JJF

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF 1030—2023

温度校准用恒温槽技术性能测试规范

Measurement and Test Norm of Metrological Characteristics of Thermostatic Baths for Temperature Calibration

2023-10-12 发布　　2024-04-12 实施

国家市场监督管理总局 发布

温度校准用恒温槽
技术性能测试规范

Measurement and Test Norm of Metrological Characteristics of Thermostatic Baths for Temperature Calibration

JJF 1030—2023
代替 **JJF 1030—2010**

归 口 单 位：全国温度计量技术委员会

主要起草单位：北京市计量检测科学研究院

参加起草单位：大连计量检验检测研究院有限公司

中国计量大学

济南长峰致远仪表科技有限公司

大连博控科技股份有限公司

湖州唯立仪表厂

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：

张　克（北京市计量检测科学研究院）

参加起草人：

李　颖（大连计量检验检测研究院有限公司）

孙　斌（中国计量大学）

张　炯（济南长峰致远仪表科技有限公司）

姚　敏（北京市计量检测科学研究院）

曾永春（大连博控科技股份有限公司）

陈　坚（湖州唯立仪表厂）

目　　录

引言 ……（Ⅱ）
1　范围……（1）
2　引用文件……（1）
3　术语……（1）
4　概述……（2）
5　技术性能……（2）
6　测试条件……（3）
6.1　环境条件……（3）
6.2　测量用标准器及配套设备……（3）
7　测试项目和测试方法……（3）
7.1　测试项目……（3）
7.2　测试方法……（3）
8　测试结果的表达……（8）
9　复测时间……（8）
附录 A　恒温槽测试证书内页格式 ……（9）
附录 B　恒温槽水平温差测量不确定度评定 ……（10）
附录 C　恒温槽垂直温差测量不确定度评定例 1 ……（12）
附录 D　恒温槽垂直温差测量不确定度评定例 2 ……（14）

引　　言

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》共同构成支撑本规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范替代 JJF 1030—2010《恒温槽技术性能测试规范》。

与 JJF 1030—2010 相比，除编辑性修改外，本规范主要技术变化如下：

——根据现行温度计量规程和规范要求，在范围中增加－80 ℃～300 ℃的内容；

——根据现行温度计量规程和规范要求，增加恒温槽技术性能指标；

——增加术语“浸没深度”；

——针对恒温槽技术指标要求，明确标准铂电阻温度计的最小浸没深度为 100 mm；

——增加对恒温槽升、降温速率偏差的测试项目。

本规范历次版本发布情况为：

——JJF 1030—2010；

——JJF 1030—1998。

温度校准用恒温槽
技术性能测试规范

1 范围

本规范适用于温度范围在－80 ℃～300 ℃的检定或校准用液体恒温槽温度均匀性、温度波动性和升（降）温速率的测试。

2 引用文件

本规范引用了以下文件：

JJG 130—2011 工作用玻璃液体温度计

JJG 229—2010 工业铂、铜热电阻

JJG 310—2002 压力式温度计

JJF 1379—2012 热敏电阻测温仪校准规范

JJF 1632—2017 温度开关温度参数校准规范

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）适应于本规范。

3 术语

3.1 恒温槽工作区域 thermostatic bath working space

能保证恒温槽温度均匀性和波动性的区域。

3.2 恒温槽温度均匀性 thermostatic bath temperature uniformity

恒温槽在稳定状态下，工作区域内最高温度与最低温度的差值。

3.3 恒温槽温度波动性 thermostatic bath temperature volatility

恒温槽在稳定状态下，工作区域在一定时间间隔内，温度变化的最大幅度。

3.4 工作区域上水平面 top horizontal plane of working space

恒温槽工作区域最高处的水平面。

3.5 工作区域下水平面 bottom horizontal plane of working space

恒温槽工作区域最低处的水平面。

3.6 固定温度计 fixed thermometer

在恒温槽工作区域内固定，用于测量恒温槽温度的温度计。

3.7 移动温度计 moved thermometer

在恒温槽工作区域内多个预定位置上放置，用于测量恒温槽温度的温度计。

3.8 浸没深度 immersion depth

温度计垂直插入恒温槽中，其浸没在液体中的长度。

4 概述

液体恒温槽（以下简称恒温槽）是以液体为导热介质，通过温度控制系统以及搅拌或射流装置的作用，达到设定温度并保持其内部工作区域的温度均匀和稳定。部分恒温槽还具有设定、控制温度变化速率的功能。恒温槽主要用作检定、校准各类温度计所需要的恒温设备。恒温槽典型结构示意图如图 1 所示。

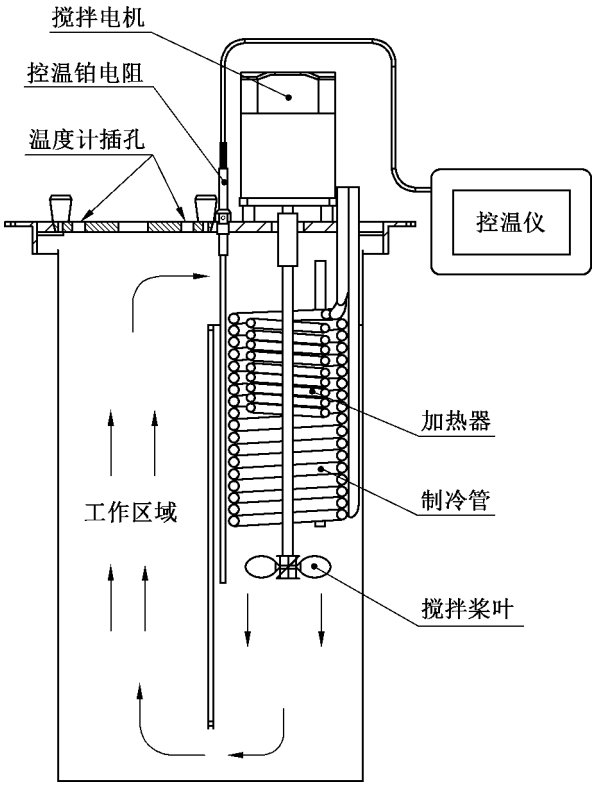


图 1　恒温槽典型结构示意图

5 技术性能

恒温槽技术性能包括温度均匀性、温度波动性，具有升（降）温速率控制功能的恒温槽，其技术性能还包括有升温速率偏差和降温速率偏差，具体指标见表 1。

表 1　恒温槽技术性能指标

温度范围/℃	温度均匀性/℃		温度波动性/（℃/10 min）	升（降）温速率偏差/（℃/min）
	水平温差	最大温差		
−80～0	0.01～0.15	0.02～0.3	0.01～0.2	0.1～1
0～100	0.005～0.05	0.01～0.1		
100～300	0.01～0.10	0.02 ～0.2		
注：以上所有指标不用于合格性判定，仅供参考。				

6 测试条件

6.1 环境条件

环境温度：15 ℃～35 ℃或满足产品使用说明书中的要求。

环境相对湿度：35％～85％或满足产品使用说明书中的要求。

环境条件还应满足电测仪器设备的其他使用要求。

6.2 测量用标准器及配套设备

测量用标准器及配套设备见表 2。

表 2 测量用标准器及配套设备

序号	设备名称	技术要求	数量	用途	备注
1	标准铂电阻温度计（石英套管）	－80 ℃～300 ℃，二等标准	2 支	标准器	也可以采用满足要求的其他设备
2	电测设备	准确度 0.01 级；测量范围应与铂电阻温度计相适应，分辨力不低于 1 mK	1 台	电测设备	
3	低热电势转换开关	杂散电势＜0.4 μV	1 个	转换开关	
4	电子秒表	1 h 最大允许误差不超过 ±0.10 s	1 块	测量时间	

7 测试项目和测试方法

7.1 测试项目

测试项目见表 3。

表 3 测试项目

序号	测试项目		备注
1	温度均匀性	水平温差	——
		最大温差	
2	温度波动性		——
3	升温速率偏差		没有升（降）温速率控制功能的恒温槽不进行测试
4	降温速率偏差		

7.2 测试方法

7.2.1 测试前的准备

测试前必须先开启电测设备电源进行预热，预热时间至少 20 min 或满足电测设备使用说明书的相应要求。

按使用说明书的要求使恒温槽处于正常工作状态，并保证工作区域的液面处于规定的位置。

7.2.2　温度均匀性的测试

温度均匀性测试的温度点一般选择在恒温槽实际工作温度范围的上限和下限进行。也可以根据用户需求选择测试的温度点。测试的位置一般选择在工作区域上、下水平面上均匀分布的典型位置上，恒温槽工作区域如图 2 所示。

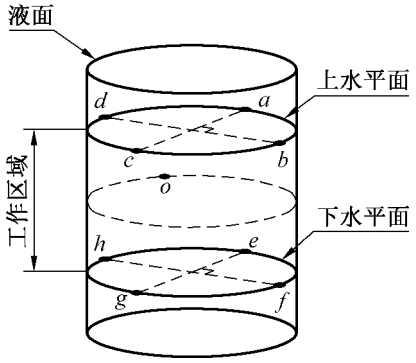


图 2　恒温槽工作区域示意图

7.2.2.1　工作区域上水平面测试

a）将恒温槽的温度设定在测试点温度，将固定温度计从恒温槽插孔中插入工作区域 1/2 深度，其感温端固定在参考位置 o；另一支移动温度计从恒温槽插孔插入，插入上水平面深度不小于 100 mm。其感温端固定在上水平面位置 a，如图 3 所示。待恒温槽第一次达到设定温度后稳定至少 10 min 或恒温槽使用说明书要求的时间，才可以读数。开始读数时恒温槽实际温度（以标准器为准）与测试点温度偏离应不超过±0.2 ℃。按固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计→固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计的测量顺序，依次得到示值 t_{a1}^{o}、t_{a1}、t_{a2}、t_{a2}^{o}、t_{a3}^{o}、t_{a3}、t_{a4}、t_{a4}^{o}。

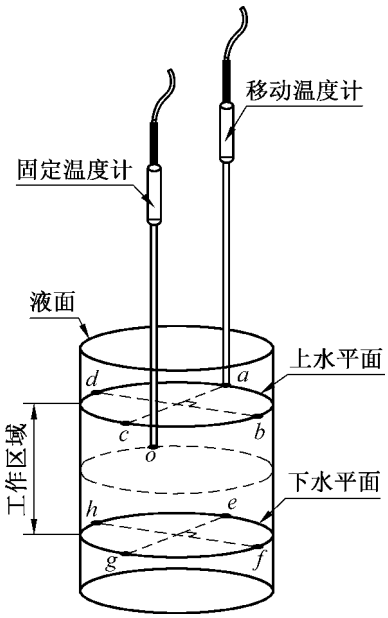


图 3　上水平面 a 点和参考位置 o 点测试示意图

固定温度计示值平均值：$\overline{t_a^o}=(t_{a1}^o+t_{a2}^o+t_{a3}^o+t_{a4}^o)/4$

移动温度计示值平均值：$\overline{t_a}=(t_{a1}+t_{a2}+t_{a3}+t_{a4})/4$

则此时 a 点相对于 o 点的温差为：$\Delta t_{a-o}=\overline{t_a}-\overline{t_a^o}$

b）保持固定温度计的原有位置，拔出移动温度计，再插入另一插孔，使其感温端固定在上水平面位置 b，如图 4 所示。稳定 5 min 后才可以读数。按固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计→固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计的测量顺序，依次得到示值 t_{b1}^o、t_{b1}、t_{b2}、t_{b2}^o、t_{b3}^o、t_{b3}、t_{b4}、t_{b4}^o。

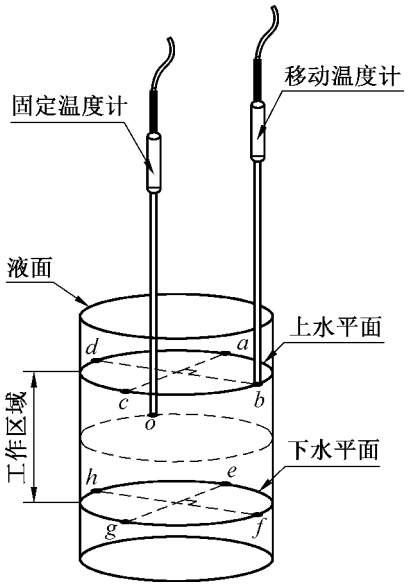


图 4　上水平面 b 点和参考位置 o 点测试示意图

固定温度计示值平均值：$\overline{t_b^o}=(t_{b1}^o+t_{b2}^o+t_{b3}^o+t_{b4}^o)/4$

移动温度计示值平均值：$\overline{t_b}=(t_{b1}+t_{b2}+t_{b3}+t_{b4})/4$

则此时 b 点相对于 o 点的温差为：$\Delta t_{b-o}=\overline{t_b}-\overline{t_b^o}$

c）依此类推，按照上述方法可以分别得到工作区域上水平面内 c、d 点分别相对于 o 点的示值差 Δt_{c-o}、Δt_{d-o}。

7.2.2.2　工作区域下水平面测试

a）保持固定温度计位置不动，拔出移动温度计，再缓慢插入另一插孔，使其感温端放置在工作区域中的下水平面位置 e。如图 5 所示。稳定 5 min 后，才可以读数。开始读数时恒温槽实际温度（以标准器为准）与测试点温度偏离应不超过±0.2 ℃。按固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计→固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计的测量顺序，依次得到示值 t_{e1}^o、t_{e1}、t_{e2}、t_{e2}^o、t_{e3}^o、t_{e3}、t_{e4}、t_{e4}^o。

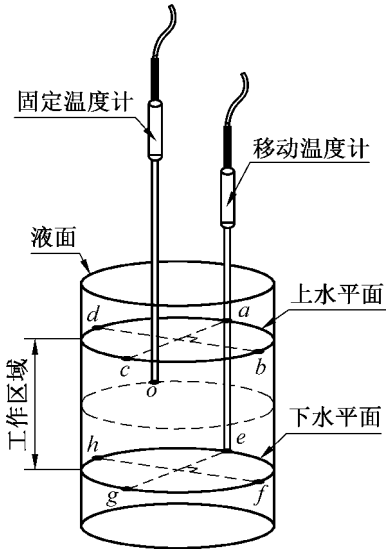


图 5　下水平面 e 点和参考位置 o 点测试示意图

固定温度计示值平均值：$\overline{t_e^o}=(t_{e1}^o+t_{e2}^o+t_{e3}^o+t_{e4}^o)/4$

移动温度计示值平均值：$\overline{t_e}=(t_{e1}+t_{e2}+t_{e3}+t_{e4})/4$

则此时 e 点相对于 o 点的温差为：$\Delta t_{e-o}=\overline{t_e}-\overline{t_e^o}$

b）保持固定温度计的原有位置，拔出移动温度计，再缓慢插入另一插孔，使其感温端移动到下水平面位置 f，如图 6 所示。5 min 后才可以读数。按固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计→固定温度计→移动温度计→移动温度计→固定温度计的测量顺序，依次得到示值 t_{f1}^o、t_{f1}、t_{f2}、t_{f2}^o、t_{f3}^o、t_{f3}、t_{f4}、t_{f4}^o。

固定温度计示值平均值：$\overline{t_f^o}=(t_{f1}^o+t_{f2}^o+t_{f3}^o+t_{f4}^o)/4$

移动温度计示值平均值：$\overline{t_f}=(t_{f1}+t_{f2}+t_{f3}+t_{f4})/4$

则 f 点相对于 o 点的示值差为：$\Delta t_{f-o}=\overline{t_f}-\overline{t_f^o}$

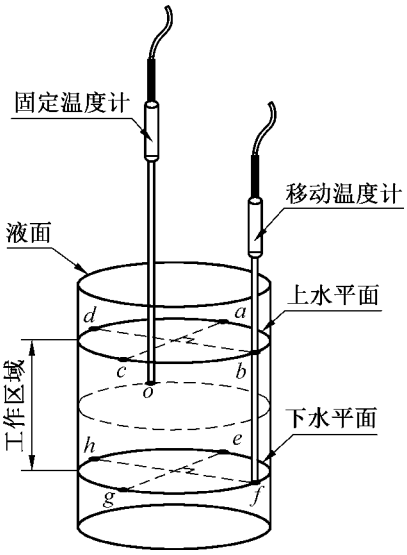


图 6　下水平面 f 点和参考位置 o 点测试示意图

c）依此类推，按照上述方法可以分别得到工作区域下平面内 g 点、h 点相对于 o 点的示值差 Δt_{g-o}、Δt_{h-o}。

7.2.2.3 数据处理

a）水平温差

上水平面温差：$\Delta t_{\mathrm{u}}=\max(\Delta t_{a-o},\Delta t_{b-o},\Delta t_{c-o},\Delta t_{d-o})-\min(\Delta t_{a-o},\Delta t_{b-o},\Delta t_{c-o},\Delta t_{d-o})$

下水平面温差：$\Delta t_{\mathrm{l}}=\max(\Delta t_{e-o},\Delta t_{f-o},\Delta t_{g-o},\Delta t_{h-o})-\min(\Delta t_{e-o},\Delta t_{f-o},\Delta t_{g-o},\Delta t_{h-o})$

水平温差：$\Delta t=\max(\Delta t_{\mathrm{u}},\Delta t_{\mathrm{l}})$

b）最大温差

$\delta t=\max(\Delta t_{a-o},\Delta t_{b-o},\Delta t_{c-o},\Delta t_{d-o},\Delta t_{e-o},\Delta t_{f-o},\Delta t_{g-o},\Delta t_{h-o})-\min(\Delta t_{a-o},\Delta t_{b-o},\Delta t_{c-o},\Delta t_{d-o},\Delta t_{e-o},\Delta t_{f-o},\Delta t_{g-o},\Delta t_{h-o})$

7.2.3 温度波动性的测试

恒温槽波动性的测试，一般选择在恒温槽实际工作温度范围的上限点和下限点进行。也可以根据用户需求选择测试的温度点。

将恒温槽的温度设定在下限温度（或上限温度），将固定温度计通过恒温槽插孔插入工作区域内 1/2 深度位置，待恒温槽第一次达到设定温度后稳定至少 10 min 或恒温槽使用说明书要求的稳定时间，才可以读数。开始读数时恒温槽实际温度（以标准器为准）与测试点温度偏离应不超过±0.2 ℃。记录下温度计示值 t_1，以 10 s 间隔读取一次示值，共计记录 61 个数据。

温度波动性：$\omega_t=\max(t_1,t_2,t_3,\cdots,t_i,\cdots,t_{59},t_{60},t_{61})-\min(t_1,t_2,t_3,\cdots,t_i,\cdots,t_{59},t_{60},t_{61})$

7.2.4 升温速率的测试

恒温槽升温速率的测试，一般选择在恒温槽实际工作温度范围的下限和上限进行，恒温槽升温速率的测试一般选择 1 ℃/min。也可以根据用户需求选择测试的温度点和升温速率。

将恒温槽的温度设定在下限温度（或接近上限温度），将固定温度计通过恒温槽插孔插入工作区域内 1/2 深度位置，待恒温槽达到设定温度后稳定至少 10 min 或恒温槽使用说明书要求的稳定时间。将恒温槽设定温度增加 10 ℃，升温速率设定为 1 ℃/min，使恒温槽升温，5 min 后，开始记录固定温度计温度示值 $t_{h(1)}$，以后每间隔 1 min 记录 1 次温度示值，持续 3 min，共计测量 4 个数据。根据式（1）计算相应每分钟升温速率偏差。根据式（2）选取升温速率偏差。

$$r_{h(i)}=\left|\frac{t_{h(i+1)}-t_{h(i)}}{1\ \mathrm{min}}-c_h\right| \tag{1}$$

式中：

$r_{h(i)}$ ——第 i 分钟升温速率偏差，℃/min；

$t_{h(i+1)}$ ——第 i 分钟末温度示值，℃；

c_h ——设定的恒温槽升温速率，℃/min；

i ——1，2，3。

$$r_h = \max\{r_{h(1)}, r_{h(2)}, r_{h(3)}\} \tag{2}$$

式中：

r_h——恒温槽升温速率偏差，℃/min。

7.2.5 降温速率的测试

恒温槽降温速率的测试，一般选择在恒温槽实际工作温度范围的上限和下限进行，恒温槽降温速率的测试一般选择 1 ℃/min。也可以根据用户需求选择测试的温度点和降温速率。

将恒温槽的温度设定在上限温度（或接近下限温度），将固定温度计通过恒温槽插孔插入工作区域内 1/2 深度位置，待恒温槽达到设定温度后稳定至少 10 min 或恒温槽使用说明书要求的稳定时间，将恒温槽设定温度减少 10 ℃，降温速率设定为 1 ℃/min，使恒温槽降温 5 min 后，开始记录固定温度计温度示值 $t_{c(1)}$，以后每间隔 1 min 记录 1 次温度示值，持续 3 min，共计测量 4 个数据。根据式（3）计算相应每分钟降温速率偏差。根据式（4）选取降温速率偏差。

$$r_{c(i)} = \left| \frac{t_{c(i)} - t_{c(i+1)}}{1\ \text{min}} - c_c \right| \tag{3}$$

式中：

$r_{c(i)}$ ——第 i 分钟降温速率偏差，℃/min；

$t_{c(i+1)}$ ——第 i 分钟末温度示值，℃；

c_c ——设定的恒温槽降温速率，℃/min；

i ——1，2，3。

$$r_c = \max\{r_{c(1)}, r_{c(2)}, r_{c(3)}\} \tag{4}$$

式中：

r_c——降温速率偏差，℃/min。

8 测试结果的表达

经测试的恒温槽发给测试证书。

9 复测时间

送测单位可根据恒温槽工作温度范围、使用频繁程度、导热介质物理性能等实际情况确定。一般不超过 1 年。

附录 A

恒温槽测试证书内页格式

测试温度	温度均匀性	温度波动性 ℃/10 min	升温速率偏差 ℃/min	降温速率偏差 ℃/min
_____℃	水平温差 Δt = _____℃ 最大温差 δt = _____℃	ω_t = _____	r_h = _____	r_c = _____
_____℃	水平温差 Δt = _____℃ 最大温差 δt = _____℃	ω_t = _____	r_h = _____	r_c = _____
_____℃	水平温差 Δt = _____℃ 最大温差 δt = _____℃	ω_t = _____	r_h = _____	r_c = _____

备注：

1. 环境温度：_____℃；环境相对湿度：_____%；
2. 使用介质：_____；
3. 工作区域上水平面深度____ mm；
   工作区域下水平面深度____ mm。

附录 B

恒温槽水平温差测量不确定度评定

B.1　测量方法

选择两支标准铂电阻温度计，一支作为固定温度计，另一支作为移动温度计。配接高精度数字多用表（技术指标满足本规范要求）进行测量。固定温度计感温端放置在恒温槽工作区域内的 o 点，移动温度计感温端放置在工作区域内的 a 点。分别读取固定温度计示值 t_a^o 和移动温度计示值 t_a；保持固定温度计的位置，调整移动温度计的位置，使移动温度计感温端移动到工作区域内同一水平面的 b 点，分别读取固定温度计示值 t_b^o 和移动温度计示值 t_b。通过计算得到 a 点和 b 点之间的温差。

选择测试温度为 50℃，水平温差指标为 0.005 ℃。

B.2　测量模型

恒温槽工作区域内 a、b 两点的温度差为：

$$\Delta t_{a-b}=\Delta t_{a-o}-\Delta t_{b-o}=(t_a-t_a^o)-(t_b-t_b^o)=(t_a-t_b)-(t_a^o-t_b^o)$$

B.3　不确定度来源和不确定度分量评定

B.3.1　测量重复性引入的标准不确定度 u_1

在 50 ℃时，按照本规范的测试方法对 a 和 b 两点的温差测试 10 次（$n=10$），用贝塞尔公式计算得到单次测量值的实验标准差 s 为 0.6 mK，每次测量由 4 次读数的算术平均值得到（$m=4$），故由重复性引入的不确定度为：$u_1=\dfrac{s}{\sqrt{m}}=0.3$ mK。

B.3.2　移动温度计引入的标准不确定度 u_2

采用 B 类评定。标准铂电阻温度计短时间内稳定性变化不超过 0.5 mK，按均匀分布处理，$u_2=0.5\ \text{mK}/\sqrt{3}\approx 0.29$ mK。

B.3.3　固定温度计短期稳定性引入的标准不确定度 u_3

采用 B 类评定。标准铂电阻温度计短时间内稳定性变化不超过 0.5 mK，按均匀分布处理，$u_3=0.5\ \text{mK}/\sqrt{3}\approx 0.29$ mK。

B.3.4　电测仪表短期稳定性引入的标准不确定度 u_4

采用 B 类评定。电测仪表短期稳定性在短期内（测量过程一般不超过 15 min）变化很小，而且由于分别同时测量两支电阻示值，最后计算出现前后两次相减，可以抵消稳定性带来影响，所以可以忽略不计。$u_4=0.0$ mK。

B.3.5　测量孔内温度变化不一致引入的标准不确定度 u_5

采用 B 类评定。两支铂电阻温度计分别插在两个孔内，两个孔内温度变化存在不一致的可能，估计不超过 1 mK，取半宽区间为 0.5 mK，按均匀分布处理，则 $u_5=0.5\ \text{mK}/\sqrt{3}=0.29$ mK。

B.4　合成标准不确定度

上述各标准不确定度不相关，则

$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2+u_4^2+u_5^2}=\sqrt{0.3^2+0.29^2+0.29^2+0.0^2+0.29^2}$ mK≈0.59 mK

B.5　扩展不确定度

取 $k=2$，则 $U=k\times u_c=$ 2×0.59 mK≈1.2 mK

（U 小于恒温槽水平温差 0.005 ℃的 1/3）

附录 C

恒温槽垂直温差测量不确定度评定例 1

C.1　测量方法

选择两支标准铂电阻温度计，一支作为固定温度计，另一支作为移动温度计。配接高精度数字多用表（技术指标满足本规范要求）进行测量。固定温度计感温端放置在恒温槽工作区域内的 o 点，移动温度计感温端放置在工作区域内上水平面（浸没深度 100 mm）的 a 点。分别读取固定温度计示值 t_a^o 和移动温度计示值 t_a；保持固定温度计的位置，调整移动温度计的位置，使移动温度计感温端移动到工作区域内下水平面（浸没深度 450 mm）的 e 点，分别读取固定温度计示值 t_e^o 和移动温度计示值 t_e。通过计算得到 a 点和 e 点之间的温差。

选择测试温度为 50 ℃，最大（垂直）温差指标为 0.01 ℃。

C.2　测量模型

恒温槽工作区域内 a、e 两点的温度差为：

$$\Delta t_{a-e}=\Delta t_{a-o}-\Delta t_{e-o}=(t_a-t_a^o)-(t_e-t_e^o)=(t_a-t_e)-(t_a^o-t_e^o)$$

C.3　不确定度来源和不确定度分量评定

C.3.1　测量重复性引入的标准不确定度 u_1

在 50 ℃时，按照本规范的测试方法对 a 和 e 两点的温差测试 10 次（$n=10$），用贝塞尔公式计算得到单次测量值的实验标准差 s 为 0.7 mK，每次测量由 4 次读数的算术平均值得到（$m=4$），故由重复性引入的不确定度为：$u_1=\dfrac{s}{\sqrt{m}}=0.35$ mK。

C.3.2　移动温度计引入的标准不确定度 u_2

C.3.2.1　标准铂电阻温度计短时间稳定性引入的不确定度 $u_{2.1}$

采用 B 类评定。标准铂电阻温度计短时间内稳定性变化不超过 0.5 mK，按均匀分布处理，$u_{2.1}=0.5\ \text{mK}/\sqrt{3}\approx0.29$ mK。

C.3.2.2　标准铂电阻温度计在上水平面（浸没深度 100 mm）漏热引入的不确定度 $u_{2.2}$

采用 B 类评定。标准铂电阻温度计在上水平面（浸没深度 100 mm）漏热产生示值误差 2.3 mK，按均匀分布处理，$u_{2.2}=2.3\ \text{mK}/\sqrt{3}\approx1.33$ mK。

标准不确定度 u_2 由以上两个分量合成，该两项不确定度之间不相关，则

$$u_2=\sqrt{u_{2.1}^2+u_{2.2}^2}=\sqrt{0.29^2+1.33^2}\ \text{mK}\approx1.36\ \text{mK}$$

C.3.3　固定温度计短期稳定性引入的标准不确定度 u_3

采用 B 类评定。标准铂电阻温度计短时间内稳定性变化不超过 0.5 mK，按均匀分布处理，$u_3=0.5\ \text{mK}/\sqrt{3}\approx0.29$ mK。

C.3.4　电测仪表短期稳定性引入的标准不确定度 u_4

采用 B 类评定。电测仪表短期稳定性在短期内（测量过程一般不超过 15 min）变

化很小，而且由于分别同时测量两支电阻示值，最后计算出现前后两次相减，可以抵消稳定性带来影响，所以可以忽略不计。u_4＝0.0 mK。

C.3.5　测量孔内温度变化不一致引入的标准不确定度 u_5

采用B类评定。两支铂电阻温度计分别插在两个孔内，两个孔内温度变化存在不一致的可能，估计不超过 1 mK，取半宽区间为 0.5 mK，按均匀分布处理，则 u_5＝0.5 mK/$\sqrt{3}$＝0.29 mK。

C.4　合成标准不确定度

上述各标准不确定度不相关，则

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2+u_4^2+u_5^2}=\sqrt{0.35^2+1.36^2+0.29^2+0.0^2+0.29^2}\ \text{mK}\approx 1.46\ \text{mK}$$

C.5　扩展不确定度

取 k＝2，则 $U=k\times u_c=2\times 1.46\approx 2.9$ mK

（U 小于恒温槽最大温差 0.01 ℃的 1/3）

附录 D

恒温槽垂直温差测量不确定度评定例 2

D.1　测量方法

选择两支标准铂电阻温度计，一支作为固定温度计，另一支作为移动温度计。配接高精度数字多用表（技术指标满足本规范要求）进行测量。固定温度计感温端放置在恒温槽工作区域内的 o 点，移动温度计感温端放置在工作区域内上水平面（浸没深度 100 mm）的 a 点。分别读取固定温度计示值 t_a^o 和移动温度计示值 t_a；保持固定温度计的位置，调整移动温度计的位置，使移动温度计感温端移动到工作区域内下水平面（浸没深度 450 mm）的 e 点，分别读取固定温度计示值 t_e^o 和移动温度计示值 t_e。通过计算得到 a 点和 e 点之间的温差。

选择测试温度为 300 ℃，垂直温差指标为 0.02 ℃。

D.2　测量模型

恒温槽工作区域内 a、e 两点的温度差为：

$$\Delta t_{a-e}=\Delta t_{a-o}-\Delta t_{e-o}=(t_a-t_a^o)-(t_e-t_e^o)=(t_a-t_e)-(t_a^o-t_e^o)$$

D.3　不确定度来源和不确定度分量评定

D.3.1　测量重复性引入的标准不确定度 u_1

在 300 ℃时，按照本规范的测试方法对 a 和 e 两点的温差测试 10 次（$n=10$），用贝塞尔公式计算得到单次测量值的实验标准差 s 为 1.7 mK，每次测量由 4 次读数的算术平均值得到（$m=4$），故由重复性引入的不确定度为：$u_1=\dfrac{s}{\sqrt{m}}=0.85$ mK。

D.3.2　移动温度计引入的标准不确定度 u_2

D.3.2.1　移动温度计短时间稳定性引入的标准不确定度 $u_{2.1}$

采用 B 类评定。标准铂电阻温度计短时间内稳定性变化不超过 0.5 mK，按均匀分布处理，$u_{2.1}=0.5\ \text{mK}/\sqrt{3}\approx 0.29$ mK。

D.3.2.2　移动温度计在上水平面（浸没深度 100 mm）漏热引入的不确定度 $u_{2.2}$

采用 B 类评定。标准铂电阻温度计在上水平面（浸没深度 100 mm）漏热产生示值误差 3.8 mK，按均匀分布处理，$u_{2.2}=3.8\ \text{mK}/\sqrt{3}\approx 2.19$ mK。

标准不确定度 u_2 由以上两个分量合成，该两项不确定度之间不相关，则

$$u_2=\sqrt{u_{2.1}^2+u_{2.2}^2}=\sqrt{0.29^2+2.19^2}\ \text{mK}\approx 2.21\ \text{mK}$$

D.3.3　固定温度计短期稳定性引入的标准不确定度 u_3

采用 B 类评定。标准铂电阻温度计短时间内稳定性变化不超过 0.5 mK，按均匀分布处理，$u_3=0.5\ \text{mK}/\sqrt{3}\approx 0.29$ mK。

D.3.4　电测仪表短期稳定性引入的标准不确定度 u_4

采用 B 类评定。电测仪表短期稳定性在短期内（测量过程一般不超过 15 min）变化很小，而且由于分别同时测量两支电阻示值，最后计算出现前后两次相减，可以抵消

稳定性带来影响，所以可以忽略不计。u_4＝0.0 mK。

D.3.5　测量孔内温度变化不一致引入的不确定度 u_5

采用B类评定。两支铂电阻温度计分别插在两个孔内，测量孔内温度变化存在不一致的可能，估计不超过 5 mK，取半宽区间为 2.5 mK，按均匀分布处理，则 u_5＝2.5 mK/$\sqrt{3}$＝1.44 mK。

D.4　合成标准不确定度

上述各标准不确定度不相关，则

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2+u_4^2+u_5^2}=\sqrt{0.85^2+2.21^2+0.29^2+0.0^2+1.44^2}\ \text{mK}\approx 2.79\ \text{mK}$$

D.5　扩展不确定度

取 k＝2，则 $U=k\times u_c$＝2×2.79 mK≈5.6 mK

（U 小于最大温差 0.02 ℃的 1/3）