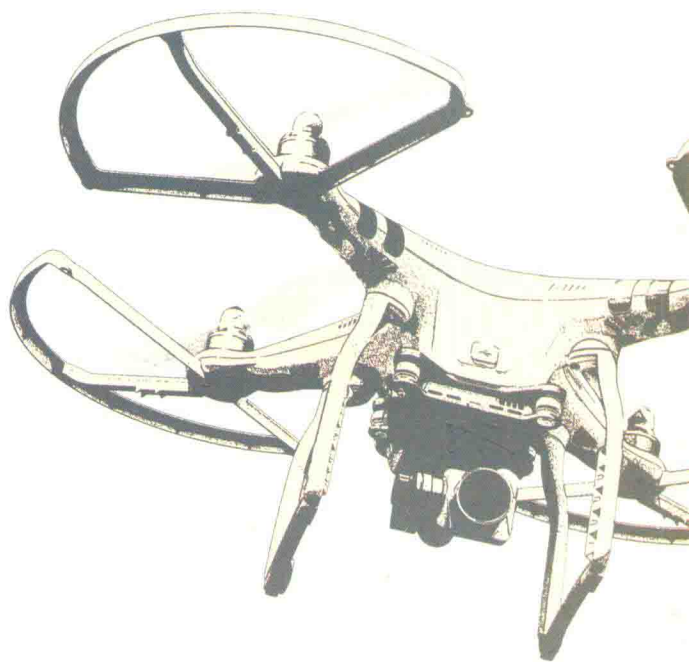


中国电子教育学会高教分会推荐教材

高等学校电子信息类创新人才培养“十三五”规划教材



无人机操作

基础与实战

主 编 车 敏

副主编 拓明福 朱良谊

主 审 张晓丰



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

中国电子教育学会高教分会推荐教材

高等学校电子信息类创新人才培养“十三五”规划教材

无人机操作基础与实战

主 编 车 敏

副主编 拓明福 朱良谊

编 委 张红梅 李宗哲 安 利 王 琼

柳 泉 张 晗 高 静

主 审 张晓丰

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书共分为 9 章。第 1 章无人机概述, 介绍无人机的定义、发展历史、分类及应用领域; 第 2 章无人机系统的组成及飞行原理, 其中飞行原理部分力求少讲些复杂公式的推导过程, 更多地从生活现象入手, 进行原理性的描述; 第 3 章飞行控制系统概述, 介绍了飞行控制系统硬件组成、飞行控制系统控制模式、常用的飞行控制算法, 最后以人们最熟悉的飞控 APM 2.8 为例, 详细讲述了飞行控制系统的设置步骤; 第 4 章无人机使用相关知识, 介绍了无人机使用的安全知识和法律法规; 第 5 章飞行前的准备, 介绍了飞行前场地的选取、气象数据收集、无人机各系统的各项检查以及航路规划的步骤; 第 6 章飞行操控, 讲述遥控器使用方法、地面站使用流程以及无人机进场操控方式和降落操作方法; 第 7 章飞行后的检查与维护, 主要讲述飞行后无人机应做的各项检查及维护保养的内容; 第 8 章模拟器的使用, 详细讲述凤凰模拟器的设置步骤; 第 9 章任务载荷设备, 主要介绍最常见的航拍相机的使用和维护以及任务数据的导出。

本书对于高校无人机类专业的大学生、希望了解无人机的组成和原理以及飞行操控相关知识的读者和无人机爱好者来讲, 是一本高效、实用的教材和参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

无人机操作基础与实战 / 车敏主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.5

ISBN 978-7-5606-4911-5

I. ① 无… II. ① 车… III. ① 无人驾驶飞机—研究 IV. ① V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 072395 号

策划编辑 李惠萍

责任编辑 李惠萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印 张 11.25

字 数 262 千字

印 数 1~3000 册

定 价 29.00 元

ISBN 978-7-5606-4911-5 / V

XDUP 5213001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

❖❖❖ 前 言 ❖❖❖

近年来，无人机的发展速度非常迅猛。由于无人机具有制造成本低、机动性能好、无人员损失的风险，同时机体使用寿命长，检修和维护简单，没有昂贵的训练和维护费用，可以进行超视距飞行，运载能力强等诸多特点，目前已被应用在各行各业中。伴随着多旋翼无人机飞行器在民用和消费类市场的迅速普及与广泛应用，整个行业对无人机相关专业领域的人才需求也呈爆发式增长。无人机系统作为一个先进、复杂的现代控制系统，涵盖了材料、通信、电子、控制、数字信号处理和传感器技术等多方面的技术应用，为使广大无人机爱好者及高校学生对无人机的相关知识有个全面的了解，并给有志于成为无人机操控人才的读者提供一份快速有效的无人机基础学习和入门书籍，我们结合自己的教学、科研工作编写了本书。

本书首先从无人机的发展历史和分类入手，讲述从最初军用无人机的使用如何到现今民用无人机在各领域应用的遍地开花。这部分内容为第 1 章，主要针对无人机爱好者与零基础初学者。对于无人机的组成部分和飞行原理，从固定翼和多旋翼两个角度出发进行介绍，同时介绍了组成无人机系统的各个子系统以及各子系统的功能。固定翼部分包括机翼、机身、尾翼、动力装置。多旋翼部分包括机架系统、动力系统、飞控系统、遥控遥测系统、传感器、导航系统、数传图传系统、地面测控站及装载设备等方面的知识，通过这部分内容的介绍可以使读者对无人机的组成有个整体和全面的理解。对于无人机的飞行原理部分的介绍，我们尽量减少对复杂公式的描述和推导，而是从生活现象入手，完成原理的介绍。这部分即第 2 章，是本书的一个重点内容。随后对于无人机的最核心部件——飞行控制系统在第 3 章进行了重点介绍，包括飞行控制系统的硬件组成和飞行控制系统的控制模式以及常用

的控制算法。控制算法部分只对基础知识进行理论介绍，不涉及算法编程。以人们最熟悉的开源飞行控制系统 APM 为例，详细讲述了飞行控制器的设置步骤。第 4 章介绍了无人机使用的安全知识与法律法规。对于无人机的操控基础知识，包括飞行前的准备、飞行操控、飞行后的检查与维护分别在第 5 章、第 6 章、第 7 章介绍。这一部分也是本书的重点内容。第 8 章介绍常见的无人机操控模拟软件，通过模拟软件的练习，熟悉遥控器摇杆的操作。第 9 章介绍任务载荷设备——航拍相机的使用和维护以及任务数据的导出。

本书可作为高校无人机类专业教材，对于希望了解无人机的组成和原理以及飞行操控相关知识的读者和无人机爱好者，本书也是一本很有价值的学习与参考书籍。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中难免存在不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2018 年 4 月



◆◆◆ 目 录 ◆◆◆

第 1 章 无人机概述.....	1
1.1 无人机的定义.....	1
1.2 无人机的发展历史.....	2
1.3 无人机的分类.....	4
1.3.1 按照飞行平台构型分类.....	4
1.3.2 按照其他方式分类.....	6
1.4 多旋翼无人机概述及发展.....	8
1.4.1 多旋翼无人机的定义.....	9
1.4.2 多旋翼无人机的分类.....	9
1.5 无人机的应用领域及发展趋势.....	9
1.6 无人机的优缺点.....	14
第 2 章 无人机系统的组成及飞行原理.....	17
2.1 无人机系统的组成.....	17
2.2 固定翼无人机的结构组成.....	18
2.2.1 机翼.....	18
2.2.2 机身.....	19
2.2.3 尾翼.....	19
2.2.4 起落装置.....	20
2.2.5 动力装置.....	20
2.3 多旋翼无人机的构成.....	23
2.3.1 机架系统.....	23
2.3.2 起落架.....	24
2.3.3 动力系统——电机.....	24
2.3.4 动力系统——桨叶.....	25
2.3.5 动力电源——电池.....	27

2.3.6	电调	28
2.3.7	飞行控制系统	29
2.3.8	遥控系统	31
2.3.9	遥测数据链路	32
2.3.10	导航系统	33
2.3.11	地面站控制系统	35
2.3.12	任务载荷云台和摄像头	36
2.4	无人机飞行原理	37
2.4.1	空气动力学知识	37
2.4.2	升力和阻力	40
2.5	多旋翼无人机飞行原理	42
第3章	飞行控制系统概述	46
3.1	飞行控制系统存在的意义	46
3.2	飞行控制系统的主要硬件	46
3.2.1	主控单元	47
3.2.2	惯性测量单元(IMU)	47
3.2.3	GPS 指南针模块	48
3.2.4	LED 指示灯模块	48
3.3	飞行控制系统控制模式	49
3.4	常用的飞行控制算法	50
3.5	飞行控制器的设置步骤	52
3.5.1	APM 自驾仪简介	52
3.5.2	硬件和软件的安装	53
3.5.3	相关参数的设置步骤	55
3.6	常见飞控介绍	66
第4章	无人机使用相关知识	68
4.1	相关安全知识	68
4.1.1	易燃易爆管理	68
4.1.2	消防常识	71
4.1.3	雷达波防护	72
4.1.4	眼睛防护	72
4.1.5	发动机危险区域及安全通道	72

4.2 无人机相关法律法规	73
4.2.1 空中交通管理	74
4.2.2 实名登记管理	75
4.2.3 驾驶人员的资质管理	75
第5章 飞行前的准备	78
5.1 信息准备	78
5.1.1 起飞场地的选取	78
5.1.2 气象情报的采集	79
5.2 飞行前的检测	83
5.2.1 动力系统检测	83
5.2.2 机械系统检测	87
5.2.3 无人机电子系统的检测	88
5.3 航线准备	94
5.3.1 航路规划	94
5.3.2 地面站设备准备	95
第6章 飞行操控	99
6.1 遥控器操作	99
6.2 固定翼无人机飞行操控	102
6.2.1 起飞操控	102
6.2.2 飞行航线操控	106
6.2.3 进场与降落操控	111
6.3 多旋翼无人机飞行操控	118
6.3.1 基础操作练习	118
6.3.2 日常飞行练习	121
第7章 飞行后的检查与维护	124
7.1 飞行后的检查	124
7.1.1 油量检查、计算、记录	124
7.1.2 电气、电子系统检查及记录	125
7.1.3 机体检查及记录	128
7.1.4 机械系统的检查及记录	129
7.1.5 发动机检查及记录	130
7.2 飞行后的维护	131

7.2.1 电气维护 131

7.2.2 机体维护 131

7.2.3 发动机的维护 133

第 8 章 模拟器的使用 135

8.1 常用模拟器介绍 135

8.1.1 RealFlight 135

8.1.2 Reflex XTR..... 136

8.1.3 Aerofly..... 136

8.1.4 Phoenix(凤凰) 137

8.2 凤凰模拟器的安装 137

8.3 凤凰模拟器的使用 137

8.3.1 初始设置 138

8.3.2 选择飞机 150

8.3.3 修改遥控器控制 152

第 9 章 任务载荷设备 155

9.1 相机 155

9.1.1 相机的安装与快门接线 155

9.1.2 相机在航拍中的使用 155

9.1.3 数据的导出 157

9.1.4 作业数据的交付 158

9.2 航拍相机的保养维护 162

9.2.1 相机电池的保养与使用 162

9.2.2 相机的清洁 162

9.3 任务数据的处理 164

附录 I 热门多旋翼机型与多旋翼公司简介 168

附录 II 油门巧用心得体会 171



第1章

无人机概述

本章学习目标



- 了解无人机的定义和发展历史。
- 了解无人机的基本分类。
- 熟悉无人机的用途及发展趋势。

1.1 无人机的定义

无人机,也称为无人飞行器(Unmanned Aerial Vehicle),缩写为“UAV”,是一种配备了数据处理系统、传感器、自动控制系统和通信系统等必要机载设备的飞行器,能够进行一定的稳态控制和飞行,且具备一定的自主飞行能力而无需人工干预。无人机技术是一门涉及多个技术领域的综合技术,它对通信技术、传感器技术、人工智能技术、图像处理技术、模式识别技术和控制理论都有比较高的要求。图 1-1 所示为几种无人机图片。

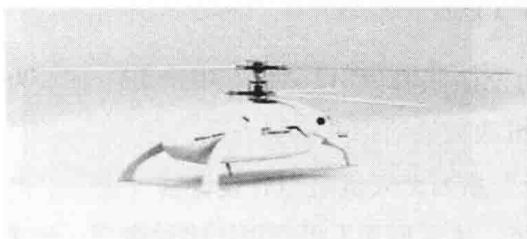
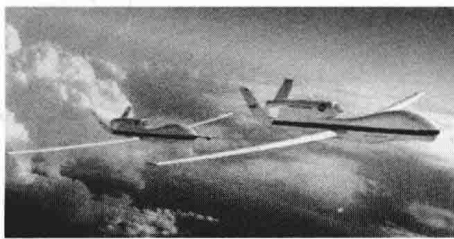
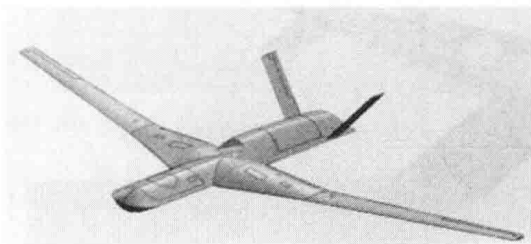


图 1-1 无人机

在无人机上虽然没有驾驶舱，但是安装有自动驾驶仪、程序控制装置等设备。无人机驾驶人员通过雷达设备，在地面、舰艇或母机遥控站对无人机进行跟踪、定位、遥控、遥测和数据传输。无人机的起飞方式有很多种，例如，可在无线电遥控下像普通飞行器一样起飞或用助推火箭发射升空，也可以由母机带到空中后投放飞行。无人机在回收时也有多种回收方式，例如，可以用与普通飞机着陆过程一样的方式自动着陆，也可以用降落伞或拦网回收，且可以反复使用多次。目前，无人机已应用于航拍、空中侦察、监视、通信、反潜、电子干扰等工作中。

1.2 无人机的发展历史

1910 年，在莱特兄弟所取得的成功鼓舞下，来自俄亥俄州的年轻军事工程师查尔斯·科特林建议使用没有人驾驶的飞行器：用钟表机械装置控制飞机，使其在预定地点抛掉机翼并像炸弹一样落向敌人。在美国陆军的支持和资助下，他研制成功并试验了几个模型，取名为“科特林空中鱼雷”、“科特林虫子”等。

1933 年，英国研制出了第一架可复用无人驾驶飞行器——“蜂王”。使用 3 架经修复的“小仙后”双翼机进行试验，从海船上对其进行无线电遥控，其中 2 架失事，但第三架试飞成功，使英国成为第一个研制并成功试飞无线电遥控靶机的国家。

德国科学家领先时代数十年。实际上直到 20 世纪 80 年代末以前，世界上每一种研制成功的无人机都是以 V-1 巡航导弹(如图 1-2 所示)或“福克-沃尔夫”(FW 189)飞机的构造思想为基础的。

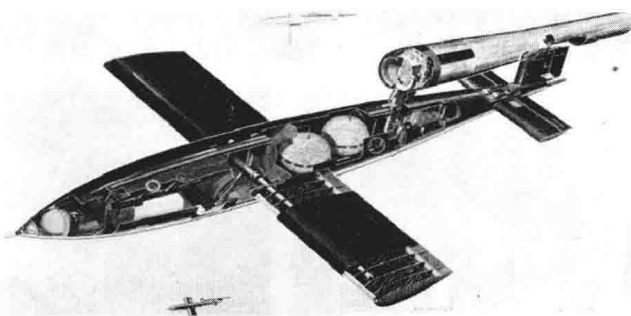


图 1-2 V-1 巡航导弹

二战期间，美国海军首先将无人机作为空面武器使用。1944 年，美国海军为了对德国潜艇基地进行打击，使用了由 B-17 轰炸机改装的遥控舰载机。

美国特里达因·瑞安公司生产的“火蜂”系列无人机是当时设计独一无二、产量最大的无人机(如图 1-3 所示)。1948 年至 1995 年，该系列无人机产生了多种变型，如无人靶机(亚音速和超音速)、无人侦察机、无人电子对抗机、无人攻击机、多用途无人机等。美国空



军、陆军和海军多年来一直在使用以 BQM-34A “火蜂”靶机为原型研制的多型无人机。

20 世纪 70 至 90 年代,以色列军事专家、科学家和设计师对无人驾驶技术装备的发展做出了突出贡献,并使以色列在世界无人驾驶系统的研制和作战使用领域占有重要地位。图 1-4 为以色列的“侦察兵”无人机。



图 1-3 美国“火蜂”无人机

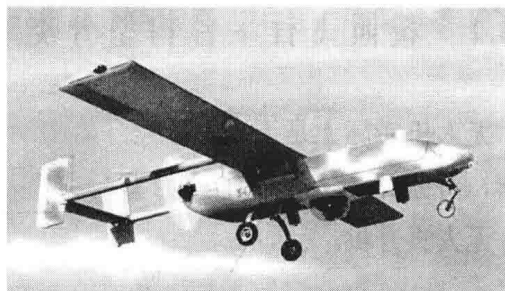
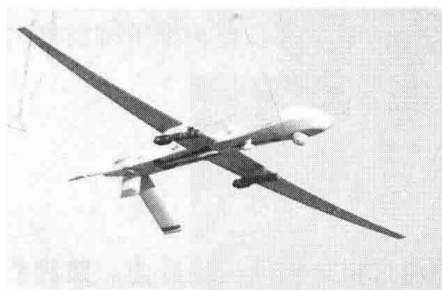


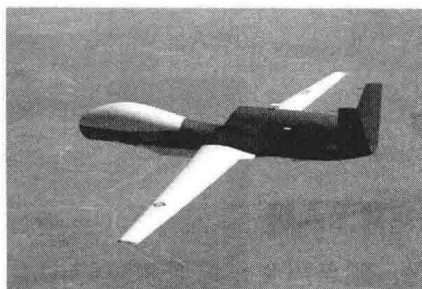
图 1-4 以色列“侦察兵”无人机

世界各地都在造无人机,20 世纪 80 至 90 年代,除了美国和以色列之外,其他国家的许多飞机制造公司也在从事无人机的研制与生产。

西方国家中在无人机研制与生产领域占据领先地位的是美国。今天,美军有用于各指挥层次,从高级司令部到营、连级的全系列无人侦察机。许多无人机可以携带制导武器(炸弹、导弹)、目标指示和火力校射装置,其中最著名的是“捕食者”可复用无人机,世界上最大的无人机“全球鹰”,“影子-200”低空无人机,“扫描鹰”小型无人机,“火力侦察兵”无人直升机,如图 1-5 所示。



(a) “捕食者”无人机



(b) “全球鹰”无人机



(c) “扫描鹰”无人机



(d) “火力侦察兵”无人直升机

图 1-5 美国著名的无人机



1.3 无人机的分类

1.3.1 按照飞行平台构型分类

无人机实际上是无人驾驶飞行器的统称。按照飞行平台构型的不同，无人机分为六大阵营，分别是无人飞艇、固定翼无人机、扑翼式微型无人机、伞翼无人机、旋翼式无人机、无人直升机。

1. 无人飞艇

无人飞艇一般采用充气囊结构作为飞行器的升力来源。充气囊一般充有比空气密度小的氢气或者氦气。它与热气球最大的区别在于具有推进和控制飞行状态的装置。这类飞行器是一种理想的空中平台，既可用于空中监视、巡逻、中继通信，也可用于空中广告飞行、任务搭载试验、电力架线，其应用范围均非常广泛，前景乐观。如图 1-6 所示为一种无人飞艇。



图 1-6 无人飞艇

2. 固定翼无人机

固定翼，顾名思义，就是机翼固定不变，靠流过机翼的风提供升力。跟我们平时乘坐的飞机一样，固定翼无人机起飞的时候需要助跑，降落的时候必须要滑行。这类无人机的优点是续航时间长、飞行效率高、载荷大，但其缺点也很明显，起飞和降落都需要跑道，对场地要求较高。固定翼无人机如图 1-7 所示。

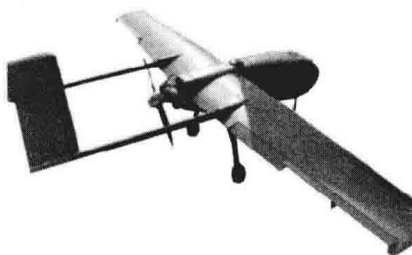


图 1-7 固定翼无人机



3. 扑翼式微型无人机

扑翼式微型无人机是从鸟类或者昆虫启发而发展来的一种飞行器，具有可变形的小型翼翅。它可以利用不稳定气流的空气动力，以及利用肌肉一样的驱动器代替电动机。在战场上，微型无人机特别是昆虫式无人机，不易引起敌人的注意。即使在平时时期，微型无人机也是探测核生化污染、搜寻灾难幸存者、监视犯罪团伙的得力工具。如图 1-8 所示就是一种扑翼式无人机。

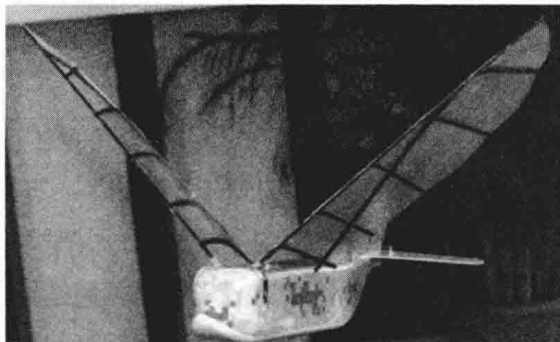


图 1-8 扑翼无人机

4. 伞翼无人机

伞翼无人机是一种用柔性伞翼代替刚性机翼的无人机，伞翼大部分为三角形，也有长方形的。伞翼可收叠存放，张开后利用迎面气流产生升力而升空，起飞和着陆滑跑距离短，只需百米左右的跑道，具有成本低廉和维护简易等优势。这种无人机常用于运输、通信、侦察、勘探和科学考察等。如图 1-9 所示即为一种伞翼无人机。



图 1-9 伞翼无人机

5. 无人直升机

无人直升机靠一个或者两个主旋翼提供升力。如果只有一个主旋翼的话，还必须要有一个小的尾翼抵消主旋翼产生的自旋力。这种无人机的优点是可以垂直起降，续航时间适中，载荷也比较适中，但其结构相对来说比较复杂，操控难度也较大。如图 1-10 所示即为一种无人直升机。

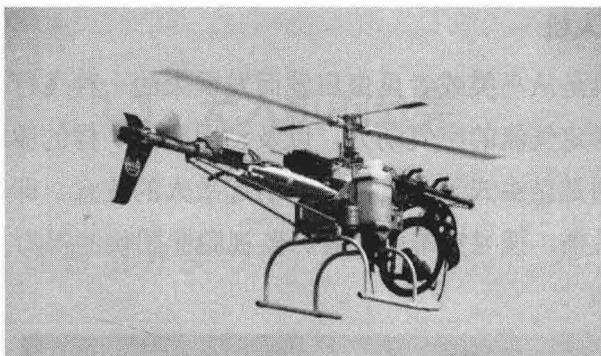


图 1-10 无人直升机

6. 多旋翼无人飞行器

多旋翼无人飞行器具有由多组动力系统组成的飞行平台，它配备有单个或者多个朝正上方安装的螺旋桨，由螺旋桨的动力系统产生向下的气流，并对飞行器产生升力。常见的有四旋翼、六旋翼、八旋翼，甚至更多旋翼。多旋翼飞行器机械结构非常简单，动力系统只需要电机直接连桨就行。这种飞行器的优点是机械简单，能垂直起降，缺点是续航时间最短，载荷小。如图 1-11 所示即为一种多旋翼无人飞行器(亦称多旋翼飞行器、多旋翼无人机)。



图 1-11 多旋翼无人飞行器

1.3.2 按照其他方式分类

目前，无人机的分类方式有很多种，除上述分类外，还可以按功能、大小、速度、活动半径、实用升限、续航时间等方法进行分类。

1. 按功能分类

按功能分类，无人机可以分为军用无人机和民用无人机。军用无人机包括信息支援、信息对抗、火力打击等几大类；民用无人机又分为检测巡视类、遥感绘制类、通信中继类等几大类。其中检测巡视类无人机主要用于灾害监测、环境监测、气象监测、电力线路和石油管路巡视等工作中；遥感绘制类无人机主要用于地质遥感遥测、矿藏勘测、地形测绘



等工作中；通信中继类无人机包括通信中继类无人机和通信组网类无人机。

2. 按大小分类

按大小分类，无人机可以分为微型、轻型、小型和大型无人机。此种分类的依据为《民用无人驾驶航空器系统驾驶员管理暂行规定》。

(1) 微型无人机是指空机质量小于等于 7 kg 的无人机。

(2) 轻型无人机是指空机质量大于 7 kg，但小于等于 116 kg 的无人机，且全马力平飞中，校正空速小于 100 km/h(55 海里/h)，升限小于 3000 m。

(3) 小型无人机是指空机质量小于等于 5700 kg 的无人机，微型和轻型无人机除外。

(4) 大型无人机是指空机质量大于 5700 kg 的无人机。

3. 按速度分类

按速度分类，无人机可以分为低速、亚音速、跨音速、超音速和高超音速无人机。

低速无人机的飞行速度一般小于 0.3 Ma(Ma 为马赫数，是飞行速度与当地大气中的音速之比)，亚音速无人机的飞行速度一般为 0.3~0.7 Ma，跨音速无人机的飞行速度一般为 0.7~1.2 Ma，超音速无人机的飞行速度一般为 1.2~5 Ma，高超音速无人机的飞行速度一般大于 5 Ma。

4. 按活动半径分类

按活动半径分类，无人机可以分为超近程无人机、近程无人机、短程无人机、中程无人机和远程无人机。

从活动半径来看，超近程无人机的活动半径为 5~15 km，近程无人机的活动半径为 15~50 km，短程无人机为 50~200 km，中程无人机为 200~800 km，远程无人机一般大于 800 km。

5. 按实用升限分类

按实用升限分类，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。

超低空无人机的实用升限一般为 0~100 m，低空无人机一般为 100~1000 m，中空无人机一般为 1000~7000 m，高空无人机一般为 7000~20 000 m，超高空无人机一般大于 20 000 m。

6. 按续航时间分类

按续航时间分类，无人机可以分为正常航时无人机和长航时无人机。

正常航时无人机的续航时间一般小于 24 h，长航时无人机的续航时间一般要等于或大于 24 h。

(注：针对特定情况，对无人机划分的量化标准可能会有所不同)



1.4 多旋翼无人机概述及发展

多旋翼无人机是近几年才发展起来的一种无人机，其历史尚短。它脱胎于航空模型。航空模型一般称为无线电控制(RC)，所以很多人也认为多旋翼无人机是航模，如果无线电控制是从一个遥远的地理位置制导或控制的，则属于无人机。但是无人机不一定是无线电控制的，因为无人机也可以根据预先设置的程序来飞行。

无人机与航模的区别在于，航模是比例遥控直接控制的飞行器，不具备任何智能控制。姿态稳定系统的模型飞行器只在视距内可进行飞行控制。无人机是带有自主控制且系统稳定的模型飞行器，可在视距内或视距外飞行。

无论无人机是以遥控控制的方式飞行还是通过一个预设的导航系统飞行，它并不一定是被放飞的，而是由一个有飞行技能的人来操控的。目前使用的无人机通常有自动驾驶及导航系统，可保持飞行姿态、飞行高度及机型地面跟踪。

遥控控制无人机通常指通过地面控制站中设置的开关或者操纵杆来手工调整无人机的方向、高度、速度等，以此来控制无人机的位置。但当无人机到达指定航线时，无人机中的自动驾驶仪便可保持飞行稳定及实行操纵。各种类型的导航系统(全球定位系统、无线电控制系统、惯性系统)可执行事先设定的任务，这些任务可由人工操纵完成，也可自动完成。

作为无线电遥控的一种飞行器，多旋翼无人机的发展经历了以下三个阶段。

1. 理论开创阶段

多旋翼无人机理论开创于 20 世纪初，直升机研发之前。几家主要飞机生产商开发出了在多个螺旋桨中搭乘飞行员的机型，这种设计开创了多旋翼飞行器的理论。

2. 加速发展阶段

近几年来，随着电子技术、微机械技术以及计算机技术的迅猛发展，装配高性能压电陶瓷陀螺仪和角速度传感器(六轴陀螺仪，如图 1-12 所示)的多旋翼无人飞行器开始加速发展。2010 年法国派诺特(Parrot)公司推出了消费级四旋翼玩具 AR Drone，实现光流定点室内悬停，采用手机、平板电脑等控制一键起飞等先进的控制理念和技术，极大地简化了操控技术，为无人机开辟了消费级领域这一巨大的应用市场。在 2013 年，中国大疆创新技术有限公司推出了精灵系列一体四旋翼无人机，加速了消费级无人机应用市场的发展。至此，无人机产品在消费级和各行各业的应用开始爆发。同期，基于开源理念的多旋翼飞控软件开始逐渐增多，例如著名的 APM、PX4、Pixhawk、MWC、Openpilot 和 KKMulticopter 等，为越来越多的专业和非专业人员学习研究多旋翼的飞行控制算法理论奠定了基础。