

# 环境空气颗粒物采样器 不确定度评定报告

环境空气颗粒物采样器检定规程

编制组

2026年02月

# 流量示值误差的测量不确定度评定报告

## 1 测量方法

将流量标准装置与采样器连接，设定采样器的校准流量点，待采样器稳定后进行流量测定，同时读取流量标准装置和被校采样器显示的工况测得值，每个流量校准点重复测定 10 次，取算术平均值并计算瞬时流量示值误差。

## 2 测量模型

$$\Delta Q = \overline{Q}_y - \overline{Q}_s \quad (1)$$

式中：

$\Delta Q$ —流量示值误差，L/min；

$\overline{Q}_y$ —被校准采样器显示的标况流量算术平均值，L/min；

$\overline{Q}_s$ —流量标准装置换算后的标况流量算术平均值，L/min。

$$\overline{Q}_s = \overline{Q} \times \frac{T_s}{P_s} \times \frac{P}{T} \quad (2)$$

式中：

$\overline{Q}_s$ —流量标准装置换算后的标况流量的算术平均值，L/min；

$\overline{Q}$ —标准装置测得值的算术平均值，L/min；

$T_s$ —标准状态下的温度，273.15 K；

$P_s$ —标准状态下的大气压，1013.25 hPa；

$T$ —进口处温度，K；

$P$ —进口处绝对压力，hPa。

## 3 输入量的不确定度来源分析

### 3.1 被校准采样器测量值引入的标准不确定度包括：

a) 被校准采样器测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\overline{Q}_y)$ ；

### 3.2 流量标准装置测量值引入的标准不确定度 $u(\overline{Q}_s)$ 包括：

a) 流量标准装置测量重复性引入的标准不确定度  $u_1(\overline{Q})$ ；

b) 流量标准装置引入的标准不确定度  $u_r(\overline{Q_s})$ ;

c) 压力测量引入的标准不确定度  $u_r(P)$ ;

d) 温度测量引入的标准不确定度  $u_r(T)$ 。

#### 4 输入量的标准不确定度评定

##### 4.1 被校仪器测量重复性引入的标准不确定度

校准选用 Echo HiVol 型环境空气采样器，温度为 20 °C，大气压为 101.32 hPa，流量范围（100~500）L/min，校准流量点为 225 L/min，稳定后同时读取流量标准装置的测得值（工况值）和被校采样器显示的测得值（标况值），重复测定 10 次，测得数据见下表（单位为：L/min）。

测量次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均值
标准装置显示值	225.1	225.7	225.9	224.8	224.7	225	224.6	225.5	224.6	225.7	225.2
采样器显示值	225	226.1	226.2	225.4	224.8	224.8	224.6	225.4	224.9	225.6	225.3

因校准中以 10 次测得值的算术平均值作为结果进行流量示值误差计算，所以：

$$u_1(\overline{Q}) = \frac{s(\overline{Q})}{\sqrt{10}} = 0.158 \text{ L/min} \quad u_1(\overline{Q}) = \frac{u_1(\overline{Q})}{\overline{Q}} \times 100\% = 0.071\%$$

$$u_1(\overline{Q_y}) = \frac{s(\overline{Q_y})}{\sqrt{10}} = 0.176 \text{ L/min} \quad u_{r1}(\overline{Q_y}) = \frac{u_1(\overline{Q_y})}{\overline{Q_y}} \times 100\% = 0.078\%$$

$q$  和  $q_y$  相关系数为 0.866。

标准装置显示值和采样器显示值分辨力引入的不确定度小于测量重复性所引入的不确定度，依据 JJF1033-2023 中 C.1.4，不再考虑分辨力引入的不确定度分量。

##### 4.3 流量标准装置引入的标准不确定度

流量标准装置的最大允许误差为  $\pm 1.0\%$ ，测量范围（200~800）L/min，按均匀分布计算，即  $k = \sqrt{3}$ 。流量标准装置所引入的不确定度为：

$$u_r(\overline{Q_s}) = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.578\%$$

##### 4.4 压力测量引入的标准不确定度

校准时大气压为 100730Pa，气压表测量范围（800~1060）hPa、最大允许误差为  $\pm 2.5$  hPa，则  $u_r(P)$  为：

$$u_r(P) = \frac{250}{\sqrt{3} \times 100730} \times 100\% = 0.144\%$$

#### 4.5 温度测量引入的标准不确定度

选用的温度计最大允许误差不超过 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，测得环境温度为 $22.0^\circ\text{C}$ ，则 $u_r(T)$ 为：

$$u_r(T) = \frac{0.2}{\sqrt{3} \times (273.15 + 22)} \times 100\% = 0.040\%$$

则有：

$$\begin{aligned} u_{\text{rel}}(\overline{Q_s}) &= \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\overline{Q}) + u_{\text{rel}}^2(\overline{Q_s}) + u_{\text{rel}}^2(P) + u_{\text{rel}}^2(T)} \\ &= \sqrt{(0.071\%)^2 + (0.578\%)^2 + (0.144\%)^2 + (0.040\%)^2} \\ &= 0.601\% \end{aligned}$$

$$u(\overline{Q_s}) = u_{\text{rel}}(\overline{Q_s}) \times \overline{Q_s} = 0.601\% \times 225.2 = 1.353(\text{L}/\text{min})$$

#### 4.6 输入量的标准不确定度一览表

输入量的标准不确定度一览表见表 1。

表 1 输入量的标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	符号	标准不确定度
被校准采样器测量值	被校准采样器测量重复性引入的标准不确定度	$u_{\text{rl}}(\overline{Q_y})$	0.176 L/min
流量标准装置测量值	流量标准装置测量重复性引入的标准不确定度	$u_{\text{rl}}(\overline{Q})$	0.158 L/min
	流量标准装置引入的标准不确定度	$u_r(\overline{Q_s})$	0.578%
	压力测量引入的标准不确定度	$u_r(P)$	0.144%
	温度测量引入的标准不确定度	$u_r(T)$	0.040%

#### 5 合成标准不确定度评定

$$\begin{aligned} u(\Delta Q) &= \sqrt{u^2(\overline{Q_y}) + u^2(\overline{Q_s}) - 2 \times 0.866 \times u(\overline{Q_y}) \times u(\overline{Q_s})} \\ &= \sqrt{(0.176)^2 + (1.353)^2 - 2 \times 0.866 \times 0.176 \times 1.353} \\ &= 1.204(\text{L}/\text{min}) \end{aligned}$$

$$u_{\text{rel}}(\Delta Q) = \frac{u(\Delta Q)}{\overline{Q_s}} \times 100\% = \frac{1.204}{225.2} \times 100\% = 0.535\%$$

## 6 扩展不确定度:

取包含因子为  $k=2$ , 扩展不确定度为:

$$U_r = k \times u_r(\Delta_Q) = 2 \times 0.535\% = 1.1\%$$

## 7 结论

经验证, 上述不确定度评定结果均符合  $U_r/MPE \leq 1/3$  的要求, 因此, 满足量值传递和溯源要求。

# 流量示值误差的测量不确定度评定报告 (超大流量段)

## 1 测量方法

将流量标准装置与采样器连接, 设定采样器的校准流量点, 待采样器稳定后进行流量测定, 同时读取流量标准装置和被校采样器显示的工况测得值, 每个流量校准点重复测定 10 次, 取算术平均值并计算瞬时流量示值误差。

## 2 测量模型

$$\Delta Q = \overline{Q}_y - \overline{Q}_s \quad (1)$$

式中:

$\Delta Q$ —流量示值误差, L/min;

$\overline{Q}_y$ —被校准采样器显示的标况流量算术平均值, L/min;

$\overline{Q}_s$ —流量标准装置换算后的标况流量算术平均值, L/min。



因校准中以 10 次测得值的算术平均值作为结果进行流量示值误差计算，所以：

$$u_1(\bar{Q}) = \frac{s(\bar{Q})}{\sqrt{10}} = 2.202L/\text{min} \quad u_1(\bar{Q}) = \frac{u_1(\bar{Q})}{\bar{Q}} \times 100\% = 0.349\%$$

$$u_1(\bar{Q}_y) = \frac{s(\bar{Q}_y)}{\sqrt{10}} = 0.0L/\text{min} \quad u_{r1}(\bar{Q}_y) = \frac{u_1(\bar{Q}_y)}{\bar{Q}_y} \times 100\% = 0.0\%$$

标准装置显示值和采样器显示值分辨力引入的不确定度小于测量重复性所引入的不确定度，依据 JJF1033-2023 中 C.1.4，不再考虑分辨力引入的不确定度分量。

#### 4.3 流量标准装置引入的标准不确定度

流量标准装置的最大允许误差为  $\pm 2.0\%$ ，测量范围（300~1200） $\text{m}^3/\text{h}$ ，按均匀分布计算，即  $k = \sqrt{3}$ 。流量标准装置所引入的不确定度为：

$$u_r(\bar{Q}_s) = \frac{2.0\%}{\sqrt{3}} = 1.155\%$$

#### 4.4 压力测量引入的标准不确定度

校准时大气压为 100730Pa，气压表测量范围（800~1060）hPa、最大允许误差为  $\pm 2.5$  hPa，则  $u_r(p)$  为：

$$u_r(P) = \frac{250}{\sqrt{3} \times 100730} \times 100\% = 0.144\%$$

#### 4.5 温度测量引入的标准不确定度

选用的温度计最大允许误差不超过  $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，测得环境温度为  $22.0^\circ\text{C}$ ，则  $u_r(T)$  为：

$$u_r(T) = \frac{0.2}{\sqrt{3} \times (273.15 + 22)} \times 100\% = 0.040\%$$

则有：

$$\begin{aligned} u_{\text{rel}}(\bar{Q}_s) &= \sqrt{u_{\text{rel}}^2(\bar{Q}) + u_{\text{rel}}^2(\bar{Q}_s) + u_{\text{rel}}^2(P) + u_{\text{rel}}^2(T)} \\ &= \sqrt{(0.349\%)^2 + (1.155\%)^2 + (0.144\%)^2 + (0.040\%)^2} \\ &= 1.216\% \end{aligned}$$

$$u(\bar{Q}_s) = u_{\text{rel}}(\bar{Q}_s) \times \bar{Q}_s = 1.216\% \times 631.6 = 7.680(\text{m}^3/\text{h})$$

#### 4.6 输入量的标准不确定度一览表

输入量的标准不确定度一览表见表 1。

表 1 输入量的标准不确定度一览表

输入量	不确定度来源	符号	标准不确定度
被校准采样器测量值	被校准采样器测量重复性引入的标准不确定度	$u_{r1}(\overline{Q}_y)$	0.000 m <sup>3</sup> /h
流量标准装置测量值	流量标准装置测量重复性引入的标准不确定度	$u_{r1}(\overline{Q})$	7.680 m <sup>3</sup> /h
	流量标准装置引入的标准不确定度	$u_r(\overline{Q}_s)$	1.155%
	压力测量引入的标准不确定度	$u_r(P)$	0.144%
	温度测量引入的标准不确定度	$u_r(T)$	0.040%

## 5 合成标准不确定度评定

$$\begin{aligned}
 u(\Delta Q) &= \sqrt{u^2(\overline{Q}_y) + u^2(\overline{Q}_s)} \\
 &= \sqrt{(0.000)^2 + (7.680)^2} \\
 &= 7.680(L/\min)
 \end{aligned}$$

$$u_{rel}(\Delta Q) = \frac{u(\Delta Q)}{\overline{Q}_s} \times 100\% = \frac{7.680}{631.6} \times 100\% = 1.216\%$$

## 6 扩展不确定度:

取包含因子为  $k=2$ , 扩展不确定度为:

$$U_r = k \times u_r(\Delta Q) = 2 \times 1.216\% = 2.5\%$$

## 7 结论

经验证, 上述不确定度评定结果均符合  $U_r/MPE \leq 1/3$  的要求, 因此, 满足量值传递和溯源要求。

# 流量示值误差的测量不确定度评定报告（只显示工况）

## 1 测量方法

将流量标准装置与采样器连接，设定采样器的校准流量点，待采样器稳定后进行流量测定，同时读取流量标准装置和被校采样器显示的工况测得值，每个流量校准点重复测定 10 次，取算术平均值并计算瞬时流量示值误差。

## 2 评定模型

$$\bar{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

## 3 测量不确定度主要来源分析

采样流量测量结果  $\bar{Q}$  的不确定度来源是总悬浮颗粒物采样器采样流量的测量值  $Q_i$ ，主要是测量重复性引起的标准偏差和流量校准器的示值误差引起的不确定度。

## 4 标准不确定度分量的评定

### 4.1 测量重复性引起的标准不确定度 $U(Q_{i1})$ 的评定

测量重复性引起的标准不确定度  $U(Q_{i1})$ ，可以通过连续测量得到测量列，采用 A 类方法进行评定。

4.1.1 校准中流量总悬浮颗粒物采样器，对其 100 L/min 这个点进行重复 10 次测量，测得数数据如下：

序号	单位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	L/min	100.5	100.2	100.5	99.8	99.8	100.5	100.1	100.2	100.4	100.2

校准大流量总悬浮颗粒物采样器，对其 1050 L/min 这个点进行重复 10 次测量，测得数数据如

下：

序号	单位	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	L/min	1048	1052	1053	1051	1052	1047	1042	1053	1051	1052

求得标准差为：

s=0.3%（中流量），s=0.3%（大流量）

可得到相对标准不确定度：

$$U_{rel} = \frac{s}{\sqrt{10}} = 0.09\%$$

4.1.2 校准常规的中（大）流量总悬浮颗粒物采样器，依据规程的要求重复性最大允许 2%。

实际测量时，测量次数为 10，以测得值的平均值为测量结果。则该结果的标准不确定度为：

$$u(r) = s/\sqrt{10} = 2/\sqrt{10} = 0.63\%$$

4.2 流量校准器最大允许示值误差引起的标准不确定度  $u(Qi2)$  的评定

由校准器的示值误差引入的不确定度，大/中流量孔口流量计流量相对误差优于  $\pm 1.0\%$ ，估计为矩形分布，所以  $U_{rel}(\bar{Q}) = 1.0\%/\sqrt{3} = 0.58\%$ 。

5 合成标准不确定度的评定

$$U_{crel} = \sqrt{(U_{rel})^2 + (U_{rel})^2}$$

校准最佳的中（大）流量总悬浮颗粒物采样器

$$u_{crel} = \sqrt{(0.3\%)^2 + (0.58\%)^2} = 0.7\%$$

校准常规的中（大）流量总悬浮颗粒物采样器

$$u_{crel} = \sqrt{(0.63\%)^2 + (0.58\%)^2} = 0.9\%$$

6 扩展标准不确定度的评定

校准最佳的中（大）流量总悬浮颗粒物采样器

$$\text{取 } k=2, U_{rel} = k \times u_{crel} = 2 \times 0.7\% = 1.4\%$$

校准常规的中（大）流量总悬浮颗粒物采样器

$$\text{取 } k=2, U_{rel} = k \times u_{crel} = 2 \times 0.9\% = 1.8\%$$

7 测量不确定度的报告与表示

校准最佳的中（大）流量总悬浮颗粒物采样器校准结果的扩展不确定度为：

$$U_{rel} = 1.4\%, k=2;$$

校准常规的中（大）流量总悬浮颗粒物采样器校准结果的扩展不确定度为：

$U_{re}=1.8\%$  ，  $k=2$ 。