湖北省地方计量校准规范

JJF（鄂）xxxx—2022

恒温水浴设备校准规范

Calibration Specification for Equipment of

Thermostatic Water Bath

2022-12-XX 发布　　2023-01-XX 实施

湖北省市场监督管理局　发　布

恒温水浴设备校准规范

Calibration Specification for Equipment of Thermostatic Water Bath

JJF（鄂）xxxx—2022

归 口 单 位： 湖北省市场监督管理局

主要起草单位： 黄石市计量检定测试所

参加起草单位： 湖北省计量测试技术研究院荆门分院

宜昌市计量检定测试所

黄石市恒丰医疗器械有限公司

本规范委托湖北省黄石市计量检定测试所负责解释

本规范主要起草人：

郑　昊（黄石市计量检定测试所）

曾巧巧（黄石市计量检定测试所）

董开元（黄石市计量检定测试所）

杨宗周（湖北省计量测试技术研究院荆门分院）

本规范参加起草人：

袁虹伟（黄石市计量检定测试所）

黄　敏（宜昌市计量检定测试所）

方锡川（黄石市恒丰医疗器械有限公司）

目　　录

引　言……（Ⅱ）
1　范围……（1）
2　引用文件……（1）
3　术语……（1）
4　概述……（2）
5　计量特性……（3）
6　校准条件……（3）
6.1　环境条件……（3）
6.2　负载条件……（4）
6.3　测量标准及其他设备……（4）
7　校准项目和校准方法……（5）
7.1　校准项目……（5）
7.2　校准前准备工作……（5）
7.3　校准方法……（6）
8　校准结果表达……（10）
9　复校时间间隔……（11）
附录 A　校准记录参考格式……（12）
附录 B　校准结果参考格式……（16）
附录 C　恒温水浴设备中心点设定温度误差测量不确定度评定示例……（17）
附录 D　恒温水浴设备中心点显示温度误差测量不确定度评定示例……（20）
附录 E　温度传感器固定支架技术要求……（25）

引　言

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》共同构成支撑本规范编制工作的基础性系列规范。

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》、GB/T 5170.2—2017 《环境试验设备检验方法 第2部分：温度试验设备》、JJF 1030—2010《恒温槽技术性能测试规范》、JJF 1101—2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》和 JJF 2019—2022 《液体恒温试验设备温度性能测试规范》等国家标准和校准规范，同时结合国内恒温水浴设备生产厂家质量控制现状进行编制。

本规范为首次发布。

恒温水浴设备校准规范

1 范围

本规范适用于温度范围为（0~100）℃的恒温水浴设备温度参数的校准，其他类似设备可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1030—2010 恒温槽技术性能测试规范

JJF 1101—2019 环境试验设备温度、湿度参数校准规范

JJF 2019—2022 液体恒温试验设备温度性能测试规范

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—2017 环境试验设备检验方法 第2部分：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

GB/T 5170.1—2016 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 工作空间 working space

恒温水浴设备中能将规定的试验条件保持在规定偏差范围内的那部分空间。

[GB/T 5170.1—2016，定义3.2.2]

3.2 稳定状态 steady state

恒温水浴设备工作空间内，任意点的温度变化量达到其本身性能指标要求时的状态。

[GB/T 5170.1—2016，定义3.2.3]

3.3 设定温度 preset temperature

根据校准方法或使用需求，恒温水浴设备预先设定的目标温度。

3.4 中心点实测温度 actual temperature of center point

在工作空间内，中心点温度传感器多次测得的平均温度。

3.5 中心点设定温度误差 preset temperature error of center point

在工作空间内，设定温度与中心点实测温度之差。

3.6 中心点显示温度误差 display temperature error of center point

在工作空间内，显示温度与中心点实测温度之差。

3.7 温度偏差 temperature deviation

恒温水浴设备稳定状态下,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设定温度的上下偏差。温度偏差包含温度上偏差和温度下偏差。

[GB/ T5170.1—2016，定义3.2.4]

3.8 温度波动度 temperature fluctuation

恒温水浴设备稳定状态下，在规定的时间间隔内，工作空间内任意一点温度随时间的变化量。

[GB/T 5170.1—2016，定义3.2.6]

3.9 温度均匀度 temperature uniformity

恒温水浴设备稳定状态下，工作空间内，某一瞬时任意两点温度之间的最大差值。

[GB/T 5170.1—2016，定义3.2.8]

4 概述

恒温水浴设备是一种通过电加热（制冷）提供稳定水浴温度的设备，主要用于浸渍化学试剂、药品及生物制剂，浓缩蒸馏等，是生物遗传、病毒、水产、环保、医药

卫生、生化实验室的重要工具。其工作原理是由温度传感器将水温信号转换为电阻值，经过集成放大器的放大、比较后，有效地控制加热器（制冷机），使水浴容器内的水保持恒温。其结构通常由电器箱、水浴容器、加热器（制冷机）等组成，根据其工作空间试验物品放置形式分为有孔和无孔两种结构，有孔又分为单列单孔、单列多孔和多列多孔等形式。

5 计量特性

恒温水浴设备的温度性能包括中心点设定温度误差、中心点显示温度误差、温度偏差、温度波动度、温度均匀度，其温度性能技术要求见表 1。

表 1 恒温水浴设备的温度性能技术要求

项目	技术要求
中心点设定温度误差	±2.0℃
中心点显示温度误差	±2.0℃
温度偏差	±2.0℃
温度波动度	0.5℃
温度均匀度	0.5℃
注：以上技术要求不用于合格性判定，仅供参考。	

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度：(15~35)℃；

相对湿度：≤85%。

其它条件：恒温水浴设备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 测量标准及其他设备

6.3.1 温度测量标准装置

温度测量标准装置一般应选用多通道温度测量装置，温度传感器宜选用四线制铂电阻温度计，且需达到防水要求，并能满足校准工作的需求，见表 2。

表 2 温度测量标准装置技术要求

名称	测量范围	分辨力	最大允许误差
温度测量标准装置	(0~100)℃	不低于 0.01℃	MPE： ±(0.15℃+0.002*t*) *t* 为测量温度(℃)
注： 1 测量标准技术要求包含温度传感器和采集设备的整体指标； 2 各通道的测量结果应含修正值； 3 校准时可以选用符合技术要求的其他测量标准。			

6.3.2 其他设备技术要求

其他设备包括钢卷尺、秒表和温度传感器固定支架，分别用作校准中测量长度、计时和温度传感器的布点，其要求见表 3。

表 3 其他设备技术要求

序号	名称	测量范围	技术要求
1	钢卷尺	(0~5) m	准确度等级：Ⅱ级
2	秒表	≥24 h	MPE：±0.1 s/h
3	温度传感器固定支架	/	见附录 E

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 4。

表 4 恒温水浴设备校准项目

校准项目	方法	有孔结构		无孔结构
		单孔	多孔	
中心点设定温度误	7.3.3	+	+	+
中心点显示温度误	7.3.4	+	+	+
温度偏差	7.3.5	+	+	+
温度波动度	7.3.6	+	+	+
温度均匀度	7.3.7	—	+	+
注：“+”表示应校准，“—”表示不校准。				

7.2 校准前准备工作

7.2.1 校准前，温度测量标准装置应预热 20 min 以上或满足使用说明书相应要求，恒温水浴设备加水至工作水位，并处于空载状态。

7.2.2 外观检查

恒温水浴设备应符合以下要求：

a) 恒温水浴设备的外观结构应完好，附件、备件齐全；

b) 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；

c) 检查设备的接线端子，保证设备可正常工作；

d) 内胆中注水，检查无漏水现象、出口无堵塞及渗水现象；

e) 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 温度校准点的选择

温度校准点一般根据恒温水浴设备使用范围的下限、上限和中间点或者根据客户实际需求选择温度点。无制冷功能的恒温水浴设备，温度校准点应大于环境温度5 ℃。

7.3.2 温度传感器位置

温度传感器位置为恒温水浴设备校准时的测量点，应根据其设备结构及工作空间进行合理布置。

7.3.2.1 有孔结构的恒温水浴设备布点位置

对于有孔结构的恒温水浴设备，温度传感器置于每个孔对应工作空间的几何中心，单列单孔、单列多孔、多列多孔典型布点方法见图1、图2、图3。

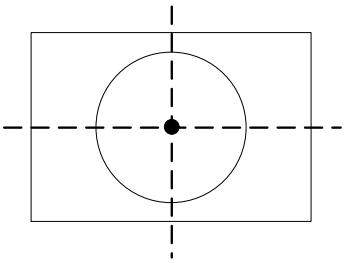

图 1 单列单孔布点

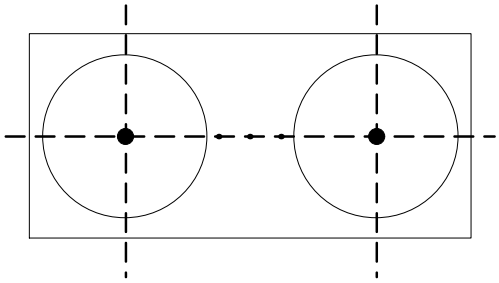

图 2 单列多孔布点

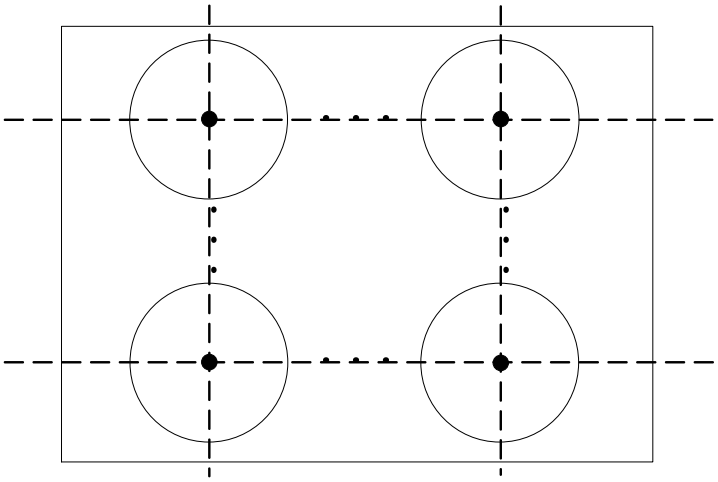

图 3 多列多孔布点

7.3.2.2 无孔结构的恒温水浴设备布点位置

对于无孔结构的恒温水浴设备，温度传感器布置在工作空间几何中心，并向四周均匀分布，其四周布点距工作空间内壁不小于各边边长的 1/10，可以根据不同恒温水浴设备的工作空间选择合适的位置和数量，典型布点方法见图 4、图 5、图 6、图 7。

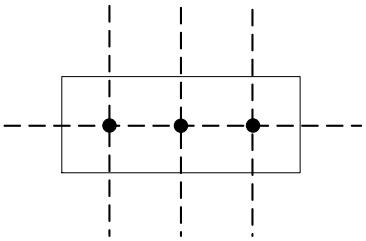

图 4 平面三点测量布点

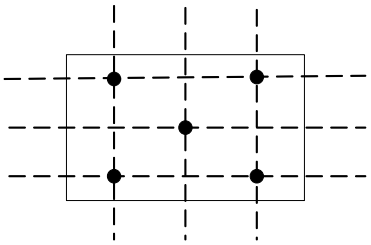

图 5 平面五点测量布点

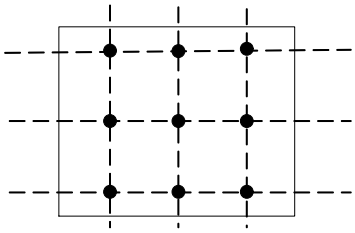

图 6 平面九点测量布点

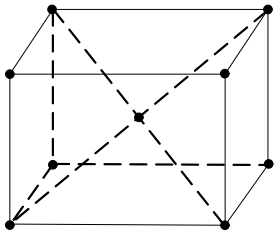

图 7 立体九点测量布点

注：圆形或其他形状参考以上布点方法进行选择。

7.3.3 中心点设定温度误差

将温度传感器固定在温度传感器固定支架上，按照要求将温度传感器固定支架放置在布点上，水位应浸没温度传感器固定支架。将恒温水浴设备的温度设定为所需校准的温度，开启运行，待恒温水浴设备的温度示值达到稳定状态时，再稳定10 min后或恒温水浴设备使用说明书规定的时间后，以每分钟至少1次的均匀间隔，持续10 min或恒温水浴设备使用说明书规定的时间采集n组数据(n≥10)。取n次中心点温度传感器的测得的平均温度作为中心点实测温度的测量结果。按公式（1）计算：

$$\Delta t_{jn} = t_o - \overline{t_{jn}} \tag{1}$$

式中：

Δt_{jn}——第 j 个温度传感器的中心点设定温度误差，℃；

t_o ——设定温度，℃；

$\overline{t_{jn}}$ ——第 j 个温度传感器的中心点实测温度，℃；

j ——测量点序号。

7.3.4 中心点显示温度误差

按7.3.3给出的校准方法所采集的数据，取n次中心点温度传感器测得的平均温度作为中心点实测温度的测量结果，取n次对应显示温度的平均温度作为显示温度的测量结果。按公式（2）计算：

$$\Delta t_{js} = \overline{t_d} - \overline{t_{jn}} \tag{2}$$

式中：

Δt_{js}——第 j 个温度传感器的中心点显示温度误差，℃；

$\overline{t_d}$ ——显示温度，℃；

$\overline{t_{jn}}$ ——第 j 个温度传感器的中心点实测温度，℃；

j ——测量点序号。

7.3.5 温度偏差

按7.3.3给出的校准方法所采集的数据，所有温度传感器实际测得的最高温度与设定温度之差为温度上偏差。所有温度传感器实际测得的最低温度与设定温度之差为温度下偏差。按公式（3）、（4）计算：

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_o \tag{3}$$

$$\Delta t_{\min} = t_{\min} - t_o \tag{4}$$

式中：

Δt_{max}——温度上偏差，℃；

t_o——设定温度，℃；

t_{max}——所有温度传感器实际测得的最高温度，℃；

Δt_{min}——温度下偏差，℃；

t_{min}——所有温度传感器实际测得的最低温度，℃。

7.3.6 温度波动度

按7.3.3给出的校准方法所采集的数据，取各个温度传感器实际测得的最高温度与最低温度之差的最大值作为温度波动度的测量结果。按公式（5）计算：

$$\Delta t_f = \max\left(t_{j\max} - t_{j\min} \right) \tag{5}$$

式中：

Δt_f——温度波动度，℃；

$t_{j\max}$——第 j 个温度传感器测量的最高温度，℃；

$t_{j\min}$——第 j 个温度传感器测量的最低温度，℃；

j——测量点序号。

7.3.7 温度均匀度

按7.3.3 给出的校准方法所采集的数据，每次测量中实际测得的最高温度与最低温度之差的算术平均值作为温度均匀度的测量结果。按公式（6）计算：

$$\Delta t_u = \prod_{i=1}^{n} (t_{i\max} - t_{i\min}) \Big/ n \tag{6}$$

式中：

Δt_u——温度均匀度，℃；

$t_{i\max}$ ——各测量点第 i 次温度传感器测量的最高温度，℃；

$t_{i\min}$ ——各测量点第 i 次温度传感器测量的最低温度，℃；

n ——测量次数。

8 校准结果表达

经校准的恒温水浴设备出具校准证书，校准证书至少应包括以下信息：

a) 标题“校准证书”；

b) 实验室的名称和地址；

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)，页码及总页数的标识；

e) 客户的名称和地址；

f) 被校对象的描述和明确标识；

g) 校准日期，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受日期；

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) 本次校准所用的测量标准的溯源性及有关有效性说明；

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) 未经本实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

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

由于复校时间间隔由恒温水浴设备的使用情况、本身质量等诸多因素决定，因此，送校单位可根据实际情况自主决定复校的时间间隔。建议恒温水浴设备的复校时间间隔为1年。

附录 A

校准记录参考格式（无孔或单孔）

送 校 单 位			记录编号	
委托者地址			负载情况	
被校仪器	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		计量特性	
	证书编号		有 效 期	
技术依据		JJF(鄂)　XXXX—2022 恒温水浴设备校准规范		
环境温度		℃	环境湿度	%RH
校准地点			校准日期	
校 准 员			核 验 员	
工作空间尺寸			证书编号	
孔　数			外观检查	□正常　□不正常
设定温度		℃	/	/

次数	实测温度／℃									$t_{imax}-t_{imin}$ ／℃	t_d ／℃
	I	2	3	4	5	6	7	8	9		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											

10											

校准记录参考格式（续）

次数	实测温度 / ℃									$t_{imax}-t_{imin}$ / ℃	t_d / ℃
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
11											
12											
13											
14											
15											
最高温度 $t_{j\max}$										/	/
最低温度 $t_{j\min}$										/	/
$t_{j\max}-t_{j\min}$										/	/
中心点平均温度							显示温度平均值				

校准项目	校准结果 / ℃	扩展不确定度 $U(k=2)$ /℃
中心点设定温度误差Δt_{jn}		
中心点显示温度误差Δt_{js}		
温度上偏差$\Delta t_{\max}$		
温度下偏差$\Delta t_{\min}$		
温度波动度t_{f}		
温度均匀度t_{u}		

传感器布点示意图

注：

1 $t_{imax}-t_{imin}$ 表示各测量点第 i 次温度传感器测得的最高温度与最低温度之差；

2 t_d 表示显示温度；

3 $t_{j\max}-t_{j\min}$表示第 j 个温度传感器测得的最高温度与最低温度之差。

校准记录参考格式（续）（多孔）

送 校 单 位			记录编号	
委托者地址			负载情况	
被校仪器	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		计量特性	
	证书编号		有 效 期	
技术依据		JJF(鄂) XXXX—2022 恒温水浴设备校准规范		
环境温度		℃	环境湿度	%RH
校准地点			校准日期	
校 准 员			核 验 员	
工作空间尺寸			证书编号	
孔　数			外观检查	□正常　□不正常
设定温度		℃	/	/

次数	实测温度／℃									$t_{imax}-t_{imin}$ ／℃	t_d ／℃
	I	2	3	4	5	6	7	8	9		
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
最高温度 $t_{j\max}$											

最低温度 $t_{j\min}$											

校准记录参考格式（续）

$t_{j\max}-t_{j\min}$											
中心点平均温度										显示温度平均值	
校准项目	校准结果 / ℃									扩展不确定度 $U(k=2)$ /℃	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
中心点设定温度误差 Δt_{jn}											
中心点显示温度误差 Δt_{js}											
温度上偏差$\Delta t_{\max}$											
温度下偏差$\Delta t_{\min}$											
温度波动度t_{f}											
温度均匀度t_{u}											
传感器布点示意图：											

注：

1 $t_{i\max}-t_{i\min}$ 表示各测量点第 i 次温度传感器测得的最高温度与最低温度之差；

2 t_d 表示显示温度；

3 $t_{j\max}-t_{j\min}$表示第 j 个温度传感器测得的最高温度与最低温度之差。

附录 B

校准结果参考格式

设定温度：		显示温度：		
序号	校准项目	校准结果/℃	扩展不确定度 $U(k=2)$ /℃	备注
1	中心点设定温度误差 Δt_{jn}			
2	中心点显示温度误差 Δt_{js}			
3	温度上偏差$\Delta t_{\max}$			
4	温度下偏差$\Delta t_{\min}$			
5	温度波动度t_{f}			
6	温度均匀度t_{u}			
传感器布点示意图：				

附录 C

恒温水浴设备中心点设定温度误差测量不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 被校对象：恒温水温箱，温度设定分辨力：0.1℃，温度显示分辨力：0.1℃，温度校准点：30.0℃。

C.1.2 测量标准：温湿度场测试巡检仪，温度指示分辨力0.001℃，MPE：±(0.15℃+0.002t)，t为测量温度(℃)。

C.1.3 校准方法：按照要求布置温度传感器，将恒温水温箱的温度设定为30.0℃，试验设备达到设定值，待稳定10 min后开始测量，测量时间间隔为1min，15 min内共记录15组数据。

C.2 测量模型

$$\Delta t_n = t_o - \overline{t_n} \tag{C.1}$$

式中：

Δt_n——中心点设定温度误差，℃；

t_o ——设定温度，℃；

$\overline{t_n}$ ——中心点实测温度，℃。

对式（C.1）各分量求偏导，得到各分量的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{f\Delta t_n}{f t_o} = 0,\quad c_2 = \frac{f\Delta t_n}{f\overline{t_n}} = -1 \tag{C.2}$$

各输入量之间彼此独立不相关，所以有：

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 \tag{C.3}$$

C.3 标准不确定度

根据测量模型可知，测量标准不确定度来源于中心点实测温度和设定温度，因设定

温度为定值，故测量标准不确定度来源仅考虑中心点实测温度引入的标准不确定度分量。其不确定分量包括：测量重复性引入的标准不确定度分量，标准器引入的标准不确定度分量。

C.3.1　测量重复性引入的标准不确定度分量

在30℃校准点重复测量15次，中心点测量结果见表C.1。

表C.1　测量结果

n/次	x_i/℃	n/次	x_i/℃	n/次	x_i/℃
1	29.558	6	29.583	11	29.582
2	29.590	7	29.588	12	29.572
3	29.590	8	29.575	13	29.564
4	29.581	9	29.564	14	29.581
5	29.572	10	29.573	15	29.580

按式（C.4）计算标准偏差s：

$$s=\sqrt{\frac{\prod_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{(n-1)}}=0.0097\,℃ \qquad (C.4)$$

即测量重复性引入的标准不确定度分量：

$$u_{21}=\frac{s}{\sqrt{n}}=\frac{0.0097\,℃}{\sqrt{15}}=0.0025\,℃ \qquad (C.5)$$

C.3.2　标准器引入的标准不确定度分量

当温度t=30℃，根据MPE：±(0.15℃+0.002t)，t为测量温度(℃)，按均匀分布，则标准器引入的标准不确定度分量：

$$u_{22}=\frac{a}{k}=\frac{0.21\,℃}{\sqrt{3}}=0.121\,℃ \qquad (C.6)$$

C.4　标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量汇总表见表C.2。

表C.2 中心点设定温度误差校准标准不确定度分量汇总表

标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度

u_{21}	测量重复性	0.0025℃
u_{22}	标准器	0.121℃

测量重复性和标准器引入的不确定度分量相互独立，所以中心点实测温度引入的标准不确定度分量u_2按式（C.7）计算：

$$u_2=\sqrt{u_{21}^{\ 2}+u_{22}^{\ 2}}\cup 0.121℃ \qquad (C.7)$$

C.5　合成标准不确定度

合成标准不确定度u_c按式（C.8）计算：

$$u_c=\sqrt{c_1^2u_1^2+c_2^2u_2^2}=0.121℃ \qquad (C.8)$$

C.6　扩展不确定度

取包含因子k=2，中心点设定温度误差扩展不确定度为：

$$U=k\times u_c=0.24\ ℃ \qquad (C.9)$$

C.7　结果及其不确定度报告

恒温水温箱在校准温度30.0℃时，中心点设定温度误差校准结果的扩展不确定度U=0.24℃，k=2。

附录 D

恒温水浴设备中心点显示温度误差测量不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 被校对象：恒温水温箱，温度设定分辨力：0.1℃，温度显示分辨力：0.1℃，温度校准点：30.0℃。

D.1.2 测量标准：温湿度场测试巡检仪，温度指示分辨力0.001℃，MPE：±(0.15℃+0.002t)，t为测量温度(℃)。

D.1.3 校准方法：按照要求布置温度传感器，将恒温水温箱的温度设定为30.0℃，试验设备达到设定值，待稳定10 min后开始测量，测量时间间隔为1 min，15 min内共记录15组数据。

D.2 测量模型

$$\Delta t_s = \overline{t_d} - \overline{t_n} \tag{D.1}$$

式中：

Δt_s——中心点显示温度误差，℃；

$\overline{t_d}$ ——显示温度，℃；

$\overline{t_n}$ ——中心点实测温度，℃。

对式（D.1）各分量求偏导，得到各分量的灵敏系数：

$$c_1 = \frac{f\Delta t_s}{f\overline{t_d}} = 1,\quad c_2 = \frac{f\Delta t_s}{f\overline{t_n}} = -1 \tag{D.2}$$

各输入量之间彼此独立不相关，所以有：

$$u_c^2 = c_1^2 u_1^2 + c_2^2 u_2^2 \tag{D.3}$$

D.3 标准不确定度

根据测量模型可知，测量标准不确定度来源于显示温度和中心点实测温度，其中显示温度的不确定度分量来源：被校对象温度显示重复性引入的标准不确定度分量，被校

对象温度显示分辨力引入的标准不确定度分量。中心点实测温度不确定度来源：测量重复性引入的标准不确定度分量，标准器引入的标准不确定度分量。

D.3.1　被校对象温度显示重复性引入的标准不确定度分量

待温度显示示值稳定30 min后，每隔2 min记录一次显示示值，共记录15次，示值结果见表D.1。

表D.1 显示示值结果

n/次	y_i/℃	n/次	y_i/℃	n/次	y_i/℃
1	30.0	6	30.0	11	30.0
2	30.0	7	30.0	12	30.0
3	30.0	8	29.9	13	30.0
4	30.1	9	29.9	14	30.0
5	30.1	10	29.9	15	30.1

按式（D.4）计算标准偏差s_y：

$$s_y=\sqrt{\frac{\prod_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{(n-1)}}=0.065\,℃ \qquad (D.4)$$

即测量重复性引入的标准不确定度分量：

$$u_{11}=\frac{s_y}{\sqrt{n}}=\frac{0.065\,℃}{\sqrt{15}}=0.017\,℃ \qquad (D.5)$$

D.3.2　被校对象温度显示分辨力引入的标准不确定度分量

被校设备温度显示分辨力为0.1 ℃，不确定度分量区间半宽度为0.05 ℃，服从均匀分布，则显示分辨力引入的标准不确定度分量：

$$u_{12}=\frac{a}{k}=\frac{0.05\,℃}{\sqrt{3}}=0.029\,℃ \qquad (D.6)$$

D.3.3　测量重复性引入的标准不确定度分量

在30.0℃校准点重复测量15次，中心点测量结果见表D.2。

按式（D.7）计算标准偏差s：

$$s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{(n-1)}}=0.0097\,℃ \qquad (D.7)$$

即测量重复性引入的标准不确定度分量：

$$u_{21}=\frac{s}{\sqrt{n}}=\frac{0.0097\,℃}{\sqrt{15}}=0.0025\,℃ \qquad (D.8)$$

表D.2　测量结果

n/次	x_i/℃	n/次	x_i/℃	n/次	x_i/℃
1	29.558	6	29.583	11	29.582
2	29.590	7	29.588	12	29.572
3	29.590	8	29.575	13	29.564
4	29.581	9	29.564	14	29.581
5	29.572	10	29.573	15	29.580

D.3.4　标准器引入的标准不确定度分量

当温度t=30.0℃，根据MPE：±(0.15℃+0.002t)，t为测量温度(℃)，按均匀分布，则标准器引入的标准不确定度分量：

$$u_{22}=\frac{a}{k}=\frac{0.21\,℃}{\sqrt{3}}=0.121\,℃ \qquad (D.9)$$

D.4　标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量汇总表见表D.3

表D.3 中心点显示温度误差校准不确定度分量汇总表

标准不确定度符号		不确定度来源	标准不确定度	
u_1	u_{11}	被校对象温度显示重复性	0.017 ℃	0.029 ℃
	u_{12}	被校对象温度显示分辨力	0.029 ℃	
u_2	u_{21}	测量重复性	0.0025 ℃	0.121 ℃
	u_{22}	标准器	0.121 ℃	

D.5　合成标准不确定度

由于被校对象温度显示重复性和分辨力引入的不确定度分量互相有影响，为防止重复计算，取两者中较大值。测量重复性、标准器和被测对象温度显示分辨力引入的不确定度分量相互独立，则合成标准不确定度u_c按式（D.10）计算：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \cup 0.121^{\circ}\mathrm{C} \qquad (D.10)$$

D.6　扩展不确定度

取包含因子k=2，中心点显示温度误差扩展不确定度为：$U=k\times u_c$=0.24℃。

D.7　结果及其不确定度报告

恒温水温箱在校准温度30.0℃时，中心点显示温度误差校准结果的扩展不确定度U=0.24℃，k=2。

附录 E

温度传感器固定支架技术要求

E.1 几何形状及尺寸要求见图 E.1(单位为 mm)。

E.2 材料：不锈钢或铝合金材质。

E.3 锐角倒钝，去毛刺。

E.4 表面粗糙度为 Ra 6.3μm。

注：材料为推荐材料，尺寸为推荐尺寸，也可根据实际情况配备相应的温度传感器固定支架。

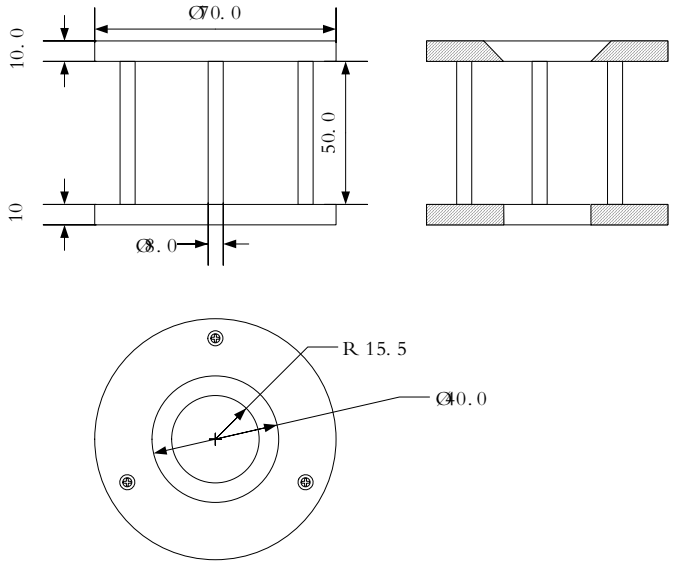

图 E.1 温度传感器固定支架尺寸