



中华人民共和国工业和信息化部 建材计量技术规范

JJF(建材) xxx—2024

电砂浴加热装置校准规范

Calibration Specification for Electric Sand Bath Heating Devices

(报批稿)

××××-××-××发布

××××-××-××实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

电砂浴加热装置校准规范

Calibration Specification for Electric Sand

Bath Heating Devices

JJF(建材)xxx—2022

归口单位：中国建筑材料联合会

主要起草单位：中国电子工程设计院有限公司

参加起草单位：苏州赛宝校准技术服务有限公司

中电投工程研究检测评定中心有限公司

北方测盟（北京）科技有限公司

本规范委托全国建材工业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

唐丽君（中电投工程研究检测评定中心有限公司）

李永杰（中国电子工程设计院股份有限公司）

覃晓敏（中电投工程研究检测评定中心有限公司）

魏世航（中国电子工程设计院股份有限公司）

参加起草人：

曾冬梅（苏州赛宝校准技术服务有限公司）

邢 丹（中国电子工程设计院股份有限公司）

朱春月（中电投工程研究检测评定中心有限公司）

易宝彤〔北方测盟（北京）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)
4 概述.....	(1)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准.....	(3)
7 校准项目和校准方法.....	(3)
7.1 校准项目.....	(3)
7.2 外观检查.....	(3)
7.3 校准方法	(3)
7.4 数据处理.....	(4)
8 校准结果表达.....	(5)
9 复校时间间隔.....	(6)
附录 A 电砂浴加热装置校准记录参考格式.....	(7)
附录 B 电砂浴加热装置校准证书内页参考格式.....	(8)
附录 C 电砂浴加热装置温度偏差校准不确定度评定示例.....	(9)
附录 D 电砂浴加热装置温度均匀度校准不确定度评定示例.....	(12)
附录 E 电砂浴加热装置温度波动度校准不确定度评定示例.....	(16)

引 言

本规范依据 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》等基础性系列规范进行制定。

本规范主要参考 GB/T 5170.1《电工电子产品环境试验设备检验方法 第1部分：总则》、GB/T 5170.2《电工电子产品环境试验设备检验方法 温度试验设备》、JJF 1101《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》和 JJF 1030-2023《恒温槽技术性能测试规范》制定。

本规范为首次发布。

电砂浴加热装置校准规范

1 范围

本规范适用于温度范围室温 \sim 400℃电热恒温砂浴锅和电热恒温砂浴箱(以下简称电砂浴加热装置)的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

GB/T5170.1 电工电子产品环境试验设备检验方法 第1部分：总则

GB/T5170.2 电工电子产品环境试验设备检验方法 第2部分：温度试验设备

凡是注明日期的引用文件，仅注明日期的版本适用于本规范；凡是不注明日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语

3.1 电砂浴加热装置有效工作区域 electric sand bath heating device working space
能将规定的温度性能保持在规定偏差范围内的区域。

3.2 电砂浴加热装置稳定状态 electric sand bath heating device steady state
工作区域内任意点的温度变化量达到测量设备本身性能指标要求时的状态。

3.3 电砂浴加热装置标称温度 electric sand bath heating device nominal temperature
根据使用或方法要求，电砂浴的设定温度。

3.4 电砂浴加热装置温度偏差 electric sand bath heating device temperature deviation
电砂浴加热装置有效工作空间各测量点在规定时间内实测最高温度和最低温度与设定温度之差。温度偏差包含温度上偏差和温度下偏差。

3.5 电砂浴加热装置温度波动度 electric sand bath heating device temperature fluctuation
在规定的时间内，有效工作区域任意一点温度随时间的变化量。

3.6 电砂浴加热装置温度均匀度 temperature uniformity
电砂浴加热装置有效工作区域在某一瞬时任意两点温度之间的最大差值。

4 概述

电砂浴加热装置主要用做建筑材料分析、化学分析、物理测定，对易燃易爆物品加热尤为适用，也可用于砂浴恒温试验和其他温度试验，其加热温度高于水浴加热，

适用范围更加广泛。电砂浴加热装置通常由砂槽、管状加热器或不锈钢电热板、电热套、托架、电器箱等组成，其结构如图 1 所示。使用时可根据试验需要设定温度，通过管状加热器或不锈钢电热板加热砂浴，由电器箱内的温度控制器控制砂浴温度。

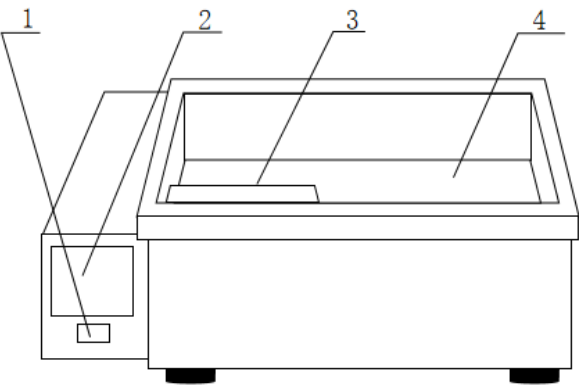


图 1. 电砂浴加热装置结构示意图
1-开关；2-温度控制器；3-温度传感器；4-砂槽

5 计量特性

电砂浴加热装置的计量特性及技术要求见表 1。

表 1 电砂浴加热装置的计量特性

参数名称	技术要求		
	室温~100℃	>100℃~300℃	>300℃~400℃
温度偏差	±2℃	±3℃	±4℃
温度均匀度	4℃	5℃	7℃
温度波动度	±2℃	±3℃	±5℃
注：□□□□□□□□□□□□□□□□□□			

6 校准条件

6.1 环境条件

- 6.1.1 环境温度：（20±10）℃。
- 6.1.2 相对湿度：≤85 %。
- 6.1.3 其他条件：电砂浴加热装置周围应无强烈振动及磨蚀性气体存在，应避免其他冷、热源影响。实际工作中，环境条件还应满足测量标准正常使用的要求。

通常与 5 处于同一层面,且布点位置距被校设备内壁边缘的距离为各边长的 1/10 至 1/4,但不应超过 100 mm。

温度测量标准器传感器应整体浸没在标准砂层内,浸没深度不小于 10mm。

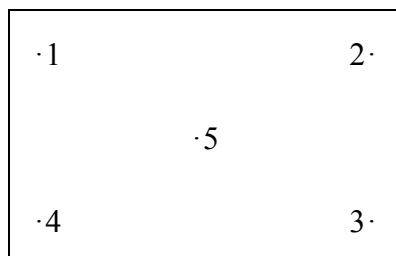


图 2. 传感器布点位置示意图

7.3.4 电砂浴预热

电砂浴加热装置应在 30min 内达到设定温度,之后 30min 内达到稳定状态。

7.3.5 温度校准记录

电砂浴加热装置达到设定温度并处于稳定状态后,开始校准并记录所有测量点温度,记录时间间隔为 2min,30min 内共记录 16 次数据,或根据设备运行状况和用户校准要求确定时间间隔和数据记录次数,并在原始记录和校准证书中说明。

7.4 数据处理

7.4.1 温度偏差

按下列公式计算电砂浴加热装置设定温度点的温度上偏差和温度下偏差:

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_N \quad (1)$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_N \quad (2)$$

式中:

Δt_{\max} ——温度上偏差, °C;

Δt_{\min} ——温度下偏差, °C;

t_{\max} ——5 个测量点在规定时间内 16 次测量的最高温度,即 80 个数据的最大值, °C;

t_{\min} ——5 个测量点在规定时间内 16 次测量的最低温度,即 80 个数据的最小值, °C;

t_N ——设备设定温度，℃。

7.4.2 温度均匀度

对于多个温度测试点，在 7.3.5 的 16 次测量中，取各个测试点在同一次测量中测得的最高温度和最低温度之差的平均值作为温度均匀度，计算公式如下：

$$\Delta t_u = \sum_{j=1}^n (t_{j\max} - t_{j\min}) / n \quad (3)$$

式中：

Δt_u ——温度均匀度，℃；

$t_{j\max}$ ——各测量点在第 j 次测得的最高温度， $j=1, 2, \dots, 16$ ，℃；

$t_{j\min}$ ——各测量点在第 j 次测得的最低温度， $j=1, 2, \dots, 16$ ，℃；

n ——测量次数， $n=16$ 。

7.4.3 温度波动度

在 7.3.5 的 16 次测量中，计算同一个测试点在 16 次测量中测得的最高温度和最低温度之差，（共 5 个测试点），取最大值者的一半，并冠以“±”号，作为温度波动度，计算公式如下：

$$\Delta t_r = \pm \max[(t_{i\max} - t_{i\min}) / 2] \quad (4)$$

式中：

Δt_r ——温度波动度，℃；

$t_{i\max}$ ——测试点 i 在 n 次测量中的最高温度， $i=1, 2, \dots, 5$ ，℃；

$t_{i\min}$ ——测试点 i 在 n 次测量中的最低温度， $i=1, 2, \dots, 5$ ，℃。

8 校准结果表达

经校准的电砂浴加热装置应出具校准证书，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) 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) 如果与校准结果的有效性和应用有关时, 应对被校样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 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

建议复校间隔时间为 1 年, 使用特别频繁时应适当缩短。凡在使用过程电沙浴加热装置的电热管、温度传感器、温度控制器等重要器件经过修理、更换的, 一般需要重新校准。

由于复校时间的长短由电沙浴加热装置的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸多因素决定, 因此用户可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

电砂浴加热装置校准记录参考格式

测量标准器名称:		型号:				
测量范围:		最大允许误差/ 准确度等级/ 测量不确定度				
溯源单位:		有效期至:				
标称温度值/℃		温度控制器设定值/℃				
测量点位置 次数	实测温度值/℃					
	1	2	3	4	5	$t_{jmax}-t_{jmin}$
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
$t_{Imax}-t_N$						——
$t_{imin}-t_N$						——
$t_{imax}-t_{imin}$						——
校准结果:						
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 ($U,k=2$):				

附录 B

电砂浴加热装置校准证书内页参考格式

校准点/℃	温度控制器 设定温度值/℃	校准结果/℃	扩展不确定度/℃ ($U, k=2$)
T1:		温度上偏差:	
		温度下偏差:	
		温度均匀度:	
		温度波动度:	
T2:		温度上偏差:	
		温度下偏差:	
		温度均匀度:	
		温度波动度:	
T3:		温度上偏差:	
		温度下偏差:	
		温度均匀度:	
		温度波动度:	

附录 C

电砂浴加热装置温度偏差校准不确定度评定示例

C.1 概述

被校对象：电砂浴加热装置，温度设定值 100℃，分辨力 0.1℃。

测量标准：智能温度采集仪（传感器为 A 级铂电阻），分辨力为 0.01℃，测量时带修正值使用，100℃时温度不确定度 $U=0.10^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。

按照 7.3.3 布设测量点，依据 7.3.5 记录温度测量结果，用公式 (C.1)、公式 (C.2) 计算温度偏差。

C.2 数学模型

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

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

式中：

Δt_{\max} ——温度上偏差，℃；

Δt_{\min} ——温度下偏差，℃；

t_{\max} ——各测试点在规定时间内 16 次测量的最高温度，℃；

t_{\min} ——各测试点在规定时间内 16 次测量的最低温度，℃；

t_N ——设备设定温度，℃。

由于公式 (C.1) 和公式 (C.2) 含义相似，因此以温度上偏差为例进行不确定度评定。

对公式 (C.1) t_{\max} 分量求偏导，得各分量的灵敏系数：

$$c_k = \frac{\partial \Delta t_{\max}}{\partial t_{\max}} = 1$$

C.3 标准不确定度分量评定

影响测量不确定度因素有：测量重复性、测量标准温度分辨力、测量标准温度修正值、测量传感器短期稳定性、电测仪表示值短期稳定性、温度设定值分辨力。

C.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

电砂浴加热装置校准标称温度设为 100 °C，重复 7.3.5 过程 3 次，按照 (C.1) 计算温度上偏差，分别为 +1.55 °C、+1.36 °C、+1.49 °C。

用极差法计算测量重复性公式如 (C.3)。

$$s(\Delta t_{\max}) = \frac{R}{C} \quad (\text{C.3})$$

式中：

$s(\Delta t_{\max})$ ——测量重复性；

R ——极差；

C ——极差系数，当重复测量次数为 3 次时， $C=1.69$ 。

测量重复性引入的标准不确定度分量如下：

$$u_1 = s(\Delta t_{\max}) = \frac{0.19^\circ\text{C}}{1.69} \approx 0.12^\circ\text{C}$$

C.3.2 测量标准器分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

测量标准器分辨力为 0.01 °C，不确定度区间半宽为 0.005 °C，按均匀分布处理，则分辨力引入的标准不确定度：

$$u_2 = 0.005^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.003^\circ\text{C}$$

C.3.3 测量标准器温度修正值引入的标准不确定度 u_3

由测量标准器的校准证书可知，其温度示值的校准结果扩展不确定度 $U=0.10^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。则测量标准器温度修正值引入的标准不确定度：

$$u_3 = 0.10^\circ\text{C} / 2 = 0.05^\circ\text{C}$$

C.3.4 测量传感器短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_4

A 级铂电阻在 (0~100) °C 的短期稳定性优于 5 mK (0.005 °C)，不确定度区间半宽为 0.0025 °C，按均匀分布处理，则测量传感器短期稳定性引入的标准不确定度：

$$u_4 = 0.0025^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.0014^\circ\text{C}$$

C.3.5 电测仪表示值短期稳定性引入的标准不确定度 u_5

电测仪表 30 min 内的稳定性优于 $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，不确定度区间半宽为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布处理，则电测仪表示值短期稳定性引入的标准不确定度：

$$u_5 = 0.01^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.0058^{\circ}\text{C}$$

C.3.6 温度设定值分辨力引入的标准不确定度 u_6

对数字设定的温度控制器，设定值偏差来源于设定值的分辨力。被检电砂浴加热装置温度设定值分辨力为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，不确定度区间半宽为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布处理，则温度设定值分辨力引入的标准不确定度：

$$u_6 = 0.05^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.029^{\circ}\text{C}$$

C.4 合成标准不确定度计算

序号	不确定度来源	符号	$u_i / ^{\circ}\text{C}$
1	测量重复性	u_1	0.12
2	测量标准温度分辨力	u_2	0.003
3	测量标准温度修正值	u_3	0.05
4	测量传感器短期稳定性	u_4	0.0014
5	电测仪表示值短期稳定性	u_5	0.0058
6	温度设定值分辨力	u_6	0.029

各分量灵敏系数 $c_k=1$ ，由于分量间互不相关，则温度上偏差合成标准不确定度 u_c 如下：

$$u_c = \sqrt{\sum_{k=1}^6 u_k^2} = 0.14^{\circ}\text{C}$$

C.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ， 100°C 校准点温度上偏差的校准结果扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.14^{\circ}\text{C} = 0.28^{\circ}\text{C}$$

附录 D

电砂浴加热装置温度均匀度校准不确定度评定示例

D.1 概述

被校对象：电砂浴加热装置，温度设定值 100℃，分辨力 0.1℃。

测量标准：智能温度采集仪（传感器为 A 级铂电阻），分辨力为 0.01℃，测量时带修正值使用，100℃时温度不确定度 $U=0.10^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。

按照 7.3.3 布设测量点，智能温度采集仪传感器距离电砂浴加热装置边缘 50mm，依据 7.3.5 记录温度测量结果，用公式 (D.1) 计算温度均匀度。

D.2 数学模型

$$\Delta t_u = \sum_{j=1}^n (t_{j\max} - t_{j\min}) / n = \bar{t}_{\max} - \bar{t}_{\min} \quad (\text{D.1})$$

式中：

Δt_u ——温度均匀度，℃；

$t_{j\max}$ ——各测试点在第 j 次测得的最高温度，℃；

$t_{j\min}$ ——各测试点在第 j 次测得的最低温度，℃；

n ——测量次数；

\bar{t}_{\max} —— n 次测量中 n 个最大值的平均值，℃；

\bar{t}_{\min} —— n 次测量中 n 个最小值的平均值，℃；

对公式 D.1 各分量求偏导，得各分量的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t_u}{\partial \bar{t}_{\max}} = 1, c_2 = \frac{\partial \Delta t_u}{\partial \bar{t}_{\min}} = -1$$

D.3 标准不确定度分量评定

影响 \bar{t}_{\max} 和 \bar{t}_{\min} 测量不确定度因素有：测量重复性、测量仪器不同通道示值的不一致性、测量标准温度分辨力、测量标准温度修正值。

D.3.1 输入量 \bar{t}_{\max} 引入的标准不确定度 u_1

D.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_{11}

电砂浴加热装置校准标称温度设为 100°C ，进行 16 次重复性测量，16 个最大值分别为，101.09、101.88、101.77、100.67、99.21、98.38、98.98、100.40、101.61、101.94、101.32、99.92、98.67、98.50、99.65、101.09，单位 $^{\circ}\text{C}$ 。

标准偏差 s 用公式 (D.2) 计算：

$$s(t_{\max}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{\max} - \bar{t}_{\max})^2}{n-1}} = 1.28^{\circ}\text{C} \quad (\text{D.2})$$

实际测量过程中 \bar{t}_{\max} 取 16 个最大值的平均值引入的标准不确定度分量：

$$u_{11} = \frac{s(t_{\max})}{\sqrt{n}} = 0.32^{\circ}\text{C}$$

D.3.1.2 测量仪器不同通道示值的不一致性引入的标准不确定度分量 u_{12}

由溯源证书可知，此次校准用的 5 个通道在 100°C 时的校准标准值分别为 100.05°C 、 100.01°C 、 100.00°C 、 100.08°C 、 99.98°C ，不一致性半宽为 0.05°C ，按均匀分布处理，不同通道示值不一致性引入的标准不确定度：

$$u_{12} = 0.05^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.03^{\circ}\text{C}$$

D.3.1.3 测量标准温度分辨力引入的标准不确定度 u_{13}

测量标准分辨力为 0.01°C ，区间半宽为 0.005°C ，按均匀分布处理，则测量标准分辨力引入的标准不确定度：

$$u_{13} = 0.005^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.003^{\circ}\text{C}$$

D3.1.4 测量标准温度修正值引入的不确定度分量 u_{14}

由溯源证书可知， 100°C 时扩展不确定度 $U=0.10^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ，实际取 16 个最大值的平均值，则测量标准温度修正值引入的不确定度为：

$$u_{14} = 0.10^{\circ}\text{C} / 2 / \sqrt{16} = 0.013^{\circ}\text{C}$$

D.3.2 输入量 \bar{t}_{\min} 引入的标准不确定度 u_2 D.3.2.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_{21}

电砂浴加热装置校准标称温度设为 100 °C，进行 16 次重复性测量，16 个最小值分别为，100.36、101.25、100.97、99.72、98.32、97.70、98.26、99.65、100.93、101.26、100.43、98.97、97.87、97.84、98.90、100.36，单位 °C。

标准偏差 s 用公式 (D.2) 计算：

$$s(t_{\min}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{\min} - \bar{t}_{\min})^2}{n-1}} = 1.29^{\circ}\text{C}$$

实际测量过程中 \bar{t}_{\max} 取 16 个最大值的平均值引入的标准不确定度分量：

$$u_{21} = \frac{s(t_{\min})}{\sqrt{n}} = 0.33^{\circ}\text{C}$$

D.3.2.2 测量仪器不同通道示值的不一致性引入的标准不确定度分量 u_{22}

不同通道示值不一致性引入的不确定度分量已经包含在其 u_{12} 中，因此不再重复计算，则认为： $u_{22} = 0.00^{\circ}\text{C}$

D.3.2.3 测量标准温度分辨力引入的标准不确定度 u_{23}

$$u_{23} = 0.005^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.003^{\circ}\text{C}$$

D.3.2.4 测量标准温度修正值引入的不确定度分量 u_{24}

$$u_{24} = 0.10^{\circ}\text{C} / 2 / \sqrt{15} = 0.013^{\circ}\text{C}$$

标准不确定度分量汇总表见表二：

序号	不确定度来源	符号	$u_i / ^{\circ}\text{C}$
1	输入量 \bar{t}_{\max}	u_1	0.33
1.1	测量重复性	u_{11}	0.32
1.2	不同通道示值不一致性	u_{12}	0.03
1.3	测量标准温度分辨力	u_{13}	0.003
1.4	测量标准温度修正值	u_{14}	0.013
2	输入量 \bar{t}_{\min}	u_2	0.33

2.1	测量重复性	u_{21}	0.33
2.2	不同通道示值不一致性	u_{22}	0.00
2.3	测量标准温度分辨力	u_{23}	0.003
2.4	测量标准温度修正值	u_{24}	0.013

D.4 合成标准不确定度计算

\bar{t}_{\max} 和 \bar{t}_{\min} 引入的标准不确定度分量分别为 u_1 、 u_2 ，其影响因素有些存在正相关（相互抵消而不考虑），有些不相关，则温度均匀度合成标准不确定度表示为：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.47^\circ\text{C}$$

D.5 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$ ，温度均匀度校准结果的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.47^\circ\text{C} \approx 1.0^\circ\text{C}$$

附录 E

电砂浴加热装置温度波动度校准不确定度评定示例

E.1 概述

被校对象：电砂浴加热装置，温度设定值 100℃，分辨力 0.1℃。

测量标准：智能温度采集仪（传感器为 A 级铂电阻），传感器时间常数为 15s，分辨力为 0.01℃，测量时带修正值使用，100℃时温度不确定度 $U=0.10^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。

按照 7.3.3 布设测量点，依据 7.3.5 记录温度测量结果，用公式 (E.1) 计算温度波动度。

E.2 数学模型

$$\Delta t_r = \max[(t_{i\max} - t_{i\min})/2] \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δt_r ——温度波动度，℃；

$t_{i\max}$ ——测试点 i 在 n 次测量中的最高温度，℃；

$t_{i\min}$ ——测试点 i 在 n 次测量中的最低温度，℃；

i ——测量点序号。

设： $\Delta t_i = t_{i\max} - t_{i\min}$ ， $i=1,2,\dots,5$ ，则公式 (E.1) 变换为公式 (E.2)。

$$\Delta t_r = \Delta t_i / 2 \quad (\text{E.2})$$

则：

$$c = \frac{\partial \Delta t_r}{\partial \Delta t_i} = \frac{1}{2} \quad (\text{E.3})$$

灵敏系数 $c=1/2$ 。

E.3 标准不确定度分量评定

影响电砂浴加热装置波动度测量不确定度因素有：测量重复性、测量标准温度分辨力、测量传感器时间常数、测量传感器短期稳定性、电测仪表示值短期稳定性。

测量标准温度修正值对同一个测量位置的最大值和最小值影响是一样的，可以互

相抵消，故评定时可不考虑测量标准温度修正值引入的不确定度。

E.3.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

电砂浴加热装置校准标称温度设为 100 °C，按照 7.3.5 进行 10 次重复性测量，计算每次测量的温度波动度，得到一组测量结果如下：

温度波动度 $\Delta t_i / ^\circ\text{C}$ ：1.19、1.19、1.21、1.25、1.24、1.15、1.19、1.24、1.24、1.22。

根据贝塞尔公式计算重复性引入的标准不确定度分量。

$$u_1 = s(\Delta t_i) = 0.032^\circ\text{C}$$

E.3.2 测量标准温度分辨力引入的标准不确定度分量 u_2

测量标准温度分辨力为 0.01 °C，不确定度区间半宽为 0.005 °C，按均匀分布处理，则分辨力引入的标准不确定度：

$$u_2 = 0.005^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.003^\circ\text{C}$$

E.3.3 测量传感器时间常数引入的标准不确定度 u_3

测量传感器时间常数为 15s，由于时间常数的"滤波"作用，使得 $t_{i\max}$ 测量结果比真实温度偏小，而 $t_{i\min}$ 测量结果比真实温度偏大。与时间常数很小的传感器同时测量比较，在极限情况下跟踪偏差小于 0.1 °C，按均匀分布处理，不确定度区间半宽为 0.05 °C，则测量传感器时间常数引入的标准不确定度：

$$u_3 = 0.05^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.029^\circ\text{C}$$

E.3.4 测量传感器短期稳定性引入的标准不确定度分量 u_4

A 级铂电阻在 (0~100) °C 的短期稳定性优于 5 mK (0.005 °C)，不确定度区间半宽为 0.0025 °C，按均匀分布处理，则测量传感器短期稳定性引入的标准不确定度：

$$u_4 = 0.0025^\circ\text{C} / \sqrt{3} = 0.0014^\circ\text{C}$$

E.3.5 电测仪表示值短期稳定性引入的标准不确定度 u_5

电测仪表 30 min 内的稳定性优于 0.02 °C，不确定度区间半宽为 0.01 °C，按均匀分布处理，则电测仪表示值短期稳定性引入的标准不确定度：

$$u_5 = 0.01^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.0058^{\circ}\text{C}$$

标准不确定度分量汇总表见表二：

序号	不确定度来源	符号	$u_i / ^{\circ}\text{C}$
1	测量重复性	u_1	0.032
2	测量标准温度分辨力	u_2	0.003
3	测量传感器时间常数	u_3	0.029
4	测量传感器短期稳定性	u_4	0.0014
5	电测仪表示值短期稳定性	u_5	0.0058

E.4 合成标准不确定度计算

合成标准不确定度 u_c 按下式计算

$$u_{\Delta t_i} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.044^{\circ}\text{C}$$

$$u_{\Delta t_r} = u_{\Delta t_i} / 2 = 0.022^{\circ}\text{C}$$

E.5 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$ ，温度波动度的校准结果扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c = 2 \times 0.022^{\circ}\text{C} \approx 0.05^{\circ}\text{C}$$