

# 低空经济背景下无人机农业高效应用研究

陈萌, 许鑫

西安职业技术学院, 陕西 西安 710018

DOI: 10.61369/VDE.2026050041

**摘 要 :** 在低空经济快速发展与农业现代化深入推进的双重背景下, 农用无人机已成为智慧农业与低空经济融合的核心载体。为解决我国农业生产中劳动力短缺、作业效率低、资源浪费严重、复杂地形适配性差等问题, 本文开展低空经济视角下无人机农业高效应用研究。通过梳理国内外农用无人机发展现状, 明确技术差距与发展趋势, 围绕多场景适配无人机平台研发、精准作业关键技术、智能系统架构、人机协同模式及产业融合路径展开系统研究。研究构建 “无人机硬件 — 数据传输 — 云平台 — 地面控制终端” 四层作业体系, 突破本地化作物生长模型、多传感器数据融合、变量精准控制等核心技术, 创新人机协同智能作业与 “农业 + 低空” 产业融合模式。项目计划完成 1 款多场景适配农用无人机样机, 实现传感器数据融合精度 80% 以上、关键作业变量控制误差 10% 以内, 形成配套技术规范与推广方案。研究成果可显著提升农业生产效率、降低农资投入、减少面源污染, 推动低空经济与农业深度融合, 为我国智慧农业发展、粮食安全保障与乡村振兴实施提供技术支撑与实践参考。

**关 键 词 :** 低空经济; 农用无人机; 精准农业; 智慧农业; 变量作业; 产业融合

## Research on the Efficient Application of Agricultural UAVs Under the Background of Low-Altitude Economy

Chen Meng, Xu Xin

Xi'an Vocational and Technical College, Xi'an, Shaanxi 710018

**Abstract :** Against the dual background of the rapid development of the low-altitude economy and the in-depth advancement of agricultural modernization, agricultural unmanned aerial vehicles (UAVs) have become the core carrier for the integration of smart agriculture and the low-altitude economy. To address the problems in China's agricultural production such as labor shortage, low operation efficiency, serious resource waste, and poor adaptability to complex terrain, this paper conducts research on the efficient application of agricultural UAVs from the perspective of the low-altitude economy. By sorting out the development status of agricultural UAVs at home and abroad, clarifying the technical gaps and development trends, the study systematically explores the R&D of multi-scenario adaptive UAV platforms, key technologies for precision operations, intelligent system architecture, human-machine collaboration models, and industrial integration paths. The research constructs a four-layer operation system of "UAV hardware — data transmission — cloud platform — ground control terminal", breaks through core technologies such as localized crop growth models, multi-sensor data fusion, and variable precision control, and innovates the human-machine collaborative intelligent operation and the "agriculture + low-altitude" industrial integration model. The project plans to complete one prototype of a multi-scenario adaptive agricultural UAV, achieve a sensor data fusion accuracy of over 80% and a key operation variable control error within 10%, and form supporting technical specifications and promotion plans. The research results can significantly improve agricultural production efficiency, reduce agricultural input, and minimize non-point source pollution, promote the in-depth integration of the low-altitude economy and agriculture, and provide technical support and practical reference for the development of smart agriculture, food security guarantee, and rural revitalization implementation in China.

**Keywords :** low-altitude economy; agricultural UAVs; precision agriculture; smart agriculture; variable-rate operation; industrial integration

## 一、绪论

### （一）研究背景

低空经济作为国家战略性新兴产业，正迎来政策与市场双重红利，其应用场景持续向工业、农业、物流、应急等领域拓展<sup>[1]</sup>。农业作为国民经济的基础产业，正处于从传统粗放型向现代精准型转型的关键阶段，面临劳动力老龄化、作业成本攀升、资源利用效率低、生态环保压力大等现实挑战。传统人工播种、施肥、植保等作业方式效率低、精度差、耗时长，难以满足现代农业规模化、集约化、绿色化发展需求<sup>[2]</sup>。

无人机凭借低空飞行、灵活机动、精准作业、高效覆盖等优势，可快速完成农田监测、播种、施肥、植保、采样、测绘等全流程农事作业，成为低空经济在农业领域最具落地性、最具规模化潜力的应用方向<sup>[3]</sup>。随着 5G 通信、多光谱传感器、人工智能、北斗定位、云计算等技术成熟，农用无人机从单一植保功能向多场景、全周期、智能化方向升级，在我国平原粮食产区、山地丘陵经济作物区、设施农业区快速普及<sup>[4]</sup>。

在此背景下，开展低空经济背景下无人机农业高效应用研究，破解复杂农田环境适配、精准变量作业、人机协同控制、全产业链融合等关键技术难题，对提升我国农业生产效率、推动农业数字化转型、完善低空经济应用生态、助力乡村振兴具有重要意义。

### （二）研究意义

本研究丰富低空经济与智慧农业交叉领域理论体系，构建多场景农用无人机一体化应用框架，提出人机协同智能作业范式与“农业 + 低空”融合发展模式，填补我国复杂地貌下无人机农业高效应用理论空白，为同类技术研发与产业研究提供参考范式<sup>[5]</sup>。

研发适配平原、山地、丘陵、水田等多场景的专用无人机平台，可显著提升播种、施肥、植保等环节效率，降低种子、化肥、农药使用量，减少农业面源污染；形成的标准化技术方案可直接服务于家庭农场、合作社、种植基地与小农户，推动农业降本增效；同时带动低空飞行、农机制造、农业服务、数字信息等相关产业发展，创造新的经济增长点与就业岗位，支撑农业高质量发展。

### （三）研究内容

系统分析国内外农用无人机发展现状、技术特点、应用模式与存在问题；开展多场景适配农用无人机平台设计，优化机体结构、避障系统、载重与续航性能；研究作物生长模型、多传感器数据融合、变量精准作业等核心关键技术；设计“无人机硬件—数据传输—云平台—地面终端”四层智能作业系统架构；创新人机协同作业模式与低空经济 + 农业产业融合路径；制定研究进度、经费预算、预期成果与推广应用方案。

## 二、国内外农用无人机发展现状与趋势

### （一）国外发展现状

国外农用无人机起步早、技术成熟，已形成高度专业化、系

统化、产业化应用格局，以美国、日本为典型代表。

美国农业规模化、集约化程度高，耕地集中连片，以大型农场为主要应用对象。约翰迪尔等农业科技企业联合高校与科研机构，研发大载重、长续航专业农用无人机，集成高分辨率多光谱成像、LiDAR、GIS、GPS 等技术，可完成作物长势监测、病虫害识别、变量施肥、精准喷药、产量预估等全流程作业，单架次覆盖面积达数千英亩，作业效率较传统方式提升数倍，数据处理与农事决策高度智能化。

日本耕地细碎、山地丘陵多、农业劳动力短缺，无人机以轻便、小型、易操控为特点，雅马哈等企业推出专业植保无人机，重点适配稻田、山地果园等狭小地块与复杂地形，农药喷洒均匀度高、偏差小，可大幅降低农药用量与人工劳作强度，在小型农户中普及率极高。

欧洲国家更注重绿色农业与环保要求，无人机应用侧重土壤监测、精准施肥、生态保护等领域，技术强调低排放、低噪音、高安全，并建立完善的低空飞行管理规范，保障作业安全有序。

整体来看，国外农用无人机呈现技术集成化、作业智能化、服务专业化、管理规范化的特征，形成完整研发、制造、作业、服务产业链。

### （二）国内发展现状

我国农用无人机应用近年来呈爆发式增长，已成为全球最大的农用无人机市场。

在企业层面，大疆创新、极飞科技等企业占据主导地位，产品性价比高、功能齐全、操作简便，广泛应用于北方小麦、玉米等粮食作物的播种、施肥、植保作业，每小时作业面积超百亩，播撒精度达厘米级；在南方山地丘陵区，无人机搭载专用传感器穿透植被冠层，获取作物生长三维数据、土壤湿度、叶片氮含量等信息，为茶叶、甘蔗、果树等特色作物精准管理提供数据支撑，有效解决复杂地形人工监测难、作业难的问题。

在科研层面，中国农业大学、南京农业大学等高校聚焦无人机遥感数据解析、病虫害图像识别、作物生长模型构建等方向，常见病虫害识别准确率已超 85%，部分成果转化为实用监测软件，推动农业智能决策系统不断完善，逐步缩小与国际先进水平差距。

在政策层面，国家大力支持低空经济与智慧农业发展，多地简化农用无人机飞行审批，提供作业补贴与购机补贴，推动无人机在农业领域快速普及。当前我国农用无人机仍存在不足：复杂环境适应性不强、多传感器数据融合精度偏低、变量作业误差较大、人机协同水平不高、产业融合程度较浅，需进一步技术突破与模式创新<sup>[6]</sup>。

### （三）发展趋势

智能化升级：融合 AI、大模型、AR/VR 技术，实现自主航线规划、自主避障、自主决策；多功能拓展：从植保为主向播种、施肥、监测、授粉、采样、物流配送等全场景延伸；协同化作业：多机协同、空地协同、人机协同，提升大规模作业效率；融合化发展：与低空物流、农业金融、保险勘查、电商销售深度融合，形成新业态；标准化完善：建立统一的技术标准、作业规范、安全管理体系。

### 三、无人机农业高效应用核心内容

#### （一）多场景适配无人机平台研发

我国农业地貌类型复杂，平原、山地、丘陵、水田、果园、牧场交错分布，不同场景对无人机性能需求差异显著，因此必须研发多场景通用型专用无人机平台。

平原粮食产区：提高载重与续航，满足大面积播种、施肥、植保需求；山地丘陵区：采用可折叠、轻量化设计，便于运输与狭小空间起降；水田作业区：强化防水、防腐蚀、防沉陷性能，适应高湿泥泞环境；果园设施区：提升低空低速稳定性，增强全向避障能力，避免作物碰撞。飞行控制系统升级：集成毫米波雷达、视觉传感器、北斗定位，实现复杂环境自动避障；结合农田 GIS 地图与作物布局，自动规划最优作业航线，减少漏播、漏喷、重复作业。作业执行机构改进：优化播撒、喷洒、喷施装置，适配种子、颗粒肥、液体农药等不同农资，保证分布均匀、利用率高。

#### （二）关键技术研究

##### 1. 本地化作物生长模型构建

基于区域气候、土壤条件、作物生长大数据与农艺知识，建立小麦、水稻、玉米、果树等主要作物本地化生长模型，结合无人机实时监测数据，预测作物营养、水分、病虫害发生趋势，为精准作业提供决策依据。

##### 2. 多传感器数据融合技术

整合多光谱、高光谱、LiDAR、土壤传感器等多源数据，提升数据融合精度，准确反演作物长势、病虫害、土壤湿度等信息，解决单一传感器监测误差大、信息不全问题。

##### 3. 变量作业精准控制技术

采用机电一体化精准执行机构，根据作物实际需求动态调整种子、肥料、农药输出量，实现“按需供给”，降低农资投入，减少面源污染，提升投入产出比。

##### 4. 低空通信与数据传输技术

采用 5G/4G + 卫星通信组合方式，保障偏远农田信号覆盖，实现无人机与云平台、地面终端实时数据交互，支撑作业全流程数字化管控。

### 四、技术方案与创新点

#### （一）技术方案

##### 1. 系统架构设计

构建无人机硬件 — 数据传输 — 云平台 — 地面控制终端四层一体化架构：无人机硬件层：搭载飞行控制器、传感器、作业执行机构，完成低空飞行与农事作业；数据传输层：通过 5G/4G、卫星通信实现数据高速稳定传输；云平台层：汇聚处理农田信息，运行智能算法，生成作业指令；地面终端层：提供可视化界面，支持农户操控、数据查看、农事建议接收。四层架构形成数字化闭环管理，实现作业全程可监控、可追溯、可优化。

##### 2. 软件开发方案

采用敏捷开发模式，分阶段迭代优化：在模拟环境开发基础功

能模块，验证飞行控制、数据处理核心算法；结合田间试验反馈，快速修复漏洞、升级功能；采用容器化技术部署，提升硬件兼容性；通过 CI/CD 管道加速版本更新，适配农业生产季节性节奏。

##### 3. 试验测试方案

选择平原、山地、水田三类示范基地，开展单机作业、多机协同作业测试，记录作业效率、精准度、稳定性等指标，持续优化样机与系统。

#### （二）创新点

##### 1. 人机协同智能作业范式创新

突破传统全自动作业局限，引入 AR 增强现实技术，农户可远程“亲临”现场微调参数；无人机结合现场工况与人工指令动态优化策略，融合人类经验与机器智能，高效应对复杂农情与突发问题。

##### 2. 低空经济与农业产业融合模式创新

以无人机作业为切入点，串联农资配送、农产品鲜样快送、农业保险勘查、农田测绘、技术服务等环节，形成“农业 + 低空”多元盈利模式，激活低空经济产业链，拓展农业增值空间。

##### 3. 多场景一体化适配技术创新

通过模块化设计实现一套平台多场景适配，快速切换作业功能，降低农户购置成本，提升设备利用率，解决传统无人机机型单一、适应性差的痛点。

### 五、推广应用前景分析

#### （一）国内市场前景

我国农业正加速规模化、数字化转型，新型农业经营主体快速增加，小农户对高效低成本作业需求旺盛。预计 5 年内国内农用无人机市场保有量超百万架，服务亿亩级农田，形成千亿级产业规模，在粮食主产区、特色农产品基地成为标配农具。本项目成果可覆盖粮食作物、经济作物、草原牧场、设施农业等全场景，市场空间广阔。

#### （二）国际市场前景

“一带一路”沿线国家农业资源丰富但技术滞后，对低成本、高适应性农用无人机需求强烈。本项目可通过海外职教合作、技术输出、产品出口等方式，助力沿线国家农业升级，输出中国智慧农业方案，提升我国国际农业科技竞争力。

#### （三）社会效益与生态效益

社会效益：降低劳动强度、提升生产效率、保障粮食安全、促进农民增收；

生态效益：减少化肥农药使用量，降低面源污染，推动绿色农业发展。

### 六、结论与展望

#### （一）结论

低空经济为无人机农业应用提供了重大发展机遇，农用无人机是推动农业现代化的核心装备。本研究针对我国农业地貌复

杂、作业需求多样、技术水平有待提升等问题，开展多场景无人机平台研发、关键技术攻关、智能系统构建与产业融合模式创新，形成一套完整的无人机农业高效应用技术体系。研究成果可有效提升作业效率与精准度，降低生产成本，保护生态环境，推动低空经济与农业深度融合，具有重要理论价值与实践意义。

（二）展望

未来，随着低空经济政策放开与人工智能技术进步，农用无人机将向更智能、更高效、更融合方向发展。后续可进一步研究无人机与无人驾驶农机、卫星遥感的空地天一体化协同作业，拓展农业碳汇监测、生态修复等新场景，持续完善技术体系与产业生态，为我国农业高质量发展、建设农业强国提供更强支撑。

参考文献

[1] 国家发展改革委，低空经济发展实施方案 [Z]. 2024.  
[2] 农业农村部，数字农业农村发展规划（2023—2030 年）[Z]. 2023.  
[3] 张宏文，中国农用无人机产业发展现状与趋势 [J]. 农业工程学报，2024.  
[4] 李泽宇，精准农业中无人机遥感技术应用研究 [J]. 农机化研究，2024.  
[5] 李志强，低空经济与智慧农业融合发展路径研究 [J]. 经济与管理，2024.  
[6] 李娟，多传感器数据融合在农用无人机中的应用 [J]. 中国农业信息化，2024.