

黑碳监测仪（光学衰减法）校准规范 不确定度评定报告

2024 年 09 月

黑碳监测仪（光学衰减法）示值误差测量结果的不确定度评定报告

1 概述

- 1.1 校准方法：按照本校准规范对分析仪进行校准。
- 1.2 环境条件：符合本校准规范规定的环境条件。
- 1.4 被校仪器：黑碳监测仪（光学衰减法）。

2 不确定度评定分析

2.1 测量模型

示值误差测量模型：

$$\delta_c = \frac{C_c - C_R}{R} \quad (1)$$

式中：

δ_c ——被校仪器的示值误差，%；

C_c ——被校仪器的黑碳浓度示值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

C_R ——参考黑碳监测仪的黑碳浓度示值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；

R——仪器量程值， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

2.2 不确定度来源

影响示值测量不确定度的因素有：

- 校准装置黑碳气溶胶发生浓度的不稳定性；
- 气溶胶分流器通道偏差；
- 参考黑碳监测仪引入的不确定度；
- 测量重复性引入的不确定度，包括：环境条件、人员操作、流量控制以及仪器的变动性等各种随机因素。

2.3 标准不确定度评定

2.3.1 被校黑碳监测仪的测量重复性引入的相对标准不确定度 $u_r(C_c)$

采用不确定度的 A 类评定

$$u_r(C_c) = \frac{s(C_c)}{C_c \sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^6 (C_n - \bar{C}_c)^2}{n-1}}}{C_c \sqrt{n}} \quad (2)$$

表1 被校黑碳监测仪6次重复测量黑碳浓度值

标准浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	测量浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)						重复性 (%)	相对标准 不确定度 $u_r(C_c)$ (%)
	1	2	3	4	5	6		
20	17.864	21.004	22.095	19.799	19.397	18.285	8.137	3.32
60	57.981	56.566	64.219	60.07	65.902	56.883	6.544	2.67
90	82.357	81.293	83.766	91.818	94.629	91.332	6.524	2.66

2.3.2 标准装置黑碳浓度不稳定性引入的不确定度 $u_r(C_R)_1$

黑碳浓度不稳定性引入的不确定度采用 A 类不确定度评定

$$u_r(C_R)_1 = \frac{s(C_s)}{C_s \times \sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{n=1}^6 (C_s^n - \bar{C}_s)^2}{n-1}}}{C_s \times \sqrt{n}} \quad (3)$$

表2 标准黑碳监测仪6次重复测量黑碳浓度值

浓度值 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	测量次数						稳定性 (%)	相对标准 不确定度 $u_r(C_R)_1$ (%)
	1	2	3	4	5	6		
20	19.586	20.899	20.591	19.667	21.598	19.884	3.916	1.60
60	59.62	62.272	59.216	57.196	57.428	57.509	3.310	1.35
90	83.935	93.893	87.822	94.975	94.701	90.481	4.870	1.99

2.3.3 气溶胶分流器偏差 β 引入的不确定度 $u_r(\beta)$

经国家法定计量检测机构校准，气溶胶分流器的通道偏差 β 为 0.9995，相对标准不确定度 $u_r(\beta) = 0.86\%$ 。

2.3.4 参考黑碳监测仪示值引入的相对标准不确定度 $u_r(\delta_r)$

根据校准规范要求，参考黑碳监测仪采用黑碳浓度标准测量方法（滤膜称重法）进行校准，其测量结果的不确定度与标准装置黑碳浓度不稳定性、滤膜采样器流量不稳定性、电子天平称量不确定度、气溶胶分流器偏差 β 引入的不确定度有关。因此，参考黑碳监测仪示值引入的相对标准不确定度 $u_r(C_R)$ 根据公式（4）进行计算。

$$u_r(\delta_R) = \sqrt{u_r^2(C_R)_1 + u_r^2(V) + u_r^2(M) + u_r^2(\beta)} \quad (4)$$

其中，经国家法定计量检测机构校准，滤膜采样器在（0.1~20）L/min 的采样流量范围内，最大允许误差为 $\pm 1.7\%$ ，参照不确定度的 B 类评定，假设符合均匀分布，相对标准不确定度 $u_r(V) = 1.7\%/\sqrt{3} = 1.0\%$ ；经国家法定计量检测机构校准，相对标准不确定度 $u_r(M) = 0.01\%$ 。 $u_r(C_R)_1$ 和 $u_r(\beta)$ 的值可参考 2.3.2 和 2.3.3。

因此，当黑碳气溶胶浓度为 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $u_r(\delta_R) = 2.06\%$ ；

当黑碳气溶胶浓度为 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $u_r(\delta_R) = 1.88\%$ ；

当黑碳气溶胶浓度为 $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $u_r(\delta_R) = 2.38\%$ 。

2.3.5 被校黑碳监测仪示值误差相对标准不确定度 $u_r(\delta_c)$

$$u_r(\delta_c) = \sqrt{u_r(C_c)^2 + u_r(C_R)^2 + u_r(C_R)_1^2 + u_r(\beta)^2} \quad (5)$$

因此，当黑碳气溶胶浓度为 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $u_r(\delta_c) = 4.31\%$ ；

当黑碳气溶胶浓度为 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $u_r(\delta_c) = 3.64\%$ ；

当黑碳气溶胶浓度为 $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $u_r(\delta_c) = 4.18\%$ ；

取包含因子 $k=2$ ，被校黑碳监测仪示值误差的相对扩展不确定度：

$$U_{\text{rel}}(\delta_c) = 2 \cdot u_{\text{rel}}(\delta_c) \quad (6)$$

因此，当黑碳气溶胶浓度为 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $U_{\text{rel}}(\delta_c) = 8.6\%$ ；

当黑碳气溶胶浓度为 $60\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $U_{\text{rel}}(\delta_c) = 7.3\%$ ；

当黑碳气溶胶浓度为 $90\mu\text{g}/\text{m}^3$ 时， $U_{\text{rel}}(\delta_c) = 8.4\%$ 。