

中国计量测试学会

量学函〔2025〕23号

中国计量测试学会关于《机载被动腔气溶胶光谱仪校准规范》团体标准征求意见的函

各有关单位：

根据国家标准化管理委员会、民政部印发的《团体标准管理规定》及《中国计量测试学会团体标准管理办法》有关规定，经中国计量测试学会批准立项，由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等单位牵头起草的《机载被动腔气溶胶光谱仪校准规范》团体标准现已完成征求意见稿的编制，为保证标准的科学性、严谨性和适用性，现面向社会广泛公开征求意见。

请各有关单位及专家对上述标准提出宝贵意见和建议，于2025年10月20日前将《征求意见反馈表》反馈至以下联系方式。

联系人：刘志涛

电话：15373808761

电子邮箱：296661222@qq.com

- 附件：1.《机载被动腔气溶胶光谱仪校准规范》征求意见稿
2.《机载被动腔气溶胶光谱仪校准规范》编制说明
3.征求意见反馈表



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：μm

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 μm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 μm、0.8 μm 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。

$$\Delta D = D_m - D_s \quad (1)$$

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）。

$$\delta_D = \frac{\overline{\Delta D}}{D_s} \times 100\% \quad (2)$$

式中：δ_D——峰值直径误差率；

$\overline{\Delta D}$ ——3次示值误差平均值。

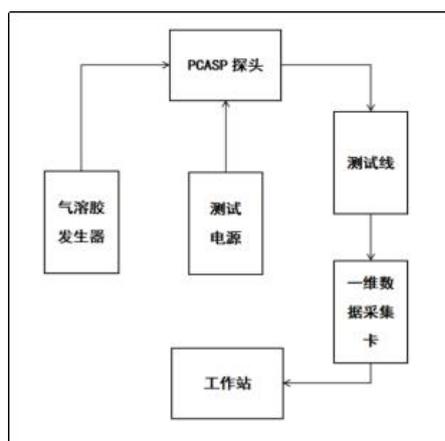


图 1 PCASP 校准设备连接示意图

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。

$$S_{rD} = \frac{1}{\bar{D}_S} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (D_{Si} - \bar{D}_S)^2}{5}} \times 100\% \quad \text{在此处键入公式。} \quad (2)$$

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， μm ；

\bar{D}_S ---6次测量的6个峰值粒径值的算数平均值， μm ；

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 A

(规范性)

被动腔气溶胶光谱仪校准原始记录表

次数	环境温度:	环境湿度:	洁净度:
	标准粒子对应峰值粒径值		
	0.2 μm	0.4 μm	0.8 μm
1			
2			
3			
4			
5			
6			

记录人:

复核人:

日期:

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 $U(k=2)$
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 μm
u_2	标准粒子误差引入的测量不确定度分量	0.006 μm

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：

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

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 $0.020/0.2 \times 100\% = 10\%$ 。

《被动腔气溶胶光谱仪计量校准规范》 团体标准编制说明

一、项目背景

云降水物理学是现代人工影响天气的科学基础，随着人工影响天气行业的发展，机载云物理探测设备逐步发展成为研究云降水物理学的又一重要工具。机载探测设备，可为开展人工影响天气研究、实验和作业提供飞机区域大气气溶胶、云、水、成分等物理结构和参数，具有高精度、高时效、原位探测等优势，能够实时探测云内的微物理环境，并根据云内不同条件采用不同催化作业方式，同时也为地面实时指挥提供了科学依据，对推动人工影响天气科学指挥作业、精细化数值预报研究以及飞行安全等方面起着至关重要的作用。

人工影响天气作业指挥及作业的定量化效果检验及云物理科研需要高质量的机载探测数据。为提升探测数据的可靠性，需要定期对机载设备的测量精度进行校准，及时消除仪器损耗和使用累计产生的误差，使仪器处于最佳工作状态，在仪器故障维修后，需要在使用前进行标定校准，使其能够精准测量。

由于目前该设备暂无校准标准，校准方法及校准计量要求不同，造成机载探测数据质控标准不统一。机载探测数据质量，直接影响人工影响天气定量化效果评估和科研水平。因此亟需制定一套科学、可操作的校准方法，提高其探测数据的可靠性、一致

性，为人工影响天气飞机作业效果评估及科学研究、空地数据融合提供可靠有效的支撑。

二、规范编制过程

为了解决机载被动腔气溶胶光谱仪校准项目及计量方法无依据可循等问题，计量标准起草组结合多年来对该设备的校准经验，对校准流程进行了详细的梳理，对校准的主要步骤进行了确定，对校准环境及校准报告应包含的主要要素做出了详细的规定。并结合实际业务需求确定了该设备的计量性能关键指标。在此基础上，2024年5月标准起草小组起草了行业标准《被动腔气溶胶光谱仪计量校准规范》（起草组讨论稿），对该设备的校准技术提出了要求，以期望提高该类设备校准的规范性和及时性，从而保障人工影响天气的空中云物理过程的探测的高质量的开展，使飞机作业更好的服务我国社会经济发展。

根据讨论稿的相关条款的要求，对不同直径的粒子进行了进一步的实验，征求生产公司、设备使用单位的意见，根据反馈意见和实验数据，进一步修改形成校准规初稿。形成初稿后又开展了以下工作：

（一）2024年8月：召开第一次标准起草讨论会议，初步确定标准起草组成员，成立标准起草工作组，明确相关单位和负责人员的职责和任务分工；

（二）2024年9月：标准起草工作组积极开展调查研究，检索国家及其他省市相关计量技术规范，调研机载被动腔气溶胶光谱仪溯源需求情况，并进行分析总结，为标准草案的编制打下了

基础；

（三）2024年10月：试验、数据采集、分析，标准起草工作组专业技术人员编制标准草案，通过研讨会、电话会议等多种方式，对标准的主要内容进行了讨论，形成了《机载被动腔气溶胶光谱仪计量校准规范》初稿的修改稿；

（四）2025年3月：本标准起草牵头单位河北省人工影响天气中心向归口单位中国计量测试学会提出立项申请。

（五）2025年4月17日，中国计量测试学会在北京组织召开了《机载被动腔气溶胶光谱仪计量校准规范》团体标准立项会议，会议听取了标准起草组对《机载被动腔气溶胶光谱仪计量校准规范》团体标准的立项情况汇报，审查专家对有关问题进行了质疑和提出了相关建议意见。4月22日，中国计量测试学会向我单位提出团体标准立项专家意见意见。4月24日，中国计量测试学会以“量学发[2005]97号文”下发该项目立项通知。接到上述文件后团体标准起草组，对专家评审意见进行了逐条研究，对涉及到的问题，组织编写小组人员再次学习了标准编制的相关规范及文件，对进行了优化和更改。

三、规范起草的主要技术依据

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1005 标准物质通用术语与定义

JJF 1059.1-2012 测量不确定度评定与表示

JJF 1071-2000 国家计量校准规范编写规则

JJF 1343 标准物质的定值及均匀性、稳定性评估

GB/T 16418 颗粒系统术语

四、规范起草的要点和说明

(一) 遵守 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的起草规则。在内容表述上按 JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》上保持一致。校准规范的具体内容包含前言、范围、引用文件、术语与定义、概述、计量性能要求、校准条件、校准方法、复校时间间隔、校准结果处理、附录等。

(二) 根据机载被动腔气溶胶光谱仪技术性能和参数制定校准过程的要求和校准方法，确定校准用标准装置及配套测量软件与系统，形成校准规范初稿。按照团体标准立项会专家评审意见对初稿进行了更改。

(三) 根据机载被动腔气溶胶光谱仪校准规范初稿进行校准试验，根据确定的示值误差计量特性要求，针对相应技术流进行校准方法的实验验证，通过试验确定被校准设备所要完成的校准项目，应配置的标准装置及配套测量仪器，研究各种校准项目的检定方法的可行性，分析各测量结果不确定度，形成《机载被动腔气溶胶光谱仪计量校准规范》意见稿。

(四) 本着经济合理的原则选择标准器和测量设备，规范附件给出了测量不确定度分析实例，一般来说，在选择标准器和配套设备时，只要不确定度不大于其被校设备基本误差的 1/3 即可。

(五) 校准条件

环境温湿度的要求主要是考虑到各个标准器以及被测设备的

最佳工作状况同时兼顾现场实际情况。

根据云微物理研究气溶胶颗粒物的谱分布特点，主要研究对象为 $0.8\ \mu\text{m}$ 以下颗粒物，在此范围内按照梯度对比的原则，选择了 $0.2\ \mu\text{m}$ 、 $0.4\ \mu\text{m}$ 、 $0.8\ \mu\text{m}$ 三种规格校准用标准粒子的粒径；参照设备厂家及激光散射类对标准物通用材料要求，选择了 PLS（聚苯乙烯微球）作为校准用标准粒子；对 PLS 微球国内外知名生产企业如：Thermo Fisher、Sigma-Aldrich、Duke Standards、鸿蒙海岸的产品各粒径的不确定进行了统计调研，取上述 4 家企业有关产品的扩展不确定度平均值作为本标准标准粒子的不确定度值。

（六）校准方法

本规确定了设备的校准方法，即峰值粒径误差及粒径测量的重复性校准方法，从而使从事校准的工作人员能够做到有的放矢。该条款对粒径的测量示值误差及重复性给出了计算公式。

（七）复校时间间隔

依据 JJF1139-2005《计量器具检定周期确定原则和方法》等检定规程对检定周期的规定以及日常工作对设备校准的需求，规定了机载的复校时间间隔最长不应超过半年。

（八）校准结果表达

参照 JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》的要求，对按本规范的方法进行校准的结果进行了不确定度评定。

附录 A 部分规定了机载被动腔气溶胶光谱仪校准原始记录表样式。

附录 B 部分，对机载被动腔气溶胶光谱仪校准证书（内页）格式进行了规定。

附录 C 部分，本部分为测量结果的不确定度评定实例，从测量的数学模型、不确定度的来源分析、标准颗粒的标准不确定度 u 的评定等三部分进行举例分析。

五、与现行有关法律、法规和强制性标准的关系

本标准与现行有关法律、法规和强制性标准没有矛盾。

团体标准《被动腔气溶胶光谱仪计量校准规范》

项目起草工作组

2025 年 08 月 29 日

附件 3

中国计量测试学会团体标准（征求意见稿）

征求意见反馈表

建议人姓名	职称/职务	专业	
单位	联系电话		
地址	邮 编		
章、条序号	修改意见或建议		理由/背景材料

衷心感谢您对本项工作的大力支持和辛勤指点！