



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx—202x

独立通风笼具性能参数校准规范

Calibration Specification of Performance Parameters of Individually Ventilated
Cages

(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

独立通风笼具性能参数校准规范

JJF xxxx—202x

Calibration Specification of Performance

Parameters of Individually Ventilated Cages

归口单位：全国生物计量技术委员会

主要起草单位：江苏省计量科学研究院

苏州市计量测试院

中国计量科学研究院

参加起草单位：上海市质量监督检验技术研究院

南京大学国家遗传工程小鼠资源库

本规范委托全国生物计量技术委员会负责解释

本规范起草人：

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 独立通风笼具	1
3.2 换气率	1
3.3 垫料	2
3.4 笼罩	2
3.5 压差	2
3.6 饮水瓶	2
3.7 笼架	2
3.8 实验室测试笼盒	2
3.9 高效空气过滤器	2
3.10 超高效空气过滤器	2
4 概述	2
5 计量特性	3
6 校准条件	4
6.1 环境条件	4
6.2 测量标准及其他设备	4
7 校准项目和校准方法	5
7.1 外观检查	5
7.2 气流流速	5
7.3 换气率	7
7.4 压差	8
7.5 气密性	9
7.6 高效/超高效过滤器检漏	9
7.7 洁净度	10
7.8 照度	11
7.9 噪声	11
7.10 沉降菌	12
8 校准结果表达	12
9 复测时间间隔	13
附录 A 校准原始记录格式	14
附录 B 校准证书（内页）格式	16
附录 C 测量结果不确定度评定示例	17
附录 D 参考文献	28

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》、JJF 1973-2022《移动生物检测实验舱性能参数校准规范》、GB 14925-2023《实验动物环境及设施》、GB 50346-2011《生物安全实验室建筑技术规范》、GB 50447-2008《实验动物设施建筑技术规范》、RB/T 199-2015《实验室设备生物安全性能评价技术规范》、DB 23/T 2057.1-2017《实验动物 生物安全型小鼠、大鼠独立通风笼具通用技术要求》和DB 32/T972-2006《实验动物笼器具独立通气笼盒（IVC）系统》。

本规范为首次发布。

全国生物计量技术规范

独立通风笼具性能参数校准规范

1 范围

本规范适用于独立通风笼具性能参数的校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JF 1815-2020 II级生物安全柜校准规范

JF 1973-2022 移动生物检测实验舱性能参数校准规范

GB 14925-2023 实验动物环境及设施

GB 50346-2011 生物安全实验室建筑技术规范

GB 50447-2008 实验动物设施建筑技术规范

RB/T 199-2015 实验室设备生物安全性能评价技术规范

DB 23/T 2057.1-2017 实验动物 生物安全型小鼠、大鼠独立通风笼具通用技术要求

DB 32/T 972-2006 实验动物笼器具独立通气笼盒（IVC）系统

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

JF 1815-2020、JF 1973-2022、GB 14925-2023、GB 50346-2011、GB 50447-2008、RB/T 199-2015、DB 23/T 2057.1-2017 和 DB 32/T 972-2006 中界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 独立通风笼具 individually ventilated cage（IVC）

一种以饲养盒为单位的独立通风的屏障设备，洁净空气分别送入各独立笼盒使饲养环境保持一定压力和洁净度，用以避免环境污染动物（正压）或动物污染环境（负压）。

[来源：RB/T 199-2015，3.3]

3.2 换气率 air exchange rate

用每小时换气次数（Air Changes per Hour，ACH）表示，表示空气（例如笼具里的空气）的交换频率，单位为 h^{-1} 。

注：除非另有说明，通常情况下 ACH 指的是空气均匀通过整个笼具时的换气率；局部 ACH 是一种特殊情况，指的是笼具内特定位置的 ACH；当笼具内气流均匀流动时，这两种 ACH 值不会有太大差异。

3.3 垫料 bedding

铺在笼盒底板上（约2厘米深）的材料（主要是木屑），用来避免动物与塑料笼底直接接触。

3.4 笼罩 cage hood

用于密封笼具的罩子。没有笼罩就无法为笼盒提供防护，就会成为开放式笼具。

3.5 压差 differential pressure

在本规范中，指的是笼具内部与动物房间压力的差值。通常用帕斯卡（Pa）表示。

3.6 饮水瓶 drinking bottle

通常由塑料制成，用于向笼具里饲养的动物提供饮用水，容量为200至1000毫升。

3.7 笼架 cage-rack

用于堆叠IVC笼盒（成行和成列）的不锈钢支架，通常位于滑轨上。笼架是连接IVC保持架和通风系统的纽带。

3.8 实验室测试笼盒 laboratory test cage

一种在侧板上有钻孔的笼盒，可在钻孔处插入传感器，以测量笼盒内不同位置的气流流速或换气率。

3.9 高效空气过滤器 high efficiency particulate air (HEPA) filter

用于空气过滤且使用GB/T 6165规定的计数法进行试验，最大额定风量下未经消静电处理时的过滤效率及经消静电处理后的过滤效率均不低于99.95%的过滤器。

[来源：GB/T 13554-2020, 3.1.1]

3.10 超高效空气过滤器 ultra-low-penetrating air (ULPA) filter

用于空气过滤且使用GB/T 6165规定的计数法进行试验，最大额定风量下未经消静电处理时的过滤效率及经消静电处理后的过滤效率均不低于99.999%的过滤器。

[来源：GB/T 13554-2020, 3.1.2]

4 概述

独立通风笼具（以下简称IVC）是一种以饲养盒为单位的实验动物饲养设备，空气经高效过滤器处理后分别送入各独立笼盒，使饲养环境保持一定的压力和洁净度，避免环境污染动物或动物污染环境，其中IVC的笼盒均可独立送、排风，可防止交叉污染，众多笼盒由笼架支撑。IVC有正压和负压两种运行模式，负压指笼具内的气压低于周围环境的气压，即空气从室外进入笼具，因此没有空气从笼具内逸出进入室内，这样的目

的是保护使用者和环境，例如防止感染动物的病菌（排放保护）；正压模式则相反，笼具内的气压相对较高，空气会从笼具内排到外部，这种模式的目的是保护笼具内的动物（侵入保护）。

IVC通常主要由饲养笼盒、笼架、风量压差控制系统、温湿度和风量及静压差等监控系统以及风机系统组成，一种IVC结构模式图如图1所示。

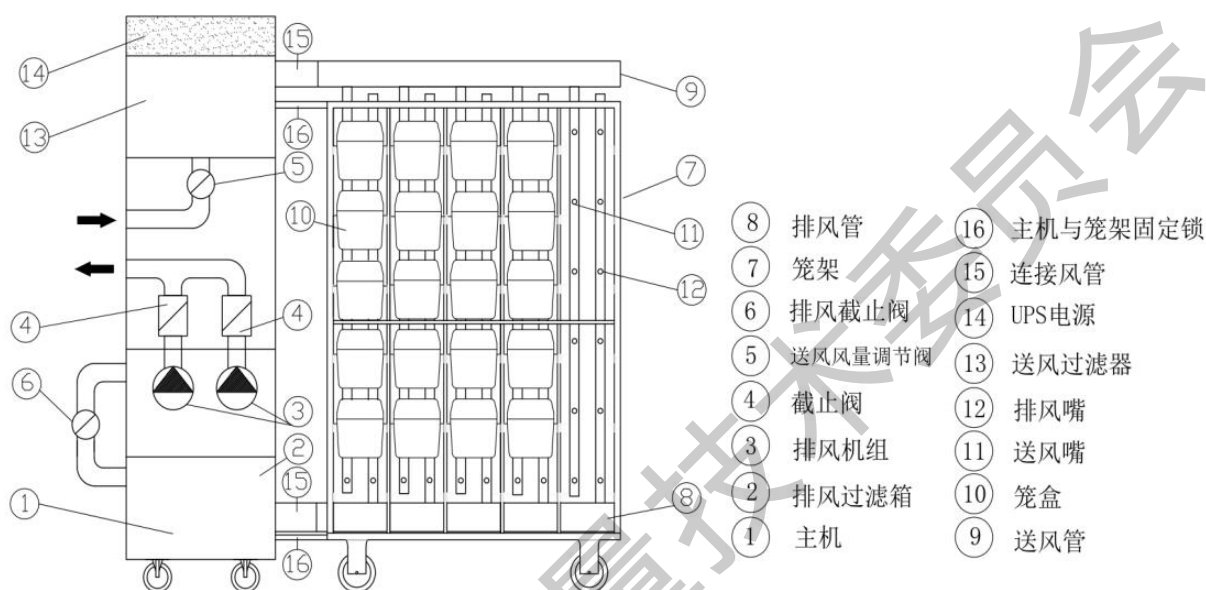


图1 一种IVC结构模式图

5 计量特性

IVC 性能参数的各项计量特性指标见表 1。

表 1 IVC 性能参数的主要计量特性指标

计量特性	计量特性指标
气流流速	IVC 笼盒内气流速度不超过 0.2 m/s。
换气率	不少于 10 h ⁻¹ 。
压差	静态压差：高效/超高效过滤器正常工作时，IVC 内外相对压强应不低 5 Pa。
	压差显示误差（如适用）：高效/超高效过滤器正常工作时，应不超过±2 Pa。
气密性	笼盒内压力由-100 Pa 升至 0 Pa 的时间不少于 5 min。
高效/超高效过滤器检漏	光度法：过滤器下游透过率应不超过 0.01%。
	计数法：过滤器下游漏点值应不超过 0.01%透过率对应的漏点值。
洁净度	静态时洁净度应达到 ISO 7 级。
照度	平均照度应不低于 200 lx。
噪声	IVC 内各笼盒噪声应不大于 60 dB（A 计权）。
沉降菌（如适用）	平均菌落数应不超过 3 CFU/30 min。
注：	

1 高效空气过滤器简称高效过滤器，超高效空气过滤器简称超高效过滤器，IVC 的高效过滤器的过滤效率不低于 99.99%，相当于过滤器下游透过率不超过 0.01%。

2 以上技术指标不用于合格判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件：

6.1.1 环境温度：（15~30）℃；

6.1.2 相对湿度：≤85%。

注：若制造商为设备规定了较宽的工作温湿度范围，则应在制造商规定的温湿度范围内试验。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 钢卷尺

测量范围至少为（0~3000）mm，分度值为 1 mm，Ⅱ级。

6.2.2 热式风速仪

测量范围（0~30）m/s 时，最大允许误差为±0.015 m/s 或示值的±3%（取较大值）。

6.2.3 风量计

由带有传感元件的捕获罩组成，用于测量气体的流量。测量范围为（30~3000）m³/h，最大允许误差为±（3%×读数+12 m³/h）。

6.2.4 压力计

测量范围（-100~100）Pa，最大允许误差为±2%。

6.2.5 尘埃粒子计数器

测量范围至少为（0.3~5）μm，计数最大允许误差为±30%FS。

6.2.6 照度计

测量范围至少为（0~2000）lx，最大允许误差为±10%。

6.2.7 声级计

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

6.2.8 高效过滤器检漏仪

6.2.8.1 光度法

由气溶胶发生器和光度计组成。气溶胶发生器，压力调至最小 140 kPa，使用聚α-烯烃（PAO）、邻苯二甲酸二辛酯（DOP）或与之相当的液体发生气溶胶；发生器喷嘴浸入液体的深度应不超过 25 mm；气溶胶发生器的压力计量程为（0~550）kPa，分辨力

7 kPa，最大允许误差为 ± 7 kPa。光度计为线性或对数刻度，可以将过滤器上游气流中浓度不低于 $10 \mu\text{g/L}$ DOP（或相当液体）多分散气溶胶微粒标示为 100%，能检测 0.001% 同一气溶胶微粒。

6.2.8.2 计数法

由气溶胶发生器、颗粒稀释器及计数检漏仪（配有手持式扫描采样探头）三部分组成。气溶胶发生器产生冷态、多分散的气溶胶，如癸二酸二辛脂（DEHS），气溶胶粒径在 $(0.3\sim 0.5) \mu\text{m}$ 范围内的集中度 $\geq 70\%$ ，气溶胶喷雾浓度为 $2 \times 10^9 \text{ L}^{-1}$ 。颗粒稀释器稀释倍率 ≥ 70 。计数检漏仪采样量 28.3 L/min ，检漏粒径通道包括 $0.3 \mu\text{m}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$ 、 $1 \mu\text{m}$ 、 $3 \mu\text{m}$ 、 $5 \mu\text{m}$ 、 $10 \mu\text{m}$ ，检漏粒径 $\geq 0.3 \mu\text{m}$ ，扫描速度应不超过 8 cm/s ，探头与过滤器出风面间距 $(2\sim 3) \text{ cm}$ 。

6.2.9 烟雾发生装置

包括烟雾发生器及烟雾剂，提供可视烟雾（包括水雾和油雾）。

6.2.10 电子秒表

测量范围 $(0\sim 3600) \text{ s}$ ，最大允许误差为 $\pm 0.5 \text{ s/d}$ 。

6.2.11 $\Phi 90$ 培养皿

含营养琼脂培养基、胰蛋白胨大豆琼脂培养基（TSA）或其他适合普通微生物生长的无抑制剂和添加剂的培养基。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

以目力、手感检测，IVC 应正确安装，工作环境符合校准条件，结构完整，外形平整规矩，耐磨损、耐腐蚀、易清洁，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，应配有应急电源，缓冲间的门应能互锁。

产品铭牌需清晰、完整、牢固，正确标示产品型号、出厂编号、生产厂家及高效过滤器标称过滤效率等。

IVC 应焊接牢固，表面光洁，不应有烧穿、漏孔、裂缝、焊疤残留物或残渣等。

7.2 气流流速

为了测量笼盒内的空气状态，应使用特殊的实验室测试笼盒，这种笼盒本质上是一种标准笼盒。通过在笼盒侧板上钻孔安装测量传感器，可以读取测试笼盒内不同位置的信号值，每个测量层的 5 个点的位置如图 2（俯视图）所示。

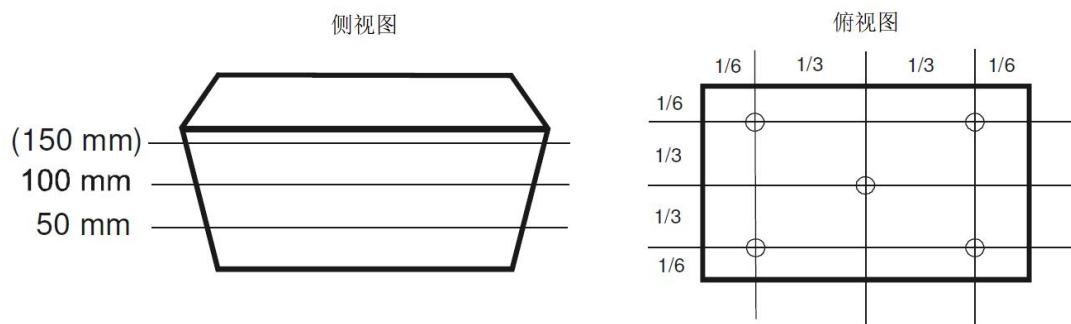


图2 实验室测试笼盒的侧视图和俯视图

注：

1 在笼盒的侧板上钻三个孔（在一个水平面上），以便测量传感器水平穿过这些孔，在交叉点接收测量信号（见图2俯视图）。

2 为使测试结果真实，钻孔时必须确保测量传感器和钻孔之间没有空气流通。在一个孔位进行测量时，其他所有孔必须密封。

3 被饲料斗或饮水瓶支架遮盖的测量点无效，测量时这种情况必须记录。

4 笼座高度超过 180mm 时，须在第三层（150 mm）进行测量；笼座高度较低时，在两层（50 mm 和 100 mm）进行测量即可。

5 测量时应将饮水瓶安装在支架上，否则须在测量时记录。

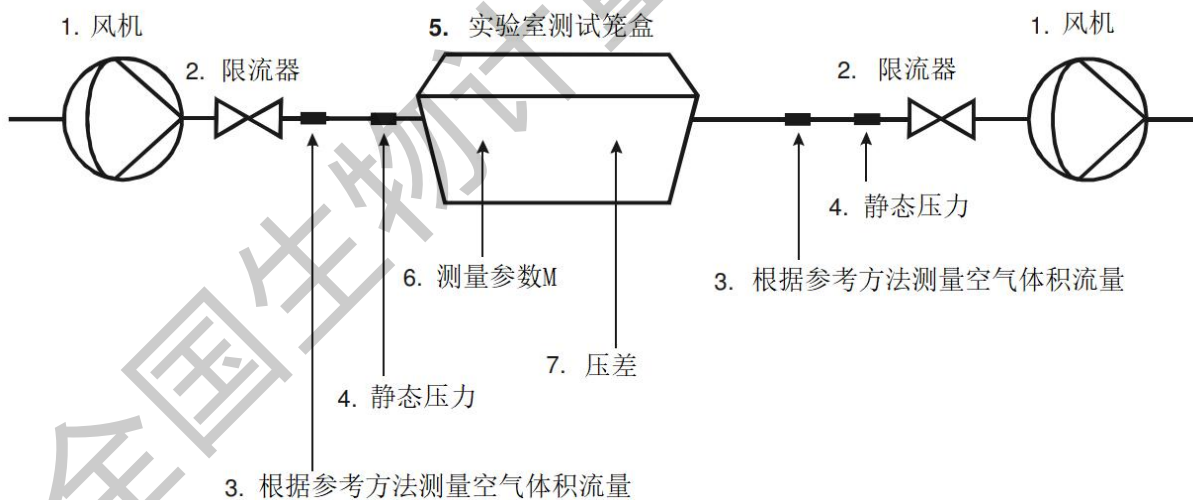


图3 实验室测试笼盒安装示意图

使用带孔的实验室测试笼盒进行气流流速测试，实验室测试笼盒按图3所示安装，依次把实验室测试笼盒放到选定的位置，将风速仪探头插入测试孔中，测试孔边缘应密封处理，分别测试盒内5个点的气流流速，待数据稳定后读取记录气流流速，每个点测量3次，记录所有测量点的测量值并按公式（1）计算测量平均值。

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

式中:

\bar{v} ——气流流速的算术平均值, m/s;

v_{ij} ——每个测量点单次测量的风速值, m/s;

n ——测量点的数量, $n=3$;

i ——气流流速测量点;

j ——测量次数。

7.3 换气率

在终端过滤器的下风口或送风管中测量送风量和风速。测定风口风量、风速时,风口上的任何配件、饰物应保持原样。

7.3.1 风速仪法

将 IVC 的过滤器进风截面均匀分成边长不超过 200 mm 的正方形或矩形,使用热式风速仪在距离高效/超高效过滤器表面 1 cm~2cm 处测量每个正方形或矩形中心处的送风风速;用钢卷尺测量 IVC 内的长度、宽度和高度以及每个进风口的长度和宽度,换气率按公式(2)计算。

$$m = \frac{C}{nn'Nlwh} \sum_{i=1}^n V_i \sum_{j=1}^{n'} l'_j w'_j \quad (2)$$

式中:

m ——换气率, h^{-1} ;

C ——时间换算系数, 3600 s/h;

V_i ——每个正方形或矩形中心处单次测量的送风风速, m/s;

l ——IVC 笼盒的长度, m;

w ——IVC 笼盒的宽度, m;

h ——IVC 笼盒的高度, m;

l'_j ——单个进风口的长度, m;

w'_j ——单个进风口的宽度, m;

n ——正方形或矩形的个数;

n' ——进风口的个数;

i ——不同的正方形或矩形中心处;

N ——IVC 笼盒的数量；

j ——不同的进风口。

7.3.2 风量计法

为了减少送风口局部气流扰动和气流喷射的影响，可以采用风量计直接测量进风散流器的总送风量计算换气率。风量计的上开口应完全罩住出风口，为避免旁通漏风造成的测量数据不准，风量罩上沿应密封紧靠过滤器或散流器的边缘，待读数稳定后记录风量值，换气率按公式（3）计算。

$$m = \frac{Q}{Nlwh} \quad (3)$$

式中：

m ——换气率， h^{-1} ；

Q ——送风量， m^3/h ；

l ——IVC 笼盒的长度， m ；

w ——IVC 笼盒的宽度， m ；

h ——IVC 笼盒的高度， m ；

N ——IVC 笼盒的数量。

7.4 压差

7.4.1 静态压差

将压力计上的一端放置于实验室测试笼盒内，压力计的一端与大气压连通，紧闭实验室测试笼盒的其他孔，开启 IVC 净化装置，待运转稳定后读取压力计的读数，重复测量 3 次，以压差算术平均值作为 IVC 笼盒相对大气的平均压差，平均压差根据公式（4）进行计算。

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (4)$$

式中：

\bar{P} ——平均压差， Pa ；

P_i ——压差的单次测量值， Pa ；

n ——测量次数。

注：笼盒和房间的压差一般通过饮水瓶的开口进行测量；通常用一个瓶底有开口和软管接头的标准饮水瓶，软管与压力计连接，也可以使用模拟饮水瓶的装置进行替代。

7.4.2 压差显示误差

开启 IVC 内高效/超高效过滤器，达到额定工作状态下，记录 IVC 内负压显示单元的压差值，同时使用压力计测量并记录 IVC 和外部环境压差，压差显示误差按公式（5）计算。

$$\Delta P = P - P_s \quad (5)$$

式中：

ΔP ——压差显示误差，Pa；

P ——IVC 内显示单元的压差值，Pa；

P_s ——压力计测量的 IVC 笼盒和外部环境压差，Pa。

7.5 气密性

关闭 IVC 的主进气孔（送风高效空气过滤器前）、主排气孔（排风高效空气过滤器后）和有关通路，采用压力衰减法，将测试笼盒安装好，数字压力计一端连通笼盒专用测试口，另一端接通大气，开启配套用抽气装置，当压力计显示差压在-105Pa 左右时停止抽气，当笼盒压力上升到-100Pa 时启动电子秒表开始计时，笼盒压力到 0 时停止计时，记录笼盒内压力由-100 Pa 升至 0 Pa 的总时间。

7.6 高效/超高效过滤器检漏

运行净化装置，卸除过滤器的散流装置或保护盖（如果有）。

7.6.1 光度法

调整上游气溶胶浓度至 10 $\mu\text{g/L}$ ~20 $\mu\text{g/L}$ ，对含有气溶胶的高效过滤器上游气流进行测试，上游浓度稳定后使用气溶胶光度计测量上游浓度并记录，并将其设定为光度计上游浓度 100%，将光度计切换至下游排风口采样，如果下游排风口可扫描，使用扫描探头在距受试过滤器 1 cm~5 cm 处进行扫描检漏，扫描过程中，正方形扫描探头的扫描速度应不大于 5 cm/s，矩形扫描探头的面积扫描速度应不大于 15.5 cm/s；扫描路线应略微重叠，扫描范围应包含整个过滤器外围，沿组合过滤片和框架的连接处以及围绕过滤器和其他部件之间的密封处仔细扫描检漏，记录最大透过率作为测试结果。若下游排风口不可扫描，把光度计探头放在距离出风口不超过 2 cm 的位置，待数据稳定后读取透过率。

7.6.2 计数法

使用计数检漏仪测量过滤器上游含尘浓度并记录，上游浓度应不小于 40000 /L，环

境含尘浓度达不到时应使用气溶胶发生器产生所需的气溶胶浓度或根据需要选择使用稀释器，若下游出风口可扫描，计数检漏仪采样探头开口面积应为 $8\text{ cm}^2\sim 10\text{ cm}^2$ ，形状宜为正方形，当采用矩形探头时，边长之比应不超过 15:1，探头开口方向应平行于气流方向，探头距离过滤器出风表面距离应为 $1\text{ cm}\sim 5\text{ cm}$ ，扫描探头应以垂直于气流的方向匀速运动，探头移动速度应不超过 8 cm/s ，记录下游测得的最大漏点值作为测试结果。若下游出风口不可扫描，把检漏仪探头放在出距离出风口不超过 2 cm 的位置，待数据稳定后读取漏点值。

若上游试验气溶胶浓度足够大，使得判定“疑似漏点”的期望读数 (N_p) 不小于 20 L^{-1} 时，扫描过程中任何导致计数检漏仪产生不小于 N_p 的区域将被判定为漏点。当 N_p 小于 20 L^{-1} 时，扫描过程中任何导致计数检漏仪产生不小于 N_p 的区域将被标记为“疑似漏点”，应将扫描探头固定放置于疑似漏点处一定时间（如不少于 20 s ）进行定点检漏试验。定点检漏过程漏点判定的计数检漏仪期望读数以及实际观测上限值应分别按公式（6）和公式（7）确定。

$$N_e = C_u \times P_L \times Q_S \times T_S \quad (6)$$

$$N_d = N_e - 2\sqrt{N_e} \quad (7)$$

式中：

N_e ——漏点判定的计数检漏仪期望读数，无量纲；

N_d ——计数检漏仪实际观测上限读数，无量纲；

C_u ——上游气溶胶浓度， L^{-1} ；

P_L ——局部透过率允许限值，0.05%；

Q_S ——计数检漏仪标准采样流量， 0.472 L/s （ 28.3 L/min ）；

T_S ——定点检漏的时间，s。

7.7 洁净度

开启 IVC 运行 30 min 后，采用尘埃粒子计数器测定 $0.3\text{ }\mu\text{m}\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ 的微粒计数浓度。尘埃粒子计数器自净后，依次把实验室测试笼盒放到选定的位置，将采样管接入实验室测试笼盒的检测孔或饮水瓶孔，重复采样 3 次，每次采样量应不小于 5.66 L 。根据公式（8）计量每个采样点粒子浓度平均值作为洁净度测试结果，粒子浓度的 ISO 空气清洁度等级见表 2 所示。

$$\bar{M}_i = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 M_i \quad (8)$$

式中：

\bar{M}_i ——采样点 i 处的平均粒子浓度， m^{-3} ；

M_i ——采样点单次采样的粒子浓度， m^{-3} 。

表 2 粒子浓度的 ISO 空气清洁度等级

ISO 等级 N	大于或等于关注粒径的粒子最大浓度限值 (m^{-3})					
	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm	5 μm
ISO 1 级	10	—	—	—	—	—
ISO 2 级	100	24	10	—	—	—
ISO 3 级	1000	237	102	35	—	—
ISO 4 级	10000	2370	1020	352	83	—
ISO 5 级	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6 级	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7 级	—	—	—	352000	83200	2930
ISO 8 级	—	—	—	3520000	832000	29300
ISO 9 级	—	—	—	35200000	8320000	293000

注：表中所有浓度均为累计浓度，如 ISO 5 级显示粒径为 0.3 μm 时的最大浓度限值 10200 m^{-3} 包括大于或等于该粒径的所有粒子。

7.8 照度

打开 IVC 的照明灯，依次把实验室测试笼盒放到选定的位置，将照度计放入实验室测试笼盒内，采用垫料或纸张垫高至 50 cm 高度，重复测量 3 次，关掉 IVC 的照明灯，在测量点测量背景照度，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 (9) 进行计算。

$$\bar{E} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E_i \quad (9)$$

式中：

\bar{E} ——开灯时的平均照度（或平均背景照度），lx；

E_i ——开灯（关灯）时测量点单次测量的照度（背景照度），lx。

7.9 噪声

将声级计设置为“A”计权模式；打开 IVC 照明灯及风机，在正常工作状态下，依次把实验室测试笼盒放到选定的位置，将声级计放入实验室测试笼盒内，采用垫料或纸张垫高至 50 cm 高度，重复测量 3 次，测得噪声的算术平均值作为 IVC 笼盒内的实际噪声。关闭 IVC 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 50 dB 时，根据公式 (11) 进行计算实际噪声。当背景噪声平均值大于 50 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（12）进行计算。

$$\overline{N'} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N'_i \quad (10)$$

$$N = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 N_{ij} \quad (11)$$

$$N' = N - \Delta N \quad (12)$$

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' ——修正后的实际噪声，dB；

N_{ij} ——每个位置的总噪声单次测量值，dB；

ΔN ——从测量总噪声中减去的值（计算方法详见表 3），dB；

n ——测量位置数。

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

7.10 沉降菌

连续运行 IVC 48 h 以上，在笼架上取随机 5 个 IVC 笼盒（事先消毒灭菌），在洁净工作台内打开笼罩，以无菌操作方式在每个 IVC 笼盒中放入 3 个 TSA 培养皿，打开平皿后，盖上笼罩，上架通气 30 min，然后取下笼盒，在洁净工作台中打开笼罩，取出加盖平皿。设置一组阳性及一组阴性对照培养皿。将以上培养皿在 37 °C 的培养箱中培养，时间不低于 48 h，计数所有培养皿中的菌落总数，计算算术平均值。

8 校准结果表达

经校准的 IVC 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 A，校准报告内容见附录 B，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 C。

9 复测时间间隔

由于复测时间间隔的长短是由IVC的使用情况、使用者、IVC本身质量等诸因素所决定的，因此，送检单位可根据实际使用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

校准原始记录格式

(推荐性表格)

系统名称			型号规格									
制造厂商			出厂编号									
委托单位	名称		联系人									
	地址		电话									
温度			湿度									
记录编号			校准日期									
外观检查	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求											
气流流速	笼盒位置	测量结果 (m/s)					平均值 (m/s)					
		1	2	3	4	5						
换气率	风速 仪法	进	风速测量结果 (m/s) (风管半径:)						长度 (m)	宽度 (m)	高度 (m)	换气 率
		风口	1	2	3	4	5	6				
											/	
		IVC 笼盒 (个数:)										h^{-1}
风量 计法	进	风量测量结果 (m^3/h)						长度 (m)	宽度 (m)	高度 (m)	换气 率	
		风口	1	2	3	4	5					6
								/	/	/		
	IVC 笼盒 (个数:)										h^{-1}	
压差	静态压差 (Pa)											
	负压显示误差 (Pa)											

	失压恢复时间 (s)					
气密性	笼盒内压力由-100 Pa 升至 0 Pa 的时间					
高效/超高效过滤器 检漏	光度法测量结果 (%)	上游浓度/ ($\mu\text{g/L}$)				
		透过率				
	计数法测量结果 (L^{-1})	使用的稀释器稀释比				
		上游浓度稀释后检测值				
		漏点允许值				
		漏点实测值				
洁净度	笼盒位置	粒子浓度采样结果 (m^{-3})			平均值 (m^{-3})	
	1					
	2					
	3					
照度	笼盒位置	测量点	测量值 (lx)		平均值 (lx)	
	1	开灯				
		关灯				
	2	开灯				
		关灯				
	3	开灯				
关灯						
噪声	笼盒位置	实际噪声 (dB)	背景噪声 (dB)		总噪声 (dB)	
	1					
	2					
	3					
沉降菌	各笼盒测量值 (CFU/30min)					平均值 (CFU/30min)
	1	2	3	4	5	

校准员：_____ 核验员：_____

附录 B

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	气流流速	平均气流流速（m/s）	
		气流流速校准结果扩展不确定度（ $k=2$ ）	
3	换气率		
4	压差（Pa）	静态压差（Pa）	
		压差校准结果扩展不确定度（ $k=2$ ）	
		压差显示误差（Pa）	
5	气密性		
6	高效/超高效过滤器检漏	光度法：透过率（%）	
		计数法：粒子数（ L^{-1} ）	
7	洁净度	最大平均粒子浓度（ m^{-3} ）	
		洁净度校准结果扩展不确定度（ $k=2$ ）	
8	照度（lx）	开灯时的平均照度	
		平均背景照度	
		照度校准结果扩展不确定度（ $k=2$ ）	
9	噪声	实际噪声（dB）	
		噪声校准结果扩展不确定度（ $k=2$ ）	
10	沉降菌		

校准员：_____ 核验员：_____

附录 C

测量不确定度评定示例

IVC 性能参数测量过程中涉及的参数主要有气流流速、压差、洁净度、照度和噪声，这 5 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标准不确定度来源，对其进行不确定度评定。

C.1 气流流速测量结果不确定度评定

C.1.1 测量方法

使用带孔的实验室测试笼盒进行气流流速测试，依次把实验室测试笼盒放到选定的位置，将风速仪探头插入测试孔中，测试孔边缘应密封处理，分别测试盒内 5 个点的气流流速，待数据稳定后读取记录气流流速，每个点测量 3 次，记录所有测量点的测量值并按公式 (C.1) 计算测量平均值。

C.1.2 测量模型

$$\bar{v} = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 v_{ij} \quad (\text{C.1})$$

式中：

\bar{v} ——气流流速的算术平均值，m/s；

v_{ij} ——每个测量点单次测量的风速值，m/s；

n ——测量点的数量， $n=3$ ；

i ——气流流速测量点；

j ——测量次数。

C.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 。

C.1.4 测量不确定度评定

C.1.4.1 重复性引入的不确定度分量 u_1

使用热式风速仪在实验室测试笼盒的 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 C.1。

表 C.1 气流流速测定结果

测量点	测量结果 (m/s)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09
2	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08	0.09	0.08
3	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09
4	0.08	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.08	0.09	0.09
5	0.09	0.09	0.08	0.08	0.09	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08

合并样本标准偏差 s_p 按公式 (C.2) 计算：

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

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 (C.2) 计算出合并样本标准偏差如下：

$$s_p = 0.005 \text{ m/s}$$

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：

$$u_1 = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \frac{0.005}{\sqrt{3}} \text{ m/s} = 0.003 \text{ m/s}$$

C.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 0.01m/s，分散区间半宽为 0.005 m/s，按均匀分布计算，则

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

C.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 ± 0.015 m/s，按均匀分布计算，则

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

C.1.5 标准不确定度分量一览表

标准不确定度一览表见表 C.2。

表 C.2 气流流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	0.003 m/s
分辨力	u_2	0.003 m/s
标准器具	u_3	0.009 m/s

C.1.6 合成标准不确定度 u_c

由于各不确定度间不相关，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.0099 \text{ m/s}$$

C.1.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 0.02 \text{ m/s}$$

C.2 压差测量结果不确定度评定

C.2.1 测量方法

将压力计上的一端放置于 IVC 笼盒内，一端与大气压连通，清理笼盒密封面和密封条上的异物，紧闭 IVC 的门，开启 IVC 内的净化装置，待运转稳定后读取压力计的读数，重复测量 3 次，以压差算术平均值作为 IVC 笼盒相对大气的平均压差，平均压差根据公式 (C.3) 进行计算。

C.2.2 测量模型

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (\text{C.3})$$

式中：

\bar{P} ——平均压差，Pa；

P_i ——压差的单次测量值，Pa；

n ——测量次数。

C.2.3 不确定度来源

根据以上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：

- 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 压力计分辨力引入的标准不确定度 u_2 ；
- 标准器具引入的标准不确定度 u_3 。

C.2.4 测量不确定度评定

C.2.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

使用压力计在 IVC 笼盒内选择测量点进行压差测量，连续测量 10 次，对重复测量结果进行分析，测量结果见表 C.3。

表 C.3 压差测量结果

测量点	压差测量结果 (Pa)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20.9	20.3	19.1	19.9	20.1	19.5	19.4	21.0	20.8	20.4

实验标准偏差 s 按公式 (C.4) 计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} \quad (\text{C.4})$$

式中：

n ——测量次数；

P_i ——第 i 次的测量值，Pa；

\bar{P} ——测量的算术平均值，Pa。

通过公式 (C.4) 计算出实验标准偏差如下：

$$s = 0.628 \text{ Pa}$$

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

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{1.93}{\sqrt{3}} \text{ Pa} = 0.363 \text{ Pa}$$

C.2.4.2 压力计分辨力引入的标准不确定度 u_2

压力计的分辨力为 0.1 Pa，分散区间半宽为 0.05 Pa，按均匀分布计算，则

$$u_2 = \frac{0.95}{\sqrt{3}} \text{ Pa} = 0.029 \text{ Pa}$$

C.2.4.3 标准器具引入的标准不确定度 u_3

压力计的最大允许误差为 $\pm 2\%$ ，按均匀分布计算，压差测量平均值为 20.14 Pa，则

$$u_3 = \frac{2\% \times 20.14}{\sqrt{3}} \text{ Pa} = 0.233 \text{ Pa}$$

C.2.5 标准不确定度一览表

标准不确定度一览表见表 C.4。

表 C.4 压差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
测量重复性	u_1	0.363 Pa

分辨力	u_2	0.029 Pa
标准器具	u_3	0.233 Pa

C.2.6 合成标准不确定度 u_c

由于各不确定度间不相关，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.4323 \text{ Pa}$$

C.2.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 0.9 \text{ Pa}$$

C.3 洁净度测量结果不确定度评定

C.3.1 测量方法

开启 IVC 运行 30 min 后，采用尘埃粒子计数器测定 $0.3 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ 的微粒计数浓度。尘埃粒子计数器自净后，依次把实验室测试笼盒放到选定的位置，将采样管接入实验室测试笼盒的检测孔或饮水瓶孔，重复采样 3 次，每次采样量应不小于 5.66 L。根据公式 (C.5) 计量每个采样点粒子浓度平均值作为洁净度测试结果。

C.3.2 测量模型

$$\bar{M}_i = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 M_i \quad (\text{C.5})$$

式中：

\bar{M}_i ——采样点 i 处的平均粒子浓度， m^{-3} ；

M_i ——采样点单次采样的粒子浓度， m^{-3} 。

C.3.3 不确定度来源

根据以上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：

- 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- 尘埃粒子计数器分辨力引入的标准不确定度 u_2 ；
- 标准器具引入的标准不确定度 u_3 。

C.3.4 测量不确定度评定

C.3.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

使用尘埃粒子计数器在实验室测试笼盒 1 个采样点对粒径 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 的颗粒进行测量，连续采样 10 次，对重复采样结果进行分析，采样结果见表 C.5。

表 C.5 洁净度测定结果

测量点	粒径 $\geq 0.5 \mu\text{m}$ 时粒子浓度采样结果 (m^{-3})									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7	13	9	9	6	10	14	11	10	7

实验标准偏差 s 按公式 (C.6) 计算:

$$s = \frac{1}{M_i} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M}_i)^2}{n-1}} \quad (\text{C.6})$$

式中:

n ——测量次数;

M_i ——第 i 次的测量值, m^{-3} ;

\bar{M}_i ——测量的算术平均值, m^{-3} 。

通过公式 (C.6) 计算出实验标准偏差如下:

$$s = 25.6\%$$

由于每个采样点实际测 3 次 ($n=3$), 因此重复采样引入的标准不确定度 u_1 为:

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{25.6\%}{\sqrt{3}} = 14.8\%$$

C.3.4.2 尘埃粒子计数器分辨力引入的标准不确定度 u_2

尘埃粒子计数器的分辨力为 1 m^{-3} , 分散区间半宽为 0.5 m^{-3} , 全部采样结果的平均值为 9.6 m^{-3} , 按均匀分布计算, 则

$$u_2 = \frac{0.5}{\sqrt{3} \times 9.6} \times 100\% = 3.0\%$$

C.3.4.3 标准器具引入的标准不确定度 u_3

尘埃粒子计数器的最大允许误差 $\pm 30\%$, 按均匀分布计算, 则

$$u_3 = \frac{30\%}{\sqrt{3}} = 17.3\%$$

C.3.5 标准不确定度一览表

标准不确定度一览表见表 C.6。

表 C.6 洁净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
测量重复性	u_1	14.8 %
分辨力	u_2	3.0%
标准器具	u_3	17.3 %

C.3.6 合成标准不确定度 u_{cr}

由于各不确定度间不相关, 则

$$u_{cr} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 22.96\%$$

C.3.7 扩展不确定度 U_r

取 $k=2$ ，则

$$U_r = k \times u_c = 46\%$$

C.4 照度测量结果不确定度评定

C.4.1 测量方法

打开 IVC 的照明灯，依次把实验室测试笼盒放到选定的位置，将照度计放入实验室测试笼盒内，采用垫料或纸张垫高至 50 cm 高度，重复测量 3 次，关掉 IVC 的照明灯，在测量点测量背景照度，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 (C.7) 进行计算。

C.4.2 测量模型

$$\bar{E} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 E_i \quad (\text{C.7})$$

式中：

\bar{E} ——开灯时的平均照度（或平均背景照度），lx；

E_i ——开灯（关灯）时测量点单次测量的照度（背景照度），lx。

C.4.3 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 。

C.4.4 测量不确定度评定

C.4.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

开灯时使用照度计在的实验室测试笼盒内的测量点进行测量，连续测量 10 次，对重复测量结果进行分析，测量结果见表 C.7。

表 C.7 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	336	339	352	361	344	353	343	361	347	351

实验样本标准偏差 s 按公式 (C.8) 计算：

$$s = \frac{1}{E_i} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E}_i)^2}{n-1}} \quad (\text{C.8})$$

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 (C.8) 计算出合并样本标准偏差如下：

$$s_p = 8.06 \text{ lx}$$

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

$$u_1 = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \frac{8.06}{\sqrt{3}} \text{ lx} = 4.66 \text{ lx}$$

C.4.4.2 照度计分辨力引入的标准不确定度 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

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

C.4.4.3 标准器具引入的标准不确定度 u_3

所用照度计为一级，对应的最大允许误差为 $\pm 4\%$ ，测量结果的平均值为 348.7 lx，按均匀分布计算，则

$$u_3 = \frac{348.7 \times 4\%}{\sqrt{3}} \text{ lx} = 8.05 \text{ lx}$$

C.4.5 标准不确定度一览表

标准不确定度一览表见表 C.8。

表 C.8 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
测量重复性	u_1	4.66 lx
分辨力	u_2	0.29 lx
标准器具	u_3	8.05 lx

C.4.6 合成标准不确定度 u_c

由于各不确定度间不相关，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 9.31 \text{ lx}$$

C.4.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 19 \text{ lx}$$

C.5 噪声测量结果不确定度评定

C.5.1 测量方法

将声级计设置为“A”计权模式；打开 IVC 照明灯及风机，在正常工作状态下，依次把实验室测试笼盒放到选定的位置，将声级计放入实验室测试笼盒内，采用垫料或纸张垫高至 50 cm 高度，重复测量 3 次，测得噪声的算术平均值作为 IVC 笼盒内的实际噪声。关闭 IVC 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 50 dB 时，根据公式 (C.10) 进行计算实际噪声。当背景噪声平均值大于 50 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 C.9 进行修正，通过公式 (C.11) 进行计算。

C.5.2 测量模型

$$\bar{N}' = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N'_i \quad (\text{C.9})$$

$$N = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N_i \quad (\text{C.10})$$

$$N = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N_i - \Delta N \quad (\text{C.11})$$

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_i ——总噪声单次测量值，dB；

ΔN ——从测量总噪声中减去的值（计算方法详见表 C.9），dB。

表 C.9 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
-----	---

C.5.3 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 。

C.5.4 测量不确定度评定

C.5.4.1 测量重复性引入的标准不确定度 u_1

以使用声级计在实验室测试笼盒，采用垫料或纸张垫高至 50 cm 高度测量点测量噪声，连续测量 10 次，对重复测量结果进行分析（背景噪声小于 50 dB，实际噪声忽略背景噪声的影响），测量结果见表 C.10。

表 C.10 噪声测定结果

测量点	噪声测量结果 (dB)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	55.2	54.2	55.0	54.9	55.1	54.7	55.2	55.5	54.8	55.6

实验标准偏差 s 按公式 (C.12) 计算：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (N_i - \bar{N})^2}{n-1}} \quad (\text{C.12})$$

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 (C.12) 计算出实验标准偏差如下：

$$s = 0.384 \text{ dB}$$

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

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.384}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.222 \text{ dB}$$

C.5.4.2 声级计分辨力引入的标准不确定度 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

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

C.5.4.3 标准器具引入的标准不确定度 u_3

声级计的最大允许误差为 ± 1 dB，按均匀分布计算，则

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

C.5.5 标准不确定度一览表

标准不确定度一览表见表 C.11。

表 C.11 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
测量重复性	u_1	0.222 dB
分辨力	u_2	0.029 dB
标准器具	u_3	0.577 dB

C.5.6 合成标准不确定度 u_c

由于各不确定度间不相关，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 0.619 \text{dB}$$

C.5.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 1.3 \text{dB}$$

附录 D

参考文献

[1] BRANDSTETTER H, SCHEER M, HEINEKAMP C, et al. Performance evaluation of IVC systems[J]. Laboratory Animals,2005,39(1):40-44.

[2] 闵凡贵,王静,潘金春,等. 独立通风笼具(IVC)技术指标检测及参数稳定性评价[J]. 中国比较医学杂志,2020,30(4):106-109.

[3] 耿祥飞,王鹏,刘鹏杰,等. 中央排风通气笼具(EVC)和独立通气笼具(IVC)的技术指标和参数评价[J]. 实验动物科学,2021,38(6):72-75.

[4] 张建平,傅江南. 独立通风笼盒内换气次数与压差差异性分析[J]. 实验动物与比较医学,2018,38(3):231-235.

[5] 曹冠朋,曹国庆,陈咏,等. 生物安全隔离笼具产品和标准概况及现场检测结果[J]. 暖通空调,2018,48(1):38-44.

[6] 黄树祥,黄吉城,李小波,等. 生物安全型独立通风笼具笼盒密封性能检测[J]. 中国国境卫生检疫杂志,2020,43(6):393-394.

全国生物计量学术年会