

JJF (沪苏浙皖)

沪苏浙皖地方计量校准规范

JJF (沪苏浙皖) 4008—2023

电流线圈校准规范

Calibration Specification of Current Coils

2023-08-31 发布

2024-02-29 实施

上海市市场监督管理局

江苏省市场监督管理局发布

浙江省市场监督管理局

安徽省市场监督管理局

电流线圈校准规范

Calibration Specification of Current Coils

JJF (沪苏浙皖) 4008-2023

归口单位：上海市市场监督管理局
江苏省市场监督管理局
浙江省市场监督管理局
安徽省市场监督管理局

主要起草单位：上海市计量测试技术研究院

参加起草单位：江苏省计量科学研究院
上海交通大学

本规范委托上海市计量测试技术研究院负责解释

本规范主要起草人：

周力任 (上海市计量测试技术研究院)

潘 洋 (上海市计量测试技术研究院)

朱 力 (上海市计量测试技术研究院)

参加起草人：

耿 骥 (上海市计量测试技术研究院)

张露妍 (江苏省计量科学研究院)

罗 响 (上海交通大学)

目 录

引言.....	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 术语和计量单位	1
4 概述	1
5 计量特性	1
6 校准条件	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 测量标准及其他设备.....	2
7 校准项目和校准方法	3
7.1 校准项目	3
7.2 校准方法	4
8 校准结果表达	5
9 复校时间间隔	6
附录 A 电流线圈测量不确定度评定示例	7
附录 B 校准原始记录格式	11
附录 C 校准证书内页格式	12

引 言

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》共同构成支撑本校准规范制定工作的基础性系列规范。

本规范为首次制定。

电流线圈校准规范

1 范围

本规范适用于输入为交、直流电流信号，输出为交、直流电压信号的电流线圈的校准。

本规范中电流测量范围为 0.01 A~20 kA，其中交流电流的频率为 50 Hz。

超出本规范测量范围和频率范围的电流线圈，若计量标准的测量能力满足相应的计量性能要求，可参照本规范执行。

本规范不适用于输出为数字信号的电流线圈的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1087—2002 直流大电流测量过程控制

JJF（军工）264—2020 电流传感器校准规范

GB/T 16927.4—2014 高电压和大电流试验技术第 4 部分：试验电流和测量系统的定义和要求

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

本规范引用文件中界定的术语和定义适用于本规范。

3.1 电流电压转换值 current to voltage conversion value

电流线圈输出电压值与输入电流值的比值，V/A。

注：V/A 表示电压电流转换关系。

4 概述

电流线圈通常由线圈、辅助电路、电流采样电阻（非必需的元件）等部件组成，将输入的电流信号按预期规律转换成电压信号输出，用于通用仪表测量交、直流电流信号。电流线圈常见工作原理有电磁感应式、磁调制式、霍尔效应式等。

5 计量特性

5.1 交流电流电压转换值

输入交流电流范围：0.01 A~20 kA；

频率：50 Hz；

最大允许误差： $\pm(0.05\% \sim 5\%)$ 。

5.2 直流电流电压转换值

输入直流电流范围： $\pm(0.01\text{A} \sim 20\text{kA})$ ；

最大允许误差： $\pm(0.005\% \sim 5\%)$ 。

注：具体计量特性参照被校电流线圈的技术要求，以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

按公式（1）计算被校电流线圈电流电压转换值的误差：

$$\Delta = S_r - S_a \quad (1)$$

式中：

Δ —被校电流线圈电流电压转换值的误差，V/A；

S_r —被校电流线圈电流电压转换标称值，V/A；

S_a —被校电流线圈电流电压转换实际值，V/A。

按公式（2）计算被校电流线圈电流电压转换值的相对误差：

$$\varepsilon_r = \frac{S_r - S_a}{S_a} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

ε_r —被校电流线圈电流电压转换值的相对误差，%。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度： $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ ；

6.1.2 相对湿度： $\leq 80\%$ ；

6.1.3 供电电源：电压 $(220 \pm 22)\text{V}$ 、频率 $(50 \pm 0.5)\text{Hz}$ ；

6.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2 测量标准及其他设备

校准装置的测量范围应覆盖被校电流线圈的测量范围，对应功能的扩展不确定度应不大于被校电流线圈相应功能最大允许误差绝对值的 1/3。测量标准主要设备一览表见表 1。

表 1 测量标准主要设备一览表

序号	校准方法	标准器名称	计量性能	
1	标准源法	标准电流源	交流电流范围：0.01 A~20 kA； 频率：50 Hz； 最大允许误差： $\pm(0.005\% \sim 1\%)$ 。	
			直流电流范围： $\pm(0.01 \text{ A} \sim 20 \text{ kA})$ ； 最大允许误差： $\pm(0.001\% \sim 1\%)$ 。	
标准电压表		交流电压范围：0.01 V~10 V； 频率：50 Hz； 最大允许误差： $\pm(0.01\% \sim 0.2\%)$ 。		
		直流电压范围： $(-10 \sim -0.01) \text{ V}$ 、 $(0.01 \sim 10) \text{ V}$ ； 最大允许误差： $\pm(0.0005\% \sim 0.2\%)$ 。		
3		标准表法	电流源	交流电流范围：0.01 A~20 kA； 频率：50 Hz； 失真度：小于 0.5%。
				直流电流范围：0.01 A~20 kA； 纹波系数：小于 0.5%。
电流比例标准器	交流电流范围：0.01 A~20 kA； 频率：50 Hz； 最大允许误差： $\pm(0.002\% \sim 0.2\%)$ 。			
	直流电流范围：0.01 A~20 kA； 最大允许误差： $\pm(0.0002\% \sim 0.2\%)$ 。			
5	标准电阻器		交流阻值最大允许误差： $\pm(0.002\% \sim 0.2\%)$ ； 频率：50 Hz； 年稳定度： $\pm(0.001\% \sim 0.2\%)$ 。	
			直流阻值最大允许误差： $\pm(0.0005\% \sim 0.2\%)$ ； 年稳定度： $\pm(0.0005\% \sim 0.2\%)$ 。	
6	标准电压表	交流电压范围：0.01 V~10 V； 频率：50 Hz； 最大允许误差： $\pm(0.01\% \sim 0.2\%)$ 。		
		直流电压范围： $(-10 \sim -0.01) \text{ V}$ 、 $(0.01 \sim 10) \text{ V}$ ； 最大允许误差： $\pm(0.0005\% \sim 0.2\%)$ 。		

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

序号	校准项目	校准方法条款
1	交流电流电压转换值	7.2.1
2	直流电流电压转换值	7.2.2

7.2 校准方法

7.2.1 校准点的选择

所有量程都应校准，每个量程选取 5 个校准点，平稳升电流至待校电流线圈量程上限的 10%、20%、50%、80%、100%，或以上校准点的附近，偏差小于量程百分数数值 $\pm 1\%$ （绝对偏差），应覆盖满量程校准点。

7.2.2 交流电流电压转换值

7.2.2.1 标准源法

按照被校电流线圈使用说明书的要求和规定进行预热和数值清零。标准源法如图 1 所示。标准电流源输出端与被校电流线圈输入端连接，被校电流线圈输出端与标准电压表测量端连接，根据校准点设定标准电流源的输出值 I ，记录标准电压表的示值 V 。

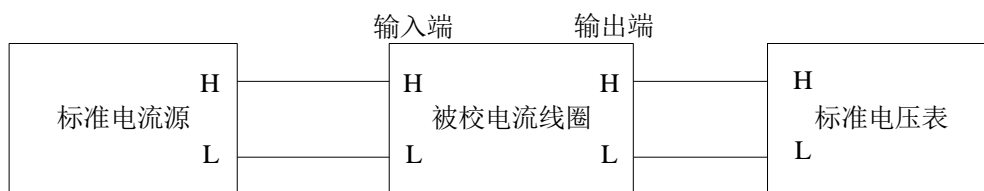


图 1 标准源法示意图

按公式（3）计算被校电流线圈交流电流电压转换实际值：

$$S_a = \frac{V}{I} \quad (3)$$

式中：

S_a —被校电流线圈电流电压转换实际值，V/A。

V —标准电压表的示值，V；

I —标准电流源的输出值，A。

7.2.2.2 标准表法

按照被校电流线圈使用说明书的要求和规定进行预热和数值清零。标准表法如图 2 所示。电流源输出端与电流比例标准器的输入端及被校电流线圈的输入端连接，电流比例标准器按预期比例变换电流后，其输出端连接标准电阻器的电流端，然后由标准电压表测量标准电阻器电位端的电压值 V_1 ；同时，另一台标准电压表测量被校电流线圈输出端的电压值 V_2 。

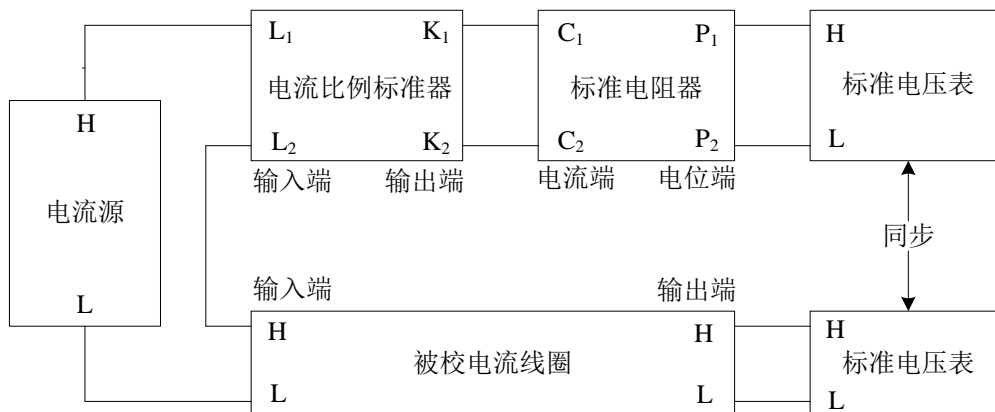


图 2 标准表法示意图

按公式 (4) 计算被校电流线圈交流电流电压转换实际值:

$$S_a = \frac{V_2}{\frac{V_1}{R} \times K} \quad (4)$$

式中:

S_a —被校电流线圈电流电压转换实际值, V/A。

V_2 —被校电流线圈输出端的电压值, V;

V_1 —标准电阻器电位端的电压值, V;

R —标准电阻器的电阻值, Ω ;

K —电流比例标准器的比例值, A/A。

7.2.3 直流电流电压转换值

7.2.3.1 标准源法

校准方法同 7.2.2.1。

7.2.3.2 标准表法

校准方法同 7.2.2.2。

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:

- 标题, 如“校准证书”;
- 实验室名称和地址;
- 进行校准的地点(如果与实验室的地址不同);
- 证书或报告的唯一性标识(如编号), 每页及总页数的标识;
- 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；
- q) 校准证书发布的日期。

测量不确定度评定示例见附录 A，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

电流线圈测量不确定度评定示例

A.1 交流电流电压转换值测量不确定度评定（标准源法）

A.1.1 依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法，对交流电流电压转换值进行测量不确定度评定。被校电流线圈交流电流电压转换标称值 0.36mV/A、额定电流 1000A、额定频率 50Hz；测量标准由标准电流源和标准电压表组成；校准方法为标准源法。

A.1.2 测量模型

$$S_{a(AC)} = \frac{V}{I} \quad (\text{A.1})$$

式中：

$S_{a(AC)}$ —交流电流电压转换实际值，V/A；

V —标准电压表的示值，V；

I —标准电流源的输出值，A。

A.1.3 测量不确定度的来源分析与评定

A.1.3.1 测量不确定度主要来源

被校电流线圈电流电压转换标称值 0.36mV/A，以交流电流 1000A、频率 50Hz 为例进行评定，不确定度来源主要有以下几项：

- 由测量重复性引入的不确定度分量 u_{a1} ，采用 A 类方法评定；
- 由标准电流源引入的不确定度分量 u_{b1} ，采用 B 类方法评定；
- 由标准电压表引入的不确定度分量 u_{b2} ，采用 B 类方法评定。

A.1.3.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_{a1}

表 A.1 测量结果及不确定度评定

测量次数	电流电压转换实际值(mV/A)	测量次数	电流电压转换实际值(mV/A)
1	0.36080	6	0.36082
2	0.36071	7	0.36076
3	0.36084	8	0.36089
4	0.36077	9	0.36082
5	0.36092	10	0.36073
10 次测量平均值		0.360806 mV/A	
标准不确定度		2.2×10^{-5} mV/A	

A.1.3.3 由标准电流源引入的不确定度分量 u_{b1}

标准电流源最大允许误差为 $\pm 0.01\%$ ，其引入的不确定度在区间内服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此 $u_{b1}=5.8\times 10^{-2}$ A。

A.1.3.4 由标准电压表引入的不确定度分量 u_{b2}

用数字多用表交流电压档 1V 量程，仪器手册提供的最大允许误差为 $\pm(7\times 10^{-5}\times\text{读数}+2\times 10^{-5}\times\text{量程})$ ，其引入的不确定度在区间内服从均匀分布，包含因子 $k=\sqrt{3}$ ，因此 $u_{B2}=2.7\times 10^{-5}$ V。

A.1.4 合成标准不确定度

灵敏系数如下：

$$c_1 = \frac{\partial S_{a(\text{AC})}}{\partial I} = -\frac{V}{I^2}$$

$$c_2 = \frac{\partial S_{a(\text{AC})}}{\partial V} = \frac{1}{I}$$

根据以上分析，可列出标准不确定度分量表，如表 A.2 所示，各分量间相互独立。

表 A.2 不确定度分量及合成表

不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏系数	标准不确定度
标准电流源	5.8×10^{-2} A	3.6×10^{-4} mV/A ²	2.1×10^{-5} mV/A
标准电压表	2.7×10^{-5} V	1×10^{-3} A ⁻¹	2.7×10^{-5} mV/A
测量重复性			2.2×10^{-5} mV/A
合成标准不确定度 u_c			4.1×10^{-5} mV/A

A.1.5 扩展不确定度计算

取 $k=2$ ，则交流电流 1000A 测量结果的扩展不确定度：

$$U=k\times u_c=8.2\times 10^{-5} \text{ mV/A } (k=2)$$

A.2 直流电流电压转换值测量不确定度评定（标准表法）

A.2.1 依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法，对直流电流电压转换值进行测量不确定度评定。被校电流线圈直流电流电压转换标称值 1mV/A、额定电流 1000A，测量标准由电流源、电流比例标准器、标准电阻器和两台标准电压表组成，校准方法为标准表法。

A.2.2 测量模型

$$S_{a(\text{DC})} = \frac{V_2}{\frac{V_1}{R} \times K} \quad (\text{A.2})$$

式中：

$S_{a(\text{DC})}$ —直流电流电压转换实际值，V/A；

V_2 —被校电流线圈输出端的电压值，V；

V_1 —标准电阻器电位端的电压值，V；

R —标准电阻器的电阻值， Ω ；

K —电流比例标准器的比例值，A/A。

A.2.3 测量不确定度的来源分析与评定

A.2.3.1 测量不确定度主要来源

被校电流线圈电流电压转换标称值 1mV/A，以直流电流 1000A 为例进行评定，不确定度来源主要有以下几项：

- 由测量重复性引入的不确定度分量 u_{a2} ，采用 A 类方法评定；
- 由标准电压表 1（测量被校电流线圈输出端的电压值）引入的不确定度分量 u_{b3} ，采用 B 类方法评定；
- 由标准电压表 2（测量标准电阻器电位端的电压值）引入的不确定度分量 u_{b4} ，采用 B 类方法评定；
- 由电流比例标准器引入的不确定度分量 u_{b5} ，采用 B 类方法评定；
- 由标准电阻器引入的不确定度分量 u_{b6} ，采用 B 类方法评定。

A.2.3.2 测量重复性引入的不确定度分量 u_{a2}

测量结果及不确定度评定见表 A.3。

表 A.3 测量结果及不确定度评定

测量次数	电流电压转换实际值(mV/A)	测量次数	电流电压转换实际值(mV/A)
1	1.0026	6	1.0021
2	1.0028	7	1.0022
3	1.0023	8	1.0029
4	1.0025	9	1.0025
5	1.0028	10	1.0027
10 次测量平均值		1.00254 mV/A	
标准不确定度		8.6×10^{-5} mV/A	

A.2.3.3 由标准电压表 1（测量被校电流线圈输出端的电压值）引入的不确定度分量 u_{b3}

用数字多用表直流电压档 1V 量程，仪器手册提供的最大允许误差为 $\pm(8 \times 10^{-6} \times \text{读数} + 3 \times 10^{-7} \times \text{量程})$ ，其引入的不确定度在区间内服从均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，因此 $u_{b4} = 4.8 \times 10^{-6}$ V。

A.2.3.4 由标准电压表 2 (测量标准电阻器电位端的电压值) 引入的不确定度分量 u_{b4}

用数字多用表直流电压档 1V 量程, 仪器手册提供的最大允许误差为 $\pm(8 \times 10^{-6} \times \text{读数} + 3 \times 10^{-7} \times \text{量程})$, 其引入的不确定度在区间内服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 因此 $u_{b4} = 4.8 \times 10^{-6} \text{ V}$ 。

A.2.3.5 由电流比例标准器引入的不确定度分量 u_{b5}

电流比例标准器最大允许误差为 $\pm 2 \times 10^{-6}$, 比例值为 1000, 其引入的不确定度在区间内服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 因此 $u_{b5} = 1.2 \times 10^{-3}$ 。

A.2.3.6 由标准电阻器引入的不确定度分量 u_{b6}

标准电阻器阻值标称值为 1Ω , 不确定度为 5×10^{-6} , 包含因子 $k=2$; 年稳定度为 5×10^{-6} , 其引入的不确定度在区间内服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 因此 $u_{b6} = 3.9 \times 10^{-6} \Omega$ 。

A.2.4 合成标准不确定度

灵敏系数如下:

$$c_3 = \frac{\partial S_{a(\text{DC})}}{\partial V_2} = \frac{R}{V_1 \times K}$$

$$c_4 = \frac{\partial S_{a(\text{DC})}}{\partial R} = \frac{V_2}{V_1 \times K}$$

$$c_5 = \frac{\partial S_{a(\text{DC})}}{\partial V_1} = -\frac{V_2 \times R}{V_1^2 \times K}$$

$$c_6 = \frac{\partial S_{a(\text{DC})}}{\partial K} = -\frac{V_2 \times R}{V_1 \times K^2}$$

根据以上分析, 可列出标准不确定度分量表, 如表 A.4 所示, 各分量间相互独立。

表 A.4 不确定度分量及合成表

不确定度来源	标准不确定度分量	灵敏系数	标准不确定度
标准电压表1	$4.8 \times 10^{-6} \text{ V}$	$1 \text{ m}\Omega/\text{V}$	$4.8 \times 10^{-6} \text{ m}\Omega$
标准电压表2	$4.8 \times 10^{-6} \text{ V}$	$1 \text{ m}\Omega/\text{V}$	$4.8 \times 10^{-6} \text{ m}\Omega$
电流比例标准器	1.2×10^{-3}	$1 \times 10^{-3} \text{ m}\Omega$	$1.2 \times 10^{-6} \text{ m}\Omega$
标准电阻器	$3.9 \times 10^{-6} \Omega$	1×10^{-3}	$3.9 \times 10^{-6} \text{ m}\Omega$
测量重复性			$8.6 \times 10^{-5} \text{ mV/A}$
合成标准不确定度 u_c			$8.7 \times 10^{-5} \text{ mV/A}$

A.2.5 扩展不确定度计算

取 $k=2$, 则直流电流 1000A 测量结果的扩展不确定度:

$$U = k \times u_c = 1.8 \times 10^{-4} \text{ mV/A} (k=2)$$

附录 B

校准原始记录格式

被校仪器基本信息							
委托单位				地址			
仪器名称				型号/规格			
生产厂家				出厂编号			
测量范围				准确度等级			
校准时使用的标准器							
名称				型号/规格			
溯源证书				有效期至			
不确定度或准确度等级 或最大允许误差				测量范围			
校准依据				校准地点			
环境温度				相对湿度			
校准结果							
电流电压转换标称值							
量程 (A)	输入电流值 (A)		输出电压值 (V)		电流电压转换 实际值 (V/A)	不确定度 ($k=2$)	
备注：标准源法							
量程 (A)	比例值 (A/A)	电阻值 (Ω)	电阻器 电压值 (V)	输入 电流值 (A)	输出 电压值 (V)	电流电压转 换实际值 (V/A)	不确定度 ($k=2$)
备注：标准表法							

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 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/ 最大允许误差	检定/校准 证书编号	溯源机构 名称	证书 有效期至

注：

1. XXXXX仅对加盖“XXXXX校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
3. 未经实验室书面批准，不得部分复印证书。

第 X 页 共 X 页

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准结果

1.交流电流电压转换值				
量程	输入电流值(A)	电流电压转换 标称值(V/A)	电流电压转换 实际值(V/A)	不确定度 ($k=2$)
备注: 频率为 50Hz				
2.直流电流电压转换值				
量程	输入电流值(A)	电流电压转换 标称值(V/A)	电流电压转换 实际值(V/A)	不确定度 ($k=2$)
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。				

校准员:

核验员:

X 页 共 X 页

沪苏浙皖地方校准规范

电流线圈校准规范

JJF (沪苏浙皖) 4008—2023