

中国团体标准

T/BEA. 40004—2025

皮安表/电压源校准规范

Calibration specification for micro ammeter/voltage source

2025—06—05 发布

2025—06—05 实施

北京电子仪器行业协会 发布

前 言

本标准由北京东方计量测试研究所提出。

本标准由北京电子仪器行业协会归口。

本标准主要起草单位：北京东方计量测试研究所。

本标准参与起草单位：北京信息科技大学、哈尔滨工业大学。

本标准主要起草人：韩琳、陈洪亮、冯荣尉、徐圣法、刘杰强、郭佳鑫、桑尚铭、佟亚珍、温星曦、杨春玲、张静、彭帅。

皮安表/电压源校准规范

1 范围

本规范规定了皮安表/电压源设备的计量特性、校准条件、校准项目、校准方法、校准结果的处理和校准时间间隔。

1.1 主题内容

本规范规定了皮安表/电压源设备的计量特性、校准条件、校准项目、校准方法、校准结果的处理和校准时间间隔。

1.2 适用范围

本规范适用于新研制（新购置）、使用中、修理后的皮安表/电压源设备的校准。

2 规范性引用文件

本规范引用了下列文件。

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适用于本规范。

JJG（军工）200-2019《直流小电流表检定规程》

JJF1638-2017《多功能标准源校准规范》

JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》

3 术语定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 概述

皮安表/电压源可测 20pA~20mA 微小电流，电压输出 $\pm 30V$ ，具有双通道 6 位半测量能力，可以分析多通道器件、监测材料中多个位置的电流并记录来自多传感器的数据，主要应用于元器件测试、双二极管测试、半导体器件测试、多引脚器件测试等。

5 计量特性

5.1 电流测量允许误差

表 1 电流测量允许误差

序号	量程	最大允许误差 \pm （%rdg+补偿）
1	200pA	2.00%+0.2pA
2	2nA	1.00%+2pA
3	20nA	0.40%+2pA
4	200nA	0.30%+200pA
5	2 μ A	0.20%+200pA
6	20 μ A	0.10%+20nA
7	200 μ A	0.10%+20nA
8	2mA	0.10%+2 μ A
9	20mA	0.10%+2 μ A

5.2 电压输出允许误差

表 2 电压输出允许误差

序号	量程	最大允许误差
1	±10V	±(设置的 0.03%+1mv)
2	±30V	±(设置的 0.03%+1mv)

6 校准条件

6.1 环境条件

- 环境温度：23℃±5℃；
- 环境湿度：(20~70)%RH；
- 供电电源：交流电压 220V±10V，频率 50Hz±1Hz；
- 其它：周围无影响测量系统正常工作的机械振动和电磁干扰。

6.2 校准用设备

校准用设备应经计量技术机构检定（校准），满足使用要求，并在有效期内。校准用设备的测量范围应覆盖被校设备的测量范围，并具有足够的分辨力、准确度和稳定性。标准设备的测量扩展不确定度（k=2）应不大于被校准设备各参数最大允许误差绝对值或允许范围的 1/3。根据所采用的校准方法，选择以下可以满足校准要求的校准设备。

6.2.1 多功能标准源

电流范围应覆盖±20μA~±20mA，电流输出最大允许误差或测量不确定度应优于被校准皮安表/电压源电流测量准确度的 1/3。

电压范围应覆盖±20mV~±2V，电压输出最大允许误差或测量不确定度应优于 0.01%。

6.2.2 数字多用表

电压范围应覆盖±30V，电压测量最大允许误差±5.0ppm~5.5ppm。

表 3 数字多用表技术指标

序号	量程	误差± (ppm Reading+0.5 Range)
1	200mV	5.0+0.5
2	2V	3.5+0.2
3	20V	3.5+0.2
4	200V	5.5+0.2

6.2.3 标准电阻

电阻值 1MΩ、10 MΩ、100 MΩ、1GΩ、10 GΩ，电阻最大允许误差或测量不确定度应优于被校准皮安表/电压源电流测量准确度的 1/3。

7 校准项目

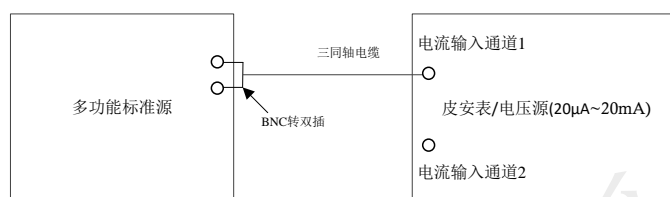
- 外观及工作正常性检查；
- 电流测量功能；
- 电压输出功能。

8 校准方法

8.1 外观及工作正常性检查

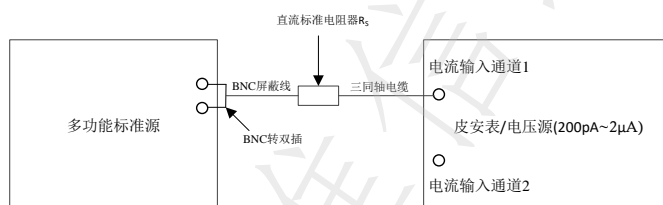
用目视方法,检查被校设备电源开关、显示屏、按键等应完好，不应有影响电气性能的机械损伤。被校设备通电开机后应运转正常，操作软件运行正常，各状态指示灯应正常。校准前，被校准仪器及校准用设备应按规定先预热 1 小时。

8.2 电流测量功能

图 1 20 μ A~20mA 直流电流校准连接示意图

量程 20 μ A~20mA 依据 JJF1587-2016《数字多用表校准规范》中 7.2.4.1 的标准源法进行检定。具体步骤如下：

- 按照上图所示连接仪器；
- 根据校准点设置多功能源的直流电流输出值，记录被校准设备的示值；
- 设多功能源的电流输出标准值为 I_N ，记录被校准设备皮安表/电压源的示值为 I_X ，根据指标中规定的最大允许误差的上下限判断读数是否满足要求；
- 其他检定点重复以上步骤。

图 2 200pA~2 μ A 直流电流校准连接示意图

量程 200pA~2 μ A 依据 JJG（军工）200-2019《直流小电流表检定规程》中 5.3.4.3 的间接测量法进行检定。具体步骤如下：

- 按照上图所示连接仪器；
- 根据检定点选择适当的直流标准电阻器 R_s ，设置多功能标准源输出电压 U_s ，待稳定后，读取被检皮安表/电压源显示值 I_i ；
- 根据指标中规定的最大允许误差的上下限判断读数是否满足要求；
- 其他检定点重复以上步骤。
- 按照相同的方法测试第二个通道的电流测量功能。

表 4 电流量程与选取电压及标准电阻对应关系

序号	电流量程	多功能标准源输出电压	直流标准电阻
1	2 μ A	0.2V~2V	1M Ω
2	200nA	0.2V~2V	10M Ω
3	20nA	0.2V~2V	100M Ω
4	2nA	0.2V~2V	1G Ω
5	200pA	0.2V~2V	10G Ω

8.3 电压输出功能

电压输出依据 JJF1638-2017《多功能标准源校准规范》中的 6.4.1 标准表法。直流电压输出具体测试步骤如下：

- 连线如图 3 所示；
- 直接用标准数字多用表测量被校准皮安表/电压源的输出电压；
- 测量结果参考值为 U_s ，记录被校准皮安表/电压源电压输出示值为 U_x ，根据指标中规定的最大允许误差的上下限判断读数是否满足要求；
- 其他检定点重复以上步骤；
- 按照相同的方法测试第二个通道的电压输出功能。

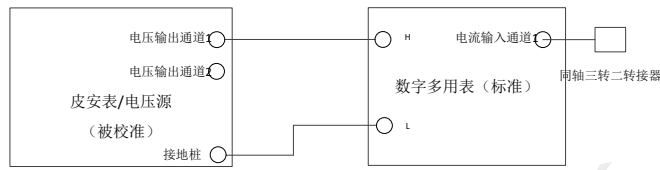


图 3 标准表法校准直流电压连接示意图

9 校准结果表达测试

校准后，出具校准证书。校准证书至少应包含以下信息：

- a) 标题：“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应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 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说明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

10 复校时间间隔

建议复校时间间隔为 1 年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

经修理或调整的，应校准后使用。

附录 A 原始记录格式

附录 B 测量不确定度评定示例

标称值	标准值	示值误差	测量不确定度($k=2$)
20.0000 nA			
-200.0000 nA			
-20.0000 nA			
2.000000 μ A			
1.600000 μ A			
0.800000 μ A			
0.200000 μ A			
-2.000000 μ A			
-0.200000 μ A			
20.00000 μ A			
16.00000 μ A			
8.00000 μ A			
2.00000 μ A			
-20.00000 μ A			
-2.00000 μ A			
200.0000 μ A			
160.0000 μ A			
80.0000 μ A			
20.0000 μ A			
-200.0000 μ A			
-20.0000 μ A			
2.000000 mA			
1.600000 mA			
0.800000 mA			
0.200000 mA			
-2.000000 mA			
-0.200000 mA			
20.00000 mA			
16.00000 mA			
8.00000 mA			
2.00000 mA			
-20.00000 mA			
-2.00000 mA			

表 A.2.2 电流测量示值误差（电流输入通道二）

标称值	标准值	示值误差	测量不确定度($k=2$)
200.000 pA			
160.000 pA			
80.000 pA			
20.000 pA			
-200.000 pA			
-20.000 pA			
2.00000 nA			
1.60000 nA			
0.80000 nA			
0.20000 nA			
-2.00000 nA			
-0.20000 nA			
20.00000 nA			
16.00000 nA			
8.00000 nA			

标称值	标准值	示值误差	测量不确定度(k=2)
2.00000 nA			
-20.00000 nA			
-2.00000 nA			
200.0000 nA			
160.0000 nA			
80.0000 nA			
20.0000 nA			
-200.0000 nA			
-20.0000 nA			
2.000000μA			
1.600000μA			
0.800000μA			
0.200000μA			
-2.000000μA			
-0.200000μA			
20.00000μA			
16.00000μA			
8.00000μA			
2.00000μA			
-20.00000μA			
-2.00000μA			
200.0000μA			
160.0000μA			
80.0000μA			
20.0000μA			
-200.0000μA			
-20.0000μA			
2.000000 mA			
1.600000 mA			
0.800000 mA			
0.200000 mA			
-2.000000 mA			
-0.200000 mA			
20.00000 mA			
16.00000 mA			
8.00000 mA			
2.00000 mA			
-20.00000 mA			
-2.00000 mA			

3.电压输出示值误差

表 A.3.1 电压输出示值误差（电压输出通道一）

标称值 (V)	标准值 (V)	示值误差 (V)	测量不确定度(k=2)
-30			
-25			
-20			
-15			
-10			
-5			
0			
5			

标称值 (V)	标准值 (V)	示值误差 (V)	测量不确定度(k=2)
10			
15			
20			
25			
30			

表 A.3.2 电压输出示值误差 (电压输出通道二)

标称值 (V)	标准值 (V)	示值误差 (V)	测量不确定度(k=2)
-30			
-25			
-20			
-15			
-10			
-5			
0			
5			
10			
15			
20			
25			
30			

全国团体标准

附录 B

测量不确定度评定示例

B.1 测量模型

以间接标准电流源法校准皮安表/电压源电流测量功能，其误差校准测量模型可用式 (B.1) 表示：

$$\Delta I = I_x - V_0/R_0 \quad (\text{B.1})$$

式中： ΔI ——被校皮安表/电压源电流测量值示值误差，A；

I_x ——被校皮安表/电压源电流测量值，A；

V_0 ——标准电压源提供的电压标准值，V；

R_0 ——标准高值电阻器电阻值， Ω 。

灵敏系数的计算如下：

$$c_{I_x} = \frac{\partial \Delta I}{\partial I_x} = 1, \quad c_{V_0} = \frac{\partial \Delta I}{\partial V_0} = -\frac{1}{R_0}, \quad c_{R_0} = \frac{\partial \Delta I}{\partial R_0} = -\frac{V_0}{R_0^2}$$

各输入量之间互不相关，不确定度计算如下：

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{u^2(I_x) + \left(-\frac{1}{R_0}\right)^2 u^2(V_0) + \left(-\frac{V_0}{R_0^2}\right)^2 u^2(R_0)} \quad (\text{B.2})$$

式中： $u_c(\Delta I)$ ——被校皮安表/电压源电流测量值示值误差的合成标准不确定度，A；

$u(I_x)$ ——被校皮安表/电压源引入的标准不确定度，A；

$u(V_0)$ ——标准电压源引入的标准不确定度，V；

$u(R_0)$ ——标准高值电阻器引入的标准不确定度， Ω 。

B.2 标准不确定度来源

①标准电压源标准不确定的来源

标准电压源示值误差引入的标准不确定度 $a = 0.00000055V$ 。

②标准高值电阻器不确定度的来源

A. 标准高值电阻器示值误差引入的标准不确定度 $u_1(R_0)$ ；

B. 标准高值电阻器上级溯源引入的不确定度 $u_2(R_0)$ 。

③被校准设备引入不确定度的来源

A. 被校皮安表/电压源电流测量分辨力引入的标准不确定度 $u_1(I_x)$ ；

B. 被校皮安表/电压源电流测量重复性引入的标准不确定度 $u_2(I_x)$ 。

注：当 $u_2(I_x) > u_1(I_x)$ 时， $u_1(I_x)$ 可以不重复计入。

B.3 标准不确定度的评定

①标准电压源引入的标准不确定度

按 B 类进行评定。根据标准电压源+20mV 技术指标，其最大允许误差为±0.00000055V，则区间半宽度为 $a = 0.00000055V$ ，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准电压源最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u(V_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.00000055V}{\sqrt{3}} = 0.32 \times 10^{-6}V$$

②标准高值电阻器引入的标准不确定度

A.标准高值电阻器示值误差引入的标准不确定度 $u_1(R_0)$

按 B 类进行评定。根据标准高值电阻器 10GΩ 技术指标，其最大允许误差为±0.05GΩ，则分散区间的半宽度为 $a = 0.05G\Omega$ ，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则标准高值电阻器最大允许误差引入的标准不确定度为：

$$u_1(R_0) = \frac{a}{k} = \frac{0.05}{\sqrt{3}}G\Omega = 0.029G\Omega$$

B.标准高值电阻器上级溯源引入的不确定度 $u_2(R_0)$ 。

根据标准高值电阻器校准证书可知，标称值为 10GΩ 的电阻器上级校准相对不确定度为 $U_r = 0.05\%$ ， $k = 2$ ，故标准高值电阻器溯源引入的不确定度为：

$$u_2(R_0) = \frac{5 \times 10^{-4} \times 10}{2} = 0.0025G\Omega$$

B.标准高值电阻器引入的标准不确定度 $u(R_0)$

各分量互不相关，则标准高值电阻器引入的标准不确定度为：

$$u(R_0) = \sqrt{u_1^2(R_0) + u_2^2(R_0)} = 0.029G\Omega$$

③被校皮安表/电压源引入的标准不确定度

A.被校皮安表/电压源电流测量分辨力引入的标准不确定度 $u_1(I_x)$

被校皮安表/电压源电流测量+200pA、-200pA，分辨力为 0.001pA，按 B 类进行评定，那么其区间半宽度为 $a = 0.0005pA$ ，为均匀分布，包含因子 $k = \sqrt{3}$ ，则被校皮安表/电压源电流测量示值误差引入的标准不确定度为：

$$u_1(I_x) = \frac{a}{k} = \frac{0.0005pA}{\sqrt{3}} = 0.00029pA$$

B.被校皮安表/电压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。多次重复测量结果如下表所示，用贝塞尔公式(B.3)计算实验标准差：

$$u_2(I_x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{I}_x)^2}{n-1}} \quad (B.3)$$

式中：

\bar{I}_x ——被校皮安表/电压源电流多次测量值的平均值，pA；

I_{xi} ——被校皮安表/电压源电流测量值第 i 次测量值, pA;

n ——重复测量的次数, 此处 $n=10$ 。

表 B.1 电流+200pA 点重复性测量数据

第 i 次 测量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电流 示值 (pA)	199.96	199.76	199.97	200.18	200.13	200.10	199.96	200.02	200.10	200.11

根据表中的数据, 可由公式 (B.3) 计算出电流示值多次重复测量的实验标准差:

$$+200\text{pA: } s(I_x) = 1.5 \times 10^{-2}\text{pA}$$

校准时取单次测量结果, 故测量重复性引入的标准不确定度为:

$$+200\text{pA: } s(I_x) = 1.5 \times 10^{-2}\text{pA}$$

C. 被校皮安表/电压源引入的标准不确定度 $u(I_x)$

为了避免重复计算, 测量结果的重复性和皮安表/电压源电流测量分辨力取其中最大值作为被校皮安表/电压源引入合成标准不确定度分量。 $u_1(I_x) < u_2(I_x)$, 故舍去被校皮安表/电压源电流量测量的分辨力引入的标准不确定度分量 $u_2(I_x)$ 。被校皮安表/电压源引入的标准不确定度 $u(I_x)$:

$$+200\text{pA: } u(I_x) = u_2(I_x) = 1.5 \times 10^{-2}\text{pA}$$

B.4 不确定度分量一览表

不确定度分量见表。

表 B.2 间接法电流测量示值误差校准的不确定度分量表 (+200pA)

不确定度分量	不确定度来源	评定方法	分布类型	k 值	标准不确定度
$u(V_0)$	标准电压源的示值误差引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	$0.32 \times 10^{-6}\text{V}$
$u(V_0)$	标准电压源引入	$0.32 \times 10^{-6}\text{V}$			
$u_1(R_0)$	标准高值电阻器的示值误差引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	$0.029\text{G}\Omega$
$u_2(R_0)$	标准高值电阻器上级溯源引入	B	-	2	$0.0025\text{G}\Omega$
$u(R_0)$	标准高值电阻器引入	$0.029\text{G}\Omega$			
$u_1(I_x)$	被校皮安表/电压源电流测量分辨力引入	B	均匀	$\sqrt{3}$	$0.29 \times 10^{-4}\text{pA}$

$u_2(I_x)$	被校皮安表/电压源电流测量重复性引入	A	正态	-	$1.5 \times 10^{-2} \text{pA}$
$u(I_x)$	被校皮安表/电压源引入	$1.5 \times 10^{-2} \text{pA}$			

B.5 合成标准不确定度的计算

+200pA 合成标准不确定度:

$$u_c(\Delta I) = \sqrt{u^2(I_x) + \left(-\frac{1}{R_0}\right)^2 u^2(V_0) + \left(-\frac{V}{R_0^2}\right)^2 u^2(R_0)} = 1.5 \times 10^{-2} \text{pA}$$

B.6 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k = 2$, 则+200pA 扩展不确定度为: $U_{\text{rel}}(\Delta I) = k \times u_c(\Delta I) = 3 \times 10^{-2} \text{pA}$ 。

以下空白