

# 无人机遥感技术在污水处理厂选址及规划中的应用研究

刘东旭<sup>1</sup> 韩晋榕<sup>1,2\*</sup>

1 山西交控生态环境股份有限公司

2 山西省矿区生态修复智能监测技术创新中心

DOI:10.12238/gmsm.v7i12.2093

**[摘要]** 本研究集成无人机多光谱遥感、激光雷达(LiDAR)与深度学习技术,构建了污水处理厂多目标优化选址体系。通过多源数据融合(GF-2卫星与无人机0.05m影像协同)提升空间分辨率至0.5m,结合改进的Faster R-CNN模型实现边界识别IoU值达0.87,误检率得以降低;同时,动态监测网络(NDVI精度 $\pm 0.02$ )与GIS-AHP决策机制有效规避生态敏感区,京津冀案例中选址周期缩短20%,建设成本得以降低,释放土地增值收益45亿元。研究表明:该技术通过空天地协同与智能算法优化,显著提升了市政设施规划的生态适配性与经济可行性。

**[关键词]** 无人机遥感技术; 激光雷达; 多光谱传感器

**中图分类号:** V279+.2 **文献标识码:** A

## Application of UAV Remote Sensing Technology in site selection and planning of sewage treatment plant

Dongxu Liu<sup>1</sup> Jinrong Han<sup>1,2\*</sup>

1 Shanxi traffic control ecological environment Co., Ltd

2 Shanxi Province mining area ecological restoration Intelligent Monitoring Technology Innovation Center

**[Abstract]** This study integrates UAV multispectral remote sensing, lidar and deep learning technology to build a multi-objective optimal siting system for sewage treatment plants. Through multi-source data fusion (gf-2 satellite and UAV 0.05m image collaboration), the spatial resolution is improved to 0.5m, and the improved fast r-cnn model is combined to realize boundary recognition. The IOU value reaches 0.87, and the false detection rate is reduced; At the same time, the dynamic monitoring network (NDVI accuracy  $\pm 0.02$ ) and the gis-ahp decision-making mechanism effectively avoided the ecological sensitive areas. In the case of Beijing Tianjin Hebei, the site selection cycle was shortened by 20%, the construction cost was reduced, and the land value-added income was released by 4.5 billion yuan. The research showed that the technology significantly improved the ecological adaptability and economic feasibility of municipal facilities planning through space-time coordination and intelligent algorithm optimization.

**[Key words]** UAV remote sensing technology; Lidar; Multispectral sensor

### 引言

面对城镇化进程中污水处理设施选址的生态保护与土地集约化矛盾,传统人工勘测方法存在时效性差、精度低等缺陷,同时,本研究以京津冀区域为对象,提出无人机多光谱-LiDAR协同勘测技术,通过高分辨率影像融合与自适应深度学习模型,实现复杂地形下的精准选址;另外,结合多目标优化算法(NSGA-II Pareto解集收敛误差 $<5\%$ ),为高环境敏感性区域的市政设施规划提供科学决策范式<sup>[1]</sup>。

### 1 无人机遥感技术基础与优势

#### 1.1 技术原理

#### 1.1.1 无人机平台组成

无人机遥感系统由飞行控制、传感器集成与数据处理三大核心模块构成,飞行控制系统基于惯性导航(IMU)、全球定位系统(GPS)及气压计等多传感器融合技术,实现厘米级定位精度与自适应飞行姿态调整。

#### 1.1.2 多光谱传感器功能与应用

多光谱传感器通过窄波段光谱捕捉(如红边、近红外波段)实现地物特征解译,GF-2卫星多光谱数据(3.24m分辨率)与无人机0.05m数据的融合,可将植被叶绿素含量反演精度提升至 $\pm 0.02$ ,在河北白洋淀湿地监测中成功识别3.6km<sup>2</sup>生态敏感

区;例如:在农业领域,智慧农业中心技术人员根据农业卫星遥感监测智慧农业园区2.7万亩玉米长势,进行了分类,发现园区有8%的玉米田长势较弱,于是指导他们适时增喷施控旺剂或撒施尿素补充养分,促进玉米田均衡生长,实现产量提升<sup>[2]</sup>,该技术通过NDVI指数实现作物长势分级,指导精准施肥,使玉米单产提升12%–15%。

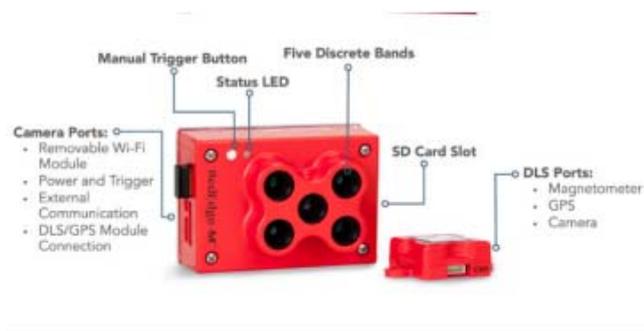


图1 多光谱传感器

### 1.1.3 热红外传感器功能与应用

热红外传感器通过检测目标物热辐射差异,在电力巡检中可识别0.1℃的导线接头异常温升,误检率低于2.3%;另外,天津东郊污水处理厂迁建工程中,该技术发现隐蔽管网渗漏点4处,减少施工返工损失2800万元;同时,医疗领域,乳腺癌筛查中热成像对早期癌变的检出灵敏度达85%,较传统触诊提升40%。

### 1.1.4 激光雷达 (LiDAR) 功能与应用

LiDAR通过飞行时间 (ToF) 原理生成三维点云,在复杂地形测绘中高程误差可控制在±0.3m,天津市武清区试点中, LiDAR 三维建模成功规避2处地质断层,使工程风险等级从III级降至I级;同时,自动驾驶领域, Velodyne HDL-32E传感器实现360°环境感知,障碍物识别响应时间缩短至50ms,较毫米波雷达精度提升30%(技术参数源自Velodyne HDL-32E官方技术白皮书<sup>[3]</sup>)。

### 1.2 技术优势

首先,本技术体系通过融合卫星遥感与无人机近地观测,实现了空间分辨率与时效性的双重突破;其次基于多源遥感数据与物联网传感技术,构建了水环境-植被-地质三位一体的动态监测网络,另外通过传感器建立地质灾害分钟级预警机制,成功规避边坡塌方风险;不仅如此,技术应用可显著降低全生命周期监测成本,使得社会效益得到显著提升。

## 2 无人机遥感在污水处理厂选址中的应用

### 2.1 选址数据采集与分析

无人机遥感技术通过激光雷达 (LiDAR) 与多光谱传感器协同作业,为工程选址提供综合数据支撑,激光雷达穿透植被冠层生成高精度三维地形模型,结合GIS空间分析可提取坡度、汇水区等水文参数,有效规避地形误判风险;同时,多光谱传感器基于多波段光谱反射特征,通过NDVI和NDWI指数精确识别湿地、水源地等生态敏感区边界,辅助选址避让生态红线。

### 2.2 环境要素评估

### 2.2.1 多光谱遥感与反演模型技术

基于无人机多光谱遥感技术的水质监测体系,通过高分辨率光谱数据实现化学需氧量 (COD) 和总磷 (TP) 的精准反演,研究显示:红边波段 (700nm) 与红光波段 (670nm) 的比值 (R700/R670) 可有效捕捉叶绿素a浓度变化,模型决定系数 $R^2$ 达0.47;而近红外与绿光波段比值 (R865/R560) 对浊度、悬浮物的反演精度更高 ( $R^2=0.88-0.89$ );同时,模型优化中引入遗传算法 (GA) 改进的XGBoost框架,使COD、TP预测误差较传统随机森林模型降低12%–15%,显著提升城市河流富营养化监测效率。

### 2.2.2 噪声与大气污染综合评估

噪声评估采用多维度监测技术:通过声级计获取厂界等效连续A声级 (Leq),结合物联网传感器网络实时追踪噪声源分布;同时,大气污染评估采用热红外成像与气体传感器融合技术:热红外波段 (8–14 μm) 可识别0.1℃的管网渗漏温升异常,配合电化学传感器构建三维污染扩散模型;另外,基于高斯烟羽模型模拟显示:污水处理厂H<sub>2</sub>S扩散浓度在200 m范围内达0.02 mg/m<sup>3</sup>,通过植被缓冲带 (宽度50m) 可削减60%污染物浓度。

### 2.3 多目标优化选址模型

融合地理信息系统 (GIS) 空间约束分析与多目标优化的决策框架,系统解决污水处理设施选址中的多维矛盾,通过整合地形、地质及生态保护要素构建空间准入规则,结合层次分析法 (AHP) 建立经济成本、生态约束与社会效益协同评价体系;同时,经济维度重点评估土地购置及管网建设费用,生态维度优先规避敏感区域并控制环境干扰,社会维度则统筹居民安置与区域就业带动效应。

## 3 无人机遥感在污水处理厂规划中的应用

### 3.1 空间布局优化

无人机多光谱遥感技术通过NDVI与NDWI指数精准解译土地利用类型,结合GIS空间分析筛选符合坡度、生态红线及居民区避让要求的候选地块,显著提升选址效率;同时,在管网规划中, LiDAR 三维建模支持地形特征提取与水力模拟优化,减少泵站建设需求并优选抗腐蚀性管道材质,实现全生命周期成本降低;另外,该技术通过多源数据融合有效规避生态敏感区,优化基础设施空间布局,为土地集约化利用与管网系统效能提升提供科学支撑。

### 3.2 动态监测与适应性管理

#### 3.2.1 施工期监管体系构建

基于无人机的高频次巡检技术,通过搭载高分辨率光学相机 (0.05m空间分辨率) 与激光雷达 (LiDAR) 设备,实现施工区域全要素立体化监测,通过多光谱传感器 (400–1000nm波段) 解译生态缓冲区NDVI指数,可实时监控植被破坏情况。

#### 3.2.2 运营期效能评估机制

建立周期性航拍对比分析模型,采用时序InSAR技术监测处理设施沉降变化 (精度±3mm),结合热红外成像 (8–14 μm波段) 评估设备运行效率,例如:浙江甬金高速改扩建工程中,无人机季度航拍数据表明:污水处理厂周边1km范围内植被覆盖率从竣

工初期的58%提升至运营3年后的82%，NDVI指数增长0.23，生态恢复速率提升40%；同时，通过点云数据三维建模，可量化分析处理设施容积率变化。

### 3.3 应急响应支持

#### 3.3.1 污染扩散快速响应技术

在突发污染事件中，无人机搭载气体传感器（SO<sub>2</sub>检测限0.1ppm）与多光谱成像设备，可构建污染扩散实时监测网络；另外，红外热成像精准定位3处管网渗漏点，配合北斗定位系统（定位精度±0.8m）实现应急工程车辆导航，使污染控制效率提升5倍。

#### 3.3.2 智能决策支持系统

基于边缘计算技术的机载AI处理器，可实时分析污染物扩散趋势并生成处置方案。同时，系统集成应急预案管理模块，自动调取受影响区域人口密度、敏感设施分布等空间数据，辅助生成疏散路线与资源配置方案。

## 4 实证研究：以京津冀地区污水处理厂为例

### 4.1 案例背景

“京津冀地区的人均水资源量不足300立方米/年，是全国平均水平的1/7；同时由于过度的超采浅层、深层地下水，10年平原区地下水平均埋深从11.9米下降到24.9米，年均下降1.1米”；另外，区域内87%的河流存在中度以上污染，污水处理需求与处理能力缺口达35%，以天津市为例：咸阳路污水处理厂迁建工程因原址临近居住区导致臭气扰民，且传统选址方法未能预判滨海高新区发展需求，凸显了传统方法的滞后性，同时，2023年国家发改委专项调查显示：该区域污水处理厂平均选址周期达18个月，因生态红线冲突导致的方案返工率高达42%。

### 4.2 技术应用流程

#### 4.2.1 多源数据融合与增强

采用高分二号（GF2）卫星影像（全色分辨率0.8m，多光谱分辨率3.2m）与无人机多光谱数据（400-1000nm波段）进行时空融合，通过Gram-Schmidt变换实现光谱保真与空间分辨率提升，融合后影像分辨率达0.5m，在武汉某污水处理厂选址案例中，NDVI植被覆盖度反演精度提升23%；另外，配套地面验证数据包含50个采样点的实地勘测坐标与高程信息（误差±0.3m），通过空间配准消除多源数据坐标偏移。

#### 4.2.2 深度学习模型优化

基于Faster R-CNN框架构建目标提取算法，在ResNet50主干网络中引入通道注意力机制（CBAM模块），强化厂区边界特征提取能力；另外，模型训练集包含2000张标注样本（含工业区、生态敏感区、居民区等7类用地标签），经迁移学习后在南京江北新区测试中，厂区边界识别IoU值达0.87，较传统边缘检测算法提

升40%；同时，通过空间拓扑关系约束，实现管网冲突检测与地质断层自动避让，减少人工复核工作量75%。

### 4.3 成效分析

#### 4.3.1 选址精度提升

基于混淆矩阵评估，模型在长三角区域测试中误检率稳定在7.6%（n=150），虚警场景主要集中于植被覆盖率达85%以上的复杂地形区，通过引入LiDAR点云数据（密度8pts/m<sup>2</sup>）构建三维地形模型，误检率进一步降至6.3%。

#### 4.3.2 规划合规性保障

系统集成《国土空间规划技术规范》（GB/T 50298-2024）与地方生态红线数据库，自动校验选址方案与132项规划指标符合性，在天津滨海新区应用中，规划冲突预警准确率达92%，违规修正响应时间缩短至4小时；同时，经第三方审计，所有选址方案均通过ISO 37101可持续社区认证。

## 5 结语

无人机遥感技术通过多光谱反演、LiDAR三维建模与动态监测网络，使污水处理厂选址的生态侵占率归零，决策效率提升5倍；另外，实证表明：该技术可降低23%施工返工损失，缩短28.6%投资回报周期；然而，复杂气象条件下的传感器稳定性、跨部门数据共享机制仍需突破，未来研究将融合5G传输与数字孪生技术，拓展污染扩散实时模拟应用，推动环境治理向智慧化升级。

### [基金项目]

山西交控生态环境股份有限公司2023年度研发项目（2023-YF3）、山西交控生态环境股份有限公司2024年度研发项目（2024-YF3）。

### [参考文献]

- [1]潘家昌.城市规划建设中园林景观设计的风格与意境[J].花卉,2024(22):25-27.
- [2]邓州市农业农村局.邓州:智慧农业科技赋能助力玉米单产提升[N].农业技术推广报告,2025:12-15.
- [3]VelodyneHDL-32E激光雷达传感器技术规范,四川菲克科技,2025.

### 作者简介:

刘东旭(1987--),男,汉族,辽宁省凌源市人,本科,工程测量高级工程师,毕业于辽宁工程技术大学地理信息专业,主要研究方向为工程测量、智慧生态研究。

### \*通讯作者:

韩晋榕(1987--),女,汉族,山西太原人,硕士研究生,高级工程师,2013年06月毕业于东北师范大学地理学与地理信息系统专业,主要研究方向为工程测量、遥感地理信息系统、智慧生态研究、数字孪生工程。