



江西省地方计量技术规范

JJF (赣) ××××—××××

数字温度计校准规范

Calibration Specification for Digital Thermometer

(报批稿)

××××—××—××发布

××××—××—××实施

江西省市场监督管理局 发布

数字温度计校准规范

Calibration Specification for
Digital Thermometer

JJF (赣) ×××× - ××××

本规范经江西省市场监督管理局于 年 月 日批准，并自 年 月 日起施行。

归口单位：江西省市场监督管理局

主要起草单位：江西省检验检测认证总院计量科学研究院

参加起草单位：泰安磐然测控科技有限公司

本规范委托江西省检验检测认证总院负责解释

本规范主要起草人：

姚 舜 （江西省检验检测认证总院计量科学研究院）

何 英 （江西省检验检测认证总院计量科学研究院）

洪 玲 （江西省检验检测认证总院计量科学研究院）

涂慧华 （江西省检验检测认证总院计量科学研究院）

参加起草人：

刘 璐 （江西省检验检测认证总院计量科学研究院）

徐震震 （泰安磐然测控科技有限公司）

目 录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
3.1 示值波动性.....	1
3.2 示值稳定性.....	1
3.3 高精密度数字温度计.....	1
4 概述.....	1
5 计量特性.....	2
5.1 示值误差.....	2
5.2 示值波动性.....	2
5.3 示值稳定性.....	2
5.4 绝缘电阻.....	2
6 校准条件.....	2
6.1 环境条件.....	2
6.2 标准器及配套设备.....	3
7 校准、检查项目和校准方法.....	4
7.1 校准、检查项目.....	4
7.2 校准方法.....	4
7.3 数据处理.....	6
8 校准结果表达.....	7
9 复校时间间隔.....	8
附录 A 数字温度计校准原始记录参考格式.....	9
附录 B 数字温度计校准证书（报告）内页参考格式.....	10
附录 C 数字温度计示值误差测量结果的不确定度评定示例（一）.....	11
附录 D 数字温度计示值误差测量结果的不确定度评定示例（二）.....	14

引 言

本规范是以 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF1007-2007《温度计量名词术语及定义》和 JJF1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写的。

本规范为首次发布。

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)℃、传感器为热电阻、热电偶并以数字显示的温度计(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 130—2011 工作用玻璃液体温度计检定规程

JJG 161—2010 标准水银温度计检定规程

JJF 1171—2007 温度巡回检测仪校准规范

JJF 1379—2012 热敏电阻测温仪校准规范

JJF 1637—2017 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。

3 术语

3.1 示值波动性

温度计在相应的时间间隔内,温度显示的波动范围。

3.2 示值稳定性

温度计示值误差的周期变化量。

3.3 高精密度数字温度计

基于接触式测温原理,以数字形式显示温度且显示分辨力优于0.01℃,周期稳定性变化量不大于0.05℃,最大允许误差为±0.05℃的温度计,它可以是一体化的,也可以由若干部件组成。

4 概述

温度计一般由温度传感器、信号处理、信号转换及数值处理、数字温度显示、控制逻辑等几部分组成。其工作原理是通过热电阻、石英晶体等接触式温度传感器将温度量变换为电量,经由电信号处理、信号转换及数值处理,转换为数字温度值,最后由数字显示单元显示温度量值。工作原理如图1所示。

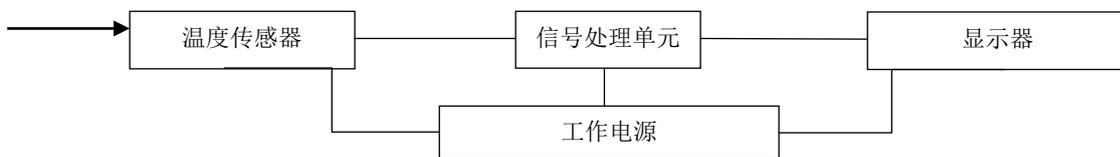


图 1 数字温度计的工作原理图

温度计具有读数直观，测量准确度高等特点，温度计通常还具有示值调整及参数设定等功能。

5 计量特性

5.1 示值误差

5.1.1 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， $^{\circ}\text{C}$ ；

K —允许的示值误差限， $^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 示值波动性

在相应时间间隔内，温度计显示的波动范围一般应不大于其分辨力值。对于分辨力很高 ($b < 0.1a\%FS$) 的温度计，波动量应不大于其 5 个分辨力值。对于高精密度温度计示值波动性应不大于 0.02°C 。

b: 分辨力；**a**: 准确度等级；**FS**: 温度计的量程，即测量范围上、下限之差 ($^{\circ}\text{C}$)。

表 1 示值波动性

准确度等级	温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	示值波动性
普通温度计	$(-80 \sim 400)^{\circ}\text{C}$	≤ 2 个分辨力值
	$(400 \sim 1100)^{\circ}\text{C}$	≤ 5 个分辨力值
高精密度温度计	$(-80 \sim 300)^{\circ}\text{C}$	$\leq 0.02^{\circ}\text{C}$

注：未注明准确度等级或测量范围的温度计，应符合其铭牌或说明书标注的要求。

5.3 示值稳定性

温度计的示值误差的相邻两周期变化量应符合被校温度计的要求。对于测量范围在 $(-80 \sim 300)^{\circ}\text{C}$ 以内、允许误差为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ 、分辨力不低于 0.01°C 的高精密数字温度计需要测量其示值稳定性，即示值误差相邻两周期变化量的绝对值不大于 0.05°C ，首次校准不测稳定性。

注：以上三项技术指标要求不用于合格性判断，仅供参考。

5.4 绝缘电阻

对于交流供电的温度计，在环境温度为温度 $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 85% 的条件下，温度计的电源端子与外壳之间、电源端子与传感器外护管之间的绝缘电阻应不低于 $20\text{m}\Omega$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度： $(20 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ ，温度计需远离热源，以确保其计量特性不受热源影响；

相对湿度：不大于 85%；

当被校仪器对环境条件另有要求时，应满足其规定要求；

供电条件：如被校设备需外接电源，则应符合其说明书上正常工作的要求。

6.2 标准器及配套设备

6.2.1 普通温度计校准所需的标准器及配套设备可以从表 1 中参考选择。高精密度温度计校准所需的标准器及配套设备可以从表 2 中参考选择。选用的原则为：校准时由标准器和配套设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校温度计最大允许误差绝对值的 1/3。

表 2 普通温度计标准器及配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求			用途	备注	
1	标准铂电阻温度计	二等标准及以上			测量标准	也可使用扩展不确定度满足要求的其他测量标准	
2	标准铂铑 10—铂热电偶	二等标准及以上			测量标准		
3	恒温设备	温度范围℃	温度均匀性℃		温度波动性℃/10min	提供恒定的均匀温场	也可使用满足要求的其他恒温设备
			工作区域水平温差℃	工作区域最大温差℃			
		-80~0	0.15	0.30	0.10		
		0~95	0.05	0.10	0.10		
		95~300	0.10	0.20	0.10		
		300~500	0.20	0.40	0.10		
4	热电偶检定炉	300℃以上：配置均温块（包括热管）的恒温设备，温度范围满足校准的要求；热电偶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℃，孔底部同一截面任意孔的温差绝对值不大于 0.25℃。					
5	电测设备	准确度等级不低于 0.02 级，分辨力不低于 1mΩ			测量标准铂电阻温度计的电阻值	也可使用准确度等级和分辨力不低于相关要求的其他电测设备	
		准确度等级不低于 0.02 级，分辨力不低于 1μV			校准热电偶时，用于测量热电势		
6	参考端恒温器	冰点恒温器深度应不小于 200mm，工作区域温度变化为 (0 ± 0.1) ℃			为参考端提供 0℃的恒温场	可用满足要求的其他设备，如冰瓶等	
7	绝缘电阻表	额定电压为 100V 或 500V，10 级			测量绝缘电阻	-	

6.2.2 高精密度温度计校准所需的标准器及配套设备可以从表 3 中参考选择。选用的原则为：校准时由标准器和配套设备引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校温度计最大允许误差绝对值的 1/3。

表 3 高精密度温度计标准器及配套设备

序号	仪器设备名称	技术要求			用途	备注	
1	标准铂电阻温度计	二等标准及以上			测量标准	也可使用扩展不确定度满足要求的其他测量标准	
2	恒温设备	温度范围℃	温度均匀性℃		温度波动性℃/10min	提供恒定的均匀温场	也可使用满足要求的其他恒温设备
			工作区域水平温差℃	工作区域最大温差℃			
		-80~300	0.02	0.02	0.02		
3	电测设备	准确度等级不低于 0.02 级， 分辨力不低于 1mΩ			测量标准铂电阻温度计的电阻值	也可使用准确度等级和分辨力不低于相关要求的其他电测设备	
4	水三相点瓶及其保温容器	/			测量标准铂电阻温度计的水三相点值或者用于 0℃ 点校准	配套设备	
5	绝缘电阻表	额定电压为 100V 或 500V，10 级			测量绝缘电阻	-	

7 校准、检查项目和校准方法

7.1 校准、检查项目

A) 检查项目：外观、绝缘电阻。

B) 校准项目：示值误差、示值波动性、示值稳定性；

表 4 标准器及配套设备

项目	普通温度计	高精密度温度计
示值误差	+	+
示值波动性	+	+
示值稳定性	-	+

注：表中“+”表示应校准，“-”表示可不校准。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前的检查

7.2.1.1 外观检查

温度计结构应完好，铭牌或其它位置上应标明产品名称、型号规格、测量范围、

制造厂名或商标、出厂编号、制造年月等信息，各部件开关、操作键应灵活可靠，传感器的引线接插件应接触良好，并能承受相应的使用温度。

温度计应显示清晰、缺画断码、闪烁等影响读数的缺陷，数字显示不应出现间隔跳动的现象，小数点、温度极性符号和过载的状态显示应正确。

7.2.1.2 绝缘电阻检查

对于交流供电的温度计，断开电源，用绝缘电阻表按照 5.4 的方法进行测量，测量时应稳定 5s 后读数。

7.2.2 示值误差的校准

7.2.2.1 校准前的准备

接通温度计电源，预热 30min 以上或按照产品使用说明书要求。

7.2.2.2 校准温度点的选择

按被校温度计测量范围均匀选择校准点，一般不少于 5 个校准点，包括上限值、下限值和 0℃（如有 0℃），也可根据客户要求选择校准点。

7.2.2.3 校准方法

校准时，一般按照校准点的下限、中间和上限温度点的顺序逐点进行。

a) 温度源为恒温槽（适用于-80℃~300℃温度计的校准）

将标准铂电阻温度计和被校温度计按照规定的深度插入恒温槽内进行比较，恒温槽温度偏离校准点不超过±0.2℃（以标准铂电阻温度计为准），待示值稳定后，读取并记录标准铂电阻温度计和被校温度计的示值，按标准→被校 1→被校 2→…→被校 n 的顺序读数，然后再按相反顺序回到标准，分别读取标准器和被校温度计示值。对于高精密度温度计需进行两个循环的测量。

b) 温度源为热电偶检定炉（适用于 300℃~1100℃温度计的校准）

将标准热电偶套上石英管，与被校数字温度计的感温部分用镍铬丝捆扎在一起，测量端应对齐在一个截面，将测量端置于热电偶检定炉最高均匀温区，炉口用绝缘耐火材料封堵，检定炉温度偏离校准点不超过±5℃（以标准热电偶为准），待炉温稳定后，读取并记录标准热电偶和被校数字温度计的示值，按标准→被校 1→被校 2→…→被校 n 顺序读数，然后再按相反顺序回到标准，分别读取标准器和被校温度计示值。

7.2.3 示值波动性的校准

将温度计的传感器插入温度源中，调整温度源的温度，设定校准点温度，当恒温源温度达到稳定后，在 10min 中内每隔 1min 分别读取标准器和被校温度计的示值，计算温度计的波

动范围，以波动范围的 1/2 作为温度计的波动量。

7.2.4 示值稳定性的校准

温度计本次校准结果的示值误差与上一周期相同校准温度点的示值误差（由证书给出）按下式计算，取最大差值。

7.3 数据处理

7.3.1 示值误差的计算

$$\Delta t = \bar{t} - \bar{t}_0 \quad (2)$$

式中：

Δt — 被校温度计示值误差，℃；

\bar{t} — 被校温度计读数平均值，℃；

\bar{t}_0 — 标准温度计测得的实际温度的平均值，℃。

7.3.1.1 若以标准铂电阻温度计为标准器，则

$$t_0 = t_1 + \frac{W_{t_0} - W_{t_1}}{(dW_t / dt)_{t_1}} \quad (3)$$

式中：

t_1 — 校准点名义温度值，℃；

W_{t_1} — 温度 t_1 时标准铂电阻温度计的电阻比；

$(dW_t / dt)_{t_1}$ — 温度 t_1 时标准铂电阻温度计的电阻比变化率，℃⁻¹；

W_{t_0} — 温度 t_0 时标准铂电阻温度计的电阻比 R_{t_0} / R_{tp} 。

其中：

R_{t_0} — 温度 t_0 时标准铂电阻温度计的电阻值，Ω；

R_{tp} — 标准铂电阻温度计水三相电动的电阻值，Ω；

7.3.1.2 若以标准热电偶为标准器，则

$$\bar{t}_{\text{实}} = t_{\text{标称}} + \frac{(e_{\text{标}} - e_{\text{标证}})}{S_{\text{标}}} \quad (4)$$

式中：

$\bar{t}_{\text{实}}$ — 标准热电偶在检定点附近测得的实际温度平均值，℃；

$t_{\text{标称}}$ — 标称温度值；

$\bar{e}_{\text{标}}$ —标准热电偶在检定点附近，测得的热电动势平均值，mV；

$e_{\text{标证}}$ —标准热电偶证书上在标称温度点 $t_{\text{标称}}$ 的热电动势值，mV；

$S_{\text{标}}$ —标准热电偶在标称温度点 $t_{\text{标称}}$ 的微分热电动势，mV/°C。

7.3.2 示值波动性的计算

$$\Delta t_j = \pm(t_{\text{max}} - t_{\text{min}}) / 2 \quad (5)$$

式中：

Δt_j —示值波动量，°C；

t_{max} —10min 中被校温度计扣除标准器变化的最大值，°C；

t_{min} —10min 中被校温度计扣除标准器变化的最小值，°C；

7.3.3 示值稳定性的计算

$$\Delta_w = |\Delta t_1 - \Delta t_2| \quad (6)$$

式中：

Δ_w —温度计相邻两个校准周期之间示值稳定性，°C；

Δt_1 —温度计上一次校准周期的示值误差，°C；

Δt_2 —温度计本次校准结果的示值误差，°C；

8 校准结果表达

经校准的数字温度计出具校准证书。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) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- h) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- i) 校准环境的描述；
- j) 各校准项目校准结果及测量不确定度的说明；

k) 对校准规范的偏离的说明;

l) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识;

m) 校准结果仅对被校对象有效的声明;

n) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由温度计的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定, 因此, 送校单位可根据实际情况自主决定复校时间间隔。

为确保被校温度计在规定的技术性能下使用, 建议复校时间间隔一般不超过 1 年。

附录 A

数字温度计校准原始记录参考格式

委托单位					记录编号			
委托者地址								
被校样品	器具名称				型号规格			
	制造厂				出厂编号			
标准器	器具名称				不确定度/准确度等级/最大允许误差			
	型号规格/编号				标准器证书号及有效期			
校准依据	JJF (赣) ××××-××××《数字温度计校准规范》							
校准地点			温度	℃	湿度	%RH	其它	
外观:	<input type="checkbox"/> 符合要求			<input type="checkbox"/> 不符合要求		不符合说明:		
校准点/℃	标准温度计示值/℃		被校温度计示值/℃		温度计示值误差/℃			
	1							
	2							
	3							
	4							
	平均值							
不确定度								
示值波动性 (°C/10min)	0min	1min	2min	3min	4min	5min	$t_{max} - t_{min}$	
	6min	7min	8min	9min	10min	示值波动性		
示值稳定性								
校准员				核验员				
校准日期	年 月 日							

附录 B

数字温度计校准证书（报告）内页参考格式

校准点/°C	示值误差/°C	扩展不确定度 ($k=2$) /°C

示值波动性 (°C/10min) :

示值稳定性 (°C) :

附录 C

数字温度计示值误差测量结果的不确定度评定示例(一)

C.1 概述

C.1.1 测量依据: JJF (赣) ××××-×××× 《数字温度计校准规范》。

C.1.2 环境条件: 温度: $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$; 相对湿度不大于 85%。

C.1.3 测量标准: 二等标准铂电阻温度计, 测温范围 $(-189.3442 \sim +419.527)^\circ\text{C}$; 配套设备为恒温槽、测温电桥。

C.1.4 被校对象: 数字温度计, 测量范围为 $(-80 \sim 300)^\circ\text{C}$, 分辨力为 0.1°C , 最大允许误差为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ (说明书给出) 的数字温度计为被校对象。以采用比较法。校准温度点为 100°C 的温度计为例分析其示值误差测量不确定度的评定。

C.2 测量模型

$$x = t_s - t_x \quad (\text{C.1})$$

式中: x — 被校数字温度计修正值;

t_s — 标准铂电阻温度计示值;

t_x — 被校数字温度计示值。

C.3 不确定度传播律

测量模型中的各分量彼此独立不相关, 则:

$$u_c^2(\Delta t) = c_1^2 u^2(t_s) + c_2^2 u^2(t_x) \quad (\text{C.2})$$

式中, 灵敏度系数为 $c_1=1$, $c_2=-1$ 。

C.4 标准不确定度分量的评定

C.4.1 二等标准铂电阻温度计溯源引入的标准不确定度 $u(t_{s1})$

二等标准铂电阻温度计 100°C 是扩展不确定度 $U=0.006^\circ\text{C}$, $k=2$

$$u(t_{s1})=0.006/2=0.003^\circ\text{C}$$

C.4.2 二等标准铂电阻温度计的周期稳定性引入的标准不确定度 $u(t_{s2})$

二等标准铂电阻温度计在检定周期内的稳定性, 100°C 时不超过 0.014°C , 按处理均匀分布处理。则

$$u(t_{s2})=0.014/\sqrt{3} = 0.008^\circ\text{C}$$

C.4.3 电测设备引入的标准不确定度 $u(t_{s3})$, 用 B 类标准不确定度评定

校准分辨力为 0.1°C 的温度计采用超级电阻测温仪作为电测设备，其校准证书给出的扩展不确定度为 $U_{\text{rel}}=5\times 10^{-6}$ ， $k=2$ ，则当校准 100°C 时，由电测设备带来的误差转换成温度的标准不确定度：

$$u(t_{s3})=0.002^{\circ}\text{C}$$

C.4.4 恒温槽温场均匀性引起的不确定度 $u(t_{s4})$

恒温槽在 $(-80\sim 300)^{\circ}\text{C}$ 内温场最大温差为 0.030°C ，均匀分布，

$$\text{则： } u(t_{s4})=0.030/\sqrt{3}=0.017^{\circ}\text{C}$$

C.4.5 恒温槽温度波动引起的不确定度 $u(t_{s5})$

恒温槽在 $(-80\sim 300)^{\circ}\text{C}$ 内温场稳定性 $\pm 0.020^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ ，区间半宽为 0.020°C ，按均匀分布，

$$\text{则： } u(t_{s5})=0.020/\sqrt{3}=0.012^{\circ}\text{C}$$

C.4.6 被校温度计分辨力引入不确定度 $u(t_{x1})$

对于分辨力 0.1°C 的数字温度计，则不确定度区间半宽为 0.05°C ，按均匀分布，

$$u(t_{s6})=0.05/\sqrt{3}=0.029^{\circ}\text{C}$$

C.4.7 温度计的示值读数重复性引入的不确定度 $u(t_{x2})$

在 100°C 时对被校温度计进行 10 次测量，得到测量值 ($^{\circ}\text{C}$) 100.1, 100.2, 100.3, 100.2, 100.2, 100.1, 100.1, 100.2, 100.2, 100.2

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)}$$

实际测量以两次测量值的平均值作为测量结果，故

$$u(t_{x2})=S/\sqrt{n}=0.045^{\circ}\text{C}$$

分辨力引入的不确定度分量小于重复性引入的不确定度分量，由于重复性分量中已包含分辨力对测得值的影响，因此不再考虑分辨力所引入的不确定度分量。

C.5 合成标准不确定度

C.5.1 主要标准不确定度汇总表

用二等标准铂电阻温度校准温度计 (100°C) 合成不确定度见表 C.1。

表 C.1 标准不确定度分量一览表

序号	不确定度来源	分布	标准不确定度 (°C)
1	二等标准铂电阻温度计溯源的不确定度 $u(t_{s1})$	统计	0.003
2	二等标准铂电阻温度计的周期稳定性引入的不确定度 $u(t_{s2})$	均匀	0.008
3	电测设备引入的不确定度 $u(t_{s3})$	均匀	0.002
4	恒温槽温场均匀性引入的不确定度 $u(t_{s4})$	均匀	0.017
5	恒温槽温度波动引起的不确定度 $u(t_{s5})$	均匀	0.012
6	数字温度计的示值读数重复性引入的不确定度 $u(t_{x2})$	统计	0.045
7	合成标准不确定度		0.050

C.5.2 合成标准不确定度

以上各项标准不确定度分量是互不相关的，所以合成标准不确定度为：

$$u_c(y) = 0.050^\circ\text{C}$$

C.6 扩展标准不确定度

$$U = k \times u \quad \text{取 } k=2 \quad U = 0.1^\circ\text{C} \quad (k=2)$$

附录 D

数字温度计示值误差测量结果的不确定度评定示例(二)

D.1 适用范围

以配廉金属热电偶为例,在(300~1100)℃温度范围内对数字温度计的温度示值误差进行不确定度分析。

D.2 测量条件

D.2.1 环境条件:温度(20±5)℃,相对湿度不大于85%。

D.2.2 测量标准和配套设备:测量所使用的测量标准和配套设备如下表所示。

表 D.1 测量标准和配套设备

名称	型号规格	测量范围	扩展不确定度/最大允许误差/准确度等级
标准铂铑 10—铂热电偶	S	(300~1100)℃	一等
智能多通道超级测温仪	ConST685	(0~100)mV	±(14×10 ⁻⁶ 读数+8×10 ⁻⁶ 量程)
热电偶检定炉	KRJ-600	(300~1300)℃	温度梯度≤0.4℃/10mm
零度恒温器	PR540	0℃	孔间温差≤0.1℃

D.3 测量方法

将一等标准铂铑 10—铂热电偶(以下简称标准热电偶)套上保护管,与被校数字温度计的传感器热电偶用细镍铬丝捆扎成一束,其测量端应处于同一径向截面上,然后将热电偶束插入热电偶检定炉炉内。标准热电偶处于炉轴线位置上,热电偶的测量端应处于炉内最高均匀温区,炉口处用绝缘耐火材料封堵。在各校准点上分别读取标准热电偶和被校数字温度计示值,然后分别计算算数平均值,通过比较得出被校数字温度计的测量误差。

D.4 测量模型

校准点测量结果的测量模型:

$$\Delta t_i = \bar{t}_i - \bar{t}_{\text{标}} \quad (\text{D1})$$

式中: Δt_i —在每一校准点上,被校数字温度计的测量误差,℃;

\bar{t}_i —在每一校准点上,被校数字温度计显示值的平均值,℃;

$\bar{t}_{\text{标}}$ —在每一校准点上,标准热电偶通过电测设备获得的测得值的平均值,℃;

D.5 不确定度传播公式

由式(1)可得:

$$u_c^2 = [c_1 u(\bar{t}_i)]^2 + [c_2 u(\bar{t}_{\text{标}})]^2 \quad (\text{D2})$$

式中, 灵敏系数 $c_1=1$, $c_2=-1$ 。

D.6 标准不确定度评定

主要不确定度来源: 测量重复性、标准器、电测设备、参考端、炉温变化、径向温场不均匀、被校巡检仪冷端补偿及冷端温度不一致等影响量。

D.6.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1 , 用 A 类方法进行评定。

用标准热电偶(电测设备为智能多通道超级测温仪)对被校巡检仪在 1100℃ 进行 10 个重复测量数据, 示值误差的测量数据如下:

2.2℃, 1.9℃, 2.2℃, 2.3℃, 2.1℃, 1.9℃, 2.1℃, 2.2℃, 1.9℃, 2.3℃

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)}$$

实际测量以两次测量值的平均值作为测量结果, 故

$$u_1 = S / \sqrt{n} = 0.11^\circ\text{C}$$

智能多通道超级测温仪的分辨力引入的标准不确定度分量与 u_1 相比很小, 只考虑重复性引入的不确定度分量。

D.6.2 标准热电偶引入的标准不确定度 u_2 , 用 B 类方法进行评定。

标准热电偶在 (400~1100)C 温度区间内, 任意温度点的标准不确定度按公式 (3) 计算:

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

公式 (4) 中的系数按照下面公式计算:

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

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

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

$u(E_r) = 1.667$, (标准热电偶年稳定性为 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;

$u(t_{\text{锌}})$ 、 $u(t_{\text{铝}})$ 、 $u(t_{\text{铜}})$ —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： $u_2(400^\circ\text{C})=0.28^\circ\text{C}$ 、 $u_2(600^\circ\text{C})=0.24^\circ\text{C}$ 、 $u_2(800^\circ\text{C})=0.26^\circ\text{C}$ 、 $u_2(1100^\circ\text{C})=0.26^\circ\text{C}$ 。

400℃以下标准不确定度计算采用差值线性化， $u_2(300^\circ\text{C})\approx u_2(400^\circ\text{C})=0.28^\circ\text{C}$ 。

D.6.3 电测设备对标准热电偶引入的标准不确定度 u_3 ，用B类方法进行评定。

测量标准热电偶使用的电测设备是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，铂佬 10-铂热电偶在 300℃、400℃、600℃、800℃、1100℃校准点分度表上的热电动势值分别为：2.323mV、3.259mV、5.239mV、7.345mV、10.757mV。经计算得：

$$u_3(300^\circ\text{C})=0.48\mu\text{V}(\text{相当于 } 0.05^\circ\text{C})$$

$$u_3(400^\circ\text{C})=0.49\mu\text{V}(\text{相当于 } 0.05^\circ\text{C})$$

$$u_3(600^\circ\text{C})=0.51\mu\text{V}(\text{相当于 } 0.05^\circ\text{C})$$

$$u_3(800^\circ\text{C})=0.52\mu\text{V}(\text{相当于 } 0.05^\circ\text{C})$$

$$u_3(1100^\circ\text{C})=0.55\mu\text{V}(\text{相当于 } 0.05^\circ\text{C})$$

D.6.4 标准热电偶参考端温差引入的标准不确定度 u_4 ，用B类方法进行评定

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：

$$u_4=0.1^\circ\text{C}/\sqrt{3}=0.06^\circ\text{C}$$

D.6.5 炉温变化引入的标准不确定度 u_5 ，用B类方法进行评定

校准时，炉温波动不大于 $0.1^\circ\text{C}/\text{min}$ ，取区间半宽度 a 为 0.1°C ，按均匀分布处理，得：

$$u_5=0.1^\circ\text{C}/\sqrt{3}=0.06^\circ\text{C}$$

D.6.6 炉温径向温场不均匀引入的标准不确定度 u_6 ，用B类方法进行评定

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 ，按均匀分布考虑，取半宽为 a 为 0.125°C 。则标准不确定度为：

$$u_6=0.1^\circ\text{C}/\sqrt{3}=0.07^\circ\text{C}$$

D.7 标准不确定度分量汇总表

表 D.2 标准不确定度分量汇总表

不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度/°C	灵敏系数/ c_i	标准不确定度/°C
u_1	测量重复性	0.11	1	0.11
u_2	标准热电偶	0.28	-1	0.28
		0.28		0.28
		0.24		0.24
		0.26		0.26
		0.26		0.26
u_3	电测仪器	0.5	-1	0.05
		0.5		0.05
		0.5		0.05
		0.5		0.05
		0.5		0.05
u_4	参考端温差	0.03	-1	0.06
u_5	炉温变化	0.03	-1	0.06
u_6	温场不均匀	0.07	-1	0.07

D.8 评定结果

D.8.1 合成标准不确定度

由于各输入量之间相互独立, 则合成标准不确定度为:

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 + c_3^2 u_3^2 + c_4^2 u_4^2 + c_5^2 u_5^2 + c_6^2 u_6^2}$$

由此可得:

$$t=300^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.33^\circ\text{C};$$

$$t=400^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.33^\circ\text{C};$$

$$t=600^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.29^\circ\text{C};$$

$$t=800^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.31^\circ\text{C};$$

$$t=1100^\circ\text{C} \text{ 时: } u_c = 0.31^\circ\text{C}。$$

D.8.2 扩展不确定度

$$t=300^\circ\text{C} \text{ 时: } U=0.7^\circ\text{C}, k=2;$$

$$t=400^\circ\text{C} \text{ 时: } U=0.7^\circ\text{C}, k=2;$$

$$t=600^\circ\text{C} \text{ 时: } U=0.6^\circ\text{C}, k=2;$$

$$t=800^\circ\text{C} \text{ 时: } U=0.6^\circ\text{C}, k=2;$$

$$t=1100^\circ\text{C} \text{ 时: } U=0.6^\circ\text{C}, k=2;$$