



中华人民共和国工业和信息化部 有色金属计量技术规范

JJF（有色金属）XXX—XXXX

电热恒温水浴锅校准规范

Calibration Specification for
Electrically-heated Thermostatic Water Baths

（报批稿）

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

电热恒温水浴锅校准规范

Calibration Specification for

Electrically-heated Thermostatic Water Baths

JJF（有色金属）XXX—XXXX

归口单位：中国有色金属工业协会

主要起草单位：西南铝业（集团）有限责任公司

参加起草单位：广东省科学院工业分析检测中心

西安汉唐分析检测有限公司

中铝材料应用研究院有限公司

国标（北京）检验认证有限公司

天津新艾隆科技有限公司

本规范委托有色金属行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

谭本清（西南铝业(集团)有限责任公司）
张国栋（西南铝业(集团)有限责任公司）
包超强（西南铝业(集团)有限责任公司）
伍超群（广东省科学院工业分析检测中心）
路 通（中铝材料应用研究院有限公司）
吴承骏（国标（北京）检验认证有限公司）
余泽利（西安汉唐分析检测有限公司）
兰胜川（西南铝业(集团)有限责任公司）
史宏伟（天津新艾隆科技有限公司）

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 温度偏差.....	(1)
4.2 温度波动度.....	(1)
4.3 温度均匀度.....	(1)
5 校准条件.....	(1)
5.1 环境条件.....	(1)
5.2 负载条件.....	(1)
5.3 测量标准及其他设备.....	(2)
5.4 其他条件.....	(2)
6 校准项目和校准方法.....	(2)
6.1 校准项目.....	(2)
6.2 校准方法.....	(2)
6.3 数据处理.....	(4)
7 校准结果表达.....	(5)
8 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 电热恒温水浴锅校准原始记录参考格式.....	(7)
附录 B 电热恒温水浴锅校准证书内页参考格式.....	(9)
附录 C 电热恒温水浴锅温度偏差测量结果的不确定度评定示例.....	(10)
附录 D 电热恒温水浴锅温度波动度测量结果的不确定度评定示例.....	(13)
附录 E 电热恒温水浴锅温度均匀度测量结果的不确定度评定示例.....	(17)

引 言

本规范是以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》和JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》为基础性系列规范进行编写。

本规范主要参考JJF 1101-2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》、JJF（闽）1094-2018《电热恒温水浴锅校准规范》的技术内容。

本规范为首次发布。

电热恒温水浴锅校准规范

1 范围

本规范适用于温度范围(0~100)℃电热恒温水浴锅的校准,其他范围的类似设备也可参照本规范。

2 引用文件

本规范没有引用文件。

3 概述

电热恒温水浴锅(以下简称水浴锅)通常由水槽、管状加热器、托架、温度控制器和放水管等组成。水浴锅横截面有矩形和圆形,水浴锅的种类按使用孔位的需求分为无孔和有孔两种结构,有孔又分为单孔、单列多孔和多列多孔等。

4 计量特性

4.1 温度偏差

不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

4.2 温度波动度

不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

4.3 温度均匀度

不超过 1°C 。

注:以上指标不作为合格性判别依据,仅供参考。

5 校准条件

5.1 环境条件

5.1.1 温度为(15~35)℃,相对湿度不大于85%。

5.1.2 水浴锅周围应无强烈振动及腐蚀性气体存在,应避免其他冷、热源影响。实际工作中,环境条件应满足测量标准的使用要求。

5.2 负载条件

一般在空载条件下进行校准，也可根据用户需要在负载条件下进行。

5.3 测量标准及其他设备

校准用测量标准及其他设备的技术要求见表1。

表1 测量标准及其他设备技术要求

序号	测量标准及其他设备	技术要求	用途	备注
1	铂电阻温度计	测量范围（0~100）℃， 不低于 A 级	温度传感器	一般选用防水式四线制铂电阻温度计。温度测量标准通道数及铂电阻温度计数量应满足实际校准布点要求
2	多通道测温仪	测量范围（0~100）℃， 最大允许误差为±	测温仪表	
注：也可以使用满足要求的其他测量设备，其中温度测量标准（含仪表与传感器）引入的扩展不确定度 $U(k=2)$ 应不大于被校水浴锅校准项目最大允许量绝对值的 1/3。				

5.4 其他条件

5.4.1 有水浴锅必要的使用说明书。

5.4.2 水浴锅内胆、阀门等无漏水或堵塞现象，电加热部分应无漏电现象。

5.4.3 水浴锅各功能键、调节旋钮应能正常调节，其他报警、控温等附加功能应正常。

5.4.4 水浴锅显示部分应正常，无黑屏、缺字等现象。

6 校准项目和校准方法

6.1 校准项目

温度偏差、温度均匀度和温度波动度。

6.2 校准方法

6.2.1 校准前准备

6.2.1.1 校准前应先进行预热，预热时间应满足测温仪表使用说明书的要求，一般不少于15min。

6.2.1.2 使水浴锅处于正常工作状态，并保证工作区域的液面处于规定位置。

6.2.2 温度校准点的选择

温度校准点一般根据用户需要选择常用的温度点进行，无特殊说明时可选择水浴锅使用范围的上限、下限和中间点。

6.2.3 温度传感器布点数量

温度传感器布点数量一般为5个，可根据实际需要增加布点数量。

6.2.4 温度传感器布点位置

6.2.4.1 无孔结构水浴锅的内胆横截面形状为矩形时，温度传感器的布置如图1所示，“5”点位于工作空间的几何中心，其余各测温点到水浴锅内壁的距离为各自边长的1/10，温度传感器距离搁板20mm。

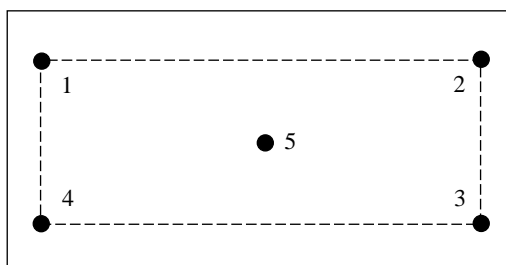


图1 水浴锅内胆横截面为矩形时的布点示意图

6.2.4.2 无孔结构水浴锅的内胆横截面形状为圆形时，温度传感器的布置如图2所示，“5”点位于工作空间的几何中心，其余各测温点到水浴锅内壁的距离为横截面直径的1/10，温度传感器距离搁板20mm。

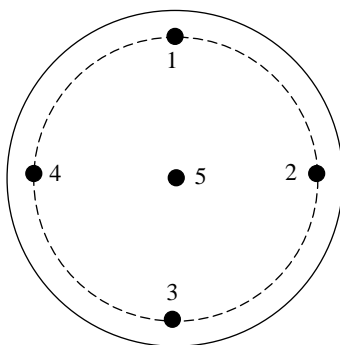


图2 水浴锅内胆横截面为圆形时的布点示意图

6.2.4.3 水浴锅为有孔结构时（开孔一般为圆形），根据所有单列或多列多孔排列组成的整体截面形状，把整体形状的外切矩形或圆形视为工作区域，按图3、图4所示布置测温点，“5”点位于工作空间的几何中心，其余各测温点在各切点连接线上，温度传感器距离搁板20mm。

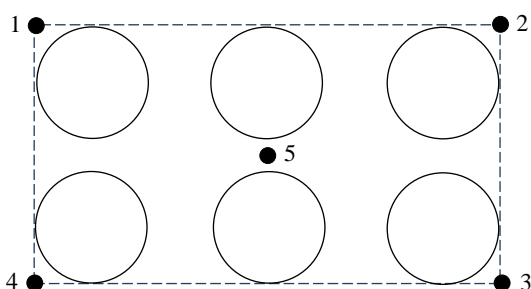


图3 开孔外切线形状为矩形时的布点示意图

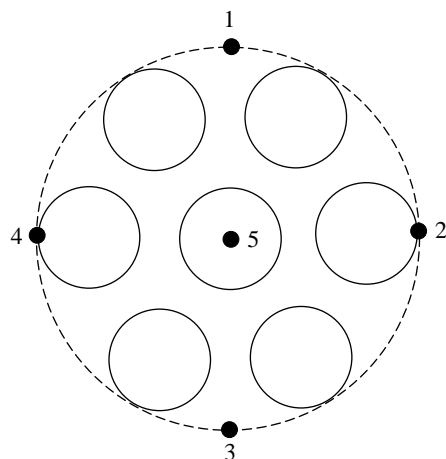


图4 开孔外切线形状为圆形时的布点示意图

6.2.4.4 温度传感器的布置也可根据实际情况进行布点，布点位置范围应不小于实际工作区域。

6.2.5 校准方法

校准前应确认水位正常，水位应达到带负载时的高度，按照6.2.4布放铂电阻温度计，将水浴锅温度控制器设定到校准温度点，开启运行。待水浴锅温度达到设定温度后稳定至少15min或水浴锅使用说明书要求的稳定时间后，开始记录各校准点温度，记录时间为30min，记录间隔为3min，或根据设备运行状况和用户校准需求确定记录时间和记录间隔，并在原始记录和校准证书中进行说明。

当温度控制无法满足稳定状态时，可以对温度控制器进行相应的调整，包括设定值、控制参数、铂电阻温度计修正值等，调整记录应在校准证书中体现。

6.3 数据处理

6.3.1 温度偏差

温度上偏差和温度下偏差的计算公式见式（1）、式（2）。

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (1) \quad \Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (2)$$

式中：

Δt_{\max} ——温度上偏差，℃；

t_{\max} ——各校准点在规定时间内测量的最高温度，℃；

t_s ——水浴锅设定温度，℃；

Δt_{\min} ——温度下偏差，℃；

t_{\min} ——各校准点在规定时间内测量的最低温度，℃。

6.3.2 温度波动度

同一个校准点在 n 次测量中测得的最高温度和最低温度之差的一半，冠以“±”号，取全部测量点中变化量的最大值作为温度波动度校准结果。

$$\Delta t_f = \pm \max(t_{i\max} - t_{i\min}) / 2 \quad (3)$$

式中：

Δt_f ——温度波动度，℃；

$t_{i\max}$ ——校准点 i 在 n 次测量中的最高温度，℃；

$t_{i\min}$ ——校准点 i 在 n 次测量中的最低温度，℃。

6.3.3 温度均匀度

取各个校准点在同一次测量中测得的最高温度和最低温度之差的算术平均值作为温度均匀度。

$$\Delta t_u = \sum_{j=1}^n (t_{j\max} - t_{j\min}) / n \quad (4)$$

式中：

Δt_u ——温度均匀度，℃；

$t_{j\max}$ ——各校准点在第 j 次测得的最高温度，℃；

$t_{j\min}$ ——各校准点在第 j 次测得的最低温度，℃；

n ——测量次数。

7 校准结果表达

经校准的水浴锅出具校准证书，校准原始记录参考格式见附录A，校准证书（报告）参考格式见附录B。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) 进行校准的地点（如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, 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应说明被校对象的接收日期;
- 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) 校准证书批准人的签名或等效标识;
- n) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- o) 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

建议复校时间间隔为1年。送校单位可根据使用情况自主决定复校时间间隔, 在使用过程中水浴锅经过修理、更换重要部件的需要重新校准。

附录 A

电热恒温水浴锅校准原始记录参考格式

记录编号：

证书编号：

送校单位			制 造 厂		
仪 器 名 称		规 格 型 号		仪 器 编 号	
校 准 地 点		环 境 温 度	℃	环 境 湿 度	%RH
校 准 依 据					

校准用主要测量标准

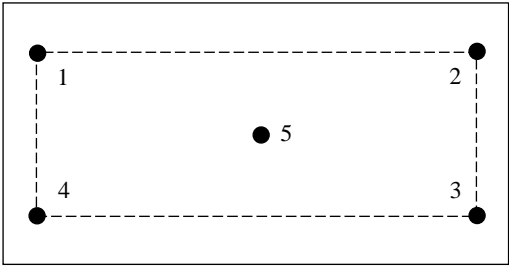
名称	型号规格	技术特征	仪器编号	证书编号	有效期

1 校准记录

温度设定值：℃

测量次数j	各校准点温度测量值 (℃)					
	1	2	3	4	5	$t_{jmax}-t_{jmin}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
最大值						—
最小值						—
温度上偏差：温度下偏差：扩展不确定度 $U(k=2)$ ：						
温度均匀度：扩展不确定度 $U(k=2)$ ：						
温度波动度：扩展不确定度 $U(k=2)$ ：						

2 温度传感器布点示意图

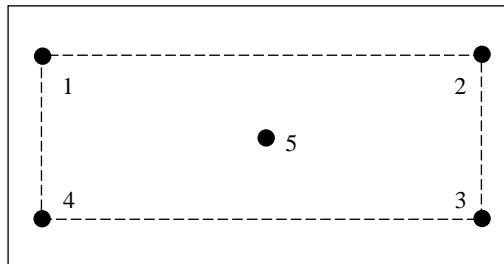
布点示意图	说明
	校准点“5”位于工作空间的几何中心，“1、2、3、4”各校准点到水浴锅内壁的距离为各自边长的 1/10，温度传感器距离底部搁板 20mm。

附录 B

电热恒温水浴锅校准证书内页参考格式

校准结果

1 温度传感器布点示意图



说明：校准点“5”位于工作空间的几何中心，“1、2、3、4”各校准点到水浴锅内壁的距离为各自边长的1/10，温度传感器距离底部搁板20mm。

2 温度校准结果

温度设定值			
序号	校准项目	校准结果 (°C)	扩展不确定度 $U(k=2)$ (°C)
1	温度上偏差		
2	温度下偏差		
3	温度均匀度		
4	温度波动度		

附录 C

电热恒温水浴锅温度偏差测量结果的不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 被测对象

被校准仪器为无孔、内胆横截面为矩形的恒温水浴锅，其测量范围为（0~100）℃，分辨力为0.1℃。

C.1.2 测量标准

测量标准技术指标见表C.1。

表 C.1 测量标准技术指标

序号	测量标准及其他设备	主要技术指标
1	铂电阻	5支A级四线制工业铂电阻，60℃校准结果扩展不确定度 $U=0.016^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$
2	多通道温度数据采集器	温度测量范围为（-200~200）℃，最大允许误差为±0.05℃

C.1.3 测量方法

按6.2.4.1的方法，将5支铂电阻温度计布放在相应位置，将水浴锅温度控制器设定到60℃。待水浴锅温度达到设定温度并稳定至少15min后，开始记录各校准点温度，记录时间为30min，记录间隔为3min。

C.1.4 测量环境

温度为15℃~35℃，相对湿度不大于85%。

C.2 测量模型

电热恒温水浴锅温度偏差的测量模型见下：

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_s \quad (\text{C.1}) \quad \Delta t_{\min} = t_{\min} - t_s \quad (\text{C.2})$$

式中：

Δt_{\max} ——温度上偏差，℃；

t_{\max} ——各校准点在规定时间内测量的最高温度，℃；

t_s ——水浴锅设定温度，℃；

Δt_{\min} ——温度下偏差，℃；

t_{\min} ——各校准点在规定时间内测量的最低温度，℃。

C.3 测量不确定度来源分析

被校仪器测量重复性引入的标准不确定度分量，智能数据采集器分辨力引入的标准不确定度分量，测量标准误差引入的标准不确定度分量，测量标准稳定性引入的标准不确定度分量。

由于温度上偏差与温度下偏差的不确定度来源及数据相同，这里以温度上偏差校准结果为例进行不确定度评定。

C.4 标准不确定度分量评定

C.4.1 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在60℃校准点重复测量10次，每次都得到30min内的1个最高温度，标准偏差 s 用公式(C.3)计算得到：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.06^\circ\text{C} \quad (\text{C.3})$$

因此：

$$u_1 = s = 0.06^\circ\text{C}$$

C.4.2 智能数据采集器分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

智能数据采集器的分辨力为0.001℃，其不确定度区间半宽为0.0005℃，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则分辨力引入的标准不确定度分量 u_2 为：

$$u_2 = \frac{0.0005^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.00029^\circ\text{C}$$

C.4.3 测量标准误差引入的标准不确定度分量 u_3

C.4.3.1 智能数据采集器误差引入的标准不确定度分量 u_{31}

智能数据采集器在测量范围（-200～200）℃的最大允许误差为±0.05℃，不确定度区间半宽为0.05℃，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量 u_{31} 为：

$$u_{31} = \frac{0.05^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.029^\circ\text{C}$$

C.4.3.2 铂电阻误差引入的标准不确定度分量 u_{32}

铂电阻校准结果的扩展不确定度 $U=0.016^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ，因此：

$$u_{32} = \frac{0.016^{\circ}\text{C}}{2} = 0.008^{\circ}\text{C}$$

则测量标准误差引入的标准不确定度 u_3 为：

$$u_3 = \sqrt{u_{31}^2 + u_{32}^2} = 0.03^{\circ}\text{C}$$

C.4.4 测量标准稳定性引入的标准不确定度分量 u_4

A级工业铂电阻的稳定性为 0.15°C ，不确定度区间半宽为 0.075°C ，服从均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则测量标准稳定性引入的标准不确定度分量 u_4 为：

$$u_4 = \frac{0.075^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.043^{\circ}\text{C}$$

C.5 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表C.2。

表 C.2 标准不确定度分量汇总表

序号	标准不确定度来源	符号	标准不确定度/ $^{\circ}\text{C}$
1	测量重复性	u_1	0.06
2	智能数据采集器分辨力	u_2	0.00029
3	测量标准误差	u_3	0.03
4	测量标准稳定性	u_4	0.043

C.6 合成标准不确定度 u_c

测量重复性与分辨力引入的分量取大者计入合成不确定度，即计算合成标准不确定度时，不计算 u_2 ，则 u_c 按下式计算：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.08^{\circ}\text{C}$$

C.7 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，温度上偏差测量结果扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.16^{\circ}\text{C}$$

附录 D

电热恒温水浴锅温度波动度测量结果的不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 被测对象

被校准仪器为无孔、内胆横截面为矩形的恒温水浴锅，其测量范围为（0~100）℃，分辨力为0.1℃。

D.1.2 测量标准

测量标准技术指标见表D.1。

表 D.1 测量标准技术指标

序号	测量标准及其他设备	主要技术指标
1	铂电阻	5支A级四线制工业铂电阻，60℃校准结果扩展不确定度 $U=0.016^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$
2	多通道温度数据采集器	温度测量范围为（-200~200）℃，最大允许误差为 $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$

D.1.3 测量方法

按6.2.4.1的方法，将5支铂电阻温度计布放在相应位置，将水浴锅温度控制器设定到60℃。待水浴锅温度达到设定温度并稳定至少15min后，开始记录各校准点温度，记录时间为30min，记录间隔为3min。

D.1.4 测量环境

温度为15℃~35℃，相对湿度不大于85%。

D.2 测量模型

电热恒温水浴锅温度波动度的测量模型见下：

$$\Delta t_f = \pm \max(t_{i\max} - t_{i\min}) / 2 \quad (\text{D.1})$$

式中：

Δt_f ——温度波动度，℃；

$t_{i\max}$ ——校准点*i*在*n*次测量中的最高温度，℃；

$t_{i\min}$ ——校准点*i*在*n*次测量中的最低温度，℃。

D.3 测量不确定度来源分析

被校仪器测量重复性引入的标准不确定度分量，智能数据采集器分辨力引入的标准不确定度分量，测量标准短期稳定性引入的标准不确定度分量。

D.4 标准不确定度的分量评定

D.4.1 $t_{i\max}$ 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在60℃校准点重复测量10次，每次得到30min内全部校准点中变化量为最大值校准点的 $t_{i\max}$ 。

标准偏差 s 用公式 (D.2) 计算得到：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.06^\circ\text{C} \quad (\text{D.2})$$

因此：

$$u_1 = s = 0.06^\circ\text{C}$$

D.4.2 $t_{i\min}$ 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_2

在60℃校准点重复测量10次，每次得到30min内全部校准点中变化量为最大值校准点的 $t_{i\min}$ 。

经计算得到标准偏差 $s = 0.06^\circ\text{C}$

因此：

$$u_2 = s = 0.06^\circ\text{C}$$

D.4.3 智能数据采集器分辨力引入的标准不确定度分量 u_3

智能数据采集器的分辨力为 0.001°C ，其不确定度区间半宽为 0.0005°C ，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则分辨力引入的标准不确定度分量 u_3 为：

$$u_3 = \frac{0.0005^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.00029^\circ\text{C}$$

D.4.4 $t_{i\max}$ 测量标准短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_4

D.4.4.1 智能数据采集器短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_{41}

由于智能数据采集器的短期稳定性优于 0.02°C ，不确定度区间半宽为 0.01°C ，服从均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量 u_{41} 为：

$$u_{41} = \frac{0.01^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0058^{\circ}\text{C}$$

D.4.4.2 铂电阻短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_{42}

根据经验，在 $(0\sim 100)^{\circ}\text{C}$ ，A级工业铂电阻的短期稳定性优于 0.005°C ，不确定度区间半宽为 0.0025°C ，服从均匀分布，取 $k=\sqrt{3}$ ，则铂电阻短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_{42} 为：

$$u_{42} = \frac{0.0025^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.0015^{\circ}\text{C}$$

因此测量标准短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_4 为：

$$u_4 = \sqrt{u_{41}^2 + u_{42}^2} = 0.006^{\circ}\text{C}$$

D.4.5 $t_{i\min}$ 测量标准短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_5

$t_{i\min}$ 测量标准短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_5 为：

$$u_5 = u_4 = 0.006^{\circ}\text{C}$$

D.5 灵敏系数

对公式（D.1）求偏导，得到各分量的灵敏系数为：

$$c_{\max} = \frac{\partial \Delta t_f}{\partial t_{i\max}} = 0.5$$

$$c_{\min} = \frac{\partial \Delta t_f}{\partial t_{i\min}} = -0.5$$

D.6 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表D.2。

表 D.2 标准不确定度分量汇总表

序号	标准不确定度来源	符号	标准不确定度($^{\circ}\text{C}$)	灵敏系数 $ c_i $	$ c_i \cdot u_i$ ($^{\circ}\text{C}$)
1	$t_{i\max}$ 测量重复性	u_1	0.06	0.5	0.03

2	$t_{i\min}$ 测量重复性	u_2	0.06	0.5	0.03
3	智能数据采集器分辨力	u_3	0.00029	0.5	0.000145
4	$t_{i\max}$ 测量标准短期稳定性	u_4	0.006	0.5	0.003
5	$t_{i\min}$ 测量标准短期稳定性	u_5	0.006	0.5	0.003

D.7 合成标准不确定度 u_c

测量重复性与分辨力引入的分量取大者计入合成不确定度，即计算合成标准不确定度时，不计算 u_3 ，则 u_c 按下式计算：

$$u_c = \sqrt{(|c_{\max}| \cdot u_1)^2 + (|c_{\min}| \cdot u_2)^2 + (|c_{\max}| \cdot u_4)^2 + (|c_{\min}| \cdot u_5)^2} = 0.043^\circ\text{C}$$

D.8 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，温度波动度测量结果的扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.09^\circ\text{C}$$

附录 E

电热恒温水浴锅温度均匀度测量结果的不确定度评定示例

E.1 概述

E.1.1 被测对象

被校准仪器为无孔、内胆横截面为矩形的恒温水浴锅，其测量范围为（0~100）℃，分辨力为0.1℃。

E.1.2 测量标准

测量标准技术指标见表E.1。

表 E.1 测量标准技术指标

序号	测量标准及其他设备	主要技术指标
1	铂电阻	5支A级四线制工业铂电阻，60℃校准结果扩展不确定度 $U=0.016^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$
2	多通道温度数据采集器	温度测量范围为（-200~200）℃，最大允许误差为±0.05℃

E.1.3 测量方法

按6.2.4.1的方法，将5支铂电阻温度计布放在相应位置，将水浴锅温度控制器设定到60℃。待水浴锅温度达到设定温度并稳定至少15min后，开始记录各校准点温度，记录时间为30min，记录间隔为3min。

E.1.4 测量环境

温度为15℃~35℃，相对湿度不大于85%。

E.2 测量模型

电热恒温水浴锅温度均匀度的测量模型见下：

$$\Delta t_u = \sum_{j=1}^n \frac{t_{j\max} - t_{j\min}}{n} = \overline{t_{j\max}} - \overline{t_{j\min}} \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δt_u ——温度均匀度，℃；

$t_{j\max}$ ——各校准点在第j次测得的最高温度，℃；

$t_{j\min}$ ——各校准点在第j次测得的最低温度，℃；

n ——测量次数；

$\overline{t_{j\max}}$ —— j 次测量最大值之和的平均值, °C;

$\overline{t_{j\min}}$ —— j 次测量最小值之和的平均值, °C。

E.3 测量不确定度来源分析

测量重复性引入的标准不确定度分量, 智能数据采集器分辨力引入的标准不确定度分量, 测量标准误差引入的标准不确定度分量, 铂电阻稳定性引入的标准不确定度分量。

E.4 标准不确定度分量评定

E.4.1 $\overline{t_{j\max}}$ 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_1

在60°C校准点重复测量10组数据, 每组30min测量11次, 共得到10组 $\overline{t_{j\max}}$ 。

标准偏差 s 用公式 (E.2) 计算:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 0.025^\circ\text{C} \quad (\text{E.2})$$

因此:

$$u_1 = s = 0.025^\circ\text{C}$$

E.4.2 $\overline{t_{j\min}}$ 测量重复性引入的标准不确定度分量 u_2

在60°C校准点重复测量10组数据, 每组30min测量11次, 共得到10组 $\overline{t_{j\min}}$ 。经计算得到标准偏差为:

$$s = 0.025^\circ\text{C}$$

因此:

$$u_2 = s = 0.025^\circ\text{C}$$

E.4.3 智能数据采集器分辨力引入的标准不确定度分量 u_3

智能数据采集器的分辨力为0.001°C, 其不确定度区间半宽为0.0005°C, 服从均匀分布, 取 $k = \sqrt{3}$, 则分辨力引入的标准不确定度分量 u_3 为:

$$u_3 = \frac{0.0005^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.00029^\circ\text{C}$$

E.4.4 $t_{j\max}$ 通道测量标准误差引入的标准不确定度分量 u_4

E.4.4.1 $t_{j\max}$ 通道智能数据采集器误差引入的标准不确定度分量 u_{41}

由于智能数据采集器在测量范围（-200~200）℃的最大允许误差为±0.05℃，不确定度区间半宽为0.05℃，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则其引入的标准不确定度分量 u_{41} 为：

$$u_{41} = \frac{0.05^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.029^\circ\text{C}$$

E.4.4.2 $t_{j\max}$ 通道铂电阻误差引入的标准不确定度分量 u_{42}

由于铂电阻校准结果的扩展不确定度 $U=0.016^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，因此 u_{42} 为：

$$u_{42} = \frac{0.016^\circ\text{C}}{2} = 0.008^\circ\text{C}$$

则 $t_{j\max}$ 通道测量标准误差引入的标准不确定度 u_4 为：

$$u_4 = \sqrt{u_{41}^2 + u_{42}^2} = 0.03^\circ\text{C}$$

E.4.5 $t_{j\min}$ 通道测量标准误差引入的标准不确定度分量 u_5

$$u_5 = u_4 = 0.03^\circ\text{C}$$

E.4.6 $t_{j\max}$ 通道铂电阻稳定性引入的标准不确定度分量 u_6

由于A级工业铂电阻的稳定性为0.15℃，不确定度区间半宽为0.075℃，服从均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则铂电阻稳定性引入的标准不确定度分量 u_6 为：

$$u_6 = \frac{0.075^\circ\text{C}}{\sqrt{3}} = 0.043^\circ\text{C}$$

E.4.7 $t_{j\min}$ 通道铂电阻稳定性引入的标准不确定度分量 u_7

$t_{j\min}$ 通道铂电阻稳定性引入的标准不确定度分量 u_7 为：

$$u_7 = u_6 = 0.043^\circ\text{C}$$

E.5 标准不确定度分量汇总

标准不确定度分量汇总见表E.2。

表 E.2 标准不确定度分量汇总表

序号	标准不确定度来源	符号	标准不确定度(℃)
1	$\overline{t_{j\max}}$ 测量重复性	u_1	0.025

2	$\overline{t_{j\min}}$ 测量重复性	u_2	0.025
3	智能数据采集器分辨力	u_3	0.00029
4	$t_{j\max}$ 通道标准误差	u_4	0.03
5	$t_{j\min}$ 通道标准误差	u_5	0.03
6	$t_{j\max}$ 通道铂电阻稳定性	u_6	0.043
7	$t_{j\min}$ 通道铂电阻稳定性	u_7	0.043

E.6 合成标准不确定度 u_c

测量重复性与分辨力引入的分量取大者计入合成不确定度，即计算合成标准不确定度时，不计算 u_3 ，则 u_c 按下式计算：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_4^2 + u_5^2 + u_6^2 + u_7^2} = 0.058^\circ\text{C}$$

E.7 扩展不确定度的评定 U

取包含因子 $k=2$ ，温度均匀度校准结果扩展不确定度为：

$$U = ku_c = 0.12^\circ\text{C}$$
