

JJF (沪苏浙皖)

沪苏浙皖地方计量校准规范

JJF (沪苏浙皖) 4007—2023

交直流大电流测量仪校准规范

Calibration Specification of AC/DC High Current Measuring Instruments

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

交直流大电流测量仪 校准规范

JJF (沪苏浙皖) 4007-2023

Calibration Specification of AC/DC High Current Measuring Instruments

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：无锡市检验检测认证研究院
国网浙江省电力有限公司电力科学研究院

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）

来 磊（上海市计量测试技术研究院）

参加起草人：

冯 建（上海市计量测试技术研究院）

严海东（无锡市检验检测认证研究院）

王一帆（国网浙江省电力有限公司电力科学研究院）

目 录

引 言.....	II
1 范围	1
2 引用文件	1
3 概述	1
4 计量特性	1
4.1 交流电流.....	1
4.2 直流电流.....	1
5 校准条件	2
5.1 环境条件.....	2
5.2 测量标准及其他设备.....	2
6 校准项目和校准方法	3
6.1 校准项目	3
6.2 校准方法	3
7 校准结果表达	5
8 复校时间间隔	5
附录 A	6
附录 B	10
附录 C	11

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。

交直流大电流测量仪校准规范

1 范围

本规范适用于直接测量交流电流和或直流电流的交直流大电流测量仪（以下简称测量仪）的校准。

超出本规范测量范围和频率范围的测量仪，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。

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 1587—2016 数字多用表校准规范

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 概述

测量仪用于直接测量交流电流和直流电流，显示测量值的仪表，其工作原理框图如图 1 所示。电流输入测量仪后电流比例变换单元将大电流变换成小电流，再由电流电压转换单元将电流信号转换成电压信号，伴随有超量程保护单元，经过信号处理后显示测量结果。

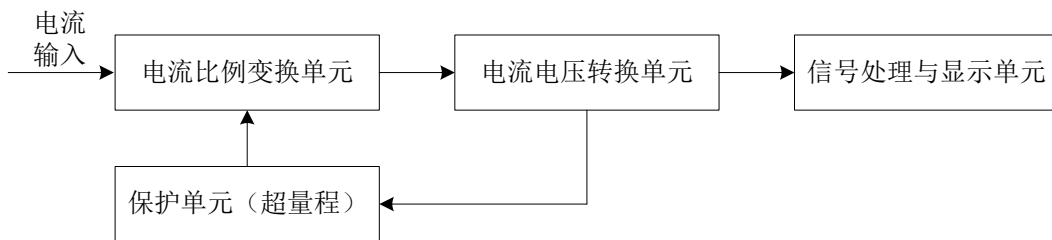


图 1 测量仪工作原理框图

4 计量特性

4.1 交流电流

测量范围：100 A~20 kA，50Hz。

最大允许误差不低于 $\pm 0.1\%$ 。

4.2 直流电流

测量范围：100 A~20 kA。

最大允许误差不低于 $\pm 0.05\%$ 。

注：以上指标不适用于合格性判别，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 环境温度： $(20\pm 1)^{\circ}\text{C}$ ；

5.1.2 相对湿度：20%~80%；

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

5.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

5.2 测量标准及其他设备

校准装置的测量范围应覆盖被校测量仪的测量范围，对应功能的最大允许误差绝对值（或不确定度）不大于被校测量仪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：100 A~20 kA； 频率：50 Hz； 最大允许误差： $\pm(0.005\%\sim 0.05\%)$ 。
			直流电流范围： $\pm(100\text{ A}\sim 20\text{ kA})$ ； 最大允许误差： $\pm(0.001\%\sim 0.02\%)$ 。
2	标准电流电压法	电流源	交流电流范围：100 A~20 kA； 频率：50 Hz； 失真度：小于 1%； 调节细度：不低于被校测量仪最大允许误差绝对值的 1/10； 稳定度：引入的不确定度不大于被校测量仪最大允许误差绝对值的 1/10。
			直流电流范围： $\pm(100\text{ A}\sim 20\text{ kA})$ ； 纹波系数：小于 1%； 调节细度：不低于被校测量仪最大允许误差绝对值的 1/10； 稳定度：引入的不确定度不大于被校测量仪最大允许误差绝对值的 1/10。
3		电流比例标准器	交流电流范围：100 A~20 kA； 频率：50 Hz； 最大允许误差： $\pm(0.001\%\sim 0.01\%)$ 。
			直流电流范围： $\pm(100\text{ A}\sim 20\text{ kA})$ ； 最大允许误差： $\pm(0.0001\%\sim 0.005\%)$ 。

4		标准电阻器	交流阻值最大允许误差：±(0.001%~0.1%)； 频率：50 Hz； 年稳定度：±(0.001%~0.05%)。
			直流阻值最大允许误差：±(0.0005%~0.1%)； 年稳定度：±(0.0005%~0.02%)。
5		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：±(0.003%~0.2%)。
			直流电压范围：-10 V~10 V； 最大允许误差：±(0.0005%~0.2%)。

6 校准项目和校准方法

6.1 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	交流电流示值	6.2.1
2	直流电流示值	6.2.2

6.2 校准方法

6.2.1 交流电流示值

6.2.1.1 标准源法

如图 2 所示。标准电流源输出端与被校测量仪输入端连接，根据校准点设定标准电流源的输出值。

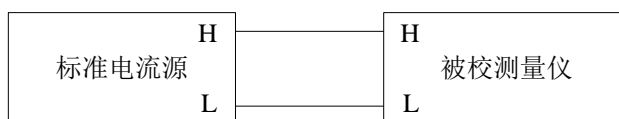


图 2 标准源法示意图

测量仪的示值误差均用公式（1）表示，示值相对误差均用公式（2）表示：

$$\Delta = I_x - I_R \quad (1)$$

式中：

Δ —示值误差，A；

I_x —被校测量仪的示值，A；

I_R —对应示值的参考值（标准值），A；

$$\gamma = \frac{\Delta}{I_R} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

γ —示值相对误差，%。

6.2.1.2 标准电流电压法

如图 3 所示。电流源输出端与电流比例标准器的一次侧及被校测量仪输入端连接，电流比例标准器将大电流按预期比例转换为小电流，其二次侧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。

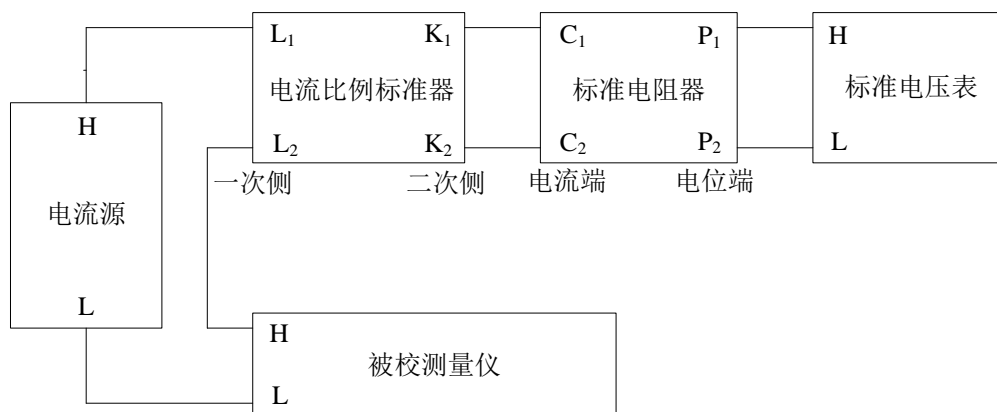


图 3 标准电流电压法示意图

由式（3）可计算得到电流标准值：

$$I_R = \frac{V_0}{R} \times K \quad (3)$$

式中：

V_0 —标准电压表示值，V；

R —标准电阻器阻值， Ω ；

K —电流比例标准器的比例值。

6.2.2 直流电流示值

6.2.2.1 标准源法

校准方法同 6.2.1.1。

6.2.2.2 标准电流电压法

校准方法同 6.2.1.2。

6.2.3 校准程序

按照被校测量仪使用说明书的要求和规定进行预热。所有量程都需校准，每个量程选取 5 个校准点，平稳升电流至待校仪器量程上限的 10%、20%、50%、80%、100%。读出每个校准点的示值，同时记录标准源的输出值或标准电压表的示值。

7 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；
- 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。

8 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

测量仪测量不确定度评定示例

A.1 直流电流示值测量不确定度评定（标准源法）

依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法，对直流电流示值进行测量不确定度评定。被校仪器量程上限 1000A，最大允许误差为 $\pm(0.03\% \times \text{读数} + 0.02\% \times \text{量程})$ ；测量标准为标准电流源，量程上限 2000A；校准方法为标准源法。

A.1.1 测量模型

$$I_{x(\text{DC})} = I_{R(\text{DC})} + \Delta_{(\text{DC})} \quad (\text{A.1})$$

式中：

$I_{x(\text{DC})}$ —被校测量仪的示值，A；

$I_{R(\text{DC})}$ —电流源的输出标准值，A；

$\Delta_{(\text{DC})}$ —示值误差，A；

A.1.2 测量不确定度的来源分析与评定

A.1.2.1 测量不确定度主要来源

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：

- (1) 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；
- (2) 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；
- (3) 由被校测量仪分辨力引入的不确定度分量 u_{b2} ，采用 B 类方法评定。

备注：比较测量重复性与被校测量仪分辨力引入的不确定度分量，取数值大者与其他不确定度分量进行合成。

A.1.2.2 由测量重复性引入的不确定度分量 u_{a1}

测量结果及不确定度评定见表 A.1。

表 A.1 测量结果及不确定度评定

测量次数	示值(A)	测量次数	示值(A)
1	1000.18	6	1000.23
2	1000.25	7	1000.24
3	1000.27	8	1000.22
4	1000.22	9	1000.26
5	1000.19	10	1000.27
10 次测量平均值		1000.233 A	
标准不确定度		9.9×10^{-3} A	

A.1.2.3 由标准电流源引入的不确定度分量 u_{b1}

标准电流源直流参数的最大允许误差为 $\pm 0.005\%$ ，短时稳定性为 1×10^{-5} ，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 $u_{b1}=3.5 \times 10^{-2} \text{ A}$ 。

A.1.2.4 由被校测量仪分辨力引入的不确定度分量 u_{b2}

被校测量仪在直流 1000A 点的分辨力为 0.01 A，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 $u_{b2}=2.9 \times 10^{-3} \text{ A}$

A.1.3 合成标准不确定度

灵敏系数如下：

$$c_1 = \frac{\partial I_{x(\text{DC})}}{\partial I_{R(\text{DC})}} = 1$$

$$c_2 = \frac{\partial I_{x(\text{DC})}}{\partial A_{(\text{DC})}} = 1$$

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	$3.5 \times 10^{-2} \text{ A}$	1	$3.5 \times 10^{-2} \text{ A}$
测量重复性			$9.9 \times 10^{-3} \text{ A}$
合成标准不确定度 u_c			$3.7 \times 10^{-2} \text{ A}$

A.1.4 扩展不确定度计算

包含因子 $k=2$ ，则直流电流 1000A 测量结果的扩展不确定度：

$$U = k \times u_c = 0.074 \text{ A} \quad (k=2)$$

A.2 交流电流示值测量不确定度评定（标准电流电压法）

依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法，对交流电流示值进行测量不确定度评定。被校仪器量程上限 1000A，最大允许误差为 $\pm(0.05\% \times \text{读数} + 0.025\% \times \text{量程})$ ；测量标准由电流源、电流比例标准器、标准电阻器和标准电压表组成，电流量程上限 1000A；校准方法为标准电流电压法。

A.2.1 测量模型

$$I_{x(\text{AC})} = \frac{V_0}{R} \times K + A_{(\text{AC})} \quad (\text{A.2})$$

式中：

$I_{x(\text{AC})}$ —被校测量仪的示值，A；

$A_{(\text{AC})}$ —示值误差，A；

V_0 —标准电压表示值, V;

R —标准电阻器阻值, Ω ;

K —电流比例标准器的比例值;

A.2.2 测量不确定度的来源分析与评定

A.2.2.1 测量不确定度主要来源

以交流电流 1000A 为例进行评定, 不确定度来源主要有以下几项:

- (1) 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;
- (2) 由电流比例标准器引入的不确定度分量 u_{b3} , 采用 B 类方法评定;
- (3) 由标准电阻器引入的不确定度分量 u_{b4} , 采用 B 类方法评定;
- (4) 由标准电压表引入的不确定度分量 u_{b5} , 采用 B 类方法评定;
- (5) 由电流源稳定度引入的不确定度分量 u_{b6} , 采用 B 类方法评定;
- (6) 由被校测量仪分辨力引入的不确定度分量 u_{b7} , 采用 B 类方法评定。

备注: 比较测量重复性与被校测量仪分辨力引入的不确定度分量, 取数值大者与其他不确定度分量进行合成。

A.2.2.2 由测量重复性引入的不确定度分量 u_{a2}

表 A.3 测量结果及不确定度评定

测量次数	示值(A)	测量次数	示值(A)
1	999.617	6	999.615
2	999.632	7	999.651
3	999.645	8	999.630
4	999.624	9	999.617
5	999.649	10	999.642
10 次测量平均值		999.632 A	
标准不确定度		4.4×10^{-3} A	

A.2.2.3 由电流比例标准器引入的不确定度分量 u_{b3}

电流比例标准器交流参数的准确度等级为 0.001 级, 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 $u_{b3}=5.8 \times 10^{-3}$ 。

A.2.2.4 由标准电阻器引入的不确定度分量 u_{b4}

标准电阻器阻值标称值为 1Ω , 交流参数溯源结果的不确定度为 1.4×10^{-5} , 包含因子 $k=2$; 年稳定度为 2×10^{-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 $u_{b4}=7.1 \times 10^{-6} \Omega$ 。

A.2.2.5 由标准电压表引入的不确定度分量 u_{b5}

用八位半数字多用表（型号：3458A）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 $u_{b5}=5.2\times 10^{-5}$ V。

A.2.2.6 由电流源稳定度引入的不确定度分量 u_{b6}

电流源交流 1000 A 短时稳定度为 5×10^{-5} ，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 $u_{b6}=2.9\times 10^{-2}$ A

A.2.2.7 由被校测量仪分辨力引入的不确定度分量 u_{b7}

被校测量仪在交流 1000A 点的分辨力为 0.001 A，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 $u_{b7}=2.9\times 10^{-4}$ A

A.2.3 合成标准不确定度

灵敏系数如下：

$$c_3 = \frac{\partial I_{x(AC)}}{\partial V_0} = \frac{K}{R} = 1000 \Omega^{-1}$$

$$c_4 = \frac{\partial I_{x(AC)}}{\partial R} = -\frac{V_0 \times K}{R^2} = -1000 \text{ V} \cdot \Omega^{-2}$$

$$c_5 = \frac{\partial I_{x(AC)}}{\partial K} = \frac{V_0}{R} = 1 \text{ A}$$

$$c_6 = \frac{\partial I_{x(AC)}}{\partial A_{(AC)}} = 1$$

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
电流比例标准器	5.8×10^{-3}	1 A	5.8×10^{-3} A
标准电阻器	$7.1\times 10^{-6}\Omega$	$-1000 \text{ V} \cdot \Omega^{-2}$	7.1×10^{-3} A
标准电压表	5.2×10^{-5} V	$1000 \Omega^{-1}$	5.2×10^{-2} A
电流源稳定度	2.9×10^{-2} A	1	2.9×10^{-2} A
测量重复性			4.4×10^{-3} A
合成标准不确定度 u_c			6.1×10^{-2} A

A.2.4 扩展不确定度计算

包含因子 $k=2$ ，则交流电流 1000A 测量结果的扩展不确定度：

$$U=k\times u_c=0.13 \text{ A} (k=2)$$

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						
<input type="checkbox"/> 交流电流 (频率为50Hz) <input type="checkbox"/> 直流电流						
量程 (A)	标准值 (A)		示值 (A)		不确定度 (k=2)	
备注：标准源法						
量程 (A)	电流比例 (A/A)	电阻值 (Ω)	电压值 (V)	标准值 (A)	示值 (A)	不确定度 (k=2)
备注：标准电流电压法						

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。

证书编号: XXXXXX-XXXX

校准结果

1. 交流电流 (频率为 50Hz)			
量程	标准值(A)	示值(A)	不确定度($k=2$)
2. 直流电流			
量程	标准值(A)	示值(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
交直流大电流测量仪校准规范
JJF (沪苏浙皖) 4007-2023