



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1098—2003

热电偶、热电阻自动测量系统校准规范

Calibration Specification for Auto-measuring System of
Thermocouples and Resistance Thermometers

2003 - 03 - 05 发布

2003 - 06 - 01 实施

国家质量监督检验检疫总局 发布

热电偶、热电阻自动测量系统 校准规范

Calibration Specification for Auto-measuring
System of Thermocouples and
Resistance Thermometers

JJF 1098—2003

本规范经国家质量监督检验检疫总局于 2003 年 03 月 05 日批准，并自 2003 年 06 月 01 日起施行。

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：中国测试技术研究院

中国计量学院

广东省计量科学研究所

本规范委托归口单位负责解释

本规范主要起草人：

魏寿芳 （中国测试技术研究院）

陈 乐 （中国计量学院）

沈正宇 （广东省计量科学研究所）

参加起草人：

谌立新 （重庆仪表材料研究所）

陈式跃 （浙江洞头自动化仪表厂）

郑钟辉 （西航电子仪器厂）

徐 军 （泰安智能仪器仪表厂）

甘良阵 （浙江洞头电器仪表厂）

目 录

1 范围	(1)
2 引用文献	(1)
3 术语和计量单位	(1)
3.1 标准器	(1)
3.2 电测仪表	(1)
3.3 恒温装置	(1)
3.4 扫描开关	(1)
4 概述	(1)
4.1 系统的组成	(1)
4.2 系统的用途	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 系统各主要部件的技术要求	(2)
5.2 专用测量软件的功能要求	(2)
5.3 安全性能	(2)
5.4 计量特性	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 校准用标准器及配套设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(4)
7.1 校准项目	(4)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果的表达	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 标准热电偶自动测量系统测量结果不确定度评定实例	(7)
附录 B 工业热电阻自动测量系统测量结果不确定度评定实例	(11)
附录 C 校准证书封面及内页格式	(19)

热电偶、热电阻自动测量系统校准规范

1 范围

本校准规范适用于 S 型二等标准热电偶、工作用热电偶和工业热电阻自动测量系统（以下简称系统）的校准。对于 R 型、B 型标准热电偶测量系统的校准也可参照执行。

2 引用文献

JJG 75—1995 《标准铂铑 10—铂热电偶检定规程》

JJG 351—1996 《工作用廉金属热电偶检定规程》

JJG 141—2000 《工作用贵金属热电偶检定规程》

JJG 229—1998 《工业铂、铜热电阻检定规程》

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和计量单位

3.1 标准器

指标准热电偶或标准铂电阻温度计。

3.2 电测仪表

指用于测量电信号的测量仪表，如电位差计、数字多用表等。

3.3 恒温装置

泛指用于提供恒定温场的设备，如热电偶检定炉或恒温槽等。

3.4 扫描开关

指用于切换数据采集通道的装置，又称为多路转换开关或电子扫描器。

4 概述

4.1 系统的组成

热电偶、热电阻自动测量系统的种类很多，它可以是一体化的，也可以是由若干部件构成的。典型结构如图 1 所示。

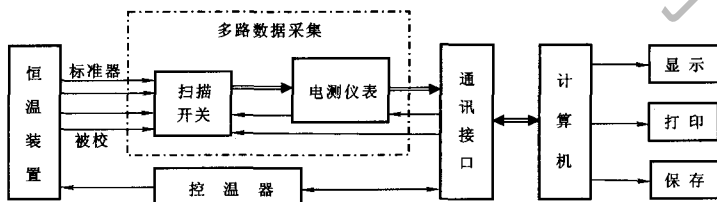


图 1 测量系统的典型结构图

4.2 系统的用途

4.2.1 标准热电偶自动测量系统（以下简称标准偶系统），用于校准二等标准铂铑 10—铂热电偶；

4.2.2 工作用热电偶自动测量系统（以下简称工作偶系统），用于校准工作用贵（或廉）金属热电偶；

4.2.3 工业用电阻自动测量系统（以下简称工业阻系统），用于校准工业铂、铜热电阻。

5 计量特性

5.1 系统各主要部件的技术要求

5.1.1 测量系统各部件标志、证书和编号齐全，必须带有系统构成原理图与接线图。各部件连接线和接插件应有明显标志，数量、长度满足实际工作要求，接插安全可靠。

5.1.2 系统各主要部件的技术要求应符合相关检定规程或规范所规定的技术指标要求。

5.2 专用测量软件的功能要求

5.2.1 专用测量软件应带有安装程序，有完整的操作使用、维护说明和必要的备份，可以加密。其名称、版本、序列号、生产日期和制作单位等信息应标识清楚。

5.2.2 专用测量软件应具备原始测量数据安全记录保存功能；测量数据的采集计算与检定结果处理及检测报告的出具应符合相关检定规程要求，其原始数据不能进行人工修改。自动测量系统应能正确判定温度稳定，测量采样数据可靠，并能显示、打印、保存和查询其校准记录。

5.3 安全性能

5.3.1 系统各部件绝缘电阻、绝缘强度应符合 GB 4793—1995 电子测量仪器安全要求的规定。系统电源端子和输入端对外壳的绝缘电阻应不小于 20 MΩ。

5.3.2 在测量过程中由于干扰、断电、部件故障和误操作、病毒及软件冲突等原因引起死机或不能完成本次测量工作时，应保证检定炉或恒温装置不因失控而被损坏，并保留故障前已有的测量数据。

5.4 计量特性

计量特性指标见表 1。

表 1 系统的计量特性

参 考 要 求 校 准 项 目	标准偶系统	工作偶系统	工业阻系统
扫描开关寄生电势	$\leq 0.4\mu\text{V}$	$\leq 0.5\mu\text{V}$	$\leq 0.4\mu\text{V}$
通道间数据采集差值	$\leq 1\mu\text{V}$	$\leq 2\mu\text{V}$	$\leq 2\mu\text{V}$ 或 $2\text{m}\Omega$
测量重复性	$\leq 1.5\mu\text{V}$	$\leq 3\mu\text{V}$	$12\text{m}\Omega$

表 1 (续)

参 考 要 求 校 准 项 目	系 统 名 称	标准偶系统	工作偶系统	工业阻系统
恒温性能		设定点偏差不超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 恒温 $\leq 0.5^{\circ}\text{C}/6\text{min}$ 测量 $\leq 0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$	设定点偏差不超过 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 恒温 $\leq 0.6^{\circ}\text{C}/6\text{min}$ 测量 $\leq 0.2^{\circ}\text{C}/\text{min}$	设定点偏差不超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 恒温 $\leq 0.04^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ 测量 $\leq 0.02^{\circ}\text{C}/\text{min}$
测量数据处理结果验证		$\leq 0.5\mu\text{V}$	$\leq 1\mu\text{V}$	A 级: $\leq 0.4\text{m}\Omega$ B 级: $\leq 2\text{m}\Omega$
电测仪表校准要求		在本系统使用段上应按基本量程做调准校准并对工业阻系统应根据校准的实际使用量程调准校准并符合要求		
校准结果不确定度验证		不确定度验证结果应符合国家计量检定系统表中相应的规定		

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度: $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 相对湿度: $\leq 85\%$

其他条件: 以不影响对系统的正常校准为限。

6.2 校准用标准器及配套设备

系统校准用标准器及配套设备见表 2。

表 2 校准用标准器及配套设备

相 应 规 定 校 准 用 设 备	系 统 名 称	标准偶系统	工作偶系统	工业阻系统
标准器		一等标准铂铑 10 - 铂热电阻	一等标准铂铑 10 - 铂热电阻 (贵金属) 二等标准铂铑 10 - 铂热电阻 (贱金属)	二等标准铂电阻温度计
试样 (经近期检定的)		一等标准铂铑 10 - 铂热电阻	二等标准铂铑 10 - 铂热电阻 经校准的 K 型热电阻	A 级铂热电阻
电测仪表		0.02 级电测仪表或同等准确度的其他电测设备 (分辨率 $0.1\mu\text{V}$ 或 $0.1\text{m}\Omega$)		
		纳伏表		
绝缘电阻测试仪		500V 兆欧表, 准确度 10%		
标准模拟信号源		准确度不低于 2×10^{-4} , 分辨率不低于 $0.1\mu\text{V}$, 稳定度优于被测允差的 1/5		

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

在系统校准前,应对其配置的标准器、电测仪表、恒温装置、参考端恒温器和工业偶系统用的补偿导线等有计量性能要求的各个组成部件,按相应的检定规程或校准规范单独检定或校准。其结果应符合 5.1.2 的相关要求,并应具有可溯源到国家基标准的有效检定或校准证书,然后再对整套系统进行校准。建议校准项目如表 3 所示。

表 3 校准项目

校准项目	标准偶系统		工作偶系统		工业阻系统	
	首次	复校	首次	复校	首次	复校
安全性能检查	+	+	+	+	+	+
扫描开关寄生电势	+	+	+	+	+	+
通道间数据采集差值	+	+	+	+	+	+
测量重复性	+	-	+	-	+	-
恒温性能	+	-	+	-	+	-
测量数据处理结果验证	+	+	+	+	+	+
校准结果不确定度验证	+	+	+	+	+	+

注:表内“+”为校准项目,“-”为可不校准项目,具体项目可根据用户要求选择使用。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的预处置

校准前应检查系统各主要部件的有效检定或校准证书,并符合 7.1 条要求。应按操作使用维护说明书的要求对系统进行预设置,使其处于正常工作状态。校准过程中不允许对系统进行再调整。

7.2.2 安全性能检查

a) 用 500V 兆欧表测量系统短接后的电源输入端子、信号输入端子对系统外壳的绝缘电阻,其结果应满足 5.3.1 的要求;

b) 人为设置故障,使系统死机或中断测量,其结果应满足 5.3.2 的要求。

7.2.3 扫描开关寄生电势的测试

扫描开关寄生电势用纳伏表测量。其方法是:

a) 将扫描开关各输入端分别用直径 1mm 单芯铜导线短接;

b) 将扫描开关输出端子用相同铜导线短接后分别接至纳伏表输入端;

c) 20min 后,对纳伏表清零,并剪断扫描开关输出端的短路导线;

d) 依次切换扫描开关通道进行测量,在每个通道停留 60s,记录绝对值的最大电势;扫描开关断电 5min 后,重复上述检查,如此反复测量 3 次,取各通道 3 次测量结果的最大值为该通道的寄生电势值,其结果应符合表 1 的规定。

7.2.4 通道间数据采集差值的测试

通道间数据采集差值的测试可采用 0.02 级标准信号源输入模拟信号的方法进行。测试点：标准偶系统在铜点（1 084.62℃），工作偶系统在整百度点，工业阻系统在 100℃点附近上进行。其方法是：

- 将扫描开关的输入同名端分别用直径 1mm 单芯铜导线短接后与信号源相连；
- 在纳伏表上分别读取各通道的采样值，反复测量三次，取各通道数据采集结果的平均值为各通道的数据采集值，计算其中的最大差值为通道间数据采集差值，其结果应符合表 1 的规定。

7.2.5 校准结果不确定度验证

校准结果不确定度验证用系统上配置的标准器作标准，表 2 中的试样作被校。校准点：标准偶及工作用贵金属热电偶在锌（419.527℃）、铝（660.323℃）、铜（1 084.62℃）点，工作用廉金属热电偶可在整百度点，工业阻系统在 0℃点，100℃点附近上进行。其方法是：

- 将系统控制到被测温度点，当达到表 1 恒温性能要求状态时方可进行测量；
- 按系统采用的检定方法实际检测，得出被校点上的实测值；
- 将实测值与试样证书上的已知值比较，其差值不大于 $\sqrt{U_1^2 + U_2^2}$ （ U_1 为 $p = 95\%$ 时实测值的不确定度， U_2 为 $p = 95\%$ 时试样证书上的不确定度），应符合表 1 的要求。

7.2.6 重复性测试

重复性测试用系统上配置的标准器作标准器，表 2 中的试样作被校，测试点：标准偶系统在铜点（1 084.62℃），工业偶系统可在最高温度点，工业阻系统在 100℃点附近进行。其方法是：

- 将系统控制到被测温度点；
- 按系统正常运行连续测量三次，每次测完后，工作偶系统降温 50℃左右，工业阻系统降温 5℃左右后重新升温，待恒温后记录数据；
- 三次测量结果间的最大差值为系统重复性，其结果应符合表 1 的规定。

7.2.7 恒温性能的测试

恒温性能的测试包括专用软件的控温功能测试，可与系统校准结果不确定度验证同时进行。测试点：工作偶系统在铜点（1 084.62℃），工业阻系统在 100℃点附近进行。其方法是：

- 将系统预设到被测温度点；
- 调出检定系统专用软件，设置控制参数，恒温装置逐渐升温并趋于稳定；
- 记录检定系统数据采集前 6min 的恒温性能与测量时的温度变化率，其结果应符合表 1 的规定。

7.2.8 专用软件的功能检查

a) 专用软件的测量数据记录、保存，检定记录与检定结果的显示、打印和查询功能可采用在数据采集通道输入模拟信号的模拟法进行。其记录打印格式应符合相关规程

要求，原始测量数据可以显示记录打印，但不能进行人工修改。

b) 测量数据处理结果验证按 7.2.4 模拟信号方式进行，或与 7.2.5 校准结果不确定度验证同时进行。检查点分别是标准或工作用贵金属热电偶系统在锌 (419.527°C)、铝 (660.323°C)、铜 ($1\,084.62^{\circ}\text{C}$) 点；工作用廉金属热电偶系统可在整百度点附近，工业阻系统在 0°C 点、 100°C 点附近进行。计算结果应符合相关检定规程要求，与确认的人工计算结果比较，其差值应符合表 1 的规定。

8 校准结果的表达

经校准的系统发给校准证书（见附录 C）。

9 复校时间间隔

系统的复校时间间隔可根据实际使用情况自行决定。建议复校时间间隔最长不超过 1 年。复校时应附上次校准证书。

附录 A

标准热电偶自动测量系统测量结果不确定度评定实例

A1 数学模型

根据规程, 被检偶在分度点的热电势值为

$$E_{\text{被}(p)} = E_{\text{标准}(p)} + \Delta e(t) \quad (\text{A—1})$$

式中: $E_{\text{被}(p)}$ ——被检偶在定义点(铜、铝、锌)上的热电势, mV;

$E_{\text{标准}(p)}$ ——标准器在定义点上证书给出的热电势, mV;

$\Delta e(t)$ ——炉温为 t 时被检偶与标准偶测得热电势平均值之差, mV。

上式可写为

$$E_{\text{被}(p)} = E_{\text{标准}(p)} + \bar{e}_{\text{被}(t)} - \bar{e}_{\text{标}(t)} \quad (\text{A—2})$$

式(A—2)则为本分析的数学模型。

A2 方差与灵敏度系数

对式(A—2)全微分, 得

$$dE_{\text{被}(p)} = dE_{\text{标准}(p)} + d\bar{e}_{\text{被}(t)} - d\bar{e}_{\text{标}(t)} \quad (\text{A—3})$$

上式各微小变量代之以误差源的不确定度合成, 则可得

$$u_c^2 = u_{E_{\text{标准}(p)}}^2 + u_{\bar{e}_{\text{被}(t)}}^2 + u_{\bar{e}_{\text{标}(t)}}^2$$

式(A—3)为本分析的方差公式。

如计算各不确定度分量均以微伏计入, 则各项误差源的系数均为 1, 即灵敏系数 $c_1 = 1$, $c_2 = 1$, $c_3 = -1$ 。

A3 计算标准不确定度分量(以铜点为例)

A3.1 $E_{\text{标准}(p)}$ 项分量为固定点上标准器证书给出值的检定结果不确定度。

根据检定系统表, 一等 S 型偶在定义点上的扩展不确定度为 0.6°C , $p = 0.99$, 属正态分布。即包含因子为 2.58, 故

$$u_1 = \frac{11\mu\text{V}/^\circ\text{C} \times 0.6^\circ\text{C}}{2.58} = 2.5\mu\text{V}$$

属 B 类标准不确定度分量, 自由度 $\nu_1 = \infty$ 。

A3.2 $\bar{e}_{\text{被}(t)}$ 项分量

a) 炉温为 t 时被检测得热电势的不确定度来源

被校偶热电势, 由电测仪器测量时所带入的不确定度分量。

系统采用 7 位数字电压表如 K2010, HP34420 等, 在使用范围 100mV 挡其测量误差为

$$37 \times 10^{-6} \times \text{读数} + 9 \times 10^{-6} \times \text{量程}$$

该测量误差服从均匀分布, 即

$$u_{2.1} = \frac{10.575\text{mV} \times 37 \times 10^{-6} + 100\text{mV} \times 9 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0.74\mu\text{V}$$

为 B 类分量, 对此估计的相对不确定度为 10%, 故自由度 $\nu_{2.1} = 50$ 。

b) 炉温波动的影响

根据系统的设计, 对炉温的控制即恒温特性指标为 $0.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 保持 6min 以上。而自动检定系统采数迅速, 一般 4min 内完全可以测毕。以炉温单向变化为极端情况, 采集完两循环每支偶 4 个数后炉温变化 0.4°C , 则标准与最末支被检可能有 0.2°C 的影响 (即 0.2°C 为半区间), 并按反正弦规律估计, 则

$$u_{2.2} = \frac{11\mu\text{V}/^{\circ}\text{C} \times 0.2^{\circ}\text{C}}{\sqrt{2}} = 1.56\mu\text{V}$$

对该估计的相对不确定度为 50%, 即自由度 $\nu_{2.2} = 2$, 属 B 类分量。

c) 参考端温度带入的标准不确定度分量

测量时采用 0°C 参考端, 各偶实际参考端的温度偏差按极端估计会有 0.2°C 的对 0°C 偏离。半区间则 0.1°C 即有 $1\mu\text{V}$ 的差, 按均匀分布处理, 有

$$u_{2.3} = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0.58\mu\text{V}$$

估计的相对不确定度为 50%, 故自由度 $\nu_{2.3} = 2$, 属 B 类分量。

d) 转换开关触点寄生热电势带入被测数据的分量

每个触点热电势不大于 $0.4\mu\text{V}$, 以半区间计入, 均匀分布, 故

$$u_{2.4} = \frac{0.2}{\sqrt{3}} = 0.115\mu\text{V}$$

估计的相对不确定度为 30%, 即自由度 $\nu_{2.4} = 5$, 属 B 类分量。

e) 检定时应做 2 次重新捆扎复检, 其差不大于 $4\mu\text{V}$ 。取平均作检定结果 (反映炉温场影响), 半区间, 均匀分布, 则有

$$u_{2.5} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15\mu\text{V}$$

很可靠, $\nu_{2.5} = \infty$ 。

A3.3 $e_{\text{标}(t)}$ 项分量, 该项分量包括有:

a) 电测仪表在测量标准器时由于其热电势值与被校 S 偶为同一量级, 根据对电测仪表测量结果不确定度的分析, 在短时间内环境温度没有明显大变化时, 本文 A3.2a) 所述的前项可视为得以抵消, 只剩后项 ($9 \times 10^6 \times$ 量程), 作为与被校的数值不同时非线性在起作用。其分布、自由度皆与 A3.2 a) 项相同, 即:

$$u_{3.1} = \frac{100\text{mV} \times 9 \times 10^{-6}}{\sqrt{3}} = 0.5\mu\text{V}$$

$\nu_{3.1} = \nu_{2.1} = 50$, 属 B 类分量。

b) 炉温温场不均匀引起的不确定度, 已在被校中分析计入, 故此处不重复。

参考端对标准器的影响与被校的情况相同, 故

$$u_{3.3} = u_{2.3} = 0.58\mu\text{V}$$

$\nu_{3.3} = \nu_{2.3} = 2$, 属 B 类分量。

c) 转换开关热电势对标准器的影响也与被检的情况相同, 故

$$u_{3,4} = u_{2,4} = 0.115 \mu\text{V}$$

$\nu_{3,4} = \nu_{2,4} = 5$, 属 B 类分量。

d) 整套系统的重复性, 本规范以一稳定的被校试样在系统中做数次测量, 结果用极差法来分析。

系统校准重复性只对标准通道及一个被检通道得出代表数据 (不大于 $1.5 \mu\text{V}$)。本规范还规定一模拟值供并联的各通道采集数据, 对通道间偏差做出检验 (不大于 $1 \mu\text{V}$)。因此重复性指标应将通道间偏差指标也计入内 (同向叠加), 这是考虑到各通道的重复性都应包含在测得结果中, 以极差法计算实验标准差, 即

$$u_{3,5} = s_{\text{单}} = \frac{1 + 1.5}{1.69} = 1.5 \mu\text{V}$$

其自由度 $\nu_{3,5} = 1.8$, 属 A 类分量。

A4 标准不确定度分量一览表 (见表 A-1)

表 A-1 标准不确定度分量一览表

序号		来 源	类别	灵敏度系数	标准不确定度 / μV	分布	自由度
1	u_1	标准器不确定度	B	1	2.5	正态	∞
2	$u_{2,1}$	被校电测仪表	B	1	0.74	均匀	50
3	$u_{2,2}$	温度波动变化	B		1.56	反正弦	2
4	$u_{2,3}$	参考端影响被检	B		0.58	均匀	2
5	$u_{2,4}$	转换开关影响	B		0.115	均匀	5
6	$u_{2,5}$	二次捆扎差	B		1.15	均匀	∞
7	$u_{3,1}$	标准器电测仪表	B	- 1	0.5	均匀	50
8	$u_{3,3}$	参考端影响	B		0.58	均匀	2
9	$u_{3,4}$	转换开关影响	B		0.115	均匀	5
10	$u_{3,5} = s_{\text{单}}$	系统重复性	A		1.5	t	1.8

A5 合成标准不确定度

$$u_c^2 = 2.5^2 \times 0.74^2 \times 1.56^2 \times 0.58^2 \times 0.115^2 \times 1.15^2 \times 0.5^2 \times 0.58^2 \times 0.115^2 \times 1.5^2$$

$$= 13.753$$

$$u_c = 3.7 \mu\text{V}$$

A6 有效自由度

根据韦尔奇-萨特思韦公式, 即

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=2}^{11} \frac{u_i^4}{\nu_i}}$$

$$= \frac{3.7^4}{0.74^4/50 + 1.56^4/2 + 0.58^4/2 + 0.115^4/5 + 0.5^4/50 + 0.58^4/2 + 0.115^4/5 + 1.5^4/1.8}$$

= 31.8

取 30。

A7 本系统对二等 S 型偶的检定结果扩展不确定度

根据计算而得的有效自由度, $\nu_{\text{eff}} = 30$, 在取置信概率为 $p = 0.95$ 时, 查 t 分布包含因子, 可得 $t_{0.95}(30) = 2.04$, 在铜点 $U_{95} = 2.04 \times 3.7 = 7.5 \mu\text{V}$ 。铜点热电势变化率为 $11 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 即

$$U_{95} = 0.68^\circ\text{C}, \nu_{\text{eff}} = 30$$

A8 根据检定系统表, 二等标准 S 型热电偶的不确定度为 1°C , 按本规范校准符合要求的系统使用时测量结果扩展不确定度满足要求, 故可用作二等标准 S 型热电偶的检定。

A9 对于工业偶自动测量系统校准结果不确定度评定可参照本实例进行。

附录 B

工业热电阻自动测量系统测量结果不确定度评定实例

用于检定工业热电阻的自动测量系统,根据国家计量检定规程(JJG 229—1998)对不确定度分析时可以在 0℃点、100℃点,现以 A 级铂热电阻的测量为例。

B1 冰点 (0℃)

B1.1 数学模型, 方差与传播系数

根据规程,被检的 $R(0^\circ\text{C})$ 值计算公式为

$$\begin{aligned} R(0^\circ\text{C}) &= R_i - \left(\frac{dR}{dt}\right)_{t=0} t_i = R_i - \left(\frac{dR}{dt}\right)_{t=0} \frac{R_i^* - R^*(0^\circ\text{C})}{\left(\frac{dR}{dt}\right)_{t=0}^*} \\ &= R_i - 0.00391 R^*(0^\circ\text{C}) \times \frac{R_i^* - R^*(0^\circ\text{C})}{0.00399 R^*(0^\circ\text{C})} \\ &= R_i - 0.391 \times \frac{R_i^* - R^*(0^\circ\text{C})}{0.1} \\ &= R_i - 3.91 [R_i^* - R^*(0^\circ\text{C})] \end{aligned} \quad (\text{B-1})$$

式中: $R(0^\circ\text{C})$ ——被检热电阻在 0℃的电阻值, Ω ;

R_i ——被检热电阻在 0℃附近的测得值, Ω ;

$R^*(0^\circ\text{C})$ ——标准器在 0℃的电阻值,通常从实测的水三相点值计得, Ω ;

R_i^* ——标准器在 0℃附近测得值, Ω 。

上式两边除以被检热电阻在 0℃的变化率并做全微分变为

$$\begin{aligned} dt_{R_0} &= d(R_i/0.391) + d\left(\frac{R_0^* - R_i^*}{0.00399 \times 25}\right) \\ &= dt_{R_i} + dt_{R_0^*} + dt_{R_i^*} \end{aligned}$$

将微小变量用不确定度来代替,合成后可得方差

$$u_{t_{R_0}}^2 = u_{t_{R_i}}^2 + u_{t_{R_0^*}}^2 + u_{t_{R_i^*}}^2 \quad (\text{B-2})$$

此时灵敏系数 $c_1 = 1$, $c_2 = 1$, $c_3 = -1$ 。

B1.2 标准不确定度分量的分析计算

B1.2.1 $u_{t_{R_i}}$ 项分量

该项分量是被检热电阻在 0℃点温度 t_i 上测量值的不确定度。包括有:

a) 冰点器温场均匀性,不应大于 0.01°C ,则半区间为 0.005°C 。均匀分布,故

$$u_{1.1} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.003^\circ\text{C}$$

其估计的相对不确定度为 20%,即由自由度 $\nu_{1.1} = 12$,属 B 类分量。

b) 由电测仪表测量被检热电阻所带入的分量。

本系统配用电测仪表多为 6 位数字表(如 K2000, HP34401 等),在对 100Ω 左右测

量时仍用 100Ω 挡, 此时数字表准确度为

$$100 \times 10^6 \times \text{读数} + 40 \times 10^6 \times \text{量程}$$

对工业铂热电阻 Pt 100 来说, 电测仪表带入的误差限 (半宽) 为

$$\begin{aligned}\delta_{\text{表}} &= \pm (100 \times 100 \times 10^{-6} + 100 \times 40 \times 10^{-6}) \\ &= \pm 0.014\Omega\end{aligned}$$

$$\text{化为温度: } \frac{\pm 0.014}{0.391} = \pm 0.036^\circ\text{C}$$

该误差分布服从均匀分布, 即

$$u_{1.2} = \frac{0.036}{\sqrt{3}} = 0.021^\circ\text{C}$$

估计的相对不确定度为 10%, 即 $\nu_{1.1} = 50$, 属 B 类分量。

c) 对被检做多次检定时的重复性

本规范规定在校准自动测量系统时以一稳定的 A 级被检铂电阻作试样检 3 次, 用极差法考核其重复性, 经实验最大差为 4mΩ 以内。通道间偏差以阻值计时应不大于 2mΩ, 故连同通道间差异同向叠计在内时, 重复性为 6mΩ, 约 0.015°C, 则

$$u_{1.3} = \frac{0.015}{1.69} = 0.009^\circ\text{C}$$

$\nu_{1.3} = 1.8$, 属 A 类分量。

d) 被检热电阻自热效应的影响

以半区间估计为 2mΩ 计约 5mK。这种影响普遍存在, 可视为两点分布。故

$$u_{1.4} = \frac{5}{1} = 5\text{mK}$$

估计的相对不确定度为 30%, 即 $\nu_{1.4} = 5$, 属 B 类分量。

B1.2.2 $u_{1.5}$ 项分量

标准器以实测的 R_{Pt} 值进行计算, 故该误差分量以二等铂电阻温度计检定规程中规定在检定过程中 R_{Pt} 的允许变化不超过 5mK 来计入。半区间为 2.5mK, 呈正态分布, 即

$$u_2 = \frac{2.5}{2.58} = 0.97\text{mK}$$

自由度 $\nu_2 = \infty$, 属 B 类分量。

B1.2.3 $u_{1.6}$ 项分量

该分量是使用标准器时测量过程中引入的, 包括:

a) 电测仪表测量标准器 $R_{\text{标}}$ 时引入的

标准铂电阻与被检热电阻用同一电测仪表, 使用的是 100Ω 挡, 此时数字表的准确度为

$$100 \times 10^6 \times \text{读数} + 40 \times 10^6 \times \text{量程}$$

而标准器为了排除不同电测带入的系统误差和标准器因应力等引起 R_{Pt} 值的变化, 要求用同一电测测量其 R_{Pt} 值和 R_i 值, 以比值 $W_i = R_i/R_{\text{Pt}}$ 来计算实际温度, 此时如以电测仪

器的准确度分别计算对 R_i 、 R_{ip} 项的贡献是不对的，这两项值相关。推导如下：

$W_i = R_i/R_{ip}$ 全微分，得

$$dW_i = \frac{1}{R_{ip}} dR_i - \frac{R_i}{R_{ip}^2} dR_{ip} \quad (B-3)$$

对微小变量 dR_i 、 dR_{ip} 的计算，可以电测仪器的指标及 R_i 、 R_{ip} 值计入，式 (B-3) 变为

$$\begin{aligned} \delta_{W_i} &= \frac{1}{R_{ip}} (R_i \times 100 \times 10^{-6} + 100 \times 40 \times 10^{-6}) - \frac{W_i}{R_{ip}} (R_{ip} \times 100 \times 10^{-6} + 100 \times 40 \times 10^{-6}) \\ &= W_i \times 100 \times 10^{-6} + \frac{1}{R_{ip}} \times 100 \times 40 \times 10^{-6} - W_i \times 100 \times 10^{-6} - \frac{W_i}{R_{ip}} \times 100 \times 40 \times 10^{-6} \\ &= (1 - W_i) / R_{ip} \times 100 \times 40 \times 10^{-6} \quad (B-4) \end{aligned}$$

所以用比值 W 计算时，电测仪器对标准铂电阻测温值引入的极差（以标准铂电阻温度计的典型值计，也可套用某支具体标准铂电阻温度计值）为

$$\begin{aligned} \delta_{W(0^\circ\text{C})} &= (1 - 0.9999601) / 25 \times 100 \times 40 \times 10^{-6} \\ &= 6.38 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

换算成温度 $\delta_i = \frac{6.38 \times 10^{-9}}{3.989 \times 10^{-3}} = 1.6 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}$ 。此值为半区间，服从均匀分布，即

$$u_{3.1} = \frac{1.6 \times 10^{-6} ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.001\text{mK}$$

估计的相对不确定度为 10%，即 $\nu_{3.1} = 50$ ，属 B 类分量。

b) 标准铂电阻温度计的自热影响

按二等标准铂电阻温度计检定规程，它的自热允许值不应大于 4mK。按均匀分布，以半区间计入，即

$$u_{3.2} = \frac{4}{2 \times \sqrt{3}} = 1.2\text{mK}$$

对此估计的相对不确定度为 20%，即 $\nu_{3.2} = 12$ ，属 B 类分量。

c) 标准铂电阻温度计计算温度的计算误差

根据 ITS-1990，其内插公式的非惟一性为 1mK，可按两点分布对待且可靠程度很高，故

$$u_{3.3} = 1/2 \times 1 = 0.5\text{mK}$$

$\nu_{3.3} = \infty$ ，属 B 类分量。

B1.3 冰点的标准不确定度分量一览表

表 B-1 冰点的标准不确定度分量一览表

序号	来 源	类别	灵敏系数	标准不确定度 /mK	分布	自由度
1	$u_{1.1}$	温场均匀性	B	3	均匀	12
2	$u_{1.2}$	电测测被检引入	B	21	均匀	50
3	$u_{1.3} = s_{\text{单}}$	检定重复性	A	9	t	1.8
4	$u_{1.4}$	被检自热影响	B	5	两点	5
5	u_2	标准器不确定度	B	1	正态	∞
6	$u_{3.1}$	电测测标准引入	B	0.001	均匀	50
7	$u_{3.2}$	标准器自热	B	1.2	均匀	12
8	$u_{3.3}$	公式计算	B	0.5	两点	∞

B1.4 冰点的合成标准不确定度，有效自由度与包含因子

$$u_{c,\text{冰}}^2 = 3^2 + 21^2 + 9^2 + 5^2 + 0.97^2 + 0.001^2 + 1.2^2 + 0.5^2$$

$$= 558.6$$

$$u_{c,\text{冰}} = 23.6\text{mK}$$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{23.6^4}{\frac{3^4}{12} + \frac{21^4}{50} + \frac{9^4}{1.8} + \frac{5^4}{5} + \frac{0.001^4}{50} + \frac{1.2^4}{12}}$$

$$= 40.46$$

取 $\nu_{\text{eff}} = 40$, $t_{0.95}(40) = 2.02$

B1.5 冰点的检得结果扩展不确定度

$$U_{95} = 2.02 \times 23.6 = 47.7\text{mK}, \text{取 } 0.05^\circ\text{C}$$

B2 100℃点

B2.1 数学模型、方差与灵敏系数

根据规程，被检工业铂电阻 R_{100} 的计算公式为

$$R(100^\circ\text{C}) = R_b - 0.379 \times \frac{(R_b^* - R_{100}^*)}{(dR/dt)_{100}^*}$$

$$= R_b - 0.379 \times \frac{(R_b^* - W_{100}^* R_{tp}^*)}{(dR/dt)_{100}^*} \quad (\text{B-5})$$

式中： $R(100^\circ\text{C})$ ——被检热电阻在 100℃点的测得值， Ω ；

R_b ——被检热电阻在 100℃点附近的测得值， Ω ；

R_b^* ——标准器的测得值， Ω ；

W_{100}^* ——标准器证书上的 W_{100} 比值；

R_{tp}^* ——检定时用系统所配电测仪器实测得标准器的水三相点值， Ω 。

实际上，标准器全为用比值计算温度，分度表也只有比值的变化率 $(dW/dt)^*$ ，式

(B—5) 还需变形, 因为 $(dR/dt)^* = (dW/dt)^* R_{tp}^*$, 所以

$$\begin{aligned} R(100) &= R_b - 0.379 \times \left[\frac{R_b^*}{(dR/dt)_{100}^*} - \frac{W_{100}^* R_{tp}^*}{(dR/dt)_{100}^*} \right] \\ &= R_b - 0.379 \times \left(\frac{R_b^*}{0.00387 \times R_{tp}^*} - \frac{W_{100}^* R_{tp}^*}{0.00387 \times R_{tp}^*} \right) \\ &= R_b - 0.379 \times \left(\frac{W_b^*}{0.00387} - \frac{W_{100}^*}{0.00387} \right) \\ &= R_b - 97.93 W_b^* + 97.93 W_{100}^* \end{aligned} \quad (\text{B—6})$$

式中: W_b^* ——标准器在 t_b 点测得的阻值 R_b^* 与同一电测实测得的水三相点值与 R_{tp}^* 之比; 其余同式 (B—5)。

式 (B—6) 为本分析的数学模型。对式 (B—6) 进行全微分得

$$dR_{100} = dR_b - 97.93 dW_b^* + 97.93 dW_{100}^*$$

将变量以分量不确定度代之并合成可得方差计算公式, 即

$$u_c^2(100^\circ\text{C}) = u_{R_b}^2 + (-97.93 u_{W_b^*})^2 + (97.93 u_{W_{100}^*})^2 \quad (\text{B—7})$$

可见灵敏系数 $c_1 = 1$, $c_2 = -97.93$, $c_3 = 97.93$ 。

B2.2 标准不确定度分量的分析计算

B2.2.1 R_b 项

本项为检定时该系统测量被检热电阻所引入的不确定度来源。它包括有:

a) 温场均匀性影响

恒温水槽水平均匀性为 0.01°C 。以标准器所在孔位为基点, 以半区间等概率分布计入, 则有

$$u_{1.1} = \frac{0.01}{2 \times \sqrt{3}} = 0.003^\circ\text{C}$$

相对不确定度为 20%, 即有 $\nu_{1.1} = 12$, 属 B 类分量。

b) 温场的变化波动影响

本规范规定了热电阻自校系统的恒温特性为 $0.04^\circ\text{C}/10\text{min}$, 以测量时间为 5min 变化计为 0.02°C , 以标准器值为基点在被检项上有半区间、均匀分布的不确定, 即

$$u_{1.2} = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006^\circ\text{C}$$

相对不确定度 20%, $\nu_{1.2} = 12$, 属 B 类分量。

c) 电测仪器测被检电阻所带入的分量

在 100°C 附近被检工业铂热电阻 Pt 100 的阻值约为 138.51Ω 左右。电测仪表用 $1\text{k}\Omega$ 挡带入的极限误差为

$$\begin{aligned} \delta_b &= \pm (138.51 \times 100 \times 10^{-6} + 1000 \times 10 \times 10^{-6}) \\ &= \pm 0.02385\Omega \end{aligned}$$

即约 $\pm 0.02385/0.379 = \pm 0.063^\circ\text{C}$

呈均匀分布, 以半区间计入为

$$u_{1.3} = \frac{0.063}{\sqrt{3}} = 0.036^{\circ}\text{C}$$

相对不确定度 20%，即 $\nu_{1.2} = 50$ ，属 B 类分量。

d) 测量的重复性

本规范规定系统的重复性实验以三次等精度重复测量结果的最大差不大于 $12\text{m}\Omega$ (单一通道)，而各通道间偏差允许不大于 $2\text{m}\Omega$ ，按同向叠加即使用任一通道的重复性为 $14\text{m}\Omega$ 即 0.037°C 。根据 JJF 1059—1999，使用三次间接差法计算单次实验标准差时极差系数为 1.64，自由度为 1.8，服从 t 分布，即

$$u_{1.4} = s_{\text{单}} = \frac{0.037}{1.69} = 0.022^{\circ}\text{C}$$

$\nu_{1.4} = 1.8$ ，属 A 类分量。

e) 被检铂热电阻的自热影响

在沸点由于温度较高，根据实验观察，外部热效应影响较少，但被检的阻值较大，内部热效应有一定程度的增大，故仍可按 0°C 点的估算。

$u_{1.5} = 5\text{mK}$ ， $\nu_{1.5} = 5$ ，两点分布，属 B 类分量。

B2.2.2 W_b^* 项

该项是检定时对标准器在检定点 t_b 上的测量所包含的各不确定度来源。它包括有：

a) 电测仪器测标准器值时带进的。对标准器测量仍为 100Ω 挡，由此分析式 (B-4)，得

$$\delta_{W_i} = \pm \left(\frac{1 - W_i}{R_p} \times 4 \times 10^{-3} \right)$$

此处即

$$\begin{aligned} \delta_{W_i} &= \pm \left(\frac{1 - W_i}{R_p} \times 4 \times 10^{-3} \right) \\ &= \pm \left(\frac{1 - 1.39265}{25} \times 4 \times 10^{-3} \right) \\ &= \pm 6.28 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

以半区间计入，均匀分布处理，即

$$u_{2.1} = \frac{6.28 \times 10^{-5}}{\sqrt{3}} = 3.627 \times 10^{-5}$$

相对不确定度 10%， $\nu_{2.1} = 50$ ，属 B 类分量。

b) 标准器 R_p^* 变化所带入的

标准器在热过程中 R_p 值会发生变化。检定工业铂热电阻过程并不要求每次测量后即检水三相点值。所以该变化的影响将直接带入计算结果中。该变化量以合格的标准器在检定过程中 R_p 的允许变化量 5mK 计，换算成 W 值即 1.995×10^5 以半区间计入并认为属均匀分布，则

$$u_{2.2} = \frac{1.995 \times 10^{-5}}{2 \times \sqrt{3}} = 5.7576 \times 10^{-6}$$

估计的相对不确定度为 20%，即 $\nu_{2.2} = 12$ ，属 B 类分量。

c) 标准器的自热影响在 t_b 点外部温度较高，且直接插于强迫对流的介质中时可忽略不计。

d) 标准器的计算公式不确定度同 0℃ 的，但按 100℃ 附近的 dW/dt 换算成比值，即

$$u_{2.3} = 3.868 \times 10^{-3} \times 0.5 \times 10^{-3} = 1.934 \times 10^{-6}, \nu_{2.3} = \infty, \text{两点分布, 属 B 类分量。}$$

B2.2.3 W_{100}^* 项

该项分量为标准器在 100℃ 的检得结果不确定度。根据我国中温量传系统颁布数据，二等标准器 W_{100} 的扩展不确定度为 6mK ($p = 0.99$)，正态分布，换算成比值 W_{100} 时，即 2.321×10^5 ，得

$$u_3 = \frac{2.321 \times 10^{-5}}{2.58} = 8.995 \times 10^{-6}, \nu_3 = \infty, \text{属 B 类分量。}$$

B2.3 100℃ 点的标准不确定度分量一览表

表 B-2 100℃ 点的标准不确定度分量一览表

序号	来源	类别	灵敏系数	标准不确定度 /℃	分布	自由度
1	$u_{1.1}$	温场均匀性	B	0.003	均匀	12
2	$u_{1.2}$	电测变化波动	B	0.006	均匀	12
3	$u_{1.3}$	电测测被检	B	0.036	均匀	50
4	$u_{1.4} = s_{\text{重}}$	重复性	A	0.022	t	1.8
5	$u_{1.5}$	被检自热影响	B	0.005	两点	5
6	$u_{2.1}$	电测测标准	B	3.627×10^5	均匀	50
7	$u_{2.2}$	标准器 R_{10} 变化	B	5.758×10^6	均匀	12
8	$u_{2.3}$	温标内插公式	B	1.934×10^6	两点	∞
9	u_3	标准器不确定度	B	8.995×10^6	正态	∞

B2.4 合成不确定度，有效自由度与包含因子

$$u_c^2(100^\circ\text{C}) = 0.003^2 + 0.006^2 + 0.036^2 + 0.022^2 + 0.005^2 + 97.93^2 \times [(3.627 \times 10^{-5})^2 + (5.758 \times 10^{-6})^2 + (1.934 \times 10^{-6})^2 + (8.995 \times 10^{-6})^2]$$

$$= 1.909 \times 10^{-3}$$

$$u_c(100^\circ\text{C}) = 0.044^\circ\text{C}$$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{0.044^4}{\frac{0.003^4}{12} + \frac{0.006^4}{12} + \frac{0.036^4}{50} + \frac{0.022^4}{1.8} + \frac{0.005^4}{5} + \frac{(97.93 \times 3.627 \times 10^{-5})^4}{50} + \frac{(97.93 \times 5.758 \times 10^{-6})^4}{12}}$$

$$= 24.07$$

取 20, $t_{95}(20) = 2.09$ 。

B2.5 100℃ 点结果扩展不确定度

$$U_{95} = 2.09 \times 0.044 = 0.092^{\circ}\text{C}$$

B3 结论

经本规范校准的系统在 0°C 点的检定结果扩展不确定度为 $U_{95} = 0.05^{\circ}\text{C}$ 。工业铂电阻(A级)的允差在 0°C 点为 0.15°C , $E_n = \frac{0.05}{0.15} = \frac{1}{3}$, 能满足开展检定工业热电阻对 0°C 点的要求。

在 100°C 点的检定结果扩展不确定度为 $U_{95} = 0.09^{\circ}\text{C}$, A 级在 100°C 点的允差为 0.32°C , $E_n = \frac{0.09}{0.32} = \frac{1}{3.5}$, 满足开展检定的要求。

附录 C

校准证书封面及内页格式

(校准单位名称)

地址:
Address
邮编:
Post
电话:
Tel传真:
Fax

校准证书

CALIBRATION CERTIFICATE

证书编号
Certificate No.委托方
Customer
地 址
Address
样品名称
Description of Sample
制造厂/商
Manufacturer
型号规格
Model Type
出厂编号
Ex-factory No.发证单位(专用章)
Issued by (Stamp)证书批准人
Approved by
校准员
Calibrated by
校准日期
Calibration Date
样品接收日期
Rcvd Date职务(称)
Position
核验员
Checked by
年 月 日
Year Month Day
年 月 日
Year Month Day校准证书专用
Calibration Certificate第 页 共 页
Page of

证书编号:
Certificate No.

授权单位: 授权证书号:
Authorization body Authorized Certificate No.
本次校准所依据的技术文件(编号、名称):
Reference documents for the calibration(Code Name)

本次校准所使用的主要校准器具:
Main standards of measurement used in the calibration

名称:

Name

编号:

No.

测量范围:

Measuring range

不确定度(或准确度):

Uncertainty (or Accuracy)

证书编号:

Certificate No.

有效期至:

Valid date to.

溯源性(发证机构):

Traceability (Issuing body)

校准环境条件:

Environmental condition in the calibration

校准地点:

Place

环境温度:

℃; 相对湿度:

%RH; 其他:

Temperature

Humidity

Others

校准数据/结果

Data/Results of Calibration

- 注:1. 本校准结果仅对被校对象有效;
2. 未经实验室书面批准,不得部分复制该校准证书。

测量结果的不确定度(或准确度):
The uncertainty (or accuracy) of measurement results

限制使用范围及条件:
The test results are limited and upon condition that

校准证书续页专用
Calibration Certificate Continue

第 页 共 页
Page of