要来源包括：

- 由交流标准电流表测量的电流峰值引入的不确定度分量  $u(\hat{I})$ ；
- 由交流标准电流表测量的电流频率引入的不确定度分量  $u(f)$ ；
- 由交流标准电压表测量的电压平均值引入的不确定度分量  $u(\overline{U}_H)$ ；
- 由螺线管线圈常数引入的不确定度分量  $u(K)$ ；

由于各不确定度分量间不相关，所以合成标准不确定度的计算公式为：

$$u_c((NS)_S) = \sqrt{c_1^2 u^2(\hat{I}) + c_2^2 u^2(f) + c_3^2 u^2(\overline{U}_H) + c_4^2 u^2(K)}$$

式中各灵敏系数分别为：



$$c_1 = \frac{\partial((NS)_S)}{\partial(\hat{I})} = -\frac{\overline{U_H}}{4f\mu_0K\hat{I}^2}$$

$$c_2 = \frac{\partial((NS)_S)}{\partial(f)} = -\frac{\overline{U_H}}{4f^2\mu_0K\hat{I}}$$

$$c_3 = \frac{\partial((NS)_S)}{\partial(\overline{U_H})} = \frac{1}{4f\mu_0K\hat{I}}$$

$$c_4 = \frac{\partial((NS)_S)}{\partial(K)} = -\frac{\overline{U_H}}{4f\mu_0K^2\hat{I}}$$

#### A.4 标准不确定度评定

##### A.4.1 由交流标准电流表测量的电流峰值引入的不确定度分量 $u(\hat{I})$

使用线圈常数为 40001/m 的螺线管励磁产生 1000A/m 的磁场，需要 0.25A 的励磁电流。

交流标准电流表经上级计量机构量值传递合格，使用说明书中技术指标给出 0.25A 点的最大允许误差为： $e = \pm (0.00006 \times 0.25\text{A} + 0.00004 \times 0.3\text{A}) \approx \pm 2.7 \times 10^{-5} \text{A}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_1 = u(\hat{I}) = \frac{\alpha}{k} = \frac{2.7 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} \text{A} = 1.559 \times 10^{-5} \text{A}$$

##### A.4.2 由交流标准电流表测量的电流频率引入的不确定度分量 $u(f)$

使用说明书中技术指标，50Hz 点最大允许误差为： $e = \pm 0.005\% \times 50\text{Hz} = 0.0025\text{Hz}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_2 = u(f) = \frac{0.0025}{\sqrt{3}} \text{Hz} = 1.443 \times 10^{-3} \text{Hz}$$

##### A.4.3 由交流标准电压表测量的电压平均值引入的不确定度分量 $u(\overline{U_H})$

使用说明书中技术指标给出 0.100531V 点的最大允许误差为： $e = \pm (0.00011 \times 0.100531\text{V} + 0.00002 \times 0.2\text{V}) \approx \pm 1.506 \times 10^{-5} \text{V}$ 。按均匀分布考虑，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则

$$u_3 = u(\overline{U_H}) = \frac{\alpha}{k} = \frac{1.506 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} \text{V} = 8.695 \times 10^{-6} \text{V}$$

##### A.4.4 由螺线管线圈常数引入的不确定度分量 $u(K)$

螺线管线圈常数的不确定度为 0.01% ( $k=2$ )，则：

$$u_4 = u(K) = \frac{4000 \times 1 \times 10^{-4}}{2} 1/m = 0.2 1/m$$

### A.5 合成标准不确定度

各不确定度分量汇总见表 A.3。

表 A.1 不确定度分量汇总表

不确定度来源	标准不确定度		概率分布	灵敏系数	不确定度分量 $m^2$
	符号	量值			
交流标准电流 表电流测量	$u(\hat{I})$	$1.599 \times 10^{-5} A$	均匀	-1.6	$-2.558 \times 10^{-5}$
交流标准电流 表频率测量	$u(f)$	$1.443 \times 10^{-3}$ Hz	均匀	-0.008	$1.154 \times 10^{-5}$
交流标准电压 表电压测量	$u(\overline{U_H})$	$8.695 \times 10^{-6} V$	均匀	3.979	$-3.460 \times 10^{-5}$
螺线管线圈常 数	$u(K)$	0.2 1/m	正态	-0.0001	$-2 \times 10^{-5}$

则 H 线圈匝面积的合成标准不确定度为：

$$u_c((NS)_S) = \sqrt{c_1^2 u^2(\hat{I}) + c_2^2 u^2(f) + c_3^2 u^2(\overline{U_H}) + c_4^2 u^2(K)} \approx 4.883 \times 10^{-5} m^2$$

### A.6 扩展不确定度

线圈常数的扩展不确定度：

$U((NS)_S) = k \cdot u_c((NS)_S)$ 。取  $k = 2$ ，由此可得 H 线圈校准结果的扩展不确定度为：

$$U((NS)_S) = k \cdot u_c((NS)_S) = 2 \times 4.883 \times 10^{-5} m^2 = 9.766 \times 10^{-5} m^2$$

换算至相对扩展不确定度为：

$$U_{rel} = 2.442 \times 10^{-4}, k = 2。$$

## 附录 B

## 校准原始记录格式

## 电工钢测量用 H 线圈校准原始记录

第 X 页/共 X 页

委托单位: \_\_\_\_\_  
 仪器名称: \_\_\_\_\_ 型号: \_\_\_\_\_ 编号: \_\_\_\_\_  
 生产厂家: \_\_\_\_\_  
 校准地点: \_\_\_\_\_ 技术依据: \_\_\_\_\_  
 温 度: \_\_\_\_\_ °C 相对湿度: \_\_\_\_\_ %

校准用的主要计量标准器具

标准器名称	编号	测量范围	不确定度/准确度等级/最大 允许误差	溯源单位	溯源证书号	有效期至

校准结果:

匝面积

a) 交流电压测量法

匝面积标 称值	频率	电流峰值	感应电压	匝面积实际 值	误差	测量不确定度

b) 直流磁通测量法

匝面积标 称值	正向电流	反向电流	正向磁通	反向磁通	误差	测量不确定度

c) 标准线圈比较法

匝面积标 称值	频率	标准 H 线圈 电压	被校 H 线圈 电压	标准 H 线圈匝面 积	误差	测量不确定度

校准员: \_\_\_\_\_ 核验员: \_\_\_\_\_ 校准日期: \_\_\_\_\_

## 附录 C 校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准机构授权说明：				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 它		
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 /最大允许误差	溯源机构/ 证书编号	有效期至

第 X 页/共 X 页

证书编号 XXXXXX-XXXX

# 校准结果

匝面积			
标称值/	实际值	误差	测量不确定度

校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求。

敬告：

1. 被校准仪器修理后，应立即进行校准。
2. 在使用过程中，如对被校准仪器的技术指标产生怀疑，请重新校准。
3. 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。

校准员：

核验员：

第 X 页/共 X 页