

福建省地方计量技术规范

JJF (闽) 1094—2018

电热恒温水浴锅校准规范

Calibration Specification for Electrically-heated
Thermostatic Water Bath

2018-11-05 发布

2019-02-05 实施

福建省质量技术监督局 发布

电热恒温水浴锅校准规范

Calibration Specification for
Electrically-heated Thermostatic
Water Bath

JJF (闽) 1094—2018

归口单位：福建省质量技术监督局

主要起草单位：三明市计量所

参加起草单位：泉州市计量所

厦门市计量检定测试院

常州市金坛大地自动化仪器厂

本规范委托起草单位负责解释

本规范主要起草人:

杨图强 (三明市计量所)

吴家平 (泉州市计量所)

张永东 (三明市计量所)

参加起草人:

郑 鹏 (厦门市计量检定测试院)

陈龙腾 (泉州市计量所)

万里钊 (常州市金坛大地自动化仪器厂)

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)
5.1 温度偏差.....	(2)
5.2 温度波动度.....	(2)
5.3 温度均匀度.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 负载条件.....	(2)
6.3 测量标准.....	(2)
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.....	(5)
8 校准结果表达.....	(6)
9 复校时间间隔.....	(7)
附录 A 水浴锅校准记录参考格式.....	(8)
附录 B 水浴锅校准结果参考格式.....	(10)
附录 C 水浴锅温度偏差测量结果不确定度评定示例.....	(11)
附录 D 水浴锅温度波动度测量结果不确定度评定示例.....	(15)
附录 E 水浴锅温度均匀度测量结果不确定度评定示例.....	(19)

引 言

本规范按照 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、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制定。

本规范主要参照 GB/T 5170.1—2016《电工电子产品环境试验设备检验方法 第1部分：总则》和 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》编制而成。

本规范为首次制定。

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)℃电热恒温水浴锅和电热恒温水箱(以下简称水浴锅)计量性能的校准,其他范围的类似设备也可参照本规范。

2 引用文件

本规范引用了下列文件:

GB/T 5170.1—2016 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

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 术语和计量单位

下列术语和定义适用于本规范。

3.1 工作空间 working space

能将规定的温度性能保持在规定偏差范围内的那部分空间。

3.2 稳定状态 steady state

工作空间内任意点的温度变化量达到测试设备本身性能指标要求时的状态。

3.3 标称温度 nominal temperature

根据使用或方法要求,要求的水浴锅目标温度。

注:一般将温控器设定为标称温度,但只有在理想情况下,标称温度、温控器设定值、设备温度示值三者才相等。

3.4 温度偏差 temperature deviation

稳定状态下,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标称温度的上下偏差,分别称为温度上偏差和温度下偏差。

3.5 温度波动度 temperature fluctuation

稳定状态下,在规定的时间内,工作空间任意一点温度随时间的变化量。

3.6 温度均匀度 temperature uniformity

稳定状态下,工作空间在某一瞬时任意两点温度之间的最大差值。

4 概述

水浴锅通常由水槽、管状加热器、托架、电器箱、放水管等组成，根据试验需要设定温度，通过电器箱内的温度控制器控制温度，主要用于干燥、浓缩、蒸馏、浸渍化学试剂，也可用于水浴恒温加热和其他温度试验。水浴锅工作空间的试验物品放置形式分为有孔和无孔两种结构，有孔的又分为简单单孔、单列多孔和双列多孔等形式。

5 计量特性

5.1 温度偏差

应满足用户实际使用要求或不超过 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.2 温度波动度

应满足用户实际使用要求或不超过 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.3 温度均匀度

应满足用户实际使用要求或不超过 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6 校准条件

6.1 环境条件

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

6.1.2 相对湿度：不大于 85% 。

6.1.3 其它条件：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，环境条件还应满足测量标准正常使用的要求。

6.2 负载条件

一般在空载条件下校准，根据用户需要可以在负载条件下进行校准，但应说明负载的情况。

6.3 测量标准

温度测量标准一般由温度传感器和温度显示/记录仪构成。

6.3.1 温度传感器

传感器宜选用防水式四线制铂电阻，准确度等级不低于A级。温度传感器的感温部分应尽量小，在静态水中的时间常数应小于 15 s 。

6.3.2 温度显示/记录仪

温度显示/记录仪应满足以下要求:

- 通道数: 满足实际布点要求;
- 测量范围: (0~100) °C;
- 最大允许误差: ± 0.05 °C;
- 分辨力: 不低于 0.01 °C;
- 稳定性: 0.02 °C/30 min;
- 其他: 一般应具有 PC 机通讯接口和软件, 导出测量数据。

注:

- 1 测量标准温度测量范围为一般要求, 使用中以能覆盖被校水浴锅实际校准范围为准。
- 2 测量标准的整体指标应满足最大允许误差 $\pm (0.15^\circ\text{C} + 0.002t)$, t 为测量温度 (°C)。
- 3 各通道的测量结果应含修正值。

6.3.3 校准时可选用上述测量标准, 也可以选用校准不确定度符合要求的测量装置。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

温度偏差、温度波动度、温度均匀度。

7.2 外观检查

用目测的方法进行检查。水浴锅的外观结构应完好, 附件、备件齐全; 铭牌上应有产品名称、规格型号、出厂编号、制造厂、电源电压、控温范围; 内胆注水后无漏水现象, 出口不应有堵塞及渗水现象; 指针式或数字式温控器能正常调节温度, 控温系统工作正常。

7.3 校准方法

7.3.1 校准温度的选择

校准温度点一般应选择设备使用范围的上限、下限及中间点, 也可根据客户要求选择实际常用的温度点。

7.3.2 传感器布点位置

7.3.2.1 有孔结构的水浴锅传感器布点位置

温度传感器置于每个孔对应的工作空间的几何中心。例如图 1、图 2、图 3、图 4 所示。

7.3.2.2 无孔结构的水浴锅传感器布点位置

在工作空间的几何中心(5)以及距工作内胆壁不小于各边边长 1/10 的左上、右上、右下、左下四个点为测温点 (1、2、3、4)，如图 5 所示。亦可根据实际工作区域进行布点。

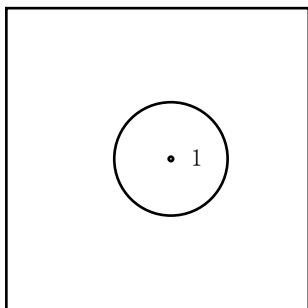


图 1 单孔布点

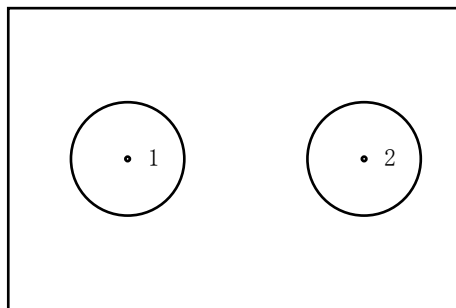


图 2 两孔布点

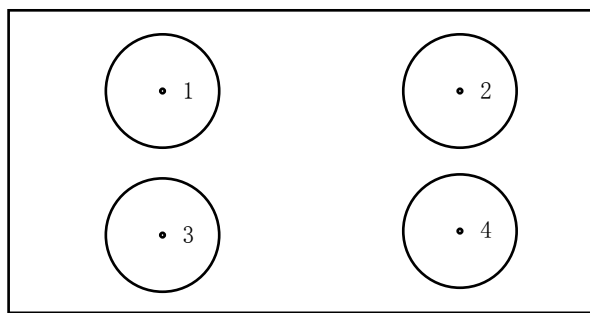


图 3 四孔布点

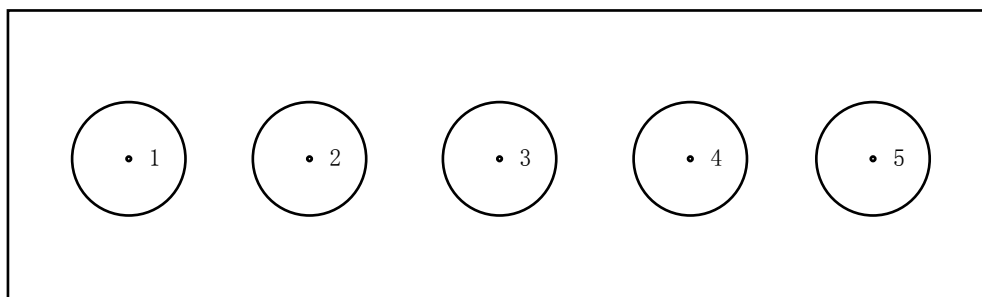


图 4 五孔布点

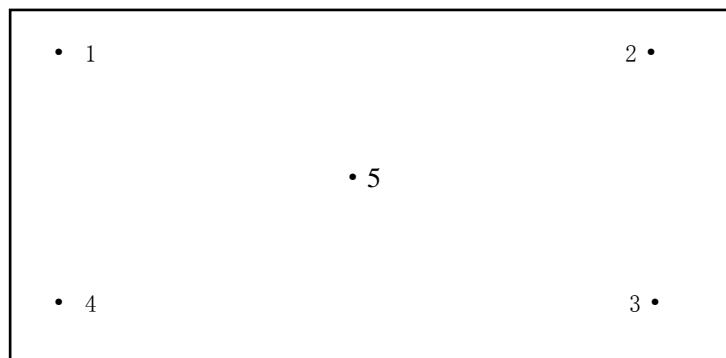


图 5 无孔结构布点

7.3.3 温度的校准

校准通常在空载状态下进行。校准前应确认水位正常,按 7.3.2.1 或 7.3.2.2 布放温度传感器,注意使传感器有合适的浸没深度,将水浴锅的温度控制器设定到所需校准的温度,使水浴锅的温度示值稳定在标称温度上或围绕着标称温度作上下变化的稳定状态。待稳定 10 min 或水浴锅使用说明书规定的时间后开始读数,每 2 min 至少记录所有测试点的温度值一次,在 30 min 内共记录 n 次(至少 15 次)。亦可根据用户校准需求确定时间间隔和记录数据,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,或是为了取得较好的校准结果,可以对温度控制器进行相应的调整,包括设定值、传感器修正值、控制参数或自整定等,调整应给予记录并在校准证书中体现。

7.4 数据处理

7.4.1 温度偏差

按下列公式计算各测试点 i 的温度上偏差和温度下偏差。

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

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

式中:

$\Delta t_{i\max}$ ——测试点 i 的温度上偏差, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta t_{i\min}$ ——测试点 i 的温度下偏差, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{i\max}$ ——测试点 i 在规定时间内 n 次测量的最高温度, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{i\min}$ ——测试点 i 在规定时间内 n 次测量的最低温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_N ——校准标称温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

取所有测试点中, $\Delta t_{i\max}$ 和 $\Delta t_{i\min}$ 绝对值最大者作为水浴锅的温度上偏差和温度下偏差。

7.4.2 温度波动度

在 7.3.3 的 n 次测量中,计算同一个测试点在 n 次测量中测得的最高温度和最低温度之差(共 i 个),取最大值者的一半,并冠以“ \pm ”号,作为温度波动度。

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

式中:

Δt_f ——温度波动度, °C;

$t_{i\max}$ ——测试点 i 在 n 次测量中的最高温度, °C;

$t_{i\min}$ ——测试点 i 在 n 次测量中的最低温度, °C。

7.4.3 温度均匀度

单孔或只布置一个传感器的设备, 没有本校准项目。

对于多个温度测试点, 在 7.3.3 的 n 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 (共 n 个) 的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, °C;

$t_{j\max}$ ——各测试点在第 j 次测得的最高温度, °C;

$t_{j\min}$ ——各测试点在第 j 次测得的最低温度, °C;

n ——测量次数。

8 校准结果表达

经校准的水浴锅出具校准证书, 校准证书至少应包括以下信息:

- a) 标题, 如“校准证书”;
- b) 实验室的名称和地址;
- c) 实施实验室活动的地点, 包括客户设施、实验室固定设施以外的地点;
- d) 证书的唯一性标识 (如编号), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和联络信息;
- f) 所用方法的识别;
- g) 被校对象的描述、明确的标识;
- h) 被校对象的接收日期;
- i) 实施实验室活动的日期;
- j) 报告的发布日期;
- k) 结果仅与被校准对象有关的声明;

- l) 结果, 适当时, 带有计量单位;
 - m) 校准证书批准人的签名;
 - n) 未经校准实验室书面批准, 不得部分复制校准证书的声明。
- 校准记录参考格式见附录 A, 校准结果参考格式见附录 B。

9 复校时间间隔

复校时间间隔的长短取决于其使用情况, 使用单位可根据实际使用情况自主决定复校的时间, 建议复校时间间隔为 1 年。

附录 A

水浴锅校准记录参考格式

表 A.1 水浴锅校准记录

送校单位				记录编号						
委托者地址										
样品	名称			型号规格						
	制造厂			出厂编号						
标准器	名称	型号/规格	仪器编号	技术特征	证书编号	有效期				
技术依据		JJF (闽) ××××-××××, 电热恒温水浴锅校准规范								
校准地点		温度: °C		相对湿度: %						
校准日期				证书编号						
校准员				核验员						
外观检查:										
标称温度值:				温控器设定值:						
测试点 次数		实测温度值/°C								
		1	2	3	4	5	6	7	8	$t_{jmax} - t_{jmin}$
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

表 A.1 (续)

测试点 次数	实测温度值/°C								
	1	2	3	4	5	6	7	8	$t_{jmax} - t_{jmin}$
11									
12									
13									
14									
15									
$(t_{imax} - t_N) / ^\circ\text{C}$									—
$(t_{imin} - t_N) / ^\circ\text{C}$									—
$(t_{imax} - t_{imin}) / ^\circ\text{C}$									—
校准结果:									
温度上偏差:			温度下偏差:			扩展不确定度 ($U, k=2$):			
温度波动度:			扩展不确定度 ($U, k=2$):						
温度均匀度:			扩展不确定度 ($U, k=2$):						
传感器布点示意图									

附录 B

水浴锅校准结果参考格式

表B.1 水浴锅校准结果

标称温度值:		温控器设定值:	
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	温度波动度		
4	温度均匀度		
传感器布点示意图:			

附录 C

水浴锅温度偏差测量结果不确定度评定 (示例)

C.1 概述

以单列单孔制电热恒温水浴锅为例,按照图 1 布设测量点,采用直接测量法进行测量。评定依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》。

测量标准:温湿度试验设备自动检定系统,温度指示分辨力为 0.01 °C;测量时带修正值使用,温度修正值扩展不确定度 $U=0.06$ °C, $k=2$ 。

C.2 测量模型

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

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

式中:

$\Delta t_{i\max}$ ——温度上偏差, °C;

$\Delta t_{i\min}$ ——温度下偏差, °C;

$t_{i\max}$ ——测试点 i 在规定时间内 n 次测量的最高温度, °C;

$t_{i\min}$ ——测试点 i 在规定时间内 n 次测量的最低温度, °C;

t_N ——校准标称温度, °C。

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

对公式 (C.1) $t_{i\max}$ 分量求偏导,得各分量灵敏系数:

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

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方差 u_c^2 表示为:

$$u_c^2 = \sum_{k=1}^6 u_k^2$$

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

水浴锅校准标称温度设为 50 °C，进行重复性测量，共计 15 组，记录每组测量的最大值为 t_1, t_2, \dots, t_{15} ，测量结果如表 C.1 所示。

表 C.1 测量结果

k (次数)	$t_k/^\circ\text{C}$	k (次数)	$t_k/^\circ\text{C}$	k (次数)	$t_k/^\circ\text{C}$
1	50.05	6	50.02	11	50.22
2	50.35	7	50.34	12	50.27
3	50.01	8	50.29	13	50.28
4	50.01	9	50.31	14	50.11
5	50.03	10	50.22	15	50.29

根据公式 (C.3) 计算重复性引入的标准不确定度分量。

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{15} (t_k - \bar{t})^2}{15 \times (15 - 1)}} \quad (\text{C.3})$$

式中：

u_1 ——测量重复性引入的标准不确定度；

t_k ——第 k 次实测值；

\bar{t} ——测量平均值。

测量重复性引入的标准不确定度：

$$u_1 = 0.034 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.3.2 测量标准温度分辨力引入的标准不确定度 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：

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

C.3.3 测量标准温度修正值引入的标准不确定度 u_3

由测量标准的校准证书可知，其温度示值的校准结果扩展不确定度

$U=0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$, $k=2$ 。则测量标准温度修正值引入的标准不确定度:

$$u_3=0.06^{\circ}\text{C}/2=0.03\text{ }^{\circ}\text{C}$$

C.3.4 测量传感器短期稳定性引入的标准不确定度 u_4

根据经验, A 级铂电阻在 $(0\sim 100)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的短期稳定性优于 $5\text{ mK}(0.005\text{ }^{\circ}\text{C})$, 不确定度区间半宽为 $0.0025\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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:

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

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:

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

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。被检水浴锅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:

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

当测量重复性引入的不确定度分量大于被校准仪器的分辨力所引入的不确定分量时, 不再考虑分辨力所引入不确定度分量。

标准不确定度分量汇总表见表 C.2。

表 C.2 温度上偏差校准结果标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	符号	u_i ($^{\circ}\text{C}$)
1	测量重复性	u_1	0.034
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	0.03
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	—

C.4 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u_c 按下式计算:

$$u_c = \sqrt{\sum_{k=1}^6 u_k^2} = 0.046 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.5 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$, 温度上偏差的校准结果扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

C.6 结果及其不确定度报告

水浴锅温度上偏差为: $\Delta t_{\text{imax}} = +0.35 \text{ } ^\circ\text{C}$, 温度上偏差的校准结果扩展不确定度: $U=0.10 \text{ } ^\circ\text{C}$, $k=2$ 。

附录 D

水浴锅温度波动度测量结果不确定度评定 (示例)

D.1 概述

以单列单孔制电热恒温水浴锅为例,按照图 1 布设测量点,采用直接测量法进行测量。评定依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》。

测量标准:温湿度试验设备自动检定系统,温度指示分辨力为 0.01 °C;测量时带修正值使用,温度修正值扩展不确定度 $U=0.06$ °C, $k=2$;传感器时间常数为 15 s。

D.2 测量模型

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

式中:

Δt_f ——温度波动度, °C;

$t_{i_{\max}}$ ——测试点 i 在 n 次测量中的最高温度, °C;

$t_{i_{\min}}$ ——测试点 i 在 n 次测量中的最低温度, °C。

对公式 (D.1) 各分量求偏导,得到各分量的灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial \Delta t_f}{\partial t_{i_{\max}}} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta t_f}{\partial t_{i_{\min}}} = -1$$

设 $t_{i_{\max}}$ 和 $t_{i_{\min}}$ 引入的标准不确定度分量分别为 u_1 和 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, 则温度波动度合成标准不确定度方差 u_c^2 表示为:

$$u_c^2 = u^2(t_{i_{\max}}) + u^2(t_{i_{\min}}) = u_1^2 + u_2^2$$

D.3 标准不确定度分量评定

影响 $t_{i_{\max}}$ 和 $t_{i_{\min}}$ 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。

D. 3. 1 输入量 t_{imax} 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}

水浴锅校准标称温度设为 50 °C, 进行重复性测量, 共计 15 组, 记录每组测量的最大值为 t_1, t_2, \dots, t_{15} , 测量结果如表 D. 1 所示。

表 D. 1 测量结果

k (次数)	$t_k/^\circ\text{C}$	k (次数)	$t_k/^\circ\text{C}$	k (次数)	$t_k/^\circ\text{C}$
1	49.96	6	49.93	11	50.13
2	50.11	7	50.15	12	50.12
3	49.98	8	50.02	13	50.07
4	49.85	9	50.10	14	50.05
5	50.07	10	50.10	15	50.06

根据公式 (D. 2) 计算重复性引入的标准不确定度分量。

$$u_{11} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{15} (t_k - \bar{t})^2}{15 \times (15-1)}} \quad (\text{D. 2})$$

式中:

u_{11} ——测量重复性引入的标准不确定度;

t_k ——第 k 次实测值;

\bar{t} ——测量平均值。

测量重复性引入的标准不确定度:

$$u_{11}=0.022 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D. 3. 1. 2 测量标准温度分辨力引入的标准不确定度 u_{12}

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:

$$u_{12}=0.005^\circ\text{C} / \sqrt{3}=0.003 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D. 3. 1. 3 测量传感器时间常数引入的标准不确定度 u_{13}

测量传感器时间常数为 15 s, 由于时间常数的“滤波”作用, 使得 t_{imax} 测量结果比真实温度偏小、而 t_{imin} 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 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, 按均匀分布处理, 不确定度区间半宽为 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$, 则测量传感器时间常数引入的标准不确定度:

$$u_{13}=0.05^{\circ}\text{C}/\sqrt{3}=0.029\text{ }^{\circ}\text{C}$$

D. 3. 1. 4 测量传感器短期稳定性引入的标准不确定度 u_{14}

根据经验, A 级铂电阻在 $(0\sim 100)^{\circ}\text{C}$ 的短期稳定性优于 5 mK ($0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$), 不确定度区间半宽为 $0.0025\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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:

$$u_{14}=0.0025^{\circ}\text{C}/\sqrt{3}=0.0014\text{ }^{\circ}\text{C}$$

D. 3. 1. 5 电测仪表示值短期稳定性引入的标准不确定度 u_{15}

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:

$$u_{15}=0.01^{\circ}\text{C}/\sqrt{3}=0.0058\text{ }^{\circ}\text{C}$$

D. 3. 2 输入量 $t_{i\text{min}}$ 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}

$$u_{21}=0.022\text{ }^{\circ}\text{C}$$

D. 3. 2. 2 测量标准温度分辨力引入的标准不确定度 u_{22}

$$u_{22}=0.003\text{ }^{\circ}\text{C}$$

D. 3. 2. 3 测量传感器时间常数引入的标准不确定度 u_{23}

$$u_{23}=0.029\text{ }^{\circ}\text{C}$$

D. 3. 2. 4 测量传感器短期稳定性引入的标准不确定度 u_{24}

$$u_{24}=0.0014\text{ }^{\circ}\text{C}$$

D. 3. 2. 5 电测仪表示值短期稳定性引入的标准不确定度 u_{25}

$$u_{25}=0.0058\text{ }^{\circ}\text{C}$$

标准不确定度分量汇总表见表 D. 2。

表 D. 2 温度波动度校准结果标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	符号	u_i ($^{\circ}\text{C}$)
1	输入量 $t_{i\text{max}}$	u_1	0.037
1.1	测量重复性	u_{11}	0.022

表 D.2 (续)

1.2	测量标准温度分辨力	u_{12}	0.003
1.3	测量传感器时间常数	u_{13}	0.029
1.4	测量传感器短期稳定性	u_{14}	0.0014
1.5	电测仪表示值短期稳定性	u_{15}	0.0058
2	输入量 t_{min}	u_2	0.037
2.1	测量重复性	u_{21}	0.022
2.2	测量标准温度分辨力	u_{22}	0.003
2.3	测量传感器时间常数	u_{23}	0.029
2.4	测量传感器短期稳定性	u_{24}	0.0014
2.5	电测仪表示值短期稳定性	u_{25}	0.0058

D.4 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u_c 按下式计算:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.052 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D.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:

$$U = k \times u_c = 0.11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

D.6 结果及其不确定度报告

水浴锅温度波动度为: $\Delta t_f = \pm 0.23 \text{ } ^\circ\text{C}$, 温度波动度的校准结果扩展不确定度: $U = 0.11 \text{ } ^\circ\text{C}$, $k=2$ 。

附录 E

水浴锅温度均匀度测量结果不确定度评定 (示例)

E.1 概述

以无孔结构的水浴锅为例,按照图 5 布设测量点,采用直接测量法进行测量。评定依据 JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》。

测量标准:温湿度试验设备自动检定系统,温度指示分辨力为 0.01 °C;测量时带修正值使用,温度修正值扩展不确定度 $U=0.06$ °C, $k=2$ 。

E.2 测量模型

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

式中:

Δt_u —— 温度均匀度, °C;

$t_{j\max}$ —— 各测试点在 j 次测量中的最高温度, °C;

$t_{j\min}$ —— 各测试点在 j 次测量中的最低温度, °C;

n —— 测量次数;

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

\bar{t}_{\min} —— n 次测量中的 n 个最小值的平均值, °C。

对公式 (E.1) 各分量求偏导,得到各分量的灵敏系数:

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

设 \bar{t}_{\max} 和 \bar{t}_{\min} 引入的标准不确定度分量分别为 u_1 和 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方差 u_c^2 表示为:

$$u_c^2 = u^2(\bar{t}_{\max}) + u^2(\bar{t}_{\min}) = u_1^2 + u_2^2$$

E.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。

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

E.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_{11}

水浴锅校准标称温度设为 50 °C，进行重复性测量，共计 15 次，其测量结果如表 E.1 所示。采用合并样本标准偏差的计算公式得：

$$u_{11}=0.057 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.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 u_{12}

由上级计量部门提供的证书可知，此次校准所用的五个通道在 50 °C 时的校准示值分别为 49.95 °C、50.15 °C、49.95 °C、49.99 °C、50.00 °C，不确定度半宽为 0.10 °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：

$$u_{12}=0.10^\circ\text{C}/\sqrt{3}=0.058 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.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，则测量标准温度分辨力引入的标准不确定度：

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

E.3.1.4 测量标准温度修正值引入的标准不确定度 u_{14}

由测量标准的校准证书可知，其温度示值的校准结果扩展不确定度 $U=0.06 \text{ } ^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，实际取 15 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：

$$u_{14}=0.06^\circ\text{C}/2/\sqrt{15}=0.008 \text{ } ^\circ\text{C}$$

表 E.1 测量结果

i (次数)	5	1	2	3	4
1	49.76	50.15	50.13	49.67	49.63
2	49.76	50.13	50.13	49.66	49.59
3	49.72	50.16	50.13	49.66	49.58
4	49.74	50.14	50.11	49.64	49.58
5	49.75	50.13	50.11	49.62	49.56

表 E.1 (续)

6	49.73	50.13	50.11	49.61	49.61
7	49.73	50.13	50.11	49.62	49.61
8	49.74	50.14	50.16	49.62	49.6
9	49.73	50.13	50.14	49.63	49.63
10	49.74	50.12	50.14	49.64	49.63
11	49.73	50.1	50.12	49.65	49.66
12	49.72	50.07	50.06	49.64	49.63
13	49.69	50.06	50.06	49.61	49.62
14	49.69	50.04	50.02	49.6	49.62
15	49.68	50.06	50.06	49.62	49.64

E.3.2 输入量 \bar{t}_{\min} 引入的标准不确定度 u_2

E.3.2.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_{21}

$$u_{21}=0.057 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.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 u_{22}

不同通道示值不一致性的影响已包含在 \bar{t}_{\max} 的 u_{12} 分量中, 因此不再重复计算, 即认为:

$$u_{22}=0.000 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.3.2.3 测量标准温度分辨力引入的标准不确定度 u_{23}

$$u_{23}=0.003 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.3.2.4 测量标准温度修正值引入的标准不确定度 u_{24}

$$u_{24}=0.008 \text{ } ^\circ\text{C}$$

标准不确定度分量汇总表见表 E.2。

表 E.2 温度均匀度校准结果标准不确定度分量汇总表

序号	不确定度来源	符号	u_i ($^\circ\text{C}$)
1	输入量 \bar{t}_{\max}	u_1	0.082
1.1	测量重复性	u_{11}	0.057

表 E.2 (续)

1.2	不同通道示值的不一致性	u_{12}	0.058
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}	0.008
2	输入量 \bar{t}_{\min}	u_2	0.058
2.1	测量重复性	u_{21}	0.057
2.2	不同通道示值的不一致性	u_{22}	0.000
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}	0.008

E.4 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 u_c 按下式计算:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.5 扩展不确定度的确定

取包含因子 $k=2$, 温度均匀度的校准结果扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

E.6 结果及其不确定度报告

水浴锅温度均匀度为: $\Delta t_0=0.51 \text{ } ^\circ\text{C}$, 温度均匀度的校准结果扩展不确定度:
 $U= 0.20 \text{ } ^\circ\text{C}$, $k=2$ 。