

Research on the dynamic monitoring of urban air quality based on UAV technology

Qichao Zhu¹ Xiang Deng² Bo Wang¹

1. Enshi Yuehua Testing Co., Ltd., Enshi, Hubei, 445000, China

2. Wuhan Pony Testing Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430090, China

Abstract

with the accelerating urbanization, air quality problems increasingly serious, the traditional fixed site monitoring due to limited coverage and slow response speed is difficult to meet the demand, and the drone technology with high mobility and flexibility, by carrying advanced sensors to realize high precision measurement of atmospheric pollutant concentration, in a short period of time covering large area, quickly collect environmental data, effectively overcome terrain and traffic restrictions, improve monitoring efficiency and comprehensiveness, for timely response to sudden pollution incidents, improve the quality of air forecast accuracy and develop scientific and reasonable environmental protection strategy provides a strong support.

Keywords

UAV technology; air quality monitoring; data sampling scheme

基于无人机技术的城市空气质量动态监测研究

朱启超¹ 邓翔² 王波¹

1. 恩施跃华检测有限公司, 中国·湖北 恩施 445000

2. 武汉谱尼科技有限公司, 中国·湖北 武汉 430090

摘要

随着城市化进程加快, 空气质量问题日益严峻, 传统固定站点监测因覆盖范围有限和响应速度慢难以满足需求, 而无人机技术凭借高机动性和灵活性, 通过搭载先进传感器实现大气污染物浓度的高精度测量, 短时间内覆盖大面积区域, 快速收集环境数据, 有效克服地形和交通限制, 提升监测效率和全面性, 为及时应对突发污染事件、提高空气质量预报准确性及制定科学合理的环境保护策略提供了强有力的支持。

关键词

无人机技术; 空气质量监测; 数据采样方案

1 引言

本文探讨了无人机技术在城市空气质量动态监测中的应用, 指出其相较于传统固定站点监测方法的优势, 如高机动性和灵活性, 能够覆盖更广区域并实现高精度测量, 通过科学设计采样方案和校正数据准确性, 不仅提升了空气质量预报的精准度, 还为城市规划中的环境评估提供了关键数据支持, 展示了其在环境保护领域的巨大潜力和应用前景。

2 无人机技术的特点和优势

无人机具有操作灵活、成本相对较低、覆盖范围广等特点, 并能适应各种复杂的环境条件进行作业。首先, 无人机的操作灵活性极高, 它们可以轻松穿越复杂的地形障碍

物, 进入人类难以到达的地方进行工作。无论是山区、森林还是河流湖泊上方, 无人机都能自如飞行, 实现全方位的数据收集。其次, 与传统的有人驾驶飞机相比, 无人机的运营成本显著降低^[1]。无需考虑飞行员的安全问题, 减少了培训费用和人力成本。同时, 由于无人机体积较小, 所需的起降场地面积不大, 进一步降低了基础设施建设的成本。再者, 无人机可覆盖的范围非常广泛, 尤其适合大面积区域的连续监控任务。此外, 无人机还具备良好的适应性, 能够在极端气候条件下正常工作, 如高温、低温、强风等恶劣天气环境中仍能保持稳定飞行, 确保任务顺利完成。最后, 随着技术的发展, 无人机正在变得越来越智能, 集成了自动避障、路径规划等先进功能, 使其更加易于操控且安全性更高。

3 空气质量检测需求

3.1 高精度

为了准确评估空气质量状况, 需要提高污染物浓度测

【作者简介】朱启超(1989-), 男, 中国湖北监利人, 本科, 工程师, 从事质量检验研究。

量的准确性。随着城市化进程加快和工业活动增加,空气污染问题日益复杂,传统的监测方法已难以满足对污染物浓度进行精确测量的需求。高精度的空气质量监测不仅有助于识别主要污染源及其贡献率,还能为制定有效的减排措施提供科学依据。现代空气质量监测要求能够精确测定包括细颗粒物(PM_{2.5})、可吸入颗粒物(PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)、臭氧(O₃)等在内的多种污染物的浓度水平。通过采用先进的传感器技术和数据分析算法,可以实现对这些污染物的实时、连续监测,确保数据的准确性和可靠性。此外,高精度监测还能够揭示污染物在不同时间和空间尺度上的分布特征,这对于深入理解空气污染机制至关重要。

3.2 大范围覆盖

覆盖更广泛的区域以全面了解空气污染状况及其变化趋势是空气质量监测的重要目标之一。传统监测手段受限于固定站点的数量和位置,难以提供全面的区域覆盖。相比之下,无人机技术能够在短时间内跨越广阔地域,对大面积区域实施快速扫描,获取全方位的数据支持。这使得我们能够更加全面地掌握整个区域内空气质量的变化情况,尤其是那些地形复杂或交通不便的地方。通过编队飞行的方式构建一个动态监测网络,无人机实现了对大面积区域内空气质量变化趋势的连续监控,有助于及时发现和应对可能的环境风险。

3.3 多元化数据采集

收集包括温度、湿度、气压在内的多种气象参数及污染物成分等信息是提升空气质量监测效果的关键。单一类型的污染物数据无法全面反映空气质量的真实状态,因此,综合考虑多种因素显得尤为重要。多元化的数据采集不仅涵盖了常见的大气污染物浓度测量,还包括了与空气质量密切相关的气象条件监测。

3.4 实时更新

提供及时的数据更新,便于迅速响应空气质量变化,这是现代空气质量监测系统的核心要求之一。空气质量是一个动态变化的过程,受到众多自然和人为因素的影响。因此,实时监控并及时发布最新数据对于有效管理和控制空气污染至关重要。借助于无人机搭载的先进传感设备和高速通信技术,可以实现对大气污染物浓度的即时测量,并将结果迅速反馈给相关部门和社会公众。这种实时更新机制不仅增强了公众对空气质量变化的感知能力,也使得决策者能够根据最新的监测数据快速做出反应,采取相应的应急措施。

4 无人机在空气质量监测中的应用

4.1 大气污染物浓度监测

无人机技术在大气污染物浓度监测方面的应用,极大地提升了环境监控的能力和效率。通过搭载高精度传感器,无人机能够直接获取空气中包括颗粒物(如PM_{2.5}、PM₁₀)、二氧化硫(SO₂)、氮氧化物(NO_x)以及挥发性

有机化合物(VOCs)在内的多种污染物的浓度信息。与传统的固定站点监测相比,无人机不受地理位置限制,可以在城市的不同高度层进行采样,从而提供更加全面准确的数据支持。这些数据不仅有助于科研人员深入理解污染物的空间分布特征及其变化规律,还为政府制定有效的减排策略提供了科学依据^[2]。

4.2 空气质量指数预报

结合历史数据与当前的实时监测结果,无人机技术为预测未来一段时间内的空气质量情况提供了强有力的支持。基于无人机收集到的大气污染物浓度信息,结合气象条件和其他环境参数,利用先进的数学模型和大数据分析技术,可以实现对未来空气质量指数(AQI)的精准预报。这种预报不仅能帮助公众提前做好健康防护准备,减少因空气污染导致的疾病风险,同时也为城市规划者和政策制定者提供了决策支持。例如,当预报显示即将出现雾霾天气时,相关部门可以根据预测结果及时调整交通流量控制方案,减少机动车尾气排放;或者加强对工业企业的监管力度,要求其采取临时减排措施。此外,长期的空气质量预报还能用于评估环境保护政策的实施效果,促进相关政策的优化和完善。

4.3 污染源追踪

无人机在污染源追踪方面展现了独特的优势,它能够迅速定位污染源头,帮助管理部门采取有效措施进行治理。对于突发性的环境污染事件,比如化工厂泄漏或火灾事故产生的有害气体扩散,传统的人工排查方式往往耗时较长且存在安全隐患。而无人机则可以通过快速部署,携带专业检测设备飞往事发地点,利用其机动性和灵活性迅速锁定污染源位置。同时,无人机还可以沿着污染物传播路径飞行,采集沿途的空气样本,分析污染物成分及浓度变化趋势,为后续处理工作提供详尽的第一手资料。这不仅提高了应急响应的速度和效率,也减少了环境污染对周边环境和居民健康的潜在威胁。更重要的是,通过对污染源的精确追踪,可以有针对性地制定整改措施,从根本上解决污染问题。

4.4 区域空气质量评估

无人机技术的应用使得对特定区域的空气质量进行全面综合评价成为可能,这对于促进环境保护政策的科学决策具有重要意义。通过系统地规划无人机的飞行路线和采样点布局,可以构建起覆盖整个目标区域的三维空气质量监测网络。同样,在自然保护区或生态脆弱地带,无人机监测可以帮助了解人类活动对当地生态系统的影响程度,为制定保护策略提供参考。综上所述,无人机技术为区域空气质量评估提供了一种高效、经济的新手段,促进了环境保护工作的精细化管理。

5 空气质量监测应用案例分析

5.1 无人机空气质量监测设备的构成分析

在进行空气质量监测时,设备组合确保了对大气参数的全面采集与分析。系统配置包括3台AM510颗粒物

检测器（每台约 540 克），用于测量颗粒物浓度；2 台 2B POM™ O3 检测器（每台约 340 克），专注于臭氧浓度测定；以及 3 台 Langan T15n CO 检测器（每台 400 克），监控一氧化碳水平。此外，还有 2 台 HOBO U12 温湿度传感器（每台约 46 克），提供温度和湿度数据支持。系统中包含一台 Davis 6250 可移动式微型地面气象站，收集广泛的气象数据，并配备 2 套 Waspnote 微型设备和 2 套高光光谱相机，增强数据多样性。此外，为了提升监测效果，特别引入 TSI DustTrak DRX 设备进行化学成分分析，所有设备经过严格校准并通过户外及实验室测试验证，确保数据精确可靠，这套综合方案不仅适用于无人机操作，也适合地面移动空气质量监测，提供了灵活多样的应用场景。

5.2 无人机空气质量监测的具体运用

5.2.1 具体的采样方案设计

无人机空气质量监测与传统方法相比存在显著差异，需特别关注采样时间、地点选择、无人驾驶平台性能、飞行航线规划及辅助监测装置等因素。为确保数据准确性和可靠性，需综合考虑各种影响因素，并针对突发事件做好准备。实际操作中，基于 GIS 分析和实时气象数据优化无人机飞行路径和采样点布局，并灵活调整监测计划以应对天气变化，确保在最佳条件下执行任务，提升数据质量，如图 1。

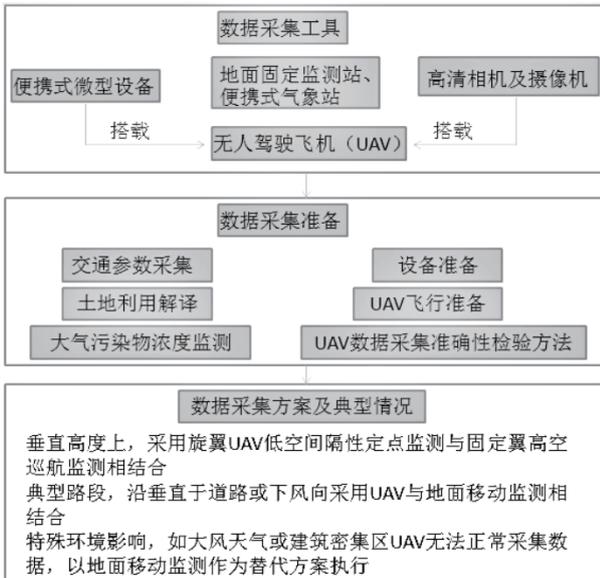


图 1 无人机空气质量监测的空间采样方案图

5.2.2 数据准确性和可靠性的校正

尽管无人机在空气质量监测中展现出显著的作用和效

果，但其作为大气污染的空中监测工具，仍面临设备可靠性较低及空中飞行控制难度较大的挑战。这些问题可能导致采集的数据缺乏准确性验证。当前，为了确保无人机空气质量监测设备数据的有效性，通常采用单一的地面校正方法。具体做法是让无人机围绕固定的地面空气监测站飞行，并使二者的高度尽量一致。通过对比无人机与地面监测站同时段采集的数据，进行校正以提高数据的准确性。

5.2.3 大气污染四维时空变化规律探索

国内的大气污染现象具有明显的时空分布特征，这种特性本身已经相当复杂，再加上气象条件以及城市形态不规则等因素的影响，使得大气污染的变化规律变得更加难以捉摸。这对无人机空气质量监测工作提出了更高的要求。因此，相关工作人员和空气质量监测机构需要深入探索大气污染的时空变化规律，以便更准确、有效地描绘出区域大气污染的真实状况^[1]。开展不同时间点、不同采样区域以及不同垂直高度上的大气污染物时空分布及其变化规律的研究，对于提升后期空气质量监测工作的效率和精确度至关重要。通过这样的研究，不仅可以更好地理解污染物如何随时间和空间变化，还能够为制定有效的污染控制策略提供科学支持。此外，这类分析也有助于识别污染源及其影响范围，从而为精准治理提供依据。

6 结论

本文表明，传统空气质量监测方法存在诸多不足，特别是在高空区域监测方面。无人机技术的应用有效弥补了这些缺陷，提供了更全面准确的数据支持。然而，实际操作中需考虑多种因素如采样时间、地点选择和飞行路径规划等，因此制定科学的数据采样方案至关重要，以减少外界因素影响，提升监测效果。优化的数据采样方案不仅能提高空气质量预报的准确性，为环境管理提供科学依据，还为城市规划中的环境评估提供了数据支持。此外，无人机能快速响应突发污染事件，及时处理污染源，保护公众健康和社会可持续发展，展示了其在空气质量监测领域的广阔应用前景。

参考文献

- [1] 韩贝, 王伯槐. 基于物联网的气象探测无人机研究[J]. 物联网技术, 2021, 11(3): 18-21.
- [2] 杨旭, 蔡子颖, 韩素芹, 等. 基于无人机探空和数值模拟天津一次重污染过程分析[J]. 环境科学, 2021, 42(1): 9-18.
- [3] 刁昶皓, 封学军, 张艳, 等. 基于无人机平台的干散货港区 PM2.5 分布规律研究[J]. 环境污染与防治, 2020, 42(12): 1502-1506.