

京津冀地方计量技术规范

JJF(津)3003—2018

热量表配对温度传感器校准规范

Calibration Specification for Temperature Sensor Pair of Heat Meters

2018-03-09 发布

2018-04-09 实施

天津市市场和质量监督管理委员会 发布

京津冀地方计量技术规范
热量表配对温度传感器校准规范
JJF(津)3003—2018
天津市市场和质量监督管理委员会发布

*

中国质检出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 29 千字
2018年7月第一版 2018年7月第一次印刷

*

书号: 155026·J-3307 定价 24.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

热量表配对温度传感器校准规范

Calibration Specification for Temperature

Sensor Pair of Heat Meters

JJF(津)3003—2018

归口单位：天津市市场和质量监督管理委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

北京市计量检测科学研究院

河北省计量监督检测研究院

参加起草单位：大连博控科技股份有限公司

本规范委托天津市计量监督检测科学研究院负责解释

本规范主要起草人：

田 昀（天津市计量监督检测科学研究院）

姚 敏（北京市计量检测科学研究院）

卜占成（河北省计量监督检测研究院）

蒋 静（天津市计量监督检测科学研究院）

参加起草人：

丁劲竹（天津市计量监督检测科学研究院）

沈文杰（天津市计量监督检测科学研究院）

曾永春（大连博控科技股份有限公司）

目 录

引言	(Ⅱ)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和计量单位	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
6 通用技术要求	(2)
7 校准条件	(3)
8 校准项目和校准方法	(3)
9 校准结果的表达	(6)
10 复校时间间隔	(6)
附录 A 原始记录格式	(7)
附录 B 校准证书内页参考格式	(9)
附录 C 热电阻校准时的接线方式及引线电缆的要求	(10)
附录 D 标准铂电阻温度计、铂热电阻的电阻值与温度之间的对应关系	(12)
附录 E 温度传感器示值误差的不确定度评定示例	(13)
附录 F 配对温度传感器温差误差的不确定度评定示例	(16)

引　　言

为了确保京津冀地区热量表配对温度传感器的量值溯源的统一、准确、可靠，保证其计量校准有章可循，在充分考虑了技术和经济的合理性前提下，制定本规范。

本规范参照了国家计量技术规范 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》，以及 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》中规定的相关术语、定义和编写规则。

本规范采用了 JJG 225—2001《热能表》、JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻》、GB/T 30121—2013《工业铂热电阻及铂感温元件》、GB/T 32224—2015《热量表》、EN 1434-1：2015《热量表 第1部分：一般要求》(Heat meters Part 1: General requirements)、EN 1434-2：2015《热量表 第2部分：结构要求》(Heat meters Part 2: Constructional requirements)、EN 1434-4：2015《热量表 第4部分：型式批准试验》(Heat meters Part 4: Pattern approval tests)、EN 1434-5：2015《热量表 第5部分：首次检定试验》(Heat meters Part 5: Initial verification tests) 等规范和标准中规定的相关术语、定义和技术内容。

本规范为首次发布。

热量表配对温度传感器校准规范

1 范围

本规范适用于热量表配对温度传感器的温度、温差计量性能参数的校准。其他类似配对温度传感器的校准也可以参照本规范。

2 引用文件

JJG 225—2001 热能表

JJG 229—2010 工业铂、铜热电阻

GB/T 30121—2013 工业铂热电阻及铂感温元件

GB/T 32224—2015 热量表

EN 1434-1: 2015 热量表 第1部分：一般要求 (Heat meters Part 1: General requirements)

EN 1434-2: 2015 热量表 第2部分：结构要求 (Heat meters Part 2: Constructional requirements)

EN 1434-4: 2015 热量表 第4部分：型式批准试验 (Heat meters Part 4: Pattern approval tests)

EN 1434-5: 2015 热量表 第5部分：首次检定试验 (Heat meters Part 5: Initial verification tests)

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（包括所有的修改版）适用于本规范。

3 术语和计量单位

JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、GB/T 32224—2015《热量表》和JJG 229—2010《工业铂、铜热电阻》界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 热量表 heat meter

用于测量及显示水流经热交换系统所释放（供热系统）或吸收（供冷系统）热能量的仪表。[GB/T 32224—2015, 定义 3.1]

3.2 温度传感器 temperature sensor

安装在热交换系统中，用于采集水的温度并发出温度信号的部件。[GB/T 32224—2015, 定义 3.7]

3.3 配对温度传感器 temperature sensor pair

在同一个热量表上，分别用来测量热交换系统的供水和回水温度的一对计量特性一致或相近的温度传感器。[GB/T 32224—2015, 定义 3.8]

3.4 温差 $\Delta\theta$ temperature difference

热交换系统供水和回水的温度差值。[GB/T 32224—2015, 定义 3.10]

3.5 最小温差 $\Delta\theta_{\min}$ minimum temperature difference

温差的下限值，在此温差下，热量表准确度不应超过误差限。[GB/T 32224—2015，定义 3.11⁻]

3.6 最大温差 $\Delta\theta_{\max}$ maximum temperature difference

温差的上限值，在此温差下，热量表准确度不应超过误差限。[GB/T 32224—2015，定义 3.12⁻]

3.7 温度范围上限 θ_{\max} upper limit of the temperature range

流经热量表的载热液体的最高允许温度，热量表在此温度下运行不超过最大允许误差。

3.8 温度范围下限 θ_{\min} lower limit of the temperature range

流经热量表的载热液体的最低允许温度，热量表在此温度下运行不超过最大允许误差。

4 概述

配对温度传感器是热量表重要组成部分，一般为两支计量性能相近的温度传感器，它们分别安装在热力管线的供水管和回水管处，与计算器配合使用可以测量供水与回水之间的温度差。通常多采用两线制 Pt1000 铂热电阻，其他的还有 Pt100 和 Pt500 等类型的铂热电阻。

5 计量特性

5.1 单支温度传感器的示值误差 E_θ ，见表 1。5.2 配对温度传感器温差的误差 $E_{\Delta\theta}$ ，见表 1。

表 1 温度传感器计量特性的要求

参数名称	技术要求
单支温度传感器的示值误差 E_θ	与 IEC 60751：2008 标准值之差不大于 2 ℃
配对温度传感器的温差的最大允许误差	$\pm \left(0.5 + 3 \frac{\Delta\theta_{\min}}{\Delta\theta} \right) \%$

注：

- 1 对计量特性另有要求的配对温度传感器，可按有关技术文件规定的要求进行校准。
- 2 以上指标不用于合格性判断，仅供参考。

6 通用技术要求

6.1 外观

6.1.1 温度传感器各部分装配正确、可靠、无缺陷，外表涂层应牢固，保护套管应完整无缺陷，不得有凹痕、划痕和显著锈蚀。

6.1.2 感温元件不得破裂，不得有明显的弯曲现象。

6.1.3 每支温度传感器应有类型代号、温度范围、准确度等级、安装位置标记、配对标记、制造商名称或商标等。

6.2 绝缘电阻

温度传感器外壳与引线间的绝缘电阻应不小于 $100\text{ M}\Omega$ 。

7 校准条件

7.1 环境条件

7.1.1 环境温度： $15\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.1.2 相对湿度： $25\% \sim 85\%$ 。

7.1.3 大气压力： $80\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$ ；

7.1.4 实验条件应满足电测仪表的说明书要求。

7.2 测量标准及其他设备

校准时所需的测量标准及其他设备可以从表 2 中参考选择，也可使用测量范围满足要求的其他测量设备，其测量不确定度应不大于被测仪器最大允许误差绝对值的 $1/3$ 。

表 2 校准用测量标准及其他设备

序号	测量设备名称	技术要求	用途	备注
1	标准铂电阻温度计	二等	测量温度的标准器	
2	电测设备（电桥或具有电阻值测量功能的数字多用表）	0.005 级及以上等级，测量范围应与标准铂电阻温度计、被测温度传感器范围相适应，分辨力换算成温度后不低于 $0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$	测量温度传感器和标准铂电阻温度计阻值的仪器	
3	恒温槽	温度范围： $(0 \sim 200)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度均匀性：不超过 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ； 温度波动性：不超过 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ min}$	提供恒定温度场	应满足被校铂热电阻和标准温度计温度范围和插入深度的要求
4	绝缘电阻表	测量范围： $0 \sim 500\text{ M}\Omega/500\text{ V}$ 准确度等级不低于 10 级	测量绝缘电阻	

8 校准项目和校准方法

8.1 校准项目

检查及校准项目见表 3。

表 3 检查及校准项目

序号	检查及校准项目
1	外观检查
2	单支温度传感器的示值误差
3	配对温度传感器的温差误差
4	绝缘电阻检查

8.2 校准方法

8.2.1 准备工作

校准前必须先开启电测设备进行预热，预热时间至少 20 min 或者满足电测设备使用说明书要求的时间。按使用说明书的要求使恒温槽处于正常工作状态，并保证工作区域的液面处于规定的位置。标准温度计和被校温度计插入恒温槽内，浸没深度符合要求，稳定时间不小于 15 min。

被校温度传感器在校准中不应带外保护套管。温度传感器为铂热电阻时，其接线方式根据线制不同分为二线制、三线制和四线制，连接方法见附录 C.1，引线电缆的要求见附录 C.2。

8.2.2 外观检查

目测检查配对温度传感器的外观是否符合本规范 6.1 的要求。

8.2.3 校准点的选择

8.2.3.1 校准前，需了解被校配对温度传感器的温差范围、温度范围、引线电阻和实际应用的场合，以便合理的选择校准点。

8.2.3.2 单支温度传感器的示值误差在 $(5 \pm 5)^\circ\text{C}$, $(40 \pm 5)^\circ\text{C}$, $(70 \pm 5)^\circ\text{C}$, $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$, $(130 \pm 5)^\circ\text{C}$, $(160 \pm 10)^\circ\text{C}$ 温度范围内选择 3 个校准点，高温、中温、低温应在工作温度范围内均匀分布。

8.2.3.3 配对温度传感器的温差误差 3 个校准点的选择见表 4。

表 4 配对温度传感器的温差误差校准点

序号	温度下限	校准点的可选范围	
		供热系统	供冷系统
1	$<20^\circ\text{C}$	$\theta_{\min} \sim (\theta_{\min} + 10 \text{ K})$	$(0 \sim 10)^\circ\text{C}$
	$\geq 20^\circ\text{C}$	$(35 \sim 45)^\circ\text{C}$	—
2		$(75 \sim 85)^\circ\text{C}$	$(35 \sim 45)^\circ\text{C}$
3		$(\theta_{\max} - 30 \text{ K}) \sim \theta_{\max}$	$(75 \sim 85)^\circ\text{C}$

注：单支温度传感器示值误差和配对温度传感器的温差误差的校准点也可根据用户的要求，双方协商确定。

8.2.4 单支温度传感器的示值误差

将被校温度传感器和标准温度计放入同一个恒温槽中，按 8.2.3.2 中示值误差校准点的要求控制恒温槽温度。

测量方法：恒温槽温度（以标准温度计为准）偏离校准温度应在±0.2℃以内，待恒温槽达到热平衡后，分别记录标准温度计和被校温度传感器的示值，至少读数两次，取其平均值作为测量结果，测量过程中恒温槽的温度变化应不超过0.01℃。用同样的方法进行其他校准点的测量。

各校准点的示值误差计算按 8.2.7.1 中式（1）计算。

8.2.5 配对温度传感器的温差误差

配对温度传感器的温差误差可按 8.2.5.1 或 8.2.5.2 任一方法进行校准。

8.2.5.1 双恒温槽校准法

将供水、回水温度传感器以及相应的标准温度计分别放入两个不同温度的恒温槽中，按 8.2.3.3 中温差校准的温度点要求分别控制恒温槽温度，按 8.2.4 的测量方法进行校准，读数过程为：标准温度计 1→温度传感器 1→标准温度计 2→温度传感器 2→温度传感器 2→标准温度计 2→温度传感器 1→标准温度计 1，用同样的方法进行其他温差校准点的测量。

8.2.5.2 单恒温槽校准法

将供水、回水温度传感器和一支标准温度计放入同一个恒温槽中，按 8.2.3.3 中温差校准的温度点要求分别将恒温槽的温度控制在供水温度和回水温度，按 8.2.4 的测量方法，分别得到标准温度计、温度传感器 1 和温度传感器 2 的测量结果。用同样的方法进行其他温差校准点的测量。

配对温度传感器各温差校准点的误差按 8.2.7.2 中式（2）计算。

8.2.6 绝缘电阻检查

把温度传感器的引线接到绝缘电阻表的一个接线端，绝缘电阻表的另一接线端与温度传感器的保护套管连接，测量引线与保护套管之间的绝缘电阻，其结果应符合 6.2 的要求。

8.2.7 数据处理

8.2.7.1 单支温度传感器的示值误差

$$E_{\vartheta} = \overline{t_i} - \overline{t_s} \quad (1)$$

式中：

E_{ϑ} ——温度传感器在校准点 ϑ 时的示值误差，℃；

$\overline{t_i}$ ——温度传感器测量的平均值，℃；

$\overline{t_s}$ ——标准温度计测量的平均值，℃。

8.2.7.2 配对温度传感器的温差误差

$$E_{\Delta\vartheta} = \frac{(\overline{t_1} - \overline{t_2}) - (\overline{t_{s1}} - \overline{t_{s2}})}{(\overline{t_{s1}} - \overline{t_{s2}})} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$E_{\Delta\theta}$ 配对温度传感器在温差校准点 $\Delta\theta$ 时温差误差；

$\bar{\tau}_1$, $\bar{\tau}_2$ — 分别为供水温度传感器和回水温度传感器测量的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

$\bar{\tau}_{s1}$, $\bar{\tau}_{s2}$ — 分别为标准温度计供水和回水测量的平均值, $^{\circ}\text{C}$ 。

8.2.7.3 被校准温度传感器为铂热电阻时, 其阻值与温度的关系见附录 D.1, 标准温度计为二等标准铂电阻温度计时, 其阻值与温度的关系见附录 D.2。

9 校准结果的表达

校准证书应给出热量表配对温度传感器的相关信息, 校准结果包括热量表配对温度传感器的外观检查、绝缘电阻、单支温度传感器的示值误差、配对温度传感器的温差误差以及测量结果的不确定度。

原始记录和校准证书格式可以参考附录 A 和附录 B。

10 复校时间间隔

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决定的, 因此用户可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校时间间隔最长不超过 1 年, 使用特别频繁时应适当缩短。

附录 A

原始记录格式

热量表配对温度传感器计量性能校准记录参考格式

委托单位： 型号规格： 制造厂： 证书编号：

出厂编号： 温度范围： °C ~ °C 温差范围： °C

最小温差： K 引线电阻： Ω 外观检查：

环境温度： °C 环境湿度： %RH 大气压力： kPa

标准器名称型号/规格 不确定度：

证书编号有效期至：

一、温度传感器的示值误差

被校温度点/°C	测量次数	标准温度计	被校温度传感器	
			t_1	t_2
	1			
	2			
	平均值			
	引线电阻/Ω	—		
	实际值/Ω	—		
	对应温度 t /°C			
	E_{g1} /°C	—		
	1			
	2			
	平均值/ (Ω/°C)			
	引线电阻/Ω	—		
	实际值/Ω			
	对应温度 t /°C	—		
	E_{g2} /°C	—		
	1			
	2			
	平均值/ (Ω/°C)			
	引线电阻/Ω			
	实际值/Ω	—		
	对应温度 t /°C	—		
	E_{g3} /°C			
绝缘电阻/MΩ				

二、配对温度传感器的温差误差

被校温差点	测量次数	供水		回水	
		标准 温度计	被校温 度传感器	标准 温度计	被校温 度传感器
		t_{s1}	t_1	t_{s2}	t_2
供水温度 点:℃ 回水温度 点:℃ 温 差:K	1				
	2				
	平均值				
	引线电阻/Ω	——		——	
	实际值/Ω	——		——	
	对应温度 t /℃	——		——	
	$E_{\Delta\theta_1}$ /%				
供水温度 点:℃ 回水温度 点:℃ 温 差:K	1				
	2				
	平均值				
	引线电阻/Ω				
	实际值/Ω				
	对应温度 t /℃	——		——	
	$E_{\Delta\theta_2}$ /%				
供水温度 点:℃ 回水温度 点:℃ 温 差:K	1				
	2				
	平均值				
	引线电阻/Ω	——		——	
	实际值/Ω	——		——	
	对应温度 t /℃				
	$E_{\Delta\theta_3}$ /%				

校准人:

核验人:

校准日期:

附录 B**校准证书内页参考格式**

证书编号：

校 准 结 果**一、校准结果**

校准温度点 /℃			
单支温度传感器的示值误差——供水 /℃			
单支温度传感器的示值误差 回水 /℃			
校准温差点 /K			
配对温度传感器的温差误差 /%			

外观：

绝缘电阻：

二、单支温度传感器的示值误差的扩展不确定度

$$U = \text{_____}^{\circ}\text{C}; k=2$$

三、配对温度传感器的温差误差的扩展不确定度

$$U = \text{_____}\%; k=2$$

附录 C

热电阻校准时的接线方式及引线电缆的要求

C. 1 铂热电阻接线方式

C. 1. 1 二线制

在测量二线制的热电阻时，应接成四线制进行。应考虑从感温元件连接点到铂热电阻端子间内引线的电阻值，若制造商提供引线的电阻值，则测量结果应扣除引线电阻值。否则，引线电阻应包括在感温元件内。接线方法如图 C. 1 所示。

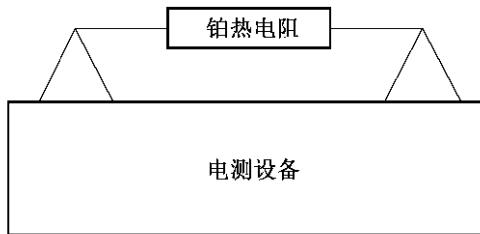


图 C. 1 二线制铂热电阻测量接线图

C. 1. 2 三线制

在测量三线制的铂热电阻时，为消除引线电阻 r 的影响，可分别按图 C. 2 (a) 和图 C. 2 (b) 的接线方式测量，到 R_a 和 R_b 。由于 $R_a = R_t + r$ ， $R_b = R_t + 2r$ ，则三线制热电阻电阻值为 $R_t = 2R_a - R_b$ 。

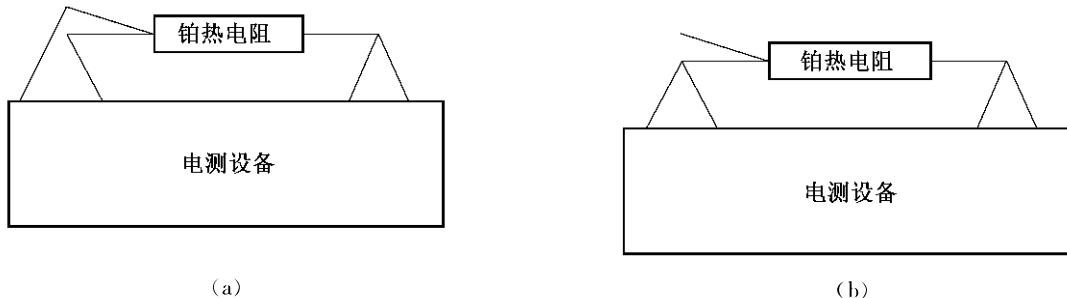


图 C. 2 三线制铂热电阻测量接线图

电测仪器可以选用符合测量准确度要求的电桥或数字多用表。为削弱热电势的影响，用数字多用表测量电阻时应采取电流换向，取平均值。考虑恒温槽温度随时间变化的因素，应在尽可能短的时间内采用交替测量热电阻和标准电阻的方法，交替重复不少于 4 次（包括电流换向），分别取平均值作为测量结果。

C. 1. 3 四线制

四线制热电阻则按照接线端的顺序，直接连接测量仪表测量即可。

C. 2 铂热电阻引线电缆的要求

铂热电阻的引线电缆一般由制造厂配套提供。已匹配成对的铂热电阻，所采用电缆的导体截面和长度都应相同，且供应商提供的信号导线的长度不得被改变。

C. 2. 1 铂热电阻采用两线制时，Pt100 铂热电阻引线允许的最大长度应符合表 C. 1 中

规定。

表 C. 1 Pt100 铂热电阻引线的最大长度要求

导线导体截面积/mm ²	最大长度/m
0.22	2.5
0.50	5.0
0.75	7.5
1.50	15.0

注：上述数值采用以下方法获取：
假定引线所带来的温差不超过温差的三分之一，进回水导线的温度差产生的电阻误差不得超过配对温度传感器误差的 0.2 倍，从而计算出每根导线截面的最大允许长度。

对于更大标称电阻值的传感器，引线限制值可按比例扩展。

C. 2.2 当铂热电阻的引线电缆长度超过表 C. 1 的要求时，铂热电阻应采用四线制。

附录 D

标准铂电阻温度计、铂热电阻的电阻值与温度之间的对应关系

D. 1 铂热电阻电阻值与温度之间的对应关系

$$R' = R - r \quad (\text{D. 1})$$

式中：

R' —— 铂热电阻感温元件的电阻值， Ω ；

R —— 铂热电阻的测量电阻值， Ω ；

r —— 铂热电阻的引线电阻值（一般由铂热电阻生产厂家给出，如果没有给出则忽略）， Ω 。

$$\tau_i = \frac{R' - R_t}{(dR/dt)_t} + t \quad (\text{D. 2})$$

式中：

t_i —— 被校铂热电阻在校准点 t 时测量的温度示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

R_t —— 在校准点 t 时铂热电阻的标称电阻值， Ω ；

$(dR/dt)_t$ —— 被检铂热电阻在校准点 t 时，电阻对温度的变化率， $\Omega/\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

$$(dR/dt)_t = R_0(A + 2Bt) \quad (\text{D. 3})$$

式中：

R_0 —— $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时铂热电阻的名义电阻值， Ω ；

A —— 铂电阻特性参数； $3.9083 \times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

B —— 铂电阻特性参数； $-5.7750 \times 10^{-7}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$ 。

D. 2 标准铂电阻温度计电阻值与温度之间的对应关系

$$t_s = t_n + \left[\frac{R_s}{R_{tp}} - W_t^s \right] / (dW_t^s/dt)_t \quad (\text{D. 4})$$

式中：

R_s 、 R_{tp} —— 标准铂电阻温度计分别在校准点 t 时和水三相点测得的电阻

值， Ω ， $\frac{R_s}{R_{tp}} = W_s^s$ ；

W_t^s 、 $(dW_t^s/dt)_t$ —— 标准铂电阻温度计在校准点 t 的电阻比值和电阻比值对温度的变化率；

t_s —— 标准铂电阻温度计在校准点 t 测量的温度示值， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_n —— 在校准点 t 时的名义温度值， $^{\circ}\text{C}$ 。

附录 E

温度传感器示值误差的不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 测量环境：温度 20.5 °C，湿度 55%RH。

E.1.2 主要标准器：二等标准铂电阻温度计， $U=0.006\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ，ASL 生产的 F 200 的数字测温仪，分辨力 0.001 °C， $U_{\text{rel}}=1\times10^{-5}$ ， $k=2$ 。

E.1.3 配套设备：安捷伦 34401A 型数字多用表，最大允许误差：± (0.010% 读数 + 0.001% 量程)，分辨力为 10 mΩ。

E.1.4 被校对象：热量表配对温度传感器（铂热电阻），型号 Pt1000，B 级。

E.1.5 校准方法：将被校铂热电阻和标准温度计放入同一个恒温槽内，按温度点 (5 °C、70 °C、95 °C) 校准的要求控制温度，当恒温槽温度偏离校准温度在 0.2 °C 以内（以标准温度计为准），分别记录标准温度计和被校温度传感器的示值，读数两次，取其平均值为测量结果，测量过程中恒温槽的温度变化应不超过 0.01 °C。由测量结果计算该支铂热电阻 (5 °C、70 °C、95 °C) 时的示值误差。

E.2 测量模型

$$E_{\vartheta} = \bar{t}_i - \bar{t}_s \quad (\text{E.1})$$

E.3 灵敏系数

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t_i}{\partial t_i} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial \Delta t_i}{\partial t_s} = -1$$

E.4 各分量的标准不确定度评定

E.4.1 输入量 t 的标准不确定度 $u(t)$ 的评定

E.4.1.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(t)$ ，用 A 类方法进行评定。

由于恒温槽的控温稳定度和铂电阻自身的稳定性等会导致铂电阻输出值的不重复性，分别在温度为 5 °C、70 °C、95 °C 时，重复测量 10 次，结果见表 E.1。

表 E.1 由测量重复性引入的不确定度分量

测量次数	5 °C	70 °C	95 °C
1	1 019.48 Ω	1 271.02 Ω	1 366.07 Ω
2	1 019.47 Ω	1 270.99 Ω	1 366.06 Ω
3	1 019.46 Ω	1 271.01 Ω	1 366.07 Ω
4	1 019.46 Ω	1 271.04 Ω	1 366.08 Ω
5	1 019.50 Ω	1 271.02 Ω	1 366.07 Ω
6	1 019.47 Ω	1 271.01 Ω	1 366.08 Ω
7	1 019.48 Ω	1 271.03 Ω	1 366.08 Ω

表 E.1 (续)

测量次数	5 °C	70 °C	95 °C
8	1 019.49 Ω	1 271.02 Ω	1 366.09 Ω
9	1 019.48 Ω	1 271.03 Ω	1 366.09 Ω
10	1 019.49 Ω	1 270.99 Ω	1 366.08 Ω
\bar{x}	1 019.478 Ω	1 271.016 Ω	1 366.077 Ω
$S(x)$	0.003 3 °C	0.004 2 °C	0.002 4 °C
$u_1(t) = \frac{S(x)}{\sqrt{2}}$	0.002 3 °C	0.003 0 °C	0.001 7 °C

E.4.1.2 由数字多用表引入的标准不确定度分量 $u_2(t)$, 用B类方法进行评定。

34401A型数字多用表使用的为 10 kΩ 挡, 最大允许误差: $\pm (0.010\% \text{ 读数} + 0.001\% \text{ 量程})$, 分辨力为 10 mΩ, 取均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则换算温度 5 °C 时, 最大允许误差为 0.052 °C; 70 °C 时, 最大允许误差为 0.059 °C; 95 °C 时, 最大允许误差为 0.062 °C。

见表 E.2:

表 E.2 数字多用表引入的标准不确定度

温度点/°C	5	70	95
最大允许误差/°C	±0.052	±0.059	±0.062
包含因子	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{3}$
$u_2(t)/°C$	0.030	0.034	0.036

E.4.1.3 分量 $u(t)$ 合成标准不确定度, 由于 $u_1(t)$ 、 $u_2(t)$ 互不相关, 则 $u(t) = \sqrt{u_1(t)^2 + u_2(t)^2}$, 结果见表 E.3。

表 E.3 分量 $u(t)$ 合成标准不确定度 单位为 °C

温度点	5	70	95
$u(t)$	0.030	0.034	0.036

E.4.2 由输入量 t_s 引入的不确定度 $u(t_s)$, 用B类方法进行评定。

E.4.2.1 由二等标准铂电阻温度计的量值溯源引入的标准不确定度 $u_1(t_s)$

由证书可知, $U=0.006\text{ °C}$, $k=2$, 则:

$$u_1(t_s) = \frac{0.006\text{ °C}}{2} = 0.003\text{ °C}$$

E.4.2.2 由二等标准铂电阻温度计的长期稳定性引入的标准不确定度 $u_2(t_s)$

使用中的二等标准铂电阻温度计在 (0~100) °C 的稳定性不超过 0.010 °C, 均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_2(t_s) = \frac{0.010}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.4.2.3 由测量二等铂电阻温度计的电测设备引入的标准不确定度 $u_3(t_s)$, F 200 型数字测温仪, 有证书可知 $U_{\text{rel}}=1\times 10^{-5}$, $k=2$, 则: 5 $^\circ\text{C}$ 、70 $^\circ\text{C}$ 、95 $^\circ\text{C}$ 时对应的绝对不确定度, 将其换算为温度见表 E.4。

表 E.4 电测设备引入的标准不确定分量 $u_3(t_s)$ 单位为 $^\circ\text{C}$

温度点	5	70	95
$u_3(t_s)$	0.0013	0.0016	0.0017

E.4.2.4 由恒温槽的温场均匀性和波动性引入的标准不确定度 $u_4(\Delta t_s)$ 的误差, 恒温槽的工作区域最大温差不超过 0.01 $^\circ\text{C}$, 波动性不超过 0.01 $^\circ\text{C}$, 都是均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 取半宽则:

$$u_4(\Delta t_s) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} + \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.4.2.5 分量 $u(t_s)$ 合成标准不确定度

由于 $u_1(t_s)$ 、 $u_2(t_s)$ 、 $u_3(t_s)$ 、 $u_4(t_s)$ 互不相关, 则 5 $^\circ\text{C}$ 、70 $^\circ\text{C}$ 、95 $^\circ\text{C}$ 时:

$$u(t_s) = \sqrt{u_1(t_s)^2 + u_2(t_s)^2 + u_3(t_s)^2 + u_4(t_s)^2} = 0.009 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.5 合成标准不确定

由于各分量互不相关, 则 $u_c = \sqrt{u(t)^2 + u(t_s)^2}$, 见表 E.5。

表 E.5 合成不确定度 单位为 $^\circ\text{C}$

不确定度分量 u_i	不确定度来源	标准不确定度		
		5	70	95
$u(t)$	t 引入的不确定度	0.030	0.034	0.036
$u(t_s)$	t_s 引入的不确定度		0.009	
合成标准不确定度 u_c		0.031	0.035	0.037

E.6 扩展不确定度

扩展不确定度 $U=k u_c$, 取包含因子 $k=2$, 见表 E.6。

表 E.6 扩展不确定度 单位为 $^\circ\text{C}$

温度点	5	70	95
U	0.06	0.07	0.08

附录 F

配对温度传感器温差误差的不确定度评定示例

F. 1 概述

F. 1.1 测量环境：温度 20.2 °C，湿度 61%RH。

F. 1.2 主要标准器：二等标准铂电阻温度计， $U=0.006\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ，ASL 生产的 F200 的数字测温仪，分辨力 0.001 °C， $U_{\text{rel}}=1\times10^{-5}$ ， $k=2$ 。

F. 1.3 配套设备：安捷伦 34401A 型数字多用表，最大允许误差：± (0.010% 读数 + 0.001% 量程)，分辨力为 10 mΩ。

F. 1.4 被校对象：热量表配对温度传感器（铂热电阻），型号 Pt1000，B 级。

F. 1.5 校准方法：将二支配对铂热电阻和二支标准铂电阻温度计分别放入两个不同温度的恒温槽中进行，按照本规范 8.2.5.1 中方法一进行温差测量。以温差 5K 为温差点为例，供水温度为 95 °C，回水温度为 90 °C。

F. 2 测量模型

$$E_{\Delta\theta}=\frac{(\bar{t}_1-\bar{t}_2)-(\bar{t}_{s1}-\bar{t}_{s2})}{(\bar{t}_{s1}-\bar{t}_{s2})}\times100\% \quad (\text{F. 1})$$

为了方便分析，将测量模型简化为式 (F. 2)：

$$E_{\Delta\theta}=\frac{\Delta t_{\text{校}}-\Delta t_{\text{标}}}{\Delta t_{\text{标}}}\times100\% \quad (\text{F. 2})$$

式中：

$\Delta t_{\text{校}}$ ——二支配对铂热电阻在温差校准点 $\Delta\theta$ 时的差值，°C；

$\Delta t_{\text{标}}$ ——二支标准铂电阻温度计在温差校准点 $\Delta\theta$ 时的差值，°C。

F. 3 灵敏系数

$$c_1=\frac{\partial E_{\Delta\theta}}{\partial \Delta t_{\text{校}}}=\frac{1}{\Delta t_{\text{标}}} \quad c_2=\frac{\partial E_{\Delta\theta}}{\partial \Delta t_{\text{标}}}=-\frac{\Delta t_{\text{校}}}{\Delta t_{\text{标}}^2} \quad (\text{F. 3})$$

F. 4 各分量的标准不确定度评定

F. 4.1 输入量 $\Delta t_{\text{校}}$ 的标准不确定度 $u(\Delta t_{\text{校}})$ 的评定

F. 4.1.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(\Delta t_{\text{校}})$ ，用 A 类方法进行评定。

在温度为 95 °C 和 90 °C 时，按照校准方法对配对铂热电阻的温差重复测量 10 次，测得结果为 5.03 °C，5.04 °C，5.03 °C，5.05 °C，5.03 °C，5.04 °C，5.05 °C，5.04 °C，5.04 °C，5.04 °C，则平均值 $\bar{x}=5.039\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

单次测量结果的标准偏差：

$$s(x)=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10}(x-\bar{x})^2}{n-1}}=0.007\text{ }^{\circ}\text{C}$$

实际工作中是以两次测量结果的平均值为结果，则：

$$u_1(\Delta t_{\text{校}})=\frac{s(x)}{\sqrt{2}}=0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$$

F.4.1.2 由数字多用表引入的标准不确定度分量 $u_2(\Delta t_{\text{校}})$, 用B类方法进行评定。

34401A型数字多用表使用的为10 kΩ挡, 最大允许误差: $\pm(0.010\% \text{读数} + 0.001\% \text{量程})$, 分辨力为10 mΩ则, 95 °C、90 °C对应的不确定度区间半宽分别为0.236 6 Ω、0.234 7 Ω, 换算温度后:

$$u_2(\Delta t_{\text{校}}) = 0.06 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$u_2(\Delta t_{\text{校}}) = \frac{0.06 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.035 \text{ } ^\circ\text{C}$$

F.4.1.3 分量 $u_2(\Delta t_{\text{校}})$ 合成标准不确定度, 由于 $u_1(\Delta t_{\text{校}})$ 、 $u_2(\Delta t_{\text{校}})$ 互不相关, 则:

$$u(\Delta t_{\text{校}}) = \sqrt{u_1(\Delta t_{\text{校}})^2 + u_2(\Delta t_{\text{校}})^2} = 0.035 \text{ } ^\circ\text{C}$$

F.4.2 由输入量 $\Delta t_{\text{标}}$ 引入的不确定度 $u(\Delta t_{\text{标}})$

F.4.2.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1(\Delta t_{\text{标}})$, 用A类方法进行评定。

在温度为95 °C和90 °C时, 按照校准方法对配对铂热电阻的温差重复测量10次, 测得结果为5.025 °C, 5.026 °C, 5.026 °C, 5.025 °C, 5.027 °C, 5.025 °C, 5.026 °C, 5.026 °C, 5.026 °C, 5.027 °C。

$$\text{平均值: } \bar{x} = 5.0259 \text{ } ^\circ\text{C}$$

单次测量结果的标准偏差:

$$s(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.001 \text{ } ^\circ\text{C}$$

实际工作中是以三次测量结果的平均值为结果, 则:

$$s(\bar{x}) = \frac{s(x)}{\sqrt{3}} = 0.001 \text{ } ^\circ\text{C}$$

F.4.2.2 由二等标准铂电阻温度计的量值溯源引入的标准不确定度 $u_2(\Delta t_{\text{标}})$

由证书可知, $U=0.006 \text{ } ^\circ\text{C}$, $k=2$, 则:

$$u_2(\Delta t_{\text{标}}) = \frac{0.006 \text{ } ^\circ\text{C}}{2} = 0.003 \text{ } ^\circ\text{C}$$

F.4.2.3 由二等标准铂电阻温度计的长期稳定性引入的标准不确定度 $u_3(\Delta t_{\text{标}})$

使用中的二等标准铂电阻温度计在0 °C~100 °C的稳定性不超过10 mK, 均匀分布, $k=\sqrt{3}$, 则:

$$u_3(\Delta t_{\text{标}}) = \frac{0.010 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0058 \text{ } ^\circ\text{C}$$

F.4.2.4 由测量二等铂电阻温度计的电测设备引入的标准不确定度 $u_4(\Delta t_{\text{标}})$

F200型数字测温仪, 有证书可知 $U_{\text{rel}}=1\times 10^{-5}$, $k=2$ 则: 95 °C时对应的绝对不确定度, $u_4(R_{\text{标}}) = 0.00136608 \Omega / 2 = 0.00068304 \Omega$, 90 °C时与95 °C时几乎一致, 换算成温度为:

$$u_4(\Delta t_{\text{标}}) = 0.0017 \text{ } ^\circ\text{C}$$

F.4.2.5 由恒温槽的温场均匀性和波动性引入的标准不确定度 $u_5(\Delta t_{\text{标}})$ 的误差, 恒温槽的工作区域最大温差不超过0.01 °C, 波动性不超过0.01 °C, 都是均匀分布, $k=\sqrt{3}$,

取半宽则：

$$u_5(\Delta t_{\text{标}}) = \frac{0.005 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} + \frac{0.005 \text{ } ^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.005 \text{ } 8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

F. 4.2.6 分量 $u(t_{\text{标}})$ 合成标准不确定度

由于各分量互不相关，则：

$$\begin{aligned} u(\Delta t_{\text{标}}) &= \sqrt{u_1(\Delta t_{\text{校}})^2 + u_2(\Delta t_{\text{校}})^2 + u_3(\Delta t_{\text{校}})^2 + u_4(\Delta t_{\text{校}})^2 + u_5(\Delta t_{\text{校}})^2} \\ &= 0.009 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

F. 5 合成标准不确定度

由于各分量互不相关，则

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{1}{\Delta t_{\text{校}}} = \frac{1}{5 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0.200 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \quad c_2 = -\frac{\Delta t_{\text{被}}}{\Delta t_{\text{校}}^2} = -\frac{5.039 \text{ } ^\circ\text{C}}{(5 \text{ } ^\circ\text{C})^2} = -0.202 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \\ u_c &= \sqrt{c_1^2 u(\Delta t_{\text{校}})^2 + c_2^2 u(\Delta t_{\text{校}})^2} \\ &= \sqrt{0.200^2 \times 0.035^2 + (-0.202)^2 \times 0.009^2} \times 100\% \\ &= 0.7\% \end{aligned}$$

F. 6 扩展不确定度 $U = k u_c$ ，取包含因子 $k = 2$ ，则：

$$U = k u_c = 2 \times 0.7\% = 1.4\%$$



JJF(津)3003—2018

版权专有 侵权必究

*
书号：155026 · J 3307

定价： 24.00 元