

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF1664—202×

温度显示器校准规范

Calibration Specification for Temperature Indicators

(征求意见稿)

202×—××—××发布

202×—××—××实施

国家市场监督管理总局发布

温度显示仪校准规范

Calibration Specification
for Temperature Indicators

JJF1664—XXXX

代替

JJF1664-2017

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：

参加起草单位：

本规范委托全国温度计量技术委员会负责解释。

本规程主要起草人：

参加起草人：

目 录

引言

1	范围	-----	(1)
2	引用文件	-----	(1)
3	概述	-----	(2)
4	计量特性	-----	(2)
4.1	示值误差	-----	(2)
5	校准条件	-----	(3)
5.1	标准器及其它设备	-----	(3)
5.2	环境条件	-----	(4)
6	校准项目和校准方法	-----	(4)
6.1	校准项目	-----	(4)
6.2	校准方法	-----	(4)
6.3	数据处理原则	-----	(8)
7	校准结果的表达	-----	(8)
8	复校时间间隔	-----	(9)
附录 A	数字仪表示值误差校准不确定度评定示例	-----	(10)
附录 B	模拟仪表示值误差校准不确定度评定示例	-----	(14)
附录 C	原始记录表式(参考)	-----	(17)
附录 D	热电阻的微分电阻和热电偶的塞贝克系数(资料性)	-----	(21)
附录 E	校准证书内页格式	-----	(22)

引 言

本规范是对 JJF 1664-2017《温度显示仪校准规范》的修订，依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》起草，其中测量不确定度的评定按照 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行。

本次修订规范的适用范围是接受热电偶或热电阻信号的温度显示仪表，显示方式包括数字指示和模拟指示两大类（即适用原检定规程《JJG 617—1996 数字温度指示调节仪检定规程》、《JJG 951—2000 模拟式温度指示调节仪检定规程》被测对象数字温度指示仪及模拟式温度指示仪）。

与 JJF 1664-2017 相比，主要修订内容有：

- 范围。增加温度显示仪表包括数字温度指示仪和模拟式温度指示仪两大类。
- 引用文件。删去废止标准，调整为现行有效版本。
- 计量特性。删去安全性能。
- 校准条件。增加温度校准仪模拟热电阻用途。
- 校准方法。删去检查项目：绝缘电阻。
- 删去原规范的附录 D 偏差指示仪表测量记录(举例)

本规范所替代的历次版本发布情况为：

- JJF 1664-2017

温度显示仪校准规范

1 范围

本规范适用于接受热电偶、热电阻等温度传感器信号或温度变送器输出信号的温度显示仪表,包括过程测量控制系统中温度显示部分的校准。温度显示仪包括数字温度指示仪和模拟式温度指示仪两大类。接受直流电压或电流过程信号显示的二次仪表均可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用下列文件:

GB/T 16839.1-2018 热电偶 第1部分:电动势规范和允差

JJG 229-2010 工业铂、铜热电阻检定规程

凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用本规范,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

温度显示仪表是一种工业过程测量仪表,又称温度二次仪表。仪表本身并不能单独测量温度,必须与温度传感器相配、接受其信号才能测量温度。仪表输入信号是一种标准化、规范性的信号,通常包括符合国际电工委员会(IEC)标准、国家标准、行业标准的热电阻、热电偶信号以及标准化(电流、电压)信号和在特定领域内公认的规范化信号。仪表在与热电偶连接测量温度时,通常具有参考端温度自动补偿功能,可以不用外接冷端补偿器直接与热电偶连接。

目前常用热电阻的类型有 Pt100, Pt500, Pt1000, Cu50, Cu100 等,其温度与电阻值的对应关系(简称分度表,下同)遵循 JJG 229-2018 规程要求;常用热电偶的类型有 B、S、R、K、N、E、J、T 等,其温度与电势值的对应关系遵循 GB/T 16839.1-2018 标准要求;仪表可接受的标准化直流电信号为电流 4mA~20mA、电压 1V~5V 等。

仪表按温度显示的特征可分为数字仪表和模拟仪表两大类。数字显示方式的仪表按分辨力分类,常见的分辨力有 0.1℃和 1℃。模拟显示方式包括指针指示、色带指示和光柱指示三种,有全量程指示也有与设定值结合的偏差指示。

仪表的输入信号可以是单一的,也可以是复合的,也可以是按说明书要求通过操作键设置的。

仪表原理框图见图 1。

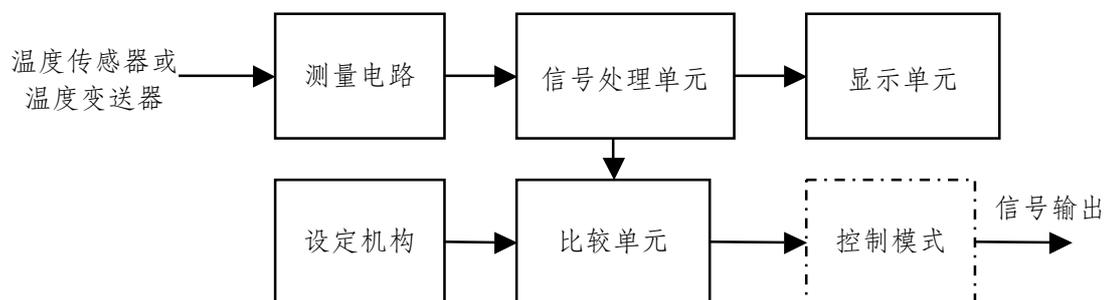


图 1 仪表原理框图

4 计量特性

4.1 示值误差

示值误差是仪表的示值与输入的标准值之差。仪表的最大允许误差通常用量程的士 $a\%$ 表示（其中 a 为准确度等级）。

——数字仪表的准确度等级有 0.1 级、0.2 级、0.5 级、1.0 级等。

——模拟仪表的准确度等级有 0.5 级、1.0 级、1.5 级、2.5 级和 4.0 级等。

5 校准条件

5.1 标准器及其它设备

校准时所需的标准仪器及配套设备可从表 1 中参考选择。选用的原则为：校准时由标准仪器及配套设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应尽可能小，以满足委托方对校准工作的要求。

表 1 参考标准器及配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求	用途	备注
1	直流电阻箱	准确度等级：不低于 0.02 级 测量范围：18 Ω ~450 Ω (配 Pt100 仪表的测量范围)	模拟热电阻的输出，作为校准配热电阻仪表的标准信号源	可以用满足仪表激励电流要求的温度校准仪。也可选用符合要求的其它设备。
2	温度校准仪	模拟热电阻输出 最大允许误差： $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ~ $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 模拟范围： -200°C ~ 800°C	作为校准接受过程信号二次仪表的标准信号源	也可选用符合要求的其它设备。
		标准信号输出 准确度等级：不低于 0.02 级 直流电压：0V~10V 直流电流：0mA~22mA		
		模拟热电偶输出 准确度等级：不低于 0.05 级 模拟范围： -200°C ~ 2300°C	模拟热电偶的输出，作为校准配热电偶仪表的标准信号源。	
3	标准直流电压源或低电势直流电位差计	准确度等级：不低于 0.05 级 测量范围：0mV~80mV		
4	专用补偿导线	补偿导线应与校准时的热电偶分度号相配，并经校准具有校准时仪表所处环境温度的修正值。	校准具有热电偶参考端温度自动补偿仪表时用的专用连线。	
5	0 $^{\circ}\text{C}$ 恒温器	0 $^{\circ}\text{C}$ 恒温器的温度偏差不得超过 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 。	按图 5 校准仪表时用。	0 $^{\circ}\text{C}$ 恒温器可用冰点槽代替。
6	专用连接导线	三线制连接时，三根导线电阻之差应尽可能小。在阻值无明确规定时，可在同一根铜导线上等长度(通常不超过 1m)截取三段作为连接导线。	仪表输入端与直流电阻箱或温度校准仪之间的连接导线。	

5.2 环境条件

环境温度：15 $^{\circ}\text{C}$ ~25 $^{\circ}\text{C}$ 。

相对湿度：45%~85%。

环境条件应同时满足标准设备使用的相关要求。

注：如不能满足标准器使用的环境要求，在不确定度评定时应考虑增加标准器不确定度的可能。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

示值误差。

6.2 校准方法

6.2.1 示值误差的测量

6.2.1.1 标准器与仪表的连接

标准器与仪表的连接方法如图 2~图 7。选择热电阻测量温度时，根据实际使用要求选用三线制或四线制进行（ R_0 大于 $500\ \Omega$ 的也可选用二线制进行）；选择热电偶测量温度时，具有参考端温度自动补偿功能的仪表，应选择匹配的补偿导线，与仪表输入端的连接应有良好的接触。

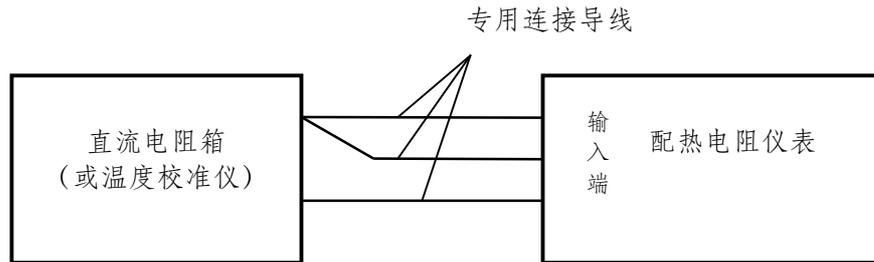


图 2 配热电阻仪表（三线制）的校准连接图

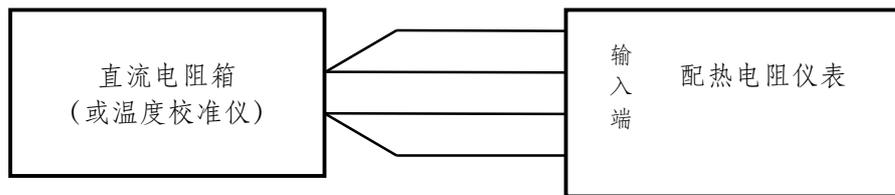


图 3 配热电阻仪表（四线制）的校准连接图

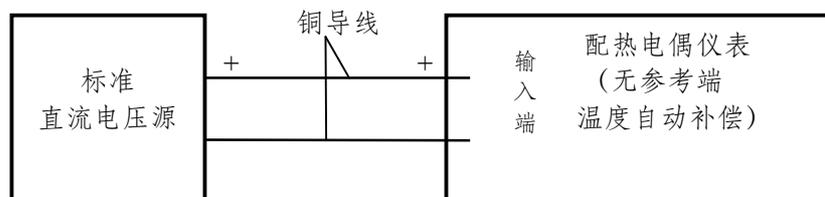


图 4 配热电偶仪表（无参考端温度自动补偿）的校准连接图

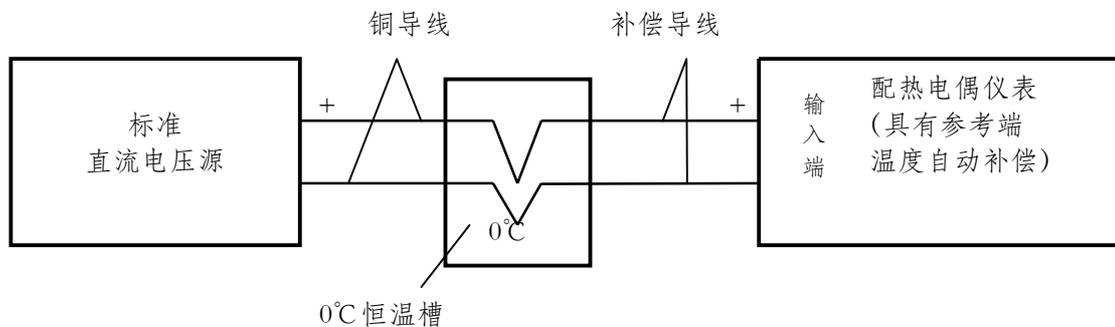


图 5 配热电偶仪表（具有参考端温度自动补偿）的校准连接图

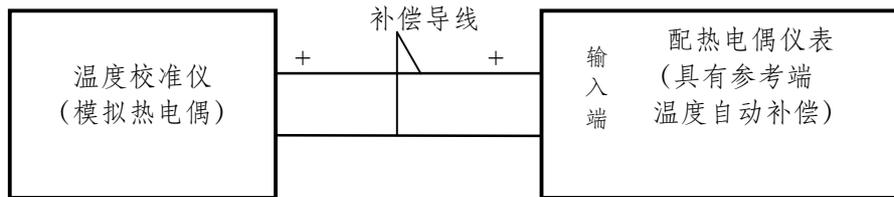


图6 配热电偶仪表（具有参考端温度自动补偿）标准器用温度校准仪的校准连接图

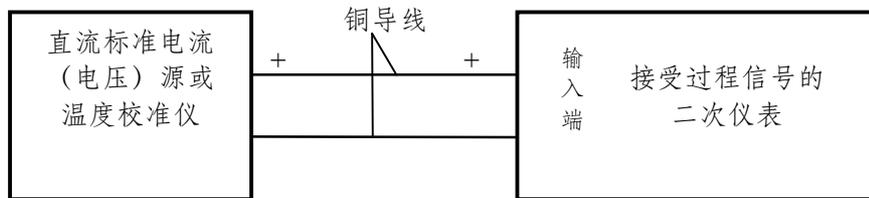


图7 接受过程信号仪表的校准连接图

校准前仪表应通电预热，预热时间按制造厂说明书中的规定确定，一般不少于15min。具有参考端温度自动补偿的仪表的预热时间不少于30min。

6.2.1.2 数字仪表示值误差的校准方法

仪表的校准点一般不少于5个，包括上、下限在内原则上均布的整十度或百度点。也可以选择用户指定的校准点。

温度信号的输入值依据相应的分度表。首先输入下限值温度对应的标称电量值，读取仪表的温度示值；然后开始增大输入信号（上行程时），分别输入各校准点温度所对应的标称电量值，并读取仪表的示值，直至上限；在输入上限温度信号并读取仪表示值后减小输入信号（下行程时），分别输入各校准点温度所对应的标称电量值，并读取仪表的示值，直至下限。用同样的方法重复测量一次。

热电偶输入的仪表，如果具有参考端温度自动补偿，校准时给仪表输入的信号应是被校点温度对应的标称电势值减去补偿导线修正值。

取两个循环读数的平均值计算示值误差。因此，每个校准点有4个仪表示值，取4个仪表示值的平均值与校准点温度之差作为该校准点的示值误差，如式（1）：

$$\Delta_t = \bar{t}_d - t \quad (1)$$

式中： Δ_t ——各被校点的示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

\bar{t}_d ——仪表示值的平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t ——被校点温度值， $^{\circ}\text{C}$ ；

注：按图5接线时，示值误差的计算公式应为 $\Delta_t = \bar{t}_d - (t + \frac{e}{S_i})$ 。其中 S_i 为各被校点温度的微分

电势， e 为补偿导线修正值。由于操作时给校准仪的输入信号为被校点温度对应的标称电势值减去补偿导线修正值，从而同样得到式 (1) 的示值误差计算公式。

在上述测量过程中对重复性最差的校准点应再继续进行三个循环的测量，合计得到 10 个显示值。按贝塞尔公式计算示值平均值的重复性 $s_i(\bar{t}_d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (t_{di} - \bar{t}_d)^2}{4(10-1)}}$ ，以此评估该校准仪测量重复性带来的不确定度。

注：如已掌握并积累了被校仪表的测量重复性信息（如 s_p ）或测量重复性限，则可以不进行上述重复性试验，直接取 $s_i(\bar{t}_d) = \frac{s_p}{\sqrt{4}}$ 。分辨力为 1°C 的数字仪表，重复性通常可忽略不计。

多通道的仪表，可以按相应量程逐一进行校准。当通道间的信号转换完全是通过扫描开关完成的，可以将输入同铭端分别短接后进行校准，否则不能短接。

6.2.1.3 模拟仪表示值误差的校准方法

模拟仪表的指示标尺有全量程指示和偏差指示两种，两者的校准方法有区别：

A) 全量程指示仪表

校准应在主刻度线上进行。校准点一般应包括上、下限值之内不少于 5 个点，或用户指定的校准点。校准结果应分别给出各校准点上、下行程时的示值误差。

输入信号使指示指针（光柱）缓慢上升，并对准各被校刻度线中心（光段最亮），分别读取标准器的示值 A_1 （或 t_1 ），直至上限，完成上行程的测量。在读取上限值后，减小输入信号，使指示指针（光柱）缓慢下降，并对准各被校刻度线中心（光段最亮），分别读取标准器的示值 A_2 （或 t_2 ），直至下限，完成下行程的测量。用同样的方法重复测量一次。

在上述测量过程中对重复性最差的校准点应继续进行 8 次测量，合计得到 10 个测量值。按贝塞尔公式计算示值平均值的重复性 s_i ，以此评估该校准仪测量重复性带来的不确定度。

注：

1. 如已掌握并积累了被校仪表的测量重复性信息（如 s_p ）或测量重复性限，则可以不进行上述重复性试验。直接取 $s_i = \frac{s_p}{\sqrt{2}}$ 。

2. 在满足目标不确定度的条件下，比较过程中也可以采用输入被校点的标称电量值估读仪表示值的方法，在不确定度评定中应考虑估读误差引入的不确定度分量。

按式(2)和式(3)分别计算各校准点上行程和下行程的示值误差:

$$\Delta_{t1} = \frac{(A - \bar{A}_1)}{S_i} - \frac{e}{S_i}, \text{ 或 } \Delta_{t1} = t - \bar{t}_1 - \frac{e}{S_i} \quad (2)$$

$$\Delta_{t2} = \frac{(A - \bar{A}_2)}{S_i} - \frac{e}{S_i}, \text{ 或 } \Delta_{t2} = t - \bar{t}_2 - \frac{e}{S_i} \quad (3)$$

式中: Δ_{t1} 、 Δ_{t2} ——分别为各被校点上行程和下行程的示值误差, °C;

A ——被校点温度 t 对应的标称电量值, mV、 Ω ;

\bar{t}_1 、 \bar{t}_2 ——分别为各被校点上行程和下行程时标准器各 2 次温度示值平均值, °C;

\bar{A}_1 、 \bar{A}_2 ——分别为各被校点上行程和下行程时标准器各 2 次电量值的平均值, mV、 Ω ;

e ——校准时环境温度下的补偿导线修正值。仅适用配热电偶并具有参考端温度自动补偿的仪表, 其它仪表 $e=0$, mV;

S_i ——各被校点温度的微分电阻或微分电势(见附录 F), $\Omega/^\circ\text{C}$ 、mV/°C。

B) 偏差指示仪表

在仪表设定温度确定的条件下, 校准点为偏差指示标尺的最大正、负偏差刻度线和零刻度线。设定温度一般由用户确定, 否则取仪表 50%量程附近的温度值。

温度设定值确定后输入一个小于设定温度的电信号, 并开始增大输入信号使指示指针(光柱)缓慢上升, 并对准零及最大正偏差刻度线中心(光段最亮), 分别读取标准器的示值 A_1 (或 t_1); 减小输入信号使指示指针(光柱)缓慢下降, 并对准零及最大负偏差刻度线中心(光段最亮), 分别读取标准器的示值 A_2 (或 t_2)。

同样条件下重复测量一次。(注: 重复测量是在重新设置同一个设定温度后再次进行的上述测量过程)。

在上述测量过程中对重复性最差行程的校准点应继续进行 8 次测量(重新设置同一设定温度), 合计得到 10 个测量值。按贝塞尔公式计算示值平均值的重复性 s_i , 以此评估该仪表测量重复性带来的不确定度。

注: 如已掌握并积累了被校仪表的测量重复性信息(如 s_p), 则可以不进行上述重复性试验。

直接取 $s_i = \frac{s_p}{\sqrt{2}}$ 。

按式(2)和式(3)分别计算各校准点上行程和下行程的示值误差。其中, 校准点

的温度 t 为仪表的设定温度与标尺指示温度的代数和， A 为该校准点温度对应的标称电量值。

6.3 数据处理原则

测量结果和误差计算过程中，小数点后保留的位数通常掌握的原则为：对于数字式仪表保留到分辨力的 $1/10$ ，模拟式仪表保留到最小分度值的 $1/10$ 。

在不确定度的计算过程中，为了避免过大的修约误差，可以保留 2~3 位有效位数。但最终的扩展不确定度只能保留 1~2 位有效数字。测量结果是由多次测量的算术平均值给出，其末位应与扩展不确定度的有效位数对齐。数字式仪表测量结果末位一般与仪表分辨力一致。

7 校准结果的表达

校准结果应在校准证书上反映。校准证书应至少包括以下信息：

- 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声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

其中，“本次校准所用测量标准的溯源性及有效说明”中应包括标准器的名称、型号规格、测量范围及不确定度（或准确度等级、最大允差）、有效日期等说明。

“校准环境的描述”中应包括环境温度、相对湿度和供电的状况。

“校准结果及其测量不确定度的说明”中应给出每个被校点温度对应的示值误差以及相应的扩展不确定度和包含因子，如各被校点的扩展不确定度相差不大，可以取最大的代替。

8 复校时间间隔

复校时间间隔由用户根据使用情况自行确定，为了确保仪表在其规定的技术性能下使用，建议最长为1年。

附录 A

数字仪表示值误差校准不确定度评定示例

A.1 概述

A.1.1 被校准仪表

用于配接 K 型热电偶的数字仪表，测量范围为 0□~1100□，分辨力为 1□，最大允许误差为±6.5□。

A.1.2 测量标准

用标准直流电压发生器作为测量标准。它的主要技术指标：10mV 和 100mV 档的误差限分别为±(0.02%读数+0.002mV)和±(0.02%读数+0.01mV)。对应于温度的最大允许误差如表 A.1 所示。

表 A.1 标准直流电压发生器主要技术指标

TC 类型	测量（输出）信号范围 $t/^\circ\text{C}$	最大允许误差 $\Delta/^\circ\text{C}$
K	$-200 \leq t < -100$	±0.2
	$-100 \leq t < 300$	±0.1
	$300 \leq t < 600$	±0.3
	$600 \leq t < 1000$	±0.4
	$1000 \leq t < 1300$	±0.5
	$1300 \leq t \leq 1370$	±0.6

补偿导线经校准，修正值（20℃时） $e=0.0010\text{mV}$ ， $U_{95}=3.28\mu\text{V}$ ， $k_{95}=2.01$ 。

A.1.3 测量方法

按本规范的方法进行。校准点分别为（℃）：0，300，600，900，1100。

A.1.4 测量环境

温度：15℃~25℃；相对湿度：≤85%。

A.2 测量模型

$$\Delta_t = t_d - \left(t_s + \frac{e}{S_i} \right) \quad (\text{A.1})$$

式中符号的含义同正文。

A.3 输入量的标准不确定度分析

A.3.1 输入量 t_d 的标准不确定度 $u(t_d)$

输入量 t_d 的不确定度来源主要有两部分：测量重复性和仪表的分辨力。

A.3.1.1 测量重复性导致的标准不确定度 $u(t_{d1})$

测量重复性导致的标准不确定度 $u(t_{d1})$ 采用 A 类方法进行评定。可以通过连续测量

得到的测量列用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准偏差 s 得到(测量次数少可用极差法计算)。由于被校仪表的分辨力较低,因此重复性与分辨力比也显不出来,可以忽略不计。

A.3.1.2 仪表分辨力导致的标准不确定度 $u(t_{d2})$

仪表分辨力导致的标准不确定度 $u(t_{d2})$ 可以采用 B 类方法进行评定。由仪表分辨力 b 导致的示值误差区间半宽为 $a=b/2$; 包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。因此: $u(t_{d2})=0.5/k=0.29^{\circ}\text{C}$ 。

由于重复性与分辨力有一定关联,在分辨力导致的不确定度大于重复性时,只取分辨力的影响,即 $u(t_d)=0.29^{\circ}\text{C}$ 。

A.3.2 输入量 t_s 的标准不确定度 $u(t_s)$

输入量 t_s 的不确定度主要来源于标准直流电压发生器的输出误差。因校准时的环境温度不影响标准器的准确度,引入的不确定度可以忽略不计。如不能满足标准器使用的环境要求,在不确定度评定时应考虑增加标准器不确定度的可能。

$u(t_s)$ 可以采用 B 类方法进行评定:标准器在各检定点的最大允差,按均匀分布考虑, $k=\sqrt{3}$ 。本例仪表各校准点的 $u(t_s)$ 分别为 ($^{\circ}\text{C}$): 0.06, 0.17, 0.23, 0.23, 0.29。

A.3.3 输入量 e 的标准不确定度 $u(e)$

输入量 e 不确定度的主要来源为补偿导线修正值和冰点导致的不确定度。

补偿导线的标准不确定度 $u(e_1)$ 和冰点槽的标准不确定度 $u(e_2)$ 均可以采用 B 类方法进行评定。

A.3.3.1 补偿导线导致的标准不确定度 $u(e_1)$

补偿导线经校准,修正值 e (20°C 时) 的扩展不确定度为 $U_{95}=3.28\mu\text{V}$, $k_{95}=2.01$ 。则 $u(e_1)=3.28/2.01=1.63\mu\text{V}$ 。

A.3.3.2 补偿导线稳定性导致的标准不确定度 $u(e_2)$

从补偿导线历次校准的报告中得到修正值的稳定性,不超过 $2\mu\text{V}$ 。则标准不确定度为 $u(e_2)=1.15\mu\text{V}$ 。

A.3.3.3 冰点导致的标准不确定度 $u(e_3)$

冰瓶 0°C 的最大偏差为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$, 对于 K 分度热电偶相当于 $\pm 1.97\mu\text{V}$, 按均匀分布考虑。因此, $u(e_2)=1.14\mu\text{V}$ 。

A.3.3.4 输入量 e 的标准不确定度 $u(e)$ 的计算

由于 e_1 和 e_2 彼此相互独立, 因此, $u(e)=\sqrt{u(e_1)^2+u(e_2)^2+u(e_3)^2}=2.30\mu\text{V}$ 。

A.4 合成标准不确定度

A.4.1 灵敏系数

数学模型 Δ_t 的灵敏系数:

$$\begin{aligned} c_1 &= \partial\Delta_t / \partial t_d = 1 \\ c_2 &= \partial\Delta_t / \partial t_s = -1 \\ c_3 &= \partial\Delta_t / \partial e = -1/S_i \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

A.4.2 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度汇总于表 A.2。

表 A.2 仪表各校准点标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_j)$	不确定度来源	标准不确定度值 °C		灵敏系数 c_i	c_i $u(x_j)$ °C	
$u(t_d)$	测量重复性及分辨力	0.29		1	0.29	
$u(t_s)$	标准电压发生器的输出误差	0°C	0.06	-1	0°C	0.06
		300°C	0.17		300°C	0.17
		600°C	0.23		600°C	0.23
		900°C	0.23		900°C	0.23
		1100°C	0.29		1100°C	0.29
$u(e)$	补偿导线及冰瓶	2.30μV		-1/ S_i	0°C	0.06
					300°C	0.06
					600°C	0.06
					900°C	0.06
					1100°C	0.06

由于 S_i 是温度传感器在温度点 t_i 的电学量与温度量值之间的转换系数,可以在相应的分度手册中查到(附录 F),认为是一个常数。不确定度忽略不计。

K 型热电偶各测量点的 S_i ($\mu\text{V}/\square$) 分别为: $S_0=39.4$, $S_{300}=41.4$, $S_{600}=42.5$, $S_{900}=40.0$, $S_{1100}=37.8$ 。

A.4.3 合成标准不确定度的计算

输入量 t_d 、 t_s 及 e 相互间彼此独立,所以合成标准不确定度可按下式得到:

$$u_c(\Delta_t) = \sqrt{[c_1 \cdot u(t_d)]^2 + [c_2 \cdot u(t_s)]^2 + [c_3 \cdot u(e)]^2} \quad (\text{A.3})$$

各测量点的合成标准不确定度分别为，

$$u_c(\Delta_0) = 0.30 \square, \quad u_c(\Delta_{300}) = 0.34^\circ\text{C}, \quad u_c(\Delta_{600}) = u_c(\Delta_{900}) = 0.37 \square, \quad u_c(\Delta_{1100}) = 0.41 \square,$$

A.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$ ，得到扩展不确定度 $U=2 u_c(\Delta_t)$ ，各校准点的扩展不确定度如表 A.3 所示。

表 A.3 各校准点的扩展不确定度 U ， $k=2$ 单位： \square

校准点	0	300	600	900	1100
不确定度 U	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8

附录 B

模拟仪表示值误差校准不确定度评定示例

B.1 概述

B.1.1 被校准仪表

用于配接 Pt100 型热电阻的模拟仪表，测量范围为 0℃~400℃，最大允许误差为 ±1.5%FS。

B.1.2 测量标准

用直流电阻箱作为测量标准，选用 ZX74 直流电阻箱。它的主要技术指标如表 B.1 所示。

表 B.1 ZX74 直流电阻箱主要技术指标

RTD 类型	测量（输出）信号范围 t (°C)	最大允许误差 Δ (°C)
Pt100	$0 \leq t < 200$	±0.04
	$200 \leq t < 400$	±0.06
	$400 \leq t < 600$	±0.08

B.1.3 测量方法

按本规范的方法进行。校准点分别为 (°C): 0, 100, 200, 300, 400。

B.1.4 测量环境

温度: 25℃; 相对湿度: ≤85%。

B.2 测量模型

$$\Delta_t = t_d - t_s \quad (\text{B.1})$$

式中符号的含义同正文。

B.3 输入量的标准不确定度分析

B.3.1 输入量 t_d 的标准不确定度 $u(t_d)$

输入量 t_d 的不确定度来源主要有两部分：仪表读数机构对刻度的误差和测量重复性。

B.3.1.1 仪表读数机构对刻度导致的标准不确定度 $u(t_{d1})$

仪表读数机构导致的标准不确定度 $u(t_{d1})$ 可以采用 B 类评定方法进行评定。读数机构导致的误差区间半宽 a 一般不超过仪表最大允许误差的 1/20，取 $a=0.05 \times 1.5\%FS$ ，按均匀分布考虑，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。

因此： $u(t_{d1})=0.173^{\circ}\text{C}$ 。

B.3.1.2 测量重复性导致的标准不确定度 $u(t_{d2})$

$u(t_{d2})$ 可以通过连续测量得到的测量列，采用 A 类评定方法进行评定。

1.5 级(0~400) $^{\circ}\text{C}$ 的仪表，在 100°C 处进行连续 10 次测量，得到测量列：99.9、100.1、99.8、100.0、99.8、99.9、100.0、99.9、100.1、100.0

平均值： $\bar{t}_s=99.95^{\circ}\text{C}$

$$\text{单次实验标准偏差: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{si} - \bar{t}_s)^2}{n-1}} = 0.11^{\circ}\text{C}$$

任选三台同类型仪表分别在量程的 10%、50%、90%附近进行重复性条件下的连续 10 次测量，共得到 9 组测量列。每组测量列分别按上述方法计算，得到单次实验标准偏差如表 B.2 所示：

表 B.2 9 组实验标准偏差计算结果

测量点	10%FS	50%FS	90%FS
$s_j (^{\circ}\text{C})$	0.12	0.11	0.12
	0.10	0.10	0.09
	0.12	0.11	0.11

$$\text{合并样本标准偏差 } s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m s_j^2} = 0.109^{\circ}\text{C}$$

实际测量情况是在重复性条件下同一行程连续测量 2 次，以 2 次测量的平均值作为测量结果，则可以得到：

$$u(t_{d2}) = s_p / \sqrt{2} = 0.077^{\circ}\text{C};$$

B.3.1.3 输入量 t_d 的标准不确定度 $u(t_d)$ 计算

由于 t_{d1} 和 t_{d2} 彼此相互独立，因此：

$$u(t_d) = \sqrt{u(t_{d1})^2 + u(t_{d2})^2} \quad (\text{B.2})$$

$$u(t_d) = 0.189^{\circ}\text{C}$$

B.3.2 输入量 t_s 的标准不确定度 $u(t_s)$ 的评定

输入量 t_s 的不确定度来源主要来自作为标准器的 ZX74 直流电阻箱，其误差区间半宽 a 即为最大允许误差的绝对值，可以查表 B.1 得到，按均匀分布考虑， $u(t_s)=a/\sqrt{3}$ 。得到各校准点的 $u(t_s)$ ：

$u(0^{\circ}\text{C})=u(100^{\circ}\text{C})=0.023^{\circ}\text{C}$, $u(200^{\circ}\text{C})=u(300^{\circ}\text{C})=0.035^{\circ}\text{C}$, $u(400^{\circ}\text{C})=0.046^{\circ}\text{C}$ 。

B.4 合成标准不确定度的评定

B.4.1 灵敏系数

数学模型 $\Delta_t=t_d-t_s$ 的灵敏系数:

$$c_1 = \partial\Delta_t/\partial t_d = 1$$

$$c_2 = \partial\Delta_t/\partial t_s = -1$$

B.4.2 标准不确定度汇总表

输入量的标准不确定度 汇总于表 B.3。

表 B.3 标准不确定度汇总表

标准不确定度 $u(x_i)$	不确定度 来源	标准不确定度值 ($^{\circ}\text{C}$)		灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$ ($^{\circ}\text{C}$)	
$u(t_d)$				1	0.189 $^{\circ}\text{C}$	
$u(t_{d1})$	读数机构	0.173 $^{\circ}\text{C}$				
$u(t_{d2})$	测量重复性	0.077 $^{\circ}\text{C}$				
$u(t_s)$	ZX74 示值误差	0 $^{\circ}\text{C}$	0.023 $^{\circ}\text{C}$	-1	0 $^{\circ}\text{C}$	0.023 $^{\circ}\text{C}$
		100 $^{\circ}\text{C}$	0.023 $^{\circ}\text{C}$		100 $^{\circ}\text{C}$	0.023 $^{\circ}\text{C}$
		200 $^{\circ}\text{C}$	0.035 $^{\circ}\text{C}$		200 $^{\circ}\text{C}$	0.035 $^{\circ}\text{C}$
		300 $^{\circ}\text{C}$	0.035 $^{\circ}\text{C}$		300 $^{\circ}\text{C}$	0.035 $^{\circ}\text{C}$
		400 $^{\circ}\text{C}$	0.046 $^{\circ}\text{C}$		400 $^{\circ}\text{C}$	0.046 $^{\circ}\text{C}$

B.4.3 合成标准不确定度的计算

输入量 t_d 及 t_s 相互间彼此独立, 所以合成标准不确定度可按下式得到:

$$u_c(\Delta_t) = \sqrt{[c_1 \cdot u(t_d)]^2 + [c_2 \cdot u(t_s)]^2}$$

$$u_c(\Delta_0) = u_c(\Delta_{100}) = u_c(\Delta_{200}) = u_c(\Delta_{300}) = u_c(\Delta_{400}) = 0.19^{\circ}\text{C}$$

B.5 扩展不确定度的计算

取 $k=2$, 扩展不确定度 $U=2 u_c(\Delta_t)$ 。

该仪表 0~400 $^{\circ}\text{C}$ 各校准点的扩展不确定度均为 $U=0.4^{\circ}\text{C}$, $k=2$ 。

附录 C

原始记录表式（参考）

C.1 数字指示仪表

委托单位：_____ 地址：_____

型号：_____ 分度号：_____ 测量范围：_____ 最大允差：_____

制造厂：_____ 出厂编号：_____ 补偿导线修正值： $e=$ _____ mV

依据技术规范：_____ 温度：_____ °C 相对湿度：_____ %

校准用测量标准器：

名称/型号	编号	证书编号/有效期限	测量范围/准确度

校准结果：

被校点 /°C	相对应的 电量值 /mV, Ω	行程	仪表显示值/°C			示值误差 /°C
			第一次	第二次	平均值	
		上				
		下				
		上				
		下				
		上				
		下				
		上				
		下				
		上				
		下				

重复性：_____

不确定度：_____

校准员_____ 复核员_____ 校准日期_____

C.2 模拟指示仪表（全量程指示）

委托单位：_____ 地址：_____

型号：_____ 分度号：_____ 测量范围：_____ 准确度等级：_____

制造厂：_____ 出厂编号：_____ 补偿导线修正值： $e=$ _____ mV

依据技术规范：_____ 温度：_____ °C 相对湿度：_____ %

校准用测量标准器：

名称/型号	编号	证书编号/有效期限	测量范围/准确度

校准结果：

被校点		标准器示值 /mV		误差/mV, Ω		误差/°C	
仪表示值 /°C	对应标称电量值 /mV, Ω	上行程	下行程	上行程	下行程	上行程	下行程
		—		—		—	
		—					
			—		—		—
			—				

重复性：_____

不确定度：_____

校准员_____ 复核员_____ 校准日期_____

C.3 模拟指示仪表（偏差指示）

委托单位：_____ 地址：_____

型号：_____ 分度号：_____ 测量范围：_____ 准确度等级：_____

制造厂：_____ 出厂编号：_____ 补偿导线修正值： $e=$ _____ mV

依据技术规范：_____ 温度：_____ °C 相对湿度：_____ %

校准用测量标准器：

名称/型号	编号	证书编号/有效期限	测量范围/准确度

校准结果：

被校点			标准器示值 (mV, Ω)				示值误差 (°C)	
设定值 (°C)	偏差值 (°C)	标称电量值 (mV, Ω)	上行程		下行程		上行程	下行程
	-		---				---	
	0							
	+				---			---
	-		---				---	
	0							
	+				---			---
	-		---				---	
	0							
	+				---			---

重复性：_____

不确定度：_____

校准员_____ 复核员_____ 校准日期_____

附录 D

热电阻的微分电阻和热电偶的塞贝克系数（资料性）

D.1 热电阻的微分电阻

温度 (°C)	微分电阻 S_i , ($\Omega/^\circ\text{C}$)	
	Pt100	Cu100
-200	0.432	——
-150	0.417	——
-100	0.405	——
-50	0.397	0.432
0	0.391	0.429
50	0.385	0.428
100	0.379	0.428
150	0.374	0.431
200	0.368	——
250	0.362	——
300	0.356	——
350	0.350	——
400	0.345	——
450	0.339	——
500	0.333	——
600	0.322	——
700	0.310	——
800	0.298	——
850	0.293	——

D.2 热电偶的塞贝克系数

温度 (°C)	热电偶的塞贝克系数 S_i , ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)							
	S	R	B	K	N	E	J	T
-250	—	—	—	—	—	—	—	6.34
-200	—	—	—	—	—	—	—	15.74
-150	—	—	—	—	—	36.23	33.13	22.32
-100	—	—	—	30.49	20.92	45.17	41.09	28.39
-50	—	—	—	35.80	24.34	52.82	46.62	33.89
0	5.40	5.29	-0.25	39.45	26.16	58.67	50.38	38.75
10	5.65	5.56	-0.13	39.91	26.26	59.57	50.97	39.47
20	5.88	5.82	-0.01	40.33	26.60	60.49	51.50	40.27
30	6.10	6.06	0.10	40.69	26.97	61.41	51.33	41.11
40	6.31	6.30	0.22	41.00	27.34	62.33	52.44	41.96
50	6.50	6.52	0.33	41.25	27.72	63.24	52.85	42.82
100	7.34	7.48	0.90	41.37	29.64	67.52	54.36	46.78
200	8.46	8.84	1.99	39.97	32.99	74.03	55.51	53.15
300	9.13	9.74	3.05	41.45	35.42	77.91	55.35	58.09
400	9.57	10.37	4.06	42.24	37.13	80.06	55.15	61.80
500	9.90	10.89	5.04	42.63	38.27	80.93	55.99	—
600	10.21	11.36	5.96	42.51	38.96	80.66	58.49	—
700	10.53	11.83	6.81	41.90	39.26	79.65	62.15	—
800	10.87	12.31	7.64	41.00	39.29	78.43	64.63	—
900	11.21	12.79	8.41	40.00	39.04	76.83	62.44	—
1000	11.54	13.23	9.12	38.98	38.61	75.16	59.26	—
1200	12.03	13.92	10.36	36.49	37.19	—	57.24	—
1300	12.13	14.08	10.87	34.93	36.01	—	—	—
1400	12.13	14.13	11.28	—	—	—	—	—
1600	11.85	13.88	11.69	—	—	—	—	—
1800	—	—	11.48	—	—	—	—	—

附录 E

校准证书内页格式

校准结果

示值误差

传感器类型_____，参考端温度自动补偿状态_____。偏差指示仪表的设定值_____。

校准点 /°C							
示值误差 /°C							
不确定度 $U/^\circ\text{C}$, $k=2$							