

硅烷气体检测报警器不确定度评定

规范起草小组

2026年03月

硅烷气体检测报警器示值误差的测量不确定度评定示例

1 测量条件及测量方法

- 1.1 环境条件：符合本校准规范规定的环境条件。
- 1.2 测量标准：硅烷标准气体，相对扩展不确定度为 3%， $k=2$ 。
- 1.3 被校仪器：硅烷气体检测报警器，以测量范围(0~20) $\mu\text{mol/mol}$ 为例。
- 1.4 测量方法：按照仪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 50%的标准气体，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%的标准气体，待仪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，再通入上述标准气体。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仪器的示值误差。

2 测量模型

示值误差测量模型：

$$\Delta x_r = \frac{\bar{x} - x_s}{x_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

Δx_r ——示值误差，%；

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

x_s ——标准气体浓度值， $\mu\text{mol/mol}$ 。

3 测量不确定度来源

- 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 标准不确定度评定

4.1 测量标准即标准气体的定值引入的标准不确定度 $u(x_s)$

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：

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

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 $\mu\text{mol/mol}$	$u(x_s)$ $\mu\text{mol/mol}$
(0~20)	4.11	0.062
	10.53	0.158
	16.40	0.246

4.2 测量重复性引入的标准不确定度 $u(\bar{x})$

对于测量范围为 (0~20) $\mu\text{mol/mol}$ 的仪器，依次通入浓度约为 4.11 $\mu\text{mol/mol}$ 、10.53 $\mu\text{mol/mol}$ 、16.42 $\mu\text{mol/mol}$ 的硅烷标准气体，重复测量 10 次。各校准点测量结果见表 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
(0~20)	4.11	4.4	4.5	4.5	4.5	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
	10.53	10.3	10.3	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2	10.2	10.3	10.2
	16.40	16.4	16.5	16.4	16.5	16.1	16.0	16.1	16.4	16.1	16.4

各校准点分别按式 (3) 计算实验标准偏差 s ，各校准点相应的标准不确定度可按式 (4) 计算。

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

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

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仪器示值，故 $n=3$ 。

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 $u(\bar{x})$

测量范围 $\mu\text{mol/mol}$	标准气体浓度值 $\mu\text{mol/mol}$	平均值 $\mu\text{mol/mol}$	s $\mu\text{mol/mol}$	$u(\bar{x})$ $\mu\text{mol/mol}$
(0~20)	4.11	4.48	0.0422	0.0243
	10.53	10.25	0.0527	0.0304
	16.40	16.29	0.191	0.1104

5 合成标准不确定度

5.1 标准不确定度分量汇总表

各标准不确定度分量汇总见表 C.4。

表 4 标准不确定度分量汇总表

测量范围 $\mu\text{mol/mol}$	不确定度来源	标准气体浓度值 $\mu\text{mol/mol}$	标准不确定度 分量	标准不确定度值 $\mu\text{mol/mol}$
(0~20)	标准气体定值引入 的标准不确定度	4.11	$u(x_s)$	0.062
		10.53		0.158
		16.40		0.246
	测量重复性引入的 标准不确定度	4.11	$u(\bar{x})$	0.0243
		10.53		0.0304
		16.40		0.1104

5.2 合成标准不确定度

根据测量模型，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：

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

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial \Delta x}{\partial \bar{x}} = \frac{1}{x_s}, \quad c_2 = \frac{\partial \Delta x}{\partial x_s} = -\frac{\bar{x}}{x_s^2}$$

$$\text{则：} \quad u_{\text{crel}}(\Delta x) = \sqrt{\left(\frac{1}{x_s}\right)^2 u^2(\bar{x}) + \left(-\frac{\bar{x}}{x_s^2}\right)^2 u^2(x_s)} \quad (5)$$

测量范围(0~20) $\mu\text{mol/mol}$ ：

校准点 4.11 $\mu\text{mol/mol}$ ： $u_{\text{crel}}=1.75\%$

校准点 10.53 $\mu\text{mol/mol}$ ： $u_{\text{crel}}=1.50\%$

校准点 16.42 $\mu\text{mol/mol}$ ： $u_{\text{crel}}=1.65\%$

6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则各校准点示值误差的相对扩展不确定度按式(6)计算：

$$U_{\text{rel}} = k \times u_{\text{crel}} \quad (6)$$

测量范围(0~20) $\mu\text{mol/mol}$ ：

校准点 4.11 $\mu\text{mol/mol}$ ： $U_{\text{rel}}=3.5\%$, $k=2$

校准点 10.53 $\mu\text{mol/mol}$ ： $U_{\text{rel}}=3.0\%$, $k=2$

校准点 16.42 $\mu\text{mol/mol}$ ： $U_{\text{rel}}=3.3\%$, $k=2$

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，硅烷气体检测报警器的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均接近 1/3,符合要求。

硅烷气体检测报警器最大允许误差为 $\pm 10\%$ ，测量范围：(0~20) $\mu\text{mol/mol}$

校准点	U_{rel}	MPEV	U/MPEV
4.11 $\mu\text{mol/mol}$	3.5%	$\pm 10\%$	1/2.9
10.53 $\mu\text{mol/mol}$	3.0%	$\pm 10\%$	1/3.3
16.42 $\mu\text{mol/mol}$	3.3%	$\pm 10\%$	1/3.0

可见，各校准点的 U/MPEV 结果基本接近 1/3，满足要求。