

T/CSMT

团 体 标 准

T/CSMT- XXXX—2025

机载被动腔气溶胶光谱仪校准规范

Metrological Calibration Specification for Airborne Passive Cavity Aerosol Spectrometers

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国计量测试学会 发 布

目 录

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国计量测试学会提出。

本文件由中国计量测试学会归口。

本文件起草单位：河北省人工影响天气中心、山西省人工影响天气中心、杭州浅海科技有限责任公司、中国计量测试学会河北办事处

本文件主要起草人：刘志涛、杨洋、黄毅、崔毅、周建林、李政昊、杨永龙、刘树馨、李林、王小终。

机载被动腔气溶胶光谱仪校准规范

1 范围

本文件规定了被动腔气溶胶光谱仪（PCASP）的校准的条件、方法、复校时间间隔及结果表达。
本文件适用于机载被动腔气溶胶光谱仪（PCASP）的校准。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

本规范引用了下列文件

JJF 1001-2011通用计量术语及定义

JJF1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

使用本规范时，应注意使用上述引用文献的现行有效版本。

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

峰值粒径

粒径分布图谱中，颗粒数量出现频率最高（即峰值位置）所对应的粒径大小。它反映了样品中占比最多的颗粒的尺寸特征。

4 概述

机载被动腔气溶胶光谱仪是一种机载光学光谱仪，可测量直径在（0.10~3.0） μm 范围内的气溶胶粒子。常用于飞机对大气气溶胶粒子的探测。该设备采用前向散射光谱技术，激光由氦氖无源腔激光发生器产生固定波长的激光束，粒子谱共分为间隔不完全相同的测量通道，可以探测直径在（0.10~3.0） μm 范围内的气溶胶粒子。实验室用PLS标准粒子模拟不同直径的气溶胶颗粒通过设备采样区，来判定机载设备对不同粒径颗粒的测量的准确度。

5 计量性能要求

粒径测量示值误差率： $\leq \pm 15\%$

测量重复性： $\leq 15\%$

6 校准条件

6.1

校准环境

a) 温度：（20~30） $^{\circ}\text{C}$ ；

b) 相对湿度： $\leq 80\%$ ；

c) 校准需要在 $\geq 0.5\mu\text{m}$ 的粒子数不超过 350 万个， ≥ 5 微米的粒子数不超过 2 万个的无尘室内进行。无尘室与非无尘室之间的压差要 $\geq 10\text{Pa}$ 。

d) 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

6.2

测量标准及其他设备

a) 粒径标准物质：应使用国家有证标准物质，并在有效期内使用，具体要求如表 1所示。

表 1 标准粒子计量参数表

单位： μ m

序号	标准粒子直径	扩展不确定度 (k=2)
1	0. 20	≤0. 006
2	0. 40	≤0. 012
3	0. 80	≤0. 014

7 校准方法

7. 1

峰值粒径误差率

按要求连接好被校仪器、气溶胶发生器、测试电源、工作站，PCASP仪器校准设备连接示意图如图1。根据各设备使用要求，开机预热正常运行不少于30min。排空气溶胶发生器，滴入0. 2 μ m标准粒子溶液1mL，打开气溶胶发生器，稳定3分钟后，读取标准粒子峰值粒径示值，按照公式（1）计算采样粒子直径示值误差，重复上述测量过程6次，取前3次测量值得到的示值误差的平均值作为测量结果。测量结果与标准粒子标称直径之比百分率为峰值粒径误差率，计算方法见公式（2）。

其他0. 4 μ m、0. 8 μ m 粒子分别按照上述步骤进行操作，并按照式（1）分别计算结果。

$$\Delta D = D_m - D_s \tag{1}$$

式中： ΔD——标准粒径的示值误差（μm）；
D_m—— 被校标准粒径示值（μm）；
D_s—— 标准粒子标称粒径（μm）。

$$\delta_D = \overline{\Delta D} / D_s \times 100\% \tag{2}$$

式中： δ_D——峰值直径误差率；
ΔD ——3次示值误差平均值。

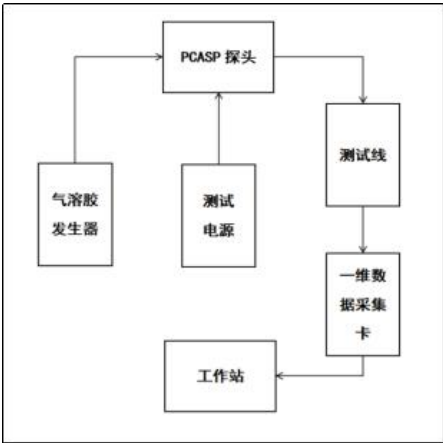


图 1 PCASP 校准设备连接示意图

7. 2

峰值粒径测量重复性

依据7. 1标准粒子峰值粒径的测量结果，按照公式（2）分别计算不同直径标准粒子的峰值粒径的重复性。

$$S_{rD} = \frac{1}{\overline{D}_S} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_{Si} - \overline{D}_S)^2}{5}} \times 100\%$$

在此处键入公式。

(2)

式中：

S_{rD} ---采样气体峰值粒径重复性；

D_{Si} ——第*i*次测量时的标准峰值粒径值， μ m；

$\overline{D}_S$ ——6次测量的6个峰值粒径值的算数平均值， μ m；

8 复校时间间隔

仪器复校时间间隔由使用者根据仪器的使用情况、仪器本身性能等因素所决定，推荐复校时间间隔不超过半年。在相邻两次校准期间，如对仪器的检测数据有怀疑或仪器更换主要部件及修理后，应对仪器重新校准。

9 校准结果表达

经校准后的机载被动腔气溶胶光谱仪，应当出具校准证书，校准证书应符合JJF1071的要求，机载被动腔气溶胶光谱仪校准的原始记录推荐格式见附录B, 校准证书内页的推荐格式见附录C, 不确定度评判示例参见附录D。

附 录 B
(资料性)
机载被动腔气溶胶光谱仪校准证书（内页）格式(参考)

单位：μm

标准粒子 粒径	测量峰值粒径值						平均值	示值误差%	重复性%	测量不确定度 <i>U(k=2)</i>
0.2										
0.4										
0.8										

附录 C
(资料性)

机载被动式气溶胶光谱仪不确定度评定实例

C.1 粒径测量结果的不确定度评定

C.1.1 数学模型

根据规范中给出的颗粒粒径的误差测量方法可以得出：

$$\Delta D = D_m - D_s$$

式中： ΔD ——标准粒径的示值误差（ μm ）；
 D_m —— 被校标准粒径示值（ μm ）；
 D_s —— 标准粒子标称粒径（ μm ）。

C.1.2 不确定度来源分析

C.1.2.1 测量重复性引入的不确定度分量 u_1

C.1.2.2 标准粒子值误差引入的不确定度分量 u_2 ；

C.1.3 0.2 μm 标准颗粒的标准不确定度 的评定。

C.1.3.1 测量重复性引入的不确定度 u_1 的评定

在重复性条件下，使用标准粒子校准方法对 0.2 μm 的标准粒子的直径进行 10 次测量，测量结果如下表：

单位： μm

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
实测值	0.18	0.20	0.20	0.22	0.20	0.22	0.20	0.22	0.22	0.20

由重复测量引入的测量不确定度属于 A 类标准不确定度，根据标准贝塞尔公式计算得到，单个测量值的实验室标准偏差

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \approx 0.0133 \mu\text{m}$$

在实际测量中，取三次平均值作为结果，所以

$$u_1 = \frac{s}{\sqrt{3}} = 0.008 \mu\text{m}$$

C.1.3.2 标准粒子出厂误差引入的不确定度 u_2 的评定。

由输入量引入的标准不确定度是由标准粒子允许误差引入，使用B类方法评定，标准粒子在0.2 μm 扩展不确定度为0.003 μm ：

C. 1. 3. 3 合成标准不确定度的评定

标准不确定度分量	不确定度来源	标准不确定度
u_1	重复性测量引入的测量不确定度分量	0. 008 μ m
u_2	标准粒子误差引入的测量不确定度分量	0. 006 μ m

输入量 u_1 与 u_2 彼此独立不相关，所以合成不确定度可按下式得到：

$$u = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = \sqrt{0.008^2 + 0.006^2} = 0.010 \mu m$$

测量结果扩展不确定度为： $U = ku = 2 \times 0.010 = 0.020(k = 2)$ 。

测量结果扩展不确定百分比为 $0.020/0.2 \times 100\% = 10\%$ 。
