

ICS: 13.040.20

CCS: Z10

团 体 标 准

T/ACEF □□□-20□□

固定翼通用航空平台

大气颗粒物航空原位测量技术指南

Technical guidance for airborne in-situ measurement of atmospheric particulate matters for fixed wing general aviation platforms

(征求意见稿)

20□□-□□-□□发布

20□□-□□-□□实施

中华环保联合会 发布

目 次

前 言	I
1 范围	2
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	2
4 系统组成与功能	3
4.1 系统组成	3
4.2 方法功能	4
5 技术内容	6
5.1 大气观测作业飞机	6
5.2 大气颗粒物进样系统	8
5.3 大气颗粒物航空测量系统	8
5.4 标定校准系统	12
5.5 数据采集、存储、传输和处理系统	12
6 质量保证与质量控制	13
6.1 检测内容	13
6.2 质量保证与质量控制	14
参考文献	16

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

请注意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。

本文件由浙江大学提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：浙江大学、北京市人工影响天气中心、北京大学、中国科学院合肥物质科学研究院、哈尔滨工业大学、中国地质大学（武汉）。

本文件主要起草人：刘丹彤，赵德龙，田平，吴杨周，黄梦宇，周嵬，李思远，胡康，丁朔，程远，盛久江，王飞，燕莹莹，肖伟，杜远谋，吴志军，王薇，李少萌，丁德平。

固定翼通用航空平台

大气颗粒物航空原位测量技术指南

1 范围

本文件提供了固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量系统的组成与功能、技术要求、检测与质量控制方法的指导。

本文件适用于固定翼通用航空平台上采用航空原位测量方法对大气颗粒物的高空观测，也可用于大气颗粒物航空原位测量系统的设计、改装、集成、检测和应用。

注：本文件航空原位测量系统的固定翼通用航空平台，不包含无人驾驶飞机。

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。

GB 17799.1-2017 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的抗扰度

GB 17799.3-2012 电磁兼容 通用标准 居住、商业和轻工业环境中的发射

GB 4793.1 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求

GB/T 18268.1-2010 测量、控制和实验室用的电设备电磁兼容性要求

GJB 150.18A-2009 军用装备实验室环境试验方法 第18部分：冲击试验

HB 6167.6-2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第6部分：振动试验

QX/T 505-2019 人工影响天气作业飞机通用技术要求

MH/T 1075-2020 飞机增雨作业安全规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

颗粒物散射 particle scattering

本文件中的散射指波长与大气颗粒物粒径相当时的散射。

3.2

质量闭合 closure of mass concentration

飞机舱内和舱外测量的相同粒径范围大气颗粒物质量浓度一致。

3.3

光学闭合 closure of optical properties

飞机舱内和舱外测量的颗粒物光学特性结果一致。

3.4

粒径分布闭合 closure of particle size distribution

飞机舱内和舱外测量的颗粒物粒径谱分布一致。

3.5

等速采样 isokinetic sampling

安装在机舱外，根据实时飞机空速来动态匹配颗粒物采样速率的装置。

3.6

控压进样 pressure-controlled sampling

用于飞行过程中稳定仪器进气口压力的装置。

4 系统组成与功能

4.1 系统组成

大气颗粒物航空测量系统由大气观测作业飞机、大气颗粒物进样系统、大气颗粒物航空测量系统、控压和流量分流系统及数据综合处理系统组成。其中：

- a) 大气观测作业飞机由固定翼飞机、网络通信模块、供电模块、环境控制模块、辅助集成模块组成；
- b) 大气颗粒物进样系统由舱外大气颗粒物等速采样头、舱内多支路大气颗粒物管路和尾气排气口组成；
- c) 大气颗粒物航空测量系统由大气颗粒物在线航空机载测量仪器组成，包括但不限于被动腔气溶胶谱探头、颗粒物数谱仪、高分辨率气溶胶质谱仪、单颗粒黑碳光度计、积分浊度计、黑碳仪等设备；
- d) 控压和流量分流系统由控压装置和流量分流装置组成。
- e) 数据综合处理系统由数据采集模块、数据储存模块、数据传输模块和数据处理模块

组成。

4.2 方法功能

4.2.1 大气观测作业飞机

大气观测作业飞机能够根据观测任务需要，搭载特定组合的大气颗粒物航空机载监测仪器和作业人员实施航空测量，可满足观测任务的通信传输、设备供电、作业环境、操作安全等需求。

4.2.2 大气颗粒物进样系统

大气颗粒物通过等速采样头进入管路，等速采样头通过实时调节采样气流速度与飞机空速一致，实现对大气颗粒物的高效采集并将颗粒物传输进舱内管路，利用在线仪器测量或离线收集样品。等速采样头对 $0.1\ \mu\text{m} \sim 3\ \mu\text{m}$ 的颗粒物采样效率大于 90%，可将流量控制在 15 L/min - 20 L/min 的范围内。等速采样头配置加热功能，防止飞机入云有积冰情况下进气口堵塞。颗粒物采样管、直通或三通使用内抛光不锈钢材料，采样管路配置流量控制阀和流量计。采样管路在符合航空规范前提下安装，并配置气密性检查设备。

4.2.3 大气颗粒物航空测量系统

用于测量大气颗粒物物理特性、化学特性及光学特性的推荐分析方法见表 1。

表 1 大气颗粒物航空测量系统推荐分析方法

测量参数	推荐测量方法
颗粒物数浓度和粒径分布	单颗粒散射强度测量法
颗粒物光学散射系数	散射系数积分测量法
非难熔亚微米颗粒物质量浓度	电子轰击电离和质谱分析法
黑碳颗粒物质量和数浓度	激光白炽法
颗粒物光学吸收系数	颗粒物透光率测量法

4.2.4 控压和流量分流系统

控压装置的作用是在不同飞行高度条件下保持仪器进气口压力恒定，实现不同高度下采集效率的一致性。流量分流系统针对各仪器流量对气路合理分配降低颗粒物在管路中的损失。主要包括：

- a) 采样管路前端加装除湿系统，控制相对湿度小于 40%；

- b) 受压力影响的测量仪器（如在线气溶胶质谱和浊度计等）要加装控压系统，控压系统利用缓冲室、限流孔和真空泵等部件恒定采样压力；
- c) 利用分流器减少因流量不平衡和直角弯头造成的采样损失；
- d) 采样管路加装流量计实时监测管路流量，结合控制阀和真空泵，调节管路气流流量平衡；
- e) 采样管路设计气密性检测接口，结合漏气检查设备对采样管路分段检测漏气。

4.2.5 数据综合处理系统

数据综合处理系统用于采集和分析颗粒物航空机载仪器的测量数据，能够依指令实现本地数据存储、远程传输和检测设备工作状态，并完成对数据和相关信息处理。

4.2.5.1 颗粒物谱探头

- a) 实时采集、显示和存储颗粒物粒径谱工作状态信息如进气口流量、压力及激光电压等信息；
- b) 实时采集、显示和存储颗粒物谱分布结果；
- c) 数据处理软件根据米散射计算得到，颗粒物的散射系数。

4.2.5.2 高分辨率气溶胶质谱仪

- a) 实时采集、显示和存储高分辨率飞行时间气溶胶质谱仪仪器状态参数，如进气口流量和真空气压等；
- b) 实时采集、显示和存储高分辨率飞行时间气溶胶质谱仪测量结果如硫酸盐、硝酸盐、有机物、铵盐和氯化物等；
- c) 处理软件可读取质谱仪测量单位质荷比和高分辨率离子碎片信号，将仪器所测每个组分的离子碎片的信号按质荷比进行分配和定量，转化成颗粒物质量浓度；
- d) 处理软件可获取控压装置下校准数据，根据飞行高度转化成实际质量浓度。

4.2.5.3 单颗粒黑碳光度计

- a) 仪器可实时采集、显示和存储读取黑碳光度计的仪器状态参数如样气流量、激光电压等；
- b) 数据处理软件重铸原始黑碳颗粒大小。该方法仅获取含黑碳颗粒物气化前的散射信号导出的实际散射截面与使用核-壳模型获得的散射截面进行匹配来确定含包裹层的整

体单颗粒黑碳大小，进而可获得单颗粒黑碳的包裹层厚度和混合状态；

- c) 数据处理软件可输出给定时间下黑碳的黑碳核，含黑碳颗粒和非黑碳颗粒物的数浓度和质量浓度粒径分布，以及黑碳数中值/质量中值粒径大小，两者分别定义为在其上下黑碳颗粒物数量和质量相等的粒径大小；
- d) 数据处理软件可输出给定时间下整体黑碳颗粒物包裹层厚度，计算为含黑碳颗粒的总体积除以所有黑碳核的总体积的立方根。

4.2.5.4 积分浊度计

- a) 实时采集、显示和存储积分浊度计工作状态信息如进气口温度、湿度和压力等信息；
- b) 实时采集、显示和存储积分浊度计测量 450、525 和 650 nm 处的总散射系数和后向散射系数；
- c) 实时采集和存储不同飞行高度的背景测量（仪器前加高效过滤器）结果；
- d) 数据处理软件对测量的散射系数进行角度阶段和光源非线性仪器误差订正；
- e) 数据处理软件修正不同高度零点矫正结果，得到不同高度的散射系数测量特性结果。

4.2.5.5 黑碳仪

- a) 实时采集、显示和存储黑碳仪工作状态信息如仪器流量、腔室压力、腔室温度、相对湿度，光源状态和漏气检查等；
- b) 实时采集、显示和存储黑碳仪测量 370 nm、470 nm、520 nm、660 nm、880 nm 和 950 nm 的质量浓度信息；
- c) 实时采集和存储不同飞行高度下的黑碳仪零点测试（进气口前加高效过滤器）结果；
- d) 数据处理软件利用双点位黑碳质量浓度，进行滤膜负载效应的订正，得到实际黑碳质量浓度结果；
- e) 数据处理软件对测量结果进行不同高度零点订正，获得颗粒物散射特性的垂直分布。

5 技术内容

5.1 大气观测作业飞机

5.1.1 固定翼飞机

要符合 MH/T1075-2020 中 4.3 规定的相关要求，或 QX/T505-2019 中 5、6.1、7.1 规定的相关要求。

对于增压舱和非增压舱飞机的采样气路分别设计，对于增压舱，颗粒物采样管路连通外界大气，应充分保证采样管路气密性对舱内压力无影响。

机身可安装等速采样头和颗粒物尾气排除口。

注：本文件航空原位测量系统的飞行平台不包含无人驾驶飞机。

5.1.2 网络通信模块

要符合 QX/T 505-2019 中 6.2.3 规定的相关要求，具体如下：

- a) 具备飞机内部、飞机和地面之间的文本、语音、图像及视频等信息传输和交互功能；
- b) 飞机能够向地面实时传输飞机定位、飞行姿态、仪器基础测量数据和工作状态等信息；
- c) 具备地面向飞机实时传输卫星、雷达图像、飞行航线规划等功能；
- d) 加装的数值采集和通讯系统，不能对飞机航电系统造成电磁干扰。

5.1.3 供电模块

要符合 GJB 181B-2012 和 GB/T 30203-2013 规定的相关要求。

要满足大气观测作业飞机满负荷搭载的所有仪器设备正常用电的需求，加装 28V 转 110V 和 220V 的逆变器，并配备 UPS 不间断电池，保证仪器不断电，并应有冗余，供电性能应符合下列要求：

- a) 总功率：不小于 5 kw；
- b) 电压应有两种：110 V 和 220 V。

5.1.4 环境控制模块

要满足大气观测作业飞机所搭载仪器设备正常使用所需的环境要求：

- a) 增压舱温度：15-30℃；舱内和舱外设备，非增压舱飞机温度可能低于 15℃；
- b) 机舱内相对湿度：≤85%；
- c) 气压：增压舱 60 - 80 kPa，非增压舱 60~106 kPa；
- d) 尾气排气：应设置有废气排出口，确保排出的废气不影响人体健康和各参数测量数据。

5.1.5 辅助集成模块

飞机配备有飞行管理和导航系统，可以连续地记录导航和气象资料，可获得以下数据：

定位导航信息包括观测时间、飞机位置（经度、纬度、高度）、飞行姿态（俯仰角、滚转角、偏航角）、飞行速度（加速度）等有关数据。

气象参数信息包括风速、风向、气温、气压、湿度（或水汽混合比）等数据。

5.2 大气颗粒物进样系统

5.2.1 等速采样头

等速采样头适应飞机飞行速度范围是 40-100 m/s。采样头应和飞机机头位置平行并正对前方，并应配置加热系统，防止飞机穿过冷云时冻结。合理控制采样头位置与机身距离，确保采样气流不受机身影响。

5.2.2 舱内多支路颗粒物管路

舱内多支路颗粒物管路为连接颗粒物等速采样头与各测量仪器的采样支管，应满足以下要求：

- a) 颗粒物采样管路前使用干燥管控制相对湿度；
- b) 管路使用内抛光不锈钢材料制不锈钢采样管、三通和直通；
- c) 颗粒物管路内的气流应保持层流状态，气流在管路内的滞留时间应小于 20 s；
- d) 测量仪器与支管接头连接的管路应选用不与被监测污染物发生化学反应和不释放有干扰物质的材料，长度不应超过 3 m；
- e) 受压力变化影响的颗粒物仪器，应配置稳压装置；
- f) 应配置流量计监测各支路流量稳定，并配置调节阀和泵控制管路流量。

5.3 大气颗粒物航空测量系统

5.3.1 外观要求

- a) 颗粒物航空机载监测仪器模块的各监测仪器具有产品铭牌，铭牌上标有仪器名称、型号、生产单位、出厂编号制造日期等信息。
- b) 测量系统仪器表面应完好无损，无明显缺陷，各零部件连接可靠，各操作键和按钮灵活有效；

- c) 仪器主机面板显示清晰，字符和标识易于识别。

5.3.2 环境适应性

颗粒物航空机载监测仪器模块的各监测仪器能够在以下条件中正常工作：

- d) 使用环境：飞机舱内；
- e) 工作温度：15~35℃；
- f) 相对湿度：≤85%；
- g) 大气压：60~100 kPa；
- h) 海拔高度：0~8000 m（增压舱）；0~3600 m（非增压舱）；
- i) 供电电压：AC 220±22 V，50±1 Hz；
- j) 振动：满足 HB 6167.6-2014 民用飞机机载设备环境条件和试验方法 第 6 部分：振动试验；
- k) 冲击：满足 GJB 150.18A-2009 的 7.2.1.4 的相关规定。

5.3.3 安全要求

系统要设有漏电保护装置，防止人身触电。安全要求符合 GB 4793.1-2007 中 6 规定的相关要求。

5.3.3.1 绝缘电阻

在环境温度为 15~35℃，相对湿度≤85%条件下，仪器电源端子对地或机壳的绝缘电阻不小于 20MΩ。

5.3.3.2 绝缘强度

在环境温度为 15~35℃，相对湿度≤85%的条件下，仪器在 1500V(有效值)、50Hz 正弦波实验电压下持续 1 min 不应出现击穿或飞弧现象。

5.3.4 功能要求

被动腔颗粒物探头：

- a) 基本测量参数：不同粒径颗粒物数浓度；
- b) 粒径测量范围：光学等效直径 0.1~3.0 μm；
- c) 进气流量：1-1.5 cc/sec；
- d) 鞘气流量：15 cc/sec，约为 10 倍进气流量；
- e) 采样频率：0.1~25 Hz；
- f) 可导出参数：颗粒物数浓度、质量浓度粒径分布；散射系数和后散射系数。

积分浊度计:

- a) 基本测量参数: 3 个波长 (450nm 蓝色、525nm 绿色、635nm 红色) 测定总散射系数和后向散射系数;
- b) 测量范围: $<0.25 \sim 2000 \text{ Mm}^{-1}$;
- c) 测量波长: 三波段 450nm, 525nm, 635nm;
- d) 检测下限: $<0.3 \text{ Mm}^{-1}$ (60s 积分时间); $<0.1 \text{ Mm}^{-1}$ (60s 积分时间);
- e) 采样频率: 1Hz;
- f) 可导出参数: 后向散射比, 散射波长指数, 不对称因子。

黑碳仪:

- a) 基本测量参数: 不同波长下颗粒物吸收系数;
- b) 测量波长: 370nm, 470nm, 525nm, 590nm, 660nm, 880nm, 940nm;
- c) 温度适用范围: $10 \sim 40^\circ\text{C}$ 。

颗粒物数谱仪:

- a) 基本测量参数: 颗粒物各粒径下数浓度;
- b) 粒径范围: $0.25 \sim 32 \mu\text{m}$;
- c) 允许相对湿度: $\text{RH} < 95\%$;
- d) 适用温度: $0 \sim 40^\circ\text{C}$;
- e) 适用气压: $600 \text{ hPa} \sim 1000 \text{ hPa}$;
- f) 可导出参数: 质量和体积粒径分布, 颗粒物质量浓度。

高分辨率质谱仪:

- a) 基本测量参数: 非难熔亚微米颗粒物 (有机物、硫酸盐、硝酸盐、铵盐和氯盐) 质量浓度和颗粒物质谱;
- b) 最低检出限: 3 倍标准差 (一分钟积分); 具体为有机物 29 ng/m^3 、硫酸盐 6 ng/m^3 、硝酸盐 3 ng/m^3 、铵盐 58 ng/m^3 ;
- c) 质量分辨率 ($m/\Delta m$): 2500;
- d) 核质比范围 (m/z): $1 \sim 1200$;
- e) 粒径范围: 真空空气动力学直径 $40 \sim 1000 \text{ nm}$;
- f) 时间分辨率: 10 Hz;
- g) 允许相对湿度: $\text{RH} < 95\%$;
- h) 适用温度: $0 \sim 40^\circ\text{C}$;

- i) 适用气压：600~1000 hPa；
- j) 可导出参数：各成分真空动力学粒径分布、有机物氧碳比、氢碳比和氮碳比。

单颗粒黑碳光度计：

- a) 基本测量参数：难熔黑碳质量浓度和数浓度、非黑碳颗粒数浓度；
- b) 数浓度检出限：单颗粒；
- c) 黑碳单颗粒质量检出限：0.3 fg；
- d) 黑碳质量浓度范围：0-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ；
- e) 数据采集频率：5 Hz；
- f) 工作环境温度：0~40 $^{\circ}\text{C}$ ；
- g) 工作环境相对湿度：0~90 %；
- h) 可导出参数：难熔黑碳粒径分布、黑碳被包裹粒径分布、黑碳混合态。

5.3.5 安装要求

5.3.5.1 外观和结构

要符合下列要求：

- a) 大气颗粒物航空测量系统所包含仪器的种类和数量需要与飞机上搭载的其他仪器设备统筹考虑，合理搭配，固定在定制的航空架上，满足飞机重心配置等航空规范要求，且满足适航取证要求；
- b) 固定大气颗粒物航空测量系统仪器的航空架须采用满足航空规范的材料，定制化设计，能够将测量仪器牢固地固定在飞机固定卡槽上；
- c) 航空架与飞机固定卡槽的连接处应设置有减振、隔振设施；
- d) 舱内测量系统布局在满足航空规范的基础上，合理布局，突出可操作性，各仪器的安装位置不应影响观测数据产生；
- e) 航空架焊接牢固，结构件安装可靠，紧固件无松动，测量仪器与飞机机体无直接接触。
- f) 系统结构应紧凑，便于安装；
- g) 各测量仪器的标识、说明清晰、完整。

5.3.5.2 安全性

- h) 系统结构应有足够的强度和刚度，在满载荷下不应有影响工作的弹性变形；在设计极限载荷下不应损坏；

- i) 系统所使用线缆连接接口应具备防插错功能;
- j) 电源线缆及信号线缆等接口应确保稳定可靠连接,可采用螺纹旋紧或卡扣紧固的接口。

5.3.6 维护性

系统各部件应便于检查和和维护,系统部件易于更换。

5.3.7 电磁兼容性

系统设备应具备电磁兼容性,应符合 GB/T 18268.1-2010 的规定。

5.4 标定校准系统

颗粒物航空机载监测仪器系统校准满足以下技术内容:

- a) 被动腔气溶胶谱探头要采用聚苯乙烯乳胶球进行校准,其复折射指数为 $1.58+0i$;
- b) 积分浊度计要用无尘空气做零气标定;
- c) 黑碳仪要校准流量;
- d) 高分辨率气溶胶质谱仪要校准采样流量、采集效率、离子化效率和相对离子化效率;
- e) 单颗粒黑碳光度计要标准激光强度、散射信号和白炽信号。

5.5 数据采集、存储、传输和处理系统

5.5.1 数据采集

提供人机交互界面,实现对大气颗粒物航空测量系统的集中监控,以及对数据信息的采集、显示、存储和回放及分析处理。

5.5.2 数据存储

数据存储要满足以下要求:

- a) 舱内仪器数据存储容量:不少于能存储 240 小时有效观测数据的存储;
- b) 数据传输和处理单元存储容量:满足 1 年有效观测数据的存储;
- c) 具备查询历史数据的功能。

5.5.3 数据处理

数据处理和展示要满足以下要求:

- a) 能够显示和设置系统时间;

- b) 能够显示仪器的工作状态等参数信息；
- c) 能够显示实时数据；
- d) 具备时间标签功能，数据为设置时段的平均值；
- e) 具备数字信号输出功能；
- f) 数据输出类型可包括报文、数据库、图形产品；
- g) 处理后的数据不应覆盖原始数据；
- h) 输出标准状态下的质量浓度单位为微克每立方米；
- i) 具有质量浓度和体积浓度单位切换功能；
- j) 实现地面对飞机平台的监视和指挥；
- k) 显示气象卫星、雷达、数值模式等图像产品并能叠加飞机位置等信息。

5.5.5 电磁兼容性

具有电磁兼容能力，对其他电子设备不产生干扰。电磁兼容发射标准应符合 GB/T 17799.3-2012 的规定，电磁兼容抗扰度标准应符合 GB/T 17799.1-2017 的规定。

6 质量保证与质量控制

6.1 检测内容

6.1.1 系统装置

每次观测前要进行的工作：

- a) 按工作要求检查系统配置的各类仪器设备的类别和数量；
- b) 目测系统的外观，满足 5.3.1 的要求；
- c) 实际操作检查部件连接是否齐全可靠，应满足 5.3.5 的要求；
- d) 实际操作检查系统的安装情况应满足 5.3.5 的要求；
- e) 系统选用的设备、器材等原材料应为合格产品，其性能指标应符合相关的国家标准；
- f) 检查大气颗粒物进样和排气是否正常；
- g) 检查仪器测量性能的准确性和稳定性；
- h) 检查仪器流量的准确性和稳定性；
- i) 检查远程数据通讯与传输是否稳定。

6.1.2 测量数据

对于测量数据要做的工作：

- a) 原始数据检查和备份。检查各测量参数的原始数据并存储，检查原始数据是否存在异常，判断该数据是否可用；
- b) 检查各测量仪器的时间同步；
- c) 各测量参数的时间序列需完整，对有疑问处结合其他信息查询修正，确保数据的可靠性；
- d) 检查各测量参数的时间序列波动变化是否合理；
- e) 机舱内外仪器的测量结果是否一致和闭合；
- f) 检查测量时间分辨率、数据准确性、流量控制是否满足要求；
- g) 检查数据传输有无重复或者丢失；
- h) 检查数据文档等文件的编号记录完整性。

6.2 质量保证与质量控制

保证数据质量控制要做的工作：

- a) 每次航测飞行前仪器需满足预热要求；
- b) 每次航测飞行前，需查看仪器工作状态，发现异常时，应及时检修，仪器相关部件进行维护或更换；
- c) 剔除飞行过程中仪器流量波动大于 10%数据；
- d) 根据仪器说明书的要求，定期检查清洗仪器内部的滤光片、限流孔、反应室、气路管路等关键部件；
- e) 仪器配备的干燥剂等应每周进行检查，及时更换；
- f) 采样总管每年至少清洁 1 次，每次清洁后，应进行检漏测试；
- g) 采样支管每半年至少清洁 1 次，必要时更换采样支管和仪器气路，并进行气密性检查；
- h) 光学闭合校验：在同一波长下由积分浊度计测量的大气颗粒物散射系数，需与由颗粒物数谱仪计算得到的颗粒物散射系数在误差 10%范围内保持一致；
- i) 同一波长下，由黑碳仪测量获得的大气吸光性颗粒物的吸收系数，应与由单颗粒黑碳光度计计算获得的吸收系数在误差 10%范围内保持一致；
- j) 粒径分布闭合检验：由颗粒物数谱仪测量的粒径分布与舱内仪器获得的颗粒物粒径谱应在粒径范围（0.2-3 微米）下在误差 10%范围内保持一致；

- k) 质量闭合检验：舱内高分辨率气溶胶质谱仪测量的应该与舱内仪器质量浓度一致，并于舱外颗粒物数谱仪计算的质量浓度在误差 10%范围内保持一致；
- l) 单颗粒黑碳光度计每次起飞前要校准激光强度，每周需用标准石墨黑碳校准白炽光信号；
- m) 高分辨率气溶胶质谱仪要在每次起飞和降落时进行离子化效率校准；
- n) 积分浊度计清洁应用无尘纸和温水清洁遮光罩并干燥；
- o) 颗粒物数谱仪清洁应用氮气清洗其进气和鞘气管路。

参考文献

- [1] 本文件部分内容参考了下列文件中的条款。
 - [2] GB 3095-2012 环境空气质量标准
 - [3] GB/T 31159-2014 大气气溶胶观测术语
 - [4] GB/T 38517-2020 颗粒生物气溶胶采样和分析通则
 - [5] GJB 150.16-86 军用设备环境试验方法 振动试验
 - [6] HJ 618-2011 环境空气 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 的测定重量法
-