

氟化氢气体报警器不确定度评定 报告

规范起草小组

2026 年 07 月

氟化氢气体检测报警器示值误差的测量不确定度评定

1 测量条件及测量方法

1.1 环境条件：符合本规范规定的环境条件。

1.2 测量标准：氟化氢气体标准物质：相对扩展不确定度不大于 3%， $k=2$ 。

1.3 被校报警器：氟化氢气体检测报警器。以测量范围：（0~10） $\mu\text{mol/mol}$ 为例。

1.4 测量方法：

按照报警器使用说明书中的要求，报警器预热稳定后，分别通入零点气体和浓度约为满量程 80 % 的气体标准物质，调整报警器的零点和示值。依次通入浓度约为满量程 20 %、50 %、80 % 的气体标准物质，待报警器的读数稳定后记录示值，然后通入零点气体待示值回零后，再通入上述气体标准物质。每点重复测量 3 次，3 次测量的算术平均值与标准气体浓度值的差值为该报警器的示值误差。

2 测量模型

示值误差测量模型如式：

$$\Delta x = \bar{x} - x_s \quad (1)$$

式中：

Δx ——示值误差， $\mu\text{mol/mol}$ ；

$\bar{x}$ ——3次测量的算术平均值， $\mu\text{mol/mol}$ ；

x_s ——气体标准物质浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ 。

3 测量不确定度的来源

3.1 测量标准引入的不确定度。

3.2 测量重复性引入的不确定度。环境条件、人员操作、流量控制、取样系统吸附和被校检测仪等各种随机因素，体现在测量重复性中。

4 标准不确定度的评定

4.1 测量标准即气体标准物质的定值引入的标准不确定度 $u(x_s)$ 的评定

根据校准规范，标准气体的相对扩展不确定度不大于3%，包含因子 $k=2$ 。以标准气体的相对扩展不确定度等于3%为例，标准气体定值引入的标准不确定度为：

$$u(x_s) = \frac{x_s \times 3\%}{2} \tag{1}$$

各校准点标准气体的定值引入的标准不确定度 $u(x_s)$ 计算结果见表1。

表1 各校准点标准气体定值引入的标准不确定度 $u(x_s)$

测量范围 $\mu\text{mol/mol}$	标准气体浓度值 $\mu\text{mol/mol}$	$u(x_s)$ $\mu\text{mol/mol}$
(0~10)	3.2	0.048
	5.3	0.080
	8.1	0.12

4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(x)$

对于测量范围为 (0~10) $\mu\text{mol/mol}$ 的报警器，依次通入浓度约为 3.2 $\mu\text{mol/mol}$ 、5.3 $\mu\text{mol/mol}$ 、8.1 $\mu\text{mol/mol}$ 的氟化氢标准气体，重复测量 10 次。各校准点测量结果见表C.2。

表2 各校准点测量结果

测量范围 $\mu\text{mol/mol}$	标准气体浓度值 $\mu\text{mol/mol}$	示值 $\mu\text{mol/mol}$									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
(0~10)	3.2	3.6	3.7	3.8	3.5	3.5	3.6	3.8	3.4	3.5	3.7
	5.3	5.6	5.7	5.5	5.4	5.7	5.8	5.7	5.6	5.5	5.9
	8.1	8.7	8.6	8.5	8.8	8.9	9.0	8.8	8.6	8.7	8.9

各校准点分别按式(3)计算标准偏差，相应各校准点的标准不确定度可按式(4)计算。

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (x_i - \bar{x})^2}{10-1}} \tag{3}$$

$$u(\bar{x}) = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{s}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

注：实际校准时，每个校准点重复测量 3 次，取 3 次测量的算术平均值作为报警器示值，故 n=3。

各校准点的标准偏差 s 与标准不确定度 $u(\bar{x})$ 的计算结果见表 3。

表 3 各校准点的实验标准偏差 s 与标准不确定度 $u(\bar{x})$ 的计算结果

单位：μmol/mol

测量范围 μmol/mol	气体标准物质浓度值 μmol/mol	平均值 μmol/mol	s μmol/mol	$u(\bar{x})$ μmol/mol
(0~10)	3.2	3.6	0.137	0.080
	5.3	5.6	0.151	0.087
	8.1	8.8	0.158	0.092

5 合成标准不确定度

5.1 标准不确定度汇总

标准不确定度汇总于表 4。

表 4 标准不确定度分量汇总表

测量范围 μmol/mol	不确定度来源	标准气体浓度值 μmol/mol	标准不确定度 分量	标准不确定度值 μmol/mol
(0~10)	标准气体定值引入 的标准不确定度	3.2	$u(x_s)$	0.048
		5.3		0.080
		8.1		0.12
	测量重复性引入的 标准不确定度	3.2	$u(\bar{x})$	0.080
		5.3		0.087
		8.1		0.092

5.2 合成标准不确定度

各输入量的不确定度彼此不相关，则相对合成标准不确定度为：

$$u_c(\Delta x) = \sqrt{c_1^2 u^2(\bar{x}) + c_2^2 u^2(x_s)}$$

灵敏系数:

$$c_1 = \frac{\partial \Delta x}{\partial \Delta x} = 1, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta x}{\partial \Delta x_s} = -1$$

则:

$$u_c(\Delta x) = \sqrt{u^2(\bar{x}) + u^2(x_s)} \quad (5)$$

测量范围: (0~10) μmol/mol:

校准点 3.2 μmol/mol: $u_c = 0.10 \mu\text{mol/mol}$;

校准点 5.3 μmol/mol: $u_c = 0.12 \mu\text{mol/mol}$;

校准点 8.1 μmol/mol: $u_c = 0.16 \mu\text{mol/mol}$ 。

6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 则各校准点示值误差的扩展不确定度按式(6)计算:

$$U = k \cdot u_c(\Delta x) \quad (6)$$

校准点 3.2 μmol/mol: $U = 0.2 \mu\text{mol/mol}$, $k=2$;

校准点 5.3 μmol/mol: $U = 0.3 \mu\text{mol/mol}$, $k=2$;

校准点 8.1 μmol/mol: $U = 0.4 \mu\text{mol/mol}$, $k=2$ 。

7 校准结果的验证

根据 JJF 1094—2002《测量仪器特性评定》中对仪器示值误差符合性评定的基本要求, 即要满足示值误差的测量不确定度与被测仪器最大允许误差的绝对值之比小于或等于 1: 3。

校准点 (μmol/mol)	U (μmol/mol)	MPEV (μmol/mol)	U /MPEV
3.2	0.2	0.64	1/3.1
5.3	0.3	1.06	1/3.5
8.1	0.4	1.62	1/4.1

可见，校准点的 $U/MPEV$ 结果均小于 $1/3$ ，满足要求。