

大疆慧飞无人机应用技术系列丛书
无人机应用技术“十三五”规划教材

总 编 罗亮生 徐华滨
主 编 何雄奎 程忠义

无人机植保技术

UAS Plant Protection



中国民航出版社

大疆慧飞无人机应用技术系列丛书
无人机应用技术“十三五”规划教材

无人机植保技术

总 编 罗亮生 徐华滨
主 编 何雄奎 程忠义



中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

无人机植保技术 / 何雄奎, 程忠义主编. —北京:
中国民航出版社, 2018.8
ISBN 978-7-5128-0587-3

I. ①无… II. ①何… ②程… III. ①无人驾驶飞机
- 应用 - 植物保护 IV. ① V279 ② S4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 181024 号

无人机植保技术

何雄奎 程忠义 主编

责任编辑	陈 晨
出 版	中国民航出版社 (010) 64279457
地 址	北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
排 版	中国民航出版社录排室
印 刷	北京博海升彩色印刷有限公司
发 行	中国民航出版社 (010) 64297307 64290477
开 本	787 × 1092 1/16
印 张	15.5
字 数	368 千字
版 印 次	2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

书 号	ISBN 978-7-5128-0587-3
定 价	65.00 元

官方微博 <http://weibo.com/phcaac>
淘宝网店 <https://shop142257812.taobao.com>
电子邮箱 phcaac@sina.com



何雄奎，中国农业大学理学院教授，博士生导师，主要从事植保机械与施药技术研究。2006年获“北京市教育创新标兵”称号，同年入选国家“新世纪优秀人才”，2009年获批为享受国务院政府特殊津贴专家。



程忠义，江西省宜春学院新闻传播系毕业，慧飞无人机应用技术培训中心“无人机植保技术”课程负责人、讲师。长期从事植保无人机应用与实践工作，对于多旋翼无人机应用、飞防植保技术、飞防植保培训具有丰富的一线经验。

责任编辑：陈 晨
封面设计：李士勇

试读结束，需要全本请在线购买：www.ertongbook.com

本书编写委员会

总 编：罗亮生 徐华滨
主 编：何雄奎 程忠义
顾 问：黄永宁 王 霞 孙卫国 米燕军
刘 宽 吴旭民 孙嘉栋 朱林锐
编写人员：王胤卓 孙久之 陈海雄 叶南锦
李新杰 梅 锐 陈健伟
审 核：江亚东

总序

对大多数人来说，飞行是昂贵而专业的，拥有自己的飞行器可望而不可即。无人机的出现给大多数非航空专业的人提供了一个选择，让飞行变得更简单，让每个人都能享受飞行的乐趣，让更多的行业都能把飞行器作为日常的生产工具。

无人机也叫“无人驾驶航空器”，与航空模型有很深的渊源，两者的区别在于飞控系统。通过飞控系统，无人机既可以手动操作飞行，也可以预设航线实现自主飞行，飞行范围可以超出视距之外。而航模没有飞控系统，仅能通过遥控器手动控制，并且始终要在视线范围内。最早的无人机出现于第一次世界大战期间，作为一种遥控军用飞行器出现；在海湾战争之后，无人机在军事方面的用途逐步被认识并开始得到广泛的应用；但无人机快速发展则是在民用市场，其技术爆发点是多旋翼无人机的流行。

多旋翼无人机是从2009年开始流行起来的，它结构简单、成本极低、操控容易，虽然起飞重量小、续航时间短，但已足够满足大部分非专业用户的需求，因此迅速获得了市场认可。在目前全球的民用无人机中，多旋翼结构约占97%。2012年，大疆创新推出了世界上第一款到手即飞（ready to fly）的四旋翼无人机“精灵”（Phantom）。在之后的几年，多旋翼无人机技术经历了快速迭代，市场容量从每年几千台增长到数百万台。在短短6年时间里，多旋翼无人机快速走过了四个发展阶段。

（1）航模阶段。这一阶段的无人机是传统航模产品的技术升级，在航模上集成飞控系统之后，能实现自主悬停、航点飞行、自动返航等功能，使操控难度下降，安全性上升，让更多用户能享受到飞行的乐趣。

（2）航拍阶段。将飞行和拍摄功能结合，通过将云台和相机小型化后装上无人机，使无人机在飞行过程中能拍出稳定的视频。增加了图传技术后，地面摄影师可以实时看到航拍图像，提升了拍摄体验。无人机作为一种航拍工具在专业摄影器材市场受到了追捧，快速横扫了直升机航拍市场。

（3）消费电子阶段。在航拍无人机的基础上，进一步缩小体积、降低价格，并通过集成机器视觉和人工智能技术，使无人机能实现避障、自动跟随、智能拍摄等功能，操控也更为简化。无人机作为一种消费电子产品迅速流行起来。

(4) 行业应用阶段。多旋翼无人机作为一种空中智能平台的潜力正在不断显现。最早采用无人机进行行业应用的是电力系统、公安系统等，近年来又逐步扩展到农业、影视、建筑、测绘等领域。目前普遍认为，行业应用级无人机的市场容量将超过消费级无人机，成为市场的主流方向。

通过对近年来的无人机产业进行技术和市场分析，我们可以看出，多旋翼无人机行业发展的总体趋势是大众化、小型化、智能化、产业化。

(1) 大众化。2010年之前，一部航拍用多旋翼无人机售价超过5万元人民币，商用无人机的价格高达几十万甚至上百万。而现在，一台普通的多旋翼航拍无人机价格仅与一部手机相当，商用无人机的价格也普遍在2万~10万元价格区间。无人机已经成为一种大众化的电子产品，无人机服务的价格也变得相当低廉。

(2) 小型化。多旋翼无人机的飞行平台、负载设备和操控设备都在迅速小型化。据初步统计，目前多旋翼无人机中，95%的重量在7千克以下。主流消费级无人机的重量在三年时间里从1500克左右下降到不足500克，轴距也从350毫米减少到170毫米，并且核心功能还有显著提升。体积变小使得无人机的携带更为便利，能耗下降，飞行安全性提升，应用场景进一步拓宽。

(3) 智能化。多旋翼无人机依靠飞控系统来实时感知自身状态并控制动力输出。随着无人机集成的传感器不断增加，算法不断优化，无人机的智能化程度在不断提升，以往需要高超飞行技巧才能完成的动作现在已经可以自动完成。2016年，大疆在精灵4代无人机中引入机器视觉技术，这就像给无人机装上了眼睛，在避障、跟随、返航等方面的功能越来越强大。

(4) 产业化。多旋翼无人机保有量的增长和应用领域的拓宽也带来了产业的纵深发展。在硬件方面，逐步出现了大量生产飞控、动力、通信和图传、导航设备、云台、相机、电池等的上游厂商，和生产各类负载设备的专业化厂家，行业标准逐渐形成。在软件方面，各种飞行控制软件、数据分析软件、运行管理软件等层出不穷。在下游，则出现了大量无人机服务企业，涵盖二次改装、设备维修、周边产品、保险、租赁、培训等。很多企业成立了无人机部门，通用航空企业也在积极研究进入无人机领域。

由此可见，无人机的发展历史，就是一个小众产品通过创新拓展使用场景、寻找更大市场的过程。无人机弥补了以往通用航空门槛高、成本高的不足，迅速发展成智能化空中平台并赋能各行各业，使得很多不具备航空作业条件的场合也可以采用无人机低空作业。特别是在高度不超过500米、飞行半径不超过10千米、以数据采集为目的的作业场景中，无人机有着巨大优势。经过对市场需求和技术趋势的分析，我们认为多旋翼无人机行业应用的发展将主要集中在以下几个领域：

(1) 农业。主要包括植保飞防和农田遥感。无人机植保飞防的效率是人工植保的50倍以上,而成本降低了一半。农田遥感能帮助规模化农业企业更好地获取农田的各类精准数据,在欧美已经非常普遍,在国内也将大规模普及。

(2) 安防。主要指公安、交警、消防、救援等用户,通过无人机提供的低空平台进行侦查、监视、搜索、追踪、通信中继、应急物资运输、三维现场重现等作业。不仅可以提高效率,降低成本,还可以降低工作人员的风险,减少人身伤害,意义非常重大。

(3) 创意。无人机航拍已经基本取代有人机航拍,成为各种新闻媒体、影视拍摄的必备工具,各种无人机航拍公司也如雨后春笋般涌现,成为一个规模可观的产业。近年来,通过无人机集群控制技术进行空中表演的应用也快速流行起来。

(4) 巡检。无人机在能源设备、大型建筑、高速公路、桥梁等场所能够快速到达人所不易到达的地方并采集数据,降低人员风险和设备运维成本。通过应用地面站、精确导航、机器视觉、人工智能等技术,还可以大幅提升设施巡检的自动化程度,实现无人化巡检。

(5) 测绘。多旋翼无人机是一种极为理想的中小型航测工具,由于飞行高度低、飞行速度慢,所以航测精度高、效果好,通过地面站和云台的配合,不用安装昂贵的专业相机就可以实现三维建模,在建筑、安防、保险等行业用途非常广泛。

无人机产业的发展吸引了大量年轻、高素质的人才加入这个行业,据估计,包括研发、制造、运营、服务在内,无人机行业在我国带动了近十万人的新增就业,并且这个数字还在快速增加中。各类人才培训机构大量涌现,很多大专院校正在酝酿或已经开设了无人机专业。

早期的无人机培训模式是从通用航空飞行员和航模飞行的培训体系结合而来,主要的课程内容包括空气动力学、无线电、航空气象等航空理论知识,以及大量的飞四角、飞“8”字、姿态模式等航模飞行技巧训练,培训周期长达20~30天,费用低则1万~2万元,高则3万~5万元。

然而,这种高收费、高门槛的培训模式并不符合多旋翼无人机的实际应用场景,随着技术的不断进步,大部分无人机已经摒弃了手动或姿态飞行模式而转向智能飞行模式,操控一架小型多旋翼无人机并不比骑自行车更难。2016年6月21日,美国联邦航空局发布的107部小型无人驾驶航空器管理规则(Small Unmanned Aircraft Regulations)中,获得小型无人机驾驶员的资质仅要求通过航空基础知识理论考试即可。2018年1月,国家空管委发布了《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例(征求意见稿)》,其中第21条将无人机驾驶员培训分为“安全操作培训”和“行业培训”。其中“安全操作培训”包含航空法律法规、相关理论知识、基本操作和应急操作,轻型无人机(7千克以下)

驾驶员只需要取得理论培训合格证，对实操能力不做要求。

中国和美国两个最大的无人机市场在驾驶员资质方面的规定已经趋向一致，即基本安全资质要降低，让更多的人可以进入到无人机行业中来，那种动辄上万的“基础操作培训”已经成为过去式，“行业培训”的重要性将逐步提升，成为无人机赋能各个行业的重要部分。随着农业植保队、电网公司、公安部门等规模化用户逐步加入无人机应用的阵营，无人机在不同领域的应用已经明显出现了差异化。一个优秀的航拍飞手，未必是一个合格的农业植保无人机飞手；同样，一位经验丰富的电力巡线无人机飞手，未必能够掌握用无人机开展人员搜救或者建筑测绘的相关技术。未来的无人机培训将是“1+X”模式，也就是“基础理论+专业方向”的模式。对于普通消费者，只要学习基本的理论知识即可；对于职业化无人机飞手，则需要额外进行行业培训。如农业植保无人机驾驶员，需要掌握一定的农药、气象、虫害方面的知识，需要具备快速测量地块的能力，并掌握农业植保中特有的飞行操控技能；电力行业的无人机飞手，需要掌握在电磁干扰环境下飞行的技术，以及红外测温、故障检测等技能。

2016年6月，中国航空运输协会通航分会、中国成人教育协会航空服务专业委员会和大疆创新共同成立了无人机应用技术培训中心（Unmanned Aerial Systems Training Center, UTC）。UTC是一个全球性的专业化无人机飞手的培训和认证中心，通过研究无人机行业应用技术，开发无人机在各个行业的培训方式和认证标准。这是一套完全为无人机行业应用制定的标准，涉及无人机相关的航空知识、基本操作技巧和行业应用技能，课程针对性高，培训时间适中。UTC针对有志于投身无人机事业的人员，不提供入门课程，而是要求学员选择一个专业方向进行学习和考核。相比于航模操作，UTC更注重学员对无人机作业全过程的把握，要做到“飞行前会计划，飞行中能操作，飞行后能保养”，注重培养实际解决问题、完成任务的能力。UTC对飞行场地有很高的要求，不仅制作了一大批模拟教具，还开发了相应的专业化模拟器，使学员可以进行电力、警用、巡检等具体场景下的模拟训练。

深圳市慧飞教育有限公司是大疆的子公司，致力于推广基于UTC标准的无人机培训体系。两年以来，慧飞累计培训了1万多名无人机专业飞手，在大中华地区拥有超过150个培训点，700多位认证无人机教员，已经成为全球最大的专业无人机培训机构。现在，平均每天都有60多位无人机飞手在遍布大中华地区的无人机培训学校毕业，他们中的70%成为无人机从业人员或无人机的重度用户。

经过两年多的教学实践，大疆慧飞教员团队在持续的教学实践和与行业的技术交流过程中，不断完善内部教学材料；同时，充分吸收了大疆创新强大的技术精华，聘请了民航、公安、电力、测绘、影视等领域的多位专家作为顾问，编写了这套“大疆慧飞无

人机应用技术系列丛书”。我们希望向各位读者展示最实用的无人机应用技术，使读者理解无人机在具体应用中的运行逻辑，懂得相关软硬件的配合，做好飞行前的准备以及飞行后的维护，不去花费无谓的金钱和时间学习华而不实的飞行动作，而是了解到能够提升效率、增加产出的实际使用经验。慧飞团队选取了目前多旋翼无人机应用最为广泛的植保、巡检、安防、影视四个领域，分别编撰了四本图书。同时，考虑到大部分无人机用户的航空知识都相对有限，我们还邀请民航专家编写了《无人机应用基础》，向读者深入浅出地介绍了无人机飞行中需要了解的基本航空知识、法律法规和无人机基础技术。

在本套丛书的编写过程中，我们得到了来自多方面的支持，包括中国民航大学、广州民航职业技术学院、中国农业大学、中国人民公安大学等高等院校，中国航空运输协会通用航空分会、广东省通用航空协会、广东省无人机协会等行业协会，以及国家电网、南方电网、大疆传媒等公司的业内专家。本套丛书可以作为各类大专院校和培训学校开展无人机教育培训的教学用书，也可以供有志于从事无人机行业的人员自学使用。丛书既可以单独使用，也可以配合慧飞官网（www.uastc.com）的在线课程和培训点的实操课程共同使用。希望我们的丛书可以给广大读者了解无人机带来一个全新的视角。

无人机还是一个快速迭代的产业，每过一两年，产品技术和运行理念都会有很大的提升，相关的法律法规也处在快速发展过程中，这些都会对培训课程产生影响。由于编者水平有限，书中难免会有不当之处，请各位读者谅解，并欢迎和我们联系，我们将不胜感激。

徐华滨

2018年6月，深圳

前言

农业是立国之本、强国之基，是国家得以正常持续发展的根本保证。国家每年的中央一号文件都是以农业作为主题，充分体现了国家对农业的重视程度。但是，目前国内农业发展存在生产效率低、农药使用超标等问题，制约了我国农业生产的发展，并且已经影响到普通居民的日常生活与健康。我国农村人口占比在 50% 左右，能够实现粮食自给，但形成对比的是，美国以占比不足 2% 的农业人口，不仅能够实现粮食自给，而且还是目前全球最大的粮食出口国。我国农业要继续实现增产增收的发展目标，当务之急是尽快从主要追求产量和依赖资源消耗的粗放经营方式，转变到数量质量效益并重、注重提高竞争力、注重农业科技创新、注重可持续的集约发展上来。

农药喷洒是粮食生产的重要一环，对防病治虫、促进粮食和农业稳产高产至关重要。但是因为施药方法的限制，带来了生产成本增加、农药使用量较大、农产品残留超标、作物药害、环境污染等问题。为有效控制农药使用量，保障农业生产安全、农产品质量和生态环境安全，2015 年，农业部下发了《到 2020 年农药使用量零增长行动方案》，明确要求在 2020 年实现农药生产、使用零增长。

植保无人机能够进行航空植保、种子播撒、肥料喷洒等作业，相对于传统的人工农药喷洒方式具有效率高、节水、省药、操作安全的特点，是保障农业增产增收的有力武器。相对于美国耕地高度集中、开阔，农业生产机械化程度特别高的特点，我国不仅土地较为分散，而且丘陵地形多，植保无人机更为适合我国的实际农业情况。并且，随着城镇化的快速发展，大量的农民进入城市成为城镇居民，农村的土地流转速度逐步加快，这为植保无人机的发展提供了更为广阔的天地。

2015—2016 年，随着多旋翼无人机领军企业大疆创新推出了广受市场欢迎的 MG-1、MG-1S 系列多旋翼农业植保无人机，航空植保市场获得了井喷式发展。我国 2016 年的航空植保市场中，无论是植保无人机保有数量还是航空植保作业面积，相对于 2015 年都获得了极大的增长，据此，可将 2016 年称为我国植保无人机发展“元年”。与此不符的是，国内专业的植保无人机操作员培训却没有相应地发展起来，在职的植保无人机操作员都没有获得过专业系统性的培训，这限制了国内航空植保行业的发展。针

对此现状，中国航空运输协会通用航空分会联合大疆创新共同开办了慧飞无人机应用技术培训中心，并开设无人机植保技术课程，面向企业、个人进行专业系统性的多旋翼植保无人机操作员培训，旨在促进我国航空植保行业的良性发展。

本书围绕大疆创新系列多旋翼植保无人机产品，对多旋翼植保无人机的基本原理、结构、安全注意事项、使用与维护、故障排除等知识点进行介绍。因国内植保无人机发展历史较短且产品发展较为迅速，局限于编者水平以及时间紧迫，本书如有错误以及瑕疵之处，敬请各位专家、读者批评指正。

部分图片在使用时无法与作者取得联系，若关于本教材有任何疑问，请联系 service@uastc.com。

编者

2018年8月

目 录

总序

前言

第一章 多旋翼植保无人机系统构成.....	1
第一节 植保无人机概念与分类.....	1
第二节 多旋翼植保机飞行平台构成.....	10
第三节 不同的雾化系统.....	33
第四节 多旋翼植保机机身部件.....	34
第五节 国内外航空植保发展情况.....	36
第二章 植保无人机安全作业.....	42
第一节 国家对于植保无人机相关管理法规.....	42
第二节 无人机飞行限制.....	50
第三节 植保机飞行安全注意事项.....	55
第三章 植保无人机功能使用与维护.....	65
第一节 基础功能及定义.....	65
第二节 作业模式.....	69
第三节 规划方式.....	72
第四节 作业过程.....	80
第五节 维护与保养.....	84
第四章 飞防植保作业特性.....	94
第一节 无人机飞防作业的特点.....	94
第二节 飞防选用药剂基本原则.....	95
第三节 无人机飞防植保作业效果影响因素.....	97

第五章 植保无人机作业规范	106
第一节 作业前的准备.....	106
第二节 作业当中需要注意的问题.....	118
第三节 作业之后需要做的工作.....	125
第四节 植保无人机安全规范.....	128
第五节 植保无人机作业技术规范.....	134
第六章 病虫草害基础知识	143
第一节 病害概念及其分类.....	143
第二节 草害基础知识.....	147
第三节 虫害基础知识.....	150
第七章 农药基础知识	156
第一节 基本定义和分类.....	156
第二节 农药剂型.....	164
第三节 杀虫剂.....	166
第四节 除草剂.....	168
第五节 杀菌剂.....	174
第六节 农药科学使用.....	177
第八章 常见作物病虫草害	187
第一节 小麦.....	187
第二节 玉米.....	193
第三节 水稻.....	199
第四节 棉花.....	206
第九章 飞防植保经验总结	212
第一节 作业摔机情况总结.....	212
第二节 避免飞防作业产生损失.....	220
第十章 植保无人机飞防作业案例	223
第一节 粮油作物.....	223
第二节 经济作物.....	227
第三节 蔬菜.....	230
常见单位索引	233

第一章

多旋翼植保无人机系统构成

第一节 植保无人机概念与分类

一、植保无人机概念

植保无人机是指用于农林植物保护作业的无人驾驶飞机，由飞行平台与喷洒系统组成，通过地面人员遥控或飞控自主作业来实现植保作业，可以完成农药喷雾作业、叶面肥喷雾作业、促进授粉作业等。

本书只讨论应用在农业领域的无人驾驶植保机，所以如无备注，文中出现的“农业植保无人机”都简称为“植保机”。

二、农业植保无人机分类

农业植保无人机可按照飞行平台、动力来源等进行分类。

1. 按照飞行平台分类

农业植保无人机按照飞行平台不同，可分为直升机植保机、多旋翼植保机。

1) 直升机植保机

直升机植保机的前进、后退、上升、下降主要依靠调整主桨的倾斜角度来实现，而转向则是通过调整尾部的尾桨实现。直升机植保无人机的优势在于其具有统一且稳定的下压风场，穿透性更强，具有良好的植保效果。直升机植保无人机的缺陷主要是结构复杂、操作难度大，飞手需要较长的培训周期才能达到作业要求；而且在田间作业时，一旦发生事故损失较大，需要较长的维修周期和更多的配件投入。汉和直升机植保机 CD-15 如图 1.1 所示。



图 1.1 汉和直升机植保机 CD-15

2) 多旋翼植保机

多旋翼植保机是近几年发展起来的新型植保机，具有操作简单、结构简单、价格相对较低的特点。多旋翼植保机因为飞行平台特性导致其载重量、续航参数等性能参数相对较低；且因为具有多个旋翼，所以其存在多个互相干扰的风场，导致其植保效果稍弱于直升机植保机。大疆多旋翼植保机 MG-1S 如图 1.2 所示。



图 1.2 大疆多旋翼植保机 MG-1S

2. 按发动机类型分类

农业植保无人机按照发动机类型不同，可分为油动机与电动机。目前在市场上，直升机农业植保机电动产品以及油动产品都有分布，在我国主要以电动为主；多旋翼农业植保机在市场上则以电动为主，但是也出现了一些油动产品。下面，我们就植保无人机中的油动直升机植保机、电动直升机植保机、电动多旋翼植保机、油动多旋翼植保机分别进行论述。

1) 油动直升机植保机

直升机植保机产品在初级阶段一直是以油动发动机为动力，因此具备续航时间长、载重较大的优点（相对电动多旋翼植保机）。但是，其使用的发动机多为航模领域发动机，存在着调试困难、寿命较短的特点，其发动机寿命往往只有 300 小时左右，大大提高了产品维护以及植保机作业的成本。



图 1.3 日本雅马哈油动直升机植保机 RMAX

日本的油动直升机运用市场十分成熟，其主要厂家为雅马哈。日本国内人力成本以及飞机打药成本十分高昂，用雅马哈直升机（见图 1.3）进行打药的收费价格接近 100 元（RMB）/ 亩，这也是导致日本的水稻价格远高于国际水稻价格的部分原因。

油动直升机操作复杂、培训成本高、维护成本高、作业成本高、机器成本高，这是