

无人机技术在水环境监测中的应用探索

张庆

博尔塔拉水文勘测中心

DOI:10.12238/hwr.v8i12.5899

[摘要] 干旱区水资源短缺,生态脆弱,亟须创新水环境监测模式。本文以博尔塔拉地区为研究对象,深入分析无人机遥感技术在流域水质监测、湖泊湿地生态调查、农田灌溉管理、城镇水环境治理、矿区污染监管等领域的应用潜力。通过优化无人机平台与传感器选型,构建“天-空-地”一体化监测网络,开展水环境关键参数高频观测。针对不同应用场景,提出差异化的数据解译方法,建立多源信息融合机制。在此基础上,创新形成监测数据驱动的精细化管理模式,为干旱区水资源可持续利用和生态保护提供新思路与技术支撑。无人机遥感正成为提升水环境监测能力,助力流域治理体系现代化的重要力量。

[关键词] 无人机; 水环境监测; 干旱区

中图分类号: V279+.2 **文献标识码:** A

Exploration of the Application of UAV Technology in Water Environment Monitoring

Qing Zhang

Bortala Hydrological Survey Bureau

[Abstract] Arid regions face shortages of water resources and fragile ecosystems, urgently requiring innovative water environment monitoring models. Taking the Bortala region as the research object, this paper deeply analyzes the application potential of UAV remote sensing technology in various fields such as water quality monitoring in river basins, ecological surveys of lakes and wetlands, farmland irrigation management, urban water environment treatment, and mining area pollution supervision. By optimizing the selection of UAV platforms and sensors, an integrated "sky-air-ground" monitoring network is constructed to carry out high-frequency observations of key water environment parameters. For different application scenarios, differentiated data interpretation methods are proposed, and a multi-source information fusion mechanism is established. On this basis, an innovative fine management model driven by monitoring data is formed, providing new ideas and technical support for the sustainable utilization of water resources and ecological protection in arid regions. UAV remote sensing is becoming an important force in enhancing water environment monitoring capabilities and facilitating the modernization of watershed management systems.

[Key words] UAV; Water Environment Monitoring; Arid Region

引言

博尔塔拉地区水资源时空分布不均,生态环境脆弱,对水环境监测提出了更高要求。精细化、信息化已成为水环境监测的必然趋势。无人机遥感具有高时空分辨率、机动灵活等特点,在水环境监测领域前景广阔。国内外学者积极开展无人机水环境监测应用研究,取得了丰硕成果。本文立足博尔塔拉地区水环境管理需求,探索构建“天-空-地”一体化监测格局,研发特色水体信息提取方法,创新形成监测数据驱动的精细化管理模式。

1 无人机水环境监测的技术基础

1.1 干旱区无人机遥感平台选型

无人机遥感平台选型需考虑干旱区气候特点和监测任务需求。混合翼无人机具有长航时、高稳定性特点,适合大范围调查;多旋翼无人机在低空悬停、机动性方面优势明显,适合精细化观测;固定翼无人机则具有效率高、成本低等特点。平台选型需权衡任务需求、作业环境、操控难度、设备成本等因素。固定翼适用于流域尺度监测,多旋翼适合小型水体调查,混合翼在流域与局部监测间较为平衡。气候环境对无人机结构、材料和防护等级提出特殊要求,需考虑防尘、防腐、抗震等性能。同时要兼顾负载能力、续航时间、操控半径等技术指标,选择适合的动力系统和控制系统。科学的平台选型与配置是保证监测数据质量的基础。

1.2 干旱区水体光学特性与传感器优选

水体的光谱特性与叶绿素、悬浮物、有机物等污染物浓度密切相关,不同污染物在特定波段表现出独特的吸收和反射特征。多光谱相机主要用于监测叶绿素a和悬浮物含量,可在蓝光、绿光、红光波段获取水质信息;高光谱传感器提供连续光谱曲线,具有较高精度;热红外传感器测量水温分布,光谱仪获取辐射特性。选择传感器需考虑光谱分辨率、空间分辨率、信噪比等技术指标,并权衡重量、功耗、成本等因素。根据监测指标选择合适传感器组合,进行光谱响应匹配和定标校正,是获取高质量数据的关键。传感器的稳定性和可靠性直接影响监测结果的准确性。

1.3 稀疏植被水体信息提取方法

水体信息提取主要采用光谱特征分析和图像分割方法。光谱分析利用水体在可见光和近红外波段的独特反射特性,通过波段组合构建水体指数进行识别。图像分割基于区域生长、边缘检测等方法提取水体边界特征^[1]。对稀疏植被区,需考虑植被覆盖影响,采用改进的归一化水体指数和机器学习方法提高精度。针对季节性水体,引入时序特征分析;对阴影干扰区域,结合地形因子校正。考虑水体的空间异质性和时间动态性,选择识别阈值和分类参数。提取结果通过实地采样验证评估准确性,采用混淆矩阵评价精度。信息提取的可靠性影响后续分析结果。

1.4 多平台水环境监测数据融合

多平台数据融合涉及卫星、无人机、地面监测等不同来源数据的整合与同化处理。进行数据预处理,包括几何校正、辐射校正、大气校正等,消除系统误差影响。通过时空配准实现多源数据匹配,采用小波变换等方法进行多尺度分解与重构。融合过程中考虑不同平台数据的精度特点,分配合理权重系数。可采用像元级、特征级和决策级等不同层次的融合方法,每种方法都有其适用条件。通过均方根误差、相关系数等指标评价融合结果。多源数据融合提供更全面的水环境信息,需注意数据源的时效性和一致性,关注误差传递和不确定性分析。

2 基于无人机的博尔塔拉地区水环境监测方法

2.1 博尔塔拉河流域水质参数高频监测

无人机搭载多光谱和高光谱传感器沿博尔塔拉河开展水质监测。在主要河段设置15个固定监测断面,每周开展2次常规巡查。利用多光谱传感器在550-680nm波段监测叶绿素a含量,450-480nm波段监测水体浊度,获取水质参数空间分布特征。设计“Z”字形飞行路线确保数据代表性,采样高度控制在80-120米。监测点位包括主要排污口、支流汇入口、水源地等关键节点。针对水质异常区域增加监测频次,及时发现污染。在断面处采集水样进行实验室分析,建立水质参数遥感反演模型。监测数据通过4G网络传输至地面站,分析污染物迁移规律。在汛期和枯水期调整监测频率,指导水环境治理。

2.2 博尔塔拉湖泊湿地生态要素提取

无人机对博尔塔拉地区湖泊湿地进行定期监测,重点关注

赛里木湖、博斯腾湖等重要水体。采用多光谱传感器提取水面面积、植被覆盖度等指标,分析湿地生态系统状况。制定“米”字形航线,实现湖泊湿地全覆盖监测,设置12个典型样区定点追踪。利用归一化植被指数评估植被长势,结合地面调查建立植被分类体系。采用改进水体指数计算水域范围,评估面积动态变化。针对季节性积水区监测频率加密,评估湿地变化特征。通过声纳探测水深分布,分析地形地貌特征。利用激光雷达评估植被三维结构,识别优势植物群落分布。监测数据通过无线网络实时传输,建立湿地生态监测预警系统。监测结果为湿地生态修复和保护措施制定提供科学依据,形成长期跟踪评估机制。

2.3 农田灌溉用水遥感监测

在博尔塔拉绿洲农业区布设无人机监测网络,对农田灌溉用水进行监控。选择典型灌区设置8个固定监测点,每周开展一次常规监测。利用热红外传感器监测土壤水分状况,通过地表温度反演计算田间耗水量。搭载多光谱相机获取作物生长参数,建立作物需水量模型。分析灌溉水分利用效率,评估农田灌溉均匀度,识别灌溉过度和不足区域。针对不同作物类型制定差异化监测方案,确保数据代表性^[2]。监测灌溉渠系运行状况,评估渠系水损失。在作物生长关键期适当增加监测频次,分析灌溉模式对长势的影响。利用土壤水分传感器网络验证反演精度,动态优化监测参数。监测数据为农田灌溉调度和节水改造提供技术支撑,实现精准灌溉管理。

2.4 绿洲城镇水环境动态监测

对博乐市、温泉县等城镇水环境开展无人机监测。重点监测污水处理厂、河湖水系、排水管网等市政设施。采用多光谱设备监测水体富营养化程度,通过热红外识别污水异常排放。结合地面水质自动监测站数据,建立水质参数反演模型。针对黑臭水体,每周巡查2次,重点区段加密监测频次。搭载高清相机记录水体感官指标,评估黑臭程度。监测城市雨水管网运行状况,评估暴雨期间排水能力。通过多时相影像分析水质改善情况,评估治理成效。结合污水处理厂进出水监测,分析处理工艺运行效果。建立水质预警机制,实现城镇水环境动态管理。监测数据为排水设施改造和污染治理提供决策依据,指导城镇水环境系统治理。

2.5 污水处理厂废水排放无人机遥感监测

污水处理厂废水排放无人机遥感监测的实施,具体涵盖设备选型、飞行规划、实时监测、数据处理与监管响应几大关键步骤。在设备选型上,精选高光谱传感器与热红外设备,以精准捕捉水质参数与异常排放;飞行规划阶段,细致规划飞行路径并实地勘察,保障飞行安全及数据质量;实时监测环节,无人机搭载传感器直接对废水排放进行动态监测,收集详尽数据;随后,对采集数据进行深度处理与分析,提炼水质状况与排放异常;最终,依据分析结果,迅速采取监管措施,包括强化巡查、设施维护或执法行动,确保污水处理厂废水排放严格遵循环保规定,有效促进水环境质量的持续改善。

3 无人机技术在水环境监测中的应用

3.1 流域水资源优化调度

无人机监测技术为流域水资源优化调度提供了新思路。通过在干流和主要支流设置监测断面,采用多旋翼无人机进行定点监控,固定翼无人机实施流域巡查。监测内容包括地表水体分布、河道来水、渠系取水、水库蓄水等信息。基于遥感数据建立水资源配置模型,分析流域用水规律和供需平衡。在农业灌溉期增加监测频次,重点观测渠首取水量、灌溉范围和田间用水情况,为灌区配水调度提供依据。通过持续监测评估河道内生态流量保障状况、断面水质变化和灌溉用水效率,指导流域优化调度。在枯水期开展生态补水监测,结合气象水文预报制定应急预案。实践表明,无人机监测能够快速获取流域水资源动态信息,提高调度决策的科学性和时效性,对促进流域水资源可持续利用具有重要价值。

3.2 盐碱化湿地生态修复

无人机遥感技术在湿地生态修复中发挥重要作用。采用多光谱传感器获取湿地水面变化、植被分布、土壤盐渍化等关键信息,评估修复工程效果。在重点湿地区域建立固定监测样区,定期开展遥感监测。针对不同类型退化湿地,跟踪引水补水、植被重建、生态清淤等修复措施的实施效果^[3]。通过近红外波段监测植被生长状况,评估生物量变化;利用短波红外波段分析土壤含盐量,识别盐渍化程度;结合可见光波段判读水体范围,计算水面面积变化。建立湿地生态监测数据库,分析水文条件与生态演变规律的关系,指导修复方案优化。开展湿地野生动物栖息地监测,评估生态系统完整性。实践表明,无人机监测能够及时发现修复过程中的问题,为湿地生态系统恢复和保护提供科学依据。

3.3 绿洲农业精细化管理

无人机遥感为农田水资源精细化管理提供技术支持。基于多源传感器获取作物长势、土壤墒情、地表温度等参数,建立农田“水一肥一盐”协同管理模型。采用热红外传感器监测农田水分胁迫状况,识别灌溉不均匀区域;利用多光谱数据计算植被指数,评估作物生长;通过高光谱传感器分析土壤盐分变化。在典型灌区布设固定监测样点,开展周期性遥感监测。结合土壤水分传感网络验证反演结果,优化监测模型参数。针对不同生育期作物需水特征,制定差异化灌溉方案。监测数据支持灌溉制度优化和节水技术推广,提高农业水资源利用效率。实践证明,基于无人机的精细化管理能够实现农田水资源高效利用,为干旱区农业可持续发展提供技术保障^{[4]~[6]}。

3.4 城镇黑臭水体综合整治

无人机遥感技术为黑臭水体治理提供监测手段。通过搭载多光谱传感器和高清相机,获取水体颜色、漂浮物、气泡等感官指标信息,判定黑臭水体等级。利用高光谱数据监测水体叶绿素a、溶解氧等水质参数,开展富营养化评价。建立河道污染源清单,对排污口、河道淤积、岸线利用等开展系统调查。定期进行遥感监测,记录治理工程施工过程,评估生态修复效果。针对城镇排水管网,利用热红外传感器识别渗漏点和暗管排污。结合机载激光雷达数据分析河道地形,指导清淤疏浚工程。监测数据用于建立河道水质模型,评估治理工程效果,支持分区分类治理方案制定。研究证实,无人机监测在黑臭水体溯源调查和整治评估中具有独特优势。

4 结束语

无人机遥感正成为水环境监测的新兴力量。从流域到农田,从城镇到矿区,无人机应用领域不断拓展。未来,通过构建天—空—地一体化监测体系,创新多源数据融合方法,将进一步提升水环境立体感知能力。深化水质参数智能反演、污染溯源模拟等技术集成,有助于推动管理向精细化、数字化迈进。在应急监测、生态修复评估等领域,无人机大有可为。随着科技进步与治理体系的同步升级,无人机遥感将助力干旱区实现水资源的节约集约利用和生态文明建设。

参考文献

- [1]谢鑫苗,周繁,张燕,等.浅析无人机在水环境监测工作中的应用[J].资源节约与环保,2022,(10):33-36.
- [2]刘彦乔,欧阳凯,许健.无人机技术解决水环境工作中的难点问题[J].化工设计通讯,2022,48(05):175-177.
- [3]杨海蓉,邹素兰.无人机技术在水质监测中的应用研究[J].资源节约与环保,2021,(12):45-47.
- [4]庄子熹.一种用于水质监测的无人机研究[J].机电信息,2019,(21):11.
- [5]姚国勤.无人机在生态环境管理中的应用探讨[J].低碳世界,2019,(10):14.
- [6]杜文弓.浅谈水环境监测用水上无人机的技术特点及设计要求[J].河北农机,2018,(9):16.

作者简介:

张庆(1984—),女,汉族,贵州息烽人,大学,高级工程师,主要从事水环境监测评价与水文分析计算。