

滤膜自动称量装置校准方法研究

□傅忆宾¹ 徐晓峰² 黄泽锦¹ 刘仲炜¹

(1. 广州计量检测技术研究院, 广州 510663;

2. 江苏省计量科学研究院, 南京 210023)

【摘要】滤膜自动称量装置自动称量采集在滤膜上大气颗粒物的质量, 是可对称量的样品自动进行取放、去静电、称量的全自动智能仪器。本文根据滤膜自动称量装置的计量特性, 提出利用装置自有的机械臂和输送设备, 采用相应准确度等级的适用于滤膜自动称量装置内部结构的专用标准砝码, 通过自动加载卸载的方式对滤膜自动称量装置进行称重计量性能的校准。

【关键词】滤膜; 滤膜储存盘; 示值误差; 重复性

文献标识码: B

文章编号: 1003-1870 (2023) 10-0016-04

引言

滤膜自动称量装置是具有恒温恒湿、去静电、防震、滤膜自动识别和自动取放等功能的封闭式全自动智能称重仪器。它通过机械臂及输送设备, 自动称量对大气颗粒物采样前后的滤膜质量, 根据差值得出颗粒物质量, 再与空气流量采样设备的采样体积相结合, 可计算出PM2.5和PM10等颗粒物的质量浓度^[1-3]。随着国家层面实施“碳达峰”和“碳中和”要求, 空气颗粒物检测工作量逐年不断增大, 大量的滤膜需要称量和分析, 因而手工称量已经不能满足工作要求, 滤膜自动称量装置逐步开始普及使用, 特别是在环境监测和自然资源部门。

我国针对滤膜自动称量装置目前还没有计量技术规范, 但大量国产和进口的此类仪器已在普及使用。计量检定校准机构、仪器生产商和使用者(包括各级环境监测站等检验检测机构)没有一个统一明确的技术规范作为标准, 各自使用自编方法, 造成很多技术要求和测量结果不一致。目前大量机构的校准方法是参照电子天平国家检定规程^[4]和校准规范^[5], 对滤膜自动称量装置的衡量仪器进行校准。但一方面衡量仪器内置在整个装置的内部, 人工手动方式难以把

标准砝码加载到衡量仪器秤盘上。即使能把砝码加载到秤盘上, 由于秤盘的结构形状主要用于承载滤膜, 常规国际建议形状的标准砝码难以平稳放置在秤盘上, 并且采用这种方式, 需要频繁开启称量装置的仓门, 造成校准环境条件与实际工作环境条件不相符。目前部分设备甚至需要把衡量仪器和显示仪表拆卸出称量装置外部进行校准, 给使用带来极大不便。

为此, 本文特提出一种利用滤膜自动称量装置的机械臂及输送设备, 采用相应准确度等级的适用于滤膜自动称量装置内部结构的专用标准砝码, 对滤膜自动称量装置进行称重计量性能测量的校准方法。专用标准砝码放置在称量装置内部的任一滤膜库位上, 在称量装置常规工作条件下, 通过机械臂和输送设备, 全自动把砝码加载到衡量仪器的承载器上, 再自动卸载放回滤膜库位, 从而实现校准过程无需人工干预。

1 滤膜自动称量装置的机械结构

滤膜自动称量装置(以下简称称量装置)的机械结构如图1所示, 主要由衡量仪器、滤膜储存架、机械臂及滤膜输送设备、去静电设备、恒温恒湿机柜

等部分组成。

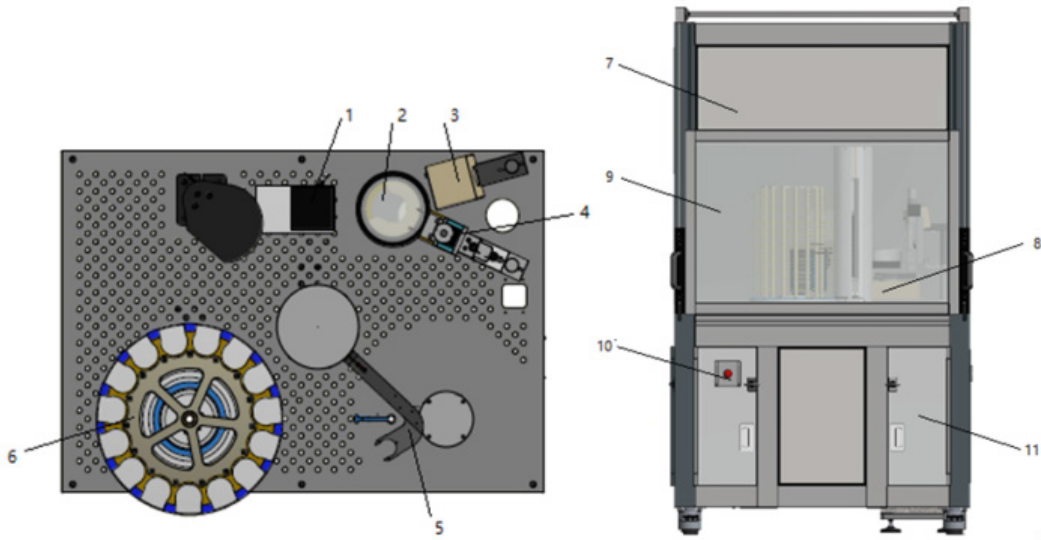


图1 称量装置机械结构示意图

1—读码设备, 2—衡量仪器, 3—去静电设备, 4—防风罩, 5—机械臂, 6—滤膜储存架, 7—恒温恒湿一体式机柜, 8—称重工作台, 9—仓门, 10—电源开关, 11—控制系统

滤膜储存架是称量装置中存放滤膜的架子, 通常有两种类型, 一种用于存放直径47mm 的滤膜, 另一种用于存放直径90mm 的滤膜。每个滤膜储存架可包含多层滤膜储存盘, 每层滤膜储存盘具有多个存放滤膜的库位。滤膜储存盘通过滤膜储存架带动能自动转动, 把相应库位转移到固定位置让机械臂提取和存放滤膜。

2 计量特性

2.1 衡量仪器示值误差: 任何单次测量的示值与对应输入砝码的参考量值之差。

2.2 衡量仪器重复性: 以质量为单位的、在重复性条件下, 以实际一致的方法将同一载荷多次地放置在衡量仪器的承载器上, 衡量仪器提供相互一致结果的能力, 用实验标准偏差来表示。

3 校准条件

3.1 环境条件

参照HJ 618《环境空气PM10和PM2.5的测定重量法》的相关要求, 称量装置内部环境温度: (15 ~ 30) °C, 校准期间温度最大变化不应超过1°C。称量装置内部相对湿度: (45 ~ 55) %, 校准期间相对湿度最大变化不应超过5%。

称量装置应安装在远离门窗、热源、避免阳光

直射的地基上, 并用冷光灯照明; 地基应平整、坚固, 且具有良好的刚度及防振功能。称量装置实验室内应避免有侵蚀性气体。

3.2 标准砝码

标准砝码的结构尺寸应能保证平稳放置在滤膜储存盘的滤膜库位和衡量仪器的承载器上, 从而实现通过机械臂和传动装置自动加载和卸载。由于滤膜库位是空心环状结构, 直径至少47 mm, 因此标准砝码(特别是毫克组的砝码)的形状结构有别于常规国际建议形状的砝码^[6], 如图2所示。

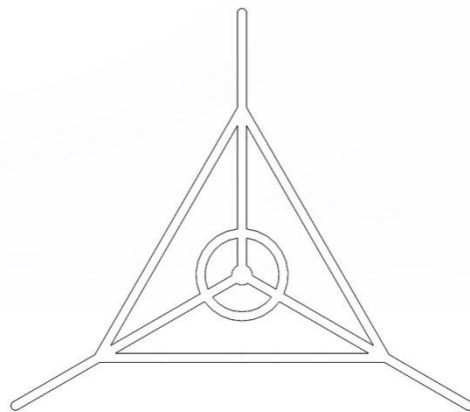


图2 一种标准砝码结构示意图

标准砝码的准确度等级选择见表1，其材料、磁性、密度应符合JJG 99 砝码检定规程要求。

表1 砝码的选择

Max (最大称量) /d (实际分度值)	砝码的选择
1 000 000 < Max/d	选择E ₂ 等级及以上的砝码
150 000 < Max/d ≤ 1 000 000	选择F ₁ 等级及以上的砝码

3.3 其它有关测量用计量器具

温度计：最大允许误差 ± 0.2℃；湿度计：最大允许误差 ± 2%RH。

4 校准项目和校准方法

4.1 校准项目

衡量仪器示值误差。

4.2 校准方法

4.2.1 校准前准备工作

4.2.1.1 称量装置内部温度设置在 (15 ~ 30)℃ 内任一点，通常设置20.0℃；相对湿度设置在50%。

4.2.1.2 称量装置在校准之前应经过适当时间的通电，如称量装置说明书规定的预热时间，或用户设定的时间。若无上述规定，则称量装置预热时间不少于2小时。

4.2.1.3 功能性检查

对每层滤膜储存盘，在其任一滤膜库位放置500 mg 的标准砝码，使用称重装置的机械臂把标准砝码自动加载到衡量仪器的承载器上，待衡量仪器示值稳定后，再自动卸载放置回原滤膜库位。自动加载、卸载过程应正常运行，无机械故障情况出现。

4.2.2 衡量仪器示值误差的测量

任选一层滤膜储存盘，在其任意滤膜库位分别放置至少5个不同的试验载荷，其中应包括100 mg、200 mg、500 mg、接近50% 最大称量、最大称量或接近最大称量。根据用户的需求可调整试验载荷测量点。

注：对于存放直径>47 mm 滤膜的滤膜储存盘，试验载荷无需包括100mg 和200mg。

在测量之前，应将衡量仪器示值设置为零，然后使用称重装置的机械臂把试验载荷从零载荷顺序增加至最大称量，依次放置在衡量仪器的承载器

上。在测量过程中的每一步都必须采用自动加载方式，不可人工干预测量过程。在测量过程中的每一步自动卸载载荷放回原滤膜库位后需检查零点，如果零点示值不为零，应将示值设置为零。衡量仪器示值只有在稳定的情况下才可读取和记录。

对于每一个试验载荷，按公式 (1) 计算示值误差：

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

式中：

E ——示值误差；

I ——显示值；

m_{ref} ——砝码的参考质量值。

注：参考质量值可以是标称值；也可以是约定质量值。

4.2.3 衡量仪器重复性的测量

在重复性条件下，以实际一致的方法使用称重装置的机械臂，将同一载荷多次地从4.2.2 选取的滤膜储存盘的同—滤膜库位，放置到衡量仪器的承载器上。通常试验载荷选择接近50% 最大称量的单个砝码。如用户有特殊需求，可调整试验载荷测试点。

在测量之前，将衡量仪器示值置零，加载试验载荷至少10次。在测量过程中的每一步都必须采用自动加载方式，不可人工干预测量过程。每次加载载荷时，待衡量仪器示值稳定后记录示值。测量中每次自动卸载后，应检查示值，如果显示不为零，应置零。根据重复性测量点试验载荷，用公式 (2) 计算实验标准偏差 s 作为重复性的表征。

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} \quad (2)$$

式中：

s ——实验标准偏差；

I_i ——第 i 个载荷显示值；

\bar{I} —— n 个显示值的平均值。

5 重复性测量实例

被校准的称量装置衡量仪器的实际分度值 d 为 0.001 mg，对称量装置4个放置直径47 mm 滤膜的滤膜存储盘，分别任选其中一个库位，按本文3.2 要求使用同一个100 mg 标准砝码（密度为7.98 g/cm³ 的无磁不锈钢材料），按本文4.2.3 进行测量，测得重复

性实验标准偏差 s 如表2所示。

表2 衡量仪器重复性测量（自动加载方式）

单位：mg

次数1	次数2	次数3	次数4	次数5	次数6	次数7	次数8	次数9	次数10	平均值	重复性标准差 s
99.998	100.000	99.997	100.001	100.000	100.000	100.001	100.001	100.000	100.001	99.9999	0.0014
100.000	100.001	100.000	100.000	100.001	100.000	99.999	100.001	99.999	99.999	100.0000	0.0008
100.000	100.000	100.001	99.999	100.000	100.001	100.001	100.002	100.002	100.001	100.0007	0.0009
99.998	100.000	99.999	99.999	100.000	100.000	100.001	99.999	100.001	100.000	99.9997	0.0009

在同一校准环境条件下，采用人工手动加载同一标准砝码到衡量仪器的方式，测出重复性测量数据如表3所示。

表3 衡量仪器重复性测量（人工手动加载方式）

单位：mg

次数1	次数2	次数3	次数4	次数5	次数6	次数7	次数8	次数9	次数10	平均值	重复性标准差 s
100.000	100.000	100.002	100.001	100.000	100.000	100.001	100.001	100.002	100.000	100.0007	0.0008

从上述测量结果可以看出，从不同滤膜库位提取标准砝码自动加载到衡量仪器上，测出的重复性与人工手动加载的方式无明显区别。

6 结论

本文提出设计一种适用于滤膜自动称量装置内部结构的专用标准砝码，使用自动加载卸载的方式，实现对称量装置的衡量仪器示值误差和重复性的校准，校准过程无需人工干预。本文提出的校准方法，首先对每层滤膜储存盘进行功能性检查，确保自动加载、卸载过程应正常运行，无机械故障情况出现。随后任选一层滤膜储存盘提取标准砝码，进行衡量装置的示值误差和重复性的测量。该方法无需对每个滤膜库位提取多个不同规格的标准砝码进行测量，能高效体现出被校对象的计量特性。目前滤膜自动称量装置最多可配置750个滤膜库位，若从每个库位提取标准砝码进行衡量仪器的示值误差和重复性测量，校准所需时间超过10天，设备使用方无法接受，显然不具备可操作性，从技术层面分析也不具备必要性。

目前常见的滤膜直径为47 mm和90 mm，滤膜的质量最小约为100 mg，本文提出的试验载荷砝码最小规格为100 mg。如果放置在滤膜库位的砝码质量小于100 mg，采用常用制造砝码的无磁不锈钢材料，较难加工制作。若要对衡量仪器50 mg以下的载荷点进行

校准，有必要采用密度比不锈钢小的材料制作的标准砝码，但其稳定性能否达到E2和E1等级砝码的要求，会否因为硬度不够造成容易变形，从而在自动加载卸载过程中造成称量装置出现机械故障、砝码溯源的测量不确定度是否较大，还值得今后研究探讨。

参考文献

- [1] HJ 618-2011《环境空气PM10和PM2.5的测定重量法》[S].
- [2] HJ 656-2013《环境空气颗粒物（PM2.5）手工监测方法（重量法）技术规范》[S].
- [3] EN 12341 Ambient air – Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM10 or PM2,5 mass concentration of suspended particulate matter) [S].
- [4] JJG 1036-2008《电子天平》检定规程[S].
- [5] JJF1847-2020《电子天平校准规范》[S].
- [6] JJG 99-2006《砝码》检定规程[S].

作者简介

傅忆宾，男，高级工程师，现供职于广州计量检测技术研究院。主要研究方向：力学计量检测。