



中华人民共和国工业和信息化部
石油和化工计量技术规范

JJF（石化）XXXX—20XX

快速温变实验板校准规范

Calibration Specification of Rapid Temperature Change Experimental boards

（报批稿）

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部发布

快速温变实验板校准规范

Calibration Specification of Rapid Temperature

Change Experimental boards

JJF(石化) XXXX—20XX

归口单位:中国石油和化学工业联合会

主要起草单位:上海市质量监督检验技术研究院

参加起草单位:上海华岭申瓷集成电路有限责任公司

上海精密计量测试研究所

杭州派乐科技有限公司

广州格丹纳仪器有限公司

本规范委托全国石油和化工行业计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

陶笑昱（上海市质量监督检验技术研究院）

金 路（上海市质量监督检验技术研究院）

翟琼劼（上海市质量监督检验技术研究院）

王 鹏（上海市质量监督检验技术研究院）

庞永敏（上海市质量监督检验技术研究院）

参加起草人：

曹家兴（上海航天技术基础研究所）

丁荣伟（上海华岭申瓷集成电路有限责任公司）

郑勤锋（杭州派乐科技有限公司）

叶家胤（广州格丹纳仪器有限公司）

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	(2)
6 校准条件	(3)
6.1 环境条件	(3)
6.2 测量标准及其他设备	(3)
7 校准项目和校准方法	(3)
7.1 校准项目	(3)
7.2 校准方法	(4)
8 校准结果	(7)
8.1 校准记录	(7)
8.2 校准证书	(7)
8.3 不确定度	(7)
9 复校时间间隔	(7)
附录 A 快速温变实验板校准记录参考格式	(8)
附录 B 快速温变实验板校准证书的内页参考格式	(10)
附录 C 快速温变实验板温度示值误差测量结果不确定度评定示例	(11)
附录 D 快速温变实验板温度波动度测量结果不确定度评定示例	(14)
附录 E 快速温变实验板温度均匀度测量结果不确定度评定示例	(16)
附录 F 快速温变实验板温度变化速率测量结果不确定度评定示例	(18)
附录 G 快速温变实验板计时示值误差测量结果不确定度评定示例	(20)

引 言

本规范依据 JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.11—2012《测量不确定度评定与表示》、JJF 10011—2011《通用计量术语及定义》等基础性系列规范进行编写。

本规范主要参考 JJF 1409—2013《表面温度计校准规范》、JJF 1101—2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》、JJF（鲁）137—2013《表面温度源校准规范》、GB/T 5170.10—2008《电工电子产品环境试验设备检验方法 高低温低气压实验设备》、JJF 1270—2010《温度、湿度、振动综合环境试验系统校准规范》以及 JJF（军工）256—2020《恒温加热台校准规范》制定。

本规范为首次发布。

快速温变实验板校准规范

1 范围

本规范适用于温度测量范围为 $(-60\sim 500)^{\circ}\text{C}$ 平板式的快速温变实验板（以下简称实验板）的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1071-2010 国家计量校准规范编写规则

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 工作区域 working area

实验板上能将规定的温度性能保持在规定偏差范围内的那部分区域。

3.2 稳定状态 steady state

实验板工作区域所有测试点参数的变化量均达到实验板自身性能指标要求时的状态。

3.3 温度变化速率 temperature variation rate

实验板工作区域几何中心点测得两个规定温度之间的变化速度，用 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 表示。

3.4 温度示值误差 temperature indication error

实验板工作区域在稳定状态下，实验板的显示温度平均值与工作区域中心处实际测得的温度平均值的差值。

3.5 温度波动度 temperature fluctuation

实验板工作区域上在规定的时间内，各测量点最高温度与最低温度之差的一半，取各点之差的最大值，冠以“±”号。

3.6 温度均匀度 temperature uniformity

实验板工作区域上在规定的时间内，任意两测量点温度之差的最大值的算术平均值。

4 概述

快速温变实验板一般由加热装置、制冷装置、温度传感器、温度控制系统、计时器和显示屏组成。通过温度传感器和温度控制系统对温度进行监测和调节，以保持实验板工作区域的温度恒定或温度快速上升（或下降）至设定温度点。实验板主要用于材料理化分析，以及生物工程和半导体器件工艺加工等领域。图 1 为快速温变实验板结构示意图。

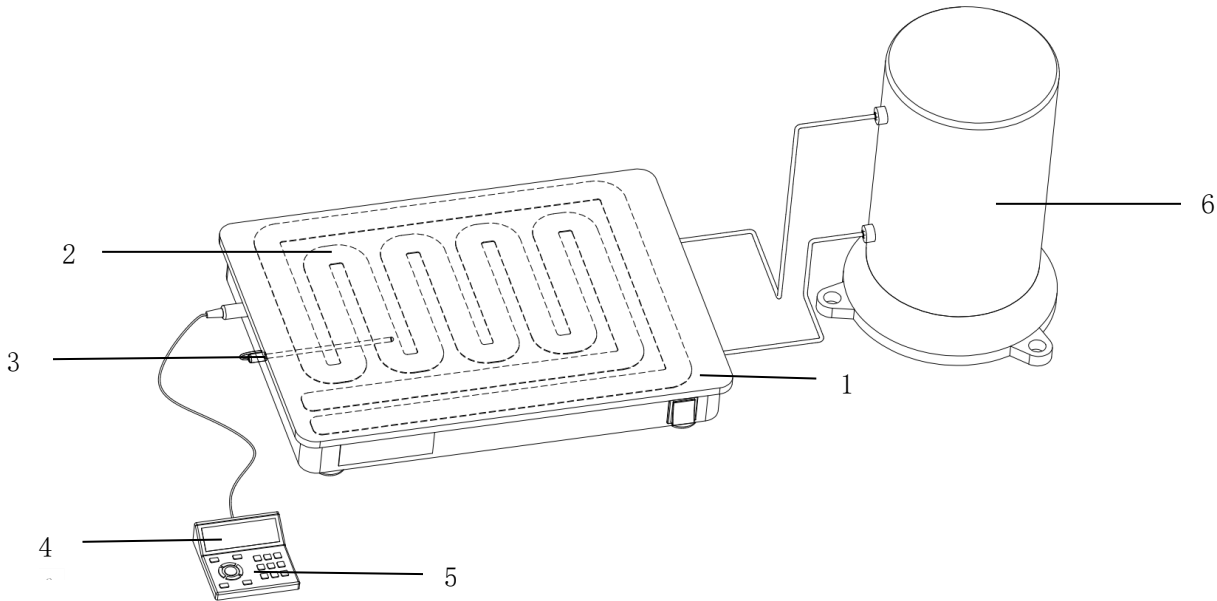


图 1 快速温变实验板结构示意图

1-工作区域；2-加热装置；3-温度传感器；4-显示屏；5-温度控制器、计时器；6-制冷装置

5 计量特性

实验板的温度、时间参数具体计量技术要求见表1。

表 1 快速温变实验板计量特性一览表

序号	温度范围/℃	技术要求	
		$-60\leq T\leq 300$	$300<T\leq 500$
1	温度示值误差/℃	MPE: ± 5.0	MPE: ± 10.0
2	温度波动度/℃	± 1.0	± 1.5
3	温度均匀度/℃	3.0	5.0
4	温度变化速率	实测值	
5	计时示值误差/s	MPE: ± 1.0	

注 1：以上指标要求不用于合格性判断，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 温度条件

温度： $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，环境温度波动每小时不超过 $0.5 ^\circ\text{C}$ 。

6.1.2 湿度条件

相对湿度：不大于 85%。

6.1.3 校准环境无明显机械振动，应无强烈振动及腐蚀性气体存在，环境温度应避免剧烈波动。

6.2 测量标准及其他设备

测量标准及配套设备的技术要求见表 2。

表2 校准用标准器及配套设备

序号	校准项目	设备名称	测量范围	分辨力	技术要求
1	温度示值误差	温度测量装置	$(-60\sim 500)\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.1℃	测量不确定度应不大于被校设备最大允许误差绝对值的 1/3
	温度波动度				
	温度均匀度				
2	计时示值误差	时间测量装置	$(1\sim 3600)\text{ s}$	0.1s	MPE: $\pm 0.5\text{s/d}$
3	温度速率变化	温度测量装置	$(-60\sim 500)\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.1℃	测量不确定度应不大于被校设备最大允许误差绝对值的 1/3
		时间测量装置	$(1\sim 3600)\text{ s}$	0.1s	MPE: $\pm 0.5\text{s/d}$

注：

1. 温度测量装置一般选择自重式表面温度传感器及显示仪表，也可选择符合技术要求的其他测量标准。

2. 温度速率变化项目仅针对具有该项功能的实验板。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

校准项目见表 2，实验板的校准温度点一般包含用户常用温度点以及实验板温度范围

的上、下限，也可根据用户需求设置校准温度点。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

7.2.1.1 外观检查

目测检查被校实验板上应标有型号规格、制造厂（或商标）和出厂编号，标识清晰，外观应无锈蚀、变形、工作区域无脱落、划痕等缺陷；按键功能完好，指示屏显示正常，无叠字、乱码、缺笔画等可见缺损。被校实验板上（或说明书上）应标注有温度范围。

7.2.1.2 温度测试点的布置

快速温变实验板一般有圆形和矩形，应根据实验板的形状以及尺寸按以下四类要求布置，也可根据用户需求增加布置点（一般布置点数量遵循不予减少的原则）：

A 类：当实验板工作区域的长边和宽边均不小于 150mm 且不大于 400mm（即 $150\text{mm} \leq l \leq 400\text{mm}$ ）的矩形实验板或直径不小于 150mm 且不大于 400mm（即 $150\text{mm} \leq R \leq 400\text{mm}$ ）的圆形实验板，将温度传感器分别布置于 O、A、B、C、D 点，其中 O 为几何中心点，其余各测量点与工作区域边距为各长或直径的 1/5，A 类测量点布置示意图 2。

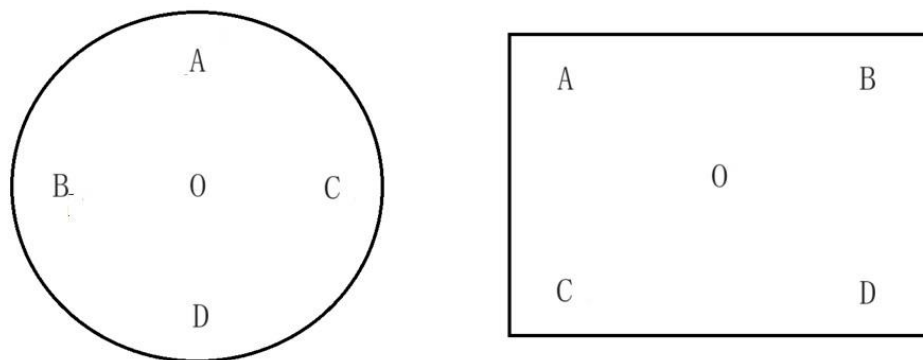


图 2 A 类实验板测量点布置示意图

B 类：对于长度不小于 150mm（即 $l \geq 150\text{mm}$ ），宽度不小于 80mm 且不大于 150mm（即 $80\text{mm} \leq w \leq 150\text{mm}$ ）的矩形实验板，将温度传感器分别布置于 O、A、B 点，其中 O 为几何中心点，其余各布置点与 O 点放置在同轴线上，与工作区域边距为长边的 1/5，B 类测量点布置示意图 3。

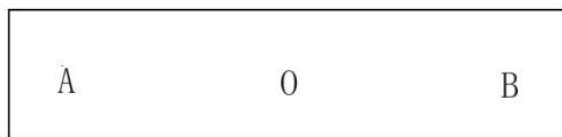


图3 B类实验板测量点布置示意图

C类：当实验板的工作区域边长均小于80mm（即 $l > 80\text{mm}$ ）或直径小于150mm（即 $R > 150\text{mm}$ ）的，可布置1个测量点，位于工作区域的几何中心。

D类：当实验板的工作区域边长或直径大于400mm的，在两相邻测量点之间采取均匀分布的原则适当增加测量点个数，也可根据用户要求适当增加测量点。

7.2.2 温度示值误差

根据不同的实验板尺寸和形状，按7.2.2规定布置温度传感器，将温度测量装置放置在实验板工作区域上，温度传感器测量端应与实验板工作区域紧密贴合。将被校设备设定至校准温度，待实验板工作区域达到稳定状态后（温度稳定时间不超过60min），分别记录实验板的显示值和实验板工作区域几何中心点O的温度实测值，记录间隔2min，30min内共记录16组数据。按下列公式计算温度示值误差 ΔT 。

$$\Delta T = T_d - (T_o + f) \quad (1)$$

式中：

ΔT ——温度示值误差，℃；

T_d ——实验板显示温度的平均值，℃；

T_o ——温度测量装置在中心点测量的平均值，℃；

f ——温度测量装置在校准温度点的修正值，℃。

7.2.3 温度波动度

按7.2.3的测量方法记录各点的实测温度，取各点实测温度中最高温度与最低温度之差的一半，冠以“±”号，取全部变化量的最大值作为温度波动度的校准结果。按公式(2)计算温度波动度 ΔT_f ：

$$\Delta T_f = \pm \max[(T_{j\max} - T_{j\min})]/2 \quad (2)$$

式中：

ΔT_f ——温度波动度，℃；

$T_{j\max}$ ——测量点 j 在 n 次测得的最高温度, °C;

$T_{j\min}$ ——测量点 j 在 n 次测得的最低温度, °C。

7.2.4 温度均匀度

按 7.2.3 的测量方法记录各点的实测温度, 每次测量中实测最高温度与最低温度之差的算术平均值, 按公式 (3) 计算温度均匀度 ΔT_u :

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

式中:

ΔT_u ——温度均匀度, °C;

$T_{i\max}$ ——各测量点在第 i 次测得的最高温度, °C;

$T_{i\min}$ ——各测量点在第 i 次测得的最低温度, °C;

n ——测量次数。

7.2.5 温度变化速率

实验板工作区域几何中心点测得两个规定温度之间的变化速度, 记录测量中心点 0 的温度从温度范围的 10% 上升 (或下降) 到 90% 所需的时间, 按公式 (4) 计算温度变化速率 v_t :

$$v_t = \frac{(T_2 - T_1) \times 80\%}{t} \quad (4)$$

式中:

v_t ——温度变化速率, °C/min;

T_2 ——两个规定温度中高的规定温度值, °C;

T_1 ——两个规定温度中低的规定温度值, °C;

t ——温度自规定温度范围的 10% 上升到 90% 所需的时间, min。

7.2.6 计时示值误差

根据用户要求设定计时校准点, 将时间测量装置与设备计时功能同时开启, 记录时间测量装置与被校设备计时器的测量值, 重复 3 次测量, 取实验板的显示时间 3 次平均值与时间测量装置 3 次实测平均值的差值。

计时示值误差按公式 (5) 计算:

$$\Delta t = t_r - t_s \quad (5)$$

式中:

Δt ——实验板的计时示值误差，s；

t_r ——实验板显示时间平均值，s；

t_s ——时间测量装置实测平均值，s。

8 校准结果

8.1 校准记录

校准记录应详尽记录校准数据和计算结果。推荐的仪器校准记录格式见附录A。

8.2 校准证书

经校准的仪器应出具校准证书。校准证书内容应符合JJF 1071-2010中5.12的要求。推荐的仪器校准证书的内页格式参见附录B。

8.3 不确定度

校准证书应给出各校准项目的扩展不确定度，评定示例见附录C、附录D、附录E、附录F、附录G。

9 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用频率、使用环境、仪器本身质量等诸因素所决定，因此，用户可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔，建议不超过一年。

附录 A

快速温变实验板校准原始记录参考格式

基本信息						
委托单位		原始记录号		校准证书号		
仪器名称		规格型号		设备编号		
制造厂商		环境温度	℃	环境湿度	%RH	
标准器						
名称	型号	编号	测量范围	不确定度或准确度等级或最大允许误差	证书编号/有效期	溯源机构名称
校准依据						
校准地点			校准日期	年	月	日
校准结果:						
校准前检查: 外观 <input type="checkbox"/> 标有型号规格、制造厂(或商标)和出厂编号, 标识清晰。 <input type="checkbox"/> 外观无锈蚀、变形、热封面无脱落、划痕等缺陷。 <input type="checkbox"/> 按键功能完好, 指示屏显示正常, 无叠字、乱码、缺笔画等可见缺损。 <input type="checkbox"/> 标注快速温变实验板温度范围。						
一、传感器布点示意图:						
二、温度数据记录及处理:						
温度设定值:						
次数	被校快速温变实验板显示值(℃)	各位置实测温度值(℃)				
		A	B	0	...	
1						
2						
3						
4						
5						
6						

(续)

次数	被校快速温变实验 板显示值 (°C)	各位置实测温度值 (°C)			
		A	B	0	...
...					
16					
平均值					
温度波动度 (°C)			扩展不确定度 U ($k=2$) (°C)		
温度均匀度 (°C)			扩展不确定度 U ($k=2$) (°C)		
温度示值误差 (°C)			扩展不确定度 U ($k=2$) (°C)		
三、温度变化速率:					
设定值 T_1			设定值 T_2		
初试时间			到达时间		
温度变化速率			扩展不确定度 U ($k=2$) (°C/min)		
四、时间数据记录及处理:					
显示值 (s)	实测时间值 (s)				平均值
	1	2	3		
计时示值误差 (s)		扩展不确定度 U ($k=2$) (s)			
校准员		核验员			
备注:					

附录 B

快速温变实验板校准证书的内页参考格式

证书编号：

设定温度		
校准项目	校准结果	扩展不确定度 $U(k=2)$
温度示值误差 (°C)		
温度均匀度 (°C)		
温度波动度 (°C)		
温度变化速率 T ₁ : °C T ₂ : °C (°C/min)		
计时示值误差 (s)		
备注：		

附录 C

快速温变实验板温度示值误差测量结果不确定度评定示例

C.1 校准方法

将实验板温度设定为 200.0℃，校准方法如本规范 7.2.3。

C.2 测量模型

$$\Delta T = T_d - (T_o + f) \quad (\text{C.1})$$

式中：

ΔT ——温度示值误差，℃；

T_d ——实验板显示温度的平均值，℃；

T_o ——温度测量装置在中心点测量的平均值，℃；

f ——温度测量装置在校准温度点的修正值，℃。

C.3 不确定度来源及分析

式 (C.1) 中，输入量 T_d 的标准不确定度主要来源于被校设备重复性和分辨力引入的不确定度分量；输入量 T_o 的标准不确定度主要来源于标准器的测量重复性和显示分辨力引入的不确定度分量；输入量 f 的标准不确定度主要来源于标准器的修正值引入的不确定度分量；标准器温度短期稳定性引入的标准不确定度分量。

C.3.1 由标准器的测量重复性引入的不确定度 (u_1)

标准器对快速温变实验板作 16 次独立重复测量，记为 T_{o1} 、 T_{o2} T_{o10} ，平均值记为 $\overline{T_o}$ ，其测量观测值例如表 C.1 所示。

表C.1 标准器重复测量的读数值

i (次数)	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 T_{oi} /℃	201.3	201.0	200.8	201.6	201.4	201.5	200.7	201.4
i (次数)	9	10	11	12	13	14	15	16
温度 T_{oi} /℃	200.1	201.0	201.2	200.2	200.0	201.3	201.9	200.2

用公式计算测量的实验标准偏差：

$$s(T_o) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{oi} - \overline{T_o})^2}{n(n-1)}} = 0.15^\circ\text{C} \quad (\text{C.2})$$

C.3.2 标准器的显示分辨力引入的不确定度(u_2)

标准器的温度显示分辨力为 0.1°C ，半宽 $a=0.05^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则

$$u_2=0.05/\sqrt{3}=0.003^{\circ}\text{C}。 \quad (\text{C.3})$$

C.3.3 由标准器的修正值引入的不确定度(u_3)

标准器的修正值的扩展不确定度为 0.3°C ， $k=2$ ，则由标准器的修正值引入的不确定度

$$u_3=U/k=0.3^{\circ}\text{C}/2=0.15^{\circ}\text{C}。 \quad (\text{C.4})$$

C.3.4 快速温变实验板的温度仪表读数重复性引入的不确定度(u_4)

对快速温变实验板作 16 次独立重复试验，从快速温变实验板温度仪表读取 16 次显示值，记为 T_{d1} 、 T_{d2} 、…… T_{d16} ，平均值记为 \bar{T}_d ，其测量观测值例如表 C.2 所示。

表C.2 快速温变实验板温度仪表重复测量的读数

i (次数)	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 T_{di} / $^{\circ}\text{C}$	200.5	200.2	200.0	200.4	200.1	200.2	200.1	200.5
i (次数)	9	10	11	12	13	14	15	16
温度 T_{di} / $^{\circ}\text{C}$	199.9	200.3	200.0	200.1	200.2	200.2	200.5	200.0

用公式计算测量的实验标准偏差：

$$s(T_d) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{di} - \bar{T}_d)^2}{n(n-1)}} = 0.05^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.5})$$

C.3.5 快速温变实验板的温度仪表显示分辨力引入的不确定度(u_5)

快速温变实验板的温度显示分辨力为 0.1°C ，半宽 $a=0.05^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则

$$u_5=0.05/\sqrt{3}=0.03^{\circ}\text{C}。$$

C.3.6 由标准器温度短期稳定性引入的标准不确定度分量。(u_6)

本标准器相邻两次校准温度修正值最大变化为 0.1°C ，按均匀分布，则

$$u_3=0.1/\sqrt{3}=0.06^{\circ}\text{C}。$$

C.4 不确定度分量汇总

表 C.3 不确定度分量一览表

标准不确定度符号	标准不确定度来源	标准不确定度
u_1	标准器的测量重复性	0.15℃
u_2	标准器的显示分辨力	0.003℃（略去）
u_3	标准器的修正值	0.15℃
u_4	快速温变实验板温度仪表读数重复性	0.05℃
u_5	快速温变实验板的温度显示分辨力	0.03℃（略去）
u_6	标准器温度短期稳定性	0.06℃

C.5 合成标准不确定度

输入量间彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按公式（C.6）得到：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_6^2} = 0.23^\circ\text{C} \quad (\text{C.6})$$

C.6 扩展不确定度的评定

$$\text{取包含因子 } k=2, \text{ 故 } U = k \times u_c = 2 \times u_c = 0.5^\circ\text{C} \quad (k=2) \quad (\text{C.7})$$

附录 D

快速温变实验板温度波动度测量结果不确定度评定示例

D.1 校准方法

将实验板温度设定为 200.0℃，校准方法如本规范 7.2.4。

D.2 测量模型

$$\Delta T_f = \pm \max[(T_{j\max} - T_{j\min})]/2 \quad (\text{D.1})$$

式中：

ΔT_f ——温度波动度，℃；

$T_{j\max}$ ——测量点 j 在 n 次测得的最高温度，℃；

$T_{j\min}$ ——测量点 j 在 n 次测得的最低温度，℃。

D.3 不确定度来源及分析

式 (D.1) 中，输入量 ΔT_f 的不确定度主要来源标准器测量重复性引入的标准不确定度分量，标准器温度分辨力引入的标准不确定度分量。

D.3.1 由标准器的测量重复性引入的不确定度 (u_1)

标准器对快速温变实验板作 16 次独立重复测量，记为 T_{f1} 、 T_{f2} 、……、 T_{f16} ，平均值记为 \bar{T}_f ，其测量观测值例如表 D.1 所示。

表 D.1 快速温变实验板温度波动度重复性的读数

i (次数)	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 T_{fi} /℃	0.4	0.8	0.5	0.6	0.2	0.5	0.7	1.0
i (次数)	9	10	11	12	13	14	15	16
温度 T_{fi} /℃	0.4	0.3	0.3	0.4	1.0	0.8	0.6	0.7

用贝塞尔公式计算测量的试验标准偏差：

$$s(T_f) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{fi} - \bar{T}_f)^2}{n-1}} = 0.24^\circ\text{C} \quad (\text{D.2})$$

D.3.2 标准器的显示分辨力引入的不确定度 (u_2)

标准器的温度显示分辨力为 0.1℃，半宽 $a=0.05^\circ\text{C}$ ，服从均匀分布，则

$$u_2=0.05/\sqrt{3}=0.03^{\circ}\text{C}。$$

D.4 不确定度分量汇总

表 D.2 不确定度分量一览表

标准不确定度符号	标准不确定度来源	标准不确定度
u_1	标准器温度波动度重复性	0.24℃
u_2	标准器的显示分辨力	0.03℃ (略去)

D.5 合成标准不确定度

输入量间彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按公式 (D.3) 得到：

$$u_c=0.24^{\circ}\text{C} \quad (\text{D.3})$$

D.6 扩展不确定度的评定

$$\text{取包含因子 } k=2, \text{ 故 } U=k \times u_c=2 \times u_c=0.5^{\circ}\text{C} \quad (k=2) \quad (\text{D.4})$$

附录 E

快速温变实验板温度均匀度测量结果不确定度评定示例

E.1 校准方法

将实验板温度设定为 200.0℃，校准方法如本规范 7.2.5。

E.2 测量模型

$$\Delta T_u = \sum_{i=1}^n (T_{imax} - T_{imin}) / n \quad (\text{E.1})$$

式中：

ΔT_u ——温度均匀度，℃；

T_{imax} ——各测量点在第 i 次测得的最高温度，℃；

T_{imin} ——各测量点在第 i 次测得的最低温度，℃；

n ——测量次数。

E.3 不确定度来源及分析

式 (E.1) 中，输入量 ΔT_i 的标准不确定度主要来源被校设备测量重复性引入的标准不确定度分量，标准器温度分辨力引入的标准不确定度分量，标准器不同通道之间的温度漂移引入的标准不确定度分量。

E.3.1 由标准器的测量重复性引入的不确定度 (u_1)

标准器对快速温变实验板作 16 次独立重复测量，记为 T_{u1} 、 T_{u2} T_{u10} ，平均值记为 \bar{T}_u ，其测量观测值例如表 E.1 所示。

表 E.1 快速温变实验板温度均匀度重复性的读数值

i (次数)	1	2	3	4	5	6	7	8
温度 T_{ui} /℃	0.4	0.7	0.5	0.6	0.6	0.7	0.5	0.7
i (次数)	9	10	11	12	13	14	15	16
温度 T_{ui} /℃	0.6	0.6	0.5	0.5	0.7	0.7	0.6	0.5

用公式计算测量的实验标准偏差：

$$s(T_u) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{ui} - \bar{T}_u)^2}{n(n-1)}} = 0.08^\circ\text{C} \quad (\text{E.2})$$

E.3.2 标准器的显示分辨力引入的不确定度(u_2)

标准器的温度显示分辨力为 0.1°C ，半宽 $a=0.05^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则
 $u_2=0.05/\sqrt{3}=0.03^{\circ}\text{C}$ 。

E.3.3 标准器不同通道之间的温度漂移引入的标准不确定度分量(u_3)

本标准器相邻两次校准温度修正值最大变化为 0.1°C ，按均匀分布，则
 $u_3=0.1/\sqrt{3}=0.06^{\circ}\text{C}$ 。

E.4 不确定度分量汇总

表 E.2 不确定度分量一览表

标准不确定度符号	标准不确定度来源	标准不确定度
u_1	标准器温度波动度重复性	0.08°C
u_2	标准器的显示分辨力	0.03°C (略去)
u_3	标准器不同通道之间的温度漂移	0.06°C

E.5 合成标准不确定度

输入量间彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按公式 (E.3) 得到：

$$u_c=\sqrt{u_1^2+u_3^2}=0.1^{\circ}\text{C} \quad (\text{E.3})$$

E.6 扩展不确定度的评定

$$\text{取包含因子 } k=2, \text{ 故 } U=k \times u_c=2 \times u_c=0.2^{\circ}\text{C} \quad (k=2) \quad (\text{E.4})$$

附录 F

快速温变实验板温度变化速率测量结果不确定度评定示例

F.1 校准方法

温度变化速率设置从 100℃升温至 200℃，校准方法如本规范 7.2.6。

F.2 测量模型

$$v_t = \frac{(T_2 - T_1) \times 80\%}{t} \quad (\text{F.1})$$

式中：

v_t ——温度变化速率，℃/min；

T_2 ——两个规定温度中高的规定温度值，℃；

T_1 ——两个规定温度中低的规定温度值，℃；

t ——温度自规定温度范围的 10%上升到 90%所需的时间，min。

F.3 不确定度来源及分析

式（F.1）中，输入量 v_t 的标准不确定度主要来源温度标准器读数引入的标准不确定度分量和计时读数引入的不确定度。此次不确定度评定通过温度变化速率的重复性将温度读数和计时读数引入的不确定度包含在内，不单独罗列。

F.3.1 温变变化速率的重复性引入的不确定度 u_1

标准器对快速温变实验板从 100℃升温至 200℃作 10 次独立重复测量，记为 v_{t1} , v_{t2} , ..., v_{t10} ，平均值记为 \bar{v}_t ，其测量观测值例如表 F.1 所示。

表F.1 快速温变实验板温度仪表重复测量的读数值

i （次数）	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
温度变化 速率 v_{ti} /(℃/min)	49.6	50.3	50.9	49.9	49.7	50.4	50.8	49.6	50.4	50.8

用贝塞尔公式计算单次测量的试验标准偏差：

$$s(v_t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (v_{ti} - \bar{v}_t)^2}{n-1}} = 0.51^\circ\text{C} \quad (\text{F.2})$$

F.4 不确定度分量汇总

表 F.2 不确定度分量一览表

标准不确定度符号	标准不确定度来源	标准不确定度
u_1	标准器温度变化速率测量重复性	0.51℃

F.5 合成标准不确定度

输入量间彼此独立不相关，且灵敏系数绝对值都为1，所以合成标准不确定度可按公式（F.3）得到：

$$u_c = 0.51^\circ\text{C} \quad (\text{F.3})$$

F.6 扩展不确定度的评定

$$\text{取包含因子 } k=2, \text{ 故 } U = k \times u_c = 2 \times u_c = 1.1^\circ\text{C} \quad (k=2) \quad (\text{F.4})$$

附录 G

快速温变实验板计时示值误差测量结果不确定度评定示例

G.1 概述

以时间显示分辨力为 0.1s 的快速温变实验板为例，用计时器作为时间测量装置进行校准，分析、计算校准温度点为 60s 时的计时示值误差不确定度。

G.2 测量模型

计时示值误差按公式（3）计算：

$$\Delta t = t_r - t_s \quad (\text{G.1})$$

式中：

Δt ——快速温变实验板计时示值误差，s；

t_r ——快速温变实验板时间显示值，s；

t_s ——时间测量装置的读数，s。

G.3 不确定度来源及分析

式（G.1）中，输入量 t_s 的标准不确定度主要来源标准器的测量重复性、读数分辨力以及时间测量装置量值溯源导致的不确定度； t_r 的标准不确定度主要来源快速温变实验板计时的测量重复性和读数分辨力导致的不确定度。

G.3.1 时间测量装置的测量重复性引入的不确定度（ u_1 ）

时间测量装置在 60s 时间校准点重复测量 10 次，记为 t_{s1} 、 t_{s2} …… t_{s10} ，平均值记为 \bar{t}_s ，其测量观测值例如表 G.1 所示。

表G.1 时间测量装置计时重复性的读数值

i （次数）	1	2	3	4	5	6	7	8
t_s /s	60.4	60.4	60.5	60.6	60.6	60.7	60.5	60.7
i （次数）	9	10	11	12	13	14	15	16
t_s /℃	60.5	60.6	60.5	60.5	60.5	60.7	60.6	60.5

用公式计算测量的实验标准偏差：

$$s(t_s) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{si} - \bar{t}_{sl})^2}{n-1}} = 0.1 \text{ s} \quad (\text{G. 2})$$

实际测量以 3 次测量的平均值作为测量结果，故标准不确定度 $u_1 = s / \sqrt{3} = 0.06 \text{ s}$

G 3.2 时间测量装置的分辨力引入的不确定度 (u_2)

时间测量装置的显示分辨力为 0.1s，半宽 $a = 0.05 \text{ s}$ ，服从均匀分布，则 $u_2 = 0.05 / \sqrt{3} = 0.03 \text{ s}$ 。

G 3.3 时间测量装置的量值溯源引入的不确定度 (u_3)

根据时间测量装置的溯源证书，其测量扩展不确定度为 $U = 0.06 \text{ s}$ ($k=2$)，则 $u_3 = 0.06 / 2 = 0.03 \text{ s}$ 。

G 3.4 快速温变实验板计时的测量重复性引入的不确定度 (u_4)

快速温变实验板在 60s 时间校准点重复测量 10 次，记为 $t_{r1}, t_{r2}, \dots, t_{r10}$ ，平均值记为 \bar{t}_r ，其测量观测值例如表 G.2 所示。

表G.2 快速温变实验板计时的测量重复性的读数值

i (次数)	1	2	3	4	5	6	7	8
t_r / s	60.3	60.2	60.2	60.2	60.2	60.2	60.1	60.3
i (次数)	9	10	11	12	13	14	15	16
$t_r / ^\circ\text{C}$	60.0	60.1	60.3	60.2	60.3	60.1	60.3	60.0

用公式计算测量的实验标准偏差：

$$s(t_r) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{ri} - \bar{t}_{ri})^2}{n-1}} = 0.1 \text{ s} \quad (\text{G. 3})$$

实际测量以 3 次测量的平均值作为测量结果，故标准不确定度 $u_4 = s / \sqrt{3} = 0.06 \text{ s}$ 。

G 3.5 快速温变实验板计时的分辨力引入的不确定度 (u_5)

时间测量装置的显示分辨力为 0.1s，半宽 $a = 0.05 \text{ s}$ ，服从均匀分布，则 $u_5 = 0.05 / \sqrt{3} = 0.03 \text{ s}$ 。

G.4 不确定度分量一览表

表G.3 不确定度分量一览表

标准不确定度符号	标准不确定度来源	标准不确定度
u_1	时间测量装置的测量重复性	0.06s
u_2	时间测量装置的分辨力	0.03s（忽略）
u_3	时间测量装置的量值溯源	0.03s
u_4	快速温变实验板计时的测量重复性	0.06s
u_5	快速温变实验板计时的分辨力	0.03s（忽略）

G.5 合成标准不确定度的评定

输入量间彼此独立不相关，所以合成标准不确定度可按公式（G.4）得到：

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2} = 0.1\text{s} \quad (\text{G.4})$$

G.6 扩展不确定度的评定

$$\text{取包含因子 } k=2, \text{ 故 } U = k \times u_c = 2 \times u_c = 0.2\text{s} \quad (k=2) \quad (\text{G.5})$$