



中华人民共和国国家计量检定规程

JJG 166—2022

直流标准电阻器

DC Standard Resistors



2022-12-07 发布

2023-06-07 实施

国家市场监督管理总局 发布

直流标准电阻器检定规程

Verification Regulation of DC
Standard Resistors

JJG 166—2022
代替 JJG 166—1993
直流标准电阻部分

归口单位：全国电磁计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

上海市计量测试技术研究院

北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：辽宁省计量科学研究院

国网山东省电力公司营销服务中心（计量中心）

本规程主要起草人：

梁 波（中国计量科学研究院）

邵海明（中国计量科学研究院）

来 磊（上海市计量测试技术研究院）

张 磊（北京市计量检测科学研究院）

参加起草人：

冯 建（上海市计量测试技术研究院）

梁国鼎（辽宁省检验检测认证中心）

范巧成 [国网山东省电力公司营销服务中心（计量中心）]



目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(3)
5 计量性能要求	(3)
5.1 基本误差	(3)
5.2 偏差	(4)
5.3 准确度等级	(4)
6 通用技术要求	(5)
6.1 外观及结构要求	(5)
6.2 电阻器的温度、相对湿度和功率的使用条件和参比条件	(5)
6.3 绝缘电阻	(7)
6.4 温度影响	(7)
7 计量器具控制	(7)
7.1 检定条件	(7)
7.2 检定项目和检定方法	(9)
7.3 检定结果的处理	(13)
7.4 检定周期	(13)
附录 A 检定原始记录格式	(14)
附录 B 检定证书/检定结果通知书内页格式 (第 2 页)	(16)
附录 C 检定证书/检定结果通知书检定结果页式样 (第 3 页)	(17)
附录 D 工作基准电阻成组传递一等标准电阻量传说明	(19)

引 言

JJF 1002—2010《国家计量检定规程编写规则》、JJF 1001《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》共同构成支撑本规程制定工作的基础性系列规范。

本规程是对 JJG 166—1993《直流电阻器》进行修订的。与 JJG 166—1993 相比，除编辑性修改外，有关技术部分的变化主要如下：

——由于直流电阻箱已独立为 JJG 982《直流电阻箱》，直流高压高值电阻器已独立为 JJG 1072《直流高压高值电阻器》，此次修订只保留直流标准电阻器检定；

——增加了术语；

——删除了绝缘强度试验；

——基本误差的检定删除了累积差值法；

——删除了环境温度引起的变差试验；

——删除了相对湿度引起的变差试验；

——删除了电阻器自热引起的变差。

——二等标准电阻的定等周期定为连续两次周期。

本规程的历次版本发布情况为：

——JJG 166—1993；

——JJG 166—1984。

直流标准电阻器检定规程

1 范围

本规程适用于工作电压不大于 1 kV 的下列直流标准电阻器的首次检定、后续检定和使用中检查：

电阻工作基准器（组），包括标称值为 $1\ \Omega$ 的基准器和 $10^{-3}\ \Omega$ ， $10^{-2}\ \Omega$ ， $10^{-1}\ \Omega$ ， $10\ \Omega$ ， $10^2\ \Omega$ ， $10^3\ \Omega$ ， $10^4\ \Omega$ ， $10^5\ \Omega$ 共 8 个电阻基准器组成的基准组；

一等电阻标准器，包括标称值为 $10^{-3}\ \Omega$ ， $10^{-2}\ \Omega$ ， $10^{-1}\ \Omega$ ， $1\ \Omega$ ， $10\ \Omega$ ， $10^2\ \Omega$ ， $10^3\ \Omega$ ， $10^4\ \Omega$ ， $10^5\ \Omega$ ， $10^6\ \Omega$ ， $10^7\ \Omega$ 的电阻标准器共 11 个；

二等电阻标准器，包括标称值为 $10^{-3}\ \Omega$ ， $10^{-2}\ \Omega$ ， $10^{-1}\ \Omega$ ， $1\ \Omega$ ， $10\ \Omega$ ， $10^2\ \Omega$ ， $10^3\ \Omega$ ， $10^4\ \Omega$ ， $10^5\ \Omega$ ， $10^6\ \Omega$ ， $10^7\ \Omega$ ， $10^8\ \Omega$ 和 $10^9\ \Omega$ 的电阻标准器共 13 个；

0.000 5 级及以下等级的电阻工作计量器具，包括标称值为 $10^{-4}\ \Omega$ ， $10^{-3}\ \Omega$ ， $10^{-2}\ \Omega$ ， $10^{-1}\ \Omega$ ， $1\ \Omega$ ， $10\ \Omega$ ， $10^2\ \Omega$ ， $10^3\ \Omega$ ， $10^4\ \Omega$ ， $10^5\ \Omega$ ， $10^6\ \Omega$ ， $10^7\ \Omega$ ， $10^8\ \Omega$ ， $10^9\ \Omega$ ， $10^{10}\ \Omega$ ， $10^{11}\ \Omega$ ， $10^{12}\ \Omega$ ， $10^{13}\ \Omega$ ， $10^{14}\ \Omega$ 共 19 个。

除以上量值的单值标准电阻器可参照本规程执行。

本规程不适用于：

- a) 仅作为电量比率器的单值或多值电阻器和单盘或多盘十进电阻器，如哈蒙量具、直流电阻箱、分压器、分流器等；
- b) 仅在电路中作永久性安装元件的电阻器及仅作调节用的电阻器；
- c) 在交流或脉冲电路中使用的电阻器；
- d) 仅作为电测仪器附件而不能单独使用的串联或并联电阻器；
- e) 有源电阻器；
- f) 工作电压大于 1 kV 的高值电阻。

2 引用文件

本规程引用了下列文件：

JJG 2051 直流电阻计量器具检定系统表

JJF 1094 测量仪器特性评定

JB/T 8225—1999 实验室直流电阻器

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于该规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

3 术语

JB/T 8225—1999 中确定的术语和定义（“误差”除外）适用于本规程。

3.1 连接点 point of connection

既用于连接电流，又用于连接电位的单只端钮或其中一只用于连接电流，另一只用

于连接电位的一对端钮。

3.2 单值电阻器 single resistor

在两个连接点之间具有明确电阻值的电阻器。

3.3 泄漏电流屏蔽 leakage current screen

将泄漏电流引到大地或固定点的导电通路，这样使其不通过电阻器或测量线路的其他部分。

3.4 静电屏蔽 electrostatic screen

用来保护被其保卫的空间不受外界的静电影响。金属箔、密孔金属网或导电涂层形式的防护罩。

3.5 标称值 nominal value

单值电阻器的标明数值及单位。

3.6 实际值 actual value

由国家测量标准传递得到的值。

3.7 检定值 certified value

在注明有效日期的检定证书上，包括不确定度的实际值。

3.8 基准值 fiducial value

为了规定电阻器的准确度，涉及电阻器误差的一个单值。

注：对工作基准器，一等电阻标准器，二等电阻标准器，0.000 5级~0.01级的电阻工作计量器具，基准值为上次检定实际值；对0.02级~20级的电阻器，基准值为其标称值。

3.9 影响量 influence quantity

易于引起电阻器阻值不希望有变化的量。

注：通常影响量包括环境温度和湿度、位置和功耗等。在适当的表中要给出这些量的参比范围和标称使用范围。

3.10 参比条件 reference conditions

影响量的规定条件。在该条件下，电阻器满足基本误差要求，每个影响量的参比条件可以是一个固定单值，也可以是一个数值范围。

注：JJF 1001中为“参考条件”。

3.11 基本误差 intrinsic error

在参比条件下确定的误差。

注：本规程中基本误差为参比条件下基准值减去实际值所得到的差值，可以用相对值表示。对工作基准器、一等电阻标准器、二等电阻标准器、0.000 5级~0.01级的电阻工作计量器具，通常用年稳定性考核，年稳定性=实际值-基准值，基本误差=一年稳定性。

3.12 偏差 deviation

实际值减去标称值得到的差值。

3.13 变差 variation

当某一影响量相继取两个规定值，而其他影响量都保持在其参比条件下时，所测得的两个实际值之间的差值。以基准值的百分数或科学计数法表示。

3.14 基本误差极限 maximum intrinsic error

允许的最大基本误差值。

3.15 偏差极限 maximum deviation

允许的最大偏差值。

4 概述

按照欧姆定律，电阻定义是当测量电位引线的导体中无热电动势时，电位测量端的电势差 U 除以流过电阻的电流 I ，即 $R=U/I$ ，其SI单位为 Ω 。直流标准电阻器是工作在直流状态下的标准电阻器。

直流标准电阻器是实物量具，主要用于检定各等级直流电阻。直流标准电阻器一般由电阻体、骨架和引出端三部分构成（实芯电阻器的电阻体与骨架合二为一）。直流标准电阻器按测量端钮可分为两端结构、三端结构和四端结构，见图1。图中 R 为电阻。

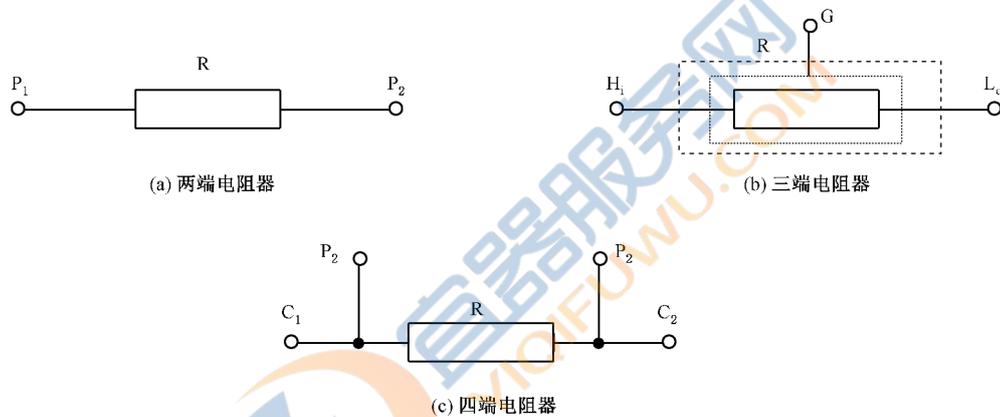


图1 直流标准电阻器结构图

5 计量性能要求

5.1 基本误差

直流标准电阻器（以下简称电阻器）的基本误差用绝对误差表示时，用公式（1）计算：

$$\Delta_e = R_f - R_x \quad (1)$$

式中：

Δ_e ——被检电阻器的绝对基本误差， Ω ；

R_f ——被检电阻器的基准值， Ω ；

R_x ——被检电阻器的实际值， Ω 。

电阻器的基本误差用相对误差表示时，用公式（2）计算：

$$\delta_e = \frac{R_f - R_x}{R_x} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

δ_e ——被检电阻器的相对基本误差；

R_f ——被检电阻器的基准值， Ω ；

R_x ——被检电阻器的实际值, Ω 。

5.2 偏差

电阻器的相对偏差用公式 (3) 计算:

$$\delta_d = \frac{R_x - R_n}{R_n} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

δ_d ——被检电阻器的相对偏差;

R_x ——被检电阻器的实际值, Ω ;

R_n ——被检电阻器的标称值, Ω 。

5.3 准确度等级

5.3.1 各等级电阻工作基准器和标准器的基本误差极限、偏差极限、电阻温度系数及电阻标称值范围应符合表 1 的要求。

5.3.2 各等级电阻工作计量器具的基本误差极限及偏差极限应符合表 2 的要求。

表 1 各等级电阻工作基准器和标准器的基本误差极限、偏差极限、电阻温度系数及电阻标称值范围

类别	等级指数 C		基本误差极限		偏差极限		温度系数 $10^{-6} / ^\circ\text{C}$	标称值 Ω
	%	10^{-6}	%	10^{-6}	%	10^{-6}		
工作基准器	0.000 05	0.5	$\pm 0.000 05$	± 0.5	± 0.01	± 100	≤ 10	1
	0.000 1	1	$\pm 0.000 1$	± 1	± 0.01	± 100		$10^{-1}, 10, 10^2,$ $10^3, 10^4$
	0.000 2	2	$\pm 0.000 2$	± 2	± 0.01	± 100		$10^{-3}, 10^{-2}, 10^5$
	0.000 1	1	$\pm 0.000 1$	± 1	± 0.01	± 100		1
一等标准器	0.000 3	3	$\pm 0.000 3$	± 3	± 0.01	± 100	$10^{-1}, 10, 10^2,$ $10^3, 10^4$	
	0.000 6	6	$\pm 0.000 6$	± 6	± 0.01	± 100	$10^{-3}, 10^{-2}, 10^5,$ $10^6, 10^7$	
二等标准器	0.001	10	± 0.001	± 10	± 0.01	± 100	$10^{-1}, 1, 10, 10^2,$ $10^3, 10^4$	
	0.002	20	± 0.002	± 20	± 0.01	± 100	$10^{-3}, 10^{-2}, 10^5,$ $10^6, 10^7, 10^8, 10^9$	

表 2 各等级电阻工作计量器具的基本误差极限及偏差极限

等级指数 C		基本误差极限		偏差极限	
%	10^{-6}	%	10^{-6}	%	10^{-6}
0.000 5	5	$\pm 0.000 5$	± 5	± 0.01	± 100
0.001	10	± 0.001	± 10		
0.002	20	± 0.002	± 20	± 0.01	± 100
0.005	50	± 0.005	± 50		
0.01	100	± 0.01	± 100		
0.02	200	± 0.02	± 200	± 0.02	± 200
0.05	500	± 0.05	± 500	± 0.05	± 500
0.1	1 000	± 0.1	$\pm 1 000$	± 0.1	$\pm 1 000$
0.2	2 000	± 0.2	$\pm 2 000$	± 0.2	$\pm 2 000$
0.5	5 000	± 0.5	$\pm 5 000$	± 0.5	$\pm 5 000$
1	10 000	± 1	$\pm 10 000$	± 1	$\pm 10 000$
2	20 000	± 2	$\pm 20 000$	± 2	$\pm 20 000$
5	50 000	± 5	$\pm 50 000$	± 5	$\pm 50 000$
10	100 000	± 10	$\pm 100 000$	± 10	$\pm 100 000$
20	200 000	± 20	$\pm 200 000$	± 20	$\pm 200 000$

6 通用技术要求

6.1 外观及结构要求

电阻器的面板或外壳上一般应标注：名称、型号、产品号、标称值、制造厂名称或商标、标称（或最大）使用功率（电流或电压）或表示其他必要内容由单独文件给出的符号。

标称电阻值大于或等于 $10^6 \Omega$ 的高值电阻器应具有静电屏蔽，0.02 级以上标称值大于或等于 $10^6 \Omega$ 的精密高值电阻器应具有独立的泄漏屏蔽端钮。

6.2 电阻器的温度、相对湿度和功率的使用条件和参比条件

6.2.1 各等级电阻工作基准器、标准器使用时的温度、相对湿度和功率应符合表 3 的要求。

表 3 各等级电阻工作基准器和标准器使用时的温度、相对湿度和功率

类别	等级指数 $C/10^{-6}$	温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/%	功率/W
工作基准器	0.5	20 ± 0.05	25~75 ($\geq 10^6 \Omega$ 应为 40~60)	0.01
	1	20 ± 0.1		0.02
	2	20 ± 0.2		0.03
一等标准器	1	20 ± 0.1		0.05
	3	20 ± 0.3		0.05
	6	20 ± 0.6		0.1
二等标准器	10	20 ± 1		0.3
	20	20 ± 2		0.3

6.2.2 各等级工作计量器具电阻器对温度、湿度的标称使用范围极限应符合表 4 的要求。

表 4 温度、湿度的标称使用范围极限

影响量	等级指数 $C/\%$	阻值/ Ω	标称使用范围极限
环境温度 (大气、油槽、空气槽)	0.000 5	所有阻值	参考值 ^① $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
	0.001	所有阻值	参考值 $\pm 1^{\circ}\text{C}$
	0.002	所有阻值	参考值 $\pm 2^{\circ}\text{C}$
	0.005~0.02	所有阻值	参考值 $\pm 5^{\circ}\text{C}$
	0.02	$\geq 10^6$	参考值 $\pm 5^{\circ}\text{C}$
	0.02	$< 10^6$	参考值 $\pm 10^{\circ}\text{C}$
	0.05	所有阻值	参考值 $\pm 10^{\circ}\text{C}$
	0.1~20	$\geq 10^6$	参考值 $\pm 10^{\circ}\text{C}$
$< 10^6$		参考值 $\pm 15^{\circ}\text{C}$	
相对湿度	所有等级		25%~75%
^① 参考值见表 5 中参比条件。			

6.2.3 电阻器的温度、湿度的参比条件及其允差应符合表 5 的要求。

表 5 温度、湿度的参比条件及其允差

影响量	参考值	检定时对单一参考值的范围
环境温度 (大气、油槽、空气槽)	20 $^{\circ}\text{C}$ (23 $^{\circ}\text{C}$)	标称使用范围的 $1/10^{\text{①}}$
相对湿度	50%	40%~60%
^① 对带有恒温器件的电阻器应遵照生产单位的说明。		

6.2.4 电阻器的参比功率 (或电压)、标称使用功率 (或电压) 系列值见表 6。

表 6 参比功率（或电压）、标称使用功率（或电压）系列值

电阻形式	阻值/ Ω	功率系列/W	n	电压系列/kV
电阻器 标称值	$<10^6$	$(1, 2, 3, 5, 7) \times 10^n$	$-3, -2, -1, 0, 1, 2$	—
	$\geq 10^6$	—	—	0.025, 0.040, 0.070, 0.10, 0.15, 0.25, 0.30, 0.40, 0.50, 0.70, 1.00

6.2.5 当电阻器处于表 3 和表 4 的条件下，温度、湿度、功率或电压等影响量在标称使用范围内任意变化时，电阻值的变化应不超过相应的基本误差极限。

6.3 绝缘电阻

电阻器电路和与电路无电气连接的任何其他外部金属间的绝缘电阻应符合以下要求：

- 对 0.01、0.02 级电阻器和标称值不小于 $1 \times 10^6 \Omega$ 的电阻器，其绝缘电阻应不小于 500 M Ω 。
- 对 0.05~20 级的电阻器，其绝缘电阻应不小于 100 M Ω 。
- 对所有其他等级的电阻器，其绝缘电阻为电阻标称值的 100 万倍，但不得小于 500 M Ω 。

6.4 温度影响

准确度等级为 0.01 级及以上等级的电阻器，在温度标称使用范围内任一温度下的电阻实际值可按公式（4）计算，从而减小温度影响量引起的变差。

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha(t - 20) + \beta(t - 20)^2] \quad (4)$$

式中：

R_t ——温度为 t （单位为 $^{\circ}\text{C}$ ）时的电阻实际值， Ω ；

R_{20} ——温度为 20 $^{\circ}\text{C}$ 时的电阻实际值， Ω ；

α ——一次项电阻温度系数， $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

β ——二次项电阻温度系数， $^{\circ}\text{C}^{-2}$ ；

t ——电阻器的温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

在温度标称使用范围内，电阻器的电阻实际值与按公式（4）计算获得值之间的差值，不应大于相应等级基本误差极限的 1/5。

7 计量器具控制

计量器具控制包括首次检定、后续检定和使用中检查。

7.1 检定条件

7.1.1 环境条件

安放检定装置的环境应符合以下要求：

- 被检电阻器等级为电阻工作基准时，环境温度为 $(20 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ ；一等电阻标准，二等电阻标准以及高于或等于 0.002 级电阻，环境温度为 $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ；其余等级为 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，但不得低于标准仪器保证准确度的温度范围。

b) 相对湿度为 25%~75%，但不得低于标准仪器保证准确度的湿度范围 ($\geq 10^6 \Omega$ 电阻器要求相对湿度为 40%~60%)。

c) 被检电阻器检定前应至少在安放检定装置的环境中存放 24 h。

7.1.2 检定时的温度

a) 电阻基准器、标准器检定时的温度，指恒温设备（油槽、恒温箱）内的温度，温度计应符合表 7 的要求。

b) 其他电阻器应符合表 5 的要求。

表 7 电阻基准器、标准器检定时的温度允差

名称	工作基准器			一等标准器			二等标准器		工作计量器具
	0.5	1	2	1	3	6	10	20	
等级指数 $C_x/10^{-6}$	0.5	1	2	1	3	6	10	20	所有等级
温度均匀性 $\Delta t'/^\circ\text{C}$	± 0.005	± 0.01	± 0.02	± 0.01	± 0.03	± 0.06	± 0.1	± 0.2	标称使用范围的 1/10
监测温度计允许误差 $\Delta t''/^\circ\text{C}$	± 0.002	± 0.005	± 0.01	± 0.005	± 0.01	± 0.02	± 0.05	± 0.1	$\leq (1/2) \Delta t'$

7.1.3 所使用的计量标准器

7.1.3.1 电阻器标准、检定装置

a) 由电阻器标准、检定装置、环境条件及其他条件引起的相对扩展不确定度 U_{rel} ($k=2$) 应不大于被检电阻器相应等级指数 C_x 的 1/2 (对电阻基准器、一等标准器) 和 1/3 (对其他电阻器)。

注：其他条件包括连接电阻、寄生电势、绝缘泄漏、静电感应、电磁干扰、零电流等诸因素。

b) 检定装置中灵敏度常数即电阻相对变化常数 C_R 应符合表 8 的要求。

表 8 电阻相对变化常数 C_R

名称	工作基准器	一等标准器				二等标准器		工作计量器具
	0.5	1	3	6	10	20		
等级指数 $C_x/10^{-6}$	0.5	1	3	6	10	20	所有等级	
灵敏度/ $\frac{\text{读数单位}}{\Delta R/R}$	$\frac{200}{1 \times 10^{-5}}$	$\frac{100}{1 \times 10^{-5}}$	$\frac{30}{1 \times 10^{-5}}$	$\frac{150}{1 \times 10^{-4}}$	$\frac{100}{1 \times 10^{-4}}$	$\frac{50}{1 \times 10^{-4}}$	—	
$C_R / \left(\frac{10^{-6}}{\text{读数单位}} \right)$	0.05	0.1	0.3	0.6	1	2	等级指数的 1/10	
注： C_R 即为装置灵敏度引起的误差。								

7.1.3.2 绝缘电阻表

标称电压为电阻器标称使用电压上限值，但不得低于 500 V，准确度等级不低于 10 级。

7.1.3.3 检定时功率

检定时被检电阻器承受的功率（电压或电流）应不超过以下规定。

a) 对工作基准器、标准器和 0.002 级及以上等级电阻器应不超过表 9 的规定。

b) 对作为工作计量器具的电阻器根据其性能及工作状态可为：

(1) 对通用电阻器应在参考功率或参考电压（电流）下进行。对大于或等于 $10^6 \Omega$ 没有标明参考电压的高值电阻器，取其标称使用电压上限值的 1/5 作为参考电压。

(2) 对专用电阻器应为其标称最高使用功率或标称最高使用电压（电流）下进行。

表 9 检定时被检电阻器承受的功率

名称	工作基准器			一等标准器			二等标准器	
	0.5	1	2	1	3	6	10	20
等级指数 $C_x/10^{-6}$	0.5	1	2	1	3	6	10	20
检定功率 P/W	0.01			0.01	0.02	0.03	0.05	0.05

7.2 检定项目和检定方法

7.2.1 检定项目

表 10 检定项目一览表

检定项目	首次检定	后续检定	使用中检查
外观及线路检查	+	+	-
绝缘电阻	+	-	-
基本误差（年稳定性）	+	+	+
温度系数 ^①	+	-	-
电压变差 ^②	+	-	-

注：符号“+”表示需要检定，符号“-”表示不需检定。

^① 仅在二等及以上电阻器首次定等时提供。

^② 一般，最大工作电压在 500 V 以上的高值电阻需要进行测量。

7.2.2 检定方法

7.2.2.1 外观及线路检查

检查被检电阻器面板及铭牌上的符号或标志，应符合 6.1 的要求。

7.2.2.2 绝缘电阻试验

a) 用绝缘电阻表测量绝缘电阻，测量应在电阻器输出端钮和与线路无电气连接的外部金属点（通常为机壳）间进行。

b) 测量绝缘电阻的试验电压为电阻器标称使用电压上限值，但不得低于 500 V，测量结果应在施加电压后（1~2）min 内读出。测量结果应符合 6.3 的要求。

7.2.2.3 基本误差

基本误差的检定在参比条件下进行，根据被检电阻器的等级指数、标称值的不同，

可从直接测量法、同标称值替代法、过渡传递法中选用适当的检定方法，也可采用其他经认证并能满足 7.1.3.1 传递要求的方法。

电阻标准器的准确度等级至少应比被检电阻器高一等级。

电阻测量结果根据公式 (1)、(2) 计算基本误差 (年稳定性)。

a) 直接测量法

当用比被检电阻器高两个准确度等级的电阻测量仪器或装置来测量被检电阻器电阻值时，可采用直接测量法，被检电阻器的电阻值 R_x 的检定结果用公式 (5) 表示。

$$R_x = A_x \quad (5)$$

式中：

R_x ——被检电阻器实际值， Ω ；

A_x ——电阻测量仪器示值， Ω 。

常用的电阻测量仪器或装置有直流电桥、直流电流比较仪电桥、数字多用表、电压比电桥等。

b) 同标称值替代法

当电阻测量仪器或装置达不到比被检电阻器准确度等级高出两个等级，而又有与被检电阻器同标称值的电阻标准器时，被检电阻器电阻值的检定可采用同标称值传递法。最常用的同标称值传递法是替代法。替代法是用电阻测量 (或比较) 仪器依次测量标准电阻器和被检电阻器的电阻值 R_s 和 R_x 。检定结果用公式 (6) 表示。

$$R_x = R_s + (A_x - A_s) \quad (6)$$

式中：

R_x ——被检电阻器实际值， Ω ；

R_s ——标准电阻器实际值， Ω ；

A_x ——测量被检电阻器时测量仪器示值， Ω ；

A_s ——测量标准电阻器时测量仪器示值， Ω 。

常用的电阻测量 (或比较) 仪器除 7.2.2.3 a) 所述外，还有电阻比较仪、电位差计等。

c) 过渡传递法

通过确定 R_x 与 R_s 的电阻比值 B 来实现电阻量值传递的方法称过渡传递法。检定结果用公式 (7) 计算。

$$R_x = B \cdot R_s \quad (7)$$

式中：

R_x ——被检电阻器的实际值， Ω ；

R_s ——标准电阻器的实际值， Ω ；

B —— R_x 与 R_s 的比值。

常用的电阻比的检定方法有直接测量法、标准量具法。

1) 直接测量法

用作为标准的电阻比测量仪器或装置直接测量 R_x 与 R_s 的电阻比值 B 。测量结果用公式 (8) 计算。

$$B = B_x \quad (8)$$

式中：

B —— R_x 与 R_s 的比值。

B_x ——电阻比测量仪器的示值。

常用的电阻比测量仪器有电流比较仪、电压比较仪、电桥和某些具有比率测量功能的数字式仪表。

2) 标准量具法

由两只（或两组）电阻器组成的，具有已知电阻比值的电阻比例器称为标准电阻比量具。

常用的电阻比量具有 Hamon 量具和比例量具，两只不同标称值的电阻标准器也可以作为标准电阻比量具使用。

用电阻比量具测定电阻比的方法有电阻比较法和比例替代法。

满足本规程要求的电阻比量具的单元电阻器也可以作为电阻标准器使用。

电阻比较法：

当电阻比量具分别是由与 R_x 和 R_s 同标称值的单只或组合电阻器 R_{b1} 和 R_{b2} 构成时，可以按 b) 方法，通过 R_x 和 R_{b1} 及 R_s 和 R_{b2} 两组同标称值的电阻比较确定 B 。

测量步骤为：

R_x 和 R_{b1} 比较得： $R_x = R_{b1} + (A_x - A_{b1})$

R_s 和 R_{b2} 比较得： $R_s = R_{b2} + (A_s - A_{b2})$

则测量结果用公式 (9) 计算：

$$B = B_s \left(1 + \frac{A_x - A_{b1}}{R_{b1}} - \frac{A_s - A_{b2}}{R_{b2}} \right) \quad (9)$$

式中：

B —— R_x 与 R_s 的比值。

R_x ——被检电阻器实际值， Ω ；

R_s ——标准电阻器实际值， Ω ；

R_{b1} ——与被检电阻器同标称值电阻的实际值， Ω ；

R_{b2} ——与标准电阻器同标称值电阻的实际值， Ω ；

A_x ——测量被检电阻器时测量仪器的示值， Ω ；

A_s ——测量标准电阻器时测量仪器的示值， Ω ；

A_{b1} ——测量与被检电阻器同标称值电阻 R_{b1} 时测量仪器的示值， Ω ；

A_{b2} ——测量与标准电阻器同标称值电阻 R_{b2} 时测量仪器的示值， Ω ；

B_s —— R_{b1} 和 R_{b2} 的实际比值。

比例替代法：

B 可以与具有相同电阻比标称值的电阻比量具 B' ，在电阻比测量仪器或比较仪器上通过电阻比的替代比较求得 B ，测量结果用公式 (10) 计算。

$$B = B' + (B_x - B'_x) \quad (10)$$

式中：

B —— R_x 与 R_s 的比值；

B' ——具有与 B_x 相同电阻比标称值量具的电阻比；

B_x ——测量电阻比 B 测量仪器的示值；

B'_x ——测量电阻比 B' 测量仪器的示值。

7.2.2.4 温度系数的测量

a) 测量温度点

不同等级标准电阻器温度系数的测量温度点的选择应符合表 11 的要求，所选择的温度点必须恒温 2 h 后方可进行测量。

表 11 不同等级标准电阻器温度系数的测量温度点

工作基准、一等、二等		
测量 R_{t_1} 时 $t_1/^\circ\text{C}$	测量 R_{t_2} 时 $t_2/^\circ\text{C}$	测量 R_{t_3} 时 $t_3/^\circ\text{C}$
15±1	20±1	25±1

b) 测量原理

在上述所选的温度点下，测量 R_x 的电阻值 R_{t_1} 、 R_{t_2} 、 R_{t_3} ，由于

$$R_{t_1} = R_{20} [1 + \alpha(t_1 - 20) + \beta(t_1 - 20)^2]$$

$$R_{t_2} = R_{20} [1 + \alpha(t_2 - 20) + \beta(t_2 - 20)^2]$$

$$R_{t_3} = R_{20} [1 + \alpha(t_3 - 20) + \beta(t_3 - 20)^2]$$

解上述方程得公式 (11)、(12)：

$$\alpha = \frac{(R_{t_2} - R_{t_1})(t_3 - t_2)(t_3 + t_2 - 40) + (R_{t_3} - R_{t_2})(t_2 - t_1)(40 - t_1 - t_2)}{R_n(t_3 - t_2)(t_2 - t_1)(t_3 - t_1)} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{(R_{t_3} - R_{t_2})(t_2 - t_1) - (R_{t_2} - R_{t_1})(t_3 - t_2)}{R_n(t_3 - t_2)(t_2 - t_1)(t_3 - t_1)} \quad (12)$$

式中：

R_n ——电阻器标称值， Ω 。

α ——一次项电阻温度系数， $^\circ\text{C}^{-1}$ ；

β ——二次项电阻温度系数， $^\circ\text{C}^{-2}$ ；

7.2.2.5 电压变差

在参比条件下，对电阻器分别施加参比电压（或 1/5 标称使用电压） U_r 和标称使用电压上限 U_m 得到电阻值 R_r 和 R_m ，电压 U_m 引起的电压变差 δ_{U_m} 按公式 (13) 计算：

$$\delta_{U_m} = \frac{R_m - R_r}{R_r} \times 100\% \quad (13)$$

式中：

δ_{U_m} ——电压 U_m 引起的电压变差；

R_m ——电阻器施加标称使用电压上限 U_m 测量结果， Ω ；

R_r ——电阻器施加参比电压 U_r 测量结果， Ω ；

7.3 检定结果的处理

7.3.1 检定数据按数值修约规则修约到该点基本误差极限/偏差极限绝对值的1/10位。

7.3.2 温度系数测量结果， α 的数值至少修约到 10^{-7} 位， β 的数值至少修约到 10^{-8} 位。

7.3.3 绝缘电阻试验只判断合格与否，可不给出检定数据。

7.3.4 定等级

7.3.4.1 按本规程的项目进行检定，并能满足本规程全部技术要求，且对于0.01级及以上电阻工作计量器具具有连续2次的周期检定结果者方可予以定等级；对于工作基准器具有连续5次的周期检定结果、一等标准器具有连续3次的周期检定结果、二等标准器连续2次周期检定结果方可予以定等级。

7.3.4.2 工作基准器、一等标准器、二等标准器、0.01级及以上电阻工作计量器具首次送检或缺少上一年检定数据的，出具检定证书，注明“年稳定性待考核，暂不定等级”。

7.3.4.3 不合格者，允许降一级使用，但必须满足所定等级的全部技术要求。

7.3.4.4 修理后的电阻器按首次送检处理。

7.3.5 检定证书或检定结果通知书

7.3.5.1 对表10所列检定项目全部合格者出具检定证书；凡有一项不合格者，出具检定结果通知书，并注明不合格的项目和原因。

7.3.5.2 检定证书上应给出电阻器实际值、检定结果不确定度、检定时的温度和相对湿度、检定电流（电压）及检定结论。检定证书/检定结果通知书内页格式见附录C。

7.4 检定周期

直流标准电阻器检定周期为1年。

附录 A

检定原始记录格式

直流电阻器检定原始记录

第 页 共 页

证书编号：

委托号		送检单位										
计量器具名称				制造单位								
型号/规格				出厂编号								
检定日期		年 月 日										
检定依据			检定结论：									
检定机构授权说明：												
检定环境条件及地点：												
温度		℃		地点								
相对湿度		%		其他								
检定使用的计量（基）标准装置												
名称		测量范围		不确定度/准确度等级/ 最大允许误差				计量（基）标准 证书编号		有效期至		
检定使用的标准器												
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		有效期至		
检定项目				检定结果								
1. 外观及线路检查												
2. 绝缘电阻测量												
3. 基本误差（年稳定性）												
标称值 Ω	型号	出厂 编号	制造 单位	α $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$	β $10^{-6}/^{\circ}\text{C}^2$	检定 温度 $^{\circ}\text{C}^2$	历史 数据 Ω	检定 电流 (电压) A (V)	实际值 R_{20} Ω	年稳 定性 10^{-6}	结论	不确定度 U_{rel} ， ($k=2$) 10^{-6}

直流电阻器检定原始记录
证书编号：

第 页 共 页

4. 温度系数测量					
标称值/ Ω	温度/ $^{\circ}\text{C}$	测量值/ Ω	$\alpha / (10^{-6} / ^{\circ}\text{C})$	$\beta / (10^{-6} / ^{\circ}\text{C}^2)$	
	15				
	20				
	25				
5. 电压变差测量					
标称值/ Ω	U_r / V	R_r / Ω	U_m / V	R_m / Ω	δU_m

检定员：

核验员：



附录 B

检定证书/检定结果通知书内页格式 (第 2 页)

证书编号 ××××××-××××

检定机构授权说明：				
检定环境条件及地点：				
温度	℃	地点		
相对湿度	%	其他		
检定使用的计量（基）标准装置				
名称	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	计量（基）标准证书编号	有效期至
检定使用的标准器				
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	有效期至

第×页 共×页

附录 C

检定证书/检定结果通知书检定结果页式样 (第 3 页)

C.1 检定证书第 3 页

证书编号 ××××××-××××

检定结果

标称值/ Ω	
型号	
出厂编号	
生产厂	
$\alpha / (10^{-6} / ^\circ\text{C})$	
$\beta / (10^{-6} / ^\circ\text{C}^2)$	
检定电流 (电压) / A (V)	
××××年 20 $^\circ\text{C}$ 实际值/ Ω	
××××年 20 $^\circ\text{C}$ 实际值/ Ω	
年稳定性/ 10^{-6}	
结论	
不确定度 $U_{\text{rel}} / 10^{-6}$, $k=2$	

以下空白

C.2 检定结果通知书第 3 页

证书编号 ××××××-××××

检定结果

标称值/ Ω	
型号	
出厂编号	
生产厂	
$\alpha / (10^{-6} / ^\circ\text{C})$	
$\beta / (10^{-6} / ^\circ\text{C}^2)$	
检定电流 (电压) / A (V)	
××××年 20 $^\circ\text{C}$ 实际值/ Ω	
××××年 20 $^\circ\text{C}$ 实际值/ Ω	
年稳定性/ 10^{-6}	
结论	
不确定度 $U_{\text{rel}} / 10^{-6}, k=2$	

检定结果不合格项：

以下空白

附录 D

工作基准电阻成组传递一等标准电阻量传说明

D.1 引言

本附录用于说明工作基准需要成组向一等标准电阻进行量传。

1 Ω 工作基准电阻基本误差极限（年稳定性）为 $\pm 0.5 \times 10^{-6}$ ，1 Ω 一等直流标准电阻器的基本误差极限（年稳定性）为 $\pm 1 \times 10^{-6}$ ，用一只 1 Ω 工作基准电阻直接传递 1 Ω 一等直流标准电阻器是不能满足 7.1.3.1a) “电阻器标准、检定装置、环境条件及其他条件引起的扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(k=2)$ 应不大于被检电阻器相应等级指数 C_x 的 1/2” 的要求，因此需要成组选择工作基准器来进行量值传递。建标时，工作基准需要多只构成工作基准组，工作基准组平均值年变化绝对值应小于 0.3×10^{-6} 。下面对 1 Ω 工作基准组传递 1 Ω 一等标准电阻进行测量不确定度评定。

D.2 1 Ω 工作基准电阻组传递一等标准电阻测量不确定度评定

D.2.1 过渡传递法测量模型

用 1 Ω 工作基准组传递 1 Ω 一等标准电阻，采用过渡传递法来测量一等电阻，见公式 (D.1)：

$$R_x = B \cdot R_s \quad (\text{D.1})$$

式中：

R_x ——被检电阻器实际值，Ω；

R_s ——标准电阻器组平均值实际值，Ω；

B ——被检电阻器 R_x 与标准电阻器组平均值 R_s 的比值。

相对合成标准不确定度见公式 (D.2)：

$$u_{\text{crel}}^2(R_x) = u_{\text{rel}}^2(B) + u_{\text{rel}}^2(R_s) \quad (\text{D.2})$$

式中：

$u_{\text{crel}}(R_x)$ ——被检标准电阻器的相对合成标准不确定度；

$u_{\text{rel}}(R_s)$ ——标准电阻器组平均值引入的相对标准不确定度；

$u_{\text{rel}}(B)$ ——比值引入的相对标准不确定度。

D.2.2 各分量相对标准不确定度评定

D.2.2.1 标准电阻器组引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(R_s)$ D.2.2.1.1 最大允许变化量引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel1}}(R_s)$

采用 B 类评定。标准电阻为工作基准组，组平均值年稳定最大允许变化量 $\pm 0.3 \times 10^{-6}$ ，则分散区间的半宽度为 $a = 0.3 \times 10^{-6}$ ，为均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则标准电阻年稳定性引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel1}}(R_s) = \frac{a}{k} = \frac{0.3 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0.172 \times 10^{-6}$$

D.2.2.1.2 标准电阻器组溯源引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel2}}(R_s)$

采用 B 类评定。根据证书，工作基准组的溯源不确定度 $U_{\text{rel2}}(R_s)$ 为 0.25×10^{-6} ， k

=2, 则相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}2}(R_s) = \frac{U_{\text{rel}2}(R_s)}{k} = \frac{0.25 \times 10^{-6}}{2} = 0.125 \times 10^{-6}$$

D.2.2.2 比值引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}}(B)$

D.2.2.2.1 比值最大允许误差引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}1}(B)$

采用 B 类评定。一般电桥的 1:1 比例最大允许误差 $\pm 0.1 \times 10^{-6}$, 则分散区间的半宽度为 $a = 0.1 \times 10^{-6}$, 为均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则比值最大允许误差引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}1}(B) = \frac{a}{k} = \frac{0.1 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0.058 \times 10^{-6}$$

D.2.2.2.2 比值测量重复性引入的相对标准不确定度 $u_{\text{rel}2}(B)$

重复性引入的相对标准不确定度, 采用 A 类评定, 通过多次重复测量, 经计算得到。多次重复测量结果如表 D.1 所示, 用贝塞尔公式 (D.3) 计算实验标准差:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (B_i - \bar{B})^2}{n-1}} \quad (\text{D.3})$$

式中:

\bar{B} ——被检电阻与标准电阻多次测量比值的平均值;

B_i ——被检电阻与标准电阻器组多次测量比值的第 i 次测量值;

n ——重复测量的次数, 此处 $n=10$ 。

表 D.1 被检电阻与标准电阻比值重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5
比值	0.999 995 4	0.999 995 4	0.999 995 3	0.999 995 4	0.999 995 4
第 i 次测量	6	7	8	9	10
比值	0.999 995 4	0.999 995 3	0.999 995 4	0.999 995 4	0.999 995 3

根据表 D.1 中的数据, 由公式 (D.3) 计算出多次重复测量的实验标准差:

$$s(B) = 0.048 \times 10^{-6}$$

校准时取单次测量结果, 故测量重复性引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}2}(B) = s(B) = 0.048 \times 10^{-6}$$

D.2.2.3 不确定度分量一览表

不确定度分量见表 D.2。

表 D.2 单只工作基准检定一等标准电阻的相对不确定度分量一览表

不确定度分量		不确定度来源	评定方法	分布类型	k	相对标准不确定度值
$u_{\text{rel}}(R_s)$	$u_{\text{rel1}}(R_s)$	工作基准器组年稳定最大允许变化量	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.172×10^{-6}
	$u_{\text{rel2}}(R_s)$	工作基准器组溯源不确定度	B	正态	3	0.125×10^{-6}
$u_{\text{rel}}(B)$	$u_{\text{rel1}}(B)$	电桥比值最大允许误差	B	均匀	$\sqrt{3}$	0.058×10^{-6}
	$u_{\text{rel2}}(B)$	比值重复性测量	A	——	1	0.048×10^{-6}

D.2.2.4 相对合成标准不确定度 $u_{\text{crel}}(R_x)$

各不确定度分量之间不相关，故相对合成标准不确定度：

$$u_{\text{crel}}(R_x) = \sqrt{u_{\text{crel}}^2(R_s) + u_{\text{crel}}^2(B)} = 0.225 \times 10^{-6}$$

D.2.2.5 相对扩展不确定度 $U_{\text{rel}}(R_x)$

取包含因子 $k=2$ ，则相对扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}}(R_x) = k \times u_{\text{crel}}(R_x) = 2 \times 0.225 \times 10^{-6} = 0.45 \times 10^{-6}$$

由此可见，采用多只 1Ω 工作基准组，组平均值年稳定最大允许变化量 $\pm 0.3 \times 10^{-6}$ ，传递 1Ω 一等标准电阻时可以满足 7.1.3.1a) 要求。