TB

山 西 省 仪 器 仪 表 学 会 团 体 标 准

T/SXICS XXXX-XXXX

工作用数字温度计校准规范

Calibration Specification for The Working Digital Thermometer

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2023 年 10 月）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX-XX-XX 发布　　XXXX-XX-XX 实施

山 西 省 仪 器 仪 表 学 会 发 布

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　校准项目和校准方法……（5）
7　校准结果的表达……（10）
8　复校时间间隔……（10）
附录 A　工作用数字温度计校准原始记录格式……（11）
附录 B　工作用数字温度计校准证书内页格式……（14）
附录 C　数字温度计测量结果不确定度评定示例（一）……（15）
附录 D　数字温度计测量结果不确定度评定示例（二）……（19）
附录 E　数字温度计测量结果不确定度评定示例（三）……（23）

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（-80～1100）℃的工作用数字温度计（以下简称温度计）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJG 229-2010 《工业铂、铜热电阻检定规程》

JJF 1637-2017 《廉金属热电偶校准规范》

JJF 1262-2010 《铠装热电偶校准规范》

JJF 1664-2017 《温度显示仪校准规范》

JJF 161-2010 《标准水银温度计》

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

温度计一般由温度传感器和显示部分组成。传感器通常为热电偶、 热电阻、热敏电阻；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。

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,以下同)遵循 JB/T8622—1997 和 JB/T8623—1997 标准要求;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/T16839.1—1997 标准要求。

4 计量特性

4.1 示值误差

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：

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

式（1）中：

Δ——最大允许示值误差，℃；

K——允许的示值误差限，℃。

4.1.2　以与被测量值有关的量程和量化单位表示：

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

式（2）中：

Δ——最大允许示值误差，℃；

a ——温度计准确度等级；

FS ——温度计的量程，℃；

4.2　稳定性

稳定性应符合对被校准温度计的要求。

4.3　绝缘电阻

在环境温度为 15℃~35℃、相对湿度为 45%RH~85%RH 的条件下，对于直流供电的温度计可不进行绝缘电阻的测量，对于外界的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 20MΩ。

5　校准条件

5.1　环境条件

温度：（15~35）℃，相对湿度：不大于 85%。

周围除地磁场外，应无影响其正常工作的外磁场。

5.2　标准器及配套设备

标准器及配套设备见表 1。

表 1 校准用标准器及配套设备

设备名称	技术要求	用途	备注
标准水银温度计	MPE:±(0.15～0.35)℃	标准器	/
标准铂电阻温度计	准确度等级：二等 测量范围：-189.3442℃～419.527℃		
标准铂铑 10-铂热电偶	准确度等级：一等或二等 测量范围：（0～1084.62）℃		

续表 1

<table>
<tr><td rowspan="3">恒
温
槽</td><td>-80℃～室温：工作区域最大温差≤0.02℃、波动度≤0.02℃/10min</td><td rowspan="4">提
供
恒
定
的
温
场</td><td rowspan="4">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的恒温设备。</td></tr>
<tr><td>室温～90℃：工作区域最大温差≤0.01℃
波动度≤0.01℃/10min</td></tr>
<tr><td>90℃～300℃：工作区域最大温差≤0.02℃、波动度≤0.02℃/10min</td></tr>
<tr><td>恒
温
炉</td><td>300℃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；检定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℃，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℃；炉体长度约为 300 mm 的短型热电偶检定炉，有效工作区域轴向 30 mm 内任意两点温差绝对值不大于 1℃，从孔底算起轴向 30mm 内，任意两点温差绝对值不大干 1℃，孔底同一截面任意两点的温差绝对值不大于 0.5℃。</td></tr>
<tr><td>电测设备</td><td rowspan="5">如果用标准铂电阻温度计时，
电测设备小分辨力不低于 1mΩ
如果用标准铂铑 10-铂热电偶时
电测设备最小分辨力不低于 0.1μV</td><td rowspan="5">与标准铂电阻配合使用，与标准铂铑 10-铂热电偶配合使用</td><td rowspan="5">/</td></tr>
<tr><td>水三相点瓶及其保温容器</td></tr>
<tr><td>读数装置</td></tr>
<tr><td>零度恒温器</td></tr>
<tr><td>绝缘电阻表</td></tr>
</table>

6 校准项目和校准方法

6.1 稳定性及绝缘电阻检查

稳定性检查仅在用户提出需要时进行。

6.1.1 稳定性检查温度点的选择与稳定性试验时间

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,稳定性试验时间由用户根据需要确定。

6.1.2 稳定性检查方法

6.1.2.1　稳定性试验前示值误差校准

将恒温设备温度控制在温度计上限温度点或用户选定的温度点，按 6.1.2.3 示值误差校准方法对温度计进行校准。计算出温度计示值误差，记为Δt_1。

6.1.2.2　稳定性检查试验

将恒温设备温度控制在温度计上限温度点或用户选定温度点，将温度计插入恒温设备，恒温设备工作区间内在低温区（-80～300）℃内恒温设备偏离校准点不超过 0.2℃(以标准温度计测量为准),恒温设备工作区间内在高温区（300～1100）℃恒温设备偏离校准点不超过 5℃内(以标准铂铑 10-铂热电偶为准)。时间由用户选定，试验结束后将温度计温度恢复到室温。

再按 6.3.2 示值误差校准方法对温度计进行校准。计算出温度计示值误差，记为Δt_2。

6.1.2.3 稳定性计算

温度计稳定性计算见公式（3）：

$$t_w = \left|\Delta t_1 - \Delta t_2\right| \tag{3}$$

式中：

t_w——温度计稳定性，℃；

Δt_1——温度计稳定性检查试验前示值误差值，℃；

Δt_2——温度计稳定性检查试验后示值误差值，℃。

6.1.2.4　绝缘电阻的检查

数字温度计处于切断电源的状态，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，测量时给定 500V 直流电压保持 5s 后读数。

6.2　校准项目

温度计的示值误差。

6.3　校准方法

6.3.1 校准点的选择

校准点的选择：按量程均匀划分不少于 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 点。也可根据用户要求选择校准点。

6.3.2 示值误差校准方法

6.3.2.1 测温范围在(-80～300)℃温度计的校准

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尽可能深,以减少温度计自身漏热对测量结果的影响，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℃，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，整个读数过程槽温变化不超过 0.02℃。

6.3.2.2 测温范围 300℃以上温度计的校准

温度计的测温范围在(300～1100)℃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。对于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，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 次读数平均值计算测温仪的示值误差。

读数过程中，管式炉或干式温度炉温度应恒定，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℃。

6.3.3 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(4)：

$$\Delta t = t - (A + X) \tag{4}$$

式中：

Δt ——温度计示值误差，℃；

t ——温度计读数平均值，℃；

A ——标准水银温度计读数平均值，℃；

X ——标准水银温度计修正值，℃。

当标准器为标准铂电阻温度计时，示值误差计算见公式（5）和（6）：

$$\Delta t = t - t_s \tag{5}$$

式中：

Δt ——温度计示值误差，℃；

t ——温度计读数平均值，℃；

t_s ——标准铂电阻温度计测得的实际温度，℃；

$$\Delta t_s = t_s - t_n = \frac{W_t - W_{tn}}{\left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{tn}} \tag{6}$$

式中：

Δt_s ——标准器实际温度偏差，℃；

t_s ——标准器示值，℃；

t_n ——检定点名义温度，℃；

W_t ——标准铂电阻温度计在温度 t 时的电阻比 $\frac{R_t}{R_{tp}}$，℃；

R_t ——标准铂电阻温度计在温度 t 时的电阻值；

R_{tp} ——标准铂电阻温度计在水三相点温度的电阻值；

$W_{t_n}, \left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{t_n}$ ——由标准铂电阻温度计分度表给出的温度 t_n 对应的电阻比和电阻比变化率；

当标准器为标准热电偶时，示值误差计算见公式（7）和公（8）：

$$\Delta t = t - t_s \tag{7}$$

式中：

Δt——温度计示值误差，℃；

t ——温度计读数平均值，℃；

t_s ——标准热电偶温度计测得的实际温度，℃；

$$e_{被}(t) = \bar{e} + \frac{e_{标证} - \bar{e}_{标}}{S_{标}} \bullet S_{被} + e_{补} \tag{8}$$

$$\Delta e_{被} = e_{被(t)} - e_{分} \tag{9}$$

$$\Delta t_{被} = \frac{\Delta e_{被}}{S_{被}} \tag{10}$$

式中：

$e_{标证}$ ——标准热电偶证书上某校准温度点的热电动势值,mV；

$\bar{e}_{标}$ ——标准热电偶在某校准温度点附近，测得的热电动势算数平均值,mV；

$S_{标}$、$S_{被}$ ——分别表示标准、被校热电偶在某校准温度点的微分热电动势,mV/℃；

$e_{被}(t)$——被校热电偶在某校准温度点的热电动势值,mV；

$\Delta t_{被}$ ——某校准温度点的热电动势偏差除以微分热电动势,℃。

$e_{分}$ ——被校热电偶分度表上查得的某校准温度点的热电动势值,mV,。

7 校准结果

经校准的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。

8 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由被校温度计的使用情况、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。建议温度计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

文件受控编号：　　证书编号：

客户名称			
样品名称		出厂编号	
型号规格		测量范围	
制造单位		不确定度/最大允许误差/准确度等级	
使用位置		管理编号	
校准时间		校准周期	

本次校准所用的依据、环境条件：

校准依据					
温度	℃	湿度	%RH	其他	
校准地点					

本次校准使用的标准器（包括辅助设备）：

名称	型号规格	编号	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差	证书号/有效期	溯源机构

校准员：　　**核验员：**

文件受控编号：　　证书编号：

1．示值误差的校准

校准温度点/℃		标准器	被校温度计
	读数 /℃		
平均值 /℃			
实际温度 t =　　℃		示值误差 Δt /℃	
		测量不确定度 U /℃（k=2）	
	读数 /℃		
平均值 /℃			
实际温度 t =　　℃		示值误差 Δt /℃	
		测量不确定度 U /℃（k=2）	
	读数 /℃		
平均值 /℃			
实际温度 t =　　℃		示值误差 Δt /℃	
		测量不确定度 U /℃（k=2）	
	读数 /℃		
平均值 /℃			
实际温度 t =　　℃		示值误差 Δt /℃	
		测量不确定度 U /℃（k=2）	
	读数 /℃		

平均值 /℃		
实际温度 t = ℃	示值误差 Δt /℃	
	测量不确定度 U /℃（k=2）	
绝缘电阻（MΩ）		
备注		

2．稳定性试验

稳定性试验温度/℃		标准器	被校温度计
	读数/℃		
平均值/℃			
实际温度 t = ℃		稳定性试验前示值误差 Δt_1 /℃	
	读数/℃		
平均值/℃			
实际温度 t = ℃		稳定性试验后示值误差 Δt_2 /℃	
稳定性试验时间（s）			
稳定性 $t_w = \left\|\Delta t_1 - \Delta t_2\right\|$ /℃			
备注			

备注：

校准结果：☐ 所校准项目、校准点依据客户要求选取。

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 温度稳定性

试验前示值误差 Δt_1 /℃	试验后示值误差 Δt_2 /℃	稳定性 t_w /℃

B.2 绝缘电阻

□≥20MΩ

B.3 示值误差

校准温度/℃				
示值误差/℃				
测量结果不确定度 U/℃（k=2）				

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）

C.1 被测对象

数字温度计

测量范围：（-60~50）℃；分辨力：0.1℃

C.2 测量标准器

标准水银温度计

C.3 测量模型

$$\Delta t = t - (A + X) \qquad \text{（C-1）}$$

式（C-1）中：

Δt——温度计示值误差，℃；

t——温度计读数平均值，℃；

A——标准水银温度计读数平均值，℃；

X——标准水银温度计修正值，℃。

C.4 输入量的标准不确定度(以 30℃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$u(t)$，其来源有被校温度计的测量重复性、显示仪表读数分辨力。

a) 被校温度计在 30℃测量示值重复性引入的不确定度$u(t_1)$

在重复性条件下，进行 10 次测量，示值误差的测量数据如下：

+0.5℃、+0.7℃、+0.5℃、+0.5℃、+0.5℃、+0.7℃、+0.5℃、+0.6℃、+0.5℃、+0.5℃

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} = 0.085\ ℃$$

实际测量中，取 4 次测量的平均值作为结果

$$u(t_1)=\frac{s(x_i)}{\sqrt{n}}=\frac{0.057}{\sqrt{4}}=0.043℃$$

b) 显示仪表读数分辨力带来的不确定度$u(t_2)$

数字温度计最小分辨力 0.1℃，按均匀分布，则：

$u(t_2)$=0.05/$\sqrt{3}$=0.029℃

由于测量重复性引入的标准不确定度大于显示值分辨力引入的标准不确定度，所以输入量 t 的标准不确定度：

$$u(t)=u(t_2)=0.043℃$$

C.4.2 标准水银温度计及配套设备引入的不确定度$u(A)$

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$u(A_1)$

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

$$u(\mathrm{A}_1)=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=0.006℃$$

b)读数时视线与温度计不垂直引入的不确定度$u(A_2)$

经试验，不垂直视差不确定度 0.01℃，按反正弦分布，则：

$$u(\mathrm{A}_2)=\frac{0.01}{\sqrt{2}}=0.007℃$$

c)恒温槽温场不均匀引入的不确定度$u(A_3)$

恒温油槽最大温差为 0.02℃，按均匀分布，则：

$$u(\mathrm{A}_3)=\frac{0.02}{\sqrt{3}}=0.012℃$$

d)恒温槽温场波动度引入的不确定度$u(A_4)$

恒温油槽波动性为 0.02℃，按均匀分布，则：

$$u(\mathrm{A}_4)=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=0.006℃$$

输入量 A 的标准不确定度：

$$u(\mathrm{A})=\sqrt{u^2(\mathrm{A}_1)+u^2(\mathrm{A}_2)+u^2(\mathrm{A}_3)+u^2(\mathrm{A}_4)}$$

$$=\sqrt{0.006^2+0.007^2+0.012^2+0.006^2}$$

=0.016℃

C.4.3　标准水银温度计修正值引入的不确定度$u(X)$

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$u(X_1)$。

在 30℃，标准水银温度计的扩展不确定度 U=0.04℃　k=2，则：

$$u(\mathrm{X}_1)=\frac{0.04}{2}=0.020\ ℃$$

b)标准水银温度计的长期稳定性引入的不确定度$u(X_2)$

标准水银温度计的长期稳定性为 0.07℃，则：

$$u(X_2)=\frac{0.07}{\sqrt{3}}=0.040\ ℃$$

输入量 X 的标准不确定度：

$$u(\mathrm{X})=\sqrt{u^2(\mathrm{X}_1)+u^2(\mathrm{X}_2)}=\sqrt{0.020^2+0.040^2}=0.045\ ℃$$

C.5　**合成标准不确定度**

C.5.1　合成方差和灵敏系数

$$u_c^2=[c_1u(t)]^2+[c_2u(A)]^2+[c_2u(X)]^2$$

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

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

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

C.5.2　标准不确定度汇总表

标准不确定度汇总

标准不确定度分量		灵敏系数	不确定度来源	标准不确定度/℃
$u(t)$	$u(t_1)$	$c_1=1$	测量重复性	0.043
	$u(t_2)$		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	0.006
	$u(A_2)$		标准水银温度计读数时视线与温度计不垂直	0.007
	$u(A_3)$		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	0.020
	$u(X_2)$		标准水银温度计的长期稳定性	0.040

C.5.3　合成不确定度u_c

$$u_c=\sqrt{[c_1u(t)]^2+[c_2u(A)]^2+[c_3u(X)]^2}=0.064\ ℃$$

C.6　**扩展不确定度** U

取 k=2，则 200℃时的扩展不确定度为：

$U=k\times u_c$=2×0.064℃=0.2℃

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

$$\Delta t = t - t_1 \tag{D-1}$$

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℃

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

实际测量中，取 4 次测量的平均值作为结果

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

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

$$u(t_b) = 0.1/2\sqrt{3} = 0.029℃ = 29\text{mK}$$

由于测量重复性引入的标准不确定度小于显示值分辨力引入的标准不确定度,则

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

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稳定性引入的不确定度$u(t_{1a})$

$u(t_{1a})$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

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

b）二等标准铂电阻温度计自热效应引入的不确定度$u(t_{1b})$

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

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

c) 电测设备引入的不确定度$u(t_{1c})$

根据标准铂电阻温度计证书计算得在 50℃的阻值为 30.5506Ω。根据数字多用表使用说明书，数字多用表在(10～100)Ω的准确性为(52×10-6×R+9×10-6×100)Ω，假设服从均匀分布，则数字多用表在 50℃引入的标准不确定度用电阻表示为：

$$u_{1\text{c}} = (52\times10^{-6}\times R + 9\times10^{-4})/\sqrt{3} = 1.443\times10^{-3}\,\Omega\,\text{mK}$$

R_{tp}=25.1705Ω，50℃温度点对应的 dWt/dt 为 0.0032802℃-1，换算为温度：

$$u(t_{lc}) = \frac{u(t'_{lc})}{R_{tp}\times(dW_t/d_t)} = \frac{1.443\times10^{-3}}{25.1705\times0.00392802} = 0.0146\ ℃$$

d) 恒温槽温场不均匀引入的不确定度$u(t_{1\text{d}})$

恒温水槽最大温差为 0.01℃，按均匀分布，则：

$$u(t_{1\mathrm{d}})=\frac{0.01}{\sqrt{3}}=0.0058℃=5.8\,\mathrm{mK}$$

e) 恒温槽温场波动度引入的不确定度$u(t_{1\mathrm{e}})$

恒温水槽波动性为 0.01℃，按均匀分布，则：

$$u(t_{1\mathrm{e}})=\frac{0.01}{2\sqrt{3}}=0.0029℃=2.9\,\mathrm{mK}$$

输入量t_1的标准不确定度：

$$u(t_1)=\sqrt{u^2(t_{1a})+u^2(t_{1b})+u^2(t_{1c})+u^2(t_{1d})+u^2(t_{1e})}=8.3\mathrm{mK}$$

D.5 合成不确定度

D.5.1 合成方差和灵敏系数

$$u_c^2=[c_1u(t)]^2+[c_2u(t_1)]^2$$

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

D.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 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
$u(t_1)$	$u(t_{1c})$	$c_2=-1$	二等标准铂电阻温度计稳定性	4.6
	$u(t_{1d})$		二等标准铂电阻温度计自热效应	2.3
	$u(t_{1e})$		电测设备	14.6
	$u(t_{1f})$		恒温槽温场不均匀	5.8
	$u(t_{1g})$		恒温槽温场波动性	2.9

D.5.3 合成不确定度u_c

$$u_c=\sqrt{[c_1u(t)]^2+[c_2u(t_1)]^2}=\sqrt{29^2+16.8^2}=33.5\text{mK}=0.03℃$$

D.6 扩展不确定度U

取 k=2，则 50℃时的扩展不确定度为：

$U=k\times u_c$=2×0.03℃=0.1℃

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）℃，分辨力为 0.1℃

E.2 测量标准器

二等标准热电偶温度计

E.3 数学模型

$$\Delta t = t - t_1 \qquad \text{（E-1）}$$

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—— 标准热电偶温度计测得的实际温度，℃

$$t_1 = \frac{e_1 - e}{S} + t_2 \qquad \text{（E-2）}$$

式中：

e_1——标准热电偶读数平均值，mV；

e —— 标准热电偶证书上在温度 t_2 时的热电动势值，mV；

S——标准热电偶在温度为 t_2 时的微分热电动势，mV /℃；

t_2——名义温度，℃。

E.4 输入量的标准不确定度（以 500℃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 500℃进行 10 次测量，示值误差的测量数据如下：

+0.1℃，0.1℃，+0.1℃，+0.2℃，0.0℃，+0.1℃，+0.1℃，+0.2℃，+0.1℃，+0.1℃

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

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

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

$$u(t_b)=0.05/\sqrt{3}=0.029℃$$

由于测量重复性引入的标准不确定度小于显示值分辨力引入的标准不确定度,则

$$u(t)=u(t_b)=0.029℃$$

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）℃温度区间内，任意温度点的标准不确定度按以下公式计算：

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

式中的系数按照下面公式计算：

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

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

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

$u(E_r)$=1.667（标准热电偶年稳定性为 5μV，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；

$u(t_{锌})$、$u(t_{铝})$、$u(t_{铜})$—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℃时： $u(t_{1a})$=0.28℃

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±（14×10^{-6}读数＋8×10^{-6}量程）计算，区间半宽度 a 为（14×10^{-6}读数＋8×10^{-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℃校准点分度表上的热电动势值为：3.259 mV 。经计算并换算成温度得，400℃时： $u(t_{1b})$=0.05℃

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±0.1）℃，取区间半宽度 a 为 0.1℃，按均匀分布处理，得：$u(t_{1c}) = 0.1/\sqrt{3} = 0.06$℃

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℃/min，取区间半宽度 a 为 0.1℃，按均匀分布，得：$u(t_{1d})$=0.1℃/$\sqrt{3}$=0.06℃

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℃，按均匀分布，则标准不确定度为：$u(t_{1e})$=0.25/$\sqrt{3}$=0.14℃

输入量t_1的标准不确定度：

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

E.5 合成不确定度

E.5.1 合成方差和灵敏系数

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

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

E.5.2 标准不确定度汇总表

标准不确定度汇总

标准不确定度分量		灵敏系数	不确定度来源	标准不确定度℃
$u(t)$	$u(t_a)$	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

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

E.6 扩展不确定度U

取 k=2，则 500℃时的扩展不确定度为：

$U = k \times u_c$=2×0.33℃=0.7℃