

热值仪校准规范不确定度分析报告

规范起草组

2026 年 9 月

概述

热值仪是在钢铁冶金、石油化工、煤化工等行业测量煤气、人工煤气、天然气等可燃气体热值的仪器。燃烧式热值仪的原理为：将一定量的可燃气体通入热值仪燃烧室内，调节气体压力和流量至合适范围后，使其充分燃烧，通过测温元件测得燃烧前后的温差，同时由振动式密度计等测得测量单元测得燃气的密度或相对密度，计算出气体的热值。

本校准规范根据热值仪的特点，在计量特性中设置了响应时间、示值误差、重复性、稳定性等 4 个校准项目。本报告按照《热值仪校准规范》中规定的示值误差校准过程进行不确定度评定。

热值示值误差测量结果的不确定度评定示例

1 概述

1.1 环境条件:

温度: (5~35) °C; 相对湿度: ≤85%。

1.2 计量标准:

甲烷中乙烷、丙烷、正丁烷、异丁烷、正戊烷、异戊烷、正己烷、二氧化碳、氮混合气体标准物质。

1.3 测量方法:

按照本规范规定的方法进行热值示值误差的校准。

2 测量模型及不确定度计算公式

2.1 测量模型

热值示值误差测量模型见公式 (1):

$$\Delta H_r = \frac{\bar{H} - H_s}{H_s} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

ΔH_r ——示值误差, %;

$\bar{H}$ ——7 次热值测量值的算术平均值, MJ/m³;

H_s ——热值标准值, MJ/m³。

2.2 不确定度传播率

$\bar{H}$ 与 H_s 彼此不相关, 可得出公式 (2):

$$u_c^2(\Delta H_r) = c_1^2 u^2(\bar{H}) + c_2^2 u^2(H_s) \quad (2)$$

灵敏系数为:

$$c_1 = \frac{\partial(\Delta H_r)}{\partial(\bar{H})} = \frac{1}{H_s}, \quad c_2 = \frac{\partial(\Delta H_r)}{\partial(H_s)} = -\frac{\bar{H}}{H_s^2}$$

2.3 不确定度计算公式

仪器示值误差测量不确定度主要来源于测量引入的不确定度和标准值引入的不确定度分量，因各输入量彼此不相关，不确定度可由公式（3）计算：

$$u(\Delta H_r) = \sqrt{\left(\frac{1}{H_s}\right)^2 \cdot u^2(\bar{H}) + \left(-\frac{\bar{H}}{H_s^2}\right)^2 \cdot u^2(H_s)} \quad (3)$$

式中： $u(\Delta H_r)$ 、 $u(\bar{H})$ 、 $u(H_s)$ 分别为示值误差的不确定度、测量值引入的不确定度和标准值引入的不确定度。

3 标准不确定度分量的评定

3.1 测量值引入的不确定度分量

测量值引入的不确定度主要来源于有两方面：因重复测量引入的不确定度分量和因仪器分辨率引入的不确定度分量，由于在实际测量中，仪器分辨率引入的不确定度分量远小于因重复测量引入的不确定度分量，可忽略不计。因此，可认为因重复测量引入的不确定度就是测量值引入的不确定度。

在校准过程中，分别选择热值为 32.32 MJ/m³ 和 37.35 MJ/m³ 的气体标准物质，按照本规范规定的方法通入气体标准物质待示值稳定后，间隔时间 30 s，连续记录仪器示值 7 次，并按照公式（4）评估不确定度分量，测量数据及评估过程见表 1。

$$u(\bar{H}) = s / \sqrt{n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n-1}} / \sqrt{n} \quad (4)$$

表 1 测量值引入的不确定度分量评定表

标准值 (MJ/m ³)	测量值 (MJ/m ³)							平均值 (MJ/m ³)	示值误差 (%)	$u(\bar{H})$ (MJ/m ³)
32.32	32.36	32.38	32.40	32.39	32.46	32.42	32.47	32.41	0.28	0.016
37.35	37.48	37.43	37.51	37.45	37.47	37.49	37.52	37.48	0.34	0.013

3.2 标准值引入的不确定度分量

标准值引入的不确定度分量按照本标准附录 C 计算，3 种气体标准物质热值的标准不确定度分别为 0.017 MJ/m³ 和 0.028 MJ/m³。

3.3 标准不确定度合成

按公式（3）计算各校准点的标准不确定度，计算过程及结果见表 2。

表 2 标准不确定度计算

标准值 (MJ/m ³)	$1/H_s$ (m ³ /MJ)	$u(\overline{H})$ (MJ/m ³)	$-\overline{H}/H_s^2$ (m ³ /MJ)	$u(H_s)$ (MJ/m ³)	$u(\Delta H_r)$ (%)
32.32	0.031	0.016	0.031	0.017	0.072
37.35	0.027	0.013	0.027	0.028	0.082

3.4 扩展不确定度 U

取包含因子 $k=2$ ，示值误差校准结果的扩展不确定度为：

标准值 (MJ/m ³)	示值误差 (%)	U (%)
32.32	0.28	0.15
37.35	0.34	0.17