

北京气象学会团体标准

《固定翼飞机大气污染探测飞行方法指南》编制说明

一、工作简况

1. 任务来源

本文件由北京气象学会提出并归口。本标准项目于 2022 年 12 月由北京气象学会批准立项，项目编号：T/BMS 01-2022。项目由北京市人工影响天气中心牵头起草，计划名称为《固定翼飞机大气污染探测飞行方法指南》。

2. 协作单位

浙江大学、山西省人工影响天气中心、河北省人工影响天气中心、北京大学、中国科学院合肥物质科学研究院、中国人民解放军 32021 部队。

3. 主要工作过程

文件按照标准制定的一般工作程序制定，主要阶段如下：

（1）准备、立项阶段

2022 年 2-8 月，北京市人工影响天气中心与其他参与单位的标准起草人员搜集各方面文献、资料、法规，以及国内外相关标准与技术规范，并开展了一系列调研工作，成立项目编制组。项目组在确定框架设定和内容的基础上编制了课题实施方案，填报了《固定翼飞机大气污染探测飞行方法指南》团体标准申请表。

2022 年 9-11 月，项目编制组进一步采集技术指导意见，将意见修改整合为标准草案，并于 2022 年 12 月将草案提交给北京气象学会团体标准技术委员会。

2022 年 12 月 23-29 日，北京气象学会团体标准技术委员会组织了 13 位评审专家对项目进行了立项函审，并批准立项。12 月 30 日北京气象学会对立项结果进行了公示。

（2）起草、征求意见阶段

2023 年 1-3 月，项目编制组根据立项审查专家们意见和建议，对标准草案进行了逐一修改、补充和完善，形成了征求意见稿，并同时起草标准编制说明。

2023 年 4-6 月，在北京气象学会团体标准技术委员会组织下，采取函审、会议等方式征集 104 条改进意见，采纳 100 条，对未采纳的 4 条也给出了具体说明，形成征求意见稿处理表。

2023 年 7 月，按照专家意见对标准正文和编制说明的科学性阐述、格式、内容等方面

进行了修改，形成送审稿。

(3) 审查情况

2023年8月1日，北京气象学会团体标准技术委员会组织召开技术审查会，形成标准送审稿。11位专家提出24条审查意见，全部采纳。

4. 主要起草人及分工

本标准主要起草人：赵德龙，刘丹彤，李义宇，杜远谋，黄梦宇，周崑，肖伟，杨燕，田平，杨洋，盛久江，王飞，李少萌，吴志军，王薇，卢姁。具体任务分工见表2。

表2 起草人具体任务分工

姓名	职称/职务	单位	在起草中的分工
赵德龙	正高	北京市人工影响天气中心	标准制订全面工作，包括标准草案编制、组织实验验证及各单位研讨，标准推进
刘丹彤	教授	浙江大学	标准初稿起草
李义宇	高工	山西省人工影响天气中心	负责标准意见征求，参加标准研讨会
杜远谋	工程师	北京市人工影响天气中心	负责标准意见征求，参加标准研讨会
黄梦宇	正高	北京市人工影响天气中心	修改标准初稿，参加标准研讨会及评审会
周崑	高工	北京市人工影响天气中心	修改标准初稿，参加标准研讨会及评审会
肖伟	工程师	北京市人工影响天气中心	负责标准编制说明的起草
杨燕	高工	北京市人工影响天气中心	修改编制说明，参加标准研讨会及评审会
田平	高工	北京市人工影响天气中心	修改编制说明，参加标准研讨会及评审会
杨洋	高工	河北省人工影响天气中心	负责标准编制说明的起草
盛久江	高工	北京市人工影响天气中心	负责标准意见征求，参加标准研讨会
王飞	工程师	北京市人工影响天气中心	负责标准意见征求，参加标准研讨会
李少萌	教授	北京大学	负责标准意见征求，参加标准研讨会
吴志军	教授	北京大学	负责标准意见征求，参加标准研讨会
王薇	教授	中国科学院合肥物质科学研究院	负责标准意见征求，参加标准研讨会
卢姁	高工	中国人民解放军 32021 部队	负责标准意见征求，参加标准研讨会

二、标准编制原则和确定标准主要内容的论据

1. 编制原则

本标准的编制遵循以下原则：

(1) 科学性

大气污染已被世界卫生组织认定为人类健康的主要威胁之一。世界主要国家在大气污染事件频发的情况下，在地面开展了大范围的观测与监控。但地面观测难以量化大气污染排放、传输、演化，无法采取精细控制措施。为此，近年来各国大量使用飞机航测和卫星遥感提供大气三维立体观测；飞机观测已逐渐成为必不可少的观测技术手段。在我国，目前大气污染飞机航测都是经过人工影响天气飞机平台改装过来，飞行空域限制以及专业的飞行污染探测方案复杂多变，致使大气污染飞机探测技术不够规范，无法形成完整的大气污染航测体系。本标准可以提供固定翼飞机大气污染探测飞行方法技术指南，满足我国大气污染飞机测量需求。

(2) 协调性

本标准聚焦固定翼飞机大气污染探测飞行方法，在编制的过程中充分考虑了与已有或在研的标准的协调性。在已发布的气象行业标准中侧重于飞机装载设备、探测仪器和系统等技术要求 and 规范，本标准侧重于飞行方式和探测方法的具体技术参数，对飞行探测过程中飞机飞行技术指标做了指导和建议。

(3) 适用性

本标准适用于固定翼飞机大气污染探测。目前国内尚无该方面的标准，本标准编制中，从飞机飞行方式到不同污染物及探测目的的探测方法提出了技术方面的具体指导和建议。针对固定翼飞机大气污染物探测，提出了共性方法和原则性指标。如本标准提出飞行方法的水平间隔或垂直间隔，能够适应不同的探测需求。另外，本标准也考虑到了飞机飞行时的空域限制等方面因素。标准编制过程中融入了实际飞行经验和统计指标，考虑了实际飞行情况，便于开展固定翼飞机大气污染探测飞行。

2. 确定标准主要内容的论据

飞机在精准测量大气污染物上有其优势，应用范围在逐步扩大、需求也在逐渐增多。国内，飞机大气污染探测飞行方法等方面缺少相应的技术指导。为此，基于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”课题5——飞机示范平台测量模块整合与演示（2019YFC0214705）的考核指标，根据 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》给出的规则，结合我国大气污染飞行探测应用

实践，编制了本标准，旨在为满足需求的大气污染飞机探测提供技术指导。

2.1 飞机飞行方式

从飞行实践来看，固定翼飞机大气污染探测的飞行方式有以下 5 种：

(1) 盘旋式

在探测目标区内进行螺旋式下降或上升的探测飞行。此飞行适用于低速飞机（时速小于 400km/h），飞行要求以小坡度(俯仰角小于 3° 或 4°)，低下降率或者爬升率（小于 150 m/min）最佳。见附录 A.1。

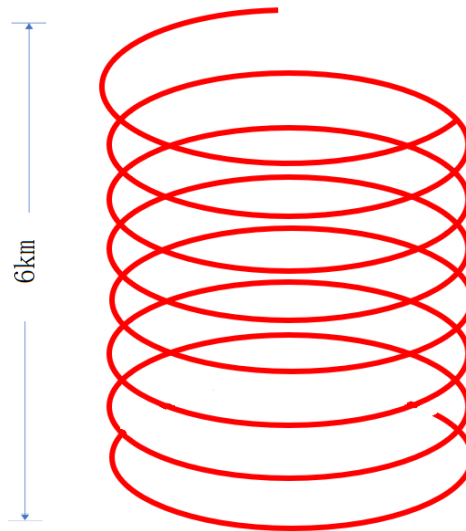


图 A.1 盘旋式飞行探测示意图

(2) 幕式

在探测目标区内进行幕布式的连续性探测飞行。可根据探测具体情况，开展单个或者多个幕布式飞行。垂直高度上每层间隔50m，水平方向上探测距离为50-100km，见附录A.2。



图 A. 2 幕式飞行探测示意图

(3) 箱式

在探测目标区内进行近似圆柱体、长方体或任何其他在高度上均匀的棱柱形状的连续性探测飞行，多选择近似长方体（面积大于等于探测目标范围）。大气边界层高度以内垂直间隔为50-300m（不含300m），大气边界层高度以上垂直间隔为300m。此方法宜适用于高速飞机（时速大于等于400km/h）飞行。见附录A.3。

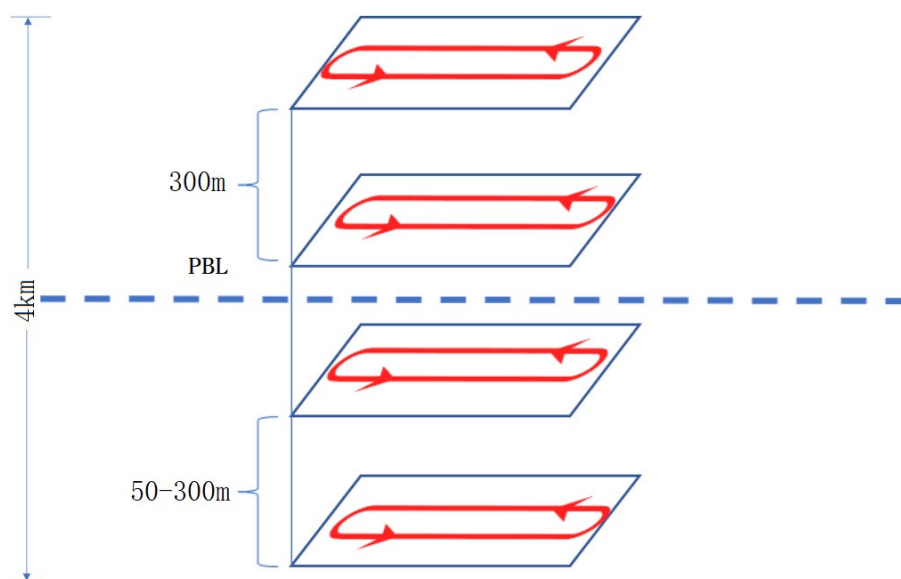


图 A. 3 箱式飞行探测示意图

(4) 耕地式

在探测目标区内进行垂直于平均风向，在点或区域源下风向的水平探测飞行。水平探测距离为50-100km，间距10-20km，总水平探测距离为100-200km。根据探测需求，一般需配合开展1到3个以盘旋式或箱式飞行方式的垂直方向上的探测飞行。或根据飞行空域和时长，在目标区域内采用高度递增、垂直间隔大于等于300m的耕地式的探测飞行，或采用多个幕式

飞行结合的飞行方法，水平探测距离为100-200km，垂直间距大于等于50m，幕式飞行的水平间隔20-50km。见附录A.4。

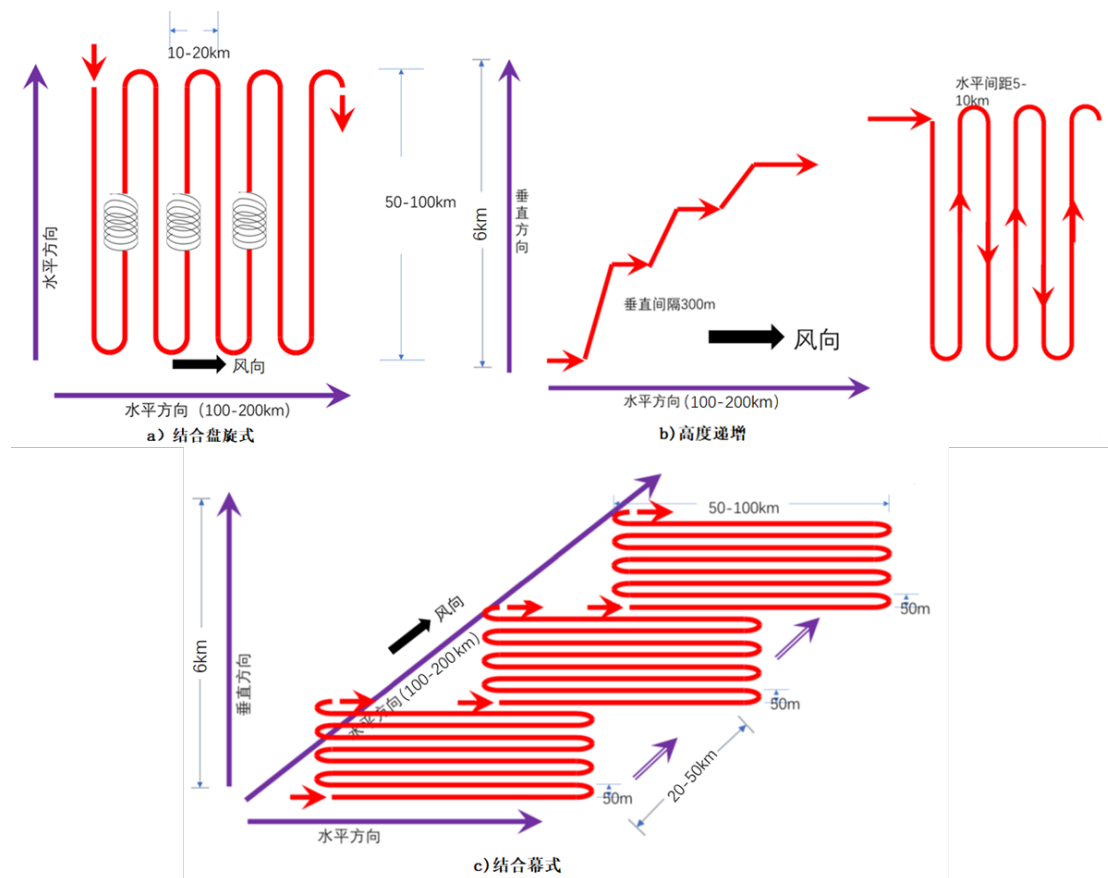


图 A. 4 耕地式飞行探测示意图

(5) 平面式

在探测目标区内进行水平的探测飞行，水平间隔为1-2公里，水平探测距离为100-200km，总水平探测距离为100-200km。见附录A.5。

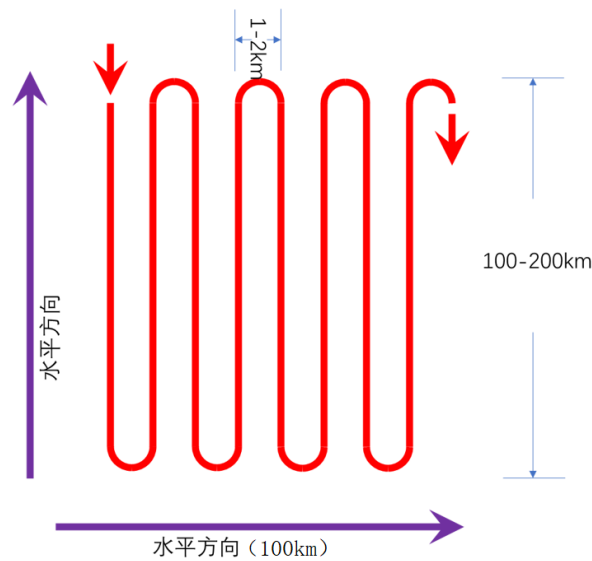


图 A. 5 平面式飞行探测示意图

2.2 飞行探测方法

针对不同探测目的，采取不同的飞行探测方法。结合飞行应用实践，总结的探测方法如下。

2.2.1 环境参数探测

可采用盘旋式，在探测目标区内以上升或下降的盘旋形式进行飞行探测，获得温度、风速、压力、湿度等气象环境参数。

2.2.2 大气污染物的探测

(1) 大气气溶胶

垂直分布可采用盘旋式、幕式和箱式等进行飞行探测；

水平分布可采用耕地式和平面式等进行飞行探测。

(2) 气态污染物

对气态污染物的飞行探测，除了可以采取大气气溶胶的飞行探测方式外，在夜间，还需在大气边界层内、外采用盘旋式、幕式和箱式进行垂直分布飞行探测。

2.2.3 大气污染物污染传输探测

可采用幕式、耕地式和平面式等，按照烟羽的移动方向，顺着烟羽在垂直、水平方向上开展飞行探测。

垂直方向上，可以选取离污染源不同距离处做多个幕式垂直飞行探测。

水平方向上，根据单点源的传输特性进行耕地式和平面式等飞行探测。

2.2.4 大气污染物的排放定量评估

可采取幕式和箱式等飞行方法进行飞行探测，定量评估污染源不同垂直高度上的排放贡献量；

可在顺风方向采用多个幕式、箱式、耕地式和平面式等飞行方法，进行连续横切烟羽的飞行探测，定量评估污染源水平区域的排放贡献量。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

1. 主要试验分析

团标的牵头起草单位从 2006 开始，常年开展了飞机大气探测科研与业务工作。积累了大量的飞行经验。验证了多种飞机的飞行方法和技术要求。

首先，针对飞行速度和转弯半径的技术论证，团队开展了大量飞行试验，利用机载的等速采样系统和舱内外气溶胶采样仪器，评估了飞机飞行姿态与气流的夹角造成的粒子损失，得到飞行夹角不得大于 30 度，30 度以内的粒子的采样效率为 80-90%。

对于飞机转弯半径，结合舱内仪器流量的稳定性，做了大仰角、大转弯、不同爬升和下降率的测试。当飞机转弯角度在 1-3 度盘旋与平飞可以满足舱内仪器采样要求，转弯半径 2-3km 最合适，低下降率或者爬升率（小于 150m/min）最佳，流量可以维持在仪器正常标准条件下。

对于飞机速度，通过采样系统评估和模型计算，当飞机速度在 100 m/s 的状态下，对于大于 2 μm 的粒子采样效率在 95%以上，符合科研技术要求。

对于每种飞行方法的距离等同于飞行时间，主要通过统计不同污染物在大气中存在时间和结合风速，计算出相对于污染源的距離，一般为 100-200km。

对于飞行方法，在 2022 年 12 月 20 日至 21 日，团标的牵头起草单位联合多家科研单位开展了认证和示范飞行实验。充分利用每个架次的飞行机会，开展不同飞行探测方式试验。

受飞行试验区域最低安全飞行高度和区域管控限制，在很大程度上限定了飞行所有方案的验证，最终只能针对唐山地区的电厂、钢铁厂等固定排放点进行大气气溶胶、气体和垂直输送等飞行试验。主要是因为渤海内的油田大部分已经超越了飞行区域，加上天津机场和北京南苑机场的近年来的空域调配紧张，无法针对天津和渤海等地区的污染源进行探测，尤其

是针对烟羽传输等观测。

基于上述分析，从2022年12月25日-2023年1月5日，共计飞行了10个架次，其中电厂、钢铁厂经典点源飞行5个架次。验证了设定特定污染源排放箱式、幕式、耕地式等飞行方法的飞机技术符合性验证。通过计算污染扩散模型，结合风场，捕捉到了污染源，精准评估了不同飞行方法的科学可行性和代表性，尤其针对本标准中涉及的各种探测飞行方法的具体技术参数要求分别进行了验证，这是本标准提出的飞行方法技术指导的可靠基础。

2. 综述报告

在已经构建的大气污染飞机航测体系平台基础上，形成航测体系的软硬件示范标准是十分必要的。本标准从实践出发，通过理论计算，科研项目的飞行论证等技术手段，结合多年的飞行经验，提炼出了大气污染探测固定翼飞机飞行方法技术指南。国内和国际上暂无相关的标准和民航管理要求，通过本标准提出一个固定翼飞机大气污染探测方法技术指南，不仅从民航管理角度可以更好的掌控特种飞行安全，最重要是可以满足我国大气污染飞机测量需求；能够为准确计算污染物源排放和传输过程对区域大气污染的贡献、解决大气污染监测问题提供新的技术指南，为管理部门实现污染源排放优化控制提供可靠的支撑。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。为此，本标准的制定者将健全国际、国内前沿技术标准化发展动态，特别是航空、气象、环境等相关标准的重点领域、重点项目、知识产权、国际合作、标准化体系建设方面的信息交流。

3. 技术经济论证及预期的经济效果

本标准的实施将为我国固定翼飞机大气污染探测飞行方法提供技术指南，形成航测体系的软硬件示范标准，建成的飞行探测方法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重要工作。本标准的应用可为我国解决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。

四、采用国际标准和国外先进标准的程度，以及与国际、国外同类标准水平的对比情况，或与测试的国外样品、样机的有关数据对比情况

本标准当前在国外无相关法律、法规或标准。

五、与有关的现行法律、法规和强制性国家标准的关系

本标准与现行有关法律、法规和强制性标准没有矛盾冲突。

六、重大分歧意见的处理经过和依据

无

七、标准作为强制性标准或推荐性标准的建议

建议本标准为推荐性标准。

八、贯彻标准的要求和措施建议

为强化本标准的应用实施，多途径、多渠道发挥好本标准的作用和效益。在组织层面上，通过发布本标准应用和实施的_{通知、公告}，向使用本标准的潜在单位和部门广泛宣传；扩大标准宣贯和传播的力度。同时建立本标准实施应用和反馈机制，开通反馈渠道，通过电话、通用气象标准信息服务平台网站等多种途径广泛收集应用意见，指定固定人员收集信息和归档，组织开展本标准应用调查评估活动。

九、废止现行有关标准的建议

本标准是新起草的标准，无其他标准被代替或废止。

十、其他应予说明的事项

无