

冷滤点测定仪校准规范

不确定度分析报告

全国物理化学计量技术委员会MTC17

山东省计量科学研究院

中国计量科学研究院

2023 年 9 月

压力误差测量结果的不确定度评定示例

1 校准方法

校准方法如本规范 7.1。

2 测量模型

压力误差的测量模型见式（1 和 2）：

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

$$\Delta P = 2.00 - \bar{P} \quad (2)$$

式中：

\bar{P} ——3 次测量结果的算术平均值，kPa；

P_i ——第 i 次测量值，kPa；

n ——测量次数， $n=3$ ；

ΔP ——压力误差，kPa；

2.00——测定仪试验规定压力，kPa。

灵敏系数为：

上式中各项互为独立，因此灵敏系数 $c = \frac{\partial \Delta P}{\partial \bar{P}} = -1$ ，故

$$u_c(\Delta P) = \sqrt{[u(\bar{P})]^2} \quad (3)$$

3 输入量的标准不确定度评定

影响压力测量不确定度因素主要有数字压力计准确度引入的不确定度分量和测量重复性引入的不确定度分量。

3.1 数字压力计准确度引入的标准不确定度 u_1

数字压力计检定证书中检定结果为 0.02 级合格，即最大允许误差（按量程的百分数计算）为 $\pm 0.02\%$ ，其测量范围为 $(-10 \sim 10)$ kPa，按均匀分布，取 $k = \sqrt{3}$ ，则数字压力计准确度引入的不确定度按下式计算：

$$u_1 = \frac{0.02\% \times 20}{\sqrt{3}} = 0.0023 \text{ (kPa)} \quad (4)$$

3.2 测量重复性引入的标准不确定度 u_2

冷滤点测定仪抽滤装置压力稳定后,在重复性条件下对压力进行 3 次重复测量,测量数据分别为 1.985 kPa、1.996 kPa 和 1.987 kPa,按照极差法计算其不确定度 u_2 。

$$u_2 = \frac{1.996 - 1.985}{1.69 \times \sqrt{3}} = 0.0038 \text{ (kPa)} \quad (5)$$

4 合成标准不确定度的评定

合成的标准不确定度为:

$$u_c(\Delta P) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} \approx 0.005 \text{ (kPa)} \quad (6)$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$, 压力误差测量结果的扩展不确定度为:

$$U = k \cdot u_c(\Delta P) = 2 \times 0.005 = 0.01 \text{ (kPa)} \quad (7)$$

温度误差测量结果的不确定度评定示例

1 校准方法

校准方法见本规范 7.2。

2 测量模型

温度误差的测量模型见式 (1)：

$$\Delta T = T_0 - \bar{T} - T_x \quad (1)$$

式中：

ΔT ——温度误差，℃；

T_0 ——测定仪温度示值，℃；

\bar{T} ——3 次温度测量结果的算术平均值，℃；

T_x ——温度计在该温度点的修正值，℃。

上式中各项互为独立，因此灵敏系数 $c_1 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_0} = 1$ ， $c_2 = \frac{\partial \Delta T}{\partial \bar{T}} = -1$ ，

$c_3 = \frac{\partial \Delta T}{\partial T_x} = -1$ ；故

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{[u(T_0)]^2 + [u(\bar{T})]^2 + [u(T_x)]^2} \quad (2)$$

3 输入量的标准不确定度评定

3.1 T_0 项引入的标准不确定度 $u(T_0)$

$u(T_0)$ 由测定仪冷浴显示仪表的分辨力引入，其分辨力为 0.1℃，读数区间的半宽度为分辨力的一半，即 $a = \frac{0.1}{2} = 0.05$ (℃)，按照均匀分布，则 T_0 项引入的标准不确定度按下式计算：

$$u(T_0) = \frac{0.05}{\sqrt{3}} = 0.029 \text{ (℃)} \quad (3)$$

3.2 \bar{T} 项引入的标准不确定度 $u(\bar{T})$

$u(\bar{T})$ 主要由测量重复性引入，恒温至 -34.0℃，在重复性条件下对温度进行 3 次重复测量，测量数据分别为 -34.25℃、-34.18℃ 和 -34.36℃，按照极差法计算其不确定度 $u(\bar{T})$ 。

$$u(\bar{T}) = \frac{-34.18 - (-34.36)}{1.69 \times \sqrt{3}} = 0.061 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (5)$$

3.3 T_x 项引入的标准不确定度 $u(T_x)$

$u(T_x)$ 主要由温度计修正值引入的标准不确定度，根据其校准证书在该测量点修正值的不确定度： $U=0.07^{\circ}\text{C}$ ， $k=2$ ，则 T_x 项引入的标准不确定度按下式计算：

$$u(T_x) = \frac{0.07}{2} = 0.035 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (6)$$

4 合成标准不确定度的评定

标准不确定度分量汇总表见表 2：

表 2 标准不确定度汇总表

不确定度分量(x_i)	不确定度来源	$u(x_i)$ 的值	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$
$u(T_0)$	测定仪分辨力引入的不确定度	0.029°C	1	0.029°C
$u(\bar{T})$	温度测量重复性引入的不确定度	0.061°C	-1	0.061°C
$u(T_x)$	温度计修正值引入的不确定度	0.035°C	-1	0.035°C

合成的标准不确定度为：

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{c_1^2 [u(T_0)]^2 + c_2^2 [u(\bar{T})]^2 + c_3^2 [u(T_x)]^2} = 0.08 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (7)$$

5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，冷浴温度误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta T) = 2 \times 0.08 = 0.16 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \quad (8)$$

冷滤点示值误差测量结果的不确定度评定示例

1 校准方法

校准方法如本规范 7.3。

2 测量模型

冷滤点示值误差的测量模型见式 (1)：

$$\Delta T = \bar{T} - T_s \quad (1)$$

式中：

ΔT ——冷滤点示值误差，℃；

\bar{T} ——3 次冷滤点测量结果的算术平均值，℃；

T_s ——冷滤点标准物质标准值，℃。

灵敏系数：

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta T)}{\partial(\bar{T})} = 1 \quad c_2 = \frac{\partial(\Delta T)}{\partial(T_s)} = -1 \quad (2)$$

合成标准不确定度计算公式：

$$[u_c(\Delta T)]^2 = c_1^2 [u(\bar{T})]^2 + c_2^2 [u(T_s)]^2 \quad (3)$$

3 标准不确定度分量一览表

表 1 标准不确定度分量一览表

输入量	不确定度来源	不确定度分量
标准值不确定度 $u(T_s)$	标准物质引入的分量	u_1
测定仪示值不确定度 $u(\bar{T})$	示值重复性引入的分量	u_2
	测试温度间隔引入的分量	u_3

4 标准不确定度分量的评定

4.1 标准物质引入的不确定度分量 u_1

校准所用标准物质的证书上可查到标准值的扩展不确定度和包含因子，以冷滤点标准物质 GBW13248 为例， $U=2.0^\circ\text{C}$ ($k=2$)，则标准物质引入的不确定度分量按下式计算：

$$u_1 = \frac{2.0}{2} = 1.0 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (4)$$

4.2 示值重复性引入不确定度分量 u_2

对标准物质重复测量三次，测量结果分别为-7℃、-7℃和-8℃，用极差法计算示值重复性引入的不确定度分量。则示值重复性引入不确定度分量按下式计算：

$$u_2 = \frac{-7 - (-8)}{1.69 \times \sqrt{3}} = 0.34 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (5)$$

4.3 测试温度间隔引入的不确定度分量 u_3

冷滤点测定仪校准时测试温度间隔为 1℃，即温度每降低 1℃重复操作一次，按均匀分布计算，则测试温度间隔引入的不确定度分量按下式计算：

$$u_3 = \frac{1}{2 \times \sqrt{3}} = 0.29 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (6)$$

4.4 测定仪示值不确定度分量 $u(\bar{T})$

测定仪示值不确定度分量按下式计算：

$$u(\bar{T}) = \sqrt{u_2^2 + u_3^2} \approx 0.5 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (7)$$

5 合成标准不确定度

标准不确定度分量汇总表见表 2：

表 D.2 标准不确定度汇总表

不确定度分量(x_i)	不确定度来源	标准不确定度	灵敏系数 c_i	$ c_i u(x_i)$
$u(T_s)$	标准值引入不确定度	1.0℃	1	1.0℃
$u(\bar{T})$	仪器示值引入不确定度	0.5℃	-1	0.5℃

以上各影响量互相独立，所以示值误差的合成标准不确定度 u_c 为

$$u_c(\Delta T) = \sqrt{c_1^2 [u(\bar{T})]^2 + c_2^2 [u(T_s)]^2} \approx 1.2 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (8)$$

6 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，冷滤点示值误差测量结果的扩展不确定度为：

$$U = k \cdot u_c(\Delta T) = 2 \times 1.2 = 2.4 \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (9)$$