

滤膜自动称量装置测量不确定度评定

□阮秋实 徐晓峰 陈斌

江苏省计量科学研究院（江苏省能源计量数据中心）

【摘 要】滤膜自动称量装置能够对滤膜、采样头、采样滤筒等样品进行全自动称重测量，包括滤膜自动称重系统、自动滤膜（滤筒）平衡称量系统、全自动恒温恒湿称量系统等模块的校准。滤膜自动称量装置的准确性需要通过计量校准来保证，本文主要介绍了该装置衡量仪器测量不确定度评定。

【关键词】滤膜；称量；不确定度；测量

文献标识码：A

文章编号：1003-1870（2026）04-0033-03

Evaluation of Measurement Uncertainty for an Automatic Filter Weighing Device

【Abstract】An automatic filter weighing device is capable of fully automated weighing of samples such as filters, sampling heads, and sampling thimbles. This encompasses the calibration of various system configurations, including automatic filter weighing systems, automatic filter (thimble) conditioning and weighing systems, fully automatic constant temperature and humidity weighing systems, and constant temperature and humidity automatic weighing systems. The accuracy of automatic filter weighing devices needs to be assured through metrological calibration. This paper focuses on the evaluation of measurement uncertainty for the weighing instrument used in such devices.

【Keywords】filter; weighing; uncertainty; measurement

引言

滤膜自动称量装置（以下简称称重装置）是通过自动称量采样前后存放在滤膜储存架上的滤膜、采样头、采样滤筒等样品的质量，根据差值得出颗粒物质量。颗粒物质量当与空气流量采样设备的采样体积相结合，还可计算出颗粒物的质量浓度。称量装置通常主要由衡量仪器、滤膜储存架、机械臂、读码设备、去静电设备、恒温恒湿机柜等部分组

成，其结构示意图如下页图1所示。滤膜储存架中的储存工位通常有两种尺寸类型，一种用于存放直径47 mm 滤膜的工位，另一种用于存放直径90 mm 滤膜的工位。因此，如何对称量装置进行有效的量值溯源，保证计量的准确性显得至关重要，进而完善计量体系建设，服务高质量发展。本论文主要介绍称量装置的衡量仪器测量不确定度的评定。

项目来源：江苏省市场监管重点实验室（负荷传感器计量）

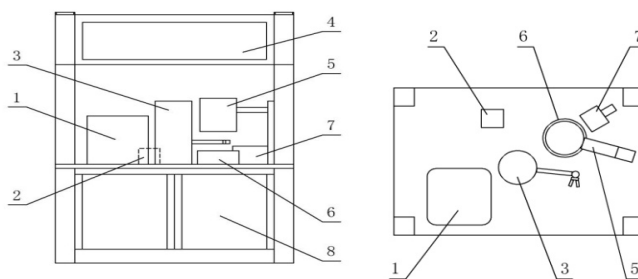


图1 滤膜自动称量装置结构示意图

1—滤膜储存架；2—读码设备（可选）；3—机械臂；4—恒温恒湿机柜（可选）；
5—防风罩；6—衡量仪器；7—去静电设备（可选）；8—控制系统

1 测量方法

衡量仪器示值误差进行测量，按公式（1）计算示值误差。

2 测量模型

$$E = I - m_{\text{ref}} \quad (1)$$

式中：

E ——示值误差；

I ——衡量仪器示值；

m_{ref} ——砝码的参考质量值。

参考质量值可以是标称值，也可以是约定质量值。

3 合成标准不确定度计算公式

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(I) + u^2(m_{\text{ref}})} \quad (2)$$

4 标准不确定度评定

4.1 衡量仪器示值引入的标准不确定度 $u(I)$

4.1.1 空载示值的化整误差引入的标准不确定度 $u(\delta I_0)$

δI_0 表示空载示值的化整误差，其区间半宽度为 $d_0/2$ ，服从矩形分布：

$$u(\delta I_0) = d_0/2\sqrt{3} \quad (3)$$

4.1.2 加载示值的化整误差引入的标准不确定度 $u(\delta I_L)$

δI_L 表示加载示值的化整误差，其区间半宽度为 $d_L/2$ ，服从矩形分布：

$$u(\delta I_L) = d_L/2\sqrt{3} \quad (4)$$

4.1.3 重复性引入的标准不确定度 $u(\delta I_{\text{rep}})$

δI_{rep} 表示衡量仪器重复性，用实验标准偏差 s 表示，则：

$$u(\delta I_{\text{rep}}) = s \quad (5)$$

如果只进行一组重复性测量，则该测量重复性

引入的标准不确定度可代表衡量仪器整个量程的重复性引入的标准不确定度。

4.1.4 衡量仪器示值引入的标准不确定度 $u(I)$ 的计算

$$u(I) = \sqrt{u^2(\delta I_0) + u^2(\delta I_L) + u^2(\delta I_{\text{rep}})} \quad (6)$$

4.2 砝码引入的标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$

4.2.1 砝码参考质量值的标准不确定度 $u_1(m_{\text{ref}})$

4.2.1.1 如果砝码校准证书中给出了砝码的约定质量、扩展不确定度 U 和包含因子 k ，则：

$$u_1(m_{\text{ref}}) = U/k \quad (7)$$

4.2.1.2 如果砝码有检定证书，且在校准滤膜自动称量装置过程中仅使用砝码的标称值 m_N ，砝码的最大允许允差为 MPE ，服从矩形分布：

$$u_1(m_{\text{ref}}) = |\text{MPE}|/\sqrt{3} \quad (8)$$

4.2.1.3 如果砝码有检定证书，且在校准滤膜自动称量装置过程中仅使用砝码的约定质量值，砝码的最大允许允差为 MPE ，则：

$$u_1(m_{\text{ref}}) = |\text{MPE}|/6 \quad (9)$$

4.2.2 砝码不稳定性引入的标准不确定度 $u_2(m_{\text{ref}})$

4.2.2.1 砝码的不稳定性引入的不确定度可以从对砝码近期连续多次检定/校准之后的质量变化中估计出来。可采用最近两个检定/校准周期中砝码约定质量值的差值或近期连续多次检定/校准周期中砝码约定质量值的差值的平均值。

4.2.2.2 在没有砝码不稳定性信息的情况下，砝码的不稳定性按 JJG 99-2026《砝码检定规程》，砝码相邻两个周期的测量结果之差不得超过其最大允许误差 MPE 的 $1/3$ ，服从矩形分布：

$$u_2(m_{\text{ref}}) = |\text{MPE}|/3\sqrt{3} \quad (10)$$

4.2.3 空气浮力引入的标准不确定度 $u_3(m_{\text{ref}})$

4.2.3.1 如果在校准之前对衡量仪器进行调整，空气浮力引入的标准不确定度为：

$$u_3(m_{\text{ref}}) \approx |\text{MPE}|/4\sqrt{3} \quad (11)$$

4.2.3.2 如果在校准之前不对衡量仪器进行调整，空气浮力引入的标准不确定度为：

$$u_3(m_{\text{ref}}) \approx (1.5 \times 10^{-5} m_N + |\text{MPE}|/4)/\sqrt{3} \quad (12)$$

4.2.3.3 如果可以获得称量装置内部在校准期间的温度变化信息，则公式（12）可以替换为：

$$u_3(m_{\text{ref}}) \approx 1.5 \times 10^{-4} \sqrt{1.07 \times 10^{-4} + 1.33 \times 10^{-6} K^{-2} \Delta T^2} \times m_N + |\text{MPE}|/4\sqrt{3} \quad (13)$$

式中， K 为温度的单位， ΔT 为称量装置内部环境温度温度的最大变化。

注：

①1 公式(11)、(12) 和(13) 引用 自JJF 1847-2020 《电子天平校准规程》。

②可根据实际空气密度对空气浮力引入的标准不确定度进行评定。

4.2.4 砝码引入的标准不确定度 $u(m_{\text{ref}})$ 的计算

$$u(m_{\text{ref}}) = \sqrt{u_1^2(m_{\text{ref}}) + u_2^2(m_{\text{ref}}) + u_3^2(m_{\text{ref}})} \quad (14)$$

5 合成标准不确定度 $u_c(E)$ 的计算

$$u_c(E) = \sqrt{u^2(I) + u^2(m_{\text{ref}})} \quad (15)$$

6 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为：

$$U = k \times u_c(E) \quad (16)$$

参考文献

[1] JJF 1847-2020 《电子天平校准规程》[S]. 中国质检出版社.

[2] JJG 99-2006 《砝码检定规程》[S]. 中国计量出版社.

[3] JJF 1059.1-2012 《测量不确定度评定与表示》[S]. 中国计量出版社.

作者简介

阮秋实，一级注册计量师，工程师。研究方向：力学计量。