



中华人民共和国国家计量技术规范

JJF xxxx—202x

生物安全采样舱性能参数校准规范

Calibration Specification of Performance Parameters of Biosafety Sampling

Chambers

(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

生物安全采样舱性能参数校 准规范

JJF xxx—202x

Calibration Specification of Performance Parameters
of Biosafety Sampling Chamber

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：江苏省计量科学研究院

苏州市计量测试院

黑龙江省计量检定测试院

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：

张玲（中国计量科学研究院）

参加起草人：

目录

引言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语.....	1
3.1 生物因子.....	1
3.2 生物安全采样舱.....	1
3.3 高效空气过滤器.....	1
3.4 超高效空气过滤器.....	1
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 测量标准及其他设备.....	2
7 校准项目和校准方法.....	4
7.1 外观检查.....	4
7.2 换气次数.....	4
7.3 压差.....	6
7.4 气流模式.....	7
7.5 高效/超高效过滤器检漏.....	7
7.6 照度.....	9
7.7 噪声.....	9
8 校准结果表达.....	10
9 复测时间间隔.....	10
附录 A 校准原始记录格式.....	11
附录 B 校准证书（内页）格式.....	13
附录 C 测量结果不确定度评定示例.....	14

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/T 6165-2021《高效空气过滤器性能试验方法效率和阻力》、GB/T 13554-2020《高效空气过滤器》、GB/T 18204.2-2014《公共场所卫生检验方法第2部分：化学污染物》和GB 50346-2011《生物安全实验室建筑技术规范》。

本规范为首次发布。

生物安全采样舱性能参数校准规范

1 范围

本规范适用于生物安全采样舱性能参数的校准。

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/T 6165-2021 高效空气过滤器性能试验方法效率和阻力

GB/T 13554-2020 高效空气过滤器

GB/T 18204.2-2014 公共场所卫生检验方法第2部分：化学污染物

GB 50346-2011 生物安全实验室建筑技术规范

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

JJF1815-2020、GB/T 6165-2021、GB/T 13554-2020、GB/T 18204.2-2014 和 GB 50346-2011 中界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1 生物媒介 biological agents

一切微生物和生物活性物质。

[来源：JJF1815-2020，3.1]

3.2 生物安全采样舱 biosafety sampling chambers

将人体与被采样个体隔离、用于防护有害生物媒介对人体伤害、正常工作状态下内部压力不低于环境压力、带有采样手套的舱体。

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

简称高效过滤器，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。

注：按过滤效率区分为35、40、45，生物安全采样舱的高效过滤器的过滤效率应不低于40(99.99%)。

[来源：GB/T 13554-2020，3.1.1]

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

简称超高效过滤器，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

生物安全采样舱（以下简称采样舱）是一种舱式正压防护设备，由采样手套、箱体、风机、预过滤器、高效（或超高效）过滤器、照明及电器控制系统组成，在正常工作状态下能防止来自舱外的空气传播污染物进入舱内，以保护舱内的操作人员安全。

采样舱按照不同的操作方式分为单人操作、双人操作和多人操作采样舱；按照不同的移动方式分为固定式、轮动式和车载式采样舱。

5 计量特性

采样舱性能参数的各项计量特性指标见表 1。

表 1 采样舱性能参数的主要计量特性指标

计量特性	计量特性指标
换气次数	采样舱内外换气应不少于 12h ⁻¹ 。
压差	静态压差：高效/超高效过滤器正常工作时，采样舱内外相对压强应不低于 10 Pa。
	正压显示误差（如适用）：高效/超高效过滤器正常工作时，应不超过±2 Pa。
	失压恢复时间：采样舱失压后，相对压强恢复到不低于 10 Pa 的时间不超过 10 s。
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。
照度	平均背景照度不大于 160 lx 时，采样舱内照度应不小于 350 lx。
噪声	采样舱内噪声应不大于 70 dB（A 计权）。

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：（-20~40）℃；

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 II级钢卷尺

II级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 压力计

测量范围 (-100~100) Pa, 最大允许误差为 $\pm 2\%$ 。

6.2.4 二氧化碳发生器

浓度范围 40%~100%。

6.2.5 二氧化碳测试仪

测量范围 (0~10000) $\mu\text{mol/mol}$, 最大允许误差为 $\pm 2\% \text{FS}$ 。

6.2.6 照度计

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

6.2.7 声级计

测量范围至少为 (40~100) dB, 最大允许误差为 $\pm 1 \text{ dB}$, 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 $\pm 7 \text{ kPa}$ 。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 (0.3~0.5) μm 范围内的集中度 $\geq 70\%$, 气溶胶喷雾浓度为 $2 \times 10^9 \text{ P/L}$ 。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 μm 、0.5 μm 、1 μm 、3 μm 、5 μm 、10 μm , 检漏粒径 $\geq 0.3 \mu\text{m}$, 扫描速度在 (3~5) cm/s, 探头与过滤器出风面间距 (2~3) 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（0~3600）s，最大允许误差为±0.5 s/d。

7 校准项目和校准方法

7.1 外观检查

以目力、手感检测，采样舱应正确安装，工作环境符合校准条件，结构完整，外形平整规矩，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、生产厂家及高效过滤器标称过滤效率等。

采样舱应焊接牢固，表面光洁，不应有烧穿、漏孔、裂缝、焊疤残留物或残渣等。

7.2 换气次数

7.2.1 风速仪法

将采样舱的每个进风口均匀分成边长不超过 200 mm 的至少 6 块面积相同的正方形或矩形，使用热式风速仪测量每个正方形或矩形中心处的送风风速；用Ⅱ级钢卷尺测量采样舱的长度、宽度和高度以及每个进风口的长度和宽度，换气次数按公式（1）计算。

$$m = \frac{3600}{lwh} \sum_{i=1}^n V_i \sum_{j=1}^{n'} l'_j w'_j \quad (1)$$

式中：

m —— 换气次数， h^{-1} ；

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 —— 采样舱的长度， m ；

w —— 采样舱的宽度， m ；

h —— 采样舱的高度， 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；

j —— 不同的进风口。

7.2.2 示踪气体法

以二氧化碳做示踪气体，建议采用浓度衰减法，检测过程如下：

a) 清理舱体密封面和密封条上的异物，紧闭采样舱的门，以二氧化碳发生器为气源，在采样舱内释放二氧化碳气体，充分混匀后的初始浓度应不低于（3000~4500） $\mu\text{mol/mol}$ ，采用二氧化碳测试仪进行二氧化碳浓度检测。

b) 记录采样舱内二氧化碳初始浓度 C_0 ，并在 t_0 时刻开启净化装置，每隔 0.2 min 或合适的时间间隔记录采样舱内二氧化碳浓度 C_t ，当浓度低于 1000 $\mu\text{mol/mol}$ 停止检测，记录结束时对应的总衰减测试时间 t 。

c) 排空采样舱内残余的二氧化碳气体，重复步骤 a)，待浓度稳定后，记录采样舱内二氧化碳初始浓度 C'_0 ，在不开启净化装置，以相同的时间间隔记录采样舱内二氧化碳浓度 C'_t ，记录的自然衰减测试结束时间 t' 应不低于总衰减测试时间 t 。

d) 衰减常数及换气次数计算

二氧化碳的浓度随时间的变化符合指数函数的变化趋势，用公式（2）表示。

$$C_t = C_0 e^{-Kt} \quad (2)$$

式中：

C_t —— 在时间 t 时的二氧化碳浓度， $\mu\text{mol/mol}$ ；

C_0 —— 在 $t=0$ 时的二氧化碳浓度， $\mu\text{mol/mol}$ ）；

K —— 衰减常数， h^{-1} ；

t —— 时间， h 。

按照公式（2）做 $\ln C_t$ 和 t 的线性拟合，可得衰减常数，取绝对值，即为换气次数 K ，用公式（3）表示。

$$K = \frac{\left(\sum_{i=1}^n t_i \ln C_{t_i} \right) - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right) \left(\sum_{i=1}^n \ln C_{t_i} \right)}{\left(\sum_{i=1}^n t_i^2 \right) - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)^2} \quad (3)$$

式中：

K —— 衰减常数， h^{-1} ；

t_i —— 第 i 个取样点对应的的时间， h ；

$\ln C_i$ ——第 i 个取样点对应的二氧化碳浓度的自然对数；

n ——采样次数。

根据总衰减和自然衰减试验中的取样数据，按公式（3）计算或使用 EXCEL 等统计软件拟合出总衰减常数 K_e 和自然衰减常数 K'_e ，拟合曲线的相关系数 R^2 应不低于 0.90，用于拟合的数据数量应不低于 6 个，换气次数按公式（4）进行计算。

$$m = nK_e - n'K'_e \quad (4)$$

式中：

m ——换气次数， h^{-1} ；

K_e ——总衰减常数；

K'_e ——自然衰减常数；

n ——总衰减常数的单位转换系数；

n' ——自然衰减常数的单位转换系数。

7.3 压差

7.3.1 静态压差

将压力计上的一端放置于采样舱内，一端与大气压连通，清理舱体密封面和密封条上的异物，紧闭采样舱的门，开启采样舱内的送排风装置，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采样舱的平均压差，平均压差根据公式（5）进行计算。

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

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。

7.3.2 正压显示误差

开启采样舱净化装置，达到额定工作状态下，记录采样舱内正压显示单元的压差值 P ，同时使用压力计测量并记录采样舱和外部环境压差 P_s ，正压显示误差按公式（6）计算。

$$\Delta P = P - P_s \quad (6)$$

7.3.3 失压恢复时间

采样舱在额定工作状态下，打开采样舱门窗使采样舱内外压差为零，从关闭采样舱门窗并开始记录时间，当舱内相对压强恢复到不低于 10 Pa 时，停止计时，失压恢复时间按公式（7）进行计算。

$$\Delta t = t_e - t_s \quad (7)$$

式中：

Δt ——失压恢复时间，s；

t_s ——关闭采样舱门窗后的开始时间，s；

t_e ——舱内相对压强恢复到不低于 10 Pa 时的结束时间，s；

7.4 气流模式

7.4.1 定向气流测试

关闭采样舱的进排气孔和有关通路，清理舱体密封面和密封条上的异物，烟雾沿采样舱地板的纵向中心线，在担架处头部以上 100 mm 的高度从采样舱的一端到另一端，观察（目视或拍照录像）记录烟雾流动，采样舱内的气流应流向排风口，应不产生大的漩涡和回流，且无死点。

7.4.2 密闭性测试

关闭采样舱的进排气孔和有关通路，清理舱体密封面和密封条上的异物，紧闭采样舱的门，烟雾沿着门窗、密封面和密封条经过，观察（目视或拍照录像）记录烟雾流动，采样舱门窗及所有缝隙处应无可见烟雾流入。

7.4.3 敞口边缘气流测试

将采样舱的门开到最大状态，烟在采样舱外大约 38 mm 处沿着整个采样舱敞口的周边经过，观察（目视或拍照录像）记录烟雾流动，采样舱敞口的整个周边气流应向外，且无回流。

7.5 高效/超高效过滤器检漏

运行采样舱净化装置，卸除过滤器的散流装置或保护盖（如果有）。

7.5.1 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，待数据稳定后读取泄露值。

7.5.2 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 cm²~10 cm²，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 cm~5 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 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 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、定点试验时间以及实际观测上限值应分别按公式（8）和公式（9）确定。

$$N_e = C_u \times P_L \times Q_s \times T_s \quad (8)$$

$$N_d = N_e - 2\sqrt{N_e} \quad (9)$$

式中：

N_e ——漏点判定的计数检漏仪期望读数，/L；

N_d ——计数检漏仪实际观测上限读数，/L；

C_u ——上游气溶胶浓度， L ；

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。

7.6 照度

在采样舱手套底部水平面上，沿采样舱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，关掉采样舱的照明灯，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；打开采样舱的照明灯，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（10）进行计算。

$$\bar{E} = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 E_{ij} \quad (10)$$

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。

7.7 噪声

将声级计设置为“A”计权模式；打开采样舱照明灯及风机，在正常工作状态下，在采样舱采样窗内部水平向内 300 mm、手套底部水平面上方 380 mm 处测量噪声，重复测量 3 次。关闭采样舱照明灯及风机，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（12）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 2 进行修正，通过公式（13）进行计算。

$$\bar{N}' = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 N'_i \quad (11)$$

$$N = \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^3 N_{ij} \quad (12)$$

$$N' = N - \Delta N \quad (13)$$

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_{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，dB；

n —— 测量位置数。

表 2 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

经校准的采样舱性能参数，出具校准报告，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采样舱的使用情况、使用者、采样舱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。

附录 A

校准原始记录格式

(推荐性表格)

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	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求											
换气次数	风速仪法	进风口	风速测量结果 (m/s)						长度 (m)	宽度 (m)	高度 (m)	换气次数
			1	2	3	4	5	6				
		采样舱								/	h ⁻¹	
	示踪气体法	自然衰减	衰减时间 (s 或 min)								h ⁻¹	
			二氧化碳浓度 (μmol/mol)									
			自然衰减常数 (min ⁻¹)		单位转换系数 (s ⁻¹ 或 min ⁻¹)							
		总衰减	衰减时间 (min)									
			二氧化碳浓度 (μmol/mol)									
			总衰减常数 (min ⁻¹)		单位转换系数 (s ⁻¹ 或 min ⁻¹)							
	气流模式	定向气流测试: 气流应流向排风口, 应不产生漩涡和回流, 且无死点			<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求							
密闭性测试: 门窗及所有缝隙处应无气流流入			<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求									
敞口边缘气流测试: 整个周边气流应向外, 且无回流			<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求									
压差	静态压差 (Pa)											
	正压显示误差 (Pa)											

	失压恢复时间 (s)						
高效/超 高效过 滤器检 漏	光度法测量结果 (%)	上游浓度/ (μg/L)					
		透过率					
	计数法测量结果 (L)	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					
照度	测量点	1	2	3	4	5	平均值 (lx)
	开灯测量值 (lx)						
	关灯测量值 (lx)						
噪声	实际噪声 (dB)		背景噪声 (dB)			总噪声 (dB)	

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	换气次数		
3	气流模式	定向气流测试：气流应流向排风口，应不产生漩涡和回流，且无死点	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求
		密闭性测试：门窗及所有缝隙处应无气流流入	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求
		敞口边缘气流测试：整个周边气流应向外，且无回流	<input type="checkbox"/> 符合要求 <input type="checkbox"/> 不符合要求
4	压差（Pa）	静态压差（Pa）	
		正压显示误差（Pa）	
		失压恢复时间（s）	
5	高效/超高效过滤器检漏	光度法：透过率（%）	
		计数法：粒子数（/L）	
6	平均照度（lx）	开灯时的平均照度	
		平均背景照度	
7	实际噪声（dB）		
8	校准结果的扩展不确定度 $U(k=2)$	压差	
		照度	
		噪声	

校准员：_____ 核验员：_____

附录 C

测量不确定度评定示例

采样舱性能参数测量过程中涉及的参数主要有压差、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。

C.1 压差测量结果不确定度评定

C.1.1 测量方法

将压力计上的一端放置于采样舱内，一端与大气压连通，清理舱体密封面和密封条上的异物，紧闭采样舱的门，开启采样舱内的送排风装置，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采样舱的平均压差，平均压差根据公式(C.1)进行计算。

C.1.2 测量模型

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

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.1.3 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：

- a) 测量重复性引入的标准不确定度 u_1 ；
- b) 压力计分辨力引入的标准不确定度 u'_1 ；
- c) 标准器具引入的标准不确定度 u_2 。

C.1.4 测量不确定度评定

C.1.4.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

使用压力计在采样舱的压差进行测量,连续测量 10 次,对重复测量结果进行分析,测量结果见表 C.1。

表 C.1 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	19	21	21	18	17	22	19	18	20	23

实验标准偏差 s 按公式 (C.2) 计算:

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

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.2) 计算出实验标准偏差如下:

$$s = 1.93 \text{ Pa}$$

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

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{1.93}{\sqrt{3}} \text{ Pa} = 1.11 \text{ Pa}$$

C.1.4.2 压力计分辨力引入的不确定度 u'_1

压力计的分辨力为 1 Pa, 分散区间半宽为 0.5 Pa, 按均匀分布计算, 则

$$u'_1 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{ Pa} = 0.289 \text{ Pa}$$

从以上计算可以看出, 由于重复测量引入的标准不确定度分量 u_1 大于分辨力引入的标准不确定度分量 u'_1 , 由 JJF 1033—2016《计量标准考核规范》可知, 当重复性引入的标准不确定度分量大于分辨力引入的标准不确定度分量时, 可不考虑分辨力引入的不确定度分量, 故分辨力引入的不确定度分量 u'_1 在标准不确定度合成时不列入。

C.1.4.3 标准器具引入的不确定度 u_2

压力计的最大允许误差为±2%，按均匀分布计算，压差测量平均值为 19.8 Pa，则

$$u_2 = \frac{2\% \times 19.8}{\sqrt{3}} \text{ Pa} = 0.229 \text{ Pa}$$

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 压差测量结果标准不确定度一览表

不确定度来源	u	标准不确定度分量
测量重复性	u_1	1.11 Pa
标准器具	u_2	0.229 Pa

C.1.6 合成标准不确定度 u_{cr}

由于标准不确定度分量 u_1 和 u_2 之间相互独立，则

$$u_{cr} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 1.13 \text{ Pa}$$

C.1.7 扩展不确定度 U_r

取 $k=2$ ，则

$$U_r = k \times u_c = 3 \text{ Pa}$$

C.2 照度测量结果不确定度评定

C.2.1 测量方法

在采样舱手套底部水平面上，沿采样舱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，关掉采样舱的照明灯，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；打开采样舱的照明灯，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 (C.3) 进行计算。

C.2.2 测量模型

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

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。

C.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'_1 ；
- c) 标准器具引入的标准不确定度 u_2 ；

C.2.4 测量不确定度评定

C.2.4.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

采样舱开灯时使用照度计在的 2 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.3。

表 C.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	465	444	443	462	443	461	447	443	461	447
2	453	462	466	468	461	468	462	469	468	461

合并样本标准偏差 s_p 按公式 (C.4) 计算：

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

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；

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

通过公式 (C.4) 计算出合并样本标准偏差如下：

$$s_p = 7.19 \text{ lx}$$

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:

$$u_1 = \frac{s_p}{\sqrt{n}} = \frac{7.19}{\sqrt{3}} \text{ lx} = 4.15 \text{ lx}$$

C.2.4.2 照度计分辨力引入的不确定度 u'_1

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

$$u'_1 = \frac{0.5}{\sqrt{3}} \text{ lx} = 0.29 \text{ lx}$$

从以上计算可以看出, 由于重复测量引入的标准不确定度分量 u_1 大于分辨力引入的标准不确定度分量 u'_1 , 由 JJF 1033—2016《计量标准考核规范》可知, 当重复性引入的标准不确定度分量大于分辨力引入的标准不确定度分量时, 可不考虑分辨力引入的不确定度分量, 故分辨力引入的不确定度分量 u'_1 在标准不确定度合成时不列入。

C.2.4.3 标准器具引入的不确定度 u_2

所用照度计为一级, 对应的最大允许误差为 $\pm 4\%$, 全部测量结果的平均值为 457.7 lx, 按均匀分布计算, 则

$$u_2 = \frac{457.7 \times 4\%}{\sqrt{3}} \text{ lx} = 10.6 \text{ lx}$$

C.2.5 标准不确定度分量一览表

标准不确定度一览表见表 C.4。

表 C.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	4.15 lx
标准器具	u_2	10.6 lx

C.2.6 合成标准不确定度 u_c

由于标准不确定度分量 u_1 和 u_2 之间相互独立, 则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 11.4 \text{ lx}$$

C.2.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 23 \text{ lx}$$

C.3 噪声测量结果不确定度评定

C.3.1 测量方法

将声级计设置为“A”计权模式；打开采样舱照明灯及风机，在正常工作状态下，在采样舱采样窗内部水平向内 300 mm、手套底部水平面上方 380 mm 处测量噪声，重复测量 3 次。关闭采样舱照明灯及风机，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 (C.6) 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 2 进行修正，通过公式 (C.7) 进行计算。

C.3.2 测量模型

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

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

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

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；

ΔN —— 从测量总噪声中减去的值，dB。

表 C.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'_1 ；
- c) 标准器具引入的标准不确定度 u_2 。

C.3.4 测量不确定度评定

C.3.4.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

以使用声级计在采样舱采样窗内部水平向内 300 mm、手套底部水平面上方 380 mm 处测量噪声为例，连续测量 10 次，对重复测量结果进行分析（背景噪声小于 60 dB，实际噪声忽略背景噪声的影响），测量结果见表 C.6。

表 C.6 噪声测定结果

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果/dB	62.5	63.2	63.8	64.9	62.1	63.7	63.2	64.5	63.8	64.6

实验标准偏差 s 按公式 (C.8) 计算：

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

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 (C.8) 计算出实验标准偏差如下：

$$s = 0.858 \text{ dB}$$

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：

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{0.858}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.495 \text{ dB}$$

C.3.4.2 声级计分辨力引入的不确定度 u'_1

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

$$u'_1 = \frac{0.05}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.029 \text{ dB}$$

从以上计算可以看出，由于重复测量引入的标准不确定度分量 u_1 大于分辨力引入的标准不确定度分量 u'_1 ，由 JJF 1033—2016《计量标准考核规范》可知，当重复性引入的标准不确定度分量大于分辨力引入的标准不确定度分量时，可不考虑分辨力引入的不确定度分量，故分辨力引入的不确定度分量 u'_1 在标准不确定度合成时不列入。

C.3.4.3 标准器具引入的不确定度 u_2

声级计的最大允许误差为 $\pm 1 \text{ dB}$ ，按均匀分布计算，则

$$u_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ dB} = 0.577 \text{ dB}$$

C.3.5 标准不确定度分量一览表

标准不确定度一览表见表 C.7。

表 C.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	0.495 dB
标准器具	u_2	0.577 dB

C.3.6 合成标准不确定度 u_c

由于标准不确定度分量 u_1 和 u_2 之间相互独立，则

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.76 \text{ dB}$$

C.3.7 扩展不确定度 U

取 $k=2$ ，则

$$U = k \times u_c = 1.6 \text{ dB}$$