



系统组成 + 飞行原理 + 飞行性能 + 气象条件 + 交通管制 + 操纵技术 + 飞行手册

一本书搞懂 无人机

刘宾 籍莉 编著



YIBENSHU
GAODONG
WURENJI



化学工业出版社



一本书搞懂 无人机

刘宾 籍莉 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书针对目前无人机使用者在学习及应用过程中所关心的问题,通过图文并茂的形式以及通俗易懂的语言,全方位讲解了无人机的使用入门、操作技巧、安全监管、飞行须知、规范应用等一系列相关知识,主要包括:无人机概述、无人机系统组成、飞行原理与飞行性能、气象条件的影响、空中交通管制、无人机驾驶员起降阶段操纵技术、无人机驾驶员巡航阶段操纵技术、旋翼无人机等。附录中提供了无人机飞行手册和相关文件须知。

本书内容丰富、实用性强,适合无人机爱好者、初级玩家、研究无人机的工程技术人员阅读参考,同时可用作高等院校、职业院校等相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

一本书搞懂无人机/刘宾,籍莉编著. —北京:
化学工业出版社, 2018. 11

ISBN 978-7-122-32985-1

I. ①一… II. ①刘…②籍… III. ①无人驾驶
飞机-基本知识 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第207047号

责任编辑: 耍利娜
责任校对: 王素芹

文字编辑: 陈喆
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装: 高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张11 字数268千字

2019年1月北京第1版第1次印刷



购书咨询: 010-64518888

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 49.00元

版权所有 违者必究



随着经济增长进入新常态，航空技术的发展迅猛飞速，国内对航空科技的研发空前重视，无人驾驶航空器呈现出前所未有的发展速度。转变经济增长方式、提高发展质量、推进创新驱动，以及施行新的法律法规等，已经并将继续给我国航空科技行业乃至从业人员带来新的变化和影响。因此，进行无人驾驶飞行器的专业学习和继续教育，不仅是有关规定的要求，也是提高从业人员职业能力、综合水平的需要。

2013年，中国民用航空局（CAAC）下发了《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》，实行证照管理，本书即根据民航局备案的教学大纲编写，是无人机系统驾驶员、机长的学习、考试用书，也是编者为广大无人机爱好者准备的一本实用图书。

本书吸收了国外同类书的优点，也结合了我国的实际情况，系统地阐述了无人飞行器的理论知识，并结合实践飞行技术，为广大学生更好掌握飞行理论和飞行技术提供参考。在教材内容的广度和深度上，兼顾知识的系统性和逻辑性，力求结构合理，宽而不深、多而不杂，体现出理论和实践相结合的原则，重点突出了无人机驾驶员应该掌握的基本理论知识和技能要求，力争做到全面、具体、化难为易，利于学生对书中内容的理解与掌握。每章都选取重点内容附配图片并尽量附以案例，力求便于学习、贴近实际。为方便教学使用，本书还配套电子课件，可扫描下方二维码下载使用。

本书由刘宾、籍莉编著，刘昱含、刘忠礼、黄淑兰、籍延久、栾敏、刘力玮、籍允良、齐佳音、马任萍、马崇仁、仲梓豪、崔奕涵、孙云龙等人为本书的编写做了大量资料整理、图表绘制等工作。

本书的编写得到领导同仁以及多位专家、业界人士的指导和帮助，并参考了相关学者、专家的文献资料，在此一并表示感谢。

由于编著者的水平、经验所限，书中难免会有不足之处，敬请各位读者批评指正。

编著者



课件下载



目 录

CONTENTS



第一章 概述 / 001

- 第一节 无人机的定义 / 001
- 第二节 无人机的分类 / 001
- 第三节 无人机的的发展 / 002

第二章 系统的组成及介绍 / 004

- 第一节 飞行器 / 004
 - 一、航空器平台 / 005
 - 二、动力装置 / 008
 - 三、导航飞控系统 / 013
 - 四、电气系统 / 017
 - 五、任务设备 / 018
- 第二节 控制站 / 020
 - 一、系统组成 / 020
 - 二、显示系统 / 021
 - 三、操纵系统 / 022
- 第三节 通信链路 / 023
 - 一、机载链路设备 / 023
 - 二、地面链路设备 / 024

第三章 飞行原理与飞行性能 / 025

- 第一节 国际标准大气 / 025
- 第二节 无人机空气动力学基础 / 026
 - 一、速度与加速度 / 026
 - 二、牛顿三大运动定律 / 026
 - 三、力的平衡 / 027
 - 四、伯努利定律 / 028
 - 五、翼型和机翼升力系数 / 029
 - 六、机翼翼载 / 030
 - 七、升力的来源 / 030
 - 八、阻力和升阻比 / 030
 - 九、失速 / 032
- 第三节 机动飞行中的空气动力 / 033
 - 一、转弯受力 / 033
 - 二、爬升受力 / 034
 - 三、下降受力 / 035
- 第四节 飞机的飞行性能 / 035
 - 一、滑翔 / 035
 - 二、俯冲 / 036
 - 三、爬升 / 036
- 第五节 飞机的稳定性 / 036
 - 一、飞机的纵向稳定性 / 036
 - 二、飞机的航向稳定性 / 037
 - 三、飞机的横向稳定性 / 037
 - 四、荷兰滚 / 038
 - 五、尾旋不稳定 / 038
- 第六节 重量与平衡 / 039
 - 一、松杆和握杆稳定性 / 039
 - 二、静稳定裕度 / 039
- 第七节 无人机发射回收方式 / 039
 - 一、发射方式 / 039
 - 二、回收方式 / 043

- 第一节 大气成分及基本要素 /046
 - 一、大气成分与结构 /046
 - 二、大气的基本要素 /049
 - 三、基本天气现象 /052
- 第二节 大气特性 /052
- 第三节 大气的对流运动 /054
 - 一、对流产生的原因 /054
 - 二、对流冲击力 /055
 - 三、风的模式 /056
 - 四、障碍物对风的影响 /057
- 第四节 大气稳定度 /057
 - 一、气温 /058
 - 二、相对湿度 /059
 - 三、温度/露点关系 /059
 - 四、确定空气到达饱和点的方法 /059
 - 五、露和霜 /059
 - 六、雾 /059
 - 七、云 /060
- 第五节 气团与锋的概念及锋面天气 /060
 - 一、气团 /060
 - 二、气团的变性和天气 /060
 - 三、锋面及其分类 /061
 - 四、暖锋 /061
 - 五、冷锋 /061
 - 六、风的转向 /063
 - 七、静止锋 /063
- 第六节 严重影响飞行的气象 /063
 - 一、雷暴 /063
 - 二、积冰 /065
 - 三、积冰的形成、强度 /065
 - 四、能见度 /068
 - 五、山地气流和对飞行的影响 /069
 - 六、低空风切变 /071
- 第七节 航空气象资料分析和应用 /074
 - 一、地面天气图 /074
 - 二、卫星云图 /074
 - 三、各种天气预报图 /077
- 第八节 服务设施 /078
- 第九节 国内气象获取途径 /078

- 第一节 概念 /079
- 第二节 管制部门 /079
 - 一、航路交通管制中心 /080
 - 二、进近管制室 /080
 - 三、机场管制塔台 /080
- 第三节 空域知识 /080
 - 一、空域的概念 /080
 - 二、空域的分类 /081
- 第四节 空域运行要求 /082
 - 一、概况 /082
 - 二、申报飞行空域 /082
 - 三、申报飞行计划 /082
 - 四、紧急飞行计划的申报 /082
- 第五节 机场、起降场 /083
 - 一、概念 /083
 - 二、机场、起降场标志 /083
 - 三、机场灯光 /083

- 第一节 概述 / 084
- 第二节 起飞前 / 085
 - 一、了解无人机性能 / 085
 - 二、起飞前飞行器检查 / 087
 - 三、起飞前控制站检查 / 087
 - 四、起飞前通信链路检查 / 087
- 第三节 动力装置检查与启动 / 088
- 第四节 飞行基本动作 / 088
 - 一、地面滑行 / 088
 - 二、爬升 / 088
 - 三、定高平飞 / 089
 - 四、下降 / 089
 - 五、平飞、爬升、下降三种飞行状态的变换 / 090
 - 六、转弯 / 090
- 第五节 起落（五边）航线飞行 / 091
 - 一、建立（应急）航线 / 091
 - 二、着陆目测 / 092
 - 三、着陆 / 093
- 第六节 起落航线重点动作的分析 / 094
 - 一、目测 / 094
 - 二、着陆 / 096
 - 三、着陆偏差的修正 / 097
 - 四、复飞 / 098
- 第七节 侧风、大逆风、顺风起落航线飞行 / 099
 - 一、侧风起落航线 / 099
 - 二、大逆风起落航线 / 100
 - 三、顺风起落航线 / 100
- 第八节 着陆后检查 / 100
- 第九节 飞行任务完成后要做的工作 / 101
- 第十节 起降阶段操纵技术训练小时数 / 101
 - 一、机长起降阶段操纵技术训练小时数 / 101
 - 二、驾驶员起降阶段操纵技术训练小时数 / 101

- 第一节 地图坐标系 / 103
- 第二节 GPS导航方法 / 104
 - 一、介绍 / 104
 - 二、GPS功能 / 104
 - 三、使用GPS导航飞行 / 104
 - 四、GPS误差 / 105
 - 五、差分GPS / 105
- 第三节 惯性导航方法 / 106
 - 一、介绍 / 106
 - 二、INS构成与分类 / 106
 - 三、惯性导航的优缺点 / 107
- 第四节 任务规划概念与实施 / 107
 - 一、概念与目标 / 107
 - 二、主要功能 / 107
 - 三、约束条件与原则 / 108
 - 四、分类与处理流程 / 109
 - 五、航迹规划 / 110
 - 六、应急预案 / 112
- 第五节 案例 / 112

- 第一节 旋翼无人机分类及主流布局形式 / 115
 - 一、旋翼无人机的分类 / 115
 - 二、单旋翼带尾桨无人直升机 / 116
 - 三、共轴双旋翼无人直升机 / 118
 - 四、多轴无人飞行器 / 123
- 第二节 构造 / 124
 - 一、旋翼 / 124
 - 二、尾桨 / 127
 - 三、传动系统 / 129
 - 四、操纵系统 / 130
- 第三节 飞行原理与性能 / 131
 - 一、直升机的力和力矩 / 131
 - 二、旋翼的挥舞与摆振运动 / 133
 - 三、地面效应 / 138
 - 四、直升机的运动 / 140
 - 五、直升机的操纵模式 / 141
 - 六、直升机的飞行性能 / 145

- 第一节 无人机飞行手册 / 161
 - 一、概述（第一部分） / 162
 - 二、正常程序（第二部分） / 162
 - 三、应急程序（第三部分） / 163
 - 四、性能（第四部分） / 163
 - 五、飞行限制（第五部分） / 164
 - 六、重量和配平/载荷清单（第六部分） / 165
 - 七、系统描述（第七部分） / 165
 - 八、运行、保养和维护（第八部分） / 165
 - 九、附录（第九部分） / 166
 - 十、安全提示（第十部分） / 166
- 第二节 无人机档案 / 166
 - 一、无人机国籍登记 / 166
 - 二、无人机特许适航文件 / 166
- 第三节 无人机的维护 / 167
 - 一、无人机的检查 / 167
 - 二、无人机所有者/运营者职责 / 168



第一章

概述

第一节

无人机的定义

无人驾驶航空器（UA，Unmanned Aircraft）是由遥控站管理（包括远程操纵或自主飞行）的航空器，也称遥控驾驶航空器（RPA，Remotely Piloted Aircraft），以下简称“无人机”。

无人机系统（UAS，Unmanned Aircraft System）也称遥控驾驶航空器系统（RPAS，Remotely Piloted Aircraft System），是指无人机、相关的遥控站、所需的指令与控制数据链路以及批准的型号设计规定的任何其他部件组成的系统。

无人机系统驾驶员是指由运营人指派对无人机的运行负有必不可少的职责并在飞行期间适时操纵飞行的人。无人机系统的机长是指在系统运行时间内负责整个无人机系统运行和安全的驾驶员。

第二节

无人机的分类

美国联合无人机计划局曾对无人机制定过分类标准：消耗型无人机、低成本近程无人机、近程无人机、短程无人机、中程无人机、长航时无人机等。其目的是减少人们对无人机定义的混淆，一些其他名词也通常用于描述无人机系统。这种分类也有很多不完善的地方，比如近程和短程究竟有什么区别，消耗型无人机和靶机有什么不同。



军用车载无人机

近年来，无人机技术发展迅速，无人机系统种类繁多、用途广泛、特点鲜明。无人机在尺寸、质量、航程、航时、飞行高度、飞行速度以及任务等多方面都有较大差异。由于无人机的多样性，衍生出不同的分类方法，且不同的分类方法又相互交叉，导致边界模糊。

无人机可按照飞行平台构型、用途、尺寸、活动半径、任务高度等方面进行分类。

按飞行平台构型分类，无人机可分为固定翼无人机、旋翼无人机、无人飞艇、伞翼无人机、扑翼无人机等。

按用途分类，无人机可分为军用无人机和民用无人机。军用无人机可分为侦察无人机、诱饵无人机、电子对抗无人机、通信中继无人机、无人战斗机以及靶机等；民用无人机可分为巡查/监视无人机、农用无人机、气象无人机、勘探无人机以及测绘无人机等。

按尺寸分类（民航法规），无人机可分为微型无人机、轻型无人机、小型无人机以及大型无人机。微型无人机是指空机质量小于或等于7kg的无人机。轻型无人机是指空机质量大于7kg，但小于或等于116kg的无人机，且全马力平飞中，校正空速小于100km/h，升限小于3000m。小型无人机是指空机质量小于或等于5700kg的无人机，微型和轻型无人机除外。大型无人机，是指空机质量大于5700kg的无人机。

按活动半径分类，无人机可分为超近程无人机、近程无人机、短程无人机、中程无人机和远程无人机。超近程无人机活动半径在15km以内，近程无人机活动半径在15~50km，短程无人机活动半径在50~200km，中程无人机活动半径在200~800km，远程无人机活动半径大于800km。

按任务高度分类，无人机可以分为超低空无人机、低空无人机、中空无人机、高空无人机和超高空无人机。超低空无人机任务高度一般在0~100m，低空无人机任务高度一般在100~1000m，中空无人机任务高度一般在1000~7000m，高空无人机任务高度一般在7000~18000m，超高空无人机任务高度一般大于18000m。

第三节

无人机的发展

无人机的诞生可以追溯到1914年。当时第一次世界大战正进行得如火如荼，英国的卡德尔和皮切尔两位将军向英国军事航空学会提出了一项建议：研制一种不用人驾驶而用无线电操纵的小型飞机，使其能够飞到敌方某一目标区上空，投下事先装好的炸弹。

世界上第一台 真正意义的无人机

1914年:

第一次世界大战, 英国的卡德尔和皮切尔两位将军提出可以用无线电操纵的小型飞机投炸弹。

1917年3月:

世界上第一架无人驾驶飞机在英国进行了第一次飞行试验(连续两次试验均失败)。



随着无人机技术的逐步成熟, 到了20世纪30年代, 英国政府决定研制一种无人靶机, 用于校验战列舰上的火炮对目标的攻击效果。1933年1月, 由“费雷尔”水上飞机改装成的“费雷尔·昆士”无人机试飞成功。此后不久, 英国又研制出一种全木结构的双翼无人靶机, 命名为“德·哈维兰灯蛾”。在1934~1943年间, 英国一共生产了420架这种无人机, 并重新命名为“蜂王”。



新型共轴反桨旋翼无人机

到了20世纪60年代“冷战”期间, 美国U-2有人驾驶侦察飞机前往苏联侦查导弹基地, 被击落且飞行员被俘, 使得美国的国际处境艰难。美国军方在改用间谍卫星从事相关活动后仍无法达到有人侦察机的侦察效果, 由此引发了采用无人机进行侦察的想法。早期的AQM-34“火蜂”洛克希德D-21无人机, 主要功能是照相侦察。越南战争期间进一步发展了BQM-34轻型无人机, 增加了实时影像、电子情报、电子对抗、实时通信、散发传单、战场毁伤评估等功能。1982年6月, 有名的贝卡谷地战役中, 以色列研制的“侦察兵”“猛犬”等无人机, 在收集叙利亚的火力配置和战场情况方面取得了突出的战果, 引起各国震惊。

随着航空技术的飞速发展, 无人机也进入了一个崭新的时代, 品类众多、功能各异的无人驾驶飞机, 必将成为广阔天空中的“百变幽灵”, 无处不在。时至今日, 世界上研制生产的各类无人机已达数千种。各种性能不同、技术先进、用途广泛的新型无人机, 如长航时无人机、无人攻击机、垂直起降无人机和微型无人机不断涌现。而随着计算机技术、自动驾驶技术、遥控遥测技术的发展和在无人机中的应用, 以及对无人机战术研究的深入, 未来无人机不仅能用于战术和战略等信息侦察, 而且可用于防空系统压制、夺取制空权等多种任务中并最终参与空中格斗。

可见, 随着航空工艺、材料和技术的不断进步, 无人驾驶飞机在未来的20年间将会真正崛起, 成为高技术舞台上一颗耀眼的“明星”。



第二章

系统的组成及介绍

典型的无人驾驶航空器系统是由飞行器平台、控制站、通信链路以及批准的型号设计规定的任何其他部件组成的系统。

第一节

飞行器

飞行器 (Flight Vehicle) 是由人类制造、能飞离地面、在大气层内或大气层外空间 (太空) 飞行的机械飞行物。大气层内飞行的称为航空器，在太空飞行的称为航天器。

航空器依据获得升力的方式不同分为两大类：一类是轻于空气的航空器，依靠空气的浮力飘浮于空中，如气球、飞艇等；另一类是重于空气的航空器，包括非动力驱动和动力驱动两种类型。无人机系统飞行器平台主要使用的是重于空气的动力驱动的航空器。



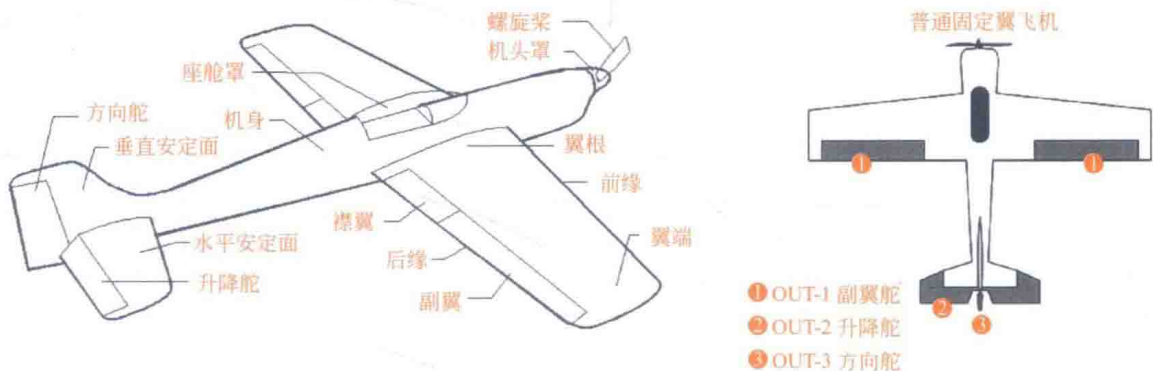
从飞行器平台技术本身来讲，无人机和有人机并无本质的区别，但无人机系统平台更加“简单”。这主要体现在以下五个方面：

- ① 不需要生命支持系统，平台规模尺度较小，更加简化。
- ② 为降低采购价格，相对于有人机在一定程度上放宽了可靠性指标。
- ③ 无须考虑过载、耐久等人为因素，平台更加专业化。
- ④ 对场地、地面保障等依赖减小。
- ⑤ 训练可大量依赖于模拟器，延长飞行器实际使用寿命。

一、航空器平台

1. 固定翼平台

固定翼平台即固定翼航空器（Fixed-wing Aeroplane）平台，即日常生活中提到的“飞机”，是指由动力装置产生前进的推力或拉力，由机体上固定的机翼产生升力，在大气层内飞行的重于空气的航空器。其结构通常包括机翼、机身、尾翼和起落架等。其中机翼和尾翼上有副翼、升降舵、方向舵、襟翼等控制舵面。操纵时，通过伺服机构改变各控制舵面位置及动力装置输出量，产生相应的控制力和力矩，使飞行器改变高度和速度，并进行转弯、爬升、俯冲、横滚等运动。



【1】机翼

机翼是固定翼飞行器产生升力的部件，机翼后缘有可操纵的活动面，一般靠外侧的叫副翼，用于控制飞机的滚转运动；靠内侧的则是襟翼，用于增加起飞着陆阶段的升力。大型飞机机翼内部通常安装有油箱，军用机机翼下面有可供挂载副油箱和武器等的附加设备。有些飞机的发动机和起落架也安装在机翼下方。

【2】机身

机身的主要功能是装载人员、货物、燃料和任务设备等，同时它是其他结构部件的安装基础，用以将尾翼、机翼、起落架等连接成一个整体。

【3】尾翼

尾翼是用来配平、稳定和操纵固定翼飞行器飞行的部件，通常包括垂直尾翼（垂尾）和水平尾翼（平尾）两部分。垂直尾翼由固定的垂直安定面和安装在其后部的升降舵组成，水平尾翼由固定的水平安定面和安装在其后部的升降舵组成，一些型号的飞机升降舵由全动式水平尾翼代替。方向舵用于控制飞机的横向运动，升降舵用于控制飞机的纵向运动。



【4】起落架

起落架是用来支撑飞行器停放、滑行、起飞和着陆滑跑的部件，一般由支柱、缓冲器、刹车装置、机轮和收放机构组成。陆上飞机的起落架装置一般由减震支柱和机轮组成，此外还有专供水上飞机起降的带有浮筒装置的起落架和飞机在雪地起降用的滑橇起落架。

2. 旋翼平台

旋翼平台即旋翼航空器（Rotary Wing Aircraft）平台。旋翼航空器是一种重于空气的航空器，其在空中飞行的升力是由一个或多个旋翼与空气进行相对运动的反作用获得的。现代旋翼航空器通常包括直升机、多轴飞行器和旋翼机三种类型。



旋翼航空器的名称易与旋翼机混淆，实际上旋翼机的全称为自转旋翼机，是旋翼航空器的一种。

【1】直升机

直升机是一种由一个或多个水平旋转的旋翼提供升力和推进力而进行飞行的航空器。直升机具有大多数固定翼航空器所不具备的垂直升降、悬停、小速度向前或向后飞行的特点。这些特点使得直升机在很多场合大显身手。直升机与固定翼飞机相比，其缺点是速度低、耗油量、航程较短。



共轴双桨直升机

直升机的升力产生原理与固定翼相似，只不过这个升力来自于绕固定轴旋转的“旋翼”。

旋翼不像固定翼航空器那样依靠整个机体向前飞行来使机翼与空气产生相对运动，而是依靠自身旋转产生与空气的相对运动。但是，在旋翼提供升力的同时，直升机机身也会因反转矩（与驱动旋翼旋转等量但方向相反的反作用力矩，即反作用力矩）的作用而具有向反方向旋转的趋势。为了克服“旋翼”旋转产生的反作用力矩，常见的做法是用另一个小型旋翼，即尾桨，在机身尾部产生抵消反向运动的力矩。人们将这种直升机称为单旋翼直升机。另外一种做法是采用旋翼之间反向旋转的方法来抵消反转矩的作用，即多旋翼直升机。

【2】多轴飞行器

多轴飞行器（Multirotor）是一种具有三个及以上旋翼轴的特殊直升机。其通过每个轴上的电动机转动带动旋翼转动从而产生升推力。旋翼的总距固定，而不像一般直升机那样可变。通过改变不同旋翼之间的相对转速，可以改变单轴推进力的大小，从而控制飞行器的运行轨迹。

由于其结构简单，便于量产，近年来微型飞行器领域常见的有四轴、六轴、八轴等。其体积小、重量轻，因此携带方便，能轻易进入人不易进入的各种恶劣环境。和传统直升机相比，它有许多优点：它的旋翼角度固定，结构简单；每个旋翼的叶片比较短，叶片末端的线速度慢，发生碰撞时冲击力小，不容易损坏，也对人更安全。有些小型四轴飞行器的旋翼有外框，避免磕碰。发展到如今，多轴飞行器已可执行航拍电影、取景、实时监控、地形勘探等飞行任务。



【3】旋翼机

自转旋翼机简称旋翼机，是旋翼航空器的一种。它的旋翼没有动力装置驱动，仅依靠前进时的相对气流吹动旋翼自转以产生升力。旋翼机必须像固定翼航空器那样滑跑加速才能起飞，少数安装有跳飞装置的旋翼机能够原地跳跃起飞，但旋翼机不能够像直升机那样进行稳定的垂直起降和悬停。与直升机相比，旋翼机的结构非常简单、造价低廉、安全性较好，一般用于通用航空或运动类飞行。

自转旋翼机的设计各种各样，但是大多数设计的基本构成要素是相同的。一架具备基本功能的自转旋翼机通常包括机身、动力系统、旋翼系统、尾翼和起落架五个部分。

机身：是其他部件的安装结构。

动力系统：提供旋翼机向前飞行的推力，在飞行时和旋翼系统无关。





旋翼系统：提供旋翼机飞行所必需的升力和控制能力。常见的是带桨毂倾斜控制的跷跷板式旋翼，也可以采用全铰式旋翼。

尾翼：提供稳定性和俯冲、偏航控制，同固定翼飞机的尾翼功能类似。

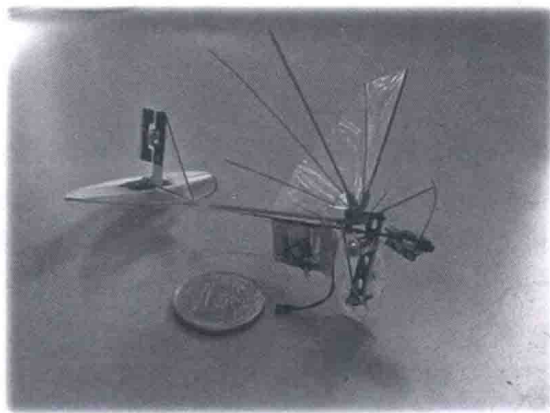
起落架：提供在地面上的移动能力，类似于固定翼飞机的起落架。最常见的为前三点式起落架。

3. 其他

除了上述几种主流航空器类型外，扑翼机和变模态旋翼机也是现代航空器的重点研究方向。

扑翼机是通过像鸟类和昆虫那样上下扑动自身翅膀而升空飞行的航空器，又称振翼机。作为一种仿生学的机械，扑翼机与它模仿的对象一样，以机翼同时产生升力和推进力。但也由于升力和推进力由同一部件产生，涉及的工程力学和空气动力学问题非常复杂，其规律尚未被人类完全掌握。有实用价值的扑翼机至今尚未脱离研制阶段，微型航空器领域是扑翼机最有可能实用化的领域。

倾转旋翼机是一种典型的变模态旋翼机平台，也叫可倾斜旋翼机，是一种同时具有旋翼和固定翼功能，并在机翼两侧各安装有一套可在水平和垂直位置之间转动的可倾转旋翼系统的航空器。倾转旋翼机在动力装置旋转到垂直位置时相当于横列式直升机，可进行垂直起降、悬停、低速空中盘旋等直升机的飞行动作；而在动力装置旋转至水平位置时相当于固定翼螺旋桨式飞机，可实现比直升机更快的巡航航速。以上特点使得倾转旋翼机兼具直升机和固定翼飞机的优点，应用前景十分广阔。



扑翼机



倾转旋翼机

二、动力装置

动力装置是航空器发动机以及保证发动机正常工作所必需的系统和附件的总称。

无人机使用的动力装置主要有活塞式发动机、涡喷发动机、涡扇发动机、涡桨发动机、涡轴发动机、冲压发动机、火箭发动机、电动机等。目前主流的民用无人机所采用的动力系统通常为活塞式发动机和电动机两种。

1. 活塞式动力装置

活塞式发动机也叫往复式发动机，由气缸、活塞、连杆、曲轴、气门机构、螺旋桨减速器、机匣等组成主要结构。活塞式发动机属于内燃机，它通过燃料在气缸内的燃烧，将热能