



河北省地方计量技术规范

JJF(冀) *** -2024

工作用数字温度计校准规范

Calibration Specification of Working Digital Thermometer

(报批稿)

--***发布

--***实施

河北省市场监督管理局 发布

工作用数字温度计校准规范

Calibration Specification of

Working Digital Thermometer

JJF(冀)***—2024

归口单位：河北省市场监督管理局

主要起草单位：河北省计量监督检测研究院

本规范委托河北省计量监督检测研究院负责解释

本规范主要起草人：

邢寒雪（河北省计量监督检测研究院）

王艳丽（河北省计量监督检测研究院）

张帅星（河北省计量监督检测研究院）

参加起草人：

李 杰（河北省计量监督检测研究院）

仇乐新（河北省计量监督检测研究院）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量特性	(1)
3.1 示值误差	(1)
3.2 绝缘电阻	(1)
4 校准条件	(1)
4.1 环境条件	(1)
4.2 测量标准及其它设备	(1)
5 校准项目和校准方法	(3)
5.1 检查项目	(3)
5.2 校准项目	(3)
5.3 校准方法	(3)
6 校准结果	(5)
7 复校时间间隔	(6)
附录 A 工作用数字温度计校准原始记录格式	(7)
附录 B 工作用数字温度计校准证书内页格式	(8)
附录 C 数字温度计测量结果不确定度评定示例 (一)	(9)
附录 D 数字温度计测量结果不确定度评定示例 (二)	(13)
附录 E 数字温度计测量结果不确定度评定示例 (三)	(17)

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求进行编写。

本规范为首次发布。

工作用数字温度计校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围为 $(-80\sim 1100)$ ℃，分辨力等于或低于 0.1 ℃的工作用数字温度计（以下简称数字温度计）的校准。

2 概述

数字温度计一般由温度传感器和显示部分组成。传感器通常为热电阻、热电偶等，显示部分以数字方式直接将测量对象的温度值显示出来，可以是台式、手持式或与传感器一体化等形式。

3 计量特性

3.1 示值误差

数字温度计示值误差应不大于示值最大允许误差。

3.2 绝缘电阻

在环境温度为 $15^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为 $45\%\sim 75\%$ 的条件下，采用交流电源供电的数字温度计显示部分各端子之间、传感器引线与其外壳之间的绝缘电阻应不小于表1技术要求。

表1 绝缘电阻技术要求

序号	测试部位	绝缘电阻/ $\text{M}\Omega$
1	电源端子——地或机壳	40
2	输入端子——地或机壳	20
3	输入端子——电源端子	40
4	传感器引线——传感器外壳	20

4 校准条件

4.1 环境条件

环境温度 $15^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 85% 。

4.2 测量标准及其他设备

测量范围在 $(-80\sim 300)$ ℃时，测量标准及配套设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校数字温度计最大允许误差绝对值的 $1/3$ ；测量范围在 $(300\sim 1100)$ ℃

时，测量标准及配套设备引入的扩展不确定度 U ($k=2$) 应不大于被校数字温度计最大允许误差绝对值的 1/2。测量标准及其他配套设备见表 2。

表 2 测量标准及配套设备

序号	设备名称	技术要求	用途
1	标准水银温度计	测量范围：(-60~+300) °C	标准器
2	标准铂电阻温度计	二等及以上， 测量范围：(-189.3442~+419.527) °C	
3	标准铂铑 10-铂热电偶	二等及以上，测量范围：(300~1100) °C	
4	恒温设备	(-80~300) °C：工作区域最大温差 ≤ 0.02 °C， 波动度 ≤ 0.04 °C/10min 300°C 以上： 恒温设备为管式炉时，应配置均温块。 管式炉有效工作区域轴向 30mm 内任意两点的 温差绝对值不大于 0.5°C，径向半径不小于 14mm 范围内，同一截面任意两点的温差绝对值 不大于 0.25°C；炉体长度约为 300mm 的短型管 式炉，有效工作区域轴向 30 mm 内任意两点温 差绝对值不大于 1°C，从孔底算起轴向 30mm 内， 任意两点温差绝对值不大于 1°C，孔底同一截 面任意两点的温差绝对值不大于 0.5°C。	提供恒定的均匀 温场
5	电测设备	准确度等级不低于 0.02 级、 分辨力不低于 0.1m Ω	与标准铂电阻温 度计配套使用
		准确度等级不低于 0.02 级、 分辨力不低于 1 μ V	与标准热电偶温 度计配套使用
6	读数装置	放大倍数 5 倍以上，可调水平	读取标准水银温 度计示值
7	参考端恒温器	恒温器深度应不小于 200mm，工作区域温度变 化为 (0 \pm 0.1) °C	为参考端提供 0°C 的恒温场
8	兆欧表	直流电压 500V, 10.0 级	测量仪表的绝缘 电阻
注：也可用技术指标不低于上述要求的其他测量标准及配套设备。			

5 校准项目和校准方法

5.1 检查项目

5.1.1 外观检查

数字温度计组成部分完整；数显仪表外表无凹陷、裂痕和变形；温度传感器表面无损伤。数显仪表和温度传感器连接处接口无锈蚀，数字温度计通电后显示正常。

5.1.2 绝缘电阻的检查

试验方法：断开数字温度计电源，用绝缘电阻表按表 1 规定的部位进行测量，测量时应稳定 5s 后读数。

5.2 校准项目

数字温度计的示值误差。

5.3 校准方法

5.3.1 校准点的选择

校准点的选择：按量程均匀划分设定，不少于 5 个校准点，一般包括上限值、下限值和 0℃ (如有 0℃ 点)；当量程不超过 50℃ 时，一般不应少于 3 个校准点。

也可根据用户要求选择校准点。

5.3.2 示值误差校准方法

5.3.2.1 测量范围在 (-80~300)℃ 数字温度计的校准

数字温度计的测温范围在 (-80~300)℃ 区域内时，通常以 0℃ 为界，0℃ 以上的量限向上限依次进行校准，0℃ 以下的量限向下限依次进行校准。

将标准温度计和被校数字温度计的传感器按规定浸没深度插入恒温槽中，恒温槽恒定温度偏离校准点不超过 0.2℃，以标准温度计为准。待恒温槽温度稳定后，读数 4 次，其顺序为标准 → 被校 1 → 被校 2 … 被校 n，然后再按相反顺序回到标准，取 4 次读数平均值计算数字温度计的示值误差。

读数过程中，恒温槽温度应恒定，读数应迅速，时间间隔要均匀，整个读数过程温场温度变化不超过 0.1℃。

5.3.2.2 测量范围在 300℃ 以上数字温度计的校准

将标准热电偶套上保护管，与被校数字温度计的感温单元用镍铬丝捆扎成一束，捆扎时将被校数字温度计测量端围绕保护管均匀分布一周。然后，将捆扎好的被校数字温度计感温束插入管式炉内的均温块至底部，其测量端和标准热电偶

的测量端处于同一径向截面上。标准热电偶处于管式炉轴线位置上，被校数字温度计测量端处于炉内最高均匀温区，炉口处用绝缘耐火材料封堵。标准热电偶参考端与铜导线的一端连接后插入装有酒精或变压器油的玻璃试管中，再插入参考端恒温器，插入深度不小于 150 mm。铜导线的另一端与电测设备连接。

校准应由低温向高温逐点升温进行，当测量标准温度偏离校准温度点 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内，温度变化每分钟不超过 0.2°C 时开始读数，读数 4 次，其顺序为标准 \rightarrow 被校 1 \rightarrow 被校 2 \cdots 被校 n，然后再按相反顺序回到标准，取 4 次读数平均值计算数字温度计的示值误差。

读数过程中，管式炉温度应恒定，读数应迅速，时间间隔要均匀，整个读数过程炉温变化不超过 0.5°C 。

5.3.3 数据处理

a) 标准器为标准水银温度计时，示值误差计算见公式(1)：

$$\Delta t = t - (t_1 + t_x) \quad (1)$$

式中：

- Δt ——数字温度计示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；
- t ——数字温度计读数平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；
- t_1 ——标准水银温度计读数平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；
- t_x ——标准水银温度计修正值， $^{\circ}\text{C}$ 。

b) 标准器为标准铂电阻温度计时，示值误差计算见公式(2)和公式(3)：

$$\Delta t = t - t_1 \quad (2)$$

式中：

- Δt ——数字温度计示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；
- t ——数字温度计读数平均值， $^{\circ}\text{C}$ ；
- t_1 ——标准铂电阻温度计测得的实际温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

$$t_1 = t_2 + \frac{(R_1/R_p - W_2)}{(dW/dt)_{t_2}} \quad (3)$$

式中：

- t_2 ——名义温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

R_1 ——温度 t_1 时标准铂电阻温度计的电阻值, Ω ;

R_p ——标准铂电阻温度计水三相点的电阻值, Ω ;

W_2 ——温度 t_2 时标准铂电阻温度计的电阻比;

$(dW/dt)_{t_2}$ ——温度 t_2 时标准铂电阻温度计电阻比的变化率, $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 。

c) 标准器为标准热电偶时, 示值误差计算见公式 (4) 和公式 (5):

$$\Delta t = t - t_1 \quad (4)$$

式中:

Δt ——数字温度计示值误差, $^{\circ}\text{C}$;

t ——数字温度计读数平均值, $^{\circ}\text{C}$;

t_1 ——标准热电偶测得的实际温度, $^{\circ}\text{C}$;

$$t_1 = t_2 + \frac{e_1 - e}{S} \quad (5)$$

式中:

t_2 ——名义温度, $^{\circ}\text{C}$;

e_1 ——标准热电偶读数平均值, mV ;

e ——标准热电偶证书上 t_2 对应的热电动势值, mV ;

S ——标准热电偶在温度 t_2 时的微分热电动势, $\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ 。

6 校准结果

经校准的数字温度计出具校准证书, 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) 校准地点 (如果与实验室的地址不同);
- d) 证书的惟一性标识 (如编号), 页码及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识, 如型号、生产厂家和序列号等信息;
- g) 校准日期, 如果与校准结果有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收

日期;

- h) 如果与校准结果有效性和应用有关时,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) 本次校准所用标准器的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述,应包括环境温度、相对湿度等;
- 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,以及签发日期;
- 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。

7 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由被校数字温度计的使用情况、使用者的使用方法、本身质量等诸多因素决定,因此,送校单位可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

建议复校时间间隔不超过一年。

附录 A

工作用数字温度计校准原始记录格式

校准依据: _____ 环境温度 _____ °C 相对湿度: _____ % 校准地点: _____

标准器名称	规格型号	测量范围	出厂编号	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号	有效期至
校准 温度 /°C		标准器	客户名称		客户名称	
			客户地址		客户地址	
	仪器名称	/				
	型号规格	/				
	出厂编号	/				
	证书编号	/				
	生产厂家	/				
	读数 /°C					
平均值 /°C						
实际温度 $t =$ °C	示值误差 Δt /°C					
	测量不确定度 U /°C ($k=2$)					
	读数 /°C					
平均值 /°C						
实际温度 $t =$ °C	示值误差 Δt /°C					
	测量不确定度 U /°C ($k=2$)					
绝缘电阻 (Ω)						
备注						

注: 校准中出现的异常情况 & 偏离情况说明:

校准员: _____ 核验员: _____ 校准日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

附录 B

工作用数字温度计校准证书内页格式

校 准 结 果

B.1 示值误差

校准温度/ $^{\circ}\text{C}$					
示值误差/ $^{\circ}\text{C}$					
测量不确定度 $U/^{\circ}\text{C}$ ($k=2$)					

B.2 绝缘电阻

附录 C

数字温度计测量结果不确定度评定示例（一）

C.1 被测对象

便携式数字温度计

测量范围：(-60~300) °C；分辨力：0.1 °C

C.2 测量标准器

标准水银温度计

C.3 数学模型

$$\Delta t = t - (t_1 + t_x)$$

式中：

Δt ——数字温度计示值误差，°C；

t ——数字温度计读数平均值，°C；

t_1 ——标准水银温度计读数平均值，°C；

t_x ——标准水银温度计修正值，°C。

C.4 输入量的标准不确定度(以 200 °C 为例)

C.4.1 被校温度计引入的不确定度 $u(t)$

输入量 t 的标准不确定度 $u(t)$ ，其来源有被校数字温度计的测量重复性、显示仪表读数分辨力。

a) 被校数字温度计在 200 °C 测量示值重复性引入的不确定度 $u(t_a)$

在重复性条件下，进行 10 次测量，示值误差的测量数据如下：

0.4 °C、0.4 °C、0.5 °C、0.5 °C、0.5 °C、0.6 °C、0.5 °C、0.5 °C、0.5 °C、0.5 °C

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.057 \text{ °C}$$

在实际测量中取 4 次结果的平均值，故

$$u(t_a) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} = \frac{0.057}{\sqrt{4}} = 0.028 \text{ °C}$$

b) 显示仪表读数分辨力带来的不确定度 $u(t_b)$

数字温度计最小分辨力 0.1 °C，按均匀分布，则：

$$u(t_b) = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029 \text{ } ^\circ\text{C}$$

由于测量重复性引入的标准不确定度与显示值分辨力引入的标准不确定度属于同一种效应导致的不确定度，两者相关联，取较大者。故输入量 t 的标准不确定度：

$$u(t) = u(t_b) = 0.029 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.4.2 标准水银温度计及配套设备引入的不确定度 $u(t_1)$

输入量 t_1 的标准不确定度 $u(t_1)$ ，其来源有标准水银温度计的估读误差、读数时视线与温度计不垂直、恒温槽温场的不均匀及波动度。

a) 标准水银温度计的估读误差引入的不确定度 $u(t_{1a})$

标准水银温度计的分度值为 $0.1 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，估读至分度值的 $1/10$ ，按均匀分布，则：

$$u(t_{1a}) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.006 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b) 读数时视线与温度计不垂直引入的不确定度 $u(t_{1b})$

经试验，不垂直视差不确定度为 $0.01 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，按反正弦分布，则：

$$u(t_{1b}) = \frac{0.01}{\sqrt{2}} = 0.007 \text{ } ^\circ\text{C}$$

c) 恒温槽温场不均匀引入的不确定度 $u(t_{1c})$

恒温油槽最大温差为 $0.02 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，按均匀分布，则：

$$u(t_{1c}) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.012 \text{ } ^\circ\text{C}$$

d) 恒温槽温场波动度引入的不确定度 $u(t_{1d})$

恒温油槽波动性为 $0.04 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，按均匀分布，则：

$$u(t_{1d}) = \frac{0.04}{2\sqrt{3}} = 0.012 \text{ } ^\circ\text{C}$$

输入量 t_1 的标准不确定度：

$$u(t_1) = \sqrt{u^2(t_{1a}) + u^2(t_{1b}) + u^2(t_{1c}) + u^2(t_{1d})} = 0.020 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.4.3 标准水银温度计修正值引入的不确定度 $u(t_x)$

输入量 t_x 的标准不确定度 $u(t_x)$ ，其来源有标准水银温度计传递不确定度、长期稳定性。

a) 标准水银温度计传递不确定度引入的不确定度 $u(t_{x1})$ 。

在 $200 \text{ } ^\circ\text{C}$ ，标准水银温度计的扩展不确定度 $U=0.05 \text{ } ^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，则：

$$u(t_{x1}) = \frac{0.05}{2} = 0.025 \text{ } ^\circ\text{C}$$

b)标准水银温度计的长期稳定性引入的不确定度 $u(t_{x2})$

标准水银温度计的长期稳定性为 0.10°C ，则：

$$u(t_{x2}) = \frac{0.10}{\sqrt{3}} = 0.058 \text{ } ^\circ\text{C}$$

输入量 t_x 的标准不确定度：

$$u(t_x) = \sqrt{u^2(t_{x1}) + u^2(t_{x2})} = 0.063 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.5 合成标准不确定度

C.5.1 合成方差和灵敏系数

$$u_c^2 = [c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2 + [c_3 u(t_x)]^2$$

$$c_1 = \partial\Delta / \partial t = 1$$

$$c_2 = \partial\Delta / \partial t_1 = -1$$

$$c_3 = \partial\Delta / \partial t_x = -1$$

C.5.2 标准不确定度汇总表

表 C.1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量		灵敏系数	不确定度来源	标准不确定度/ $^\circ\text{C}$
$u(t)$	$u(t_a)$	$c_1 = 1$	测量重复性	0.028
	$u(t_b)$		显示仪表读数分辨力	0.029
$u(t_1)$	$u(t_{1a})$	$c_2 = -1$	标准水银温度计的估读误差	0.006
	$u(t_{1b})$		标准水银温度计读数时视线与温度计不垂直	0.007
	$u(t_{1c})$		恒温槽温场不均匀	0.012
	$u(t_{1d})$		恒温槽温场波动度	0.012
$u(t_x)$	$u(t_{x1})$	$c_3 = -1$	标准水银温度计传递不确定度	0.025
	$u(t_{x2})$		标准水银温度计的长期稳定性	0.058

C.5.3 合成不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2 + [c_3 u(t_x)]^2} = \sqrt{0.029^2 + 0.020^2 + 0.063^2} = 0.073 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.6 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则 200°C 时的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 0.2^{\circ}\text{C}$$

附录 D

数字温度计测量结果不确定度评定示例（二）

D.1 被测对象

数字温度计

测量范围：（-50~200）℃，分辨力为 0.1℃

D.2 测量标准器

二等标准铂电阻温度计

D.3 测量模型

$$\Delta t = t - t_1$$

式中：

 Δt —数字温度计示值误差，℃； t —数字温度计读数平均值，℃； t_1 —二等标准铂电阻温度计测得的实际温度，℃。

D.4 输入量的标准不确定度（以 50℃为例）

D.4.1 输入量 t 引入的标准不确定度 $u(t)$

其来源有被校数字温度计测量重复性、显示仪表读数分辨力两部分。

a) 被校数字温度计测量重复性引入的不确定度 $u(t_a)$

在重复性条件下，数字温度计在 50℃ 进行 10 次测量，示值误差的测量数据如下：

0.1℃，0.0℃，0.1℃，0.1℃，0.0℃，0.1℃，0.1℃，0.1℃，0.1℃，0.1℃

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.042^\circ\text{C}$$

在实际测量中取 4 次结果的平均值，故

$$u(t_a) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} = \frac{0.042}{\sqrt{4}} = 0.021^\circ\text{C} = 21\text{mK}$$

b) 显示仪表读数分辨力引入的不确定度 $u(t_b)$

数字温度计最小分辨力 0.1℃，按均匀分布，则

$$u(t_b) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029^\circ\text{C} = 29\text{mK}$$

由于测量重复性引入的标准不确定度与显示值分辨力引入的标准不确定度属

于同一种效应导致的不确定度，两者相关联，取较大者。

$$u(t) = u(t_b) = 29\text{mK}$$

D.4.2 输入量 t_1 引入的标准不确定度 $u(t_1)$

输入量 t_1 引入的标准不确定度 $u(t_1)$ ，其来源有二等标准铂电阻温度计的传播不确定度、稳定性、自热效应、内插公式、电测设备、恒温槽等。

a) 二等标准铂电阻温度计的不确定度 $u(t_{1a})$

50℃时，二等标准铂电阻温度计的不确定度为 4.0mK， $k=2$ ，则

$$u(t_{1a}) = \frac{4.0}{2} = 2.0\text{mK}$$

b) 二等标准铂电阻温度计稳定性引入的不确定度 $u(t_{1b})$

按二等标准铂电阻温度计检定规程，本周期检定结果与上周期数据允许变化量换算为温度值不超过 8.0mK，按均匀分布，则

$$u(t_{1b}) = \frac{8}{\sqrt{3}} = 4.6\text{mK}$$

c) 二等标准铂电阻温度计自热效应引入的不确定度 $u(t_{1c})$

二等标准铂电阻温度计的自热效应换算成温度值不超过 4.0mK，按均匀分布，则

$$u(t_{1c}) = \frac{4.0}{\sqrt{3}} = 2.3\text{mK}$$

d) 二等标准铂电阻温度计内插公式计算误差引入的不确定度 $u(t_{1d})$

铂电阻温度计的非一致性研究结果不大于 1.0mK，按均匀分布，则

$$u(t_{1d}) = \frac{1.0}{\sqrt{3}} = 0.6\text{mK}$$

e) 电测设备引入的不确定度 $u(t_{1e})$

电测设备测标准引入的不确定度。本装置使用的精密电阻测温仪的相对误差为 1×10^{-5} ，50℃时的绝对误差为 $3.0 \times 10^{-4} \Omega$ ，换算成温度约为 3.0 mK，按均匀分布，则

$$u(t_{1e}) = \frac{3.0}{\sqrt{3}} = 1.7\text{mK}$$

f) 恒温槽温场不均匀引入的不确定度 $u(t_{1f})$

恒温水槽最大温差为 0.02℃，按均匀分布，则：

$$u(t_{1f}) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 11.6 \text{ mK}$$

g) 恒温槽温场波动度引入的不确定度 $u(t_{1g})$

恒温水槽波动性为 0.04°C ，按均匀分布，则：

$$u(t_{1g}) = \frac{0.04}{2\sqrt{3}} = 11.6 \text{ mK}$$

输入量 t_1 的标准不确定度：

$$u(t_1) = \sqrt{u^2(t_{1a}) + u^2(t_{1b}) + u^2(t_{1c}) + u^2(t_{1d}) + u^2(t_{1e}) + u^2(t_{1f}) + u^2(t_{1g})} = 17.4 \text{ mK}$$

D.5 合成不确定度

D.5.1 合成方差和灵敏系数

$$u_c^2 = [c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2$$

$$c_1 = \partial\Delta/\partial t = 1 \quad c_2 = \partial\Delta/\partial t_1 = -1$$

D.5.2 标准不确定度汇总表

表 D.1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量		灵敏系数	不确定度来源	标准不确定度 mK
$u(t)$	$u(t_a)$	$c_1=1$	测量重复性	21
	$u(t_b)$		显示仪表读数分辨力	29
$u(t_1)$	$u(t_{1a})$	$c_2=-1$	标准铂电阻温度计的传播不确定度	2.0
	$u(t_{1b})$		标准铂电阻温度计稳定性	4.6
	$u(t_{1c})$		标准铂电阻温度计自热效应	2.3
	$u(t_{1d})$		标准铂电阻温度计内插公式	0.6
	$u(t_{1e})$		电测设备	1.7
	$u(t_{1f})$		恒温槽温场不均匀	11.6
	$u(t_{1g})$		恒温槽温场波动度	11.6

D.5.3 合成不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2} = \sqrt{29^2 + 17.4^2} = 33.8 \text{mK}$$

D.6 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则 50°C 时的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 0.1^\circ\text{C}$$

附录 E

数字温度计测量结果不确定度评定示例（三）

E.1 被测对象

数字温度计(传感器为廉金属热电偶)

测量范围：(300~1100) °C，分辨力为 0.1°C

E.2 测量标准器

一等标准热电偶温度计

E.3 数学模型

$$\Delta t = t - t_1$$

式中：

Δt ——数字温度计示值误差，°C；

t ——数字温度计读数平均值，°C；

t_1 ——标准热电偶温度计测得的实际温度，°C

E.4 输入量的标准不确定度（以 400°C 为例）

E.4.1 输入量 t 引入的标准不确定度 $u(t)$

其来源有被校数字温度计测量重复性、显示仪表读数分辨力两部分。

a) 被校数字温度计测量重复性引入的不确定度 $u(t_a)$

在重复性条件下，数字温度计在 400°C 进行 10 次测量，示值误差的测量数据如下：

0.1°C，0.1°C，0.1°C，0.2°C，0.0°C，0.1°C，0.1°C，0.2°C，0.1°C，0.1°C

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = 0.057^\circ\text{C}$$

在实际测量中取 4 次结果的平均值，故

$$u(t_a) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} = \frac{0.057}{\sqrt{4}} = 0.028^\circ\text{C}$$

b) 显示仪表读数分辨力引入的不确定度 $u(t_b)$

数字温度计最小分辨力 0.1°C，按均匀分布，则

$$u(t_b) = 0.05/\sqrt{3} = 0.029^\circ\text{C}$$

由于测量重复性引入的标准不确定度与显示值分辨力引入的标准不确定度属

于同一种效应导致的不确定度，两者相关联，取较大者。

$$u(t) = u(t_b) = 0.029^\circ\text{C}$$

E.4.2 输入量 t_1 引入的标准不确定度 $u(t_1)$

其来源有标准热电偶的不确定度、电测设备测量误差、标准热电偶参考端温差、炉温变化、径向温场不均匀等。

E.4.2.1 标准热电偶引入的标准不确定度 $u(t_{1a})$

标准热电偶在（300~1100） $^\circ\text{C}$ 温度区间内，任意温度点的标准不确定度按以下公式计算：

$$u(t) = \sqrt{\varphi_1^2(t) \times u^2(t_{\text{铜}}) + \varphi_2^2(t) \times u^2(t_{\text{铝}}) + \varphi_3^2(t) \times u^2(t_{\text{锌}}) + u^2(E_r)}$$

式中的系数按照下面公式计算：

$$\varphi_1(t) = \frac{(t - t_{\text{铝}})(t - t_{\text{锌}})}{(t_{\text{铜}} - t_{\text{铝}})(t_{\text{铜}} - t_{\text{锌}})}$$

$$\varphi_2(t) = \frac{(t - t_{\text{铜}})(t - t_{\text{锌}})}{(t_{\text{铝}} - t_{\text{铜}})(t_{\text{铝}} - t_{\text{锌}})}$$

$$\varphi_3(t) = \frac{(t - t_{\text{铜}})(t - t_{\text{铝}})}{(t_{\text{锌}} - t_{\text{铜}})(t_{\text{锌}} - t_{\text{铝}})}$$

$u(E_r) = 1.667$ （标准热电偶年稳定性为 $5\mu\text{V}$ ，按正态分布处理）

式中：

$u(t)$ —某温度点 t 的标准不确定度， μV ；

$\varphi_1(t)$ 、 $\varphi_2(t)$ 、 $\varphi_3(t)$ —某温度点 t 的相应系数；

$u(t_{\text{锌}})$ 、 $u(t_{\text{铝}})$ 、 $u(t_{\text{铜}})$ —锌、铝、铜凝固点的标准不确定度， μV ；

$u(E_r)$ —标准热电偶年稳定性引入的标准不确定度， μV ；

由上式计算并换算成温度可得， 400°C 时： $u(t_{1a}) = 0.28^\circ\text{C}$

E.4.2.2 电测设备测量误差引入的标准不确定度 $u(t_{1b})$

测量标准热电偶使用的电测设备为智能多通道超级测温仪，其测量值的误差按一年内的准确度 $\pm(14 \times 10^{-6}$ 读数 $+ 8 \times 10^{-6}$ 量程) 计算，区间半宽度 a 为 $(14 \times 10^{-6}$ 读数 $+ 8 \times 10^{-6}$ 量程)，按均匀分布处理，测量值近似取检定温度点的分度值，铂铑 10-铂热电偶在 400°C 校准点分度表上的热电动势值为： 3.259mV 。经计算并换算成温度得， 400°C 时： $u(t_{1b}) = 0.05^\circ\text{C}$

E.4.2.3 标准热电偶参考端温差引入的标准不确定度 $u(t_{1c})$

标准热电偶参考端在冰点恒温器内，工作区域温度变化为 $(0 \pm 0.1)^\circ\text{C}$ ，取区间半宽度 a 为 0.1°C ，按均匀分布处理，得： $u(t_{1c}) = 0.1/\sqrt{3} = 0.06^\circ\text{C}$

E.4.2.4 炉温变化引入的标准不确定度 $u(t_{1d})$

校准时，炉温波动不大于 $0.2^\circ\text{C}/\text{min}$ ，取区间半宽度 a 为 0.1°C ，按均匀分布，得： $u(t_{1d}) = 0.1^\circ\text{C}/\sqrt{3} = 0.06^\circ\text{C}$

E.4.2.5 炉温径向温场不均匀引入的标准不确定度 $u(t_{1e})$

校准时，由于炉温径向温场不均匀，经测试最大差值为 0.25°C ，按均匀分布，则标准不确定度为： $u(t_{1e}) = 0.25/\sqrt{3} = 0.14^\circ\text{C}$

输入量 t_1 的标准不确定度：

$$u(t_1) = \sqrt{u^2(t_{1a}) + u^2(t_{1b}) + u^2(t_{1c}) + u^2(t_{1d}) + u^2(t_{1e})} = 0.33^\circ\text{C}$$

E.5 合成不确定度

E.5.1 合成方差和灵敏系数

$$u_c^2 = [c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2$$

$$c_1 = \partial\Delta/\partial t = 1 \quad c_2 = \partial\Delta/\partial t_1 = -1$$

E.5.2 标准不确定度汇总表

表 E.1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量		灵敏系数	不确定度来源	标准不确定度 $^\circ\text{C}$
$u(t)$	$u(t_a)$	$c_1 = 1$	测量重复性	0.028
	$u(t_b)$		显示仪表读数分辨力	0.029
$u(t_1)$	$u(t_{1a})$	$c_2 = -1$	标准热电偶的不确定度	0.28
	$u(t_{1b})$		电测设备测量误差	0.05
	$u(t_{1c})$		标准热电偶参考端温差	0.06
	$u(t_{1d})$		炉温变化	0.06
	$u(t_{1e})$		炉温径向温场不均匀	0.14

E.5.3 合成不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2} = \sqrt{0.029^2 + 0.33^2} = 0.33^\circ\text{C}$$

E.6 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则 400°C 时的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.33^{\circ}\text{C} = 0.7^{\circ}\text{C}$$

