



# 天津市地方计量技术规范

JJF (津) 94—2023

## 空气热老化试验箱校准规范

Calibration Specification of Air-oven Ageing Test Chamber

2023 - 06 - 30 发布

2023 - 09 - 30 实施

天津市市场监督管理委员会 发布

# 空气热老化试验箱校准规范

Calibration Specification of

Air-oven Ageing Test Chamber

JJF (津) 94-2023

归口单位：天津市市场监督管理委员会

主要起草单位：天津市静海区计量检定所

天津市计量监督检测科学研究院

参加起草单位：天津市飞亚风达线缆科技有限公司

本规范委托天津市静海区计量检定所负责解释

**本规范主要起草人：**

王 伟（天津市静海区计量检定所）

冯子宸（天津市静海区计量检定所）

李强光（天津市计量监督检测科学研究院）

孙春奎（天津市静海区计量检定所）

**参加起草人：**

沈 平（天津市飞亚凤达线缆科技有限公司）

徐 伟（天津市静海区计量检定所）

# 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 )
5.1 外观 .....	( 2 )
5.2 技术要求 .....	( 2 )
6 校准条件 .....	( 3 )
6.1 环境条件 .....	( 3 )
6.2 负载条件 .....	( 3 )
6.3 测量标准 .....	( 3 )
7 校准项目和校准方法 .....	( 4 )
7.1 校准项目 .....	( 4 )
7.2 校准方法 .....	( 4 )
8 校准结果表达 .....	( 6 )
9 复校时间间隔 .....	( 6 )
附录 A 温度校准原始记录参考格式 .....	( 7 )
附录 B 换气率校准原始记录参考格式 .....	( 8 )
附录 C 校准证书内页参考格式 .....	( 9 )
附录 D 温度偏差校准结果的不确定评定 .....	( 10 )
附录 E 换气率校准结果的不确定度评定 .....	( 12 )
附录 F 干空气密度表 .....	( 15 )

## 引言

本规范参照了国家计量技术规范 JJF1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001-2011《通用计量术语及定义》和 JJF1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》中规定的相关术语定义和编写规则。

本规范采用了 JJF 1101-2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》、JB/T 4278.6-2011《橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法-自然通风热老化试验箱》、JB/T 4278.13-2011《橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法 第13部分：强迫通风热老化试验箱》和 JB/T 7444-2018《空气热老化试验箱》相关术语定义和技术内容。

本规范系首次制定。

# 空气热老化试验箱校准规范

## 1 范围

本规范适用于温度范围为室温~400℃、换气率 $\leq 200$ 次/h的自然对流和强制对流的空气热老化试验箱(以下简称老化箱)计量性能的校准,其它形式空气热老化试验设备也可参照本规范执行。

## 2 引用文件

本规范引用以下文件

JJF 1101—2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》

JB/T 4278.6—2011《橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法—自然通风热老化试验箱》

JB/T 4278.13—2011《橡皮塑料电线电缆试验仪器设备检定方法 第13部分:强迫通风热老化试验箱》

JB/T 7444—2018《空气热老化试验箱》

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(包括所有的修改版)适用于本规范。

## 3 术语

### 3.1 工作空间 working space

老化箱中能将规定的试验条件保持在规定误差范围内的那部分空间。

### 3.2 稳定状态 steady state

老化箱工作空间内任意点温度变化量达到设备本身性能指标要求时的状态。

### 3.3 温度示值误差 temperature indication error

老化箱稳定状态下,在规定时间间隔内,温控仪温度示值的平均值与所有测试点温度测得值的平均值之差。

### 3.4 温度均匀度 temperature uniformity

老化箱稳定状态下,在规定时间间隔内,工作空间任意两点温度平均值之差的最大值。

### 3.5 温度波动度 temperature fluctuation

老化箱稳定状态下,在规定时间间隔内,工作空间内任意一点温度随时间的变化量。

### 3.6 换气率 ventilation rate

老化箱在给定时间和时间内的新风换气次数。

## 4 概述

老化箱是具有规定温度和新风换气率的密闭箱体或空间，按空气热循环方式分为自然对流式老化箱和强制对流式老化箱，主要由温度控制系统、加热系统、热风循环系统和试验箱体等组成，主要用来考核和判断产品在高温环境条件下贮存和使用的适应性。适用于电气绝缘材料的耐热性试验，电子零配件、塑化产品及橡胶制品的换气老化性能检测等。

## 5 计量特性

### 5.1 外观

老化箱的外形结构应完好，不应有明显影响计量性能的缺陷，应标记有明确的产品名称、型号规格、测量范围、制造厂名或商标和出厂编号等。

### 5.2 技术要求

5.2.1 老化箱温度示值误差、温度波动度技术要求见表 1。

表 1 老化箱温度示值误差、温度波动度技术要求

项目	自然对流式		强制对流式	
	室温~200℃	(>200~400)℃	室温~200℃	(>200~400)℃
温度示值误差/℃	±3.0	±5.0	±3.0	±5.0
温度波动度/℃	±2.0	±3.0	±1.0	±2.0

注 1：对计量特性另有要求的老化箱，按有关技术文件规定要求进行校准。  
注 2：以上指标要求不用于合格性判断，仅供参考。

5.2.2 老化箱温度均匀度技术要求见表 2。

表 2 老化箱温度均匀度技术要求

工作温度 $t/^\circ\text{C}$	温度均匀度的限值/ $^\circ\text{C}$
$t \leq 80$	2.0
$80 < t \leq 180$	3.0
$180 < t \leq 300$	6.0
$300 < t \leq 400$	8.0

注 1：对计量特性另有要求的老化箱，按有关技术文件规定要求进行校准。  
注 2：以上技术要求不用于合格性判断，仅供参考。

### 5.2.3 换气率

老化箱的换气率应可调，自然对流式老化箱的最大换气率为 20 次/h，强制对流式老化箱的最大换气率分为 100 次/h 或 200 次/h。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件:

温度: (5~40)℃。

湿度: ≤85%RH。

气压: (80~106) kPa。

老化箱周围应无爆炸性气体、高浓度粉尘或腐蚀性气体存在, 无强烈震动和强烈气流存在。环境条件还应满足测量标准器正常使用要求。

### 6.2 负载条件

一般在空载条件下校准, 也可根据用户需要在负载条件下校准, 但应说明负载情况。

### 6.3 测量标准

#### 6.3.1 温度测量标准

温度测量标准一般应选用多通道温度显示器或多路温度测量装置、通道传感器数量为9个~13个, 并能满足校准工作要求。

#### 6.3.2 功率测量标准

功率测量标准选用准确度等级为0.5级及以上等级、带有时间积分功能的数字功率分析仪。

#### 6.3.3 标准器和配套设备见表3

表3 标准器和配套设备技术要求

序号	名称	测量范围	技术要求	用途	备注
1	温度测量标准	(0~400)℃	分辨力: 不低于0.01℃, 最大允许误差: $\pm(0.15^\circ\text{C}+0.002 t )$	箱内温度测量	也可使用符合要求的其他设备
2	功率测量标准	(0~40)A	0.5级及以上等级, 分辨力 不低于0.1W·h	平均功率测量	
3	钢卷尺	(0~5)m	1级及以上等级	箱内尺寸测量	
4	计时器	(0~24)h	分辨力0.1s及以上	计时	
5	数字温度计	(0~50)℃	分辨力: 不低于0.1℃, 最大允许误差: $\pm 0.2^\circ\text{C}$	环境温度测量	
6	气压表	(80~106)kPa	2.5级及以上等级	大气压强测量	

注1: 标准器温度测量范围为一般要求, 使用中以能覆盖被校准老化箱实际校准范围为准。

注2: 测量标准技术要求为包含传感器和采集设备的整体指标

注3: 各通道的测量结果应含修正值。

注4:  $|t|$ 为温度的绝对值, 单位为℃。



## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 校准项目

校准项目为温度示值误差、温度均匀度、温度波动度和换气率。

### 7.2 校准方法

#### 7.2.1 温度项目校准

##### 7.2.1.1 校准温度点的选择

一般选择老化箱工作温度为  $80^{\circ}\text{C}$  作为校准温度,也可根据用户的需要选择其它温度点。

##### 7.2.1.2 测量点数量及位置

将老化箱工作空间分为上、中、下三层,中层为工作空间几何中心点所在面,将传感器按规定布放在三个不同层面上,用数字 1、2、3……表示,测量点位置与箱体内壁距离为各自边长的  $1/6$ 。

a) 老化箱工作空间  $\leq 2\text{m}^3$  时,温度测量点为 9 个,传感器位置见图 1:

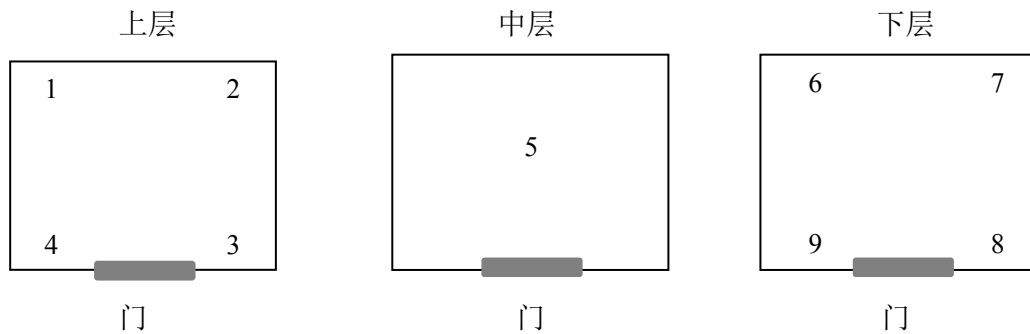


图 1 老化箱工作空间  $\leq 2\text{m}^3$  时传感器位置

b) 老化箱工作空间  $> 2\text{m}^3 \sim 10\text{m}^3$  时,温度测量点 13 个,传感器位置见图 2:

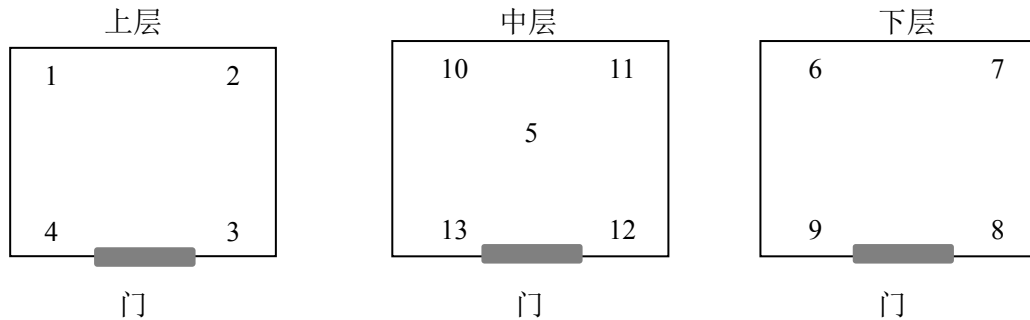


图 2 老化箱工作空间  $> 2\text{m}^3 \sim 10\text{m}^3$  时传感器位置

c) 老化箱工作空间  $> 10\text{m}^3$  时,可根据实际需求增加测量点数量并图示说明。

##### 7.2.1.3 校准过程

按要求布放传感器,将老化箱设定到校准温度,开启运行设备,待其达到设定温度并进入稳定状态后开始记录各测量点值及温控仪温度示值,记录间隔为每 2min 记录一次,30min 内共记录 16 组数据。

##### 7.2.1.4 温度示值误差计算

按公式(1)计算温度示值误差:

$$\Delta t_d = t_d - t_0 - \Delta t_0 \quad (1)$$

式中:  $\Delta t_d$ ——温度示值误差, °C;

$t_d$ ——老化箱温控仪显示温度的平均值, °C;

$t_0$ ——所有测量点测得的平均值, °C。

$\Delta t_0$ ——温度测量装置的修正值, °C。

#### 7.2.1.5 温度均匀度计算

老化箱在稳定状态下, 工作空间各测量点 30min 内实测平均温度最高点与平均温度最低点的温度值之差, 按公式 2 计算:

$$\Delta t_m = \max(\bar{t}_j) - \min(\bar{t}_j) \quad (2)$$

式中:  $\Delta t_m$ ——温度均匀度, °C;

$j$ ——测量点, 1、2、3……;

$\bar{t}_j$ ——第  $j$  测量点在 30min 内实测温度平均值, °C。

#### 7.2.1.6 温度波动度计算

老化箱在稳定状态下, 工作空间各测量点 30min 内实测温度最大值与最小值之差, 取全部测量点变化最大值作为温度波动度为校准结果, 按公式 3 计算:

$$\Delta t_f = \max[(t_{j\max} - t_{j\min})] \quad (3)$$

式中:  $\Delta t_f$ ——温度波动度, °C;

$t_{j\max}$ ——第  $j$  点在 30min 内实测温度最大值, °C;

$t_{j\min}$ ——第  $j$  点在 30min 内实测温度最小值, °C。

#### 7.2.2 换气率的校准

测量并计算老化箱工作空间容积  $V$ , 密封全部通风孔、门、测试孔及鼓风机轴伸进老化箱部分周围的间隙, 将功率分析仪接入老化箱电源系统。当工作空间的温度达到(环境温度+80°C) ± 2°C 并进入稳定状态后, 测试老化箱在 1h 所消耗的平均功率  $P_1$ 。然后拆除全部密封, 通气口全开, 当工作空间的温度重新达到(环境温度+80°C) ± 2°C 并进入稳定状态后, 再测试老化箱在 1h 所消耗的平均功率  $P_2$ 。在测试老化箱(2 个稳定状态)电能消耗的同时, 每隔 10min 测量一次工作空间的温度和环境温度, 各得 7 个温度值并计算它们的平均值。工作空间温度为工作空间各点温度的平均值, 环境温度为距老化箱的进风口 2m 且与进风口在同一水平面上, 并距其他物体至少 1m 处测得的温度平均值, 通过附表 F 记录试验时的环境空气密度  $d$ 。老化箱换气率按公式(4)计算。

$$N = \frac{h_s(P_2 - P_1)}{c_p V d (t_2 - t_1)} \quad (4)$$

式中,  $c_p$ ——常压下空气的比热容, J/(g·°C), [ $c_p=1.003$  J/(g·°C)];

$h_s$ ——系数 ( $h_s=3600$ ), s/h;

$N$ ——换气率, 次/h;

$P_1$ ——密封时所消耗的平均功率, W;

$P_2$ ——开启时所消耗的平均功率, W;

$t_1$ ——环境平均温度, °C;

$t_2$ ——箱内平均温度, °C;

$V$ ——老化箱内工作空间容积, L;

$d$ ——试验时的环境空气密度, g/L, 见附录 F。

## 8 校准结果表达

经校准的老化箱出具校准证书, 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), 每页及总页数的标识;
- e) 客户的名称和地址;
- f) 被校对象的描述和明确标识;
- g) 进行校准的日期;
- h) 校准所依据的技术规范的标识, 包括名称及代号;
- i) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- j) 校准环境的描述;
- k) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- l) 对校准规范的偏离的说明;
- m) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识;
- n) 校准人和核验人签名;
- o) 校准结果仅对被校对象有效性的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制校准证书的声明。

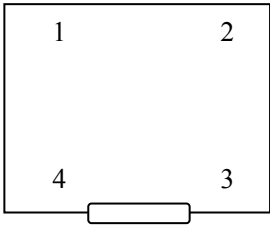
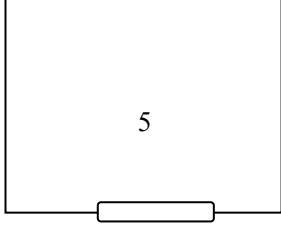
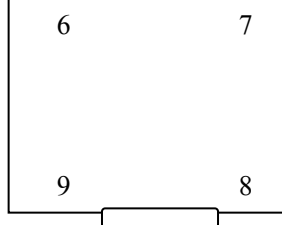
## 9 复校时间间隔

建议复校间隔时间为一年, 使用过程中经过维修、移动等一般需重新校准, 用户也可根据实际使用情况确定复校时间间隔。

## 附录 A

温度校准原始记录参考格式 ( $\leq 2m^2$ )

证书编号:

委托单位				样品名称						
规格型号				出厂编号						
生产厂家										
依据的技术文件				校准日期						
环境温度		℃		环境湿度		%RH				
校准地点										
标准器名称	设备编号	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差		证书编号	有效期至				
设定温度/℃										
次数	实测温度值/℃									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	显示示值
1										
2										
3										
.....										
15										
16										
平均值										
最大值										
最小值										
温度示值误差/℃				温度波动度 (℃/30min)				温度均匀度 /℃		
测量不确定度										
传感器布点示意图:										
上层			中层			下层				
										
门			门			门				

校准员:

核验员:

## 附录 B

## 换气率校准原始记录参考格式

通风方式: 自然 强制校准状态: 空载 负载

大气压: \_\_\_\_\_ kPa

试验箱容积: \_\_\_\_\_ L

换气率计算公式: 
$$N = \frac{h_s(P_2 - P_1)}{c_p V d(t_2 - t_1)}$$

标准器名称	设备编号	测量范围	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	证书编号	有效期至

## 1、密封状态下箱内温度和环境温度

设定温度/℃	次数	1	2	3	4	5	6	7	平均值
	箱内/℃								
	环境/℃								

## 2、开封状态下箱内温度和环境温度

设定温度/℃	次数	1	2	3	4	5	6	7	平均值
	箱内/℃								
	环境/℃								

## 3、计算结果:

设定温度/℃	箱内温度/℃	环境温度/℃	校准时间 /min	密封时的平 均功率/W	开启时的平 均功率/W	换气率 (次/h)

测量不确定度:

## 附录 C

## 校准证书内页参考格式

## 1、温度参数校准结果：

设定温度/°C	温度示值误差/°C	温度波动度 (°C/30min)	温度均匀度/°C
测量不确定度		/	/

## 2、换气率校准结果：

设定温度 (°C)	换气率 (次/h)	测量不确定度 $U(k=2)$

## 附录 D

## 老化箱温度示值误差校准结果的不确定评定示例

## D.1 概述

## D.1.1 被测对象

老化箱，温度设定值分辨力：0.1℃，校准点：200℃。

## D.1.2 标准器及配套设备

温度自动巡回检测装置：分辨力 0.01℃，温度测量时带修正值使用，不确定度为  $U=0.04^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。

## D.2 数学模型

计算温度示值误差：

$$\Delta t_d = t_d - t_0 - \Delta t_0 \quad \text{D1}$$

式中： $\Delta t_d$ ——温度示值误差，℃；

$t_d$ ——老化箱温控仪显示温度的平均值，℃；

$t_0$ ——所有测量点测得的平均值，℃。

$\Delta t_0$ ——温度测量装置的修正值，℃。

## D.3 标准不确定度分量

D.3.1 由测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$ 

在 200℃ 进行 10 次独立重复试验，测量数据见表 D1：

表 D1 测量平均值

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
测得值 /℃	200.13	200.03	200.25	200.25	200.27	200.09	200.25	200.18	200.25	200.35	200.21

$$s_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = 0.091^\circ\text{C}$$

则由温度测量重复性引入的标准不确定度分量： $u_1 = 0.091^\circ\text{C}$

D.3.2 老化箱分辨力引入的不确定度分量  $u_2$ 

老化箱温度分辨力为 0.1℃，区间半宽 0.05℃，服从均匀分布，则引入的标准不确定度分量：

$$u_2 = 0.05/\sqrt{3} = 0.029^\circ\text{C}$$

老化箱分辨力引入的不确定度分量小于测量重复性引入的标准不确定度分量，故老化箱分辨力引入的不确定分量可忽略。

#### D. 3.3 标准器修正值引入的不确定度分量 $u_3$

标准器温度修正值的不确定度为  $U=0.04^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ，则标准器温度修正值引入的标准不确定分量：

$$u_3 = 0.04/2 = 0.020^{\circ}\text{C}$$

#### D. 3.4 标准器温度分辨力引入的不确定度分量 $u_4$

标准器温度分辨力为  $0.01^{\circ}\text{C}$ ，不确定度区间半宽  $0.005^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则分辨力引入的标准不确定分量：

$$u_4 = 0.005/\sqrt{3} = 0.0029^{\circ}\text{C}$$

#### D. 3.5 标准器稳定性引入的不确定度分量 $u_5$

本标准器相邻两次校准温度修正值最大变化  $0.10^{\circ}\text{C}$ ，服从均匀分布，则稳定性引入的不确定度分量：

$$u_5 = 0.10/\sqrt{3} = 0.058^{\circ}\text{C}$$

### D. 4 合成标准不确定度

#### D. 4.1 标准不确定度汇总表

表 D2 标准不确定度分量汇总表

符号	不确定来源	标准不确定度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	灵敏系数 $c_i$
$u_1$	温度测量重复性	0.091	+1
$u_3$	标准器温度修正值	0.020	-1
$u_4$	标准器温度分辨力	0.0029	-1
$u_5$	标准器温度稳定性	0.058	-1

#### D. 4.2 合成标准不确定度的计算

由于  $u_1$ 、 $u_3$ 、 $u_4$ 、 $u_5$  互不相关，合成标准不确定度  $u_c$  按下式计算

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.110^{\circ}\text{C}$$

### D. 5 扩展不确定度

取包含因子  $k=2$ ，则老化箱温度示值误差的扩展不确定度为：

$$U=2u_c=0.3^{\circ}\text{C}$$



## 附录 E

## 老化箱换气率校准结果的不确定度评定示例

## E.1 评定对象

老化箱，温度分辨力：0.1℃，校准 100℃时的换气率。

## E.2 测量标准

温度自动巡回检测装置：分辨力 0.01℃，温度测量时带修正值使用，不确定度为  $U=0.04^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。功率分析仪准确度等级为 0.5 级，测量范围 (0~40) A。数字温度计：分辨力为 0.1℃，不确定度为  $U=0.2^\circ\text{C}$ ， $k=2$ 。

## E.3 测量模型

$$N = \frac{h_s(P_2 - P_1)}{c_p V d (t_2 - t_1)} \quad \text{E1}$$

式中， $c_p$ ——常压下空气的比热容， $\text{J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})$ ， $[c_p=1.003 \text{ J}/(\text{g}\cdot^\circ\text{C})]$ ；

$h_s$ ——系数 ( $h_s=3600$ )， $\text{s}/\text{h}$ ；

$N$ ——换气率， $\text{次}/\text{h}$ ；

$P_1$ ——密封时所消耗的平均功率， $\text{W}$ ；

$P_2$ ——开启时所消耗的平均功率， $\text{W}$ ；

$t_1$ ——环境平均温度， $^\circ\text{C}$ ；

$t_2$ ——箱内平均温度， $^\circ\text{C}$ ；

$V$ ——老化箱内工作空间容积， $\text{L}$ ；

$d$ ——试验时的环境空气密度， $\text{g}/\text{L}$ ，见附录 F。

## E.4 标准不确定分量

不确定度来源：平均功率差值引入的不确定度，温度差值引入的不确定度，箱内空气所占体积不准确所引入的不确定度，空气密度变化引入的不确定度。

E4.1 平均功率差值引入的不确定度分量  $u_p$ E4.1.1 测量重复性引入的不确定度分量  $u_1$ 

在老化箱温度达到 100℃并进入稳定状态后，用功率分析仪测量老化箱在密封状态下的平均功率  $P_1$ ，开启老化箱换气孔，用功率分析仪测量老化箱在开启状态下的平均功率  $P_2$ ，共进行 3 次独立重复测量，每次的平均功率之差为  $P$ ，结果见表 E1：

表 E1 功率测量差值

测量次数 $n$	1	2	3	$\bar{P}$
功率差值 $P(\text{W})$	51.8	51.1	52.3	51.7

用极差法计算试验标准偏差： $s(P) = (P_{\max} - P_{\min}) / C_i$ ， $C_i=1.69$ ，计算得  $s(P)=0.71\text{W}$ 。

重复性引入的标准不确定度分量： $u_1 = s(P) = 0.71\text{W}$

故重复性引入的相对不确定度为： $u_{1\text{rel}} = \frac{u_1}{P} \times 100\% = 1.4\%$

#### E4.1.2 功率分析仪误差引入的不确定度 $u_2$

由于两次测量使用同一台功率分析仪，故相关系数为 1，所以由功率分析仪误差引入的两次测量的不确定度相互抵消，因此

$$u_{2\text{rel}} = 0\%$$

故功率分析仪引入的相对不确定度  $u_{\text{prel}}$

$$u_{\text{prel}} = u_{1\text{rel}} = 1.4\%$$

#### E4.2 平均温度差值引入的不确定度分量 $u_t$

##### E4.2.1 标准器温度修正值的不确定度分量 $u_3$

温度标准器的不确定度为  $U=0.04^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，则标准器温度修正值引入的标准不确定度分量：

$$u_3 = \frac{0.04}{2} = 0.02^\circ\text{C}$$

##### E4.2.2 数字温度计修正值引入的不确定度分量 $u_4$

数字温度计的不确定度为  $U=0.2^\circ\text{C}$ ， $k=2$ ，则标准器温度修正值引入的标准不确定度分量：

$$u_4 = \frac{0.2}{2} = 0.10^\circ\text{C}$$

##### E4.2.3 温度差值测量重复性引入的不确定度分量 $u_5$

在  $100^\circ\text{C}$  进行 3 次独立重复试验，结果见表 E2：

表 E2 温度测量差值

测量次数 $n$	1	2	3	$\bar{t}$
温度差值 ( $^\circ\text{C}$ )	75.2	76.1	75.9	75.7

用极差法计算试验标准偏差： $s(t) = (t_{\text{max}} - t_{\text{min}}) / C_i$ ， $C_i = 1.69$ ，计算得  $s(t) = 0.53^\circ\text{C}$ 。

重复性引入的标准不确定度分量： $u_5 = s(t) = 0.53^\circ\text{C}$

平均温度差值引入的不确定度分量：

$$u_t = \sqrt{u_3^2 + u_4^2 + u_5^2} = 0.54^\circ\text{C}$$

平均温度差值引入的相对不确定度分量：

$$u_{\text{rel}} = \frac{u_t}{t} = 0.72\%$$

#### E4.3 老化箱内空气所占体积测量引入的不确定度分量 $u_v$

老化箱内空气所占体积测量的不准确, 估计其相对误差为±1%, 服从均匀分布, 则引入的相对不确定度分量为

$$u_{V\text{rel}} = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.58\%$$

#### E4.4 空气密度变化所引入的不确定度分量 $u_d$

由于空气密度与环境温度是相对应的, 环境温度变化会引起空气密度的变化, 被测环境温度为 25.0℃, 空气密度为 1.185g/L, 温度变化量为±1.0℃, 引起密度的变化量为±0.004g/L, 按均匀分布, 则:

$$u_{d\text{rel}} = \frac{0.004}{1.185\sqrt{3}} = 0.19\%$$

#### E.5 合成标准不确定度评定

各标准不确定度分量汇总表, 结果见 E3:

表 E3 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度 $u_i$		不确定度来源	对应输入量相对不确定度
$u_p$	$u_1$	功率测量的重复性	1.4%
	$u_2$	功率分析仪误差	
$u_t$	$u_3$	标准器温度修正值的不确定度	0.72%
	$u_4$	数字温度计修正值引入的不确定度	
	$u_5$	温度差值测量重复性引入的不确定度	
$u_V$		箱内体积不准确	0.58%
$u_d$		空气密度变化	0.19%

以上各标准不确定度分量相互独立, 故合成不确定度为

$$u_{\text{crel}} = \sqrt{u_{P\text{rel}}^2 + u_{I\text{rel}}^2 + u_{V\text{rel}}^2 + u_{d\text{rel}}^2} = 1.69\%$$

#### E.6 扩展不确定度评定

取包含因子  $k=2$ , 则相对扩展不确定度:

$$U_{\text{rel}} = 2 \times u_{\text{crel}} = 3.38\% = 4\%$$

## 附录 F

## 干空气密度表

温度/℃	密度/g/L	温度/℃	密度/g/L	温度/℃	密度/g/L	温度/℃	密度/g/L
1	1.288	11	1.243	21	1.201	31	1.161
2	1.284	12	1.239	22	1.197	32	1.157
3	1.279	13	1.235	23	1.193	33	1.154
4	1.275	14	1.230	24	1.189	34	1.150
5	1.270	15	1.226	25	1.185	35	1.146
6	1.265	16	1.222	26	1.181	36	1.142
7	1.261	17	1.217	27	1.177	37	1.139
8	1.256	18	1.213	28	1.173	38	1.135
9	1.252	19	1.209	29	1.169	39	1.132
10	1.248	20	1.205	30	1.165	40	1.128

注：上表引用自 JB/T 7444-2018《空气热老化试验箱》。

