

JJF(沪苏浙皖)

沪苏浙皖地方计量校准规范

JJF(沪苏浙皖) 4014—2025

直流大电流源校准规范

Calibration Specification of DC High Current Sources

2025-08-15 发布

2026-02-15 实施

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

发布

直流大电流源校准规范

Calibration Specification
for DC High Current Sources



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：浙江省质量科学研究院

参加起草单位：上海市计量测试技术研究院
长沙天恒测控技术有限公司

本规范委托浙江省质量科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

陈习权 (浙江省质量科学研究院)

林 婷 (浙江省质量科学研究院)

刘 珂 (浙江省质量科学研究院)

参加起草人：

曾佳旭 (浙江省质量科学研究院)

冯 建 (上海市计量测试技术研究院)

陈文志 (长沙天恒测控技术有限公司)

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 概述	(1)
4 计量特性	(2)
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	(6)
8 复校时间间隔	(7)
附录 A 直流大电流标准源输出直流电流测量不确定度评定示例	(8)
附录 B 校准原始记录格式	(12)
附录 C 校准证书内页格式	(15)

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。

本规范为首次制定。

直流大电流源校准规范

1 范围

本规范适用于输出直流电流（0.1~10）kA 的直流大电流源（以下简称大电流源）的校准。测量范围大于 10kA 的大电流源的校准，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 1284—2011 交直流电表校验仪校准规范

JJF 1597—2016 直流稳定电源校准规范

JJF 1638—2017 多功能标准源校准规范

JJF 1923—2021 电测量仪表校验装置校准规范

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

大电流源是一种可提供稳定、准确电流输出，具有一定输出功率的直流电流发生装置，通常用于校准直流电流表、直流电流传感器和直流电流比例标准等。大电流源通过能量转换、整流滤波、稳压控制、保护机制的协同工作实现大电流的稳定输出，一般由人机交互与显示单元、升流单元、稳流单元、输出单元、反馈控制单元等部分组成，其原理结构如图 1 所示。

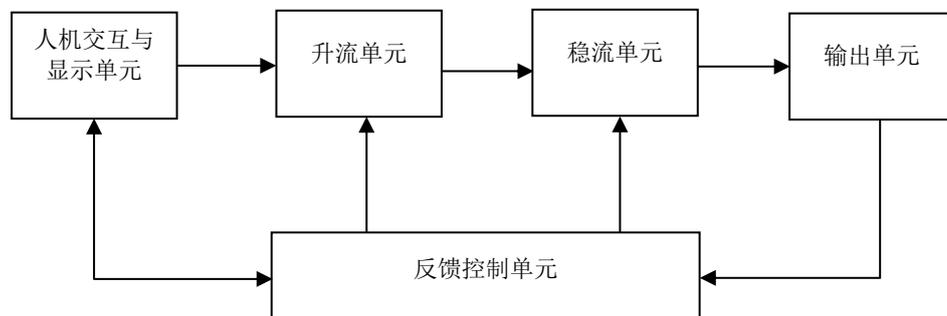


图 1 大电流源原理结构框图

4 计量特性

4.1 直流电流示值误差

测量范围：(0.1~10) kA；

最大允许误差：± (0.01%~5%)。

4.2 输出短期稳定性

在规定时间间隔内（一般为1min~10min），最大允许误差优于±0.05%的大电流源，其输出电流的最大变化量不超过最大允许误差绝对值的1/5；其他大电流源允许其最大变化量不超过最大允许误差绝对值的1/10。

注：以上指标不用于合格性判别，仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度：(20±5) °C；

相对湿度：35%~75%；

供电电源：电压：(220±22) V 或 (380±38) V，频率：(50±0.5) Hz；

其他：周围无明显影响设备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

5.2.1 测量装置的扩展不确定度 ($k=2$) 应不大于大电流源最大允许误差绝对值的1/3，测量范围应覆盖大电流源的输出范围。

5.2.2 校准时所需的测量标准及配套设备见表1，可根据实际需求选择。

表1 测量标准及配套设备

序号	校准方法	标准器名称	计量性能
1	电流电压转换法	电流电压转换器 (含精密同轴分流器)	电流测量范围：(0.1~10) kA 最大允许误差：± (0.002%~1%)
		直流电流比例标准	电流测量范围：(0.1~10) kA 最大允许误差：± (0.002%~1%)
		直流标准电阻	测量范围：额定电流不小于校准时电流 最大允许误差（年稳定度）： ± (0.001%~0.2%)
		直流电压表	电压测量范围：± (0.01~10) V 最大允许误差：± (0.0005%~0.2%)
2	标准电流表法	直流大电流表	电流测量范围：(0.1~10) kA 最大允许误差：± (0.002%~1%)
		直流电流比例标准	电流测量范围：(0.1~10) kA

		最大允许误差: $\pm (0.002\% \sim 1\%)$
	直流电流表	电流测量范围: $\pm (0.01 \sim 10) \text{A}$ 最大允许误差: $\pm (0.002\% \sim 0.2\%)$

5.2.3 电流电压转换器的额定电流应不小于校准时的测量电流, 并考虑其功率系数和负载效应。

5.2.4 测量装置 (包括测量线路) 应具有良好的屏蔽保护和接地措施。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

大电流源的校准项目见表 2。

表 2 校准项目

序号	校准项目	校准方法条款
1	直流电流示值误差	6.2.2
2	输出短期稳定性	6.2.3

6.2 校准方法

6.2.1 校准前的准备

6.2.1.1 外观及通电检查

a) 目测或手动操作, 检查大电流源, 应符合以下要求:

外形结构完好, 外露部件无松动、脱落或损坏, 无影响正常工作的机械损伤; 按键应灵活可靠, 无接触不良现象; 各标志 (仪器名称、型号、出厂编号、生产单位、生产日期、供电电源电压等) 应清晰、正确、完整。

b) 通电检查显示字符段应完整、清晰、正确; 量程切换应正常; 输出直流电流应连续、平稳; 调节细度应不超过大电流源最大允许误差绝对值的 1/10。

6.2.1.2 预热、预调

大电流源应在校准条件下, 按照使用说明书的要求和规定进行预热、预调。

注: 电流连接导线应使用横截面积不小于 $25\text{mm}^2/100\text{A}$ 的铜线, 并确保接触良好。

6.2.2 直流电流示值误差

6.2.2.1 校准点的选取原则

校准点应覆盖所有量程并兼顾各量程之间的覆盖性及量程内的均匀性, 一般选取准确度最高的量程为基本量程, 其它量程为非基本量程。基本量程内均匀选取不少于 5 个校准点, 包括量程值的 10% 点和 100% 点 (或接近 100% 点); 非基本量程均匀选取不少于 3 个校准点, 包

括量程值的 10%点和 100%点 (或接近 100%点)。也可根据用户要求选取校准点。

6.2.2.2 电流电压转换法

a) 校准线路如图 2(a)或图 2(b)所示。

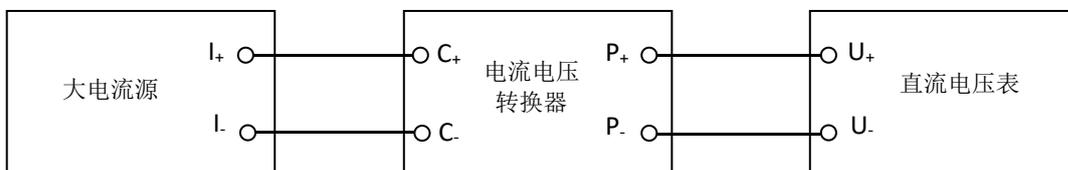


图 2(a) 电流电压转换法校准线路 1

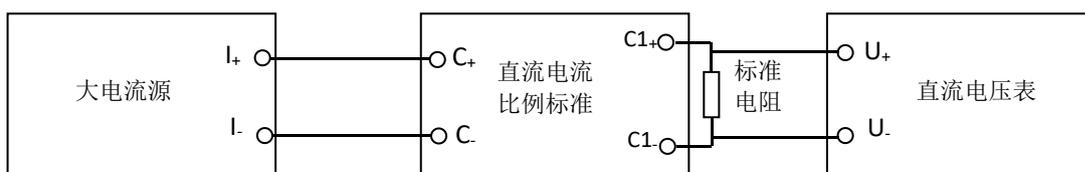


图 2(b) 电流电压转换法校准线路 2

b) 按照校准点，选择与之匹配的电流电压转换器或直流电流比例标准。将大电流源的输出端连接电流电压转换器或直流电流比例标准的电流端，直流电压表的电压输入端连接电流电压转换器或标准电阻的电位端。

c) 按图 2(a)接线时，根据校准点调节大电流源，分别记录大电流源的输出值 I_X ，电流电压转换器的标称比例 K_N ，直流电压表的直流电压示值 V_N 。则大电流源的直流电流示值误差按式 (1) 计算。

$$\Delta I = I_X - K_N \cdot V_N \quad (1)$$

式中：

ΔI ——大电流源直流电流示值误差，A；

I_X ——大电流源输出直流电流示值，A；

K_N ——电流电压转换器的标称比例，A/V；

V_N ——直流电压表直流电压示值，V。

d) 按图 2(b)接线时，根据校准点调节大电流源，分别记录大电流源的输出值 I_X ，直流电流比例标准的标称比例 K ，标准电阻阻值 R ，直流电压表的直流电压示值 V_N 。则大电流源的直流电流示值误差按式 (2) 计算。

$$\Delta I = I_X - K \cdot \frac{V_N}{R} \quad (2)$$

式中：

ΔI ——大电流源直流电流示值误差，A；

I_X ——大电流源输出直流电流示值, A;

K ——直流电流比例标准的标称比例, A/A;

V_N ——直流电压表直流电压示值, V;

R ——标准电阻阻值, Ω 。

6.2.2.3 标准电流表法

a) 校准线路如图 3(a) 或图 3(b) 所示。

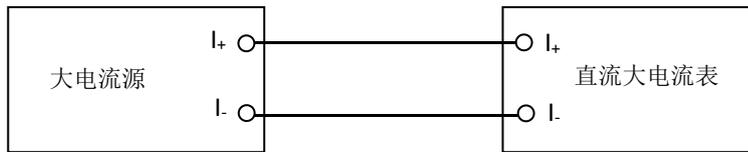


图 3(a) 标准电流表法校准线路 1

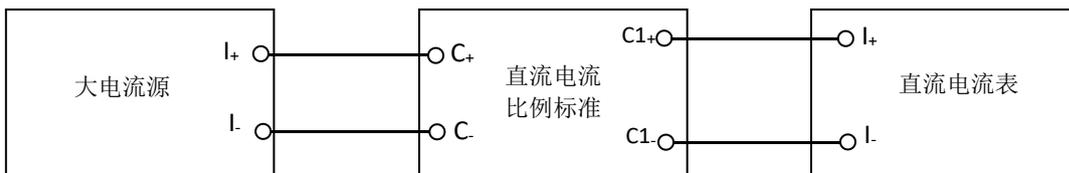


图 3(b) 标准电流表法校准线路 2

b) 按图 3(a) 接线时, 根据校准点, 选择与之匹配的直流大电流表, 将大电流源的输出端直接连接直流大电流表的输入端。根据校准点调节大电流源, 分别记录大电流源的输出值和直流大电流表的示值。设大电流源输出值为 I_X , 此时直流大电流表的示值为 I_N , 则大电流源的直流电流示值误差按式 (3) 计算。

$$\Delta I = I_X - I_N \quad (3)$$

式中:

ΔI ——大电流源电流示值误差, A;

I_X ——大电流源输出电流示值, A;

I_N ——直流大电流表示值, A。

c) 按图 3(b) 接线时, 根据校准点, 选择与之匹配的直流电流比例标准, 将大电流源的输出端连接至直流电流比例标准的一次电流输入端, 将直流电流比例标准的二次电流输出端连接至直流电流表。根据校准点调节大电流源, 分别记录大电流源的输出值和直流电流表的示值。设大电流源输出值为 I_X , 直流电流比例标准的标称比例 K , 直流电流表的示值为 I_N , 则大电流源的直流电流示值误差按式 (4) 计算。

$$\Delta I = I_X - K \cdot I_N \quad (4)$$

式中:

ΔI ——大电流源电流示值误差, A;

I_X ——大电流源输出电流示值, A;

K ——直流电流比例标准的标称比例, A/A;

I_N ——直流电流表示值, A。

6.2.3 输出短期稳定性

校准点为基本量程的 10% 和 100% 满量程值。在校准条件下, 大电流源输出直流电流至校准点, 在仪器说明书规定的稳定时间间隔内, 等时间间隔连续测量不少于 10 个点, 记录直流电流输出示值的最大值 I_{\max} 、最小值 I_{\min} 以及平均值 \bar{I} , 大电流源直流电流输出短期稳定性按式(5)计算。

$$S = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{\bar{I}} \times 100\% \quad (5)$$

式中:

S ——大电流源直流电流输出短期稳定性;

I_{\max} ——稳定时间内连续测量输出电流的最大值, A;

I_{\min} ——稳定时间内连续测量输出电流的最小值, A;

\bar{I} ——稳定时间内连续测量输出电流的平均值, A。

7 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反应, 校准证书应至少包含以下信息:

- 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;
- h) 对校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;

- j) 校准环境的描述;
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- l) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对校准过程中被校对象的设置和操作进行说明;
- 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, 不得部分复制证书的声明。

校准原始记录格式见附录 B, 校准证书内页格式见附录 C。

8 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。

送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A 直流大电流源输出直流电流示值误差测量不确定度评定示例

A.1 概述

依据 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》中规定的方法，对直流大电流源输出直流电流示值误差进行测量不确定度评定。

A.1.1 测量环境条件

温度为 20.0℃，相对湿度为 55%。

A.1.2 测量标准

见表 A.1。

表 A.1 测量标准

序号	标准器	测量范围	最大允许误差
1	电流电压转换器	输入电流：(200~2000) A 输出电压：(0.1~1.0) V	±0.0025%量程
2	数字多用表	直流电压：200mV~2V	±(3.0×10 ⁻⁶ 读数+0.2×10 ⁻⁶ 量程)

A.1.3 被测对象

见表 A.2。

表 A.2 被测对象

被校设备	测量范围	最大允许误差
直流大电流标准源	(100~5000)A	±0.01%

A.1.4 测量方法

以直流电流 2000A 为例，采用电流电压转换法测量。大电流源输出电流示值 I_X ，记录电流电压转换器的标称比例 V_N 和数字多用表直流电压示值 V_N 。

A.2 测量模型

$$\Delta I = I_X - K_N \cdot V_N$$

式中：

ΔI ——大电流源直流电流示值误差，A；

I_X ——大电流源输出直流电流示值，A；

K_N ——电流电压转换器的标称比例，A/V；

V_N ——数字多用表直流电压示值，V。

A.3 不确定度传播公式

$$u_c^2(\Delta I) = [c_1 u(I_x)]^2 + [c_2 u(K_N)]^2 + [c_3 u(V_N)]^2$$

I_x 、 K_N 、 V_N 的灵敏系数分别为:

$$c_1 = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_x} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta I}{\partial K_N} = -V_N, \quad c_3 = \frac{\partial \Delta I}{\partial V_N} = -K_N$$

A.4 标准不确定度分量的评定

在校准条件下,大电流源的测量不确定度主要由电流电压转换器、数字多用表的准确度和大电流源的测量重复性引起,温度、湿度等因素的影响可忽略不计。

A.4.1 被校大电流源引入的标准不确定度 $u(I_x)$ A.4.1.1 被校大电流源电流测量分辨力引入的标准不确定度 $u_1(I_x)$

根据仪器说明书可知,被校大电流源电流测量分辨力为0.001A,按B类进行评定,那么其区间半宽度为 $a = 0.0005A$,为均匀分布,包含因子 $k = \sqrt{3}$,则被校直流大电流源电流测量分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_1(I_x) = \frac{a}{k} = \frac{0.0005A}{\sqrt{3}} \approx 0.0003A$$

A.4.1.2 被校大电流源电流测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(I_x)$

测量结果的重复性引入的标准不确定度通过多次重复测量进行A类评定。
大电流源输出2000A,在重复性条件下得到数据列,如表A.3的所示。

表 A.3 测量数据列

测量次数	测量值
1	2000.18A
2	2000.17A
3	2000.18A
4	2000.18A
5	2000.18A
6	2000.19A
7	2000.18A
8	2000.19A
9	2000.18A
10	2000.18A

平均值:

$$\bar{I}_X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{Xi} = 2000.18 \text{ A}$$

单次实验标准差为:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_{Xi} - \bar{I}_X)^2}{n-1}} \approx 0.006 \text{ A}$$

测量结果取 1 次读数, $u(I_X) = s = 0.006 \text{ A}$

A. 4. 1. 3 被校大电流源引入的标准不确定度 $u(I_X)$

为避免重复计算, 测量结果的重复性和大电流源电流测量分辨力取其中大值作为被校大电流源引入合成标准不确定度分量。 $u_1(I_X) < u_2(I_X)$, 故舍去被校大电流源电流测量分辨力引入的标准不确定度 $u_1(I_X)$ 。被校大电流源引入的标准不确定度为:

$$u(I_X) = u_2(I_X) = 0.006 \text{ A}$$

A. 4. 2 数字多用表引入的标准不确定度 $u(V_N)$

标准不确定度 $u(V_N)$ 主要由数字多用表的准确度引起。数字多用表直流电压 1V 时最大允许误差为: $\pm(3.0 \times 10^{-6} \times 1 \text{ V} + 0.2 \times 10^{-6} \times 2 \text{ V}) = \pm 0.0000034 \text{ V}$, 半宽度 $a_1 = 0.0000034 \text{ V}$, 在此区间内可认为服从均匀分布, 包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(V_N) = \frac{a_1}{k} = \frac{0.0000034 \text{ V}}{\sqrt{3}} \approx 0.000002 \text{ V}$$

A. 4. 3 电流电压转换器引入的标准不确定度 $u(K_N)$

标准不确定度 $u(K_N)$ 主要由电流电压转换器的准确度引起, 2000 A 时, 电流电压转换器标称比例为 2000 A/V, 最大允许误差为: $\pm 0.0025\%$, 即: $\pm 0.0025\% \times 2000 \text{ A/V} = \pm 0.05 \text{ A/V}$, 半宽度 $a_2 = 0.05 \text{ A/V}$, 在此区间内可认为服从均匀分布, 取包含因子 $k = \sqrt{3}$, 则:

$$u(K_N) = \frac{a_2}{k} = \frac{0.05 \text{ A/V}}{\sqrt{3}} \approx 0.029 \text{ A/V}$$

A. 5 合成标准不确定度

A. 5. 1 输入量标准不确定度分量一览表见表 A. 4

表 A. 4 输入量标准不确定度分量一览表

不确定度来源	标准不确定度 $u(x_i)$	$ c_i $	$ c_i \cdot u(x_i)$
测量重复性引入	0.006A	1	0.006A
数字多用表准确度引入	0.000002V	2000A/V	0.004A

电流电压转换器准确度引入	0.029A/V	1V	0.029A
--------------	----------	----	--------

A. 5.2 合成标准不确定度的计算

考虑上述各输入量互不相关，则合成标准不确定度为

$$\begin{aligned}
 u_c(\Delta I) &= \sqrt{[c_1 u(I_x)]^2 + [c_2 u(K_N)]^2 + [c_3 u(V_N)]^2} \\
 &= \sqrt{(0.006A)^2 + (0.004A)^2 + (0.029A)^2} \\
 &\approx 0.030A
 \end{aligned}$$

A. 6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.030A \approx 0.06A$$

$$\text{或 } U_{\text{rel}} = \frac{0.06A}{2000.18A} \times 100\% = 0.003\%$$

附录 B 校准原始记录格式

直流大电流源校准原始记录

第×页 共×页

记录/证书报告编号：

协议书/委托书编号：

委托单位：		委托单位地址：			
仪器名称：		型号规格：			
制造厂名：		出厂编号：			
准确度等级：		校准依据：			
环境温度：		相对湿度：			
校准地点：		校准日期：			
校准用主要计量标准器具：					
标准器名称	编号	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差	证书编号	有效期至
计量标准及配套设备使用前状态是否正常： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 情况说明： 计量标准及配套设备使用后状态是否正常： <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 情况说明： 其他说明：					
校准员：		核验员：			

(3) 标准电流表法 (直流大电流表)

量程	输出示值 (A)	实际值 (A)	测量不确定度 ($k=2$)

(4) 标准电流表法 (直流电流比例标准)

量程	输出示值 (A)	直流电流比例系数 (A/A)	直流电流表电流示值 (A)	实测值 (A)	测量不确定度 ($k=2$)

3. 输出短期稳定性 (稳定时间: ____min):

量程	输出设置值 (A)	最大值 (A)	最小值 (A)	输出短期稳定性

附录 C 校准证书内页格式

证书编号 ×××××-×××××

校准机构授权说明:				
校准环境条件及地点:				
环境温度: ° C		校准地点:		
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	证书编号	有效期至

注:

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×页 共×页

