



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1379—2012

热敏电阻测温仪校准规范

Calibration Specification of Thermistor Thermometers

2012-12-12 发布

2013-06-12 实施



国家质量监督检验检疫总局 发布

热敏电阻测温仪校准规范

Calibration Specification of Thermistor

Thermometers

JJF 1379—2012

代替 JJG 363—1984

JJG 367—1984

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：河北省计量科学研究所

河北省计量监督检测院

中国船舶重工集团公司第七一八研究所

参加起草单位：新疆中科传感有限责任公司

高碑店市华格电子仪表厂

本规范主要起草人：

康志茹（河北省计量科学研究所）

耿荣勤（河北省计量监督检测院）

靳 辰（中国船舶重工集团公司第七一八研究所）

参加起草人：

陈 素（河北省计量监督检测院）

郭 强（河北省计量科学研究所）

王大为（新疆中科传感有限责任公司）

高庆中（高碑店市华格电子仪表厂）

目 录

引言	(Ⅲ)
1 范围	(1)
2 概述	(1)
3 计量特性	(1)
3.1 绝缘电阻	(1)
3.2 示值误差	(1)
3.3 稳定性	(2)
4 校准条件	(2)
4.1 环境条件	(2)
4.2 标准器及其他配套设备	(2)
5 校准、检查项目及方法	(2)
5.1 校准、检查项目	(2)
5.2 校准、检查方法	(3)
6 校准结果表达	(4)
7 复校时间间隔	(4)
附录 A 热敏电阻测温仪校准记录格式	(5)
附录 B 热敏电阻测温仪校准证书内页格式	(7)
附录 C 热敏电阻测温仪稳定性检查方法	(8)
附录 D 热敏电阻测温仪示值误差测量结果不确定度评定示例一	(9)
附录 E 热敏电阻测温仪示值误差测量结果不确定度评定示例二	(12)

引 言

依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059—1999《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》，起草编写了《热敏电阻测温仪校准规范》。

本规范代替了 JJG 367—1984《热敏电阻粮温计》和 JJG 363—1984《半导体点温计》。

JJG 367—1984《热敏电阻粮温计》经国家计量局于 1984 年 12 月 13 日批准，1985 年 10 月 1 日施行。JJG 363—1984《半导体点温计》经国家计量局于 1984 年 12 月 7 日批准，1985 年 12 月 1 日起施行。两个规程自施行以来，未进行过修订。

本规范主要技术变化如下：

- 规范涵盖所有精度等级的热敏电阻测温仪的校准；
- 增加了测量结果不确定度评定示例；
- 在附录 C 中引入了稳定性检查方法；
- 删除了传感器允许误差的规定。

热敏电阻测温仪校准规范

1 范围

本规范适用于测量范围为 $(-50\sim+200)^{\circ}\text{C}$ ，传感器为热敏电阻的测温仪(以下简称测温仪)的校准。

2 概述

测温仪由热敏电阻传感器和显示仪表组成。其工作原理是利用热敏电阻的阻值随温度变化而变化的特性进行温度测量的。其特点是响应速度快，感温元件小，在窄温区内测量准确度高。

3 计量特性

3.1 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，测温仪显示仪表各端子之间、传感器引线与其外壳之间的绝缘电阻应不小于表1的要求。

表1 绝缘电阻技术要求

序号	测试点	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

3.2 示值误差

测温仪示值误差有以下两种表示形式。

3.2.1 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， $^{\circ}\text{C}$ 。

3.2.2 以与被测量值有关的量程和量化单位表示见公式(2)：

$$\Delta = \pm (a\% \text{FS} + bd) \quad (2)$$

式中：

Δ ——允许示值误差， $^{\circ}\text{C}$ ；

a ——测温仪准确度等级；

FS——测温仪的量程， $^{\circ}\text{C}$ ；

b ——在数字化过程中产生的量化误差，一般为 1；

d ——输出信息末位 1 个字所表示的值， $^{\circ}\text{C}$ 。

3.3 稳定性

稳定性应符合对被校准测温仪的要求。

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 $< 85\%$ 。

周围除地磁场外，应无影响其正常工作的外磁场。

4.2 标准器及其他配套设备

4.2.1 标准器

根据被校测温仪允许误差的大小，分别选用标准水银温度计和标准铂电阻温度计作为标准器。

4.2.2 配套设备

标准铂电阻温度计配套设备：测温电桥，引用修正值后相对误差绝对值不大于 1×10^{-5} 、四点转换开关（热电势 $\leq 0.4 \mu\text{V}$ ）、恒温槽、水三相点瓶及保温装置。

标准水银温度计配套设备：恒温槽、读数望远镜。

恒温槽技术指标见表 2。

表 2 恒温槽技术指标

设备名称	测温范围	技术指标	备注
制冷恒温槽	$(-60 \sim \text{室温})^{\circ}\text{C}$	最大温差： 0.02°C 波动度： $0.02^{\circ}\text{C}/10 \text{ min}$	根据需要选择其一
		最大温差： 0.01°C 波动度： $0.01^{\circ}\text{C}/10 \text{ min}$	
恒温水槽	$(\text{室温} \sim 95)^{\circ}\text{C}$	最大温差： 0.01°C 波动度： $0.01^{\circ}\text{C}/10 \text{ min}$	
恒温油槽	$(90 \sim 300)^{\circ}\text{C}$	最大温差： 0.02°C 波动度： $0.02^{\circ}\text{C}/10 \text{ min}$	

兆欧表：直流 500 V ，10 级。

也可根据客户要求和被校测温仪允许误差选用其他技术指标不低于上述要求的计量标准器及配套设备。

5 校准、检查项目及方法

5.1 校准、检查项目

校准、检查项目见表 3。

表 3 校准、检查项目

示值误差	+
稳定性	*
绝缘电阻	*
注： 1 “+”表示校准项目，“*”表示检查项目。 2 对于采用电池供电的测温仪，其绝缘电阻不进行检查。	

5.2 校准、检查方法

5.2.1 绝缘电阻的检查

断开测温仪电源，用绝缘电阻表按表 1 规定的部位进行测量，测量时应稳定 5 s 后读数。

5.2.2 示值误差的校准

5.2.2.1 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，包括上限值、下限值和 0 °C 点（如有 0 °C 点）。也可根据用户要求选择校准点。

5.2.2.2 示值误差校准方法

测温仪校准时，通常以 0 °C 为界，高于 0 °C 的量限向上限依次进行校准，小于 0 °C 的量限向下限依次进行校准。

将标准温度计和被校测温仪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 7.5 cm，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 °C，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 次读数平均值计算测温仪的示值误差。

使用标准铂电阻温度计作标准器时，整个校准过程完成后应测量 R_{tp} 。

5.2.2.3 示值误差计算

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 ——测温仪示值误差，°C；

t ——测温仪读数平均值，°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 ——测温仪示值误差，°C；

t ——测温仪读数平均值, °C;

t_1 ——标准铂电阻温度计测得的实际温度, °C。

$$t_1 = t_2 + \frac{(W_1 - W_2)}{dW/dt} \quad (5)$$

式中:

t_2 ——名义温度, °C;

W_1 ——温度 t_1 时标准铂电阻温度计的电阻比 R_1/R_{tp} ;

R_1 ——温度 t_1 时标准铂电阻温度计的电阻值;

R_{tp} ——标准铂电阻温度计水三相点的电阻值;

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。

5.2.3 稳定性的检查

稳定性检查仅在用户提出需要时进行。检查方法参见附录 C。

6 校准结果表达

经校准的测温仪出具校准证书。校准证书应给出:绝缘电阻、示值误差及测量结果不确定度。

7 复校时间间隔

建议测温仪的复校时间间隔 1 年。

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

附录 A

热敏电阻测温仪校准记录格式

环境温度： ℃ 相对湿度： %

标准器名称				委托单位				委托单位			
型号/规格				型号/规格				型号/规格			
编 号				编 号				编 号			
制造厂				制造厂				制造厂			
证书编号				证书编号				证书编号			
校准地点				测温范围				测温范围			
绝缘电阻检查											
名义 温度 ℃	读 数	1									
		2									
		3									
		4									
平均值											
实际温度/℃											
示值误差 Δt_1 /℃											
测量不确定度/℃				$U=$				$U=$			

注：校准过程中出现的异常情况及偏离情况说明：

校准 _____ 核验 _____ 校准日期 _____

热敏电阻测温仪稳定性检查记录格式

一、稳定性检查试验条件

1. 环境温度： ℃ 相对湿度： %
2. 试验温度： ℃ 试验开始时间： 试验结束时间：

二、试验后校准记录

标准器名称			委托单位		委托单位	
型号/规格			型号/规格		型号/规格	
编 号			编 号		编 号	
制造厂			制造厂		制造厂	
证书编号			证书编号		证书编号	
校准地点			测温范围		测温范围	
名义 温度 ℃	读 数	1				
		2				
		3				
		4				
平均值						
实际温度/℃						
示值误差 $\Delta t_2 / ^\circ\text{C}$						
稳定性 $t_s = \Delta t_1 - \Delta t_2 / ^\circ\text{C}$						

校准 _____ 核验 _____ 校准日期 _____

附录 B

热敏电阻测温仪校准证书内页格式

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

热敏电阻测温仪稳定性检查方法

C.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。

C.2 稳定性试验时间

稳定性试验时间由用户根据需要确定。

C.3 检查用试验设备

试验设备:恒温槽或恒温箱。

技术指标:温度均匀度:2℃;

温度波动度:2.0℃/30 min。

C.4 稳定性检查方法

C.4.1 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 5.2.2.2 示值误差校准方法对测温仪进行校准。计算出测温仪示值误差,记为 Δt_1 。

C.4.2 稳定性检查试验

将温场温度控制在测温仪上限温度点或用户选定的温度点,将测温仪传感器插入温场,温场最大变化不超过 2℃,时间由用户选定,试验结束后将测温仪温度恢复到室温。

再按 C.4.1 的校准方法对测温仪进行校准,计算出测温仪示值误差,记为 Δt_2 。

C.4.3 稳定性计算

测温仪稳定性计算见公式(C.1):

$$t_s = |\Delta t_1 - \Delta t_2| \quad (\text{C.1})$$

式中:

t_s ——测温仪稳定性,℃;

Δt_1 ——测温仪稳定性检查试验前示值误差值,℃;

Δt_2 ——测温仪稳定性检查试验后示值误差值,℃。

附录 D

热敏电阻测温仪示值误差测量结果不确定度评定示例一

D.1 被测对象

精密数显热敏电阻温度计。

测量范围:(15~35)℃;分辨力:0.001℃。

D.2 测量标准器

二等标准铂电阻温度计。

D.3 测量模型

$$\Delta t = t - t_1 \quad (\text{D.1})$$

式中:

Δt ——测温仪示值误差,℃;

t ——测温仪读数平均值,℃;

t_1 ——二等标准铂电阻温度计测得的实际温度,℃。

$$t_1 = t_2 + \frac{(W_1 - W_2)}{dW/dt} \quad (\text{D.2})$$

式中:

t_2 ——名义温度,℃;

W_1 ——温度 t_1 时二等标准铂电阻温度计的电阻比 R_1/R_{tp} ;

R_1 ——温度 t_1 时二等标准铂电阻温度计的电阻值;

R_{tp} ——二等标准铂电阻温度计水三相点的电阻值;

W_2 ——温度 t_2 时二等标准铂电阻温度计的电阻比;

dW/dt ——温度 t_2 时二等标准铂电阻温度计电阻比的变化率,℃⁻¹。

D.4 输入量的标准不确定度

D.4.1 输入量 t 引入的标准不确定度 $u(t)$

其来源有被校测温仪测量重复性、显示仪表读数分辨力两部分。

a) 被校测温仪测量重复性引入的不确定度 $u(t_a)$

在重复性条件下,测温仪在 25℃ 进行 10 次测量,示值误差的测量数据如下:

$$\begin{aligned} &+0.001\text{℃}, 0.000\text{℃}, +0.001\text{℃}, +0.001\text{℃}, +0.001\text{℃} \\ &+0.001\text{℃}, +0.001\text{℃}, +0.001\text{℃}, +0.001\text{℃}, +0.001\text{℃} \end{aligned}$$

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} = 0.00032\text{℃}$$

$$u(t_a) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} = \frac{0.00032\text{℃}}{\sqrt{10}} = 0.2\text{mK}, \nu(t_a) = 9$$

b) 显示仪表读数分辨力引入的不确定度 $u(t_b)$

精密数显热敏电阻温度计最小分辨力 0.001℃,按均匀分布,则

$$u(t_b) = 0.0005\text{℃}/\sqrt{3} = 0.0003\text{℃} = 0.3\text{mK}$$

不可靠性为 20%, $\nu(t_b)=12$ 。

输入量 t 的标准不确定度:

$$u(t) = \sqrt{u^2(t_a) + u^2(t_b)} = \sqrt{0.2^2 + 0.3^2} \text{ mK} = 0.4 \text{ mK}$$

$$\nu(t) = \frac{u^4(t)}{u^4(t_a) + u^4(t_b)} = \frac{0.4^4}{0.2^4 + 0.3^4} = 30$$

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 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、测温电桥、恒温槽温场不均匀等。

a) 二等标准铂电阻温度计的不确定度 $u(t_{1a})$

使用的二等标准铂电阻温度计的不确定度为 $0.003 \text{ }^\circ\text{C}$, $k=2$, 则

$$u(t_{1a}) = \frac{0.003 \text{ }^\circ\text{C}}{2} = 1.5 \text{ mK}$$

不可靠性为 10%, $\nu(t_{1a})=50$ 。

b) 二等标准铂电阻温度计的稳定性带来的不确定度 $u(t_{1b})$

$u(t_{1b})$ 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 $W(\text{Ga})$ 换算为温度值不超过 8.0 mK , 则

$$u(t_{1b}) = \frac{8.0 \text{ mK}}{2.83} = 2.8 \text{ mK}$$

不可靠性为 10%, $\nu(t_{1b})=50$ 。

c) 二等标准铂电阻温度计自热效应带来的不确定度 $u(t_{1c})$

本实验用二等标准铂电阻温度计自热效应换算成温度值不超过 2.0 mK , 按均匀分布, 则

$$u(t_{1c}) = \frac{2.0 \text{ mK}}{\sqrt{3}} = 1.2 \text{ mK}$$

不可靠性为 10%, $\nu(t_{1c})=50$ 。

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

铂电阻温度计的非一致性研究结果不大于 1 mK , 按均匀分布, 则

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

不可靠性为 10%, $\nu(t_{1d})=50$ 。

e) 测温电桥带来的不确定度 $u(t_{1e})$

测温电桥引入的不确定度:

$$u(t_{1e}) = 0.02 \text{ mK}$$

不可靠性为 10%, $\nu(t_{1e})=50$ 。

f) 恒温槽温场不均匀带来的不确定度 $u(t_{1f})$

恒温水槽最大温差为 $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$, 按均匀分布, 则

$$u(t_{1f}) = 0.01 \text{ }^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.0058 \text{ }^\circ\text{C} = 5.8 \text{ mK}$$

不可靠性为 10%, $\nu(t_{1f})=50$ 。

输入量 t_1 的标准不确定度:

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

$$= \sqrt{1.5^2 + 2.8^2 + 1.2^2 + 0.6^2 + 0.02^2 + 5.8^2} \text{ mK} = 6.7 \text{ mK}$$

$$\nu(t_1) = \frac{u^4(t_1)}{\frac{u^4(t_{1a})}{\nu(t_{1a})} + \frac{u^4(t_{1b})}{\nu(t_{1b})} + \frac{u^4(t_{1c})}{\nu(t_{1c})} + \frac{u^4(t_{1d})}{\nu(t_{1d})} + \frac{u^4(t_{1e})}{\nu(t_{1e})} + \frac{u^4(t_{1f})}{\nu(t_{1f})}}$$

$$= \frac{6.7^4}{\frac{1.5^4}{50} + \frac{2.8^4}{50} + \frac{1.2^4}{50} + \frac{0.6^4}{50} + \frac{0.02^4}{50} + \frac{5.8^4}{50}} = 86$$

D.5 合成标准不确定度

D.5.1 合成方差和灵敏系数

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

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

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

D.5.2 标准不确定度汇总表(表 D.1)

表 D.1 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 mK	自由度
$u(t)$	$u(t_a)$	$c_1 = 1$	被校热敏电阻测温仪测量重复性	0.2	9
	$u(t_b)$		显示仪表读数分辨率	0.3	12
$u(t_1)$	$u(t_{1a})$	$c_2 = -1$	二等标准铂电阻温度计传播不确定度	1.5	50
	$u(t_{1b})$		二等标准铂电阻温度计稳定性	2.8	50
	$u(t_{1c})$		二等标准铂电阻温度计自热效应	1.2	50
	$u(t_{1d})$		二等标准铂电阻温度计内插公式	0.6	50
	$u(t_{1e})$		测温电桥	0.02	50
	$u(t_{1f})$		恒温槽温场不均匀	5.8	50

D.5.3 合成不确定度 u_c 和自由度 ν_{eff}

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(t_1)]^2} = \sqrt{0.4^2 + 6.7^2} \text{ mK} = 6.7 \text{ mK}$$

$$\nu_{\text{eff}} = \frac{u_c^4}{\frac{u^4(t)}{\nu(t)} + \frac{u^4(t_1)}{\nu(t_1)}} = \frac{6.7^4}{\frac{0.4^4}{30} + \frac{6.7^4}{86}} = 86$$

D.6 扩展不确定度 U

取 $p=95\%$, 按 $\nu_{\text{eff}}=86$ 查 t 分布表得包含因子 $k = t_p(\nu_{\text{eff}}) = 2$, 则热敏电阻测温仪在 25°C 时的扩展不确定度为

$$U_{95} = k \times u_c = 2 \times 6.7 \text{ mK} = 13.4 \text{ mK} = 0.013^\circ\text{C}$$

附录 E

热敏电阻测温仪示值误差测量结果不确定度评定示例二

E.1 被测对象

便携式数字温度计。

测量范围： $(-50 \sim 199.9)^\circ\text{C}$ ；分辨力： 0.1°C 。

E.2 测量标准器

标准水银温度计。

E.3 测量模型

$$\Delta t = t - (A + X) \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δt ——测温仪示值误差， $^\circ\text{C}$ ；

t ——测温仪读数平均值， $^\circ\text{C}$ ；

A ——标准水银温度计读数平均值， $^\circ\text{C}$ ；

X ——标准水银温度计修正值， $^\circ\text{C}$ 。

E.4 输入量的标准不确定度

E.4.1 被校测温仪引入的不确定度 $u(t)$

输入量 t 的标准不确定度 $u(t)$ ，其来源有被校测温仪的测量重复性、显示仪表读数分辨力。

a) 被校测温仪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：

$$\begin{aligned} &+0.4^\circ\text{C}, +0.4^\circ\text{C}, +0.5^\circ\text{C}, +0.5^\circ\text{C}, +0.5^\circ\text{C}, \\ &+0.5^\circ\text{C}, +0.5^\circ\text{C}, +0.5^\circ\text{C}, +0.5^\circ\text{C}, +0.5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

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

$$u(t_1) = \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} = \frac{0.042^\circ\text{C}}{\sqrt{4}} = 0.021^\circ\text{C} = 21.0 \text{ mK}$$

b) 显示仪表读数分辨力带来的不确定度 $u(t_2)$

便携式数字温度计最小分辨力 0.1°C ，按均匀分布，则

$$u(t_2) = 0.05^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.0289^\circ\text{C} = 28.9 \text{ mK}$$

输入量 t 的标准不确定度：

$$u(t) = \sqrt{u^2(t_1) + u^2(t_2)} = \sqrt{21.0^2 + 28.9^2} \text{ mK} = 35.7 \text{ mK}$$

E.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、恒温槽温场不均匀。

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 $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ ，估读至分度值的 $1/10$ ，按均匀分布，则

$$u(A_1) = \frac{0.01\text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0058\text{ }^\circ\text{C} = 5.8\text{ mK}$$

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 $0.01\text{ }^\circ\text{C}$ ，按反正弦分布，则

$$u(A_2) = \frac{0.01\text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{2}} = 0.0071\text{ }^\circ\text{C} = 7.1\text{ mK}$$

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 $0.02\text{ }^\circ\text{C}$ ，按均匀分布，则

$$u(A_3) = \frac{0.02\text{ }^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0115\text{ }^\circ\text{C} = 11.5\text{ mK}$$

输入量 A 的标准不确定度：

$$\begin{aligned} u(A) &= \sqrt{u^2(A_1) + u^2(A_2) + u^2(A_3)} \\ &= \sqrt{5.8^2 + 7.1^2 + 11.5^2}\text{ mK} = 14.7\text{ mK} \end{aligned}$$

E.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 $200\text{ }^\circ\text{C}$ ，标准水银温度计的扩展不确定度为 $0.05\text{ }^\circ\text{C}$ ，服从正态分布， $p=95\%$ ，则

$$u(X_1) = \frac{0.05\text{ }^\circ\text{C}}{1.96} = 0.0255\text{ }^\circ\text{C} = 25.5\text{ mK}$$

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 $0.10\text{ }^\circ\text{C}$ ，则

$$u(X_2) = \frac{0.10\text{ }^\circ\text{C}}{2.83} = 0.0353\text{ }^\circ\text{C} = 35.3\text{ mK}$$

输入量 X 的标准不确定度：

$$u(X) = \sqrt{u^2(X_1) + u^2(X_2)} = \sqrt{25.5^2 + 35.3^2}\text{ mK} = 43.6\text{ mK}$$

E.5 合成标准不确定度

E.5.1 合成方差和灵敏系数

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

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

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

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

E.5.2 标准不确定度汇总表(表 E.1)

表 E.1 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 mK
$u(t)$	$u(t_1)$	$c_1=1$	测温仪测量重复性	21.0
	$u(t_2)$		显示仪表读数分辨率	28.9
$u(A)$	$u(A_1)$	$c_2=-1$	标准水银温度计的估读误差	5.8
	$u(A_2)$		标准水银温度计读数时视线与温度计不垂直	7.1
	$u(A_3)$		恒温槽温场不均匀	11.5
$u(X)$	$u(X_1)$	$c_3=-1$	标准水银温度计传递不确定度	25.5
	$u(X_2)$		标准水银温度计的长期稳定性	35.3

E.5.3 合成不确定度 u_c

$$u_c = \sqrt{[c_1 u(t)]^2 + [c_2 u(A)]^2 + [c_3 u(X)]^2} = \sqrt{35.7^2 + 14.7^2 + 43.6^2} \text{ mK} = 58 \text{ mK}$$

E.6 扩展不确定度 U

取 $k=2$, 则 200 °C 时的扩展不确定度为

$$U = k \times u_c = 2 \times 58 \text{ mK} = 0.12 \text{ °C}$$