

# 无人机巡检技术在公园园林植物病虫害早期预警中的应用与优化

李正东

吴忠市城市绿化队 宁夏 吴忠 751100

**摘要:** 城市化加速与生态文明建设推进,使公园、广场及分车带等公共绿化区域作为绿色基础设施,对改善人居环境、提升生态功能作用重大。但园林植物病虫害频发威胁生态系统稳定与景观价值。传统人工巡检效率低、覆盖有限、主观性强、难早期预警,难满足智慧园林管理需求。近年来,无人机技术因高机动性等优势,成为园林植物健康监测重要工具。本文梳理了无人机巡检在公园、广场及分车带等公共绿化区域病虫害早期预警中的应用现状,分析了多光谱等成像及人工智能算法在识别评估中的关键路径;探讨了数据精度不足等核心问题;从硬件优化等五个维度提出优化策略。研究表明,通过技术集成与管理创新,无人机巡检有望构建“空-地一体化”智能预警体系,提升病虫害防控水平,为智慧园林与城市生态安全提供支撑。

**关键词:** 无人机; 园林植物; 病虫害; 早期预警; 多光谱成像; 人工智能; 智慧园林

## 引言

公园、广场及分车带等公共绿化区域是城市生态核心,具生态调节、休闲游憩等功能,园林植物健康关乎生态效益与景观品质。但受气候变化等因素影响,园林植物病虫害频发,具高频率、多种类等特点,大规模暴发会破坏景观、造成损失与生态风险。传统人工地面巡查监测病虫害耗时费力、覆盖窄,依赖经验,难识别潜伏或初期症状,常陷入被动局面。所以,亟需高效精准非接触式早期预警技术,实现“早发现、早诊断、早干预”。在此背景下,无人机技术凭借快速获取大范围高分辨率影像等独特优势出现,可无损动态监测植物生理状态,提供新预警范式。将其融入日常管理,是提升园林养护智能化水平的关键,也是保障城市生态安全、推动智慧城市建设的战略需求。

## 1 无人机巡检技术在病虫害早期预警中的应用原理与关键技术

### 1.1 应用原理

植物在遭受病虫害侵染后,其内部生理生化过程会发生一系列连锁反应,进而导致外部形态和光谱特征的改变。这些改变构成了无人机遥感进行早期预警的物理基础。健康的植物叶片含有丰富的叶绿素,对可见光中的红光有强吸收,对近红外光有强反射;而当病虫害发生时,叶绿素合成受阻或被破坏,导致红光波段的反射率升高,近红外波段的反射率降低。这种细微但可测量的光谱“指纹”变化,正是多光谱或高光谱成像技术赖以识别病害的关键依据。与此同时,病虫害还会破坏

植物的气孔结构和蒸腾作用,使得胁迫区域的冠层温度相对升高,这一热力学特征可通过热红外遥感予以捕捉。此外,在病害发展到一定阶段后,还会出现叶片卷曲、脱落、枝干枯萎等宏观形态变化,高分辨率RGB影像则能清晰记录这些视觉信息,用于后期验证和严重程度评估。无人机作为空中移动平台,能够周期性地、低成本地获取上述多维度信息,通过数据处理与分析,最终实现对病虫害的早期、精准定位与预警。

### 1.2 关键技术路径

#### 1.2.1 多/高光谱成像技术

多光谱与高光谱成像是当前无人机应用于园林植物健康监测中最为核心的技术手段。多光谱相机通常包含蓝、绿、红、红边及近红外等4至6个特定波段,足以支持多种植被指数的计算,如归一化植被指数(NDVI)、增强型植被指数(EVI)和红边植被指数(NDRE)等。这些指数能够有效量化植物的生长活力与叶绿素含量。当某区域的植被指数值显著低于周边健康区域时,即可初步判定为疑似病虫害区域。相较而言,高光谱相机能够获取数百个连续的窄波段,形成精细的光谱曲线,对不同病虫害类型具有更强的区分能力,尤其适用于早期症状不明显或光谱响应相似病害鉴别<sup>[1]</sup>。尽管高光谱数据量庞大、处理复杂,但其在提升诊断精度方面的潜力使其成为未来技术发展的重要方向。

#### 1.2.2 热红外遥感技术

热红外遥感技术通过测量植物冠层表面的热辐射来反演其温度分布,为病虫害监测提供了独立于光谱特征的

另一重要维度。健康的植物通过蒸腾作用有效调节自身温度，而受病虫害胁迫的植株往往蒸腾效率下降，导致局部冠层温度异常升高。这种温差虽微小，却可通过高灵敏度热红外相机精确捕捉。将热红外影像与多光谱影像进行空间配准与融合分析，不仅可以交叉验证病害信号，还能显著提高预警的准确性，尤其对于那些早期光谱特征变化不明显的病害（如某些根部病害或由病毒引起的系统性感染）具有独特优势。因此，热红外技术常作为多光谱监测的有效补充，共同构建多维诊断体系。

### 1.2.3 人工智能与机器学习算法

面对海量且复杂的无人机遥感数据，传统人工解读方法已难以胜任，人工智能与机器学习算法成为实现自动化、智能化预警的关键支撑。当前主流的技术路径包括目标检测、图像分割、分类识别及时序预测等多个环节。利用YOLO、MaskR-CNN等深度学习模型，系统可自动识别影像中的单株树木并圈定疑似病害区域；基于卷积神经网络（CNN）或Transformer架构的分类模型，则能对提取出的光谱、纹理、形状等多维特征进行学习，建立高精度的病虫害类型识别模型。更进一步，结合历史巡检数据，采用LSTM等时序模型可分析病虫害的发展趋势，实现从静态“状态监测”向动态“风险预测”的跨越。这些智能算法不仅大幅提升了数据处理效率，也为构建闭环预警系统奠定了技术基础。

## 2 当前应用中存在的主要问题与挑战

### 2.1 数据层面的挑战

尽管无人机遥感能够高效获取大范围数据，但其数据质量易受多种外部因素干扰，导致精度与一致性难以保障。飞行高度、光照强度、太阳入射角、大气湿度等变量均会显著影响影像的辐射特性，使得不同时间、不同天气条件下采集的数据难以直接对比，给长期监测和趋势分析带来困难。更为棘手的是，病虫害引起的光谱响应变化并非唯一性信号。土壤背景差异、树冠阴影、以及干旱、营养缺乏等其他非生物胁迫同样会导致植被指数下降，从而引发误报（假阳性）；反之，某些病虫害在侵染初期可能仅造成细胞层面的损伤，尚未引起显著的光谱或热力学变化，容易造成漏报（假阴性）。这种“同物异谱”与“同谱异物”现象，严重制约了预警系统的可靠性。

### 2.2 模型与算法层面的挑战

当前应用于园林病虫害识别的AI模型普遍存在泛化能力弱的问题。大多数模型是在特定区域、针对少数几种常见树种和病害类型的小规模数据集上训练而成，一旦部署到新的公园、广场及分车带等公共绿化区域环

境或面对新出现的病虫害种类，其识别准确率往往急剧下降。这种“过拟合”现象的根本原因在于缺乏一个覆盖广泛、标注规范、持续更新的行业级训练数据集。同时，高质量的标注数据，尤其是病虫害早期阶段的样本，获取成本极高——既需要专业植保人员现场确认，又需在特定时间窗口内完成影像采集，导致训练样本稀缺，严重限制了模型性能的上限<sup>[2]</sup>。此外，现有算法多侧重于图像识别，对病虫害发生机理、环境因子耦合效应等专业知识的融合尚显不足，难以实现深层次的因果推断与风险评估。

### 2.3 作业与管理层面的挑战

在实际业务落地过程中，无人机巡检技术还面临作业流程不规范、与现有管理体系脱节等现实障碍。目前，从飞行任务规划、航线设计、数据采集、影像处理到预警信息生成，整个工作链条缺乏统一的技术标准和操作规程，不同服务提供商采用的方法各异，导致结果难以复现、横向对比困难，也阻碍了技术的规模化推广。更为关键的是，许多无人机预警系统被当作孤立的“技术演示”项目，未能与公园、广场及分车带等公共绿化区域的日常养护计划、植保决策流程、应急响应机制等核心业务深度融合。预警信息往往停留在报告或地图标记层面，无法自动触发后续的核查、处置和反馈动作，形成了“数据孤岛”，使得先进技术难以转化为实际管理效能。

## 3 系统性优化策略

### 3.1 硬件平台与传感器的协同优化

为提升数据获取的全面性与鲁棒性，未来的无人机平台应朝着多载荷一体化、智能化方向发展。理想的巡检平台应集成高分辨率RGB相机、多光谱/高光谱传感器、热红外相机，甚至轻型激光雷达（LiDAR）。其中，LiDAR能够穿透部分树冠间隙，获取精确的三维点云数据，用于构建单木的三维结构模型，从而更精准地计算冠层体积、叶面积指数等结构参数，为病虫害评估提供几何维度的补充信息。此外，为克服自然光照条件不稳定带来的影响，可在无人机上加装可控的LED主动照明系统，实现全天候、标准化的影像采集，从根本上提升数据的一致性和可比性。

### 3.2 构建多源异构数据融合分析框架

单一来源的无人机数据存在局限性，必须构建一个融合空-地、历史-实时、结构-功能的多源异构数据融合分析框架。一方面，将无人机获取的宏观遥感数据与地面物联网传感器网络（如土壤温湿度探头、微型气象站、定点高清摄像头）获取的微观环境与生理数据进行

时空对齐与融合。地面数据可为无人机影像解译提供关键的上下文信息,有效校正环境干扰,区分病虫害与其他胁迫因素<sup>[3]</sup>。另一方面,应建立园林植物全生命周期的健康档案数据库,将每次巡检结果与植物品种、栽植年份、历史病害记录、施肥灌溉日志等信息关联起来,构建动态的知识图谱。这种融合不仅丰富了AI模型的输入特征,也为实现个性化、精准化的健康管理提供了数据基础。

### 3.3 升级智能算法,打造“园林大模型”

面对模型泛化能力弱和样本稀缺的困境,算法层面的创新至关重要。迁移学习技术提供了一条可行路径:可利用在农业或其他领域预训练好的大规模视觉模型(如Vision Transformer),通过少量本地病虫害样本进行微调,快速适应特定公园、广场及分车带等公共绿化区域的应用场景。同时,应大力推动小样本学习、自监督学习等前沿算法的研究与应用,降低对大规模标注数据的依赖。更重要的是,必须打破纯数据驱动的局限,将植保专家的领域知识系统性地融入AI系统。通过构建包含病虫害发生规律、典型症状图谱、防治方案库等内容的行业知识库,并将其与深度学习模型耦合,形成“数据+知识”双驱动的智能诊断引擎,从而提升系统的解释性、鲁棒性与决策支持能力。

### 3.4 建立标准化作业与服务体系

技术的规模化应用离不开标准化的支撑。建议由行业主管部门牵头,联合科研机构与企业,制定《公园、广场及分车带等公共绿化区域无人机病虫害巡检技术规程》,对飞行参数设定、数据格式规范、影像处理流程、预警阈值确定等关键环节作出明确规定,确保服务的专业性与结果的可比性。在此基础上,应开发一体化的智慧园林管理SaaS平台,将任务派发、智能航线规划、数据自动处理、预警信息可视化推送、电子工单生成、处置结果反馈等功能集成于一体<sup>[4]</sup>。养护人员可通过移动终端实时接收精准到单株的预警信息,并上传现场核查与处置照片,形成“监测—预警—处置—反馈”的完整业务闭环,真正实现技术赋能管理。

### 3.5 构建“人机协同”的新型工作模式

技术的价值最终体现在人的使用中。无人机不应被

视为取代人力的工具,而应是赋能一线工作者的智能助手。理想的模式是构建“无人机初筛+专家复核+一线人员处置”的人机协同 workflow。无人机负责大范围、高效率的初步筛查,将疑似病害区域精准定位并推送给后台的植保专家进行远程研判或现场复核;专家确认后,系统自动生成处置工单,指派给最近的养护人员进行精准施药或物理防治。这种模式既充分发挥了机器在广度和效率上的优势,又保留了人类专家在复杂判断和经验决策上的不可替代性,实现了技术理性与人文经验的有机统一,是未来智慧园林运维的必然方向。

## 4 结语

无人机巡检技术为破解公园、广场及分车带等公共绿化区域园林植物病虫害早期预警难题提供了革命性的解决方案。通过多光谱、热红外等先进传感技术与人工智能算法的深度融合,能够以前所未有的效率和精度,实现对植物健康状况的动态、无损监测。然而,要实现从“技术可行”到“业务好用”的跨越,必须正视并系统性解决当前在数据、模型、流程和协同等方面存在的挑战。未来的研究与实践应聚焦于构建一个开放、智能、闭环的“智慧园林病虫害预警生态系统”。这一体系将以标准化的无人机巡检为基础,以多源数据融合和园林大模型为核心,以一体化管理平台为载体,最终实现人机高效协同。随着5G、边缘计算、数字孪生等新一代信息技术的融入,未来将拥有一个实时在线的“数字孪生体”,管理者可以在虚拟空间中预演各种病虫害防控方案,优化资源配置,将风险扼杀在萌芽状态。

## 参考文献

- [1]方锐.无人机技术在园林绿化施工管理的应用[C]//《中国招标》期刊有限公司.新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(三).浙江立兆建设有限公司,2025:650-654.
- [2]闫菁,唐淑芬.无人机遥感在城市园林绿化调查的应用研究[J].江西通信科技,2024,(01):37-41.
- [3]周波.园林养护工程中无人机植保技术的应用[J].安徽农学通报,2023,29(19):117-119.
- [4]陈思思.无人机技术在园林建设中的应用研究[J].科技创新与生产力,2022,(10):60-62.