

江苏生态环境无人机监测体系研究及初步应用

丁铭¹ 李旭文^{1*} 姜晟¹ 侍昊¹ 张悦¹ 顾雷霆²¹

(1. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210019;

2. 新吴区环境监测中心, 江苏 无锡 214000)

【摘要】: 近年来, 无人机技术趋于成熟并逐步得到广泛应用, 成为一种新的环境监测平台。与传统监测方法相比, 无人机监测平台具有快速、灵活、清晰、直观等突出优势。基于以往工作基础, 研究并提出一种适用于江苏省的生态环境无人机监测体系, 同时进一步讨论无人机在水、气、生态环境监测领域的业务应用思路。

【关键词】: 无人机 环境监测 江苏

【中图分类号】: X85 **【文献标志码】:** B **【文章编号】:** 1674-6732(2019)05-0096-07

多年来, 江苏省在经济快速发展的同时, 也积累了比较复杂的环境问题, 当前正处于生态文明建设的“关键期、攻坚期、窗口期”, 对生态环境监测技术创新, 发挥更有力支撑作用提出了更高的要求^[1,2,3]。而传统的监测模式存在以点代面、静态监测、离散监测、局地观测等问题, 卫星遥感监测则受制于天气影响、过境时间和精度限制, 无人机监测能够填补空白, 增加监测手段, 且具有机动、快速、经济等特点, 可搭载各类成像载荷(可见光、热红外、多光谱等)、采样载荷、微型在线监测设备, 为生态环境执法、环境监测、环境应急工作提供有力的支持。

早在 2014 年, 《国务院办公厅关于加强环境监管执法的通知》(国办发[2014]56 号)^[4]提出应强化自动监控、卫星遥感、无人机等技术监控手段运用。此后, 国务院、原环境保护部(现生态环境部)于 2015、2016 年先后在《生态环境监测网络建设方案》(国办发[2015]56 号)^[5]、《“十三五”生态环境保护规划》(国发[2016]65 号)^[6]、《全国生态保护“十三五”规划纲要》(环生态[2016]151 号)^[7]中指出应加强生态监测网络建设, 建立天地一体化的生态遥感监测系统, 加强无人机遥感监测, 实现对重要生态功能区、自然保护区等大范围、全天候监测。2018 年, 《中共中央、国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》再次强调建立独立、权威、高效的生态环境监测体系, 构建天地一体化的生态环境监测网络。根据国家要求, 江苏省政府办公厅印发了《江苏省生态环境监测监控系统 3 年建设规划(2018—2020)的通知》(苏政办发[2019]27 号)^[8], 明确要求在污染源监督执法、突发事件应急、环境监测 3 个方面提升江苏省无人机监测体系能力。无人机监测体系构建正在成为生态文明建设“天、空、地”一体化监测网络的重要内容^[9,10]。现以无人机在江苏生态环境监测体系中的应用为例, 介绍无人机技术在水环境、大气环境和生态环境监测领域的应用成效。

1 无人机监测技术概述

1.1 无人机平台特点分析

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项基金资助项目(2017ZX07302-003); 2018 年太湖水污染治理省级专项资金科研课题基金资助项目(TH2018304); 江苏省环境监测科研基金资助项目(1822)

作者简介: 丁铭(1981—), 男, 高级工程师, 硕士, 从事环境监测工作。

***通讯作者:** 李旭文 E-mail: lxw241@163.com

无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)是一种由遥控站管理(包括远程操纵或自主飞行)的航空器,也称为遥控驾驶航空器。目前,根据其系统组成和飞行特点,可分为固定翼无人机(滑跑型、弹射起飞滑型、手抛伞降型、垂起复合翼型)、旋翼无人机、无人飞艇、伞翼无人机、扑翼无人机等,其中在生态环境领域中运用较为成熟的是固定翼、垂起复合固定翼和多旋翼 3 种无人机^[11, 12, 13]。

1.2 生态环境无人机监测业务流程

生态环境无人机监测业务流程主要包括:技术准备、外业采集和内业处理(图 1)。

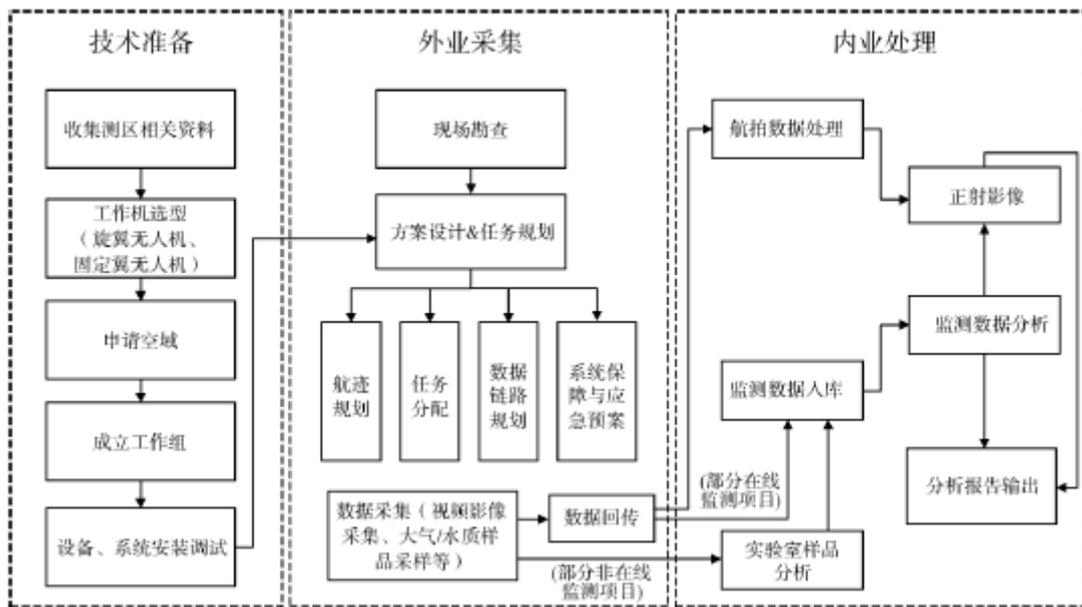


图 1 生态环境无人机监测工作流程

2 江苏省生态环境无人机监测体系研究

2.1 应用体系构建

为实现污染源可视化、突发环境事件应急监测新突破和生态红线精细化监测再升级的目标。根据环境执法、应急与监测的工作需求,江苏省生态环境无人机监测技术体系设计构建主要分为执法版、应急版与监测版 3 种版本。

无人机执法版可辅助执法人员对污染源和污染企业开展现场成像式监测,在进入企业前即可从空中拍摄其内部污染场地照片,减少人为干扰,降低取证难度,增强处罚依据,提升震慑效果。配置载荷主要为多旋翼无人机搭载机载高清相机/摄像机、红外热成像相机装置用于现场执法取证。

无人机应急版主要可携带无人机快速到达环境污染事件现场,在突发环境事件处置阶段,在现场将无人机数据拼接成影像成果,配合大气、水质采样位置信息进行污染扩散范围研判和应急处置。突发事件后评估阶段,使用无人机获取事后多媒体和拼接影像数据,并与后期无人机现场大气、水质采样结果叠加分析,综合评估突发事件后续的环境影响。配置载荷除取证摄像外,增加无人机现场监测与采样功能。

无人机监测版主要目标在于加强大气、水质环境质量现场监测、生态保护红线区监控技术手段，同时在必要时对生态环境执法和应急工作给予支撑。

环境监测对无人机的需求除高清图像、快速判断污染程度、采样分析外，还应具备大范围环境图像数据调查能力。

江苏生态环境无人机监测体系架构见图 2。江苏省无人机人员、装备、数据通过一个平台进行综合管理，同时做好常态监测和应急监测两手准备，满足污染源监督执法、环境监测与生态红线管控、突发事件应急监测三大业务需求，支撑环境监督执法、应急、监测、监控 4 类职能部门的重点工作目标。

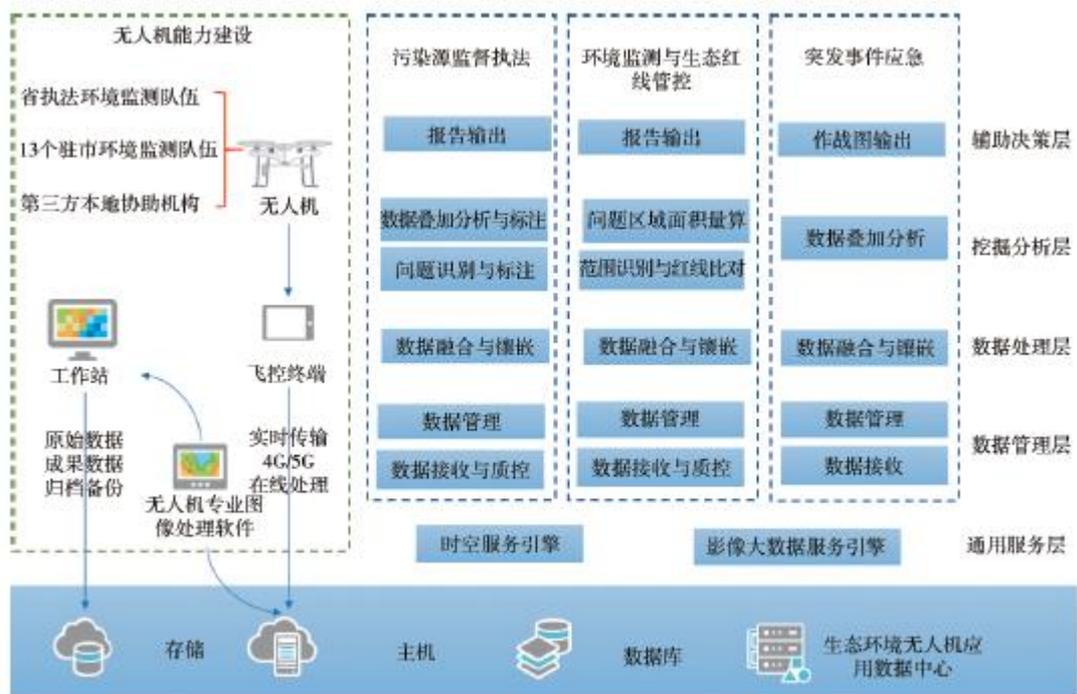


图 2 江苏生态环境无人机监测体系架构

2.2 人才队伍构建

无人机监测人才队伍需要较强的专业性(如环境遥感技术，水、气、土监测技术，航空飞行技术，专业自动化控制维护技术等)，人员业务水平需要通过岗前培训和现场实践加以提高。按照驻市监测中心培养或增配无人机驾驶员，省级层面增配具有遥感及相关专业背景的无人机专业技术人员，通过岗前培训和现场实践加以提高，并参加中国民用航空局旗下的中国航空器拥有者及驾驶员协会组织的民用无人驾驶航空器系统驾驶员合格证考试。目前已对江苏省环境监测中心与驻市环境监测中心人员开展了培训，省内具有无人驾驶航空器系统驾驶员合格证人员约 30 余人，并通过本地第三方无人机协助监测队伍，形成较为完善的无人机监测能力体系。

3 面向环境监测的无人机应用探讨

3.1 水环境监测

对于水体污染而言，水体多呈带状分布，涉及的地域较广，排放口所处位置较隐蔽或无通路，靠人为巡检效率低下。利用固定翼或多旋翼无人机搭载高清、多光谱、红外等类型航拍载荷设备，对较大范围内的水体异常与偷排偷放现象进行监测，叠加河网地图并通过人工智能技术即可快速提取受污染的水体范围，分析污染水体情况。

2018年7月，江苏省开展黑臭水体无人机监测，利用高清红、绿、蓝3个波段反射率的特点判断城市黑臭水体及监测水体异常与偷排偷放现象(图3)。



图3 某地黑臭河流无人机遥感调查排污口正射与影像图

在水质采样方面，由于固定翼无人机无法悬停，一般采用多旋翼无人机进行采水作业，水环境采样载荷搭载，目前主要分为2种：有机玻璃桶采水和泵吸式采水，见图4(a)(b)。按照无人机载荷3.5kg可飞行20min，假设水样采集过程中由于风力或采集水流影像产生 30° 偏差夹角计算，有机玻璃桶采水载荷空载为2kg携带1.5L有机玻璃桶采样，满载为3.5kg，桶+样品水质量为1.5kg(重力 $G_1=mg=14.7\text{N}$)， $F=G_1 \times \tan 30^\circ = 8.49\text{N}$ ；采用泵吸式采水载荷，潜水泵为0.28kg ($G_2=mg=2.7\text{N}$)， $F=G_2 \times \tan 30^\circ = 1.6\text{N}$ ，根据作用力与反作用力原理，采用泵吸式采水载荷对无人机稳定性影响较小，但会对样品有扰动，对溶解氧、浊度、悬浮物指标有一定影响。从采样规范性来看，有机玻璃桶采水优于泵吸式采水。

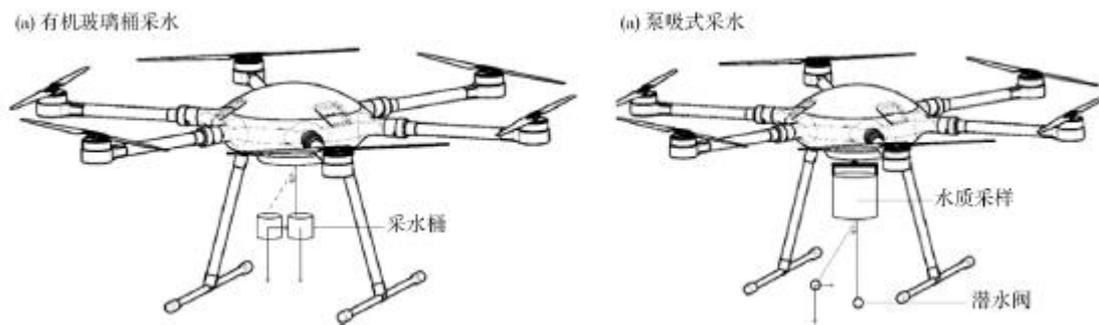


图4 无人机采水作业示意

3.2 生态环境监测

对生态功能区巡查而言，由于区域面积较大，部分地形复杂，一般工作人员需要几天时间完成一次巡查。利用多旋翼或固

定翼无人机搭载各类相机及遥感设备，可以快速掌握区域范围情况，突破巡查人员的视野局限，实现高效生态监测等功能。2018年10—11月，江苏省环境监测中心采用多旋翼无人机对无锡市工业区内部分河流进行了无人机现场调查，发现部分河道周边存在疑似“散乱污”现象，无人机航测影像见图5。



图5 无锡市某地工业区内部分河流无人机航测影像

3.3 大气环境监测

对于空气污染监测而言，需要精准的位置信息与定点悬停的采集，多采用多旋翼无人机搭载空气监测仪进行空气污染监测工作，根据需要采集不同高度、大范围的空气样品，同时进行现场快速分析，形成污染物的“场分布”，并根据浓度叠加底图进行污染源追溯；也可根据大气网格监测到的排放指标，利用无人机监测周边场空间内的污染扩散情况，见图6和图7。

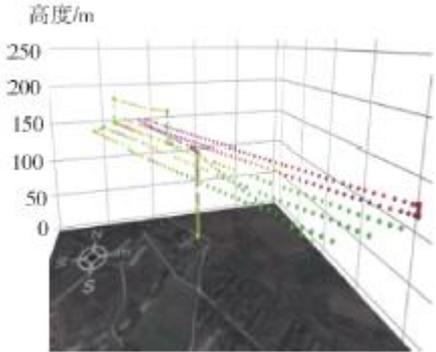


图6 不同高度污染浓度立体分布



图 7 形成污染物的“场分布”

多旋翼无人机大气环境监测载荷搭载，目前主要分为 2 种，即气体载荷上置和气体载荷下置，见图 8(a) (b)，根据旋翼无人机飞行过程风场考虑，气体载荷上置可将无人机飞行周边的气体进行采集分析，较大面积捕获污染源；气体载荷下置可采集无人机悬停位置下的气体。从载荷配平上看，气体载荷上置较为灵活，气体载荷下置较为安全稳定，不必考虑在飞行过程中采样气泵管路对上旋飞机桨叶飞行的影响。

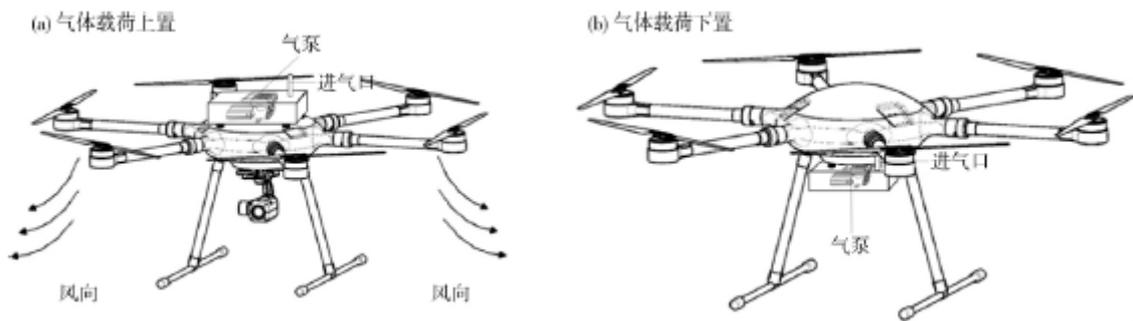


图 8 多旋翼无人机大气环境监测载荷搭载

4 问题与讨论

无人机技术的发展是根据无人驾驶的飞行器技术、传感器技术、遥测遥控技术、通讯科技、GPS 定位技术、载荷平台技术共同产生作用，由于目前无人机在测绘、消防、电力巡检等方面形成了较为成熟的经验，而在生态环境监测领域刚刚起步，还存在一些关键技术问题需要解决。

4.1 动力设计问题

成熟的固定翼无人机续航时间较长，但为保持飞行升力，无人机需保证较高的速度，因此无法满足环境采样监测过程中污染源精准定位和悬停采集的要求；旋翼无人机虽然可悬停、侧飞、倒飞，灵活性较好，但由于其飞行升力均由自身桨叶提供，能源消耗较大，续航时间较短，一般电器驱动时间为 30~40min；如果采用油电混合模式，则面临气体采样产生二次污染、油机维护保养困难、飞行过程存在安全问题，如何在增加续航时间、增加重量的同时减少损耗，是无人机动力设计亟待解决的问题。

4.2 数据传递技术

无人机遥测的一个重要环节是对信息的传输与遥控。由于环境监测对象大部分为人类居住的环境区域和重点监管的工业园区，居民区高大的建筑、工业园区铁制厂房及高压线所产生的地磁影响会干扰无人机飞行，无人机实际遥控距离与理论距离存在较大差距。如何实现影像高品质与飞行高质量同时发展，是无人机今后在环境监测领域发展的方向。

4.3 图像拼接技术

生态环境保护除对人类居住环境区域和工矿企业区进行保护外，湖泊、河流、海洋也是生态环境无人机监测的水(海)域。但由于湖泊、河流、海洋区域影像内容单一、特征点极少，空三同名点匹配困难。凭传统图像拼接软件(Trimble Inpho UAS Master、Onebutton、Pix4Dmapper)无法完成大面积特征点极少区域的匹配与拼接，以往通过采样视频方式进行影像采集，但由于视频影像受飞行干扰较大，且直观性较差、无法精准定位污染源位置；而增加飞行高度、增大像幅、拍摄获取更多的特征点(如岸边地物或岛礁等)虽然能在一定程度上解决拼接问题，但大面积水域无人机影像拼接仍相对较为困难，是今后研究无人机正射影像拼接技术需要解决的问题。

4.4 海量数据处理

从2018—2019年长江入河排污口、生态保护红线区与各类工业园区和重点行业企业现场排查工作经验来看，无人机航拍数据主要包括：(1)长江排污口排查、长江生态环境调查，涉及范围包括沿江八市滨江3000km²区域；(2)江苏省生态保护红线区及其他重要生态空间监管，涉及范围包括407个国家生态红线区、779个省级生态红线区、14个省级以上自然保护区，面积约22800km²；(3)江苏省各类工业园区和重点行业企业，涉及范围包括53个化工园区、约1399家工业企业，占地面积约1399km²。按照1km²无人机航测影像20GB数据量进行测算，则覆盖一次所需的存储空间需要530TB，远远大于传统卫星遥感影像数据存储量与影像解析工作量，同时由于每一个地区污染源排口的影像不一，如何从海量数据中分析辨别疑似入河排口，给无人机在环境监测领域的发展提出新的问题。

4.5 前景及展望

无人机航空遥感作为一项有潜力的环境监测技术，随着“天、空、地”一体化环境监测网络体系的建立，无人机在水体、大气、生态等多方面环境监测领域陆续应用，相信随着新能源的开发、4G/5G网络传递技术的完善和商业化、人工智能与大数据技术的广泛应用，半导体技术快速发展赋能传感器的低功耗、高性能、小体积、低重量的特点，无线通信抗干扰技术的发展，无人机环境传感器技术、环境遥感分析技术会不断更新成熟，基于无人机技术在环境监测系统的优势，将为传统环境监测提供有益的补充。

参考文献：

- [1]谢涛，刘锐，胡秋红，等. 基于无人机遥感技术的环境监测研究进展[J]. 环境科技，2013, 26(4): 55-60.
- [2]姚婉玲. 基于无人机遥感技术的环境监测研究进展[J]. 环境与发展，2017, 29(5): 154-154.
- [3]陈仲明，蒋成文，周忠瑞，等. 浅析无人机遥感技术的发展现状[J]. 科学技术创新，2018(4): 15-16.
- [4]国务院办公厅. 国务院办公厅关于加强环境监管执法的通知(国办发〔2014〕56号)[Z]. 2014.
- [5]国务院办公厅. 生态环境监测网络建设方案(国办发〔2015〕56号)[Z]. 2015.

-
- [6]国务院. “十三五”生态环境保护规划(国发〔2016〕65号)[Z].2016.
- [7]环境保护部. 全国生态保护“十三五”规划纲要(环生态〔2016〕151号)[Z].2016.
- [8]江苏省人民政府办公厅. 江苏省生态环境监测监控系统三年建设规划(2018—2020)的通知(苏政办发〔2019〕27号)[Z].2019.
- [9]邹志芬, 史晓云, 张代荣, 等. 基于无人机遥感技术的环境监测应用研究进展[J]. 绿色科技, 2017(8):166-167.
- [10]王广阔. 小型无人机控制系统设计及航迹规划研究[D]. 北京:北京理工大学, 2016.
- [11]孙刚. 基于无人机航拍图像的大气多污染源定位研究[D]. 北京:华北电力大学, 2017.
- [12]LANGHAMMER J,VACKOVA T. Detection and mapping of the geomorphic effects of flooding using UAV photogrammetry[J].Pure and Applied Geophysics, 2018(3):153-154.
- [13]ALVEAR O,CALAFATE C T,ZEMA N R,et al. A Discretized approach to air pollution monitoring using UAV - based sensing[J]. Mobile Networks & Applications,2018(13):1-10.