

黑龙江省地方计量技术规范

JJF (黑) XX—2025

空气热老化试验设备校准规范

Calibration Specification for Air Thermal Aging Test Equipment

(审定稿)

2025-XX-XX 发布

2025-XX-XX 实施

黑龙江省市场监督管理局 发布

空气热老化试验设备 校准规范

Calibration Specification for

Air Thermal Aging Test Equipment

JJF (黑) XX—2025

归口单位：黑龙江省市场监督管理局

主要起草单位：哈尔滨市计量检定测试院

参加起草单位：辽宁省计量科学研究院

哈尔滨市工程质量咨询中心

本规范委托哈尔滨市计量检定测试院负责解释

本规范主要起草人：

张 慧（哈尔滨市计量检定测试院）

孟令娟（哈尔滨市计量检定测试院）

伍 琳（哈尔滨市计量检定测试院）

苏海燕（哈尔滨市计量检定测试院）

侯 晶（哈尔滨市计量检定测试院）

赵 阳（哈尔滨市计量检定测试院）

郭洪波（哈尔滨市计量检定测试院）

参加起草人：

任天娇（辽宁省计量科学研究院）

王梅全（哈尔滨市工程质量咨询中心）

唐士博（哈尔滨市计量检定测试院）

目 录

引言.....	(II)
1 范围.....	(1)
2 引用文件.....	(1)
3 术语.....	(1)
3.1 工作空间.....	(1)
3.2 稳定状态.....	(1)
3.3 温度偏差.....	(1)
3.4 温度波动度.....	(1)
3.5 温度均匀度.....	(2)
3.6 换气率.....	(2)
4 概述.....	(2)
5 计量特性.....	(2)
6 校准条件.....	(2)
6.1 环境条件.....	(2)
6.2 负载条件.....	(3)
6.3 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.....	(3)
7.3 数据处理.....	(5)
8 校准结果表达.....	(7)
8.1 校准记录.....	(7)
8.2 校准结果的处理.....	(7)
9 复校时间间隔.....	(8)
附录 A 空气热老化试验设备校准记录格式(推荐性)	(9)
附录 B 空气热老化试验设备校准证书内页格式(推荐性)	(12)
附录 C 空气热老化试验设备温度偏差测量结果不确定度评定示例	(13)
附录 D 空气热老化试验设备换气率测量结果不确定度评定示例	(15)
附录 E 干空气密度表.....	(19)

引 言

JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》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定工作的基础性系列规范。

本规范主要参考了 JJF 1101—2019《环境试验设备温度、湿度参数校准规范》、GB/T 2951.12—2008《电缆和光缆绝缘和护套材料通用试验方法 第 12 部分：通用试验方法——热老化试验方法》、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》和 JB/T 7444—2018《空气热老化试验箱》。

本规范为首次发布。

空气热老化试验设备校准规范

1 范围

本规范适用于温度范围为（室温+20℃）～300℃、换气率范围（0～200）次/h，工作空间容积不大于 10 m³ 的空气热老化试验设备计量性能的校准。

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

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该规范；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

JJF 1101—2019 和 JB/T 7444—2018 界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 工作空间 working space

空气热老化试验设备中能将规定的温度性能保持在规定偏差范围内的那部分空间。

[来源：JJF 1101—2019，3.2，有修改]

3.2 稳定状态 steady state

空气热老化试验设备工作空间内任意点的温度变化量达到设备本身性能指标要求时的状态。

[来源：JJF 1101—2019，3.3，有修改]

3.3 温度偏差 temperature deviation

空气热老化试验设备稳定状态下，工作空间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。

[来源：JJF 1101—2019，3.4，有修改]

3.4 温度波动度 temperature fluctuation

空气热老化试验设备稳定状态下，在规定的時間间隔内，工作空间内任意一点温度随时间的变化量。

[来源: JJF 1101—2019, 3.6, 有修改]

3.5 温度均匀度 temperature uniformity

空气热老化试验设备稳定状态下, 工作空间在某一瞬时任意两点温度之间的最大差值。

[来源: JJF 1101—2019, 3.8, 有修改]

3.6 换气率 ventilation rate

空气热老化试验设备在给定温度和时间内的新风换气次数。

[来源: JB/T 7444—2018, 3.2, 有修改]

4 概述

空气热老化试验设备(以下简称老化箱)是具有规定温度和新风换气率的环境模拟试验设备, 主要由试验箱体、温度控制系统和热风循环系统等部分组成, 按换气方式分为自然对流式和强制对流式两种。老化箱主要用于电气绝缘材料的耐热性试验, 电子零配件、塑料产品及橡胶制品的换气老化性能的检测试验等。

5 计量特性

老化箱常用技术要求见表1。

表1 老化箱技术要求

计量性能	技术要求	
温度范围	（室温+20 ℃）～200 ℃	（200～300）℃
温度偏差	±2 ℃	±3 ℃
温度波动度	4 ℃	4 ℃
温度均匀度	4 ℃	7 ℃
换气率	符合用户实际使用要求	
注：以上技术指标不用于合格性判断，仅供参考。		

6 校准条件

6.1 环境条件

环境温度: (15~35)℃。

相对湿度: ≤85%。

设备周围应无强烈振动，应避免其他冷、热源以及较强空气对流等影响。环境条件还应满足被校设备、所用标准仪器和配套设备正常使用的其他要求。

6.2 负载条件

一般在空载条件下校准，或根据用户要求在负载条件下进行校准，但应注明负载的情况。

6.3 测量标准及其他设备

温度测量标准一般应选用多通道温度显示仪表或多路温度测量装置，传感器宜选用四线制铂电阻温度计，通道传感器数量不少于 9 个，并能满足校准工作需求。

测量标准及其他配套设备可从表 2 中参考选择。

表 2 测量标准及其他设备技术要求

序号	设备名称	测量范围	技术要求	用途
1	温度测量标准	(0~300) °C	分辨力：不低于 0.1 °C 最大允许误差： $\pm(0.15^{\circ}\text{C}+0.002 t)$	温度偏差、温度波动度、温度均匀度和环境温度测量
2	电能测量装置	(57.7~380) V (0.1~100) A (45~65) Hz	准确度等级：0.2 级及以上	换气率测量
3	电子秒表	(0~3600) s	最大允许误差： ± 0.10 s/h	换气率测量
4	钢卷尺	(0~5) m	准确度等级：II 级	箱内尺寸测量
注： 1 标准器的测量范围为一般要求，使用中应能覆盖被校设备的实际校准范围。 2 也可选用技术指标符合要求的其他测量标准。 3 温度测量标准的技术要求为包含传感器和采集设备的整体指标，各通道的测量结果应含修正值。 4 $ t $ 为温度的绝对值，单位为 °C。				

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

老化箱校准项目为温度偏差、温度波动度、温度均匀度和换气率。

7.2 校准方法

7.2.1 温度的校准

温度的校准可与老化箱换气状态下的平均功率测量在同时段内进行。

7.2.1.1 温度校准点的选择

温度校准点一般根据用户需要选择常用的温度点，或者选择设备使用范围的上限、

下限和中间温度点。

7.2.1.2 测量点位置

温度传感器布放位置为老化箱校准时的测量点，应布置在老化箱工作空间内的 3 个不同层面上，称为上、中、下 3 层，中层为通过工作空间几何中心的平行于底面的校准工作面，各布点位置与老化箱内壁的距离为各边长的 $1/6$ ，遇风道时，此距离可加大，但不应超过 500 mm。如果老化箱带有样品架或样品车时，下层测量点可布放在样品架或样品车上方 10 mm 处。

测量点位置也可根据用户实际工作进行布置。

7.2.1.3 测量点数量

温度测量点用 1、2、3……数字表示。

a) 老化箱容积不大于 2 m^3 时，测量点为 9 个，测量点 5 位于工作空间中层几何中心处，如图 1 所示。

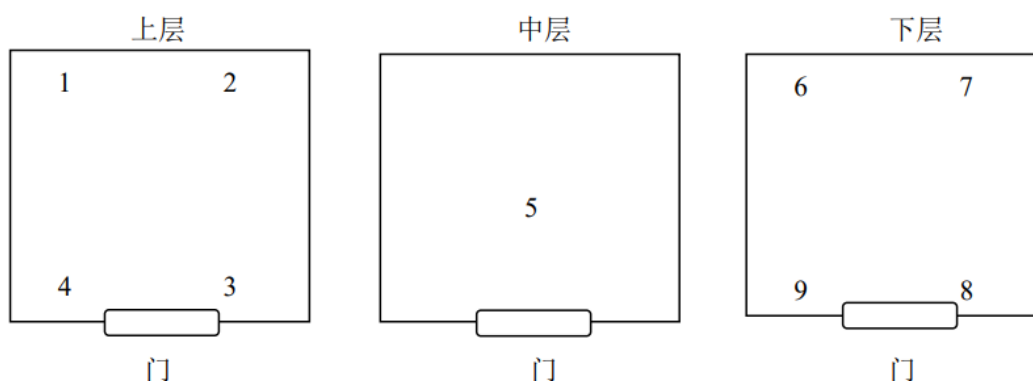


图1 容积不大于 2 m^3 时布点示意图

b) 老化箱容积大于 2 m^3 时，测量点为 15 个，测量点 15 位于工作空间中层几何中心处，如图 2 所示。

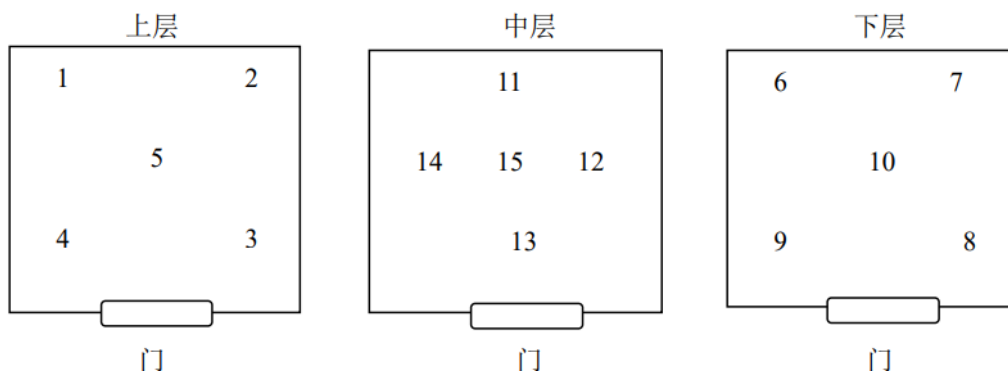


图2 容积大于 2 m^3 时布点示意图

c) 也可根据用户实际需求增加或减少测量点, 并图示说明。

7.2.1.4 测量时间及间隔

老化箱达到稳定状态后, 开始记录各测量点温度。记录时间间隔为 2 min, 30 min 共记录 16 组数据。测量时间和测量间隔也可根据老化箱实际运行状态和用户需求确定, 并在原始记录和校准证书中注明。

温度稳定时间以说明书为依据, 说明书中没有给出的, 一般按以下原则执行: 温度达到设定值, 30 min 后可以开始记录数据, 如箱内温度仍未稳定, 可按实际情况延长。

如果在规定的稳定时间之前能够确定箱内温度已经达到稳定, 也可以提前记录。稳定时间须以老化箱达到稳定状态为主要判断标准。

7.2.2 换气率的校准

换气率的校准一般与温度校准在相同温度点进行, 或根据用户的要求选择校准温度。

7.2.2.1 密封状态下老化箱的平均功率

封闭全部通风孔、门、测试孔及所有可能进行箱体内外空气流通交换的部位, 将电能测量装置接入老化箱电源系统, 开启运行, 在显示温度达到设定值并进入稳定状态后, 测量密封状态下 0.5 h 或更长时间内的消耗电能 W_1 , 并换算成平均功率 P_1 。

7.2.2.2 换气状态下老化箱的平均功率

拆去全部密封, 按要求调节进出气孔的位置, 并记录换气孔开度。在老化箱显示温度重新达到设定值并进入稳定状态后, 以 7.2.2.1 方法测量老化箱换气状态下的消耗电能 W_2 , 并换算成平均功率 P_2 。

7.2.2.3 环境温度的测量

环境温度测量点应距离设备进风口约 2 m, 且与进风口在同一水平面上, 并距其他物体至少 1 m, 与换气状态下老化箱的平均功率测量同时进行, 时间 30 min, 测量间隔 2 min, 取平均值作为环境温度的测量结果。

7.3 数据处理

7.3.1 温度偏差

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

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

式中:

$\Delta t_{\max}$ ——温度上偏差, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta t_{\min}$ ——温度下偏差, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\max}$ ——各测量点规定时间内测量的最高温度, °C;

$t_{\min}$ ——各测量点规定时间内测量的最低温度, °C;

t_s ——老化箱设定温度, °C。

7.3.2 温度均匀度

老化箱在稳定状态下,工作空间各测量点每次测量中实测最高温度与最低温度之差的算术平均值。

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

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。

7.3.3 温度波动度

老化箱在稳定状态下,工作空间任意测量点的温度波动度为规定时间内实测的温度最大值与最小值之差,取全部测量点中的最大差值作为温度波动度测量结果。

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

式中:

Δt_f ——温度波动度, °C;

$t_{j\max}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最高温度, °C;

$t_{j\min}$ ——测量点 j 在 n 次测量中的最低温度, °C。

7.3.4 换气率

按公式(5)计算老化箱的换气率(每小时换气次数) N 。

$$N = \frac{h_s(P_2 - P_1)}{c_p V \rho (T_2 - T_1)} \quad (5)$$

$$P_1 = \frac{W_1}{t_1}$$

$$P_2 = \frac{W_2}{t_2}$$

式中:

N ——换气率, 次/h;

h_s ——系数 ($h_s=3600$);

W_1 ——密封状态下老化箱消耗电能, W h;

W_2 ——换气状态下老化箱消耗电能, W h;

c_p ——常压下空气的比热容, J/(g · °C), c_p 通常取 1.005 J/(g · °C);

T_1 ——环境温度测量点实测温度的平均值, °C;

T_2 ——换气状态下的工作空间内各测量点实测温度的平均值, °C;

V ——老化箱内 (含风道) 容积, L;

ρ ——试验时的环境空气密度, g/L, 见附录E;

P_1 ——密封状态下老化箱的平均功率, W;

P_2 ——换气状态下老化箱的平均功率, W;

t_1 ——密封状态下老化箱电能测量时间, h;

t_2 ——换气状态下老化箱电能测量时间, h。

8 校准结果表达

8.1 校准记录

校准记录推荐格式参见附录 A。

8.2 校准结果的处理

校准应在校准证书上反映。校准证书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 (如果与实验室地点不同);
- 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) 被校仪器的描述和明确标识 (如型号、产品编号等);
- 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说明;
- l) 校准员及核验员的签名;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识;
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明;
- p) 未经实验室书面批准, 不得部分复制证书的声明。

9 复校时间间隔

复校时间间隔建议为 12 个月。

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的, 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。

附录 A

空气热老化试验设备校准记录格式（推荐性）

委托单位		记录编号		
仪器名称		环境温度		
型号规格		相对湿度		
出厂编号		负载条件		
制造厂		校准依据		
校准人员		校准地点		
核验人员		校准日期		
校准使用的计量标准器具				
标准器名称	型号/规格	测量范围	不确定度/准确度等级/最大允许误差	证书编号及有效期

温度传感器布点示意图：

上层

1 2

4 3

门

中层

5

门

下层

6 7

9 8

门

温度参数校准记录

单位: °C

次数	温度设定值: _____								
	实测温度值								
	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									
最大值									
最小值									
温度上偏差					扩展不确定度				
温度下偏差					扩展不确定度				
温度波动度					温度均匀度				
备注:									

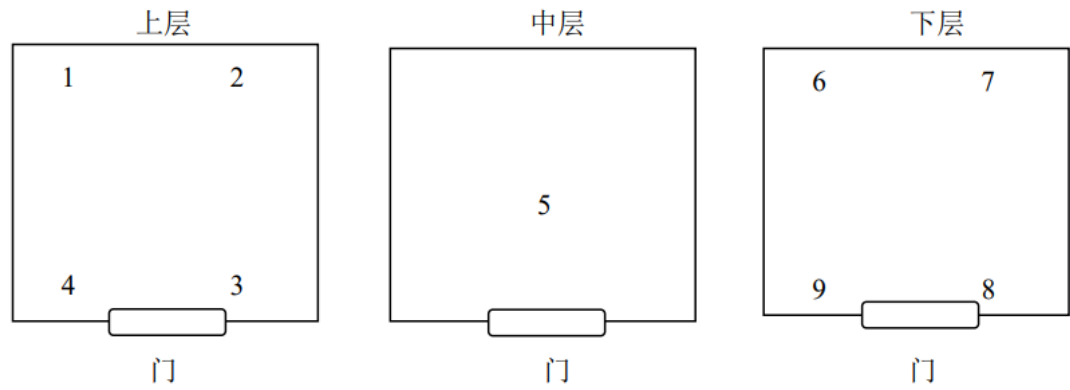
换气率校准记录

老化箱内（含风道）容积/L								
负 载 条 件		☐ 空载 ☐ 负载						
老化箱密封状态消耗电能（W h）								
老化箱换气状态消耗电能（W h）								
老化箱换气状态时箱内温度和环境温度								
设定温度 ℃	次数	1	2	3	4	5		平均值
	箱内温度 ℃							
	环境温度 ℃							
换气率计算								
设定温度 ℃	换气孔开度 %	箱内温度 ℃	环境温度 ℃	测量时间 min	密封状态时 平均功率 W	换气状态时 平均功率 W	换气率 次/h	
换气率测量结果的扩展不确定度 U （ $k=2$ ）：								
备注：								

附录 B

空气热老化试验设备校准证书内页格式（推荐性）

1. 布点位置



2. 校准结果

老化箱内(含风道) 容积/L			负载条件			
设定温度 ℃	温度上偏差 ℃	温度下偏差 ℃	温度波动度 ℃/30min	温度均匀度 ℃	换气孔开度 %	换气率 次/h
扩展不确定度 $U(k=2)$			——	——	——	

附录 C

空气热老化试验设备温度偏差测量结果不确定度评定示例

C.1 概述

C.1.1 被测仪器：空气热老化试验设备，设备仪表分辨力：0.1 °C，校准点 150 °C。

C.1.2 测量标准：温度巡检仪，温度指示分辨力：0.01 °C，测量时带修正值使用，测量不确定度 $U=0.20$ °C， $k=2$ 。

C.1.3 环境条件：温度 21.5 °C，相对湿度 40.5 %。

C.1.4 测量方法：符合本规范要求。

由于温度上偏差与温度下偏差不确定度来源相同，本部分以温度上偏差为例进行不确定度评定。

C.2 测量模型

温度上偏差公式

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

式中：

$\Delta t_{\max}$ ——温度上偏差，°C；

$t_{\max}$ ——各测量点规定时间内测量的最高温度，°C；

t_s ——被测设备设定温度，°C。

C.3 标准不确定度评定

C.3.1 标准器温度测量重复性引入的标准不确定度 u_1

在 150 °C 校准点重复测量 16 次，标准偏差 s 用下式计算得到：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}{n-1}} = 0.10^\circ\text{C} \quad (\text{C.2})$$

则： $u_1 = s = 0.10^\circ\text{C}$

C.3.2 标准器温度修正值引入的标准不确定度 u_2

由溯源证书可知标准器温度修正值的扩展不确定度为 $U=0.20$ °C， $k=2$ ，则：

$$u_2 = U/k = 0.20/2 = 0.10^\circ\text{C}$$

C.3.3 标准器稳定性引入的标准不确定度 u_3

标准器稳定性取两年变化的最大值 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 区间半宽为 $0.10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 服从均匀分布, 由此引入的标准不确定度为:

$$u_3 = 0.10 / \sqrt{3} = 0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$$

C.3.4 标准器分辨力引入的标准不确定度 u_4

标准器分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$, 由其所引入的标准不确定度采用 B 类评定方法评定, 假设可能值在区间内为均匀分布, 查表得 $k = \sqrt{3}$, 则由分辨力引入的标准不确定度为:

$$u_4 = 0.01 / 2\sqrt{3} = 0.003\text{ }^{\circ}\text{C}$$

由于标准器分辨力引入的标准不确定度分量小于重复性引入的标准不确定度分量, 两个分量取大值, 故在计算合成标准不确定度时不需考虑分辨力引入的标准不确定度分量。

C.4 合成标准不确定度

C.4.1 标准不确定度分量汇总见表 C.1

表 C.1 标准不确定度分量汇总表

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度/ $^{\circ}\text{C}$
u_1	测量重复性	0.10
u_2	标准器温度修正值	0.10
u_3	标准器稳定性	0.06

C.4.2 合成标准不确定度

由于 u_1 、 u_2 、 u_3 互不相关, 合成标准不确定度 u_c 按下式计算:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.15\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{C.3})$$

C.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 温度上偏差测量结果的扩展不确定度为:

$$U = k \times u_c = 0.30\text{ }^{\circ}\text{C} \quad (k=2)$$

附录 D

空气热老化试验设备换气率测量结果不确定度评定示例

D.1 概述

D.1.1 被测仪器：空气热老化试验设备的换气率，设定温度为 150 °C。

D.1.2 测量标准：功率测量使用 0.05 级三相标准电能表；温度测量使用温度巡检仪，温度指示分辨力：0.01°C，测量时带修正值使用，扩展不确定度 $U = 0.20^\circ\text{C}$ ， $k = 2$ 。

D.1.3 环境条件：温度 21.5°C，相对湿度 40.5%。

D.1.4 测量方法：符合本规范要求。

D.2 测量模型

$$N = \frac{h_s(P_2 - P_1)}{c_p V \rho (T_2 - T_1)} \quad (\text{D.1})$$

$$P_1 = \frac{W_1}{t_1}$$

$$P_2 = \frac{W_2}{t_2}$$

式中：

N ——换气率，次/h；

h_s ——系数 ($h_s = 3600$)；

W_1 ——密封状态下老化箱消耗电能，W h；

W_2 ——换气状态下老化箱消耗电能，W h；

c_p ——常压下空气的比热容，J/(g·°C)， c_p 通常取 1.005 J/(g·°C)；

T_1 ——环境温度测量点实测温度的平均值，°C；

T_2 ——换气状态下的工作空间内各测量点实测温度的平均值，°C；

V ——老化箱内（含风道）容积，L；

ρ ——试验时的环境空气密度，g/L，见附录E；

P_1 ——密封状态下老化箱的平均功率，W；

P_2 ——换气状态下老化箱的平均功率，W；

t_1 ——密封状态下老化箱电能测量时间，h；

t_2 ——换气状态下老化箱电能测量时间，h。

计算各分量灵敏系数较为复杂,故采用变量替换的方法,设 $\Delta P = P_2 - P_1$, $\Delta T = T_2 - T_1$ 测量模型转为:

$$N = \frac{h_s \Delta P}{c_p V \rho \Delta T} \quad (\text{D.2})$$

式(D.2)中各分量为积商形式,且相互独立不相关,可采用相对合成不确定度方式进行评定,即:

$$u_{\text{crel}}(N) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\Delta P) + u_{\text{rel}}^2(c_p) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\rho) + u_{\text{rel}}^2(\Delta T)} \quad (\text{D.3})$$

D.3 标准不确定度评定

D.3.1 输入量 ΔP 的标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\Delta P)$

$u_{\text{rel}}(\Delta P)$ 来源于测量重复性及标准电能表测量误差。

D.3.1.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_{1\text{rel}}(\Delta P)$

设定值为 150°C 时使用标准电能表测量得到设备在密封状态下平均功率 P_1 ,然后测量得到换气状态下平均功率 P_2 ,重复测量3次,采用极差法计算实验标准偏差,测量结果如表D.1所示:

表 D.1 功率重复性测量结果

测量次数	P1	P2	ΔP
1	155.6	246.4	90.8
2	156.0	249.8	93.8
3	156.8	248.6	91.8
平均值	156.1	248.3	92.1

极差系数 $C=1.69$,则实验标准偏差为:

$$s(\Delta P) = (93.8 - 90.8) / 1.69 = 1.78 \text{ W}$$

实际测量时一般要求单次测量,则重复性引入的标准不确定度即为实验标准偏差:

$u_1(\Delta P) = s(\Delta P) = 1.78 \text{ W}$,转换成相对标准不确定度为:

$$u_{1\text{rel}}(\Delta P) = u_1(\Delta P) / \overline{\Delta P} = 1.9\%$$

D.3.1.2 标准电能表测量误差引入的标准不确定度 $u_{2\text{rel}}(\Delta P)$

标准电能表相对允许误差为 $\pm 0.05\%$,服从均匀分布 $k=\sqrt{3}$, P_1 和 P_2 同时具有该不确定度,合成应乘以 $\sqrt{2}$,则:

$$u_{2\text{rel}}(\Delta P) = 0.05\% \times \sqrt{2} / \sqrt{3} = 0.04\%$$

D.3.1.3 因此输入量 ΔP 引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(\Delta P) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(\Delta P) + u_{2\text{rel}}^2(\Delta P)} = 1.90\%$$

D.3.2 输入量 c_p 的标准不确定度 $u_{\text{rel}}(c_p)$

$u_{\text{rel}}(c_p)$ 来源于环境温度、气压的影响,但仍属于可忽略微小波动,因此输入量 c_p 引入的标准不确定度可忽略不计。

D.3.3 输入量 V 的标准不确定度 $u_{\text{rel}}(V)$

$u_{\text{rel}}(V)$ 来源于箱内尺寸测量误差。测量时估计长、宽、高测量结果的相对误差不超过 $\pm 1\%$,服从均匀分布,体积为测量箱体长、宽、高的乘积,输入量 V 引入的相对不确定度为三者合成,则输入量 V 引入的相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(V) = \sqrt{\left(\frac{1\%}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1\%}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1\%}{\sqrt{3}}\right)^2} = 1.00\%$$

D.3.4 输入量 ρ 的标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\rho)$

$u_{\text{rel}}(\rho)$ 来源于空气密度的变化。本次测量环境温度在 $(25 \sim 27)^\circ\text{C}$ 范围内变化,由此造成空气密度变化范围为 $(1.185 \sim 1.177) \text{ g/L}$,服从均匀分布,空气密度实际值取 1.181 g/L ,则

$$u_{\text{rel}}(\rho) = (1.185 - 1.177) / 2 \times \sqrt{3} \times 1.181 = 0.20\%$$

D.3.5 输入量 ΔT 的标准不确定度 $u_{\text{rel}}(\Delta T)$

$u_{\text{rel}}(\Delta T)$ 来源于测量重复性及温度巡检仪的修正值。

D.3.5.1 测量重复性引入的标准不确定度 $u_{1\text{rel}}(\Delta T)$

使用温度巡检仪同时测量环境温度 T_1 和箱内温度 T_2 ,在 30 min 内每隔 2 min 进行测量,测量 16 次 T_1 和 T_2 的差值 ΔT 测量结果如表 D.2 所示,采用贝塞尔公式计算实验标准偏差:

表 D.2 温度差值测量结果

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8
差值	125.25	124.63	124.61	123.32	124.54	124.06	124.41	124.91
测量次数	9	10	11	12	13	14	15	16
差值	123.82	124.33	124.97	124.97	123.87	124.06	123.99	123.39

$$s(\Delta T) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta T_i - \overline{\Delta T})^2}{n-1}} = 0.57 \text{ } ^\circ\text{C}$$

取平均值作为测量结果，则重复性引入的标准不确定度为平均值实验标准偏差：

$$u_1(\Delta T) = s(\Delta T)/\sqrt{n} = 0.14 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{ 转换成相对标准不确定度:}$$

$$u_{1\text{rel}}(\Delta T) = u_1(\Delta T)/\overline{\Delta T} = 0.11\%$$

D. 3. 5. 2 温度巡检仪修正值引入的标准不确定度 $u_{2\text{rel}}(\Delta T)$

温度巡检仪修正值引入的扩展不确定度为 $U = 0.20 \text{ } ^\circ\text{C}$ ($k=2$)，标准不确定度为 0.10°C ， T_1 和 T_2 同时具有该修正值不确定度，合成应乘以 $\sqrt{2}$ ，则相对标准不确定度为：

$$u_{2\text{rel}}(\Delta T) = 0.10 \times \sqrt{2}/\overline{\Delta T} = 0.11\%$$

D. 3. 5. 3 因此输入量 ΔT 引入的相对标准不确定度为：

$$u_{\text{rel}}(\Delta T) = \sqrt{u_{1\text{rel}}^2(\Delta T) + u_{2\text{rel}}^2(\Delta T)} = 0.16\%$$

D. 4 合成标准不确定度

D. 4. 1 标准不确定度分量汇总表见表 D.3

表 D. 3 换气率测量标准不确定度分量汇总表

不确定度分量	不确定度来源	分量相对标准不确定度	输入量相对标准不确定度
$u_{\text{rel}}(\Delta P)$	电能表测量重复性	1.9%	1.90%
	电能表测量误差	0.04%	
$u_{\text{rel}}(V)$	体积测量误差	1.00%	1.00%
$u_{\text{rel}}(\rho)$	空气密度变化	0.20%	0.20%
$u_{\text{rel}}(\Delta T)$	温度测量重复性	0.11%	0.16%
	温度标准器温度修正值	0.11%	

D. 4. 2 合成标准不确定度

由于上述各分量互不相关，合成相对标准不确定度 u_{crel} 按下式计算：

$$u_{\text{crel}}(N) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\Delta P) + u_{\text{rel}}^2(V) + u_{\text{rel}}^2(\rho) + u_{\text{rel}}^2(\Delta T)} = 2.16\% \quad (\text{D.4})$$

D. 5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，本次换气率测量结果的相对扩展不确定度为：

$$U_{\text{rel}} = k \times u_{\text{crel}} = 5\% \quad (k=2)$$

附录 E

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

