

JJF (皖)

安徽省地方计量技术规范

JJF (皖) 75—2019

工作用数字温度计校准规范

Calibration Specification for The Working Digital Thermometer

2019-01-30 发布

2019-03-15 实施

安徽省市场监督管理局 发布

工作用数字温度计校准规范

Calibration Specification for The

Working Digital Thermometer



JJF (皖) 75-2019

归口单位：安徽省市场监督管理局

主要起草单位：安徽省计量科学研究院

本规范委托安徽省计量科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

胡艳红（安徽省计量科学研究院）

贺晓辉（安徽省计量科学研究院）

吕 吉（安徽省计量科学研究院）

谢 静（安徽省计量科学研究院）

目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 概述.....	1
4 计量特性.....	1
4.1 示值误差.....	1
4.2 稳定性.....	2
4.3 绝缘电阻.....	2
5 校准条件.....	2
6 校准、检查项目及方法.....	4
7 校准结果的表达.....	8
8 复校时间间隔.....	8
附录 A 工作用数字温度计校准原始记录格式.....	9
附录 B 工作用数字温度计校准证书内页格式.....	11
附录 C 工作用数字温度计示值误差测量结果不确定度评定示例（一）.....	12
附录 D 工作用数字温度计示值误差测量结果不确定度评定示例（二）.....	16
附录 E 工作用数字温度计示值误差测量结果不确定度评定示例（三）.....	20

引 言

本规范依据 JJF1071-2010《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依据 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行。

本规范为首次起草。

工作用数字温度计校准规范

1 范围

本规范适用于以热电偶、热电阻为传感器，测量范围为（-80~1100）℃的各种量程的工作用数字温度计的校准。

2 引用文件

JJG 229 《工业铂、铜热电阻检定规程》

JJG 874-2007 《温度指示控制仪检定规程》

JJF 1262 《铠装热电偶校准规范》

JJF 1379-2012 《热敏电阻测温仪校准规范》

JJF 1637 《廉金属热电偶校准规范》

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 概述

工作用数字温度计一般有传感器和显示部分组成。传感器通常为热电偶、热电阻；显示部分以数字方式直接将测量对象的温度值通过数码管或液晶方式显示出来，可以是台式、手持式或与传感器一体化等形式。

4 计量特性

4.1 示值误差

工作用数字温度计示值误差有以下两种表示形式。

4.1.1 直接以被测量值表示见公式（1）：

$$\Delta = \pm K \quad (1)$$

式中：

Δ —— 允许示值误差, °C;

K —— 允许的示值误差限, °C。

4.1.2 以与被测量值有关的量程和量化单位表示见公式 (2) :

$$\Delta = \pm a\%FS \quad (2)$$

式中:

Δ —— 允许示值误差, °C;

a —— 数字温度计准确度等级;

FS —— 数字温度计的量程, °C;

4.2 稳定性

稳定性应符合对被校准测温仪的要求。

4.3 绝缘电阻

需外接交流电源的数字温度计, 用额定直流电压 500V 的兆欧表测量其电源端子短接对地的绝缘电阻应不小于 20M Ω 。

5 校准条件

5.1 环境条件

环境温度 15°C ~ 35°C ; 相对湿度 \leq 85%。

周围除地磁场外, 应无影响其正常工作的外磁场。

5.2 标准器及其他配套设备

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: 选用标准器、电测设备以及配套设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应小于被校准工作用数字温度计允差的 1/5。

表 1 校准用测量标准及其他设备

设备名称	技术要求	用途	备注
标准水银 温度计	MPE: $\pm (0.15 \sim 0.35) ^\circ\text{C}$	测 量 标 准	
标准铂电阻温 度计	准确度等级: 二等		
标准铂铑 10- 铂热电偶	准确度等级: 一等或二等		
恒 温 槽	-80 $^\circ\text{C}$ ~ 室温: 工作区域最大温差 $\leq 0.02^\circ\text{C}$ 波动度 $\leq 0.02^\circ\text{C}/10\text{min}$	提 供 恒 定 温 度 源	根据不同的校准温度范围, 选择与其相对应满足该技术要求恒温设备
	室温 ~ 90 $^\circ\text{C}$: 工作区域最大温差 $\leq 0.01^\circ\text{C}$ 波动度 $\leq 0.01^\circ\text{C}/10\text{min}$		
	90 $^\circ\text{C}$ ~ 300 $^\circ\text{C}$: 工作区域最大温差 $\leq 0.02^\circ\text{C}$ 波动度 $\leq 0.02^\circ\text{C}/10\text{min}$		
恒 温 炉	300 $^\circ\text{C}$ 以上 配备均温块 (包括热管) 的恒温设备, 温度范围满足校准的要求; 被校感温元件插入均温块的深度与孔径之比大于 10:1, 从孔底算起轴向 30mm 内温差不大于 0.5 $^\circ\text{C}$, 孔底部同一截面任意孔间的温差绝对值不大于 0.25 $^\circ\text{C}$ 。		

表 1 (续)

设备名称	技术要求	用途	备注
电测设备	如果用标准铂电阻温度计时, 应配备电阻档 相对误差 $\leq 3 \times 10^{-5}$ 、分辨力不低于 $0.1 \text{ m}\Omega$	用于校准工作用数字 温度计时, 测量标准 铂电阻的电阻值	
	如果用标准热电偶时, 应配备电压档准确度 等级不低于 0.02 级、分辨力不低于 $1 \mu\text{V}$	用于校准工作用数字 温度计时, 测量标准 热电偶的热电势值	
水三相点瓶及 保温装置	_____	核查标准铂电阻温度 计的 R_{tp} 用	
读数装置	放大倍数 5 倍以上, 可调水平	读标准水银温度计示 值	
零度恒温器	MPE: $\pm 0.1^\circ\text{C}$	为参考端提供 0°C 的 恒温场	
兆欧表	直流电压 500V, 10 级	测量仪表的绝缘电阻	

6 校准、检查项目及方法

6.1 校准、检查项目

- a) 校准项目: 示值误差。
- b) 检查项目: 稳定性, 绝缘电阻。

6.2 示值误差的校准方法

6.2.1 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°C (如有 0°C 点); 当量程不超过 50°C 时, 一般每量程不应少于 3 点。也可根据用户要求选择校准点。

6.2.2 示值误差校准方法

6.2.2.1 温度计中低温区的校准

数字温度计的测温范围在 $(-80\sim 300)$ ℃区域内时,通常以 0 ℃为界,高于 0 ℃的量限向上限依次进行校准,小于 0 ℃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,被校传感器插入深度不小于 7.5cm ,并使被校传感器尽可能靠近标准温度计,恒温槽恒定温度偏离校准点不超过 0.2 ℃点,以标准温度计为准。待恒温槽温度稳定后读数,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2次循环读数平均值计算测温仪的示值误差。

6.2.2.2 温度计高温区的校准

数字温度计的测温范围在 $(300\sim 1100)$ ℃区域内时,且温度计的感温单元长度能满足管式炉的要求的,测量误差校准应在管式炉内进行。校准时,将标准热电偶套上保护管,与被校温度计的感温单元用镍铬丝捆扎成一束,捆扎时将被校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。若温度计感温单元长度不满足管式炉的要求的,测量误差校准可以在干式温度炉(或短型管式炉)内进行。标准热电偶参考端应置于冰点器(或零度恒温器)中。标准与被校温度计感温元件插入均温块时,应尽可能靠近。

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 ± 5 ℃以内,温度变化每分钟不超过 0.2 ℃时开始读数,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2次循环读数平均值计算测温仪的示值误差,在每一校准温度点的整个读数过程,温度变化不得大于 0.5 ℃。

6.2.3 示值误差的计算

当标准器为标准水银温度计时,示值误差计算见公式(3):

$$\Delta t = t - (A + X) \quad (3)$$

式中:

Δt —数字温度计示值误差,℃;

t —数字温度计读数平均值, °C;

A —标准水银温度计读数平均值, °C;

X —标准水银温度计修正值, °C。

当标准器为标准铂电阻温度计时, 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, °C;

t —数字温度计读数平均值, °C;

t_1 —标准铂电阻温度计测得的实际温度, °C;

$$t_1 = t_2 + \frac{(R_1 / R_p - W_2)}{dW/dt} \quad (5)$$

t_2 —名义温度, °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 —温度 t_2 时标准铂电阻温度计电阻比的变化率, °C⁻¹

当标准器为标准热电偶时, 示值误差计算见公式 (6) 和公式 (7):

$$\Delta t = t - t_1 \quad (6)$$

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;

$$t_1 = \frac{e_1 - e}{S} + t_2 \quad (7)$$

式中:

e_1 —标准热电偶读数平均值, mV;

e —标准热电偶在温度 t_2 时的标称电势值, mV;

S —标准热电偶在温度为 t_2 时的塞贝克系数;

t_2 —名义温度, °C。

6.3 稳定性检查

稳定性检查仅在用户提出需要时进行。

6.3.1 稳定性检查温度点的选择

稳定性检查一般选择上限温度点, 也可根据用户要求选择温度点。

6.3.2 稳定性试验时间

稳定性试验时间由用户根据需要确定。

6.3.3 稳定性检查方法

6.3.3.1 稳定性试验前示值误差校准

将恒温槽温度控制在测温仪上限温度点或用户选定的温度点, 按 6.2.2 示值误差校准方法对数字温度计进行校准。计算出数字温度计示值误差, 记为 Δt_1 。

6.3.3.2 稳定性检查试验

将温场温度控制在数字温度计上限温度点或用户选定温度点, 将数字温度计插入温场, 温场最大变化不超过 2°C, 时间由用户选定, 试验结束后将数字温度计温度恢复到室温。

再按 6.2.2 示值误差校准方法对数字温度计进行校准。计算出数字温度计示值误差, 记为 Δt_2 。

6.3.4 稳定性计算

数字温度计稳定性计算见公式 (8):

$$t_s = |\Delta t_1 - \Delta t_2| \quad (8)$$

式中:

t_s —数字温度计稳定性, °C;

Δt_1 —数字温度计稳定性检查试验前示值误差值, °C;

Δt_2 —数字温度计稳定性检查试验后示值误差值, °C;

6.4 绝缘电阻的检查

数字温度计处于切断电源状态，电源开关处于接通位置，用电压为 500V 的绝缘电阻表对温度计的电源端子与外壳之间进行试验，试验时给定的 500V 直流电压保持 5s 后读数。

7 校准结果的表达

经校准的数字温度计出具校准证书，证书中应给出以下信息：证书的唯一性标识；送检单位的名称和地址；数字温度计的描述和明确标识。校准依据的技术规范的标识；各校准点的测量误差与测量结果的不确定度，还应包括校准环境的描述以及本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明等信息。

8 复校时间间隔

数字温度计的复校时间可根据具体使用情况由用户确定，建议复校时间间隔最长不超过 1 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: _____ %

标准器名称	型号规格	准确度等级/不确定度 /最大允许误差	出厂编号	有效期至

一: 示值误差

委托单位				
委托方地址				
型号/规格				
测量范围				
准确度等级				
制造单位				
绝缘电阻				
名 义 温 度 /°C	标 准 读 数	1		
		2		
		3		
		4		
平均值				
实际温度/°C				
示值误差 Δt_1 /°C				
测量不确定度/°C				
备注				

注: 校准过程中出现的异常情况及偏离情况说明:

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

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: _____ %

标准器名称	型号规格	准确度等级/不确定度 /最大允许误差	出厂编号	有效期至

二、稳定性

委托单位				
委托方地址				
型号/规格				
测量范围				
准确度等级				
制造单位				
稳定性试验条件 (环境温湿度)				
稳定性试验温度/°C				
稳定性试验时间				
$\Delta t_1 / ^\circ\text{C}$				
名义 温 度 /°C	标 准 读 数	1		
		2		
		3		
		4		
平均值				
实际温度/°C				
示值误差 $\Delta t_2 / ^\circ\text{C}$				
稳定性 $t_1 = \Delta t_1 - \Delta t_2 / ^\circ\text{C}$				
备注				

注: 校准过程中出现的异常情况及偏离情况说明:

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

附录 B

工作用数字温度计校准证书内页格式

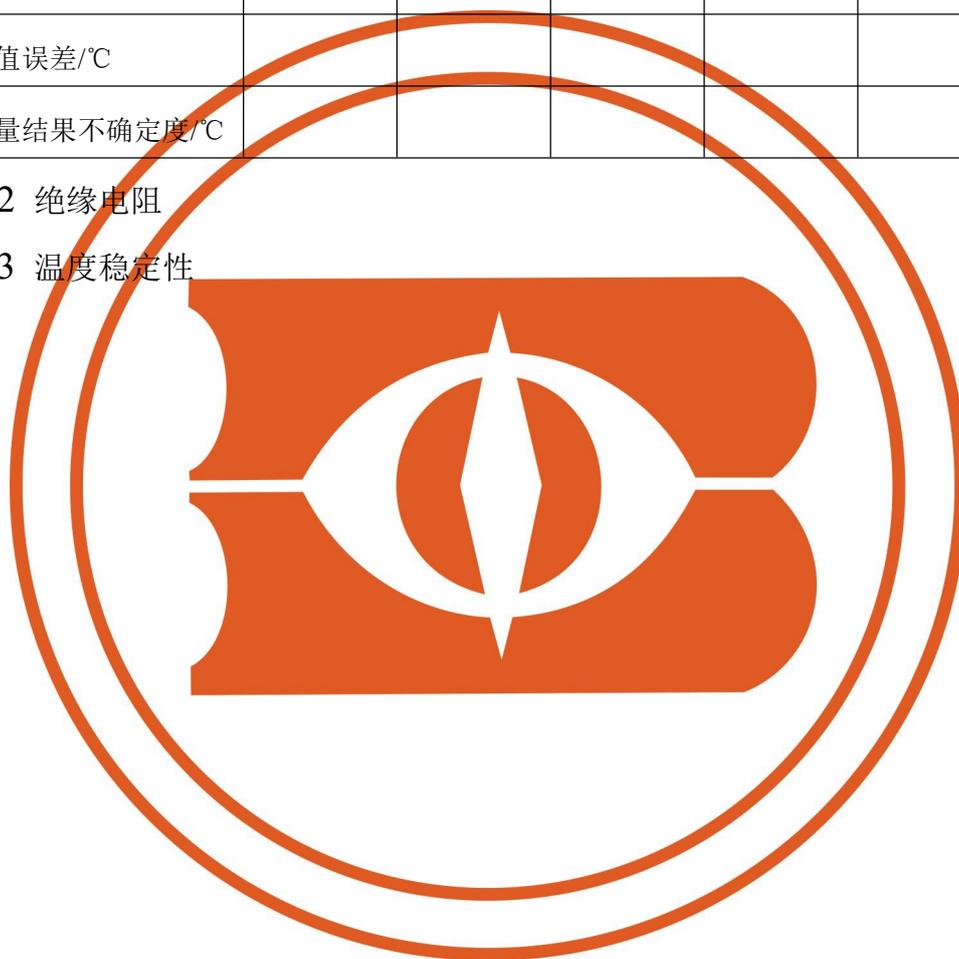
校 准 结 果

B.1 示值误差

校准温度/°C					
示值误差/°C					
测量结果不确定度/°C					

B.2 绝缘电阻

B.3 温度稳定性



附录 C

工作用数字温度计示值误差测量结果不确定度评定示例（一）

1. 被测对象

数字温度计

测量范围：(0~100) °C；分辨力：0.1 °C

2. 测量标准器

标准水银温度计

3. 测量模型

$$\Delta t = t - (A + X)$$

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； A —标准水银温度计读数平均值，°C； X —标准水银温度计修正值，°C。

4. 输入量的标准不确定度（以 100 °C 点为例）

4.1 被校数字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。

4.1.1 被校数字温度计测量示值重复性引入的标准不确定度 $u(t_1)$

在重复性条件下，进行 10 次测量，示值误差的测量数据如下：

+0.1 °C， +0.2 °C， +0.1 °C， +0.1 °C， +0.2 °C，
+0.2 °C， +0.1 °C， 0.1 °C， +0.2 °C， +0.1 °C

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.051 \text{ °C}$$

$$u(t_1) = s(x_i) / \sqrt{n} = 0.026 \text{ °C}$$

4.1.2 显示仪表读数分辨力带来的标准不确定 $u(t_2)$

数字温度计最小分辨力为 0.1°C ，按均匀分布，则

$$u(t_2) = 0.05 / \sqrt{3} = 0.029^{\circ}\text{C}$$

由于重复性包含了人员读数引入的不确定分量，为避免重复计算，值计算最大影响量 $u(t_2)$ 。

输入量 t 的标准不确定度：

$$u(t) = \sqrt{u^2(t_2)} = 0.029^{\circ}\text{C}$$

4.2 标准水银温度计及配套设备引入的标准不确定度 $u(A)$

输入量 A 的标准不确定度 $u(A)$ ，其来源有标准水银温度计的估读，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。

4.2.1 标准水银温度计的估读误差引入的标准不确定度 $u(A_1)$

标准水银温度计的分度值为 0.1°C ，估读至分度值 $1/10$ ，按均匀分布，则

$$u(A_1) = 0.01 / \sqrt{3} = 0.0058^{\circ}\text{C}$$

4.2.2 读数时视线与温度计不垂直引入的标准不确定度 $u(A_2)$

经试验，不垂直视差不确定度 0.01°C ，按反正弦分布，则

$$u(A_2) = 0.01 / \sqrt{2} = 0.0071^{\circ}\text{C}$$

4.2.3 恒温槽温场不均匀引入的标准不确定度 $u(A_3)$

恒温油槽最大温场为 0.02°C ，按均匀分布，则

$$u(A_3) = 0.02 / \sqrt{3} = 0.012^{\circ}\text{C}$$

4.2.4 恒温槽温场波动度引入的标准不确定度 $u(A_4)$

恒温油槽波动性为 0.02°C ，按均匀分布，则： $u(A_4) = 0.01 / \sqrt{3} = 0.006^{\circ}\text{C}$

$$u(A) = \sqrt{u^2(A_1) + u^2(A_2) + u^2(A_3) + u^2(A_4)} = 0.016^{\circ}\text{C}$$

4.3 标准水银温度计修正值引入的标准不确定度 $u(X)$

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

4.3.1 标准水银温度计传递不确定度引入的不确定度 $u(X_1)$

在 100℃, 标准水银温度计的扩展不确定度为 $U=0.04^\circ\text{C}(k=2)$, 则

$$u(X_1) = 0.04^\circ\text{C} / 2 = 0.02^\circ\text{C}$$

4.3.2 标准水银温度计的长期稳定性引入的不确定度 $u(X_2)$

标准水银温度计长期稳定性为 0.06°C , 按均匀分布, 则

$$u(X_2) = 0.06^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.035^\circ\text{C}$$

输入量 X 的标准不确定度:

$$u(X) = \sqrt{u^2(X_1) + u^2(X_2)} = 0.040^\circ\text{C}$$

5. 合成标准不确定度

5.1 合成方差和灵敏系数

$$u_c^2 = [c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(A)]^2 + [c_3 u(X)]^2$$

$$c_1 = \partial\Delta t / \partial t = 1, \quad c_2 = \partial\Delta t / \partial A = -1, \quad c_3 = \partial\Delta t / \partial X = -1$$

5.2 标准不确定度汇总表

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/ $^\circ\text{C}$
$u(t)$	$u(t_1)$	$c_1=1$	测量重复性	0.026
	$u(t_2)$		显示仪表读数分辨力	0.029
$u(A)$	$u(A_1)$	$c_2=-1$	标准水银温度计的估读误差	0.0058
	$u(A_2)$		标准水银温度计读数时视线与温度	0.0071
	$u(A_3)$		恒温槽温场不均匀	0.012
	$u(A_4)$		恒温槽温场波动度	0.006
$u(X)$	$u(X_1)$	$c_3=-1$	标准水银温度计传递不确定度	0.02
	$u(X_2)$		标准水银温度计的长期稳定性	0.035

5.3 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(A)]^2 + [c_3 u(X)]^2} = \sqrt{0.029^2 + 0.016^2 + 0.040^2} = 0.052 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6. 扩展不确定度 U

取 $k=2$, 则 100°C 时的扩展不确定度为: $U = k \times u_c = 2 \times 0.052 \text{ } ^\circ\text{C} = 0.2 \text{ } ^\circ\text{C}$

附录 D

工作用数字温度计示值误差测量结果不确定度评定示例 (二)

1. 被测对象

数字温度计

测量范围: $(-50 \sim 150) ^\circ\text{C}$; 分辨力: $0.01 ^\circ\text{C}$

2. 测量标准器

二等标准铂电阻温度计

电测设备: FLUKE1529

3. 数学模型

$$\Delta t = t - t_1$$

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 —标准铂电阻温度计测得的实际温度, $^\circ\text{C}$

4. 输入量的标准不确定度

选取 $-50 ^\circ\text{C}$ 点作为典型温度点进行分析, 该标准铂电阻在 $-50 ^\circ\text{C}$ 时的相关参数如下: $R_{tp} = 25.5098 \Omega$, $dW/dt = 0.0040498$

4.1 被校数字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。

4.1.1 被校数字温度计测量示值重复性引入的标准不确定度 $u(t_a)$

在重复性条件下, 进行 10 次测量, 示值误差的测量数据如下:

$-0.10 ^\circ\text{C}$, $-0.09 ^\circ\text{C}$, $-0.08 ^\circ\text{C}$, $-0.10 ^\circ\text{C}$, $-0.08 ^\circ\text{C}$,
 $-0.09 ^\circ\text{C}$, $-0.07 ^\circ\text{C}$, $-0.10 ^\circ\text{C}$, $-0.11 ^\circ\text{C}$, $-0.10 ^\circ\text{C}$

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.012 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$u(t_a) = s(x_i) / \sqrt{n} = 0.006 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4.1.2 显示仪表读数分辨力带来的标准不确定度 $u(t_b)$

数字温度计最小分辨力为 0.01°C ，按均匀分布，则

$$u(t_b) = 0.005^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.0029^\circ\text{C}$$

由于重复性包含了人员读数引入的不确定分量，为避免重复计算，值计算最大影响量 $u(t_a)$ ，故：

$$u_1 = \sqrt{u(t_a)^2} = 0.006^\circ\text{C}$$

4.2 标准铂电阻及配套设备引入的标准不确定度 $u(t_1)$

标准铂电阻及配套设备引入的标准不确定度主要有，电测设备测量电阻的误差，标准铂电阻的稳定性带来的不确定度，标准铂电阻的自热效应带来的不确定度、恒温槽的不均匀性、恒温槽的波动度。

4.2.1 标准铂电阻温度计电测设备测量误差引入的标准不确定度 $u(t_{1a})$

标准铂电阻在 -50°C 时的电阻值为 20.3836Ω 电测设备在该电阻处最大允差为 $\pm 0.0010 \Omega$ ，按均匀分布考虑， $u(t_{1a}) = 0.0010 \Omega / \sqrt{3} = 0.0006 \Omega$ ，则：

$$u(t_{1a}) = \frac{0.0006}{25.5098 \times 0.0040498} = 0.006^\circ\text{C}$$

4.2.2 标准铂电阻稳定性引入的标准不确定度 $u(t_{1b})$

$u(t_{1b})$ 按二等标准铂电阻温度计检定规程规定的本周期检定结果与上周期数据的允许变化量换算成温度值不超过 10mK ，按均匀分布则：

$$u(t_{1b}) = 0.010 / \sqrt{3} = 0.006^\circ\text{C}$$

4.2.3 标准铂电阻自热效应引入的标准不确定度 $u(t_{1c})$

一般标准铂电阻的自热效应换算成温度值不超过 4.0mK ，按均匀分布，则

$$u(t_{1c}) = 0.004 / \sqrt{3} = 0.002^\circ\text{C}$$

4.2.4 恒温槽的不均匀性引入的标准不确定度 $u(t_{1d})$

恒温槽工作区域最大温差由规范可知小于等于 0.02°C ，按均匀分布考虑，

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

4.2.5 恒温槽波动性度引入的标准不确定度 $u(t_{1e})$

恒温槽波动度由规范可知小于等于 0.02°C ，按均匀分布考虑，

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

$$u(t_1) = \sqrt{u(t_{1a})^2 + u(t_{1b})^2 + u(t_{1c})^2 + u(t_{1d})^2 + u(t_{1e})^2} = 0.016^{\circ}\text{C}$$

5. 合成标准不确定度

5.1 合成方差和灵敏系数

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

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

5.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度汇总表

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	0.006
	$u(t_b)$		显示仪表读数分辨力	0.0029
$u(t_1)$	$u(t_{1a})$	$c_2 = -1$	标准铂电阻温度计电测设备测量误差	0.006
	$u(t_{1b})$		标准铂电阻稳定性	0.006
	$u(t_{1c})$		标准铂电阻自热效应	0.002
	$u(t_{1d})$		恒温槽的不均匀性	0.012
	$u(t_{1e})$		恒温槽波动性度	0.006

5.3 合成标准不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2} = \sqrt{0.006^2 + 0.016^2} = 0.017 \text{ } ^\circ\text{C}$$

6 扩展不确定度 U

取 $k=2$,则 -50°C 时的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.017 \text{ } ^\circ\text{C} = 0.04 \text{ } ^\circ\text{C}$$

附录 E

工作用数字温度计示值误差测量结果不确定度评定示例 (三)

1. 被测对象

数字温度计

测量范围: (300~1100) °C; 分辨力: 1°C

2. 测量标准器

二等标准热电偶温度计

电测设备: KEITHLEY2000

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

4. 输入量的标准不确定度

选取 1000°C 点作为典型温度点进行分析,

4.1 被校数字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。

4.1.1 被校数字温度计测量示值重复性引入的标准不确定度 $u(t_a)$

在重复性条件下, 进行 10 次测量, 示值误差的测量数据如下:

+1°C, +1°C, +1°C, +1°C, 0°C,

+1°C, +2°C, 1°C, +1°C, +2°C

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.57^\circ\text{C}$$

$$u(t_a) = s(x_i) / \sqrt{n} = 0.29^\circ\text{C}$$

4.1.2 显示仪表读数分辨力带来的标准不确定度 $u(t_b)$

数字温度计最小分辨力为 1°C ，按均匀分布，则

$$u(t_b) = 0.5 / \sqrt{3} = 0.29^\circ\text{C}$$

由于重复性包含了人员读数引入的不确定分量，为避免重复计算，值计算最大影响量 $u(t_a)$ ，故： $u_1 = \sqrt{u(t_a)^2} = 0.29^\circ\text{C}$

4.2 标准热电偶及配套设备引入的标准不确定度 $u(t_1)$

标准热电偶及配套设备引入的标准不确定度主要有，电测设备测量热电偶的误差，标准热电偶的稳定性引入的不确定度，标准热电偶热电势值引入的标准不确定度，标准热电偶的参考端误差引入的不确定度、温场的波动度。

4.2.1 标准热电偶温度计电测设备测量误差引入的标准不确定度 $u(t_{1a})$

标准热电偶在 1000°C 时的热电势值为 9.587mV 电测设备在该点最大允差为 $\pm 0.96 \mu\text{V}$ ，按均匀分布考虑， $u(t_{1a}) = 0.96 / \sqrt{3} = 0.554 \mu\text{V}$ ，换算成温度为：

$$u(t_{1a}) = 0.554 / 11.54 = 0.05^\circ\text{C}$$

4.2.2 标准热电偶稳定性引入的标准不确定度 $u(t_{1b})$

$u(t_{1b})$ 按二等标准热电偶温度计本周期检定结果与上周期数据的允许变化量换算成温度值不超过 $10 \mu\text{V}$ ，按均匀分布则： $u(t_{1b}) = 10 / \sqrt{3} = 5.8 \mu\text{V}$ ，换算成温度为：

$$u(t_{1b}) = 5.8 / 11.54 = 0.5^\circ\text{C}$$

4.2.3 标准热电偶参考端误差引入的标准不确定度 $u(t_{1c})$

由规范可知参考端的温度误差不超过 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ，按均匀分布，则

$$u(t_{1c}) = 0.1 / \sqrt{3} = 0.058^\circ\text{C}$$

4.2.4 标准热电偶证书值引入的标准不确定度 $u(t_{1d})$

由温度量传系统表可知： $u(t_{1d}) = 1.0^\circ\text{C} / 3 = 0.33^\circ\text{C}$

4.2.5 炉温波动引入的标准不确定度 $u(t_{1e})$

炉温波动由规范可知小于等于 0.2°C ，按均匀分布考虑，

$$u(t_{1e}) = 0.2 / \sqrt{3} = 0.12^{\circ}\text{C}$$

$$u(t_1) = \sqrt{u(t_{1a})^2 + u(t_{1b})^2 + u(t_{1c})^2 + u(t_{1d})^2 + u(t_{1e})^2} = 0.62^{\circ}\text{C}$$

5 合成标准不确定度

5.1 合成方差和灵敏系数

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

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

5.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度汇总表

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	0.29
	$u(t_b)$		显示仪表读数分辨力	0.29
$u(t_1)$	$u(t_{1a})$	$c_2=-1$	标准热电偶温度计电测设备测量误差	0.05
	$u(t_{1b})$		标准热电偶稳定性	0.5
	$u(t_{1c})$		标准热电偶参考端误差	0.058
	$u(t_{1d})$		标准热电偶证书值	0.33
	$u(t_{1e})$		炉温波动	0.12

5.3 合成标准不确定度 $u(c)$

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2} = \sqrt{0.29^2 + 0.62^2} = 0.68^{\circ}\text{C}$$

6 扩展不确定度 U

取 $k=2$, 则 1000°C 时的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.68^{\circ}\text{C} = 1.36^{\circ}\text{C}$$

