

JJF (轻工)

中华人民共和国工业和信息化部 轻工计量技术规范

JJF (轻工) 102-2018

空气净化器性能试验舱校准规范

Calibration Specification for Test Chamber of Air Cleaner

2018-10-22 发布

2018-12-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

空气净化器性能试验舱 校准规范

Calibration Specification

for Test Chamber of Air Cleaner

JJF (轻工) 102-2018

归口单位：中国轻工业联合会

主要起草单位：中国家用电器研究院

青岛联测检测技术服务有限公司

参加起草单位：清华大学

苏州绿创检测技术服务有限公司

东莞升微机电设备科技有限公司

中山市上品环境净化技术有限公司

本规范由主要起草单位负责解释

本规范主要起草人：

曹瑞林（中国家用电器研究院）

马德军（中国家用电器研究院）

张建华（青岛联测检测技术服务有限公司）

参加起草人：

莫金汉（清华大学）

苑 欣（中国家用电器研究院）

熊开胜（苏州绿创检测技术服务有限公司）

夏可瑜（东莞升微机电设备科技有限公司）

黄 海（中山市上品环境净化技术有限公司）

王璐阳（清华大学）

目 录

引言	(II)
1 范围	(1)
2 引用文件	(1)
3 术语和定义	(1)
3.1 空气净化器性能试验舱	(1)
3.2 本底浓度	(1)
3.3 换气次数	(1)
3.4 混合度	(1)
3.5 回收率	(1)
4 概述	(2)
5 计量特性	(2)
5.1 尺寸	(2)
5.2 温湿度	(2)
5.3 换气次数	(2)
5.4 混合度	(2)
5.5 回收率	(2)
5.6 本底浓度	(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	(3)
8 校准结果表达	(6)
9 复校时间间隔	(6)
附录 A 试验舱 (补充件)	(7)
附录 B 校准结果不确定度评定示例 (参考件)	(9)
附录 C 校准原始记录格式 (参考件)	(21)
附录 D 校准证书内页格式 (参考件)	(25)

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》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑校准规范制修订工作的基础性系列规范。

本规范的附录 A“试验舱（补充件）”为规范性附录，附录 B“校准结果不确定度评定示例（参考件）”、附录 C“校准原始记录格式（参考件）”、附录 D“校准证书内页格式（参考件）”均为资料性附录。

本规范为首次制定。

空气净化器性能试验舱校准规范

1 范围

本规范适用于空气净化器对颗粒物、气态污染物净化性能测试用试验舱的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

GB/T 18801-2015 空气净化器

GB/T 18883-2002 室内空气质量标准

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 术语和定义

3.1 空气净化器性能试验舱 test chamber of air cleaner

用于测定空气净化器对空气中的目标污染物去除能力的限定空间装置，规定了形状、尺寸和换气次数等基本条件。

3.2 本底浓度 background concentration

使用洁净空气为载体，空载时试验舱内目标污染物的浓度。

3.3 换气次数 air exchange rate

单位时间(h)内由试验舱外进入到试验舱内的空气总量与舱内空气总量的比值。

3.4 混合度 mixing level

试验舱内空气污染物的浓度均匀性实测值与标准值的比值。

3.5 回收率 recovery rate

一定时间内测得的试验舱内目标气态污染物的质量，与进入试验舱相应气态污染物的质量的比值。

4 概述

空气净化器性能试验舱(以下简称“试验舱”)可以模拟室内环境,是用于检测和研究室内空气净化器的主要装置,试验舱是由舱体、清洁空气供给系统、温湿度控制系统、空气采样系统、污染源发生装置及数据监控系统等组成,具体见附录 A。

依据试验舱标称容积分为 3 型、10 型、30 型、81 型。

5 计量特性

5.1 尺寸

长、宽、高尺寸误差 $\pm 1\%$ 。

5.2 温湿度

——温度误差 $\pm 2^{\circ}\text{C}$;

——湿度误差 $\pm 5\% \text{RH}$ 。

5.3 换气次数

换气次数: $\leq 0.05 \text{h}^{-1}$ 。

5.4 混合度

混合度: $> 80\%$ 。

5.5 回收率

用甲苯、正十二烷、四苯基环己烯进行回收率测试,回收率: $\geq 80\%$ 。

5.6 本底浓度

本底浓度应符合下列要求:

——颗粒物:

粒径 $0.3\mu\text{m}$ 以上粒子数: ≤ 1000 个/L;

——气态污染物:

甲醛: $\leq 0.05 \text{mg}/\text{m}^3$;

TVOC: $\leq 0.30 \text{mg}/\text{m}^3$;

甲苯: $\leq 0.10 \text{mg}/\text{m}^3$ 。

注:

1 仅进行颗粒物试验的试验舱只需符合颗粒物本底浓度要求;

2 如需要测定上述气态污染物之外的气态污染物,其对应的本底浓度应低于 GB/T18883-2002 对应限值的 50%。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 试验舱外部环境应符合 GB/T18883-2002 表 1 中物理性、化学性、生物性的要求。

6.1.2 试验供电系统：单相交流正弦波，电压和频率的波动范围应不大于额定值的 $\pm 1\%$ 。

6.1.3 设备周围无腐蚀性及易燃易爆气体存在，同时应避免强电场干扰。

6.2 测量标准及其他设备

校准时所需的标准器及配套设备如下：

- a) 温度计：最大允许误差 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ；
- b) 湿度计：最大允许误差 $\pm 2\% \text{RH}$ ；
- c) 计时器：最大允许误差 $\pm 0.5\%$ ；
- d) 二氧化碳测试仪：最大允许误差 $\pm 2\%$ ；
- e) 激光粒子计数器：测试粒径范围 $(0.3 \sim 10) \mu\text{m}$ ，量程应满足 10^6 个/L；
- f) 气相色谱仪：最大允许误差 $\pm 3\%$ ；
- g) 分光光度计：最大允许误差 ± 0.005 ；
- h) 钢卷尺：测量范围 $(0 \sim 10) \text{m}$ ，I级。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

试验舱校准项目包括尺寸、温湿度、换气次数、混合度、回收率、本底浓度。

7.2 校准方法

7.2.1 校准前检查

校准前应检查试验舱各部分均应处于正常工作状态。

7.2.2 尺寸

采用几何测量法，直接测量试验舱内所有长、宽、高的几何尺寸，计算测量偏差。

7.2.3 温湿度

试验舱正常工作状态下，开启空调系统，达到设定温湿度后，稳定运行30min，用温度计和湿度计直接测量，采样点的位置与净化器实际测试方法中测点位置保持一致，每2min采样一次，连续监控30min，计算平均值。

7.2.4 换气次数

7.2.4.1 二氧化碳 (CO_2) 作为示踪气体，关闭试验舱舱门；

7.2.4.2 采样点的位置与净化器实际测试方法中测点位置保持一致。

7.2.4.3 开启高效空气过滤器,净化试验舱内空气,使颗粒物粒径在 $0.3\mu\text{m}$ 以上的粒子背景浓度小于 1000 个/L,启动温湿度控制装置,使室内温度和相对湿度达到规定状态。

7.2.4.4 将二氧化碳 (CO_2) 发生器连接一根穿过试验舱壁的管子,发生的二氧化碳 (CO_2) 可被卷入搅拌风扇搅拌所形成的空气涡流中,待输送的二氧化碳 (CO_2) 达到一定浓度 ($2000\text{mg}/\text{m}^3\sim 4000\text{mg}/\text{m}^3$) 后,关闭发生器。搅拌风扇再搅拌 10min,使二氧化碳 (CO_2) 混合均匀后,关闭搅拌风扇。循环风扇在试验过程中一直保持开启状态。

7.2.4.5 待搅拌风扇停止运转,用二氧化碳测试仪测定二氧化碳 (CO_2) 的初始浓度为 c_0 (对应时间 $t=0\text{min}$)。

7.2.4.6 待试验舱内的初始样采集完成后,开始试验。试验过程中,每 5min 采集 1 次,第二次取样开始的时刻为 $t=0\text{h}$,全部采样时间为 1h。

7.2.4.7 二氧化碳 (CO_2) 的浓度随时间的变化符合指数函数的变化趋势,用式 (1) 表示:

$$c_t = c_0 e^{-Kt} \quad (1)$$

式中:

c_t ——在时间 t 时的二氧化碳 (CO_2) 浓度, mg/m^3 ;

c_0 ——在 $t=0$ 时的二氧化碳 (CO_2) 初始浓度, mg/m^3 ;

K ——衰减常数, h^{-1} ;

t ——时间, h ;

按照式 (1) 做 $\ln c_t$ 和 t 的线性拟合,可求得衰减常数,取绝对值,即为换气次数 K ,用式 (2) 表示:

$$K = \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i \ln c_{ti} \right) - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln c_{ti} \right)}{\left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right) - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (2)$$

式中:

K ——换气次数, h^{-1} ;

t_i ——第 i 个取样点对应的的时间, h ;

$\ln c_{ti}$ ——第 i 个取样点对应的污染物浓度的自然对数;

n ——采样次数。

7.2.5 混合度

7.2.5.1 二氧化碳 (CO_2) 作为示踪气体,关闭试验舱舱门,舱内应保持正常测试状态 (如有循环风扇,要开启);

7.2.5.2 打开试验舱的送风道和排风道，向送风道送入干净空气，1 h 送风量应为试验舱舱体积的 50%，试验舱可设置上送下回或下送上回的送风道和排风道。

7.2.5.3 将二氧化碳 (CO₂) 注入送风道，使得送风道 CO₂ 浓度稳定为 (3000±1000) mg/m³；

7.2.5.4 在排风口处同时开始监测二氧化碳 (CO₂) 浓度，混合度 (σ_{mix}) 用式 (3) 表示：

$$\sigma_{mix} = \left[1 - \frac{\int_0^{t_n} |c_m(t) - c(t)| dt}{\int_0^{t_n} c(t) dt} \right] \times 100\% \quad (3)$$

式中：

σ_{mix}——混合度，%；

t_n——试验舱一次换气所需要的时间（即 60/N），为 2h；

c_m(t)——排风口处监测的二氧化碳 (CO₂) 气体浓度，mg/m³；

c(t)——完全混合情况下，排风口处 (CO₂) 浓度理论值，mg/m³；

$$c(t) = c_{inlet} + (c_1 - c_{inlet}) \times e^{-K_0 t} \quad (4)$$

c_{inlet}——送风口处的 (CO₂) 浓度，mg/m³；

c₁——试验舱内在测试 0 时刻的本底浓度，mg/m³；

K₀——混合度试验过程中设定的换气次数，0.5h⁻¹；

t——时间，h。

7.2.6 回收率

向试验舱中分别通入定量的污染物（甲苯、正十二烷、四苯基环己烯），舱内理论浓度 (2.0±0.2) mg/m³。污染物应采用舱内直接挥发法，挥发设备的温度范围 200℃~300℃。挥发的同时开启搅拌风扇，60min 后测试污染物终止浓度。回收率用式 (5) 表示：

$$R = \frac{c_3}{c_2} \times 100\% \quad (5)$$

式中：

R——回收率，%；

c₂——初始理论浓度，mg/m³；

c₃——终止浓度，mg/m³；

注：

1 采样点的位置与净化器实际测试方法中测点位置保持一致。

2 为了保证称量准确度,用甲醇等对测试结果无干扰的溶剂稀释后再添加。

7.2.7 本底浓度

本底浓度测试时,试验舱应密闭2 h,密闭过程中要保持搅拌风扇开启状态,采样点的位置与净化器实际测试方法中测点位置保持一致,每10min采样一次,连续采样3次,计算平均值。

颗粒物的本底浓度直接使用激光粒子计数器测试,气态污染物的本底浓度依据 GB/T 18883-2002 规定的试验方法进行分析。

8 校准结果

校准结果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,如“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,如果与校准结果的有效性和应用有关时,应说明被校对象的接收日期;
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时,应对被校准样品的抽样程序进行说明;
- i) 校准所依据的技术规范的标识,包括名称及代号;
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明;
- k) 校准环境的描述;
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明;
- m) 对校准规范的偏离的说明;
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、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

建议复校时间间隔为1年。由于复校时间间隔的长短是由检测装置的使用情况、使用者、检测装置本身质量等诸多因素所决定的,因此,使用单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

试验舱 (补充件)

A.1 试验舱结构参数

试验舱结构参数见表 A.1。

表 A.1 试验舱结构参数

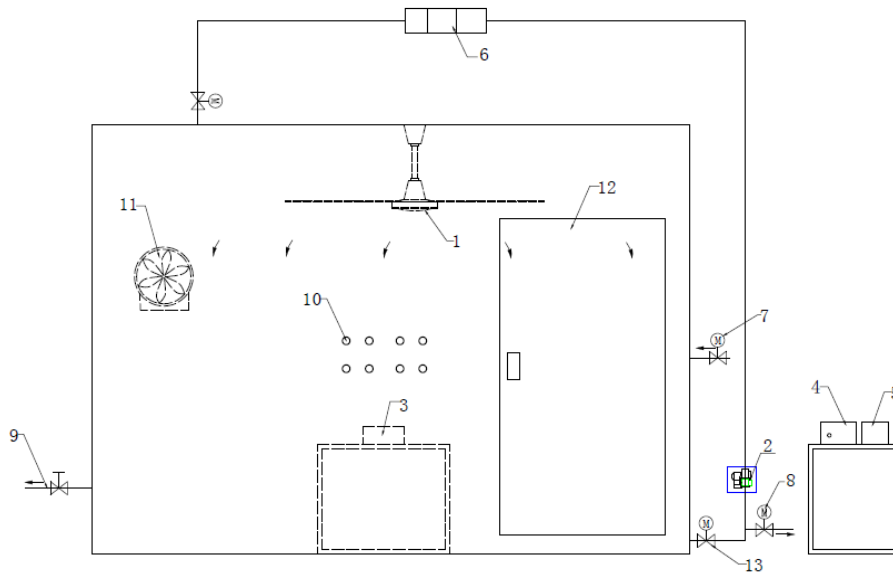
项目	要求			
	3 型	10 型	30 型	81 型
试验舱内尺寸	1.4m×1.4m×1.5m	2.0m×2.0m×2.5m	3.5m×3.4m×2.5m	6.0m×4.5m×3.0m
舱体材料	厚度为 5mm 以上浮法玻璃或厚度为 0.8mm 以上不锈钢板, 或其他类似低吸附材料			
密封材料	用硅橡胶条及玻璃密封胶, 或其他类似低释放材料			
搅拌风扇	直径约 0.5m~1.0m, 三叶		直径约 1.0m~1.5m, 三叶	
循环风扇	无		风量 500m ³ /h~700m ³ /h, 直径 0.2m, 安装位置: 离地 1.5m, 离后墙 0.4m, 尺寸最大允许误差 ±5mm	

注:

- 1 试验舱必须可靠接地。
- 2 81 型试验舱搅拌风扇要增加 2 个, 均匀分布于试验舱顶部, 循环风扇也要增加 2 个, 分别放置于试验舱内的两个对角位置。

A.2 试验舱示意图

30 型试验舱示意图见图 A.1。



说明:

- | | |
|--------------|---------------|
| 1— 搅拌风扇; | 8—— 试验舱污染物排气; |
| 2—— 净化循环风机; | 9—— 混合度取样口; |
| 3—— 样品; | 10—— 采样口; |
| 4—— 污染物检测装置; | 11—— 内部循环风扇; |
| 5—— 污染物发生装置; | 12—— 试验舱门; |
| 6—— 空气过滤器; | 13—— 净化风道。 |
| 7—— 混合度送样口; | |

图 A.1 30 型试验舱示意图

A.3 试验舱空气质量显示装置

试验舱测试中应考虑针对空气质量显示装置的测试要求, 空气质量显示装置显示偏差应不大于 10%。

附录 B

校准结果不确定度分析示例 (参考件)

B.1 本底浓度 (颗粒物) 的测量不确定度分析

B.1.1 测量模型

以空气中 $0.3\mu\text{m}$ 以上颗粒物浓度为例, 颗粒物浓度用式 (B.1) 表示:

$$c_4 = N_0 / V_0 \quad (\text{B.1})$$

式中:

c_4 ——舱内颗粒物浓度, 个/L;

N_0 ——舱内颗粒物个数, 个;

V_0 ——换算成标准状态下的采样体积, L。

B.1.2 标准不确定度来源

由测量模型可知, $0.3\mu\text{m}$ 以上颗粒物浓度的测量不确定度由以下三个部分组成:

- a) 采样体积引入的不确定度;
- b) 粒子计数器引入的不确定度;
- c) 重复性实验的不确定度。

B.1.3 标准不确定度分量分析

B.1.3.1 采样体积引起的标准不确定度分量 $u(V_0)$ B.1.3.1.1 流量计引入的标准不确定分量 $u(B_1)$

流量计最大允许误差为 $\pm 1.6\%$, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$

$$u(B_1) = \frac{0.016}{\sqrt{3}} = 0.00924$$

B.1.3.1.2 温度表引入的标准不确定分量 $u(B_2)$

温度表最大允许误差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$

$$u(B_2) = \frac{0.5}{\sqrt{3} \times (25 + 273)} = 0.00097$$

B.1.3.1.3 大气压计引入的不确定度 $u(B_3)$

空盒气压表最大允许误差为 $\pm 0.1\text{kPa}$, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$

$$u(B_3) = \frac{0.1}{\sqrt{3} \times 101.3} = 0.00057$$

综上, 采样体积引起的标准不确定度分量为:

$$u(V_0) = \sqrt{u^2(B_1) + u^2(B_2) + u^2(B_3)} = \sqrt{0.00924^2 + 0.00097^2 + 0.00057^2} = 0.0093$$

B. 1. 3. 2 粒子计数器引入的不确定度分量 $u(B_4)$

由计量证书得知, 粒子计数器测量不确定度为 10%, $k=2$:

$$u(B_4) = \frac{0.1}{2} = 0.05$$

B. 1. 3. 3 测量重复性引入的标准不确定度分量 $u(A)$

为获得重复性测量的不确定度, 对试验舱本底浓度进行 6 次重复测试, 测试结果如下:

表 B. 1 颗粒物本底浓度重复性测量数据

第 i 次测量	1	2	3	4	5	6	平均值
测量值 (个/L)	886	899	872	912	898	893	894

根据表 B. 1 的数据, 计算出颗粒物本底浓度重复性测量的实验标准差:

$$s(c_4) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_4(i) - \bar{c}_4)^2}{n-1}} = 13.19$$

校准时取 3 次测量结果的平均值, 故测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u(A) = \frac{s(c_4)}{\sqrt{3}c_4} = 0.0085$$

B. 1. 4 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 $u_{rel}(c_4)$:

$$u_{rel}(c_4) = \sqrt{u^2(V_0) + u^2(B_4) + u^2(A)} = 0.052$$

测得的试验舱内颗粒物本底浓度: $c_4=894$, 则:

$$u_c(c_4) = c_4 \times u_{rel}(c_4) = 46 \text{ 个/L}$$

B. 1. 5 扩展不确定度的确定

当置信区间为 95%, 包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度 U 为:

$$U = 2 \times 46 = 92 \text{ 个/L}$$

B.2 回收率（气态污染物）的测量不确定度分析

B.2.1 测量模型

以空气中甲苯浓度为例，回收率用式（B.2）表示：

$$R = \frac{c_3}{c_2} \times 100\% \quad (\text{B.2})$$

式中：

R ——回收率，%；

c_2 ——初始理论浓度， mg/m^3 ；

c_3 ——终止浓度， mg/m^3 ；

B.2.2 标准不确定度来源

由测量模型可知，回收率的测量不确定度由以下四个部分组成：

- a) 采样体积引入的不确定度；
- b) 配置标准溶液和标准曲线线性回归引入的不确定度；
- c) 气相色谱仪引入的不确定度；
- d) 重复性实验引入的不确定度。

B.2.3 标准不确定度分量分析

B.2.3.1 采样体积引起的标准不确定度分量 $u(V_1)$

B.2.3.1.1 流量计引入的标准不确定分量 $u(B_1)$

流量计最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$

$$u(B_1) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115$$

B.2.3.1.2 温度表引入的标准不确定分量 $u(B_2)$

温度表最大允许误差为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$

$$u(B_2) = \frac{0.5}{\sqrt{3} \times (25 + 273)} = 0.00097$$

B.2.3.1.3 大气压计引入的不确定度分量 $u(B_3)$

空盒气压表最大允许误差为 $\pm 0.1\text{kPa}$ ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$

$$u(B_3) = \frac{0.1}{\sqrt{3} \times 101.3} = 0.00057$$

综上，采样体积引起的标准不确定度分量为：

$$u(V_1) = \sqrt{u^2(B_1) + u^2(B_2) + u^2(B_3)} = 0.0116$$

B. 2. 3. 2 配置标准溶液和标准曲线线性回归引入的不确定度分量 $u(Y)$

B. 2. 3. 2. 1 甲苯标准储备液引入的不确定度分量 $u(B_4)$

甲苯标准储备液证书上注明, 该溶液的浓度为 $0.01\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 、 $0.1\mu\text{g}/\mu\text{L}$ 和 $1\mu\text{g}/\mu\text{L}$, 扩展不确定度为 5%, $k=2$, 则标准储备液引入的标准不确定度为:

$$u(B_4) = \frac{0.05}{2} = 0.025$$

B. 2. 3. 2. 2 由微量进样器引入的不确定度分量 $u(B_5)$

$10\mu\text{L}$ 微量进样器分别打进 $1.0\mu\text{L}$ 、 $2.0\mu\text{L}$ 、 $5.0\mu\text{L}$ 至采样管中, 使采样管中甲苯的质量分别为 $0.05\mu\text{g}$ 、 $0.1\mu\text{g}$ 、 $0.2\mu\text{g}$ 及 $0.5\mu\text{g}$ 、 $1.0\mu\text{g}$ 和 $2.0\mu\text{g}$ 。微量进样器的标准不确定度如表 B. 2 所示:

表 B. 2 $10\mu\text{L}$ 微量进样器的标准不确定度

规格 (μL)	容量允许误差 (%)	标准不确定度
1.0	1	0.00577
2.0	1	0.00577
5.0	1	0.00577

按均匀分布, $k = \sqrt{3}$, 微量进样器引入的标准不确定度为:

$$u(B_5) = \frac{0.01}{\sqrt{3}} = 0.0058$$

B. 2. 3. 2. 3 标准曲线的线性回归引入的不确定度分量 $u(B_6)$

甲苯标准系列溶液测量结果如表 B. 3 所示:

表 B. 3 甲苯标准系列溶液测量结果

管号	1	2	3	4	5	6
甲苯含量 x_i (μg)	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00
峰面积 y_i ($\mu\text{V} \times \text{s}$)	73472	159631.5	326016.5	873239	1802687.5	3548425

由表 B. 3 数据得出的线性回归直线方程:

$$y = 1789590x - 17742$$

其中, 斜率 $k = 1789590$, 截距 $a = -17742$, $R^2 = 0.9998$

误差方程:

$$x_i = \frac{y_i - b}{k} + v_i$$

残差平方和:

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \sum_{i=1}^n \left[x_i - \frac{y_i - b}{k} \right]^2$$

残差标准差 s :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{4.19 \times 10^{-4}}{6-2}} = 0.0102$$

截距 b 和斜率 k 的不确定度:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 0.642$$

$$u_b = s_b = \sqrt{\frac{1}{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} s^2 \sum_{i=1}^n x_i^2} = 0.0057$$

$$u_k = s_k = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} s^2} = 0.0061$$

灵敏度系数为:

$$c_b = 1$$

$$c_k = \bar{x} = 0.642$$

则标准曲线线性回归引起的不确定度分量 $u(B_6)$ 为:

$$u(B_6) = \sqrt{c_k^2 u_k^2 + c_b^2 u_b^2} = 0.0069$$

则配置标准溶液和标准曲线线性回归引入的不确定度 $u(Y)$ 为:

$$u(Y) = \sqrt{u^2(B_4) + u^2(B_5) + u^2(B_6)} = 0.0266$$

B. 2. 3. 3 气相色谱仪测量标准不确定度 $u(B_7)$

气相色谱仪的最大允许误差为 $\pm 3\%$, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$

$$u(B_7) = \frac{0.03}{\sqrt{3}} = 0.0173$$

B. 2. 3. 4 重复性引入的标准不确定度 $u(A)$

为获得重复性测量的不确定度,对试验舱回收率进行 6 次重复测试,测试结果见表 B. 4:

表 B. 4 回收率重复性测量数据

次数	混合度(%)
1	92.2
2	93.2
3	95.3
4	94.8
5	93.2
6	92.8

根据表 B. 4 的数据,计算出回收率重复性测量的实验标准差:

$$s(R) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [R(i) - \bar{R}]^2}{n-1}} = 0.012$$

测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u(A) = \frac{s(R)}{R} = 0.013$$

B. 2. 4 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 $u_{rel}(R)$:

$$u_{rel}(R) = \sqrt{u^2(V_0) + u^2(Y) + u^2(B_7) + u^2(A)} = 0.036$$

测得的试验舱回收率:

$$R = \frac{c_3}{c_2} \times 100\% = 92.2\%$$

$$u_c(R) = R \times u_{rel}(R) = 3.3\%$$

B. 2. 5 扩展不确定度的确定

当置信区间为 95%, 包含因子 $k=2$, 则扩展不确定度 U 为:

$$U = 2 \times 3.3\% = 6.6\%$$

B.3 混合度的测量不确定度分析

B.3.1 测量模型

用二氧化碳 (CO₂) 作为示踪气体进行混合度实验, 混合度用式 (B.3) 表示:

$$\sigma_{\text{mix}} = \left[1 - \frac{\int_0^{t_n} |c_m(t) - c(t)| dt}{\int_0^{t_n} c(t) dt} \right] \times 100\% \quad (\text{B.3})$$

式中:

σ_{mix} ——混合度, %;

t_n ——试验舱一次换气所需要的时间 (即 60/N), 为 2h;

$c_m(t)$ ——排风口处监测的二氧化碳 (CO₂) 气体浓度, mg/m³;

$c(t)$ ——完全混合情况下, 排风口处二氧化碳 (CO₂) 浓度理论值, mg/m³;

$$c(t) = c_{\text{inlet}} + (c_1 - c_{\text{inlet}}) \times e^{-K_0 t} \quad (\text{B.4})$$

c_{inlet} ——送风口处的二氧化碳 (CO₂) 浓度, mg/m³;

c_1 ——试验舱内在测试0时刻的本底浓度, mg/m³;

K_0 ——试验过程中的换气次数, 为 0.5 h⁻¹;

t ——时间, h。

B.3.2 标准不确定度来源

由测量模型可知, 混合度实验的测量不确定度由以下三部分组成:

- 二氧化碳测试仪引入的不确定度;
- 采样时间引入的不确定度;
- 重复性实验引入的不确定度。

B.3.3 标准不确定度分量分析

B.3.3.1 二氧化碳测试仪引入的不确定度分量 $u(B_1)$

二氧化碳测试仪的最大允许误差为 ±2%, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$

$$u(B_1) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115$$

B.3.3.2 采样时间引入的不确定度分量 $u(B_2)$

计时器的最大允许误差为 ±0.5%, 按均匀分布, $k = \sqrt{3}$

$$u(B_2) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029$$

B.3.3.3 重复性实验引入的不确定度 $u(A)$

为获得重复性测量的不确定度,对试验舱混合度进行6次重复测试,测试结果见表B.5

表 B.5 混合度重复测量结果

次数	混合度 (%)
1	94
2	92
3	91
4	93
5	90
6	89

根据表 B.5 的数据,计算出混合度重复性测量的实验标准差:

$$s(\sigma) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\sigma(i) - \bar{\sigma}]^2}{n-1}} = 0.019$$

测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u(A) = \frac{s(\sigma)}{\sigma} = 0.0202$$

B.3.4 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 $u_{rel}(\sigma)$:

$$u_{rel}(\sigma) = \sqrt{u^2(B_1) + u^2(B_2) + u^2(A)} = 0.023$$

测得的试验舱混合度:

$$\sigma_{mix} = \left[1 - \frac{\int_0^{t_n} |c_m(t) - c(t)| dt}{\int_0^{t_n} c(t) dt} \right] \times 100\% = 94\%$$

$$u_c(\sigma) = \sigma_{mix} \times u_{rel}(\sigma) = 2.2\%$$

B.3.5 扩展不确定度的确定

当置信区间为 95%,包含因子 $k=2$,则扩展不确定度 U 为:

$$U = 2 \times 2.2\% = 4.4\%$$

B.4 换气次数的测量不确定度分析

B.4.1 测量模型

二氧化碳的浓度随时间的变化的衰减常数，即为换气次数，表达式如下：

$$c_t = c_0^{-Kt} \quad (\text{B.5})$$

式中：

c_t ——在时间 t 时的二氧化碳 (CO_2) 浓度， mg/m^3 ；

c_0 ——在 $t=0$ 时的二氧化碳 (CO_2) 初始浓度， mg/m^3 ；

K ——衰减常数， h^{-1} ；

t ——时间， h 。

B.4.2 标准不确定度来源

由测量模型可知，换气次数的测量不确定度由以下四个部分组成：

- 二氧化碳测试仪引入的不确定度；
- 采样时间引入的不确定度；
- 校准曲线线性拟合引入的不确定度；
- 重复性实验引入的不确定度。

B.4.3 标准不确定度分量分析

B.4.3.1 二氧化碳测试仪引入的不确定度分量 $u(B_1)$

二氧化碳测试仪的最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$

$$u(B_1) = \frac{0.02}{\sqrt{3}} = 0.0115$$

B.4.3.2 采样时间引入的不确定度分量 $u(B_2)$

计时器的最大允许误差为 $\pm 0.5\%$ ，按均匀分布， $k = \sqrt{3}$

$$u(B_2) = \frac{0.005}{\sqrt{3}} = 0.0029$$

B.4.3.3 校准曲线线性拟合引入的不确定度分量 $u(B_3)$

B.4.3.3.1 对标准式(B.5)取对数, 得到下式(B.6)：

$$\ln c_t - \ln c_0 = -Kt \quad (\text{B.6})$$

令 $x=t$, $y=\ln c_t - \ln c_0 + b$, 得到直线式(B.7)

$$y = -Kx + b \quad (\text{B.7})$$

B.4.3.3.2 最小二乘法线性拟合

根据最小二乘法和式(B.7)的假设条件, 输出量 K 、 b 及它们的估计方差和协方差是在残差平方和 Q 最小时得到:

$$Q = \sum_{i=1}^n (y - b + Kx)^2 \quad (\text{B.8})$$

这就导出了 K 和 b 的公式 (B.9) ~ (B.15), $s^2(K)$ 和 $s^2(b)$ 是它们的实验标准方差, $r(K, b)$ 是估计的相关系数, 其中 $s(K, b)$ 是估计的协方差。

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum y_i x_i)(\sum x_i)}{D} \quad (\text{B.9})$$

$$K = -\frac{n(\sum y_i x_i) - (\sum y_i)(\sum x_i)}{D} \quad (\text{B.10})$$

$$s^2(b) = \frac{s^2 \sum x_i^2}{D} \quad (\text{B.11})$$

$$s^2(K) = n \frac{s^2}{D} \quad (\text{B.12})$$

$$r(K, b) = -\frac{\sum x_i}{\sqrt{n \sum x_i^2}} \quad (\text{B.13})$$

$$s^2 = \frac{\sum (y_i - y(x_i))^2}{n-2} \quad (\text{B.14})$$

$$D = n \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (\text{B.15})$$

式中:

n ——采样次数

$[y_i - y(x_i)]$ ——在 x_i 时间时测得的 y_i 与线性拟合 $y = -Kx + b$ 上在 x_i 时预示的 $y(x_i)$ 之间的差值;

s^2 ——估计方差, 总的拟合不确定度度量, 其中因子 $n-2$ 反映了由 n 次测量值确定两个参数 K 和 b 时, s^2 的自由度为 $n-2$;

B.4.3.3.3 拟合结果的计算

二氧化碳浓度随时间的变化的衰减曲线线性拟合结果如表 B.6 所示。

表 B.6 二氧化碳浓度衰减曲线线性拟合结果

时间 x_i (h)	二氧化碳浓度 c_i	y_i	$y(x_i)$	$y_i - y(x_i)$
0	2542.1	0.000	-0.0023	0.002306
0.08	2539.5	-0.001	-0.0044	0.003463
0.17	2535.4	-0.003	-0.0069	0.004301

JJF (轻工) 102-2018

0.25	2530.4	-0.005	-0.0091	0.004508
0.33	2524.5	-0.007	-0.0113	0.004354
0.42	2517.8	-0.010	-0.0137	0.004150
0.5	2511	-0.012	-0.0159	0.003626
0.58	2508.4	-0.013	-0.0181	0.004771
0.67	2504.3	-0.015	-0.0205	0.005589
0.75	2494.4	-0.019	-0.0227	0.003808
0.83	2491.2	-0.020	-0.0249	0.004706
0.92	2485.7	-0.022	-0.0273	0.004949
1	2481.8	-0.024	-0.0295	0.005559

被拟合的数据在表 B. 7 的第三列和第四列给出, 应用式 (B. 9) ~ (B. 15) 可以得到:

$$\begin{aligned}
 K &= 0.027, & s(K) &= 0.0043 \\
 b &= -0.0023, & s(b) &= 0.0026 \\
 r(K, b) &= -0.8175 & s &= 0.0048
 \end{aligned}$$

B. 4. 3. 3. 4 衰减曲线线性拟合引入的不确定度分量 $u(B_3)$:

$$u(B_3) = s = 0.0048$$

B. 4. 3. 4 重复性实验引入的不确定度分量 $u(A)$

为获得重复性测量的不确定度, 对换气次数进行 6 次重复测试, 测试结果见表 B. 7

表 B. 7 换气次数重复测量结果

次数	换气次数 (h^{-1})
1	0.027
2	0.025
3	0.025
4	0.024
5	0.026
6	0.025

根据表 B. 7 的数据, 计算出换气次数重复性测量的实验标准差:

$$s(K) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [K(i) - \bar{K}]^2}{n-1}} = 0.0010$$

测量重复性引入的标准不确定度为:

$$u(A) = \frac{s(K)}{K} = 0.037$$

B. 4. 4 合成标准不确定度的计算

合成标准不确定度 $u_{rel}(K)$:

$$u_{rel}(K) = \sqrt{u^2(B_1) + u^2(B_2) + u^2(B_3) + u^2(A)} = 0.039$$

测得的试验舱换气次数: $K=0.027$

$$u_c(K) = K \times u_{rel}(K) = 0.001 \text{ h}^{-1}$$

B. 4. 5 扩展不确定度的确定

当置信区间为 95%，包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度 U 为:

$$U = 2 \times 0.001 = 0.002 \text{ h}^{-1}$$

附录 C

校准原始记录格式 (参考件)

委托单位名称			
委托单位地址			
设备名称			
制造单位			
规格型号		仪器编号	

校准用主要计量标准器具

标准器名称	规格型号	设备编号	不确定度/准确度等级 /最大允许误差	证书编号	有效期

校准依据: _____

环境条件 温度: _____ 相对湿度: _____

校准地点: _____

备注: _____

校准日期: _____

校准人员: _____ 核验人员: _____

1、舱内容积：

舱内尺寸	标称值	实测值
长		
宽		
高		
舱内容积		

2、舱内温湿度：

项目	设定值	实测值
温度		
相对湿度		

3、换气次数：

采样点序号	采样时间	采样点浓度
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		

附录 D

校准证书内页格式 (参考件)

证书编号: XXXX—XXXX

校准机构授权说明				
校准环境条件及地点:				
温 度		地 点		
相对湿度		其 他		
校准所依据的技术文件 (代号、名称):				
校准所使用的主要测量标准:				
名 称	测量范围	不确定度/ 准确度等级	检定/校准 证书标号	证书有效期至

注:

- 1、XXXX XXXX 仅对加盖“XXXXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
- 2、本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
- 3、未经实验室书面批准，不得部分复印证书。

第 页，共 页

4、混合度：

采样点序号	采样时间	采样点进口浓度	采样点出口浓度
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			

5、回收率：

测试对象	初始浓度	终止浓度	回收率
甲苯			
正十二烷			
四苯基环己烯			

6、本底浓度：

测试对象	采样点序号	采样点浓度	平均值
颗粒物	1		
	2		
	3		
甲醛	1		
	2		
	3		
TVOC	1		
	2		
	3		
甲苯	1		
	2		
	3		

校 准 结 果

1、舱内容积:

标称值	实测值	测量不确定度

2、舱内温湿度:

项目	设定值	实测值	测量不确定度
温度			
相对湿度			

3、换气次数:

技术要求	实测值	测量不确定度

4、混合度:

技术要求	实测值	测量不确定度

5、回收率:

测试对象	技术要求	实测值	测量不确定度

6、本底浓度:

测试对象	技术要求	实测值	测量不确定度

校准结果

校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF1059 的要求。

敬告：

- 1、 被校准仪器修理后，应立即进行校准。
- 2、 在使用过程中，如对被校准仪器的技术指标产生怀疑，请重新校准。
- 3、 根据客户要求和校准文件的规定，通常情况下____个月校准一次。

第 页，共 页

校准员：

核验员：