

JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—××××

直流电桥、电阻箱自动检测装置
校准规范

Calibration Specification for

DC Bridge, Resistance Box Automatic Calibration System

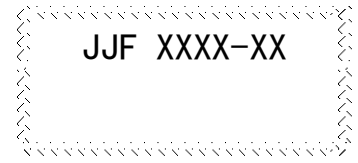
(征求意见稿)

××××—××—××发布 ××××—××—××实施

国家市场监督管理总局 发布

直流电桥、电阻箱自动检测 装置校准规范

Calibration Specification DC Bridge, Resistance Box
Automatic Calibration System



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：

X X X（起草人所在单位名称）

参加起草人：

X X X（起草人所在单位名称）

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.....	2
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.....	3
7.1 校准项目.....	3
7.2 校准方法.....	4
8 校准结果表达.....	7
9 复校时间间隔.....	8
附录 A 测量不确定度评定示例.....	9
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 JJF 1071-2010 《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》中的要求进行编写。

本规范是首次制定的国家计量校准规范。

直流电桥、电阻箱自动检测装置校准规范

1 范围

本规范适用于电阻测量范围为 $(10^{-3}\sim 10^7)\Omega$ 、准确度等级低于0.0003级的直流电桥及电阻箱自动检测装置（以下简称检测装置）的校准。

本规范所指的检测装置为按元件检定电桥、电阻箱的自动检测装置，不包含整体法检定直流电桥的自动检测装置以及自动直流比较仪式电桥。

2 引用文件

本规范引用了以下文件：

JJG 125 直流电桥

JJG 166 直流电阻器

JJG 506 直流比较仪式电桥

JJG 982 直流电阻箱

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

3.1 非线性误差 Non-linearity error

是指两个量的关系曲线对理想拟合直线的接近程度。

[[1]鲁绍曾. 计量学辞典[M]. 中国计量出版社, 1995.]

4 概述

检测装置是用于检定0.02级及以下直流电桥、0.005级及以下电阻箱分立元件电阻性能的自动化测量仪器。典型的检测装置原理框图如图1所示，由直流电压测量模块、恒流源模块、程控开关模块、标准电阻模块以及数据处理模块等组成，其工作原理为使恒流源模块稳定直流电流输出流经被测电阻元件、标准电阻模块串联回路，通过程控开关模块切

换直流电压测量模块接入位置，获得被测电阻元件、标准电阻模块上的电压降，根据电压比等于电阻比的关系通过数据处理模块获得被测电阻元件电阻性能测量结果。

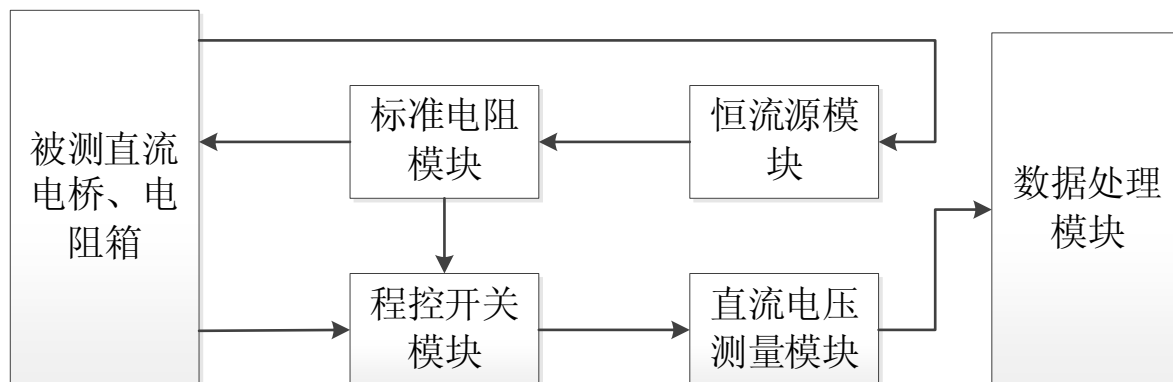


图 1 检测装置原理框图

5 计量特性

直流电阻测量范围： $(10^{-3} \sim 10^7) \Omega$ ，最大允许误差： $\pm 0.0003\% \sim \pm 1\%$ ；
最大允许误差见表 1。

表 1 检测装置最大允许误差表

	0.0003 级 最大允许误差	0.001 级 最大允许误差
量程内比例最大允许误差		
1:1 比例最大允许误差	$\pm 0.0003\%$	$\pm 0.001\%$
非线性误差	$\pm 0.0003\%$	$\pm 0.001\%$
跨量程电阻测量误差		
1 Ω : 10 Ω 电阻测量最大允许误差	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.01\%$
0.1 Ω : 10 Ω 电阻测量最大允许误差	$\pm 0.1\%$	$\pm 0.1\%$
0.01 Ω : 10 Ω 电阻测量最大允许误差	$\pm 0.5\%$	$\pm 0.5\%$
0.001 Ω : 10 Ω 电阻测量最大允许误差	$\pm 1\%$	$\pm 1\%$
1M Ω : 100k Ω 电阻测量最大允许误差	$\pm 0.005\%$	$\pm 0.005\%$
10M Ω : 100k Ω 电阻测量最大允许误差	$\pm 0.01\%$	$\pm 0.01\%$
量程内电阻测量误差：		
对应量程	$\pm (0.001\% \sim 0.003\%)$	

注:以上所有指标不适用于合格判别, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度为 $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$, 相对湿度为 40%~70%;

6.1.2 仪器应平稳摆放, 周围无强烈机械振动和电磁干扰, 仪器接地良好;

6.1.3 电源电压为 $(220 \pm 22) \text{V}$, 频率为 $(50 \pm 1) \text{Hz}$ 。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 直流电阻

6.2.1.1 标准电阻

一等标准电阻两套, 即 $(10^{-3} \sim 10^5) \Omega$ 范围内十的整数次幂阻值各两只。

$1\text{M}\Omega$ 、 $10\text{M}\Omega$ 二等标准电阻各一只。

温度系数: 一次温度系数 $\alpha \leq 5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

6.2.1.2 非线性误差校准用电阻

0.02 级及以上的过渡电阻器 $10 \times 1\Omega$ 、 $10 \times 100\Omega$ 、 $10 \times 10000\Omega$ 各 2 只 (端钮式、步进盘式均可, 但组成过渡电阻器每个电阻元件必须是四端钮接线);

过渡电阻器可以采用 0.02 级以上的 2Ω 、 5Ω 、 200Ω 、 500Ω 、 $20\text{k}\Omega$ 、 $50\text{k}\Omega$ 的电阻器组代替。

6.2.2 比例标准

比例误差优于 $\pm 0.0001\%$ 的直流比较仪电桥。

6.2.3 恒温槽

恒温温度: $(20 \pm 0.1) ^\circ\text{C}$, 温度波动度: $\leq 0.1 ^\circ\text{C} / 30\text{min}$

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

推荐校准项目见表 2。

表 2 校准项目表

序号	校准项目
1	外观与通电检查
2	量程内 1:1 比例误差校准
3	非线性误差校准
4	电阻测量误差

7.2 校准方法

在 6.1 款条件下，按照装置说明书规定的时间进行预热，预热后对各校准项目进行校准。

7.2.1 外观及通电检查

外观检查内容包括：制造厂名、出厂编号、产品名称、型号；各功能标识等是否齐全正确。

通电后自动检测装置功能应正常，各开关和按键应能正常工作。

7.2.2 量程内 1:1 比例误差校准

应根据实际情况，对检测装置的每个量程分别进行本项目的校准。

7.2.2.1 换位法量程内 1:1 比例误差校准

检测装置使用外附参考电阻时进行此项校准。

将两只同标称值的标准电阻 R_{N1} 、 R_{N2} 及检测装置按图 2 所示连接，将自动检测装置置于标准电阻对应的量程，待热平衡后，按说明书规定的操作步骤操作，读取电阻比例值 K_1 。然后迅速调换 R_{N1} 、 R_{N2} 位置，重复上述步骤，获得电阻比例值 K_2 ，则比例误差按公式 (1) 计算：

$$\delta_N = \frac{1}{2} \times (K_1 + K_2) - 1 \quad (1)$$

式中：

δ_N —量程内 1:1 比例误差；

K_1 — R_{N1} 接入 R_S 端， R_{N2} 接入 R_R 端，检测装置测量获得的电阻比例值；

K_2-R_{N1} 接入 R_S 端, R_{N2} 接入 R_X 端, 检测装置测量获得的电阻比例值。

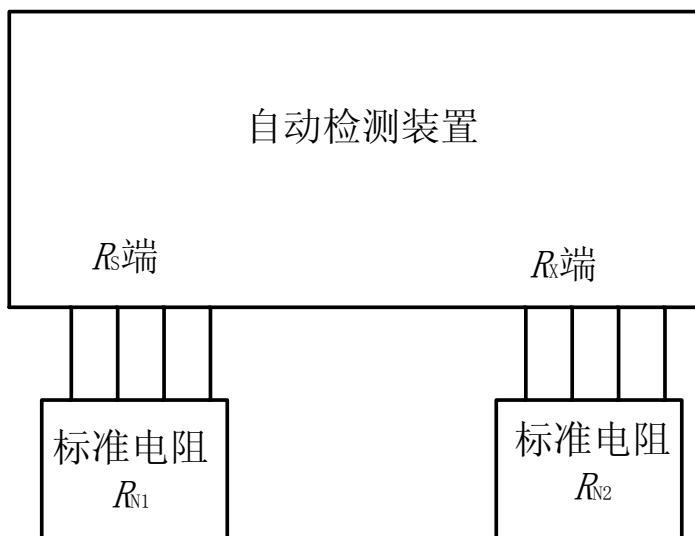


图 2 换位法 1:1 比例误差校准接线图

7.2.3 非线性误差校准

应对检测装置中直流电压测量模块工作在 10V、1V、100mV 状态的最优指标对应量程进行校准。

7.2.3.1 换位法非线性误差校准

通常检测装置使用外附参考电阻时采用此方法。

以检测装置中直流电压测量模块工作在 10V 为例, 选 $10^5\Omega$ 量程, 设标准电阻 $10^5\Omega$ 为 R_{T1} 、第一只过渡电阻接线成 $5\times 10^4\Omega$ 设为 R_{T2} 、第二只过渡电阻接线成 $2\times 10^4\Omega$ 设为 R_{T3} , 按图 2 接线, 将 R_{T1} 接入 R_S 端, 将 R_{T2} 接入 R_X 端, 按说明书规定的操作步骤操作, 获得比例值 K_{T1} ; 将 R_{T1} 接入 R_S 端, 将 R_{T3} 接入 R_X 端, 按说明书规定的操作步骤操作, 获得比例值 K_{T2} ; 将 R_{T2} 接入 R_S 端, 将 R_{T3} 接入 R_X 端, 按说明书规定的操作步骤操作, 获得比例值 K_{T3} ; 则非线性误差按公式 (3) 计算:

$$\delta_T = K_{T2} - K_{T1} \times K_{T3} \quad (2)$$

式中:

δ_T —非线性误差;

K_{T1} — R_{T1} 接入 R_S 端, R_{T2} 接入 R_X 端, 自动检测装置测量获得的比例值;

K_{T2} — R_{T1} 接入 R_S 端, R_{T3} 接入 R_X 端, 自动检测装置测量获得的比例值;

K_{T3} — R_{T2} 接入 R_S 端, R_{T3} 接入 R_X 端, 自动检测装置测量获得的比例值。

7.2.3.2 比例标准法非线性误差校准

通常检测装置使用内附参考电阻时采用此方法。

以检测装置中直流电压测量模块工作在 10V 为例，选 $10^5\Omega$ 量程，设标准电阻 $10^5\Omega$ 为 R_{T1} 、第一只过渡电阻接线成 $5\times 10^4\Omega$ 设为 R_{T2} 、第二只过渡电阻接线成 $2\times 10^4\Omega$ 设为 R_{T3} 。使用比例标准测得 R_{T2} 与 R_{T1} 的比例值为 K_{N2} ， R_{T3} 与 R_{T1} 的比例值为 K_{N3} 。

将标准电阻 R_{T1} 接入检测装置如图 3 所示，检测装置置于标准电阻测量功能对应的量程，待热平衡后，按说明书规定的操作步骤操作，获得测量示值 R_1 ；重复上述步骤获得过渡电阻 R_{T2} 、 R_{T3} 示值 R_2 、 R_3 ，则有：

$$|\delta_N| = \text{Max}\left(\left|\frac{R_2}{R_1} - K_{N2}\right|, \left|\frac{R_3}{R_1} - K_{N3}\right|\right) \quad (3)$$

式中：

δ_N —量程内 1:1 比例误差，取计算结果中绝对值大者且保留原符号；

R_1 —检测装置测量 R_{T1} 的测量示值， Ω ；

R_2 —检测装置测量 R_{T2} 的测量示值， Ω ；

R_3 —检测装置测量 R_{T3} 的测量示值， Ω ；

K_{N2} —比例标准测得 R_{T2} 与 R_{T1} 电阻比例值。

K_{N3} —比例标准测得 R_{T3} 与 R_{T1} 电阻比例值。

7.2.4 电阻测量误差

7.2.4.1 跨量程电阻测量误差

当检测装置具有跨量程电阻测量功能（即检测装置测量 R_s 端电阻电压和 R_x 端电阻电压工作在不同的电压量程）时，进行此项校准。

将检测装置设置为电阻箱检定功能，如图 2 所示，选择适当的标准电阻接入 R_s 端，在检测装置的跨量程测量电阻值范围内选择十的整数次幂标准电阻分别接入 R_x 端进行测量，若检测装置对标准电阻 R_i 跨量程测量的显示值为 R_{xi} ，则有

$$\delta_i = \frac{R_{xi} - R_{Ni}}{R_{Ni}} \times 100\% \quad (4)$$

式中：

δ_i —跨量程电阻测量误差；

R_{xi} —检测装置跨量程测量的显示值， Ω ；

R_{Ni} —标准电阻的实际值， Ω 。

7.2.4.2 量程内电阻测量误差

当检测装置为内附电阻时，对各量程分别进行校准。

如图 3 所示，将标准电阻 R_N 接入检测装置，按说明书规定的操作步骤操作，获得测量示值 R_x 则有：

$$\delta = \frac{R_x - R_N}{R_N} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

δ —量程内电阻测量误差；

R_x —检测装置的测量示值， Ω ；

R_N —接入标准电阻的实际值， Ω 。

8 校准结果

8.1 数据修约

采用四舍五入及偶数法则进行数据修约，修约到检测装置最大允许误差的 1/10 位。

8.2 校准结果表达

装置校准后，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。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔一年，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 直流电桥、电阻箱自动检测装置换位法校准量程内 1:1 比例误差 不确定度评定示例

A.1 概述

A.1.1 测量依据:依据本规范的方法对量程内 1:1 比例误差测量不确定度进行评定。

A.1.2 计量标准器如表 A1 所示:

表 A1 计量标准器

序号	设备名称	技术性能
1	标准电阻	($10^{-3} \sim 10^5$) Ω 一等

A.1.3 环境条件:温度 20.1℃, 相对湿度:51%。

A.2 建立测量模型, 列出不确定度传播率:

A.2.1 建立测量模型:

量程内 1:1 比例误差测量模型如下:

$$\delta_N = \frac{K_1 + K_2}{2} - 1 + \delta x_r \quad (\text{A1})$$

式中:

δ_N —量程内 1:1 比例误差;

K_1 — R_{N1} 接入 R_S 端, R_{N2} 接入 R_X 端, 自动检测装置测量获得的比例值;

K_2 — R_{N1} 接入 R_X 端, R_{N2} 接入 R_S 端, 自动检测装置测量获得的比例值。

δx_r —表示测量过程中随机因素的影响。

A.2.2 不确定度传播率:

$$u_c^2(y) = c_1^2 u_1^2(K_1) + c_2^2 u_2^2(K_2) + c_3^2 u_3^2(\delta x_r) + 2r(K_1, K_2) c_1 u_1(K_1) c_2 u_2(K_2) \quad (\text{A2})$$

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial y}{\partial K_1} = 0.5 \quad (\text{A3})$$

$$c_2 = \frac{\partial y}{\partial K_2} = 0.5 \quad (\text{A4})$$

$$c_3 = \frac{\partial y}{\partial(\delta x_r)} = 1.0 \quad (\text{A5})$$

A.3 标准不确定度评定

A.3.1 以测量 $10\text{k}\Omega$: $10\text{k}\Omega$ 为例, 随机因素影响即测量重复性引入的不确定度分量 u_1 , 用标准不确定度 A 类评定。

记录 10 次测量数据:

K_1	K_2	δ_k	$\bar{\delta}_k$
1.0000220	0.9999760	-1.0×10^{-6}	-1.1×10^{-6}
1.0000219	0.9999761	-1.0×10^{-6}	
1.0000220	0.9999760	-1.0×10^{-6}	
1.0000219	0.9999760	-1.1×10^{-6}	
1.0000219	0.9999760	-1.1×10^{-6}	
1.0000219	0.9999760	-1.1×10^{-6}	
1.0000219	0.9999760	-1.1×10^{-6}	
1.0000219	0.9999762	-1.0×10^{-6}	
1.0000219	0.9999760	-1.1×10^{-6}	
1.0000219	0.9999763	-0.9×10^{-6}	

其重复性根据贝塞尔公式得到:

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\delta_{Ni} - \bar{\delta}_N)^2}{10-1}} = 0.07 \times 10^{-6} \quad (\text{A6})$$

A.3.2 由于比例值 K_1 、 K_2 不使用标准电阻的实际值, 仅考虑其短期稳定性即可, 考虑到温度系数随温度波动带来的影响及电阻本身的短期稳定性, 认定其服从均匀分布, 其半区间为 0.5×10^{-6} , 用标准不确定度 B 类评定:

$$u_1(K_1) = 1 \times \sqrt{\left(\frac{0.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.41 \times 10^{-6} \quad (\text{A7})$$

$$u_2(K_2) = 1 \times \sqrt{\left(\frac{0.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0.5 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}}\right)^2} = 0.41 \times 10^{-6} \quad (\text{A8})$$

A.4 标准不确定度汇总表

标准不确定度汇总表见表 A2。

表 A2 标准不确定度汇总表

标准不确定度 分量来源	标准 不确定度值	灵敏系数
比例值 K_1 带来的不确定度 $\mu_1(K_1)$	0.41×10^{-6}	0.5
比例值 K_2 带来的不确定度 $\mu_2(K_2)$	0.41×10^{-6}	0.5
测量重复性 μ_3	0.07×10^{-6}	1

A.5 合成标准不确定度

合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + 2c_1 u_1 c_2 u_2 + c_3^2 u_3^2} = 0.42 \times 10^{-6} \quad (\text{A9})$$

A.6 扩展不确定度

扩展不确定度：

$$U = k \cdot u_c = 2 \times 0.42 \times 10^{-6} = 0.84 \times 10^{-6} \approx 9 \times 10^{-7} \quad k=2 \quad (\text{A10})$$

附录 B 校准原始记录格式

客户名称:				证书编号:		
器具名称:				校准日期:		
制造单位:				校准地点:		
型号/规格:				环境温度:		
编号:				相对湿度:		
技术依据:						
主要计量标准器具						
名称	编号	$U/AC/MPE$	溯源单位	证书编号	有效期至	是否符合要求

B.1 外观与通电检查:

B.2 量程内 1:1 比例误差

标称比例	K_1	K_2	测量电流
100k Ω : 100k Ω			μA
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

标称比例	K_1	K_2	测量电流
10k Ω : 10k Ω			mA
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

标称比例	K_1	K_2	测量电流
1k Ω : 1k Ω			mA
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

标称比例	K_1	K_2	测量电流
100 Ω : 100 Ω			mA
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

标称比例	K_1	K_2	测量电流
10 Ω : 10 Ω			mA
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

标称比例	K_1	K_2	测量电流
$1\Omega : 1\Omega$			mA
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

标称比例	K_1	K_2	测量电流
$0.1\Omega : 0.1\Omega$			A
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

标称比例	K_1	K_2	测量电流
$0.01\Omega : 0.01\Omega$			A
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

标称比例	K_1	K_2	测量电流
$0.001\Omega : 0.001\Omega$			A
误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

B.3 非线性误差

换位法

10V (100k Ω)

K_{T1} 50k Ω : 100k Ω	K_{T2} 20k Ω : 100k Ω	K_{T3} 20k Ω : 50k Ω	测量电流
			μA
乘积			
非线性误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

1V (1k Ω)

K_{T1} 0.5 k Ω : 1k Ω	K_{T2} 0.2 k Ω : 1k Ω	K_{T3} 0.2k Ω : 0.5k Ω	测量电流
			mA
乘积			
非线性误差	$\times 10^{-6}$		
$U \quad k=2$			

100mV (10 Ω)

K_{T1} 5 Ω : 10 Ω	K_{T2} 2 Ω : 10 Ω	K_{T3} 2 Ω : 5 Ω	测量电流
			mA
乘积			
非线性误差	$\times 10^{-6}$		

$U \quad k=2$	
---------------	--

比例标准法

100k Ω 量程

R_1 100k Ω	R_2 50k Ω	R_3 20k Ω	R_{N2} 50k Ω : 100k Ω	R_{N3} 20k Ω : 100k Ω
非线性误差 $\times 10^{-6}$				
$U \quad k=2$				

1k Ω 量程

R_1 1k Ω	R_2 0.5k Ω	R_3 0.2k Ω	R_{N2} 0.5k Ω : 1k Ω	R_{N3} 0.2k Ω : 1k Ω
非线性误差 $\times 10^{-6}$				
$U \quad k=2$				

10 Ω 量程

R_1 10 Ω	R_2 5 Ω	R_3 2 Ω	R_{N2} 5 Ω : 10 Ω	R_{N3} 2 Ω : 10 Ω
非线性误差 $\times 10^{-6}$				
$U \quad k=2$				

B.4 电阻测量误差

标称值	测量值	实际值	误差	$U_{rel} \quad k=2$	测量电流

校准员

核验员

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>				
校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059.1 的要求。				
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	证书编号	证书有效期至 (YYYY-MM-DD)

证书编号 XXXXXX-XXXX

校准结果

1 外观及通电检查:

2 量程内 1:1 比例误差:

标称比例	误差	$U \quad k=2$	测量电流
100k Ω : 100k Ω			μ A
10k Ω : 10k Ω			mA
1k Ω : 1k Ω			mA
100 Ω : 100 Ω			mA
10 Ω : 10 Ω			mA
1 Ω : 1 Ω			mA

3 非线性误差:

量程	非线性误差	$U \quad k=2$	测量电流
10V (100k Ω)			μ A
1V (1k Ω)			mA
100mV (10 Ω)			mA

4 电阻测量误差

标准值 Ω	误差	$U_{rel} \quad k=2$	测量电流

说明:

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。

声明:

1. 仅对加盖“XXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
2. 本证书的校准结果仅对本次所校准的计量器具有效。

校准员:

核验员:

第 X 页 共 X 页