



天津市地方计量技术规范

JJF (津) 137—2024

数字温度计校准规范

Calibration Specification for Digital Thermometers

2024 - 09 - 27 发布

2024 - 12 - 27 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

数字温度计校准规范

Calibration Specification for Digital
Thermometers

JJF (津) 137—2024

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市滨海新区检验检测中心

参加起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

本规范委托天津市滨海新区检验检测中心负责解释

本规范主要起草人：

王 庆（天津市滨海新区检验检测中心）
李强光（天津市计量监督检测科学研究院）
鲁 娜（天津市滨海新区检验检测中心）
王 喆（天津市计量监督检测科学研究院）
李克伟（天津市滨海新区检验检测中心）
霍文婷（天津市滨海新区检验检测中心）

参加起草人：

王晓丹（天津市计量监督检测科学研究院）
余松林（天津市计量监督检测科学研究院）
武庆宇（天津市滨海新区检验检测中心）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语	(1)
4 概述	(1)
5 计量特性	(1)
6 校准条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准	(2)
7 检查、校准项目和校准方法	(3)
7.1 检查项目	(3)
7.2 校准项目和校准方法	(3)
7.3 数据处理	(4)
8 校准结果表达	(5)
9 复校时间间隔	(5)
附录 A 校准记录格式	(6)
附录 B 校准证书内页参考格式	(7)
附录 C 温度计示值误差不确定评定示例(低温)	(8)
附录 D 温度计示值误差不确定评定示例(中高温)	(11)

引言

本规范参照了国家计量技术规范 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1262—2010《铠装热电偶校准规范》中规定的相关术语定义和编写规则。

本规范系首次发布。

数字温度计校准规范

1 范围

本规范适用于温度测量范围在(-80~1000)℃普通工作用(分辨力低于或等于0.01℃)的数字温度计的校准。

2 引用文件

本规范引用以下文件

JJF 1171—2024 《温湿度巡回检测仪校准规范》

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 术语

3.1 数字温度计 digital thermometer

由温度传感器与显示仪表组成的接触式测温仪器。

3.2 示值误差 indication error

被校数字温度计的示值与实际温度的差值。

[来源: JJF 1171, 4.3]

4 概述

数字温度计(以下简称温度计)是基于接触式测温原理, 以数字形式显示温度量值, 由温度传感器、信号处理单元和数显仪表等组成。其中, 温度传感器主要包括热电阻、热电偶、半导体电阻或其他满足要求的传感器。

温度计工作原理是依靠温度传感器将温度的变化转换成电信号(电压、电阻、电流等)的变化, 电信号经过信号处理单元转换为数字信号, 显示对应的温度值。

温度计的用途为生产或试验过程中温度的显示, 为生产和科研过程提供技术保证。

5 计量特性

5.1 示值误差

示值误差不超过仪器最大允许误差。

5.2 绝缘电阻

在环境温度为(15~25)℃, 相对湿度不大于85%的条件下, 温度计的电源端子、外壳、传感器相互之间的绝缘电阻应不小于20MΩ, 电池供电的温度计不检查此项目。

注1: 以上指标要求不用于合格性判断, 仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件:

温度: $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$; 相对湿度: $\leq 85\%$ 。

电测仪器及测量标准对环境条件另有要求, 应满足其规定要求。

6.2 测量标准

6.2.1 标准器技术要求如表 1 所示。

表 1 标准器技术要求

序号	名称	测量范围	技术要求	用途	备注
1	标准铂电阻温度计	$(-189.3442 \sim 419.527) ^\circ\text{C}$	二等及以上	标准器	也可使用符合要求的其他设备
2	标准铂铑 10-铂热电偶	$(300 \sim 1084.62) ^\circ\text{C}$	二等及以上	标准器	

6.2.2 配套设备技术要求如表 2 所示。

表 2 配套设备技术要求

序号	名称	技术要求				用途	备注	
		测量范围	工作区域水平温差	工作区域最大温差	温度波动度			
1	液体恒温槽	$(-80 \sim 300) ^\circ\text{C}$	$0.02 ^\circ\text{C}$	$0.04 ^\circ\text{C}$	$\pm 0.02 ^\circ\text{C} / 10\text{min}$	标准铂铑 10-铂热电偶参考端提供 $0 ^\circ\text{C}$ 恒温场	也可使用符合要求的其他设备	
2	热电偶检定炉	$(300 \sim 1000) ^\circ\text{C}$	应配置均温块: 有效工作区域轴向 30mm 内, 任意两点温差绝对值 $\leq 0.5 ^\circ\text{C}$; 径向半径 $\geq 14\text{mm}$, 同一截面任意两点的温差绝对值 $\leq 0.25 ^\circ\text{C}$		温度源			
3	冰点恒温器	最大允许偏差: $\pm 0.05 ^\circ\text{C}$						标准铂铑 10-铂热电偶参考端提供 $0 ^\circ\text{C}$ 恒温场
4	电测设备	准确度等级不低于 0.02 级, 分辨力不低于 $1\text{m}\Omega$						测量标准铂电阻温度计的电阻值
		准确度等级不低于 0.02 级, 分辨力不低于 $1\mu\text{V}$						测量标准铂铑 10-铂热电偶的热电动势值
5	兆欧表	额定电压 500V, 10 级						测量绝缘电阻
6	水三相点瓶	$0.01 ^\circ\text{C}$				测量标准铂电阻温度计 R_p	/	

7 检查、校准项目和校准方法

7.1 检查项目

7.1.1 外观检查

温度计组成结构应完整，数显仪表外表无凹陷、裂痕和变形；金属件不应有锈蚀及其他机械损伤。各部位开关、按键操作应灵活可靠。铭牌或其它位置上应标注产品名称、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。传感器的引线接插件应接触良好，传感器所使用的保护管及引线应能承受相应的使用温度。

7.1.2 显示功能检查

接通温度计电源，检查各部位开关，按键操作应灵活、可靠，在规定的状态下应具有相应的功能。温度计通电后显示正常，没有读数的缺陷。具有记录打印功能的温度计，不应有错打、漏打或打印不清的现象。

7.1.3 绝缘电阻检查

将温度计电源开关置于接通状态，使用外部供电的温度计应断开电源，用兆欧表测量短接后的电源端子与仪表外壳之间、电源端子与传感器之间、传感器与仪表外壳之间的绝缘电阻应满足 5.2 的要求。

7.2 校准项目和校准方法

校准项目为示值误差。

7.2.1 校准点的选择及准备工作

校准点一般根据用户需要选择。若未明确指出校准点，根据温度计所配置的温度传感器，包括上下限在内的均匀分布的 5 个点。

根据温度计传感器的测量范围，选择相应的标准器和配套设备。在校准环境条件下，接通温度计电源，使其处于正常工作状态预热 30min 以上。

7.2.2 300℃及以下温度的校准

300℃及以下温度校准在恒温槽中进行，室温以上校准点按照从低温到高温、室温以下校准点按照从高温到低温的顺序，逐点进行校准。封装良好的温度传感器可直接插入恒温槽中，若温度传感器不能直接接触槽内介质，可将其放置在内径与传感器直径相适应的玻璃试管中，再将试管插入到恒温槽中，为消除玻璃试管的空气对流，试管口应用脱脂棉塞紧。标准铂电阻温度计插入深度应大于 200mm，被校温度计传感器的测量端尽可能接近标准器插入深度。当恒温槽实际温度偏离校准点不超过 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，波动度不超过 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ （以标准器示值为准）时，待温度计示值稳定后，开始读数，读数的顺序可

以按照温度计所配传感器的数量，按照以下顺序校准：

标准→被校 1→被校 2→……→被校 n →被校 n →……→被校 2→被校 1→标准。

每个校准点测量 2 次，测量完成后，用水三相点瓶测量标准铂电阻温度计的 R_{tp} 值。

7.2.3 300℃ 以上温度的校准

高温在热电偶检定炉中校准，应按照从低温到高温的顺序逐点进行校准。应将标准铂铑 10-铂热电偶套上石英管，与被校温度计传感器一并插至均温块底部，炉口用绝缘耐火材料封堵，标准铂铑 10-铂热电偶的参考端连接参照 JJF 1262-2010 中 6.2.2.2 的规定。当热电偶检定炉温度偏离校准点不超过 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，温度变化不超过 $0.2^\circ\text{C}/\text{min}$ （以标准铂铑 10-铂热电偶为准）时，待温度计示值稳定后，开始读数。读数的顺序可以按照温度计所配传感器的数量，按照以下顺序校准：

标准→被校 1→被校 2→……→被校 n →被校 n →……→被校 2→被校 1→标准。

每个校准点测量 2 次。

7.3 数据处理

7.3.1 示值误差

取被校温度计读数的平均值与实际温度的差值计算该校准点的示值误差，示值误差 $\Delta t_{\text{示}}$ 按式 (1) 计算：

$$\Delta t_{\text{示}} = \overline{t_{\text{示}}} - t_{\text{标}} \quad (1)$$

式中： $\Delta t_{\text{示}}$ ——温度计的示值误差， $^\circ\text{C}$ ；

$\overline{t_{\text{示}}}$ ——温度计显示值 2 次读数的平均值， $^\circ\text{C}$ ；

$t_{\text{标}}$ ——标准温度计测得的实际温度， $^\circ\text{C}$ 。

7.3.2 以标准铂电阻温度计为标准器，测得电阻值后计算实际温度 $t_{\text{标}}$ 按式 (2) 计算：

$$t_{\text{标}} = \frac{W_t - W_{t_n}}{\left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{t_n}} + t_n \quad (2)$$

式中： $t_{\text{标}}$ ——实际温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_n ——校准点标称温度， $^\circ\text{C}$ ；

W_t ——标准铂电阻温度计温度 t 时的电阻比；

W_{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；

$\left(\frac{dW_t}{dt}\right)_{t_n}$ ——由标准铂电阻温度计分度表给出的温度 t_n 对应电阻比变化率， $^\circ\text{C}^{-1}$ 。

温度 t 时的电阻比，按式 (3) 计算：

$$W_t = \bar{R}_t / R_{tp} \quad (3)$$

式中： W_t ——温度 t 时的电阻比；

\bar{R}_t ——标准铂电阻温度计在温度 t 时的 2 次实测电阻平均值， Ω ；

R_{tp} ——标准铂电阻温度计水三相点电阻值， Ω 。

7.3.3 以标准铂铑 10-铂热电偶为标准器，测得电势值后计算实际温度 $t_{\text{标}}$ 按式 (4) 计算：

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

式中： $\bar{e}_{\text{标}}$ ——标准铂铑 10-铂热电偶证书上在温度 t 时 2 次实测热电势平均值，mV；

$e_{\text{标证}}$ ——标准铂铑 10-铂热电偶证书上在标称温度点 t_n 的热电动势值，mV；

$S_{\text{标}}$ ——标准铂铑 10-铂热电偶在标称温度点 t_n 的微分热电动势，mV/°C。

8 校准结果表达

经校准的温度计出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

- 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；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- l) 对校准规范的偏离的说明；
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- n) 校准人和核验人签名；
- o) 校准结果仅对被校对象有效性的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制校准证书的声明。

9 复校时间间隔

复校间隔可由用户根据实际情况自主决定，一般不超过 1 年，在使用过程中经过修理、更换重要器件等一般需要重新校准。

附录 A

校准记录格式

1 送校信息：

送校单位：	校准地点：
生产单位：	规格型号：
出厂编号：	分度值： ℃

2 校准信息：

校准记录编号：		校准依据：		
外观检查：	环境温度： ℃	环境湿度： %RH	绝缘电阻：	MΩ

3 标准器信息：

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

4 示值误差：

校准点/℃	标准器测得实际电阻值/Ω	标准器测得实际电动电势值/mV	标准器测得实际温度值/℃	标准器测得实际温度平均值/℃	被测示值/℃	被测示值平均值/℃	示值误差/℃	示值误差扩展不确定度 $U/^\circ\text{C}$ ($k=2$)

校准员：

核验员：

校准日期：

附录 B

校准证书内页参考格式

证书编号：XXXX-XXXX

校准结果

- 一、外观检查
- 二、绝缘电阻
- 三、示值误差

校准点/°C	示值误差/°C	$U/°C, k=2$

以下空白

第 X 页共 X 页

附录 C

温度计示值误差不确定度评定示例(低温)

C.1 概述

C.1.1 环境条件：温度：(20±5)℃；湿度：≤85%RH。

C.1.2 测量标准：二等标准铂电阻温度计。测温范围（-189.3442～419.527）℃；配套设备为恒温槽、测温电桥。

C.1.3 被校对象：数字温度计，（-80～300）℃，分辨力 0.1℃，最大允许误差为±0.5℃。以校准温度点 100℃为例进行示值误差测量不确定度的评定。

C.2 测量模型

$$\Delta t_{\text{示}} = \overline{t_{\text{示}}} - t_{\text{标}} \quad (\text{C.1})$$

式中： $\Delta t_{\text{示}}$ ——温度计的示值误差，℃；

$\overline{t_{\text{示}}}$ ——温度计显示值 2 次读数的平均值，℃；

$t_{\text{标}}$ ——标准铂电阻温度计测得的实际温度，℃。

C.3 不确定度传播律

测量模型中各分量彼此独立不相关，则：

$$u_c^2(\Delta t_{\text{示}}) = c_1^2 u^2(\overline{t_{\text{示}}}) + c_2^2 u^2(t_{\text{标}}) \quad (\text{C.2})$$

式中，灵敏系数 $c_1 = 1$ ； $c_2 = -1$ 。

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引入的不确定度分量 $u(t_{\text{标}1})$

根据国家量值传递系统表得知，二等标准铂电阻温度计的不确定度最大值为 20mK，即 0.02℃，按包含因子 $k = 2.58$ 计算，

$$u(t_{\text{标}1}) = 0.02^\circ\text{C} / 2.58 = 0.008^\circ\text{C}。$$

C.4.2 电测设备引入的标准不确定度 $u(t_{\text{标}2})$ ，用 B 类标准不确定度评定。

采用电测设备为 0.02 级，所以

$$\Delta R = \pm (0.02\% \times W_t \times R_{\text{tp}}) \quad (\text{C.3})$$

当温度为 100℃时，计算得到 $\Delta R = \pm 0.0045 \Omega$ ，转换成温度为 $\pm 0.04^\circ\text{C}$ ，按均匀分布考虑，则：

$$u(t_{\text{标}2}) = 0.04^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.023^{\circ}\text{C}。$$

C.4.3 恒温槽温度波动引入的不确定度 $u(t_{\text{标}3})$

恒温槽在 (-80~300) °C 温度波动度 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}/10\text{min}$ ，区间半宽度为 0.02°C ，按均匀分布考虑，则：

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

C.4.4 恒温槽温场均匀性引入的不确定度 $u(t_{\text{标}4})$

恒温槽在 (-80~300) °C 内温场最大温差为 0.04°C ，区间半宽度为 0.02°C ，按均匀分布考虑，则：

$$u(t_{\text{标}4}) = 0.02^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.012^{\circ}\text{C}；$$

$$u(t_{\text{标}}) = \sqrt{u^2(t_{\text{标}1}) + u^2(t_{\text{标}2}) + u^2(t_{\text{标}3}) + u^2(t_{\text{标}4})} = 0.030^{\circ}\text{C}。$$

C.5 被校数字温度计不确定度分量分析

C.5.1 被校数字温度计分辨力引入的不确定度 $u(\overline{t_{\text{示}1}})$

因为被校数字温度计分辨力为 0.1°C ，则其区间半宽度为 0.05°C ，按均匀分布考虑，则：

$$u(\overline{t_{\text{示}1}}) = 0.05^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.029^{\circ}\text{C}。$$

C.5.2 被校数字温度计的校准结果重复性引入的不确定度 $u(\overline{t_{\text{示}2}})$

在 100°C 时对被校数字温度计进行 10 次测量，得到数值如表 C.1 所示：

表 C.1 示值误差

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值误差/ $^{\circ}\text{C}$	+0.2	+0.2	+0.1	+0.1	+0.2	+0.2	+0.1	+0.2	+0.1	+0.2

重复性用实验标准偏差 $s(x)$ 表示，公式如下：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{C.4})$$

按照本校准规范要求，确定温度示值误差时，在每一校准点，做两次测量，取其平均值作为测量结果。因此由校准结果测量重复性引入的标准不确定度为：

$$s(x) = 0.063^{\circ}\text{C}， \quad u(\overline{t_{\text{示}2}}) = s(x) / \sqrt{2} = 0.045^{\circ}\text{C}。$$

C.5.3 被校数字温度计引入的不确定度 $u(\overline{t_{示}})$

考虑到计算重复性引入的不确定度分量时包含分辨力对测得值的影响，且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，因此，最终以重复性引入的不确定度分量作为被校数字温度计不确定度，即：

$$u(\overline{t_{示}}) = 0.045^{\circ}\text{C}。$$

C.6 合成标准不确定度

C.6.1 用二等标准铂电阻温度计校准数字温度计（100℃）合成不确定度见表 C.2。

表 C.2 不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度（℃）
$u(t_{标1})$	二等标准铂电阻温度计引入的不确定度	0.008
$u(t_{标2})$	电测设备引入的标准不确定度	0.023
$u(t_{标3})$	恒温槽温度波动引入的不确定度	0.012
$u(t_{标4})$	恒温槽温场均匀性引入的不确定度	0.012
$u(\overline{t_{示}})$	被校数字温度计引入的不确定度	0.045

因为以上分量均独立不相关，所以合成不确定度为：

$$u_c(\Delta t_{示}) = \sqrt{c_1^2 u^2(\overline{t_{示}}) + c_2^2 u^2(t_{标})} = 0.05^{\circ}\text{C}；$$

则校准数字温度计在 100℃ 点时测量不确定度为：

$$U = 2 \times 0.05 = 0.1^{\circ}\text{C}，k = 2。$$

其它温度点可参照以上方法评定测量不确定度。

附录 D

温度计示值误差不确定度评定示例（中高温）

D.1 概述

D.1.1 环境条件：温度：(20±5)℃；湿度：≤85%RH。

D.1.2 测量标准：一等标准铂铑 10-铂热电偶。测温范围（300~1084.62）℃；配套设备为热电偶检定炉、智能多通道超级测温仪。

D.1.3 被校对象：数字温度计，（420~1000）℃，分辨力 1℃，最大允许误差为±5℃。以校准温度点 600℃为例进行示值误差测量不确定度的评定。

D.2 测量模型

$$\Delta t_{\text{示}} = \overline{t_{\text{示}}} - t_{\text{标}} \quad (\text{D.1})$$

式中： $\Delta t_{\text{示}}$ ——温度计的示值误差，℃；

$\overline{t_{\text{示}}}$ ——温度计显示值 2 次读数的平均值，℃；

$t_{\text{标}}$ ——标准铂铑 10-铂热电偶测得的实际温度，℃。

D.3 不确定度传播律

测量模型中各分量彼此独立不相关，则：

$$u_c^2(\Delta t_{\text{示}}) = c_1^2 u^2(\overline{t_{\text{示}}}) + c_2^2 u^2(t_{\text{标}}) \quad (\text{D.2})$$

式中，灵敏系数 $c_1 = 1$ ； $c_2 = -1$ 。

D.4 标准不确定度分量的评定

D.4.1 一等标准铂铑 10-铂热电偶引入的不确定度分量 $u(t_{\text{标}1})$

一等标准铂铑 10-铂热电偶在（400~1100）℃温度区间内，任意温度点的标准不确定度按下式计算：

$$u(t_{\text{标}1}) = \sqrt{\varphi_1^2(t) \times u^2(t_{\text{铜}}) + \varphi_2^2(t) \times u^2(t_{\text{铝}}) + \varphi_3^2(t) \times u^2(t_{\text{锌}}) + u^2(E_r)} \quad (\text{D.3})$$

上式中的系数按照下面公式计算：

$$\varphi_1(t) = \frac{(t - t_{\text{铝}})(t - t_{\text{锌}})}{(t_{\text{铜}} - t_{\text{铝}})(t_{\text{铜}} - t_{\text{锌}})} \quad (\text{D.4})$$

$$\varphi_2(t) = \frac{(t - t_{\text{铜}})(t - t_{\text{锌}})}{(t_{\text{铝}} - t_{\text{铜}})(t_{\text{铝}} - t_{\text{锌}})} \quad (\text{D.5})$$

$$\varphi_3(t) = \frac{(t - t_{\text{铜}})(t - t_{\text{铝}})}{(t_{\text{锌}} - t_{\text{铜}})(t_{\text{锌}} - t_{\text{铝}})} \quad (\text{D.6})$$

$u(E_r) = 1.667$ (标准铂铑 10-铂热电偶年稳定性为 $5 \mu\text{V}$, 按正态分布处理)

式中:

$u(t_{\text{标1}})$ —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 ;

$u(E_r)$ —标准铂铑 10-铂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, 在 600°C 时, $u(t_{\text{标1}}) = 0.24^\circ\text{C}$ 。

D.4.2 电测设备引入的标准不确定度 $u(t_{\text{标2}})$, 用 B 类标准不确定度评定。

测量标准铂铑 10-铂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 $\pm (14 \times 10^{-6} \times \text{读数} + 8 \times 10^{-6} \times \text{量程})$ 计算, 区间半宽度 a 为 $(14 \times 10^{-6} \times \text{读数} + 8 \times 10^{-6} \times \text{量程})$, 按均匀分布处理, 测量值近似取温度点的分度值, 标准铂铑 10-铂热电偶在 600°C 校准点分度表上的热电动势值 $E_{\text{标}}$ 为 5.239mV , 量程为 100mV , 则:

$$a = 14 \times 10^{-6} \times 5.239\text{mV} + 8 \times 10^{-6} \times 100\text{mV} = 0.873\mu\text{V}$$

$$u(t_{\text{标2}}) = \frac{a}{\sqrt{3}} = 0.504\mu\text{V}。$$

由分度表可得, 600°C 时标准铂铑 10-铂热电偶微分热电动势 $S_{\text{标}}$ 为 $10.21 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$, 换算成温度为:

$$u(t_{\text{标2}}) = 0.05^\circ\text{C}。$$

D.4.3 热电偶检定炉波动性引入的不确定度 $u(t_{\text{标3}})$

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 , 按均匀分布考虑, 则

$$u(t_{\text{标3}}) = 0.1^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.06^\circ\text{C}。$$

D.4.4 热电偶检定炉均匀性引入的不确定度 $u(t_{\text{标4}})$

热电偶检定炉在 $(420 \sim 1000)^\circ\text{C}$ 温度温差绝对值不大于 0.5°C , 区间半宽度为 0.25°C , 按均匀分布考虑, 则:

$$u(t_{\text{标4}}) = 0.25^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.14^\circ\text{C}。$$

$$u(t_{\text{标}}) = \sqrt{u^2(t_{\text{标}1}) + u^2(t_{\text{标}2}) + u^2(t_{\text{标}3}) + u^2(t_{\text{标}4})} = 0.29^\circ\text{C}。$$

D.5 被校数字温度计不确定度分量分析

D.5.1 被校数字温度计分辨力引入的不确定度 $u(t_{\text{示}1})$

因为被校数字温度计分辨力为 1°C ，则其区间半宽度为 0.5°C ，按均匀分布考虑，则：

$$u(t_{\text{示}1}) = 0.5^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.29^\circ\text{C}。$$

D.5.2 被校数字温度计的校准结果重复性引入的不确定度 $u(t_{\text{示}2})$

在 600°C 时对被校数字温度计进行 10 次测量，得到数值如表 D.1 所示：

表 D.1 示值误差

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
示值误差 / $^\circ\text{C}$	+1	+1	+2	+1	+2	+1	+1	+2	+2	+1

重复性用实验标准偏差 $s(x)$ 表示，公式如下：

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\text{D.7})$$

按照本校准规范要求，确定温度示值误差时，在每一校准点，做两次测量，取其平均值作为测量结果。因此由测量结果测量重复性引入的标准不确定度为：

$$s(x) = 0.52^\circ\text{C}, \quad u(t_{\text{示}2}) = s(x) / \sqrt{2} = 0.37^\circ\text{C}。$$

D.5.3 被校数字温度计引入的不确定度 $u(t_{\text{示}})$

考虑到计算重复性引入的不确定度分量时包含分辨力对测得值的影响，且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，因此，最终以重复性引入的不确定度分量作为被校数字温度计不确定度，即：

$$u(t_{\text{示}}) = 0.37^\circ\text{C}。$$

D.6 合成标准不确定度

D.6.1 用一等标准铂铑 10-铂热电偶校准数字温度计 (600°C) 合成不确定度见表 D.2。

表 D.2 不确定度分量

不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度 (°C)
$u(t_{\text{标}1})$	一等标准铂铑 10-铂热电偶引入的不确定度	0.24
$u(t_{\text{标}2})$	电测设备引入的标准不确定度	0.05
$u(t_{\text{标}3})$	热电偶检定炉波动性引入的不确定度	0.06
$u(t_{\text{标}4})$	热电偶检定炉均匀性引入的不确定度	0.14
$u(\overline{t_{\text{示}}})$	被校温度计引入的不确定度分量	0.37

因为以上分量均独立不相关，所以合成不确定度为：

$$u_c(\Delta t_{\text{示}}) = \sqrt{c_1^2 u^2(\overline{t_{\text{示}}}) + c_2^2 u^2(t_{\text{标}})} = 0.47^\circ\text{C};$$

则校准数字温度计在 100°C 点时测量不确定度为：

$$U = 2 \times 0.47 \approx 1^\circ\text{C}, \quad k = 2。$$

其它温度点可参照以上方法评定测量不确定度。

