



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 2019—2022

液体恒温试验设备温度性能测试规范

Measurement Specification for Temperature Performance of
Liquid Constant Temperature Testing Equipment

2022-12-27 发布

2023-06-27 实施

国家市场监督管理总局 发布

液体恒温试验设备温度性能测试规范

Measurement Specification for Temperature

Performance of Liquid Constant

Temperature Testing Equipment

JJF 2019—2022

归口单位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：天津市计量监督检测科学研究院

洛阳市质量技术监督检验测试中心

参加起草单位：中国计量科学研究院

福建省计量科学研究院

泰安磐然测控科技有限公司

本规范委托全国温度计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

孙 浩（天津市计量监督检测科学研究院）

蒋 静（天津市计量监督检测科学研究院）

王 凌（洛阳市质量技术监督检验检测中心）

参加起草人：

金志军（中国计量科学研究院）

田 昀（天津市计量监督检测科学研究院）

林 军（福建省计量科学研究院）

徐震震（泰安磐然测控科技有限公司）

市场监管总局

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)
5.1 温度性能	(2)
5.2 安全性能	(2)
6 测试条件	(2)
6.1 环境条件	(2)
6.2 测量标准及其他设备	(2)
7 测试项目和测试方法	(3)
7.1 测试、检查项目	(3)
7.2 绝缘电阻的检查	(3)
7.3 测试方法	(3)
7.4 数据处理	(4)
8 测试结果表达	(5)
9 复测时间间隔	(6)
附录 A 液体恒温试验设备温度性能测试原始记录参考格式	(7)
附录 B 液体恒温试验设备测试证书(报告)内页参考格式	(9)
附录 C 液体恒温试验设备温度偏差不确定度评定示例	(10)
附录 D 液体恒温试验设备温度均匀度不确定度评定示例	(12)
附录 E 液体恒温试验设备温度波动度不确定度评定示例	(14)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》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制修订工作的基础性系列规范。

本规范为首次发布。

市场监管总局

液体恒温试验设备温度性能测试规范

1 范围

本规范适用于温度范围为 $(-80\sim 300)^{\circ}\text{C}$ 的液体恒温试验设备温度性能的测试，其他类似设备的温度性能也可参照本规范进行测试。

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—2017 环境试验设备检验方法 第2部分：温度试验设备

GB/T 26808—2011 恒温槽与恒温循环装置 低温恒温槽

GB/T 28850—2012 恒温槽与恒温循环装置 高温恒温槽

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

3.1 工作空间 working space

液体恒温试验设备中能将温度性能保持在要求内的空间。

3.2 温度偏差 temperature deviation

液体恒温试验设备在稳定状态下，工作空间内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偏差。两个偏差分别称为温度上偏差和温度下偏差。

3.3 温度均匀度 temperature uniformity

液体恒温试验设备在稳定状态下，某一瞬时的工作空间内各测量点最高温度与最低温度的差值的平均值。

3.4 温度波动度 temperature fluctuation

液体恒温试验设备在稳定状态下，规定时间间隔内的工作空间内各测量点温度变化的最大值。

4 概述

液体恒温试验设备（以下简称设备），一般由槽体、加热和/或制冷器以及温控系统三部分组成。其工作原理为：将设备设定到指定温度值，温度传感器将感受的工作介质温度转换为模拟电信号，经控制电路处理后，与设定温度进行比较并输出控制信号，控制电热和/或制冷器的加热和/或制冷能量，使槽体内的工作介质保持恒温。设备的槽体一般为长方体或圆柱体，设备所使用的工作介质有水、乙醇、硅油、防冻液等。

5 计量特性

5.1 温度性能

设备的温度性能包括温度偏差、温度均匀度及温度波动度。典型设备的温度性能要求见表 1。

表 1 典型设备的温度性能要求

项目	温度范围	
	(-80~100) °C	(100~300) °C
温度偏差	±1.0 °C	±2.5 °C
温度均匀度	0.5 °C	1.0 °C
温度波动度	0.5 °C	1.0 °C
注：以上技术要求不用于合格判定，仅供参考。		

5.2 安全性能

常温下，设备的金属外壳或接地端子与电源端子之间的绝缘电阻应不小于 20 MΩ。

6 测试条件

6.1 环境条件

温度：(15~35)°C；

相对湿度：不大于 85%。

设备周围应无强烈振动及腐蚀性气体存在，并无明显空气流动，应避免其他冷、热源的影响。实际工作中，环境条件还应满足测量标准器正常使用的要求。

6.2 测量标准及其他设备

温度测量标准一般由温度传感器及温度显示（记录）仪组成，其在与设备对应温度范围内的不确定度应不大于设备温度偏差最大允许值的绝对值的 1/3。

温度测量标准及其他设备技术要求见表 2。

表 2 温度测量标准及其他设备技术要求

序号	名称	测量范围	技术要求
1	温度测量标准	(-80~300)°C	分辨力：不低于 0.01 °C MPE：±(0.15 °C + 0.002 t)
2	绝缘电阻表	(0~∞) MΩ 直流电压：500 V	10 级
注：			
1 温度传感器尺寸应尽量小，并且能整体浸入工作空间。			
2 温度测量标准技术要求为包含传感器和温度显示（记录）仪的整体要求。			
3 温度测量标准各通道的测量结果应包含修正值。			
4 也可采用满足要求的其他设备。			
5 应定期或不定期对温度测量标准进行性能核查。			

7 测试项目和测试方法

7.1 测试、检查项目

测试项目：温度偏差、温度均匀度和温度波动度。

检查项目：绝缘电阻。

7.2 绝缘电阻的检查

用绝缘电阻表测量设备的外壳或接线端子与电源端子之间的绝缘电阻，其结果应符合 5.2 的要求。

7.3 测试方法

7.3.1 测试温度点的选择

测试温度点为设备使用温度范围的上限、下限和中间点，也可根据用户需要进行选择。

7.3.2 工作空间的确定

设备的工作空间按制造商提供的产品说明书确定。若产品说明书未规定工作空间，则应根据表 3 确定工作空间，但工作空间上表面距离液面不应小于 30 mm。如果加热（制冷）装置位于槽体的底部或侧面，则工作空间的计算应从加热（制冷）装置靠近工作空间的表面开始计算。如槽体具有挡板、隔板等隔离设施，则从挡板、隔板开始计算。

表 3 工作空间要求

槽体内尺寸	距底面、液面（或隔板）	距槽壁（或挡板、加热器、冷却器）
长方体槽体（ $W \times L \times H$ ）	$\geq 0.15H$	$\geq 0.15W$ 或 $0.15L$
圆柱体槽体（ $D \times H$ ）	$\geq 0.15H$	$\geq 0.15D$
注：以操作者正常操作为基点， W 表示槽体左右方向尺寸， L 表示槽体前后方向尺寸， H 表示液体介质液位的高度， D 表示槽体的直径。		

7.3.3 测量点的位置

温度传感器布放位置为设备温度性能测试时的测量点位置。当工作空间为长方体时，温度传感器应布放在工作空间内的角点及几何中心点。当工作空间为圆柱体时，温度传感器应布放在工作空间平面的象限点及工作空间几何中心点。

当设备工作空间内有置物装置时，可按实际情况将温度传感器布放在相应位置并用图示说明。

温度传感器测量点序号用 1, 2, 3, …… 数字表示。

7.3.3.1 当工作空间深度小于 15 cm 时，温度测量点数量为 5 个，温度传感器应布放在工作空间 1/2 深度水平面上，见图 1 所示。

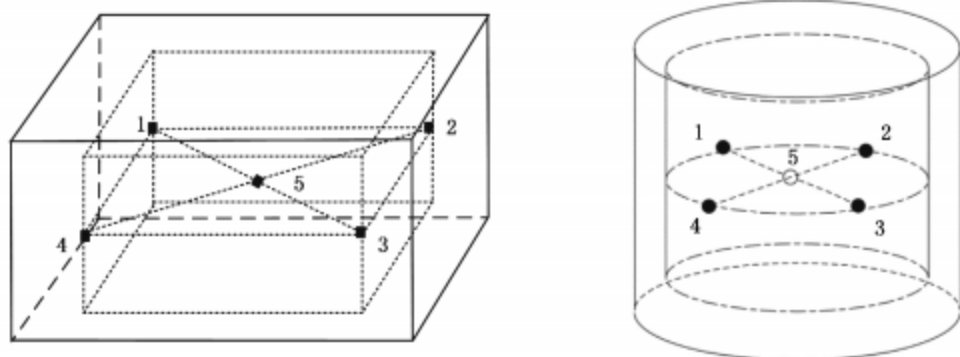


图1 工作空间深度小于15 cm时的温度测量点分布示意图

7.3.3.2 当工作空间深度大于15 cm时,温度测量点数量为9个,温度传感器应布放在工作空间上、下水平面及空间几何中心点,见图2所示。

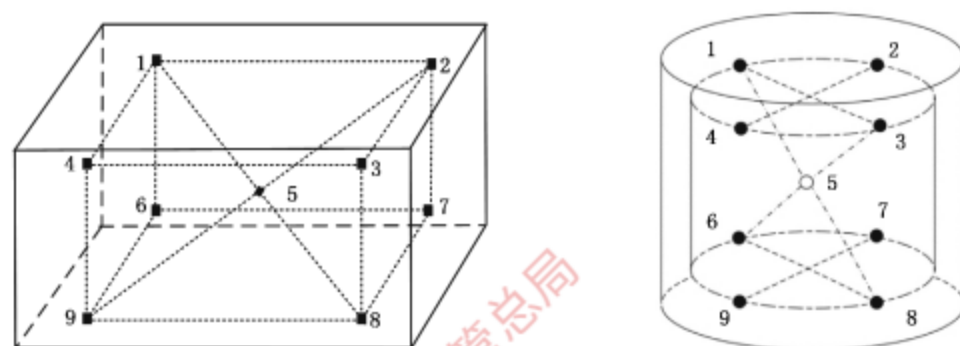


图2 工作空间深度大于15 cm时的温度测量点分布示意图

7.3.3.3 当工作空间过小或过大时,可按用户需要或实际情况确定测量点的数量和位置,并用图示说明。

7.3.4 温度的测试

在设备空载条件下进行测试。

在确认设备液位正常后,将设备控制温度设定到测试温度,并开启运行设备,待其达到设定温度并处于稳定状态后开始记录各测量点温度。应每2 min测量一次,测量过程应包括一个以上的完整温度变化周期,测量时间应在30 min以上。

7.4 数据处理

7.4.1 温度偏差

按公式(1)和公式(2)计算设备的温度上偏差和温度下偏差:

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

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

式中:

$\Delta t_{\max}$ ——设备的温度上偏差,℃;

$\Delta t_{\min}$ ——设备的温度下偏差,℃;

$t_{\max}$ ——修正后各测量点在规定时间内测得的最高温度,℃;

$t_{\min}$ ——修正后各测量点在规定时间内测得的最低温度,℃;

t_s ——设备的设定温度,℃。

7.4.2 温度均匀度

按公式(3)计算设备的温度均匀度:

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

式中:

Δt_u ——设备的温度均匀度,℃;

$t_{i\max}$ ——修正后各测量点在第*i*次测量时测得的最高温度,℃;

$t_{i\min}$ ——修正后各测量点在第*i*次测量时测得的最低温度,℃;

n ——测量次数。

7.4.3 温度波动度

按公式(4)计算设备的温度波动度:

$$\Delta t_f = \max(t_{j\max} - t_{j\min}) \quad (4)$$

式中:

Δt_f ——设备的温度波动度,℃;

$t_{j\max}$ ——修正后测量点*j*在*n*次测量中测得的最高温度,℃;

$t_{j\min}$ ——修正后测量点*j*在*n*次测量中测得的最低温度,℃;

j ——测量点序号。

8 测试结果表达

经测试的设备出具测试证书或测试报告,测试证书或测试报告至少应包括以下信息:

- a) 标题“测试证书”或“测试报告”;
- b) 实验室名称和地址;
- c) 进行测试的地点(如果与实验室的地址不同);
- d) 证书(或报告)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) 被测对象的描述和明确标识;
- g) 进行测试的日期;
- h) 测试所依据的技术规范的标识,包括名称及代号;
- i) 本次测试所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- j) 测试环境的描述;
- k) 温度偏差、温度均匀度和温度波动度的测试结果及相应不确定度,以及绝缘电阻检查结果的说明;
- l) 对测试规范的偏离的说明;
- m) 测试证书或测试报告签发人的签名、职务或等效标识;
- n) 测试人和核验人签名;
- o) 测试结果仅对被测对象有效性的声明;

p) 未经实验室书面批准，不得部分复制测试证书或测试报告的声明。

9 复测时间间隔

建议复测间隔时间为 1 年，使用特别频繁时应适当缩短。在使用过程中经过修理、更换重要器件时，需重新进行测试。

由于复测间隔时间的长短是由设备的使用情况、使用者、设备本身质量等因素所决定，因此用户可根据实际使用情况确定复测时间间隔。

市场监管总局

附录 A

液体恒温试验设备温度性能测试原始记录参考格式

委托单位： 设备名称： 证书编号：
 生产单位： 型号规格： 出厂编号：
 测试地点： 环境温度： ℃ 环境相对湿度： %
 测试依据：
 测试用标准器：

名称	型号	器号	测量范围	准确度等级/不确定度 /最大允许误差	溯源机构及 证书编号	有效期限

1. 温度性能测试记录

设定温度： ℃

计量单位：℃

次数	实测温度值									各测量点之间的最大差值
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
每一测量点中的最大差值										
温度上偏差及不确定度					温度均匀度及不确定度					
温度下偏差及不确定度					温度波动度及不确定度					

2. 温度测试点布设位置示意图

3. 绝缘电阻检查结果

市场监管总局

测试员：

核验员：

测试日期：

附录 B

液体恒温试验设备测试证书（报告）内页参考格式

测试结果

1. 温度性能测试结果

测试温度/℃	测试项目	测量值/℃	不确定度/℃ ($k=2$)
	温度上偏差		
	温度下偏差		
	温度均匀度		
	温度波动度		

2. 绝缘电阻检查结果

3. 温度测试点布设位置示意图

市场监管总局

以下空白

附录 C

液体恒温试验设备温度偏差不确定度评定示例

C.1 被测对象

恒温水槽，温度设定分辨力为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以测试温度点 $50.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为例进行评定。

C.2 测量标准

温度巡检仪，温度指示分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.3 测试方法

按照本规范的测试要求，将温度巡检仪的传感器按规定测试点要求布放。恒温水槽设定为 $50.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并开启运行。当恒温水槽温度达到设定值并稳定后开始记录温度巡检仪显示的温度值，记录时间间隔为 2 min ， 30 min 内共记录 16 组数据。

C.4 测量模型

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

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

式中：

$\Delta t_{\max}$ ——恒温水槽的温度上偏差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$\Delta t_{\min}$ ——恒温水槽的温度下偏差， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{\max}$ ——修正后各测量点在规定时间内测得的最高温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{\min}$ ——修正后各测量点在规定时间内测得的最低温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

t_s ——恒温水槽的设定温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

C.5 标准不确定度的评定

恒温水槽温度上偏差和温度下偏差的不确定度来源包括：被测恒温水槽测量重复性、标准器分辨力、标准器误差、标准器稳定性。

C.5.1 恒温水槽温度偏差测量重复性与标准器分辨力引入的标准不确定度 $u_{1\max}$ 、 $u_{1\min}$ 对恒温水槽进行 10 次重复测量，计算每次测量的温度上偏差和温度下偏差，得到两组测量列分别如下：

温度上偏差 $\Delta t_{\max}/^{\circ}\text{C}$ ：0.25, 0.26, 0.19, 0.28, 0.24, 0.21, 0.18, 0.28, 0.24, 0.20；

温度下偏差 $\Delta t_{\min}/^{\circ}\text{C}$ ：0.03, 0.04, -0.02, 0.04, 0.03, 0.01, -0.05, 0.04, 0.03, 0.01。

用贝塞尔公式计算标准偏差，则由重复测量引入的标准不确定度分别为：

$$u_1(\Delta t_{\max}) = s(\Delta t_{\max}) = 0.036\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$u_1(\Delta t_{\min}) = s(\Delta t_{\min}) = 0.030\text{ }^{\circ}\text{C}$$

标准器的温度分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，区间半宽为 $0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则由标准器分辨力引入的标准不确定度为：

$$u_{1\max b} = u_{1\min b} = 0.005\text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} \approx 0.003\text{ }^{\circ}\text{C}$$

测量重复性引入的标准不确定度远大于标准器分辨力引入的标准不确定度，取其中较大者，则：

$$u_{1\max} = u_1(\Delta t_{\max}) = 0.036\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$u_{1\min} = u_1(\Delta t_{\min}) = 0.030\text{ }^{\circ}\text{C}$$

C.5.2 标准器误差引入的标准不确定度 u_2

在 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时标准器的最大允许误差为 $\pm(0.15\text{ }^{\circ}\text{C} + 0.002|t|)$ ，即 $\pm 0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。按均匀分布考虑，则标准器误差引入的标准不确定度为 $u_2 = 0.25\text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} \approx 0.144\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.5.3 标准器稳定性引入的标准不确定度 u_3

标准器年稳定性为 $0.10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，按均匀分布计算，则由其引入的标准不确定度为 $u_3 = 0.10\text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} \approx 0.058\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

C.6 标准不确定度汇总见表 C.1 和表 C.2。

表 C.1 温度上偏差标准不确定度汇总表

序号	标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度/ $^{\circ}\text{C}$
1	$u_{1\max}$	温度上偏差测量重复性	0.036
2	u_2	标准器误差	0.144
3	u_3	标准器稳定性	0.058

表 C.2 温度下偏差标准不确定度汇总表

序号	标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度/ $^{\circ}\text{C}$
1	$u_{1\min}$	温度下偏差测量重复性	0.030
2	u_2	标准器误差	0.144
3	u_3	标准器稳定性	0.058

C.7 合成标准不确定度

C.7.1 温度上偏差的合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{\max})$

$u_{1\max}, u_2, u_3$ 互不相关，则温度上偏差的合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{\max})$ 为：

$$u_c(\Delta t_{\max}) = \sqrt{u_{1\max}^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.159\text{ }^{\circ}\text{C}$$

C.7.2 温度下偏差的合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{\min})$

$u_{1\min}, u_2, u_3$ 互不相关，则温度下偏差的合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_{\min})$ 为：

$$u_c(\Delta t_{\min}) = \sqrt{u_{1\min}^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.158\text{ }^{\circ}\text{C}$$

C.8 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则恒温水槽温度上偏差的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta t_{\max}) \approx 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

恒温水槽温度下偏差的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta t_{\min}) \approx 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

即温度偏差的扩展不确定度为：

$$U = 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}, k = 2$$

附录 D

液体恒温试验设备温度均匀度不确定度评定示例

D.1 被测对象

恒温水槽，温度设定分辨力为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以测试温度点 $50.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为例进行评定。

D.2 测量标准

温度巡检仪，温度指示分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，测量时带修正值使用，不确定度为 $U=0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ 。

D.3 测试方法

按照本规范的测试要求，将温度巡检仪的传感器按规定测试点要求布放。恒温水槽设定为 $50.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并开启运行。当恒温水槽温度达到设定值并稳定后开始记录温度巡检仪显示的温度值，记录时间间隔为 2 min ， 30 min 内共记录 16 组数据。

D.4 测量模型

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

式中：

Δt_u ——恒温水槽的温度均匀度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{i\max}$ ——修正后各测量点在第 i 次测量时测得的最高温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{i\min}$ ——修正后各测量点在第 i 次测量时测得的最低温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

n ——测量次数。

D.5 灵敏系数

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

$$\Delta t_u = \sum_{i=1}^n \Delta t_i / n \quad (\text{D.2})$$

则：

$$u(\Delta t_u) = u(\Delta t_i) / n \quad (\text{D.3})$$

灵敏系数 $c=1/n$ 。

D.6 标准不确定度的评定

恒温水槽温度均匀度的标准不确定度来源包括温度均匀度的测量重复性、标准器的分辨力、标准器通道间差值的一致性。

D.6.1 温度均匀度的测量重复性与标准器分辨力引入的标准不确定度 $u_1(\Delta t_i)$

对恒温水槽进行 10 次重复测量，计算每次测量的温度均匀度，得到一组测量列如下：

温度均匀度 $\Delta t_i / ^{\circ}\text{C}$ ：0.14, 0.18, 0.16, 0.15, 0.17, 0.16, 0.17, 0.16, 0.17, 0.18。

用贝塞尔公式计算标准偏差，则由重复测量引入的标准不确定度为：

$$u_{1a}(\Delta t_i) = s(\Delta t_i) = 0.013\text{ }^{\circ}\text{C}$$

标准器分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，区间半宽为 $0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则由标准器分辨

力引入的标准不确定度为：

$$u_{1b}(\Delta t_i) = 0.005 \text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.003 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

测量重复性引入的标准不确定度大于标准器分辨力引入的标准不确定度，取其中较大者，则：

$$u_1(\Delta t_i) = u_{1a}(\Delta t_i) = 0.013 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

D.6.2 标准器通道间差值一致性引入的标准不确定度 $u_2(\Delta t_i)$

标准器通道间温度差值的一致性不超过 $0.03 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，区间半宽为 $0.015 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则 $u_2(\Delta t_i) = 0.015 \text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.008 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

D.7 标准不确定度汇总表

温度均匀度测量标准不确定度汇总见表 D.1。

表 D.1 温度均匀度测量标准不确定度汇总表

序号	标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 c	$ c u_i(\Delta t_i)$
1	$u_1(\Delta t_i)$	温度均匀度的测量重复性	$0.013 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$1/n$	$0.001 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2	$u_2(\Delta t_i)$	标准器通道间差值的一致性	$0.008 \text{ }^{\circ}\text{C}$	1	$0.008 \text{ }^{\circ}\text{C}$

D.8 合成标准不确定度

$u_1(\Delta t_i)$ 、 $u_2(\Delta t_i)$ 互不相关，则温度均匀度的合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_i)$ 为：

$$u_c(\Delta t_i) = \sqrt{[c_1 u_1(\Delta t_i)]^2 + [c_2 u_2(\Delta t_i)]^2} = 0.008 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

D.9 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则恒温水槽温度均匀度的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta t_i) \approx 0.02 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

附录 E

液体恒温试验设备温度波动度不确定度评定示例

E.1 被测对象

恒温水槽，温度设定分辨力为 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，以测试温度点 $50.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为例进行评定。

E.2 测量标准

温度巡检仪，温度指示分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，测量时带修正值使用，不确定度为 $U=0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ 。

E.3 测试方法

按照本规范的测试要求，将温度巡检仪的传感器按规定测试点要求布放。恒温水槽设定为 $50.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，并开启运行。当恒温水槽温度达到设定值并稳定后开始记录温度巡检仪显示的温度值，记录时间间隔为 2 min ， 30 min 内共记录 16 组数据。

E.4 测量模型

$$\Delta t_i = \max(t_{j\max} - t_{j\min}) \quad (\text{E.1})$$

式中：

Δt_i ——恒温水槽的温度波动度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{j\max}$ ——修正后测量点 j 在 n 次测量中测得的最高温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

$t_{j\min}$ ——修正后测量点 j 在 n 次测量中测得的最低温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

j ——测量点序号。

E.5 灵敏系数

设 $\Delta t_j = t_{j\max} - t_{j\min}$ ， $j=1, \dots, m$ ，则公式 (E.1) 变换为公式 (E.2)。

$$\Delta t_i = \max(\Delta t_j) \quad (\text{E.2})$$

则：

$$u(\Delta t_i) = u(\Delta t_j) \quad (\text{E.3})$$

灵敏系数 $c=1$ 。

E.6 标准不确定度

恒温水槽温度波动度的标准不确定度来源包括温度波动度的测量重复性、标准器的分辨力。

温度波动度的测量重复性与标准器分辨力引入的标准不确定度 $u(\Delta t_j)$

对恒温水槽进行 10 次重复测量，计算每次测量的温度波动度，得到一组测量列如下：

温度波动度 $\Delta t_i/^{\circ}\text{C}$ ：0.16, 0.18, 0.15, 0.12, 0.14, 0.14, 0.17, 0.14, 0.16, 0.14；

用贝塞尔公式计算标准偏差，则由重复测量引入的标准不确定度为：

$$u_s(\Delta t_i) = s(\Delta t_i) = 0.018\text{ }^{\circ}\text{C}$$

标准器分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，区间半宽 $0.005\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则由标准器分辨力引入的标准不确定度为：

$$u_b(\Delta t_j) = 0.005\text{ }^{\circ}\text{C} / \sqrt{3} = 0.003\text{ }^{\circ}\text{C}。$$

测量重复性引入的标准不确定度大于标准器分辨力引入的标准不确定度，取其中较大者，则：

$$u(\Delta t_j) = u_a(\Delta t_i) = 0.018\text{ }^{\circ}\text{C}$$

E.7 标准不确定度汇总表

温度波动度标准不确定度汇总见表 E.1

表 E.1 温度波动度测量标准不确定度汇总表

序号	标准不确定度符号	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 c	$ c u_i(\Delta t_j)$
1	$u(\Delta t_j)$	温度波动度的测量重复性	0.018 $^{\circ}\text{C}$	1	0.018 $^{\circ}\text{C}$

E.8 合成标准不确定度

则温度波动度的合成标准不确定度 $u_c(\Delta t_j)$ 为：

$$u_c(\Delta t_j) = u(\Delta t_j) = 0.018\text{ }^{\circ}\text{C}$$

E.9 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则恒温水槽温度波动度的扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(\Delta t_j) \approx 0.04\text{ }^{\circ}\text{C}$$