



# 中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx—202x

## 实验室通风柜性能参数校准规范

Calibration Specification of Performance Parameters of Laboratory Fume

Hoods

(征求意见稿)

202x—xx—xx 发布

202x—xx—xx 实施

国家市场监督管理总局发布

# 实验室通风柜性能参数校准规范

Calibration Specification of Performance

Parameters of Laboratory Fume Hoods

JJF xxxx—202x

归口单位：全国生物计量技术委员会

主要起草单位：中国计量科学研究院

参加起草单位：

本规范委托全国生物计量技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

参加起草人：

全国生物计量技术委员会

# 目 录

引言 .....	II
1 范围 .....	1
2 引用文件 .....	1
3 术语和计量单位 .....	1
3.1 控制浓度 .....	1
3.2 设计开度 .....	错误! 未定义书签。
3.3 面风速 .....	错误! 未定义书签。
3.4 通风柜系统 .....	1
3.5 通风柜前窗 .....	2
3.6 实验室通风柜 .....	2
3.7 惰性气流 .....	2
3.8 最大开度 .....	2
3.9 操作开度 .....	2
3.10 位置控制浓度 .....	2
3.11 释放速率 .....	2
3.12 反向流动 .....	3
3.13 漩涡 .....	3
3.14 视窗移动效应 .....	3
3.15 测试开度 .....	3
3.16 保护因子 .....	3
4 概述 .....	3
5 计量特性 .....	4
6 校准条件 .....	4
6.1 环境条件 .....	4
6.2 测量标准及其他设备 .....	5
7 校准项目和校准方法 .....	6
7.1 外观检查 .....	6
7.2 面风速 .....	6
7.3 流动显示 .....	6
7.4 人员保护 .....	8
7.5 照度 .....	10
7.6 噪声 .....	11
8 校准结果表达 .....	11
9 复测时间间隔 .....	12
附录 A 碘化钾法 .....	13
附录 B 校准原始记录格式 .....	17
附录 C 校准证书（内页）格式 .....	19
附录 D 测量结果不确定度评定示例 .....	20
附录 E 参考文献 .....	27

# 引 言

JJF 1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》和JJF 1059.1《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。校准方法及计量特性等主要参考了JJF 1815—2020《II级生物安全柜校准规范》、GB 24820-2009《实验室家具通用条件》、JB/T 6412-1999《排风柜》、JG/T 222-2007《实验室变风量排风柜》、JG/T 385-2012《无风管自净型排风柜》、ANSI/ASHRAE Standard 110-2016《通风柜性能测试标准（Methods of Testing Performance of Laboratory Fume Hoods）》、ANSI/ASSP Z9.5-2022《实验室通风（Laboratory Ventilation）》和EN 14175-3:2019《通风柜 第3部分：型式试验方法（Fume cupboards - Part 3: Type test methods）》。

本规范为首次发布。

全国生物计量技术委员会

# 实验室通风柜性能参数校准规范

## 1 范围

本规范适用于实验室通风柜性能参数的校准。

## 2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1815—2020 II级生物安全柜校准规范

GB 24820-2009 实验室家具通用条件

JB/T 6412-1999 排风柜

JG/T 222-2007 实验室变风量排风柜

JG/T 385-2012 无风管自净型排风柜

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 术语和计量单位

JJF 1815—2020、GB 24820-2009、JB/T 6412-1999、JG/T 222-2007、JG/T 385-2012、ANSI/ASHRAE Standard 110-2016、ANSI/ASSP Z9.5-2022 和 EN 14175-3:2019 中界定的及以下术语和定义适用于本规范。

### 3.1 控制浓度 control level

示踪气体的平均测量浓度，单位为物质的量浓度（ $\mu\text{mol/mol}$ ），在释放速率为4.0 L/min的通风柜前窗应不超过该浓度。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016，3.1]

### 3.2 设计开度 design opening

通风柜将运行时设定的视窗位置。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016，3.1，有修改]

### 3.3 面风速 face velocity

垂直于通风柜前窗移动的空气的平均速度，通常以米每秒（m/s）表示。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016，3.1]

### 3.4 通风柜系统 fume hood system

由通风柜、其所在的房间环境以及使通风柜可操作所需的排气设备（如鼓风机和管道系统）组成的布置。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.5 通风柜前窗 hood face

实验室通风柜前部的最小面积平面，当视窗完全打开时，空气通过该平面进入，通常与带有垂直视窗的通风柜的视窗位于同一平面上。对于带有水平视窗、组合视窗或多个垂直视窗的通风柜，通风柜前窗是与最外层视窗面板表面相对应的平面。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.6 实验室通风柜 laboratory hood

也称通风柜，一种封闭潜在空气污染源的箱形结构，其一侧敞开或部分敞开，空气被吸入其中以排出空气污染物。实验室通风柜通常用于实验室的台式操作，但不一定需要使用工作台或桌子。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.7 惰性气流 lazy airflow

当烟雾挑战中产生的烟雾留在工作台面上而没有顺利流向后挡板时所暴露的通风柜的气流问题。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.8 最大开度 maximum opening

通风柜开口最大的视窗位置。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.9 操作开度 operating opening

通风柜用户在通风柜前窗工作时放置视窗的视窗位置。操作开度应考虑人体工程学和和在通风柜内进行的所有程序，可能有多个操作开度。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.10 位置控制浓度 positional control level

测试期间某个位置的平均示踪气体浓度。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.11 释放速率 release rate

在通风柜测试期间，示踪气体的释放速率，以升/分（L/min）为单位。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.12 反向流动 reverse flow

当通风柜中释放的烟雾向前向通风柜前部移动时所暴露的通风柜的气流问题。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.13 漩涡 roll

视窗后面或通风柜上腔内空气的旋转。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.14 视窗移动效应 sash movement effect

在通风柜开口中心进行一系列视窗移动干扰测试期间观察到的最大45秒滚动平均示踪气体浓度。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.15 测试开度 test opening

被测试通风柜视窗的一个或多个位置。通常，测试开度是设计开度、操作开度或最大开度。测试开度的正确选择将取决于设计开度和操作开度。由于进行多个设备设置需要时间，因此测试开度也可能是最大开度。

[来源：ANSI/ASHRAE Standard 110-2016, 3.1]

### 3.16 保护因子 aperture protection factor

在开放工作台上产生的空气传播污染物的暴露量与在通风柜内产生相同分散的空气传播污染物暴露量的比值，用 $A_{pr}$ 表示。

[来源：JJF 1815—2020, 3.18, 有修改]

## 4 概述

实验室通风柜（以下简称通风柜）是实验室中控制污染物、保障实验人员健康、确保实验环境安全的重要设备。目前通风柜按进风方式主要分为三种类型：全排风式通风柜：通过室内进风在柜内循环后排出室外；补风式通风柜：当通风柜设置于采暖或对温湿度有控制要求的房间时，采用从室外取补给风在柜内循环后排出室外；变风量式通风柜：是通过调节阀门的传感器改变风量达到给定的风速。

通风柜主要由风机、风管、柜体组成，一般配有钢化玻璃柜门和耐腐蚀操作台面，内部设有水路、电路、气路等辅助设施，通过控制面板进行操作，如图1所示。

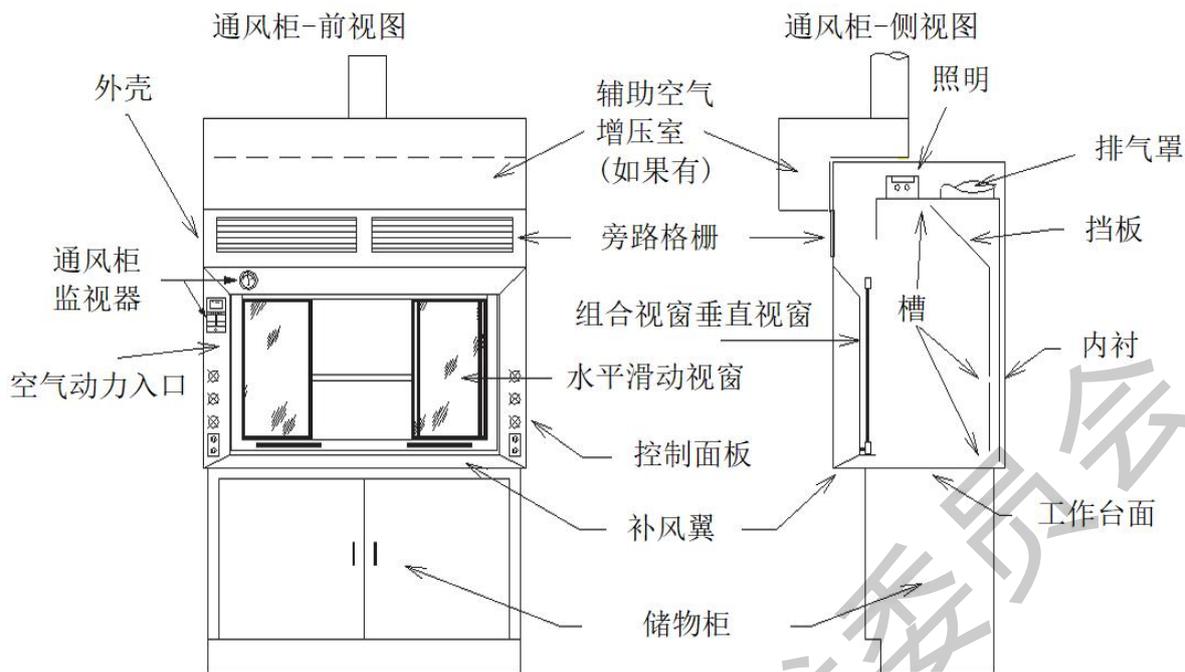


图1 典型台式实验室通风柜的部件

## 5 计量特性

通风柜性能参数的各项计量特性指标见表1。

表1 通风柜性能参数的主要计量特性指标

计量特性	计量特性指标
面风速	面风速平均值不小于 0.3 m/s，各网格中心点风速平均值与面风速平均值的相对偏差应不超过 $\pm 20\%$
流动显示	所有烟雾应流向通风柜后挡板的槽并排出
人员保护	示踪气体法：位置控制浓度不大于 0.1 $\mu\text{mol/mol}$ 碘化钾法：前窗操作口的保护因子应不小于 $1 \times 10^5$ ，即每个过滤薄膜上灰棕色的斑点数都应小于 62 个。
噪声	实际噪声应不大于 70 dB (A)
照度	$\geq 300 \text{ lx}$

注：以上技术指标不用于合格性判别，仅供参考。

## 6 校准条件

### 6.1 环境条件：

6.1.1 环境温度：(15~30) °C；

6.1.2 相对湿度： $\leq 85\%$ 。

注：上述条件与制造商的产品规定不一致时，以产品规定为准。

## 6.2 测量标准及其他设备

### 6.2.1 热式风速仪

测量范围（0.2~2）m/s 时，最大允许误差为 $\pm 0.015$  m/s 或示值的 $\pm 3\%$ （取较大值）。

### 6.2.2 照度计

测量范围至少为（0~2000）lx，最大允许误差为 $\pm 10\%$ 。

### 6.2.3 声级计

测量范围至少为（40~100）dB，最大允许误差为 $\pm 1$  dB，分辨率不低于 1 dB，有“A”计权模式。

### 6.2.4 通风柜人员保护测试仪

#### 6.2.4.1 示踪气体法

由示踪气体、释放器、探测器和人体模型组成，其中示踪气体应为六氟化硫或具有类似分子量的稳定性气体，浓度不小于 99%；示踪气体通过管道输送至释放器，释放器配有隔断阀和压力表，示踪气体通过一个孔口，通过释放管侧面的孔携带空气，并通过金属丝网出口扩散器扩散，释放速率应为 4 L/min；探测器测量范围为（0.01~20） $\mu\text{mol/mol}$ ，最大允许误差为 $\pm 0.025$   $\mu\text{mol/mol}$  或示值的 $\pm 10\%$ （取较大值）；人体模型应具有肩宽为 430 mm $\pm$ 50 mm 的三维服装展示，其手臂应悬挂在身体一侧，应具有合理的人体比例，人体模型应穿着罩衫、工作服或相对舒适的实验室服装，或使用通风柜的实验室所需的服装。

注：

1 如果标准示踪气体对通风柜内或实验室中的材料有害，或者如果在实验室工作会对示踪气体的检测造成严重干扰，则可以用另一种示踪气体代替。在这种情况下，提供的释放速率应等于标准示踪气体的释放速率，并且探测器功能应提供比被测通风柜的假定控制水平所需的更高的灵敏度。

2 示踪气体的流速由上游压力和孔口的直径决定，在 4 L/min 的流速和约 200 kPa（表压）的标称上游压力下，六氟化硫作为示踪气体的孔口直径为 0.64 mm。

#### 6.2.4.2 碘化钾法

由气溶胶发生器、空气采样器、干扰圆筒、皮氏培养皿及过滤膜等组成。气溶胶发生器：可以产生气溶胶，转速 28000 rpm，最大允许误差为 $\pm 500$  rpm；空气采样器：利用负压采集样品，前部入口的空气流量为 100 L/min；干扰圆筒：直径（60~65）mm，长度应超出通风柜工作面宽度 150 mm；皮氏培养皿：直径 55 mm；过滤膜：直径 25 mm，

孔径 3 μm。

### 6.2.5 烟雾发生装置

包括小烟雾发生器和大烟雾发生器，提供可视烟雾（包括油雾和水雾）。

## 7 校准项目和校准方法

### 7.1 外观检查

以目力、手感检测，通风柜应正确安装，工作环境符合检测条件，结构完整，外形平整规矩，照明系统、风机运转正常，无影响正常工作的缺陷和机械损伤。

产品铭牌需清晰、完整、牢固，正确标示产品型号、出厂编号、生产厂家及标称面风速等。

焊接牢固，表面光洁，不应有烧穿、漏孔、裂缝、焊疤残留物或残渣等。

### 7.2 面风速

通风柜的设计最大开度通常为 500 mm，将通风柜视窗开口的垂直或水平尺寸等分形成网格，每个网格尺寸不超过 300 mm，使用支架将热式风速仪固定在每个网格的中心进行测量，每个网格测量 4 次数据并记录，按公式（1）计算面风速平均值，按公式（2）计算各网格中心点风速平均值与面风速平均值的相对偏差。

$$\bar{v} = \frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 v_{ij} \quad (1)$$

$$B_n = \frac{\frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij} - \bar{v}}{\bar{v}} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

$\bar{v}$ ——面风速的算术平均值，m/s；

$B_n$ ——各网格中心点风速平均值与面风速平均值的偏差，%；

$V_{ij}$ ——每个网格的中心单次测量的风速值，m/s；

$n$ ——网格的数量；

$i$ ——网格风速测量点；

$j$ ——测量次数。

对于变风量式通风柜，除以上测试之外，再将视窗分别关至 50%和 25%的设计开度进行划分网格测试，重复上述试验步骤。

### 7.3 流动显示

观察局部可视化挑战和大体积可视化挑战时的气流模式，通风柜内产生的所有烟雾

应流向通风柜后挡板的槽并排出。

注：

1 由于操作者在进行测试时经常在通风柜前窗，因此应注意确保操作者的身体不会影响烟雾可视化。在理想条件下，烟雾将平稳流动，从释放点流向后挡板的槽。

2 如果烟雾留在工作台面上而没有顺畅地流向后挡板，则气流被描述为“惰性气流”；如果烟雾向前向通风柜前部移动，则气流被描述为“反向流动”；在工作台面的极限边缘几乎总是出现极少量的逆流，被认为是正常的；逆流不适用于在罩开口上方的柜上腔内发生的柜内漩涡的向前运动，也不适用于封闭的水平视窗后面的旋风运动，如图2所示。



图2 烟雾可视化显示的惰性气流（左）和反向气流（右）

### 7.3.1 局部可视化挑战

a) 将视窗调到测试位置。

b) 通过在补风翼下方释放小体积烟雾来测试补风翼的运行情况。为了成功测试，烟雾应顺利排出，并且不会夹带在通风柜顶部的涡流中。

c) 在通风柜侧壁、视窗开口周边和距视窗向内接近 150 mm 处的通风柜前窗释放小体积烟雾，仔细观察角落的流动。

d) 沿工作台面释放烟雾。

e) 在进行使用测试时，在通风柜内设备周围释放烟雾。如果存在热板或其他热源，观察热源对通风柜内气流的影响。在测试过程中，观察到的任何惰性或反向气流都是由设备引起的，应注意并记录在案。

f) 在视窗底部上方的通风柜内部释放烟雾。观察视窗后面的气流，应特别注意通风柜漩涡与视窗底部经过时的气流。

g) 对于水平视窗或组合视窗的通风柜，打开水平窗，沿着视窗内侧靠近视窗打开

的垂直边缘释放烟雾。

h) 在通风柜外释放烟雾。观察进入通风柜的气流，并确认室内气流是否影响通风柜处的气流。

i) 在通风柜开口上方的空腔中释放烟雾。观察通风柜内的漩涡。应特别注意烟雾的间隙、烟雾进入的槽以及漩涡沿着视窗内部朝向开口的任何趋势。在适当的情况下，观察空气进入通风柜视窗和顶部面板之间的影响。

### 7.3.2 大体积可视化挑战

a) 应使用合适的大烟雾发生器释放大体积烟雾。释放位置应与局部可视化挑战相同。由于烟雾量大且烟雾动量大，因此在解释观测结果时需要格外小心。当烟雾从通风柜外释放时尤其如此。通常最好从通风柜前窗的侧面观察大体积烟雾释放。在使用测试期间，通风柜中的设备（例如加热装置和搅拌器）应运行以确让它们是否会导致泄漏。

b) 在补风翼下方释放烟雾。

c) 沿侧壁释放烟雾。

d) 沿工作台面释放烟雾。

e) 如果设备在通风柜内，在通风柜内设备周围释放烟雾。

f) 在视窗底部上方的通风柜内部释放烟雾。

g) 对于水平视窗或组合视窗的通风柜，打开水平窗，沿着视窗内侧靠近视窗打开的垂直边缘释放烟雾。

h) 在通风柜开口上方的空腔中释放烟雾。

i) 在通风柜外释放烟雾。

## 7.4 人员保护

人员保护测试可选择示踪气体法或碘化钾法。

### 7.4.1 示踪气体法

#### 7.4.1.1 静态测试

先将探测器打开进行平衡，将视窗调到测试位置，将释放器和人体模型安装在测试位置。对于带有垂直视窗的典型台式通风柜，需要三个位置：左、中、右（以看向柜内视角）。左侧位置是释放器中心线距通风柜左侧内壁 300 mm，中心位置与内侧壁等距，右侧位置为距右内壁 300 mm。对于每个位置，将释放器的前部放置在距通风柜前窗 150 mm（见图 3 左侧）。当通风柜有一个垂直视窗时，使用视窗的平面作为通风柜的面。当

柜子有组合视窗或水平视窗时，测量的参考点应为水平视窗的中心线。

释放器的前缘不得超过工作台面前部后方 150 mm，定位释放器时，参考点应为释放器铝筒的前缘，释放器的阀盖应将标称距离拉近 25 mm。探头应位于人体模型的呼吸区，人体模型的呼吸区距视窗平面 75 mm（见图 3 左侧）。当通风柜有一个垂直视窗时，使用视窗的平面作为通风柜的面。当通风柜有组合视窗或水平视窗时，测量的参考点应为水平视窗的中心线。

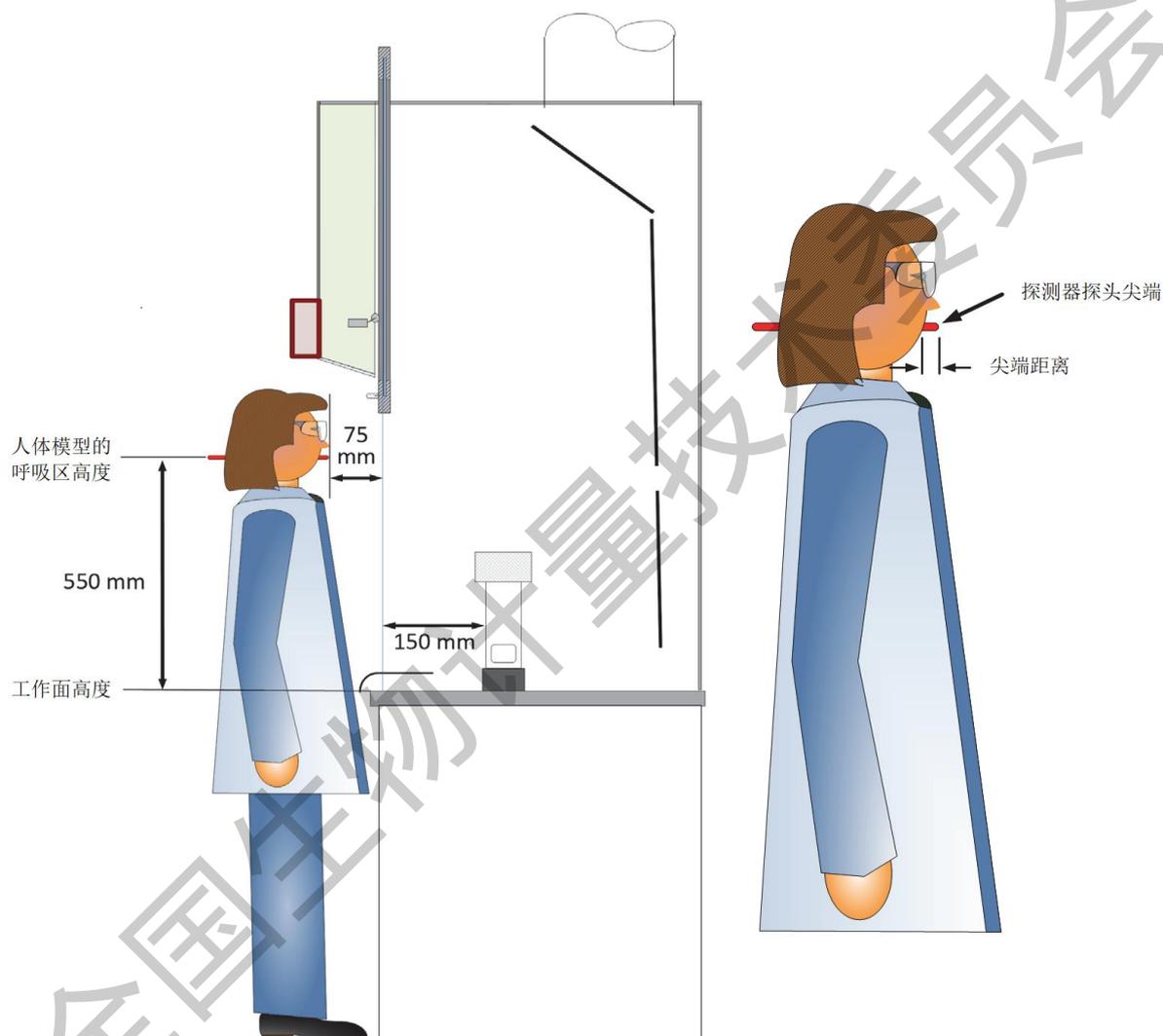


图 3 人体模型和释放器位置及探头插入人体模型

如果释放器不能定位在在视窗中心线后方 150 mm，探头的位置也应调整，探头应位于距释放器圆筒 225 mm 处，探测器探头应固定在工作面上方 550 mm 和视窗前方 75 mm 的位置（见图 3 左侧）。探测器探头应穿透人体模型的头部，从人体模型的嘴唇处离开。探头尖端应延伸超出人体模型的嘴唇 6 mm（见图 3）。应注意确保将

探测器探头连接到人体模型呼吸区的任何方法都不会干扰人体模型或探头周围的流动。

确定每个测试位置的控制水平。打开示踪气隔断阀。延迟 30 s 后，记录 5 min，至少每秒读取一次读数。位置控制水平是 5 min 测试期间示踪气体浓度的平均值。将释放器和人体模型重新定位到另一个测试位置，并对每个测试位置重复测量。通风柜性能额定值应为三个测试位置控制浓度的最大值。

#### 7.4.1.2 周沿扫描

将人体模型从通风柜前移走，通过隔断阀打开释放器，用探头穿过通风柜开口的外围。站在远离通风柜表面的同时，将探头远离通风柜的开口边缘 25 mm，并以不超过 75 mm/s 的速度在每个开口周围缓慢移动。记录高于仪器最低检测水平的所有浓度的位置和价值。测量时应注意站在通风柜的一侧，以尽可能少地影响流量。在补风翼下方用探头进行扫描。

#### 7.4.1.3 视窗移动干扰测试

使用与静态测试测试相同的人体模型和示踪气体释放器配置，将人体模型和释放器放置在通风柜开口的中心。关闭视窗，以 4.0 L/min 的速度开始释放气体，60 s 后，开始每秒记录一次示踪气体浓度。60 s 后，以大约 0.5 m/s 的速度打开视窗至设计开度，注意与视窗打开相对应的时间。60 s 后，以大约 0.5 m/s 的速度关闭视窗。重复打开和关闭视窗三次。关闭视窗 30 s，计算测试的 45 s 滚动平均值，记录视窗每次开口的最大滚动平均值，以最大滚动平均示踪气体浓度作为视窗移动效应的表征。

#### 7.4.2 碘化钾法

按附录 A 进行测试。

### 7.5 照度

在通风柜面上，沿台面两内侧壁中心连线设置照度测量点，测量点之间的距离不超过 300 mm，与侧壁最小距离为 150 mm，关掉通风柜的照明灯，使用照度计从一侧起依次在测量点测量背景照度，每个测量点重复测量 3 次；打开通风柜的照明灯，启动风机，依次在测量点测量照度，每个测量点重复测量 3 次。开灯时的平均照度或平均背景照度根据公式（3）进行计算。

$$\bar{E} = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 E_{ij} \quad (3)$$

式中：

$\bar{E}$ ——开灯时的平均照度（或平均背景照度），lx；

$E_{ij}$ ——开灯（关灯）时每个测量点单次测量的照度（背景照度），lx；

$n$ ——测量点数。

## 7.6 噪声

打开通风柜视窗至设计开度。将声级计设置为“A”计权模式；打开通风柜照明灯及风机，在正常工作状态下，在通风柜前面中心水平向外 300 mm，且距通风柜面 380 mm 高度处测量噪声，重复测量 3 次。关闭通风柜照明灯及风机，在相同位置测量背景噪声，重复测量 3 次。当背景噪声平均值不大于 60 dB 时，根据公式（5）进行计算实际噪声。当背景噪声平均值大于 60 dB 时，实测值参照仪器操作手册提供的曲线或表进行修正，如不满足，应用标准校正曲线或表 3 进行修正，通过公式（6）进行计算。

$$\bar{N}' = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N'_i \quad (4)$$

$$N = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N_i \quad (5)$$

$$N' = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N_i - \Delta N \quad (6)$$

式中：

$\bar{N}'$ ——背景噪声平均值，dB；

$N'_i$ ——背景噪声单次测量值，dB；

$N$ ——实际噪声，dB；

$N'$ ——修正后的实际噪声，dB；

$N_i$ ——总噪声单次测量值，dB；

$\Delta N$ ——从测量总噪声中减去的值（计算方法详见表 3），dB。

表 3 噪声测量值修正表

测量总噪声与背景噪声的差值（dB）	从测量总噪声中减去的值（dB）
0~2	降低背景噪声，重新测试
3	3
4~5	2
6~10	1
>10	0

## 8 校准结果表达

经校准的通风柜性能参数，出具校准证书，校准证书应符合 JJF 1071—2010 中 5.12

的要求，校准记录格式见附录 B，校准报告内容见附录 C，测量不确定度按 JJF 1059.1—2012 的要求评定，测量不确定度评定示例见附录 D。

## 9 复测时间间隔

由于复测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，使用单位可根据实际情况自主决定复测时间间隔，建议不超过1年。

全国生物计量技术委员会

## 附录 A

### 碘化钾法

#### A.1 基本原理

传递指数将给定点的曝露量定义为  $n/(N \times s)$ ，其中  $N$  是释放粒子数， $n$  是以流速  $s$  采样获得的粒子数，采样持续至测试结束。紊流通风的房间，其整个空间可达到完全均匀的混合，传递指数相当于  $1/V$ ，其中  $V$  为含沉降损失的有效流量。传递指数的量纲为： $TL^{-3}$ 。

开放工作台的传递指数与通风柜内部的传递指数的比值为保护因子  $A_{pf}$ ， $A_{pf}$  为无量纲量。对于通风量为  $V$  的参考开放工作台，室内通风量为  $10 \text{ m}^3/\text{min}$ ，那么如果采样速率  $s$  以  $\text{m}^3/\text{min}$  为单位，则  $A_{pf}$  为  $(N \times s)/(10n)$ ，如果采样速率  $s$  以  $\text{L}/\text{min}$  为单位，则  $A_{pf}$  变为  $(N \times s)/(10^4 n)$ 。理想情况下，不应有危害性气溶胶从通风柜逸出，故  $n$  为 0， $A_{pf}$  无穷大。然而，前窗操作口开启的通风柜不会提供完全的保护， $A_{pf}$  最小值取决于测试的灵敏度，即：挑战试验释放粒子数  $N$ 、采样速率  $s$  和采样获得的能可靠地从背景污染中区分出来粒子的最小数量。

一套测试系统的实际经验值为： $N \geq 3 \times 10^8$ ， $s \geq 20 \text{ L}/\text{min}$ ， $n \leq 4$ ，由此确知  $A_{pf}$  的最小值为  $1.5 \times 10^5$ 。

#### A.2 试剂

碘化钾法试验中使用的试剂为：

a) 碘化钾 (KI) 溶液：15 g/L 碘化钾的乙醇溶液或不超过 5%(体积比)水的工业甲基化乙醇溶液；

b) 氯化钯 (PdCl) 溶液：1.0 g/L 氯化钯的 0.1 mol/L 盐酸溶液。

#### A.3 设备

碘化钾法试验中的主要仪器为：

a) 气溶胶发生器：由直径 38 mm，能以  $28000 \text{ r}/\text{min} \pm 500 \text{ r}/\text{min}$  速度旋转的涡流盘和一个将碘化钾溶液喷射到涡流盘上的喷嘴组成，喷嘴末端与涡流盘的间隙调整至 0.1 mm。该装置还包括一只实验支架，必要时用其将气溶胶发生器支撑在工作台面以上。

b) 空气采样器：利用向心力原理工作，前部入口的空气流量为  $100 \text{ L}/\text{min}$ ，一只锥形管夹带 3%的这种空气。

注：

1 可由一只离心式风机提供流经采样器的气流，通过一根固定的导管将风机与空气采样器连接起来。

2 比空气重的微粒，沿直线穿过锥形头的通道沉积在锥形头底部的过滤膜上，而空气则被偏离到锥形头的外部。

c) 干扰圆筒：直径 60 mm~65 mm，表面光滑，至少一端封闭，由支架支撑。

d) 皮氏培养皿：直径 55 mm。

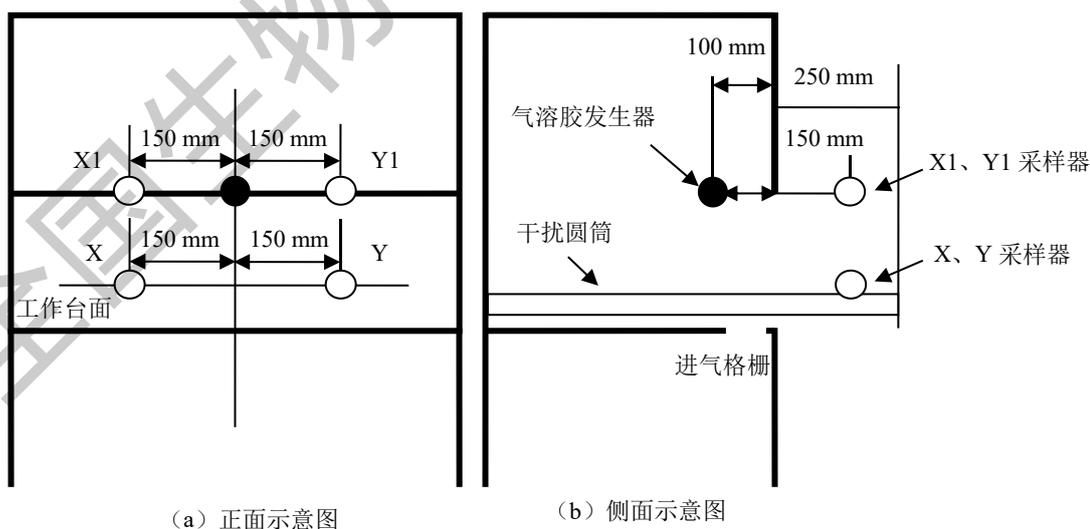
e) 过滤膜：直径 25 mm，孔径 3  $\mu\text{m}$ 。

#### A.4 测试准备

在远离被测试通风柜的地方摆放两只皮氏培养皿。一只培养皿内装入半皿氯化钫溶液，另一只内装入半皿蒸馏水，将盖子盖回到培养皿上。准备两张滤纸，用于干燥过滤膜。

将干扰圆筒放在通风柜工作区域的侧壁之间的中部，一端伸入到通风柜内部，紧贴通风柜后壁，干扰圆筒下沿距通风柜工作台面 65 mm~75 mm。干扰圆筒的另一端伸出通风柜至少 150 mm。

将 4 只空气采样器放到通风柜前方中间部位，使采样器的空气进气口距通风柜前部开口平面 150 mm~160 mm。两只采样器的进气口与干扰圆筒顶部水平，并在前部开口中线两侧各距中线 150 mm；另外两只采样器的进气口与前窗底沿平齐，在前部开口中线两侧各相距中线 150 mm。



图A.1 碘化钾法人员保护测试示意图

对于通风柜，使实验支架上的气溶胶发生器位于通风柜中间，涡流盘中心在干扰圆筒上方正对干扰圆筒的中心，涡流盘的前沿位于前部开口平面之后 100 mm。调节发生

器高度至涡流盘与前部开口顶沿水平。

在每只空气采样器上安装一块过滤膜，依照厂家说明书调节每只采样器的压差至可产生 100 L/min 的吸入气流流量。

#### A.5 试验步骤

a) 启动通风柜，使其运行至正常操作状态。

b) 使空气采样器吸气，启动涡流盘。等待 15 s 后，使碘化钾进入涡流盘中部，允许 20 mL 的碘化钾溶液气溶胶化。气溶胶化结束 15 s 后空气采样器停止吸气。等到抽气泵完全停下来后，移去过滤膜。

c) 将从一只采样器上取下的过滤膜放到盛有氯化钡溶液的皮氏培养皿内，暴露在气流中的面朝上。对移去过滤膜的那只采样器进行标记。

d) 过滤膜将在 30 s~50 s 内被氯化钡饱和，所有碘化钾微粒将变为棕色的可见斑点。将过滤膜放入蒸馏水内浸透 3 s~4 s，然后将过滤膜放在清洁的滤纸上干燥。其他空气采样器上取下来的过滤膜也做相同处理。将盖子盖回培养皿。

注：

1 为防污染，注意确保在将过滤膜移至氯化钡溶液里用过的镊子不能用于装载空气采样器。

2 用于测试的碘化钾溶液易燃、易腐蚀未处理的钢，因此被测试的通风柜应当用湿布擦拭干净，涡流盘设备要格外小心地进行清洁。

e) 用一只 10 倍的放大镜检查每个过滤膜，对过滤膜上的棕色斑点进行计数。

注：如果斑点数量达到 50~100 个，则需要用一只带有栅格的放大镜，在一块圆形区域内对斑点进行计数，并乘以合适的放大倍数。

f) 重复试验 3 次，每次试验结果都应符合要求。

#### A.6 计算 $A_{pf}$ 并表达测试结果

用公式 (A.1) 计算释放的碘化钾粒子数  $N$ ：

$$N=3.1 \times 10^7 \times V \quad (\text{A.1})$$

式中：

$V$ ——气溶胶发生器分散的碘化钾溶液的体积，mL；

$3.1 \times 10^7$ ——由液滴尺寸、采样流量和涡流盘转速导出的一个常数。

用公式 (A.2) 计算由每个过滤膜得到的开口保护因子值  $A_{pf}$ ：

$$A_{pf}=NF/10^4n \quad (\text{A.2})$$

式中：

$F$ ——采样流量，单位为 L/min；

$n$ ——过滤膜上的斑点数。

注：

- 1 在此情况下的条件是： $V=20$  mL， $F=100$  L/min [见公式 (A.3)]。

$$A_{pf}=6.2 \times 10^6/n \quad (\text{A.3})$$

2 利用上面的式子和“注 1”中给出的  $V$  和  $F$  的值，则如果  $A_{pf}$  为  $1.0 \times 10^5$ ，相当于过滤膜上的斑点数为 62。

3 在计算  $A_{pf}$  时，如果过滤膜上有一个斑点，则保护系数  $A_{pf}$  等于  $6.2 \times 10^6$ ；如果过滤膜上没有斑点，则意味着保护系数高于该值，可记为  $A_{pf} > 6.2 \times 10^6$ 。

#### A.7 背景测试

将两只带有过滤膜的空气采样器放到通风柜前面，距前部开口每侧中线 150 mm，距前部开口平面 100 mm。启动采样器抽气泵，在气溶胶发生器不产生碘化钾液滴的情况下运行 10 min。取出过滤膜，按照 A.5 处理和检查。

注：

1 如果在此前 24 h 之内，实验室内未作过测试，则该背景测试结束时，显影过滤膜上应没有棕色斑。

2 如果实验室最近做过  $A_{pf}$  测试（或者气溶胶挑战试验时已有相当多的泄漏），则最好在对通风柜作进一步测试前进行背景测试。10 min 测试后如果发现两块过滤膜中有一块斑点数超过 5，则视为不符合要求，进一步的通风柜测试工作需推迟到背景不再有污染时才能进行。

## 附录 B

## 校准原始记录格式

(推荐性表格)

客户名称:

仪器名称:

型号规格:

出厂编号:

制造厂家:

记录编号:

环境温度: °C

相对湿度: %

校准地点:

校准日期:

## 1.外观检查

符合要求不符合要求

## 2.面风速

测试开度	测量点	测量结果 (m/s)					
		1	2	3	4	平均值	单点偏差
100% (上排)	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
100% (下排)	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
面风速平均值 (m/s)							
50%	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
面风速平均值 (m/s)							
25%	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
面风速平均值 (m/s)							

## 3. 流动显示

将视窗调到测试位置			
□局部可视化挑战：所有烟雾应流向通风柜后挡板的槽并排出		□大体积可视化挑战：所有烟雾应流向通风柜后挡板的槽并排出	
□符合要求      □不符合要求		□符合要求      □不符合要求	

## 4. 人员保护

## 4.1 示踪气体法

静态测试	测试开度	左侧测量结果 ( $\mu\text{mol/mol}$ )		中间测量结果 ( $\mu\text{mol/mol}$ )		右侧测量结果 ( $\mu\text{mol/mol}$ )	
		平均值	最大值	平均值	最大值	平均值	最大值
	100%						
	50%						
	25%						
周沿扫描最大测量值 ( $\mu\text{mol/mol}$ )							
视窗移动干扰测试最大测量值 ( $\mu\text{mol/mol}$ )							

## 4.2 碘化钾法

灰棕色斑点数	X	X1	Y	Y1
第一次				
第二次				
第三次				
背景测试 (灰棕色斑点数)	24 h 之内实验室是否做过 $A_{\text{pf}}$ 测试 □是 □否		$X'$	
			$Y'$	

## 5. 照度

测量点	1	2	3	4	5	6	.....	平均值 (lx)
背景照度 测量值 (lx)								
开灯时照度 测量值 (lx)								

## 6. 噪声

实际噪声 (dB)	背景噪声 (dB)			总噪声 (dB)		

校准员：\_\_\_\_\_

核验员：\_\_\_\_\_

## 附录 C

## 校准证书（内页）格式

（推荐性表格）

序号	校准项目	校准结果		
1	外观检查	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求		
2	面风速	面风速平均值		
		最大单点测量偏差		
		面风速校准结果扩展不确定度		
3	流动显示	<input type="checkbox"/> 局部可视化挑战：所有烟雾应流向通风柜后挡板的槽并排出	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求	
		<input type="checkbox"/> 大体积可视化挑战：所有烟雾应流向通风柜后挡板的槽并排出	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求	
4	人员保护	示踪气体法	静态测试	
			周沿扫描	
			视窗移动干扰测试	
		碘化钾法		
5	照度	开灯时的平均照度 (lx)		
		平均背景照度 (lx)		
		照度校准结果扩展不确定度 ( $k=2$ )		
6	噪声	实际噪声 (dB)		
		噪声校准结果扩展不确定度 ( $k=2$ )		

校准员：\_\_\_\_\_

核验员：\_\_\_\_\_

## 附录 D

## 测量不确定度评定示例

通风柜测量过程中涉及的参数主要有面风速、照度和噪声，这 3 个参数都是使用标准器进行直接测量，且测量结果受温度、湿度、气压等环境因素的影响可以忽略。因此，主要分析测量过程中对测量结果影响较大的不确定度分量来源，对其进行不确定度评定。

## D.1 面风速测量结果不确定度评定

以最大开度面风速校准为例进行以下评定示例。

## D.1.1 测量方法

通风柜的设计最大开度通常为 500 mm，将通风柜视窗开口的垂直或水平尺寸等分形成网格，每个网格尺寸不超过 300 mm，使用支架将热式风速仪固定在每个网格的中心进行测量，每个网格测量 4 次数据并记录，按公式 (D.1) 计算面风速平均值。

## D.1.2 测量模型

$$\bar{v} = \frac{1}{4n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^4 v_{ij} \quad (\text{D.1})$$

式中：

$\bar{v}$ ——面风速的算术平均值，m/s；

$V_{ij}$ ——每个网格的中心单次测量的风速值，m/s；

$n$ ——网格的数量；

$i$ ——网格风速测量点；

$j$ ——测量次数。

## D.1.3 不确定度来源

根据上述测量模型以及测量方法，其不确定度来源主要包括以下 3 个方面：

- a) 测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$ ；
- b) 热式风速仪分辨力引入的标准不确定度  $u_2$ ；
- c) 标准器具引入的标准不确定度  $u_3$ 。

## D.1.4 测量不确定度评定

D.1.4.1 重复性引入的不确定度分量  $u_1$ 

使用热式风速仪在通风柜的 10 个测量点进行测量，每个测量点连续测量 10 次，对重复测量结果进行分析，测量结果见表 D.1。

表 D.1 面风速测定结果

测试开度	测量点	测量结果 (m/s)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
100% (上排)	1	0.46	0.44	0.45	0.46	0.45	0.46	0.44	0.45	0.46	0.45
	2	0.44	0.45	0.46	0.45	0.46	0.44	0.45	0.46	0.45	0.46
	3	0.45	0.46	0.45	0.46	0.44	0.45	0.46	0.45	0.46	0.44
	4	0.46	0.45	0.46	0.44	0.45	0.46	0.45	0.46	0.44	0.45
	5	0.45	0.46	0.44	0.45	0.46	0.45	0.46	0.44	0.45	0.46
100% (下排)	1	0.54	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56	0.55
	2	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54
	3	0.54	0.56	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54	0.55
	4	0.56	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54	0.55	0.54
	5	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56	0.55	0.54	0.55	0.54	0.56

合并样本标准偏差  $s_p$  按公式 (D.2) 计算:

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (V_{kj} - \bar{V}_j)^2}{m(n-1)}} \quad (\text{D.2})$$

式中:

$m$ ——测量点的数量;

$n$ ——每个测量点包含的测量次数;

$V_{kj}$ ——第  $j$  个测量点第  $k$  次的测量值, m/s;

$\bar{V}_j$ ——第  $j$  个测量点测量值的算术平均值, m/s。

通过公式 (D.2) 计算出合并样本标准偏差如下:

$$s_p = 0.008 \text{ m/s}$$

由于每个测量点实际测 4 次 ( $n=4$ ), 因此重复测量引入的不确定度分量  $u_1$  为:

$$u_1 = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \frac{0.008}{\sqrt{4}} \text{ m/s} = 0.004 \text{ m/s}$$

#### D.1.4.2 热式风速仪分辨力引入的不确定度 $u_2$

热式风速仪的分辨力为 0.01 m/s, 分散区间半宽为 0.005 m/s, 按均匀分布计算, 则

$$u_2 = \frac{0.005}{\sqrt{3}} \text{ m/s} = 0.003 \text{ m/s}$$

#### D.1.4.3 标准器具引入的不确定度 $u_3$

热式风速仪的最大允许误差  $\pm 0.015$  m/s, 按均匀分布计算, 则

$$u_3 = \frac{0.015}{\sqrt{3}} \text{ m/s} = 0.009 \text{ m/s}$$

### D.1.5 标准不确定度分量一览表

标准不确定度一览表见表 D.2。

表 D.2 面风速测定结果标准不确定度一览表

不确定度来源	$u$	标准不确定度分量
测量重复性	$u_1$	0.004 m/s
分辨力	$u_2$	0.003 m/s
标准器具	$u_3$	0.009 m/s

### D.1.6 合成标准不确定度 $u_c$

由于各不确定度间不相关，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.0103 \text{ m/s}$$

### D.1.7 扩展不确定度 $U$

取  $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 0.03 \text{ m/s}$$

## D.2 照度测量结果不确定度评定

### D.2.1 测量方法

在通风柜面上，沿台面两内侧壁中心连线设置照度测量点，测量点之间的距离不超过 300 mm，与侧壁最小距离为 150 mm，关掉通风柜的照明灯，使用照度计从一侧起依次在测量点测量背景照度，每个测量点重复测量 3 次；打开通风柜的照明灯，启动风机，依次在测量点测量照度，每个测量点重复测量 3 次。开灯时的平均照度或平均背景照度根据公式 (D.3) 进行计算。

### D.2.2 测量模型

$$\bar{E} = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 E_{ij} \quad (\text{D.3})$$

式中：

$\bar{E}$ ——开灯时的平均照度（或平均背景照度），lx；

$E_{ij}$ ——开灯（关灯）时每个测量点单次测量的照度（背景照度），lx；

$n$ ——测量点数。

### D.2.3 不确定度来源

根据上述测量模型以及测量方法，其不确定度来源主要包括以下 3 个方面：

- a) 测量重复性引入的标准不确定度 $u_1$ ;
- b) 照度计分辨力引入的标准不确定度 $u_2$ ;
- c) 标准器具引入的标准不确定度 $u_3$ ;

## D.2.4 测量不确定度评定

### D.2.4.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1$

通风柜开灯时使用照度计在的 5 个测量点进行测量，每个测量点连续测量 10 次，对重复测量结果进行分析，测量结果见表 D.3。

表 D.3 照度测量结果

测量点	不同测量点开灯时的照度测量结果/lx									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	555	538	558	560	549	554	542	563	548	552
2	566	558	557	559	565	564	563	560	561	562
3	568	572	573	565	567	574	571	570	566	570
4	549	537	544	543	540	539	547	542	546	545
5	530	519	518	527	526	524	523	522	522	520

合并样本标准偏差 $s_p$ 按公式 (D.4) 计算:

$$s_p = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n (E_{kj} - \bar{E}_j)^2}{m(n-1)}} \quad (\text{D.4})$$

式中:

$m$ ——测量点的数量;

$n$ ——每个测量点包含的测量次数;

$E_{kj}$ ——第  $j$  个测量点第  $k$  次的测量值, lx;

$\bar{E}_j$ ——第  $j$  个测量点测量值的算术平均值, lx。

通过公式 (D.4) 计算出合并样本标准偏差如下:

$$s_p = 4.65 \text{ lx}$$

由于每个测量点实际测 3 次 ( $n=3$ ), 因此重复测量引入的不确定度分量 $u_1$ 为:

$$u_1 = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \frac{4.65}{\sqrt{3}} \text{ lx} = 2.69 \text{ lx}$$

### D.2.4.2 照度计分辨力引入的不确定度 $u_2$

照度计的分辨力为 1 lx, 分散区间半宽为 0.5 lx, 按均匀分布计算, 则

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{lx} = 0.29 \text{lx}$$

#### D.2.4.3 标准器具引入的不确定度 $u_3$

照度计的最大允许误差 $\pm 10\%$ ，全部测量结果的平均值为 549.9 lx，按均匀分布计算，则

$$u_3 = \frac{549.9 \times 10\%}{\sqrt{3}} \text{lx} = 31.7 \text{lx}$$

#### D.2.5 标准不确定度分量一览表

标准不确定度一览表见表 D.4。

表 D.4 照度测量结果标准不确定度一览表

不确定度来源	$u$	标准不确定度分量
测量重复性	$u_1$	2.69 lx
分辨力	$u_2$	0.29 lx
标准器具	$u_3$	31.7 lx

#### D.2.6 合成标准不确定度 $u_c$

由于各不确定度间不相关，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 31.8 \text{lx}$$

#### D.2.7 扩展不确定度 $U$

取  $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 64 \text{lx}$$

### D.3 噪声测量结果不确定度评定

#### D.3.1 测量方法

打开通风柜视窗至设计开度。将声级计设置为“A”计权模式；打开通风柜照明灯及风机，在正常工作状态下，在通风柜前面中心水平向外 300 mm，且距通风柜面 380 mm 高度处测量噪声，重复测量 3 次。关闭通风柜照明灯及风机，在相同位置测量背景噪声，重复测量 3 次。当背景噪声平均值不大于 55 dB 时，根据公式 (D.6) 进行计算实际噪声。当背景噪声平均值大于 55 dB 时，实测值参照仪器操作手册提供的曲线或表进行修正，如不满足，应用标准校正曲线或表 D.5 进行修正，通过公式 (D.7) 进行计算。

#### D.3.2 测量模型

$$\overline{N'} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N'_i \quad (\text{D.5})$$

$$N = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N_i \quad (\text{D.6})$$

$$N = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N_i - \Delta N \quad (\text{D.7})$$

式中:

$\overline{N}$ ——背景噪声平均值, dB;

$N'_i$ ——背景噪声单次测量值, dB;

$N$ ——实际噪声, dB;

$N_i$ ——总噪声单次测量值, dB;

$\Delta N$ ——从测量总噪声中减去的值(计算方法详见表 D.5), dB。

表 D.5 噪声测量值修正表

测量总噪声与背景噪声的差值/dB	从测量总噪声中减去的值/dB
0~2	降低背景噪声, 重新测试
3	3
4~5	2
6~10	1
>10	0

### D.3.3 不确定度来源

根据上述测量模型以及测量方法, 其不确定度来源主要包括以下 3 个方面:

- a) 测量重复性引入的标准不确定度  $u_1$ ;
- b) 声级计分辨力引入的标准不确定度  $u_2$ ;
- c) 标准器具引入的标准不确定度  $u_3$ 。

### D.3.4 测量不确定度评定

#### D.3.4.1 测量重复性引入的不确定度分量 $u_1$

使用声级计在通风柜前面中心水平向外 300 mm, 且距通风柜面 380 mm 高度处测量噪声, 连续测量 10 次, 对重复测量结果进行分析(背景噪声小于 55 dB, 实际噪声忽略背景噪声的影响), 测量结果见表 D.6。

表 D.6 噪声测定结果

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果/dB	61.1	62.2	63.0	62.9	63.1	61.7	63.2	62.5	61.9	61.6

实验标准偏差  $s$  按公式 (D.8) 计算:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \overline{N})^2}{n-1}} \quad (\text{D.8})$$

式中:

$n$ ——测量次数；

$N_i$ ——第  $i$  次的测量值，dB；

$\bar{N}$ ——测量的算术平均值，dB。

通过公式 (D.10) 计算出实验标准偏差如下：

$$s = 0.730 \text{ dB}$$

由于每个测量点实际测 3 次 ( $n=3$ )，因此重复测量引入的不确定度分量  $u_1$  为：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.730}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.421 \text{ dB}$$

#### D.3.4.2 声级计分辨力引入的不确定度 $u_2$

声级计的分辨力为 0.1 dB，分散区间半宽为 0.05 dB，按均匀分布计算，则

$$u_2 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.029 \text{ dB}$$

#### D.3.4.3 标准器具引入的不确定度 $u_3$

声级计的最大允许误差为  $\pm 1$  dB，按均匀分布计算，则

$$u_3 = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.577 \text{ dB}$$

#### D.3.5 标准不确定度分量一览表

标准不确定度一览表见表 D.7。

表 D.7 噪声测定结果标准不确定度一览表

不确定度来源	$u$	标准不确定度分量
测量重复性	$u_1$	0.421 dB
分辨力	$u_2$	0.029 dB
标准器具	$u_3$	0.577 dB

#### D.3.6 合成标准不确定度 $u_c$

由于各不确定度间不相关，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.715 \text{ dB}$$

#### D.3.7 扩展不确定度 $U$

取  $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 1.5 \text{ dB}$$

## 附录 E

### 参考文献

[1] ANSI/ASHRAE Standard 110-2016 通风柜性能测试标准 (Methods of Testing Performance of Laboratory Fume Hoods)

[2] ANSI/ASSP Z9.5-2022 实验室通风 (Laboratory Ventilation)

[3] EN 14175-3:2019 通风柜 第 3 部分: 型式试验方法 (Fume cupboards - Part 3: Type test methods)

---

全国生物计量技术委员会