
《固定翼通用航空平台
大气颗粒物航空原位测量技术指南》
(征求意见稿)
编制说明

《固定翼通用航空平台 大气颗粒物航空原位测量技术
指南》编制组

二〇二二年十二月

目 次

1 任务来源	3
2 标准制定必要性	3
3 主要工作过程	4
4 国内外相关标准的研究	6
5 标准编制的基本原则	9
6 指南主要内容	9
7 标准实施的环境效益与经济技术分析	13
8 标准实施建议	14

《固定翼通用航空平台 大气颗粒物航空原位测量 技术指南》编制说明

1 任务来源

2022年6月，浙江大学向中华环保联合会提交了《固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术指南》立项申请表，经专家评审，2022年7月该团体标准获得批准立项，项目信息在全国团体标准信息平台网站（<http://www.ttbz.org.cn>）予以公示。

《固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术指南》的编制依据是根据科技部国家重点研发计划项目“大气污染航空测量关键技术与示范平台”的课题三“颗粒物航空原位测量技术”（2019YFC0214703）的考核指标要求。标准编制组成员单位是在此重点研发专项相关课题研究参加单位共同参与支持的基础上，同时面向社会广泛征集、严格筛选部分其他参编单位后确定的。浙江大学是本指南的技术负责单位，并承担总体编写任务，中华环保联合会负责标准的过程管理，其他参编单位有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、哈尔滨工业大学和中国地质大学（武汉）等高校或事业单位。

2 标准制定必要性

为了应对日益突出的区域性大气环境问题，我国于2012年更新发布《环境空气质量标准》（GB3095-2012），把PM_{2.5}和O₃新增为监测和评价空气质量的常规指标。2013年9月，国务院印发《大气污染防治行动计划》，标志着中国启动蓝天保卫战，指导全国重点地区在2013-2017年取得了空气质量的显著改善，京津冀、长三角和珠三角三大城市群全部超额完成了目标。2018年7月，《打赢蓝天保卫战三年行动计划2018-2020》发布，覆盖城市范围更广、指导更详细，在主要污染物PM_{2.5}的控制目标上，与2016年颁布的“十三五”生态环境保护规划保持一致。至2020年，中国各地区完成各项大气污染治理任务，超额实现“十

三五”提出的总体目标和量化指标，《打赢蓝天保卫战三年行动计划》圆满收官。

我国目前用于大气科学研究的专用固定翼飞机平台非常有限，还没有专用的大气化学测量飞机平台。与大气科学研究有关的飞行平台主要集中在气象部门，为部分省市的人工降雨专用飞机。目前，我国大气污染航空测量缺乏先进的平台以及专用仪器组合。搭载的仪器大部分没有经过适航技术研发与改造，很少搭载新一代测量设备。在测量方法、质量控制、数据分析方面仍有所欠缺。尚未凝炼成完整的大气污染航空测量体系。

针对上述短板，编制《固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术指南》，有助于规范固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量系统的设计、改装、集成、应用和检测，为通过航空测量解决大气污染问题提供标准流程，更好地服务于我国大气科学研究。本标准的实施将为我国在大气污染垂直方面的监测增添具有针对性的测量手段，构建大气环境科研飞机航测体系平台，形成航测体系的软硬件示范标准。最终应用大气飞机航测技术为解决我国大气污染问题提供新的科学支撑，为管理部门实现污染源排放优化控制提供可靠的数据依据。建成的航测平台可用于应对突发大气污染事件、国家重大活动保障、量化行政区域间污染物传输等。

本标准的实施将使我国在航测方面赶上当前国际先进飞机航测水平，有望获得一批创新性研发成果，建立大气污染飞机航测的标准化应用，促进大气污染、大气化学、气象科学、大气物理学等领域科研团队的交流合作，建立起一支优秀的大气飞机航空测量团队，培养出一批优秀的跨学科的青年人才，提升我国在大气化学研究和污染防控方面的国际竞争力。

3 主要工作过程

2019年5月，科技部下达国家重点研发计划项目“大气污染航空测量关键技术与示范平台”各课题任务书，其中课题3“颗粒物航空原位测量技术”（2019YFC0214703）的考核指标之一为编制《固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术指南》。

2020年3-6月，文献调研，结合项目申报书，设计课题实施方案。6月29

日，线上召开了项目启动会暨实施方案论证会，征集专家的意见和建议。

2020年7-12月，开展颗粒物测量仪器技术研发，设计仪器改装方案，讨论研究机舱内仪器设备的安装布设。

2020年12月24日，在北京召开项目进展汇报会议，听取各课题最近进展，讨论未完成任务的集中攻关。

2021年1-6月，开展颗粒物测量仪器的地面改装、测试与调试工作，利用云室测试各种颗粒物仪器的测量结果对气压变化的响应，经测试，各仪器在工作气压不低于750 hPa时状态良好，测量结果准确、稳定、可靠。

2021年8-10月，在哈尔滨市中国飞龙通用航空有限公司开展空中国王350飞机的实际改装工作，按照设计要求改装飞机气路、电路等，模块化搭载颗粒物测量仪器。

2021年11月-2022年3月，研发出一种机载控压装置，完成对高分辨率质谱进行控压调试，对SP2进行光路测试和维护，运用光学气溶胶探空仪，开发一款针对飞机颗粒物采样分析预处理软件后，完成了该项目开题准备。

2022年1-2月，在河北省唐山三女河机场利用运-12飞机实现测量仪器和配套设备的上机改装，在唐山市区和曹妃甸工业区上空采用盒子法绕飞方式开展7个架次的飞行测试，测试了仪器的工作状态与适用范围，积累了大量实际操作经验与真实测量数据。

2022年3-6月，总结经验，完善优化，基于课题成果固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术达到了预期目标，课题组向中华环保联合会提交了《固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术指南》团标立项申请表。

2022年7月，中华环保联合会组织专家，召开了《固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术指南》立项评审会，获得中华环保联合会立项批准，并在全国团体标准信息平台网站公示。

2022年8-10月，在参编单位协助下，北京大学组织编制组编写完成《固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术指南》初稿，并征集参编单位的意见，对反馈信息进行分析总结，进一步完善指南的结构和内容。

2022年11月，编制组完成指南文本初稿和编制说明，编制单位向中华环保联合会提交《固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量技术指南》申报稿。

4 国内外相关标准的研究

4.1 国外相关标准的研究

气象行业标准《人工影响天气作业飞机通用技术要求》规定了人工影响天气作业飞机的种类、飞行高度，发动机性能、高性能作业飞机和常规作业飞机的通用技术要求；民航行业标准《飞机增雨作业安全规范》规定了飞机增雨作业的基本要求、预先准备、直接准备、作业实施、作业后处理及应急处置要求。上述两个飞机标准适用于人工影响天气作业，针对有云条件下的人工增雨相关活动，本标准针对大气探测飞行，属于两个不同观测领域和范畴。本标准在飞机适航、人员操作规范性和安全性上，采用上述两个标准的相关内容，针对机载气溶胶观测方面对大气观测作业包括的固定翼飞机、供电模块、辅助集成系统、系统组成、大气气溶胶进样系统进行相关要求。此外，对多台仪器的标定、数据采集、存储、传输和处理系统进行了明确规定，并针对气溶胶采样的粒径谱分布和质量浓度的数据质量保证和质量控制的提出标准化方法。

国外针对大气气溶胶观测设立了程序准则和推荐指南。在 1986 (WMO/GAW Rep. #43)和 1994 (WMO/GAW Rep. #101)年，世界气象组织对全球范围内的监测站点开展了关于气溶胶的光学厚度观测，并制定了相应的准则和标准。于 2003 年，将相关准则扩充成气溶胶光学，化学组成和物理特性的综合观测指导指南。针对采样装置的进样口设计，流量选择，粒径分段设置，采样时间分辨率，采样的标准温度压强等均提供了相应的技术指导。国际标准化组织于 2009 年出版第一版单颗粒光散射气溶胶光度计采样技术指南(ISO 21501-1)，2011 年出版了工作环境大气中利用差分电迁移测量细粒子粒径分布和数浓度的规范 (ISO28439)，2015 年确立凝结气溶胶计数器的校准规范 (ISO27891)，2020 年出版了第二版差分电迁移气溶胶粒径谱观测指南 (ISO15900)，2022 年更新了利用介质过滤法采样气溶胶的标准规范 (ISO20044)。英国标准协会于 2016 年颁布了大气气溶胶数浓度观测标准 (BS PD CEN/TS 16976) 以及于 2020 年制定了单颗粒散射技术相关的光散射气溶胶光度计测量技术标准 (BS ISO 21501-1)。日本标准协会于 2018 年修订了针对凝结气溶胶校准方法的规范 (JISZ8850)。经过文献检索，

未发现国外有大气气溶胶航空测量技术规范相关标准。

4.2 国内相关标准的研究

针对气溶胶观测和仪器校准，我国目前已颁布一系列规范和标准。国家环境保护局，国家技术监督局于1995年确立了环境空气总悬浮颗粒物的测定（重量法）的执行规范（GB/T 15432-1995），该方法将被2022年由中华人民共和国生态环境部发布的HJ 1263-2022标准代替。环境保护部和生态环境部分别对环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动检测系统技术要求和检测方法（HJ 653-2021），以及系统安装和验收技术（HJ 655-2013）予以规范制定。环境空气中颗粒物水溶性阴离子测定标准（HJ 799-2016）和阳离子测定标准（HJ 800-2016）于2016年由环境保护部发布。此外，中国气象局颁布了QX/T 70-2007和QX/T 68-2007两个标准，分别确立了大气气溶胶元素碳与有机碳测定（热光法）以及大气黑碳气溶胶测定（光衰减法）的技术准则，内容包括技术要求，安装环境，实验方法和数据记录格式等信息。QX/T 72-2007提供了大气亚微米颗粒物粒度谱分布测量（电迁移法）的标准。2015年颁布了大气气溶胶散射系数（积分浊度法，QX/T 306-2015）以及直径47mm大气气溶胶滤膜称量技术规范（QX/T 305-2015）。前者规定了积分浊度法测量技术的指标，安装要求以及校准维护工作，数据处理的技术规范，后者适用于最小称量0.001mg微量天平称量直径为47mm气溶胶滤膜的情形，规定了称量条件，设备和过程要求。国家市场监督管理总局分别颁布了适用于气溶胶光度计校准（JJF 1800-2020）和气溶胶粒径谱仪校准（JJF 1864-2020）规范，前者适用于测量范围（0.01-100）μg/L的光散射原理气溶胶光度计的校准，后者适用于光散射法和空气动力学法原理、粒径测量范围（0.1~100）μm、颗粒数量浓度测量范围（50~7000）/cm³、颗粒质量浓度测量范围（30~1000）μg/m³的气溶胶粒径谱仪的校准。经过文献调研未发现国内有大气气溶胶航空测量技术规范相关标准。

环境行业标准《环境空气PM₁₀和PM_{2.5}的测定重量法》（HJ618）规定了环境空气气态污染物（PM_{2.5}和PM₁₀）连续自动监测系统的组成结构、技术要求、性能指标和检测方法，该标准适用于地面观测各级环境监测站（中心）及其他环境监测机构。本标准的用途和目的与上述标准不同，本标准针对机载气溶胶的观测，

针对开展大气探测的飞机。此外，本标准关注的内容不限于PM_{2.5}和PM₁₀，针对内容要更细致，有气溶胶物理特性（粒径谱分布）、化学特性、光学特性（散射和吸收系数）的机载测量。

飞机气溶胶原位观测是获取气溶胶垂直分布最准确的手段，是目前同时获取气溶胶物理、化学和光学特性垂直分布的唯一手段，观测结果可以直接验证和改进地基或空基遥感的算法。由于机载气溶胶观测的重要性，欧美等发达国家都针对性开发了特种飞机测量平台，搭载了各类气溶胶、污染气体、及云降水观测探头，开展了大量观测用于研究，大气污染排放、污染物传输、气溶胶与云的相互影响、及其气候效应。

我国自上世纪 80 年代，开始逐渐开展机载观测，主要为人工影响天气作业飞机，主要针对云降水物理开展，在云的宏微观特征和降水相态等方面取得了一系列的成果。近年来，随着我国现代化建设，已有不少于 10 架飞机观测平台，并搭载了气溶胶观测平台。但是，目前机载气溶胶观测存在较大误差，如两架飞机在较短时间内探测同一区域观测结果不一致，同一仪器搭载至不同飞机上需要重新匹配参数，这是由机载气溶胶观测的复杂性和特殊性带来的。但目前这些探测飞机均在常年飞行，国内各种大型项目也在放置各种气溶胶仪器在飞机上，为机载气溶胶观测制定相关标准，保证数据质量是十分必要的。

本标准从气溶胶观测出发，涵盖了气溶胶物理、化学和光学性质，用到的仪器有气溶胶质谱仪、单颗粒黑碳仪、浊度计、黑碳仪和气溶胶谱分布测量仪器，涵盖目前机载可测量的各种类型仪器。针对以上仪器制定详细的校准流程、气路配置、颗粒物损失及数据质量控制方法，并对仪器的数据采集和处理提出要求。按照本标准执行的观测，可充分保证数据质量。

综上所述，目前国内机载探测大量开展，亟需制定相关标准，保证观测数据质量。

5 标准编制的基本原则

5.1 标准定位

通过本指南的制定，规范固定翼通用航空平台大气颗粒物航空原位测量系统的设计、改装、集成、应用和检测，指导固定翼通用航空飞行平台的大气颗粒物原位测量。

通过本指南的制定、实施和完善，有望进一步形成行业标准和国家标准。

5.2 编制原则

(1) 问题导向原则。针对颗粒物测量设备进行适航改进，构建适航的颗粒物在线测量子模块。

(2) 科学合理原则。指南内容经过地面研发、测试和实际航空原位测量实践，使指南有较强的科学性和指导性。

(3) 政策相符原则。指南内容规范性引用文件，相关仪器要求达到国家标准，适航改装等过程符合国家标准要求。

(4) 客观公正原则。指南编制过程按要求执行，指南内容按标准规定起草，确保标准编制的客观公正。

6 指南主要内容

6.1 适用范围

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功能、技术内容和质量保证与质量控制的指导。

本文件适用于固定翼通用航空平台上采用原位测量方法观测大气颗粒物的浓度和分布，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。

6.2 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

GB4793.1 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/T1075-2020 飞机增雨作业安全规范

6.3 术语和定义

a) 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。

b) 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。

c) 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。

d) 粒径分布闭合 closure of particlesizedistribution

飞机舱内和舱外测量的颗粒物粒径谱分布一致。

e) 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。

f) **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。

6.4 系统组成与功能

6.4.1 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。

6.4.2 方法功能

6.4.2.1 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。

6.4.2.2 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，防止飞机入云有结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。

6.4.2.3 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

6.4.2.4 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。

6.4.2.5 数据采集、存储和处理系统

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。

7 标准实施的环境效益与经济技术分析

本标准的实施将为我国在大气颗粒物污染大尺度空间分布的监测提供具有针对性的测量手段，形成颗粒物航空测量模块，构建大气颗粒物科研飞机航测体系平台，形成相应的软硬件示范标准。

7.1 环境效益

本标准实施所建成的测量平台可以为解决我国大气污染问题提供新的科学支撑，为管理部门实现污染源排放优化控制提供可靠的数据依据，可用于应对突发大气污染事件、国家重大活动保障、量化行政区域间气态污染物传输等。

7.2 经济技术分析

本标准的实施将有效推动我国大气化学航测平台的建设和大气化学机制的研究。在现有气态污染物测量方法的基础上，本标准将会在气态污染物测量技术领域产生新的需求，促发新的增长点，进一步推动气态污染物测量的技术更新。

7.3 社会效益

本标准的实施将使我国在航测方面赶上当前国际先进飞机航测水平，有望获得一批创新性研发成果，建立起一支优秀的大气飞机航空测量团队，培养出一批

优秀的跨学科的青年人才，提升我国在大气化学研究和污染防控方面的国际竞争力。

8 标准实施建议

目前国内大气颗粒物的飞机观测开展较少，但近些年为解决大气污染、云水资源短缺问题和开展气候变化研究，国内研究院所和高校基于科技部和国家自然科学基金委资助正在逐步开展，目前航测主要基于国内现有气象飞机观测平台，缺乏规范化标准。本标准的实施为国内开展航测提供设备安装、操作及数据质量控制等方面提供规范化流程。