



福建省地方计量技术规范

JJF(闽)1121-2021

温度交变、冲击试验设备校准规范

Calibration Specification for Temperature Alternating
and Temperature Shock Testing Equipments

2021-07-19 发布

2021-10-19 实施

福建省市场监督管理局 发布

温度交变、冲击试验设备校准规范

**Calibration Specification for Temperature
Alternating and Temperature Shock
Testing Equipments**

JJF (闽) 1121-2021

归口单位：福建省市场监督管理局

主要起草单位：福建省计量科学研究院

宸鸿科技（厦门）有限公司

本规范委托福建省计量规范技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

曾 颖（福建省计量科学研究院）

刘 萍（福建省计量科学研究院）

廖家琴（宸鸿科技（厦门）有限公司）

参加起草人：

黄秀钦（福建省计量科学研究院）

林 军（福建省计量科学研究院）

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)
7 校准项目和校准方法	(3)
8 校准结果表达	(8)
9 复校时间间隔	(8)
附录A 温度交变、冲击试验设备校准记录(格式)	(9)
附录B 温度交变、冲击试验设备校准证书内页(格式)	(11)
附录C 温度交变、冲击试验设备试验箱温度示值误差不确定度评定示例	(12)
附录D 温度交变、冲击试验设备温度变化速率测量不确定度评定示例	(15)

引 言

JJF 1001-2011《通用计量名词术语与定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》和 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》共同构成支撑本规范制定的基础性系列规范。

本规范参考 JJF 1101-2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》、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 10592-2008《高低温试验箱技术条件》编制而成。

本规范为首次发布。

温度交变、冲击试验设备校准规范

1 范围

本校准规范适用于高低温交变试验箱、冷热冲击试验箱。其他用于进行温度变化试验的环境试验设备可参照本规范执行。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1101-2019 环境试验设备温度、湿度参数校准规范

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 10592-2008 高低温试验箱技术条件

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 稳定状态 steady state

试验箱工作区域内几何中心点温度变化量达到指定范围内的状态。

3.2 稳态实际温度 steady-state actual temperature

试验箱温度稳定状态下，工作区域几何中心点所达到的实测温度平均值。

3.3 试验箱温度示值误差 temperature indication error

试验箱温度稳定状态下，稳态实际温度与试验箱温度指示值平均值之差。

3.4 温度偏差 temperature deviation

试验箱温度稳定状态下，工作区域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。

3.5 温度波动度 temperature fluctuation

试验箱温度稳定状态下，在规定时间间隔内，工作区域中任意一位置点温度随时间的变化量。

3.6 温度均匀性 temperature uniformity

试验箱温度稳定状态下，工作区域在某一瞬时任意两点温度之间的最大温差。

3.7 温度变化速率 temperature variation rate [GB/T 5170.1-2016, 3.2.10]

试验箱工作区域几何中心点测得（10%~90%）两个设定温度区间的转变速率。

3.8 5min 温度平均变化速率 temperature average variation rate of 5 minute [GB/T

10592-2008, 6.5.3.3]

试验箱工作区域几何中心点测得 (10%~90%) 两个设定温度区间, 任意 5min 时间的平均转变速率。

3.9 温度超调量 temperature overshoot

在设备升温或降温至设定温度过程中, 工作空间实际温度超出设定温度的量。

3.10 温度转换时间 temperature conversion time

试验箱工作区域几何中心点在达到稳定温度后, 从上一个稳定温度结束起变化到下一个稳定温度所需要的时间。

3.11 温度超调恢复时间 temperature overshoot recovery time

试验箱工作区域几何中心点发生温度超调超过设定温度允许区域时起, 到开始稳定在设定温度允许区域所需要的时间。

4 概述

温度交变、冲击试验设备是模拟短时间内温度环境快速变化的环境试验箱, 主要应用于测试电工电子、航天航空等产品及材料在外界环境温度快速变化下使用、运输和贮存的适应性。试验过程通过高温恒温停留、降温、低温恒温停留、升温、高温恒温作为一个循环。高低温快速交变试验箱控制试验箱在设定温度之间以固定升降温速率切换, 而冷热冲击试验箱控制试验箱在设定温度之间以规定温度转换时间快速温度变换。

5 计量特性

温度交变、冲击试验设备校准项目的参数及计量特性参考数据见表 1。

表 1 参数测量范围及计量特性参考数据

序号	校准项目	符号	计量单位	测量参数允差
1	稳态实际温度	\bar{T}	℃	设定温度±2℃
2	试验箱温度示值误差	ΔT_i	℃	±2℃
3	温度偏差	ΔT_s	℃	±2℃
4	温度波动度	ΔT_f	℃	±0.5℃
5	温度均匀性	ΔT_u	℃	温度梯度 1℃/m 或最大 2℃
6	温度变化速率	V	℃/min	设定速率±1℃/min
7	5min 温度平均变化速率	V_{5min}	℃/min	设定速率±1℃/min
8	温度超调量	ΔT_e	℃	≤5℃
9	温度转换时间	t_1	min	<20min
10	温度超调恢复时间	t_2	min	<10min

注: 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

温度：(15~35)℃

湿度：不大于 80%RH；

气压：80 kPa~106 kPa。

周围无强振动源、无强磁场，被校准的设备及校准所用仪器均应接地良好。

6.2 测量标准

温度测量标准一般采用由多通道温度显示仪表或多通道温度测量装置，传感器宜采用热电偶或四线制铂热电阻温度计。其技术要求如下：

- 1) 温度测量标准通道采样速率不低于 2 次/s，分辨力不低于 0.01℃。
- 2) 温度测量标准测量范围包含 (-80~200)℃，最大允差： $\pm (0.15^\circ\text{C}+0.002t)$ 。
- 3) 通道传感器数量不少于 5 个，并能满足校准工作要求。
- 4) 热电偶传感器需满足 I 级标准条件。热电阻温度计需满足 A 级或 A 级以上标准条件。

6.3 负载条件

一般在空载条件进行，也可根据客户要求负载条件进行，应注明负载情况。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

根据高低温交变试验箱和冷热冲击试验箱控制参数不同，根据表 2 校准项目要求进行。

表 2 校准项目

序号	校准项目	高低温交变试验箱	冷热冲击试验箱
1	稳态实际温度	+	+
2	试验箱温度示值误差	+	+
3	温度偏差	+	+
4	温度波动度	+	+
5	温度均匀性	+	+
6	温度变化速率	+	-
7	5min 温度平均变化速率	+	-
8	温度超调量	-	+
9	温度转换时间	-	+
10	温度超调恢复时间	-	+

注：表内“+”为校准项目，“-”为可不校准项目，具体项目可根据用户要求选择使用。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前准备

1) 目视检查温度交变、冲击试验设备的铭牌应标明产品名称、型号、测量范围、制造厂名(商标)、出厂编号、制造年月等信息,并清晰可辨。

2) 在通电状态下,温度交变、冲击试验设备数字显示屏应笔划齐全,亮度均匀。小数点、温度极性符号和状态(正常,故障,过载等)显示应正确。

3) 温度交变、冲击试验设备各部件开关、操作键应灵活可靠,零部件应紧固无松动,结构完整,安全性等状满足有关技术文件要求。

7.2.2 温度测量点位置分布及仪器设置

7.2.2.1 温度测量点位置分布

(1) 设备容积小于 2m^3 , 温度测试点为 5 个, 分布在试验箱工作区域上、中、下 3 个不同水平测试面, 简称上、中、下层。中层通过工作区域几何中心平行于底面的校准工作面, 5 个测试点布置位置如图 1。

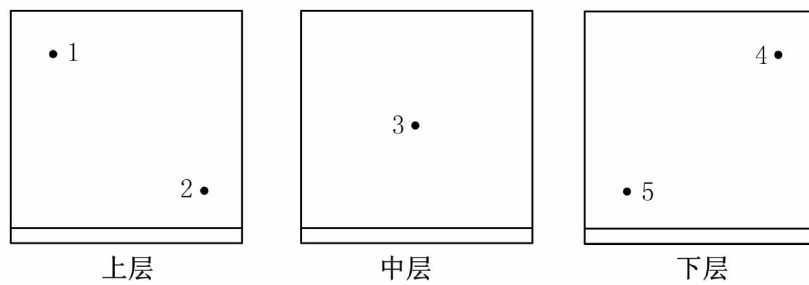


图 1

(2) 设备容积大于 2m^3 时, 温度测试点为 9 个, 分布在试验箱工作区域上、中、下 3 个不同水平测试面, 简称上、中、下层。中层通过工作区域几何中心平行于底面的校准工作面。9 个测试点布置位置如图 2。

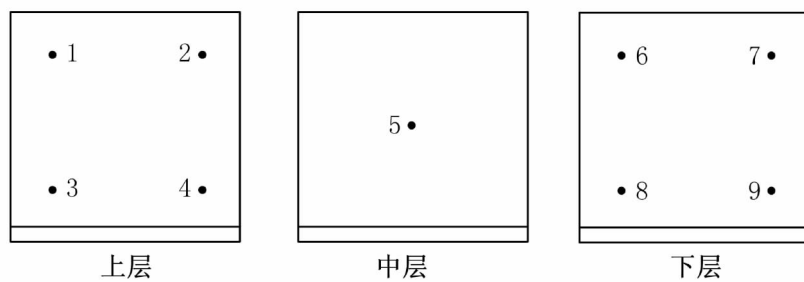


图 2

注: 测试点布置位置也可根据用户实际工作需求进行布置。

7.2.2.2 校准温度及时序设置

根据设备使用方要求, 对被检设备设置设定温度、停留时间、升温速率、降温速率。

7.2.3 温度的校准

运行被检设备，设置温度测量标准采样间隔（不高于 5s），开始采样直至试验程序结束。在试验恒温阶段，待进入温度稳定状态，每隔 1min 记录一次试验箱温度示值，记 15min 共 16 个数据。

试验箱温度变化阶段的试验箱几何中心点温度交变循环示意图如图 3 所示：

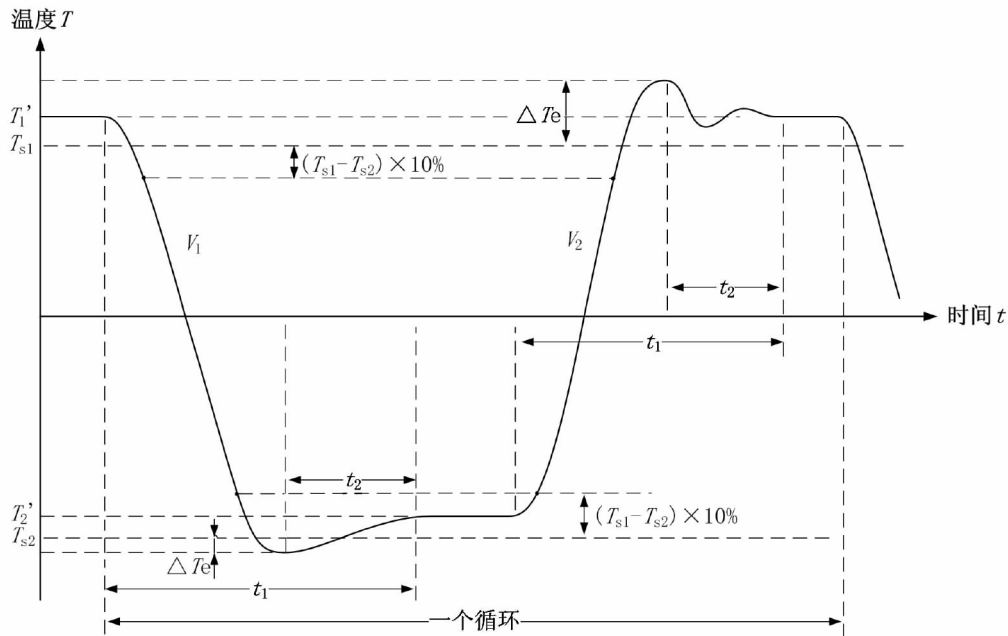


图 3

T_1' ：稳定温度（高温）	V_1 ：降温速率
T_2' ：稳定温度（低温）	V_2 ：升温速率
T_{s1} ：设定温度（高温）	t_1 ：温度转换时间
T_{s2} ：设定温度（低温）	t_2 ：温度超调恢复时间
ΔT_e ：温度超调量	

7.3 数据处理

根据校准项目特性及试验箱工作时序将校准项目分为试验箱恒温阶段和试验箱温度变化阶段两类。

7.3.1 试验箱恒温阶段

7.3.1.1 稳态实际温度

观察采集到的试验箱工作区域内几何中心点进入恒温阶段的数据，计算其温度变化量达到指定范围内的数据起视为开始进入温度稳定状态。指定范围可由客户指定，默认变化量范围为 $\pm 1^\circ\text{C}/\text{min}$ 。

试验箱温度稳定状态下，取工作区域几何中心点 15min 内，每 1min 一个数据，共 16 个实测数据的平均值为该设定温度的稳态实际温度，即：

$$\bar{T}' = \sum_i^{16} T_{\alpha i} / 16 \quad (1)$$

式中, \bar{T}' ——工作区域几何中心点 16 次测量的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\alpha i}$ ——第 i 次测量得到的工作区域几何中心点的实测值, $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.1.2 试验箱温度示值误差

试验箱温度稳定状态下, 稳态实际温度与试验箱温度示值 16 次读数的平均值之差为试验箱温度示值误差, 即:

$$\Delta T_r = \bar{T}_m - \bar{T}' \quad (2)$$

式中, \bar{T}_m ——温度指示仪表示值的平均值, $^{\circ}\text{C}$;

ΔT_r ——试验箱温度示值误差, $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.1.3 温度偏差

取试验箱进入温度稳定状态时, 工作区域 9 个测温点 15min 内, 每 1min 一组数据, 共 16 组数据。将 16 组数据中最高温度值和最低温度值与设定温度 T_s 之差为温度偏差, 即:

$$\Delta T_{s+} = T_{\max} - T_s \quad (3)$$

$$\Delta T_{s-} = T_{\min} - T_s \quad (4)$$

式中, ΔT_{s+} ——温度上偏差, $^{\circ}\text{C}$;

ΔT_{s-} ——温度下偏差, $^{\circ}\text{C}$;

T_s ——温度设定值, $^{\circ}\text{C}$;

T_{\max} ——工作区域 15min 内采集的最高温度值, $^{\circ}\text{C}$;

T_{\min} ——工作区域 15min 内采集的最低温度值, $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.1.4 温度波动度

试验箱进入温度稳定状态下, 工作区域 9 个测温点 15min 内实测最高温度与最低温度之差, 取全部测量点中变化量的最大值为温度波动校准结果。

$$\Delta T_f = \text{MAX} [(T_{j\max} - T_{j\min})] \quad (5)$$

式中, 测量位置点数 $j=1, 2, 3, \dots, 9$ 。

$T_{j\max}$ —— j 位置点实测最高温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

$T_{j\min}$ —— j 位置点实测最低温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.1.5 温度均匀性

试验箱进入温度稳定状态下, 工作区域 9 个测温点 15min 内实测数据中, 每次采集的 9 个测量点实测最高温度 $T_{i\max}$ 与最低温度 $T_{i\min}$ 之差, 取 16 次差值的算术平均值为试验箱的温度均匀度 ΔT_u , 即:

$$\Delta T_u = \sum_i^{16} (T_{i\max} - T_{i\min}) / 16 \quad (6)$$

式中，测量次数 $i=1, 2, 3\cdots, 16$ 。

$T_{i\max}$ ——第 i 次测量时，实测最高温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

$T_{i\min}$ ——第 i 次测量时，实测最低温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.2 试验箱温度变化阶段

7.3.2.1 温度变化速率

在 (10%~90%) 的设定温度区间中，试验工作区域内几何中心点测得的两个设定温度之间的转变速率，单位 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，计算公式：

$$V_m = \frac{(T_{s1} - T_{s2}) \times 80\%}{\Delta t} \quad (7)$$

式中， $m=1, 2$ 。

7.3.2.2 5min 温度平均变化速率

试验箱工作区域几何中心点测得的 (10%~90%) 两个设定温度区间任意 5min 时间的平均转变速率，用 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 表示，即：

$$V_{5T} = \Delta T / t \quad (8)$$

式中， V_{5T} 为 5min 时间温度平均变化速率， $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ； ΔT 为 5min 时间温度变化量， $^{\circ}\text{C}$ ； $t=5\text{min}$ 。

7.3.2.3 温度超调量

在试验箱升温或降温至设定温度过程中，工作区域几何中心点的实际温度超出设定温度的量，即：

$$\Delta T_e = T_n - T_s \quad (9)$$

式中， ΔT_e ——温度超调量， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_s ——设定温度， $^{\circ}\text{C}$ ；

T_n ——升温或降温至设定温度过程中，工作区域几何中心点的实际温度超过设定温度的最高或最低温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

7.3.2.4 温度转换时间

试验箱工作区域几何中心点在规定的温度下达到稳定温度 T_1' (或 T_2') 后，从置入负载起变化到几何中心点的下一个稳定温度 T_2' (或 T_1') 所需要的时间 (单位：min)，图 2 中 t_1 。(试验箱工作区域几何中心点的稳定温度 T_1' 、 T_2' 为几何中心点温度曲线进入稳定状态的平均值。)

7.3.2.5 温度超调恢复时间

温度交变、冲击试验设备工作区域几何中心点发生温度超调超过设定温度允许区域时起，到开始稳定在设定温度允许区域所需要的时间 (单位：min)，图 2 中 t_2 。允许区域范围可由客户指定，默认允许范围为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书或校准报告上反映。校准证书或校准报告应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点；
- 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) 送校单位的名称和地址；
- f) 被校温度计的名称、型号规格、产品编号和制造商；
- g) 进行校准的日期；
- h) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称和代号；
- i) 本次校准所使用的测量标准的溯源性及有效性说明；
- j) 校准环境的描述；
- k) 校准结果及其不确定度的说明；
- l) 校准证书或校准报告签发人、校准人、核验人的签名以及签发日期；
- m) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- n) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书或报告的声明；
- o) 校准单位校准专用章。

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情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定，因此送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议复校间隔一般不超过 1 年。

附录A

温度交变、冲击试验设备校准记录(格式)

委托单位				记录编号													
样品	名称			型号规格													
	制造厂			出厂编号													
标准器	名称/型号			仪表编号			不确定度										
	测量范围			出厂编号			有效期至										
	证书编号			溯源机构													
环境温度:			相对湿度:			校准地点:											
温度设定值(°C):			技术依据:														
一、试验箱稳定状态下																	
序号	各位置测量点温度值(°C)									仪表温度示值(°C)							
	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																	
平均值																	
最大值										/							
最小值										/							
上偏差(°C)			均匀性(°C)			稳态实际温度(°C)											
下偏差(°C)			波动度(°C)			试验箱温度示值误差(°C)											
测量结果不确定度:					证书编号												
测量位置分布图:																	
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>•1</td><td>2•</td></tr> <tr><td>•3</td><td>4•</td></tr> </table>			•1	2•	•3	4•	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>5•</td></tr> </table>			5•	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>•6</td><td>7•</td></tr> <tr><td>•8</td><td>9•</td></tr> </table>			•6	7•	•8	9•
•1	2•																
•3	4•																
5•																	
•6	7•																
•8	9•																
上层			中层			下层											

(续表)

(续上一页)									
二、试验箱变化阶段 (中心点)									
序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
实测值 (°C)									
序 号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
实测值 (°C)									
序 号	19	20	21	22	23	24	25	26	27
实测值 (°C)									
序 号	28	29	30	31	32	33	34	35	36
实测值 (°C)									
序 号	37	38	39	40	41	42	43	44	45
实测值 (°C)									
序 号	46	47	48	49	50	51	52	53	54
实测值 (°C)									
序 号	55	56	57	58	59	60	61	62	63
实测值 (°C)									
序 号	64	65	66	67	68	69	70	71	72
实测值 (°C)									
序 号	73	74	75	76	77	78	79	80	81
实测值 (°C)									
序 号	82	83	84	85	86	87	88	89	90
实测值 (°C)									
温度变化速率 (°C/min)						温度转换时间 (s)			
温度超调量 (°C)						温度超调恢复时间 (s)			
5min 温度平均变化速率 (°C/min):									
序 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5min 平均									
序 号	10	11	12	13	14	15	16	17	18
5min 平均									
平均 值				最 大 值				最 小 值	
备 注									
校 准									
					校准时间				
核 验									
					核验时间				

(共 页, 第 页)

附录 B

温度交变、冲击试验设备校准证书内页 (格式)

一、稳定状态

项 目	T_{s1}	T_{s2}	测量不确定度
温度波动度(°C)			
温度均匀性(°C)			
温度上偏差(°C)			
温度下偏差(°C)			
稳态实际温度(°C)			/
试验箱温度示值误差(°C)			

二、温度变化阶段

项 目		升 温	降 温	测量不确定度
温度变化速率(°C/min)				
5min 温度平均变化速率(°C/min)	平均值			
	最大值			/
	最小值			/
温度超调量(°C)				
温度超调恢复时间(s)				/
温度转换时间(s)				/

注：建议该校准仪器复校时间间隔 1 年。

附录 C

温度交变、冲击试验设备试验箱温度示值误差

不确定度评定示例

C.1 概述

温度交变、冲击试验设备试验箱温度示值误差是指试验箱温度稳定状态下，工作区域几何中心点实际温度与试验箱温度指示值平均值之差。校准用温度测量系统配上温度传感器进行。

C.2 测量模型

被校温度交变、冲击试验设备试验箱温度示值误差计算公式：

$$\Delta T_r = \overline{T}_m - \overline{T}' \quad (\text{C.1})$$

式中， \overline{T}_m 为温度指示仪表示值的平均值； ΔT_r 为试验箱温度示值误差， \overline{T}' 为工作区域几何中心点 15min 内 16 个实测数据的平均值。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta T_r}{\partial T'} = -1$$

C.3 不确定度来源及分析

C.3.1 测温系统重复性测量带来的标准不确定度 u_1

在被测样品达到规定的温度的稳定状态后，对温度交变、冲击试验设备工作区域几何中心点进行 16 次独立重复测量，其数值如表 C.1 所示。

表 C.1

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{0i} (°C)	60.01	60.00	60.00	60.01	60.01	60.02	60.01	60.00
序号	9	10	11	12	13	14	15	16
T_{0i} (°C)	59.99	59.99	60.00	60.01	60.00	60.00	60.01	60.01

根据公式：

$$s(\overline{T}') = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_i' - \overline{T}')^2}{(n-1)n}} \quad (\text{C.2})$$

式中， $n=16$ 。计算得算术平均值实验标准偏差 $s(\overline{T}') = 0.002^\circ\text{C}$ 。

C.3.2 显示仪表重复性测量带来的标准不确定度 u_2

在被测样品达到规定温度的稳定状态后，对温度交变、冲击试验设备显示仪表进行 16 次独立重复测量，其数值如表 C.2 所示。

表 C.2

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{mi} (°C)	59.77	59.77	59.77	59.77	59.77	59.79	59.79	59.82
序号	9	10	11	12	13	14	15	16
T_{mi} (°C)	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80	59.78

根据公式：

$$s(\overline{T}_m) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{mi} - \overline{T}_m)^2}{(n-1)n}} \quad (\text{C.3})$$

式中， $n=16$ 。计算得算术平均值实验标准偏差 $s(\overline{T}_m) = 0.004^\circ\text{C}$ 。

C.3.3 温度测量标准引入的标准不确定度 u_3

从温度测量标准器的校准证书获得标准不确定度分量如表 C.3 所示。

表 C.3

温度 (°C)	-80~0	0~100	100~300
扩展不确定度 U (°C) ($k=2$)	0.13	0.08	0.14
标准不确定度分量 (°C)	0.07	0.04	0.07

C.4 标准不确定度汇总表

表 C.4

序号	来源	符号	标准不确定度 (°C)	
1	被测设备仪表读数重复性	u_1	0.002	
2	温度测量装置读数重复性	u_2	0.004	
3	温度测量装置溯源引入	u_3	-80~0	0.07
			0~100	0.04
			100~300	0.07

C.5 合成标准不确定度评定

根据式 C.4：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} \quad (\text{C.4})$$

表 C.5

测量范围 (°C)	合成标准不确定度分量 u_c (°C)
-80~0	0.008
0~100	0.006
100~300	0.008

C.6 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$ ，则有：

表 C.6

测量范围(°C)	扩展不确定度 U (°C)
-80~0	0.02
0~100	0.01
100~300	0.02

C.7 校准结果及其表示

温度交变、冲击试验设备试验箱温度示值误差不确定度： $U = (0.01\sim 0.02) ^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。

附录 D

温度交变、冲击试验设备温度变化速率测量不确定度评定示例

D.1 概述

温度变化速率的不确定度来源于温度的测量误差和时间的测量误差。设定试验箱-40℃至 80℃升温速率 10℃/min，-40℃至 80℃温度区间的（10%~90%）温度段即（-28℃~78℃），实测温度在（-28℃~78℃）的时间为 10.86min，温度变化速率计算结果 9.76℃/min。

D.2 测量模型

$$V = \Delta T / \Delta t \quad (\text{D.1})$$

式中， V 为温度变化速率，℃/min； ΔT 为温度变化量，℃； Δt 为温度变化时间。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial V}{\partial \Delta T} = \frac{1}{\Delta t}$$

$$c_2 = \frac{\partial V}{\partial \Delta t} = -\frac{\Delta T}{\Delta t^2}$$

合成标准不确定度：

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_{(\Delta T)}^2 + c_2^2 u_{(\Delta t)}^2}$$

D.3 不确定度来源及分析

D.3.1 测量装置读数重复性

对温度交变、冲击试验设备作 16 次独立重复测量，从标准器显示仪上读取 16 次显示值，记为 T_{o1} ， T_{o2} ， \dots ， T_{o16} ，平均值记为 \bar{T}_o ，-40℃为例，其测量列表如表 D.1 所示。

表 D.1

序号	1	2	3	4	5	6	7	8
T_{oi} (℃)	-40.35	-40.35	-40.34	-40.33	-40.33	-40.35	-40.33	-40.32
序号	9	10	11	12	13	14	15	16
T_{oi} (℃)	-40.34	-40.36	-40.35	-40.35	-40.34	-40.35	-40.36	-40.35

计算得重复性引入的不确定度为 $u_1=0.01^\circ\text{C}$ 。

D.3.2 温度测量装置准确性

温度测量装置准确性引入的测量不确定度取自标准器溯源证书 $U = 0.08^{\circ}\text{C} \sim 0.14^{\circ}\text{C}$ ($k=2$), 按均匀分布计算。则取标准不确定度分量 $u_2 = 0.04^{\circ}\text{C}$ 。

D.3.3 温度测量系统采样的时间间隔

测量系统的采样的时间间隔 t_0 为 3s 时, 设其属于均匀分布, 则其引起的测量不确定度为:

$$u_3 = 3\text{s} / \sqrt{3} = 0.03\text{min}$$

D.4 标准不确定度汇总表

表 D.2

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度	c_i	$c_i u_i$ ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)
$u_{(\Delta T)}$	温度的测量误差	0.06°C	0.09min^{-1}	0.005
u_1	测量装置读数重复性	0.01°C	/	/
u_2	温度测量装置准确性	0.04°C		
$u_{(\Delta t)}$	时间的测量误差	0.04min	$0.90^{\circ}\text{C}/\text{min}^2$	0.036
u_3	温度测量系统采样的时间间隔	0.03min	/	/

D.5 合成标准不确定度评定

$$u_c = \sqrt{c_1^2 u_{(\Delta T)}^2 + c_2^2 u_{(\Delta t)}^2} = 0.04^{\circ}\text{C}/\text{min}$$

D.6 扩展不确定度评定

取包含因子 $k=2$, 则有:

$$U = k u_c = 0.08^{\circ}\text{C}/\text{min}$$

D.7 校准结果及其表示

试验箱 -40°C 至 80°C 升温速率设定 $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$, -40°C 至 80°C 温度区间的 (10%~90%) 温度段即 ($-28^{\circ}\text{C} \sim 78^{\circ}\text{C}$), 实测温度在 ($-28^{\circ}\text{C} \sim 78^{\circ}\text{C}$) 的时间为 10.86min , 温度变化速率计算结果 $9.76^{\circ}\text{C}/\text{min}$, 扩展不确定度 $U=0.08^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ($k=2$)。因此, 该试验箱温度变化速率的测量结果为:

$$X = G \pm U = (9.76 \pm 0.08)^{\circ}\text{C}/\text{min}, k=2$$