

“十三五”应用型人才培养规划教材  
无人机应用技术重点专业建设示范教材

# 无人机概论

◎ 钟伟雄 韦 凤 主 编  
邹 仁 张富建 副主编



清华大学出版社



## 无人机应用技术重点专业建设示范教材

- ④ 无人机概论
- ④ 无人机组装与调试
- ④ 无人机结构系统与飞行原理
- ④ 无人机操控技术与应用
- ④ 无人机维修技术与应用
- ④ 无人机行业应用（航拍/航测/植保）



清华社官方微信号



扫 我 有 惊 喜

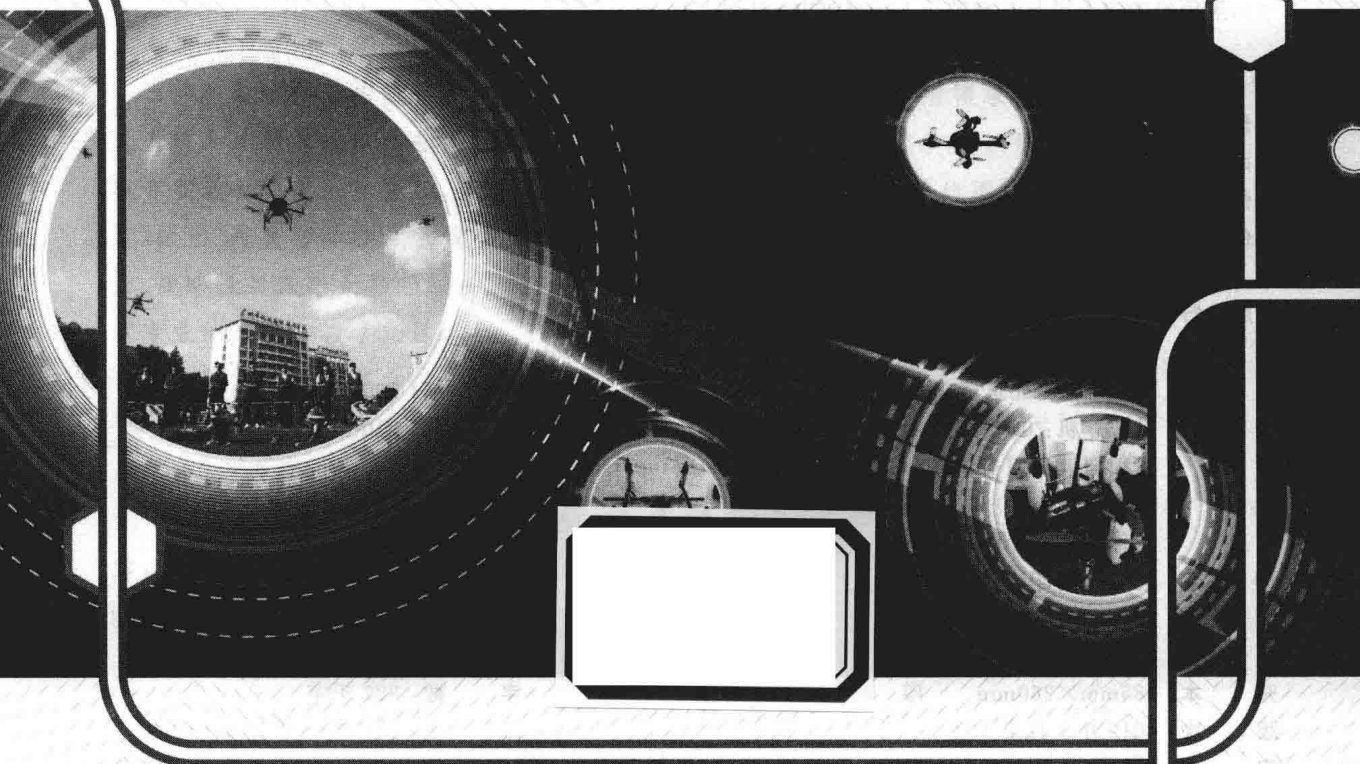


定价：59.00元

“十三五”应用型人才培养规划教材

# 无人机概论

◎ 钟伟雄 韦 凤 主 编  
邹 仁 张富建 副主编



清华大学出版社  
北京

此为试读, 需要完整PDF请访问: [www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)

## 内 容 简 介

近年来,无人机市场发展迅猛,无人机人才需求缺口巨大,而国内无人机教育还处在探索和起步阶段。本书以无人机为中心,阐述了无人机相关的基本概念、基本原理、基本技术和基本方法,力求宽而不深、多而不杂、深入浅出、通俗易懂。全书共分9章,内容分别为无人机概述、无人机结构与系统、无人机飞行原理、航空气象、无人机飞行管理、无人机法律法规、无人机操纵、无人机的日常维护、无人机行业应用。

本书可作为中等和高等职业院校无人机应用技术及相关专业的配套教材或参考教材,也可作为无人机培训教材和无人机爱好者的参考书。

本书配套课件和无人机相关学习文件请用微信扫码下载。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

无人机概论/钟伟雄,韦凤主编. —北京:清华大学出版社,2019(2019.9重印)

(“十三五”应用型人才培养规划教材)

ISBN 978-7-302-51596-8

I. ①无… II. ①钟… ②韦… III. ①无人驾驶飞机—概论—中等专业学校—教材 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第257206号

责任编辑:张弛

封面设计:刘键

责任校对:李梅

责任印制:宋林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62770175-4278

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:14

字 数:337千字

版 次:2019年1月第1版

印 次:2019年9月第4次印刷

定 价:59.00元

产品编号:079778-03

# 前言

## FOREWORD

无人机概论是中等和高等职业院校无人机相关专业非常重要的一门专业基础课。本书可作为中等和高等职业院校无人机应用技术及相关专业的配套教材或参考教材,也可作为无人机培训教材和无人机爱好者的参考书。

近年来,无人机成为中国制造尤其是人工智能的重点发展和培育对象。习近平总书记在十九大报告中指出“加快建设制造强国,加快发展先进制造业,推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合”;2015年5月《中国制造2025》围绕实现制造强国的战略目标提出了九项战略任务和重点,其中第六项“大力推动重点领域突破发展……航空航天装备方面,推进无人机产业化”等;2017年7月国务院印发《新一代人工智能发展规划》;同年12月工业和信息化部印发《促进新一代人工智能产业发展三年行动计划(2018—2020)》,指出将重点培育智能无人机等八大类人工智能产品。

伴随着近年来国内无人机市场的井喷发展,无人机行业应用需求逐步形成,无人机人才需求缺口日益显现,而国内无人机教育还处在探索和起步阶段,无人机专业教材几乎一片空白。2014年6月《国务院关于加快发展现代职业教育的决定》提出“院校布局和专业设置应更加适应经济社会需求。要重点提升先进制造业、战略性新兴产业等领域的人才培养能力”。编者结合所在学校无人机应用技术专业的建设和教学实际,编写了本系列教材,希望能为推动我国无人机职业教育的发展贡献一份薄力。

本书的编写以无人机专业相关的基本概念、基本原理、基本技术和基本方法为主线,力求宽而不深、多而不杂、深入浅出、通俗易懂。

本书章节编写分工如下:第1、5、6章由钟伟雄编写;第2章由马娟、韦凤编写;第3章由韦凤编写;第4章由桂佳佳、张富建编写;第7章由邹仁编写;第8章由郑利坤、邹仁编写;第9章由钟伟雄、韦凤、张富建、郑利坤、桂佳佳编写。全书由钟伟雄、韦凤统稿和定稿。

本书在编写过程中得到了各方的大力支持,感谢深圳高科新农技术有限公司、深圳华越无人机技术有限公司、广东能飞航空科技发展有限公司、广州市鑫广飞信息科技有限公司、广州迪飞无人机科技有限公司为本书编写提供的基础资料和有益建议;感谢广州市机电技师学院无人机俱乐部的陈钦荣、陈泳、符召成、

冯展鹏为本书的素材编辑付出大量心血；感谢广东技术师范学院机电学院黄景辉对部分图片的编辑。同时，我们也参考了不少互联网上的文章和资料，在此一并向原作者表示衷心的感谢。

由于编者水平、经验有限，书中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评、指正。

编者

2018年11月



PPT 课件



无人机相关文件

# 目 录

## CONTENTS

第 1 章 无人机概述 .....	1
1.1 无人机相关概念 .....	1
1.1.1 航空航天 .....	1
1.1.2 飞行器 .....	2
1.1.3 无人机与无人机系统 .....	3
1.2 无人机的特点与分类 .....	5
1.2.1 无人机的特点 .....	5
1.2.2 无人机的分类 .....	6
1.3 无人机的发展历史、现状与未来 .....	10
1.3.1 无人机的发展历史与现状 .....	10
1.3.2 无人机的发展展望 .....	12
第 2 章 无人机结构与系统 .....	14
2.1 无人机结构与系统概述 .....	14
2.2 无人机的基本结构 .....	14
2.2.1 固定翼无人机的基本结构 .....	14
2.2.2 无人直升机的基本结构 .....	17
2.2.3 多旋翼无人机的基本结构 .....	21
2.3 无人机的动力系统 .....	23
2.3.1 电动系统 .....	23
2.3.2 油动系统 .....	26
2.4 无人机控制站与飞行控制系统 .....	30
2.4.1 无人机控制站 .....	30
2.4.2 无人机飞行控制系统 .....	31
2.5 无人机通信导航系统 .....	32
2.5.1 无人机通信 .....	33
2.5.2 无人机导航 .....	36
2.6 无人机任务载荷系统与发射回收系统 .....	39
2.6.1 无人机任务载荷系统 .....	39
2.6.2 无人机发射回收系统 .....	40

<b>第3章 无人机飞行原理</b> .....	44
3.1 空气动力学基础 .....	44
3.1.1 大气性质 .....	44
3.1.2 气体流动的基本规律 .....	47
3.2 固定翼无人机飞行原理 .....	50
3.2.1 升力 .....	50
3.2.2 阻力 .....	56
3.2.3 升阻比 .....	60
3.2.4 拉力 .....	61
3.2.5 平衡 .....	64
3.2.6 稳定性 .....	67
3.2.7 操纵性 .....	70
3.3 无人直升机飞行原理 .....	72
3.3.1 升力 .....	72
3.3.2 旋翼运动 .....	72
3.3.3 稳定性 .....	76
3.3.4 操纵性 .....	76
3.4 多旋翼无人机飞行原理 .....	78
<b>第4章 航空气象</b> .....	83
4.1 大气成分与结构 .....	83
4.1.1 大气成分 .....	83
4.1.2 大气层的结构 .....	84
4.2 气象要素 .....	85
4.2.1 气温 .....	85
4.2.2 气压 .....	86
4.2.3 湿度 .....	87
4.2.4 降水 .....	88
4.2.5 风 .....	90
4.2.6 能见度 .....	92
4.3 气象环境对飞行的影响 .....	93
4.3.1 风切变对飞行的影响 .....	93
4.3.2 云对飞行的影响 .....	95
4.3.3 能见度对飞行的影响 .....	97
4.3.4 湍流对飞行的影响 .....	99
4.3.5 积冰对飞行的影响 .....	100
4.3.6 锋面天气对飞行的影响 .....	102
4.3.7 气压、气温、大气密度对飞行的影响 .....	104
4.4 气象资料及其来源与服务设施 .....	105

4.4.1	气象图 .....	105
4.4.2	气象资料来源 .....	109
4.4.3	气象服务设施 .....	110
<b>第5章</b>	<b>无人机飞行管理 .....</b>	<b>112</b>
5.1	航空器飞行管理 .....	112
5.1.1	航空器适航管理 .....	112
5.1.2	航空器飞行环境管理 .....	114
5.1.3	航空器人为因素管理 .....	114
5.1.4	航空器组织运行管理 .....	114
5.2	空中交通管理 .....	114
5.2.1	空中交通服务 .....	115
5.2.2	空域管理 .....	115
5.2.3	空中交通流量管理 .....	117
5.3	无人机飞行管理体系 .....	118
5.3.1	无人机管控机构 .....	118
5.3.2	无人机管控技术 .....	119
5.3.3	无人机管控对象与内容 .....	120
5.3.4	无人机管控法规 .....	121
5.4	无人机空域与飞行计划申请 .....	122
5.4.1	无人机空域的相关法律法规 .....	122
5.4.2	隔离空域申请 .....	122
5.4.3	飞行计划申请 .....	123
<b>第6章</b>	<b>无人机法律法规 .....</b>	<b>125</b>
6.1	中国民航法律法规体系 .....	125
6.1.1	法律 .....	125
6.1.2	行政法规 .....	126
6.1.3	民航规章 .....	127
6.1.4	规范性文件 .....	128
6.2	中国无人机法律法规体系 .....	129
6.2.1	无人机监管文件体系 .....	129
6.2.2	飞行管理文件 .....	130
6.2.3	空中交通管理文件 .....	132
6.2.4	驾驶员管理文件 .....	133
6.2.5	无人机登记管理文件 .....	135
6.2.6	无人机监管技术支撑文件 .....	135
<b>第7章</b>	<b>无人机操纵 .....</b>	<b>137</b>
7.1	无人机飞行操纵 .....	137

7.1.1	无人机飞行操纵的类型	137
7.1.2	无人机遥控器的操纵	138
7.1.3	无人机遥控器飞行手法	140
7.1.4	戴氏飞行训练法介绍	140
7.2	无人机地面站	142
7.2.1	地面站控制概述	142
7.2.2	飞控调试	143
7.2.3	航迹规划	143
7.2.4	数据监控	147
7.3	无人机的飞行	148
7.3.1	多旋翼飞行	148
7.3.2	固定翼飞行	154
7.3.3	直升机飞行	158
7.4	无人机的飞行安全	159
7.4.1	外部因素	160
7.4.2	自身因素	160
7.4.3	外场飞行注意事项	162
7.4.4	无人机首次飞行	162
<b>第8章</b>	<b>无人机的日常维护</b>	<b>165</b>
8.1	无人机飞行手册	165
8.1.1	概述	165
8.1.2	正常程序	165
8.1.3	应急程序	166
8.1.4	性能	167
8.1.5	飞行限制	167
8.1.6	质量和配平/载荷清单	168
8.1.7	系统描述	168
8.1.8	运行、保养和维护	168
8.1.9	附录	168
8.1.10	安全提示	168
8.2	无人机的维护	168
8.2.1	预防性维护	169
8.2.2	检查性维护	169
8.2.3	修理和更换	170
8.2.4	动力系统的维护	171
8.2.5	植保无人直升机的维护	172
8.2.6	多旋翼航拍无人机的维护	175
8.2.7	常用维护工具	177

第 9 章 无人机行业应用 .....	179
9.1 无人机在民用领域的应用 .....	179
9.1.1 无人机民用领域应用概述 .....	179
9.1.2 无人机航拍 .....	179
9.1.3 无人机航测 .....	183
9.1.4 无人机植保 .....	187
9.1.5 无人机电力巡检 .....	189
9.1.6 无人机河道巡航 .....	196
9.1.7 无人机物流 .....	198
9.1.8 其他民用领域的应用 .....	201
9.2 无人机在军、警领域的应用 .....	202
9.2.1 军用无人机 .....	202
9.2.2 警用无人机 .....	208
参考文献 .....	213

## 无人机概述

18 世纪后期,热气球在欧洲升空,迈出了人类翱翔天空的第一步。20 世纪初期,美国人莱特兄弟的“飞行者”号飞机试飞成功,开创了现代航空的新篇章。20 世纪 40 年代初期第二次世界大战时,德国成功发射大型液体火箭 V-2,把航天理论变成现实。1961 年,苏联航天员加加林乘坐“东方 1 号”宇宙飞船在最大高度为 301 千米的轨道上绕地球飞行一周,揭开了人类载人航天器进入太空的新篇章。

无人机的起源可以追溯到第一次世界大战,1914 年英国的两位将军提出了研制一种使用无线电操纵的小型无人驾驶飞机空投炸弹的建议,得到认可并开始研制。1915 年 10 月,德国西门子公司成功研制了采用伺服控制装置和指令指导的滑翔炸弹。1916 年 9 月 12 日,第一架无线电操纵的无人驾驶飞机在美国试飞。1917—1918 年,英国与德国先后研制成功了无人遥控飞机。这些被公认为是可控无人机的先驱。

随后,无人机被逐步广泛应用于靶机、侦察、情报收集、跟踪、通信和诱饵等军事任务中,新时代的军用无人机很大程度上改变了军事战争和军事调动的原始形式。与军用无人机的百年历史相比,民用无人机技术要求低,更注重经济性。军用无人机技术的民用化降低了民用无人机市场的进入门槛和研发成本,使得民用无人机得以快速发展。目前,民用无人机已广泛应用于航拍、航测、农林植保、巡线巡检、防灾减灾、地质勘测、灾害监测和气象探测等领域。

无人机未来将在智能化、长航时、超高速、微型化、隐身化等方向发展,无人机的市场空间和应用前景非常广阔。

### 1.1 无人机相关概念

#### 1.1.1 航空航天

随着人类生产力和科技水平的进步,人类活动空间从陆地到海洋,从海洋到大气层,从大气层到宇宙空间。航空航天是人类拓展大气层和宇宙空间的产物。

航空是指飞行器在地球大气层中的航行活动。要在稠密的大气层中实现航空,需依靠空气动力学原理提供升力,需克服航空器自身重力及空气的阻力。例如,气球、飞艇利用空气的浮力在大气层内飞行,飞机利用与空气相互作用产生的空气动力在大气层内飞行,飞机上的发动机依靠飞机携带的燃料和大气中的氧气工作。

航天是指飞行器在地球大气层外宇宙空间的航行活动。航天的实现在稀薄的大气层

外,模拟自然天体的运动,需克服地球引力或太阳引力。例如,环绕地球运行的人造地球卫星,飞往月球的月球探测器、登月载人飞船,飞往行星及其卫星的行星和行星际探测器、卫星式载人飞船,行星际航行和恒星际航行等。

航空航天技术是高度综合的科学技术,涵盖了力学、热力学、材料学、医学等基础科学,电子技术、通信技术、自动控制技术、计算机技术、制造工艺技术、真空技术、低温技术等应用科学技术,隐身技术、高超声速技术、喷气推进技术、推力矢量技术等航空新技术,以及卫星技术、载人航天和空间站等航天新技术。

## 1.1.2 飞行器

飞行器(Flight Vehicle)是指由人类制造、能飞离地面、在大气层内或大气层外空间飞行的机械飞行物。

在中国,相传春秋战国时期墨子用三年时间以木头研制成木鸟(又称木鸢、木鸢),是人类最早的风筝起源。后来春秋时期的鲁班(公元前 507—公元前 444 年)用竹子改进风筝材质。直至东汉时期的蔡伦(?—121 年)革新造纸术后,坊间才开始以纸作为风筝材质,称为“纸鸢”。春秋战国时期(公元前 770—公元前 221 年)出现的风筝、五代时期(907—979 年)出现的孔明灯(又称松脂灯)、东晋时期(317—420 年)出现的竹蜻蜓,都被看作是飞行器的早期雏形。

在国外,文艺复兴时期意大利科学家和画家达·芬奇通过长期研究撰写的《论鸟的飞行》被认为是航空科学的先知,1783 年法国蒙哥尔费兄弟的热气球成功升空被称为航空先驱,1784 年法国罗伯特兄弟制造了第一艘人力飞艇。

按飞行器的飞行环境和工作方式的不同,可以把飞行器分为航空器、航天器、火箭和导弹三大类。

### 1. 航空器

航空器是指在大气层内飞行的飞行器。

按航空器用途的不同,可把航空器分为军用航空器和民用航空器,如图 1-1 所示。

按航空器产生升力基本原理的不同,可把航空器分为轻于同体积空气的航空器和重于同体积空气的航空器两大类,如图 1-2 所示。

### 2. 航天器

航天器是指在大气层外宇宙空间飞行的飞行器。

按航天器用途的不同,可把航天器分为军用航天器和民用航天器两大类,如图 1-3 所示。

### 3. 火箭和导弹

火箭是以火箭发动机为动力,可在大气层内或大气层外飞行的飞行器。

导弹是以火箭发动机、涡轮喷气发动机或冲压发动机等为动力,可在大气层内或大气层外飞行的飞行器。它是一种由制导系统控制飞行轨迹的飞行武器。

按发射点与目标点相对位置的不同,导弹可分为地地导弹、地空导弹、空空导弹和空地导弹。

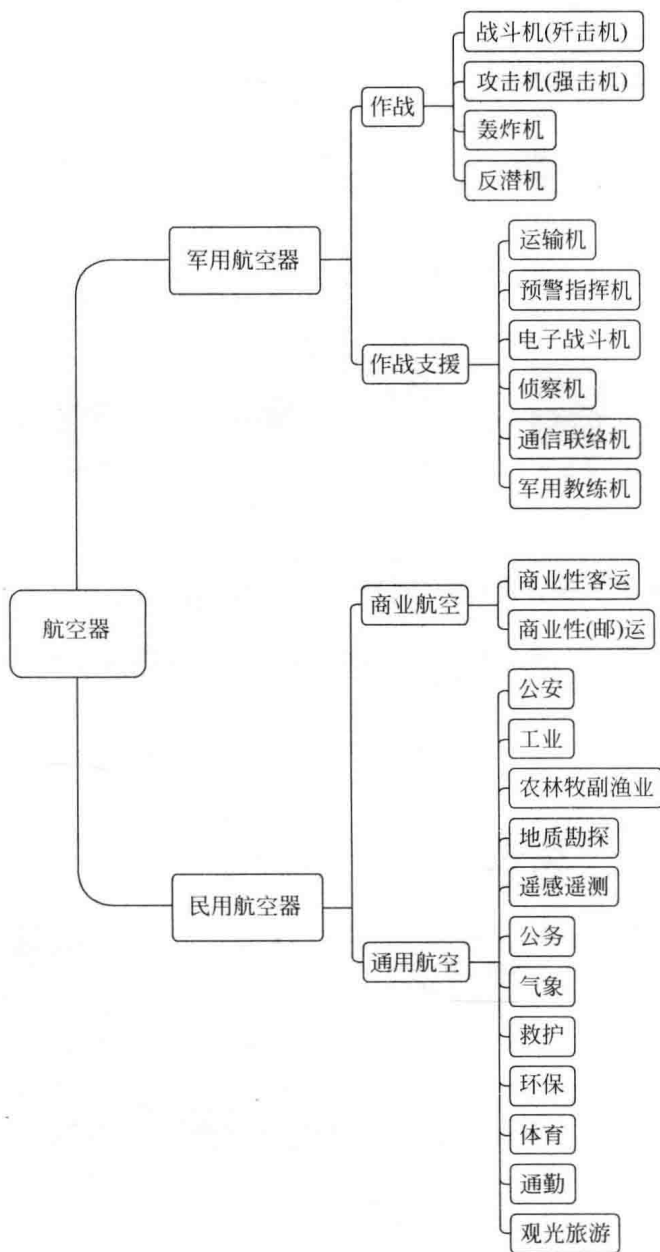


图 1-1 航空器的分类(按用途划分)

### 1.1.3 无人机与无人机系统

中国民用航空局飞行标准司在 2016 年 7 月 11 日下发的《民用无人机驾驶员管理规定》(AC-61-FS-2016-20-R1)中,对无人机及相关概念作了定义。

无人机(Unmanned Aerial,UA)是指由控制站管理(包括远程操纵或自主飞行)的航空器,也称为远程驾驶航空器(Remotely Piloted Aircraft,RPA)。

无人机系统(Unmanned Aerial System,UAS)是指由无人机、相关控制站、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,也称为远程驾驶航

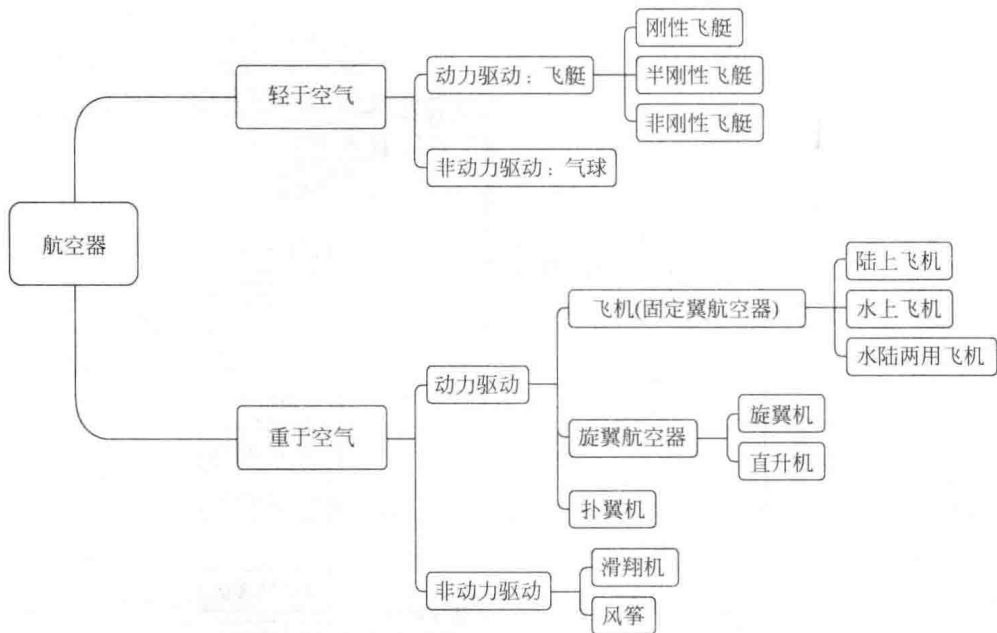


图 1-2 航空器的分类(按航空器产生升力的原理划分)

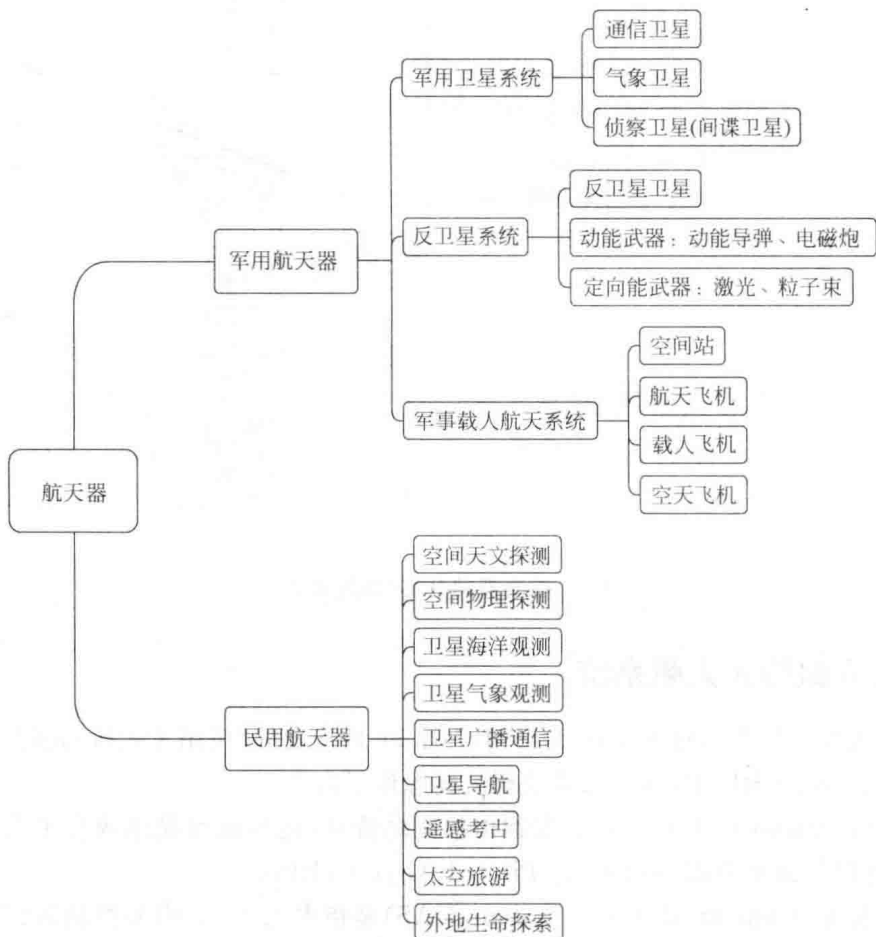


图 1-3 航天器的分类(按用途划分)

空器系统(Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS)。图 1-4 所示是一种典型的无人机系统。

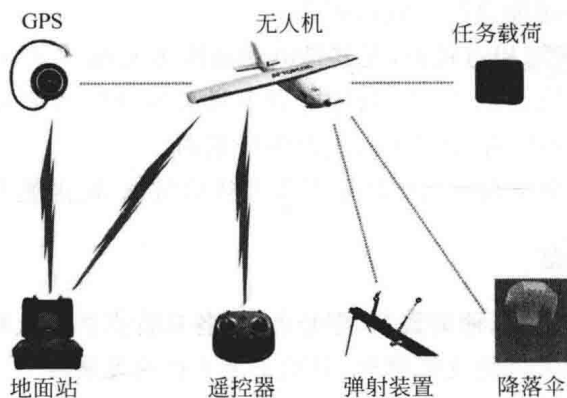


图 1-4 一种典型的无人机系统

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职责并在飞行期间适时操纵无人机的人。

控制站也称遥控站、地面站,是无人机系统的组成部分,包括用于操纵无人机的设备。

指令与控制数据链路(Command and Control Data Link, C2)是指无人机和控制站之间以飞行管理为目的的数据链接。

## 1.2 无人机的特点与分类

### 1.2.1 无人机的特点

#### 1. 无人机的优势

与有人机相比,无人机具有以下优势。

- (1) 机上没有驾驶员,无须配备生命保障系统,简化了系统、减轻了重量、降低了成本。
- (2) 机上没有驾驶员,执行危险任务时不会危及飞行员安全,更适合执行危险性高的任务。

(3) 机上没有驾驶员,可以适应更激烈的机动飞行和更加恶劣的飞行环境,留空时间也不会受到人所固有的生理限制。

(4) 无人机在制造、使用和维护方面的技术门槛和成本相对更低。

制造方面:放宽了冗余性和可靠性指标,放宽了机身材料、过载、耐久等要求。

使用方面:使用相对简单,训练更易上手,且可用模拟器代替真机进行训练,节省了真机的实际使用寿命。

维护方面:维护相对简单,维护成本低。

(5) 无人机对环境要求较低,包括起降环境、飞行环境和地面保障等。

(6) 无人机相对重量轻、体积小、结构简单、应用领域广泛。

#### 2. 无人机的局限性

与有人机相比,无人机具有以下局限性。

(1) 无人机上没有驾驶员和机组人员,对导航系统和通信系统的依赖性更高。

(2) 无人机放宽了冗余性和可靠性指标,降低了飞行安全。当发生机械故障或电子故障时,无人机及机载设备可能会产生致命损伤。

(3) 无人机的续航时间相对较短,尤其是电动系统无人机。

(4) 无人机遥控器、控制站、图传、数传电台等设备的通信频率和地面障碍物等限制了无人机系统的通信传输距离,限制了无人机的飞行范围。

(5) 无人机的体积、重量和动力等决定了无人机的抗风、抗雨能力比较有限。

## 1.2.2 无人机的分类

目前,无人机的用途广泛,种类繁多,型号各异,各具特点。无人机的分类有助于相关标准规范的确立,有助于无人机的飞行管理,有助于无人机的发展。

### 1. 按飞行平台构造形式分类

按飞行平台构造形式的不同,无人机可分为固定翼无人机、无人直升机、多旋翼无人机、无人伞翼机、无人扑翼机、无人飞艇和混合式无人机等。

#### 1) 固定翼无人机

固定翼无人机是指由动力装置产生前进的推力或拉力,由机身固定的机翼产生升力,在大气层内飞行的重于空气的无人机。图 1-5 所示为一种典型的固定翼无人机。

固定翼无人机的特点有载荷大、续航时间长、航程远、飞行速度快、飞行高度高,但起降受场地限制,无法悬停。

#### 2) 无人直升机

无人直升机是指依靠动力系统驱动一个或多个旋翼产生升力和推进力,实现垂直起落及悬停、前飞、后飞、定点回转等可控飞行的无人机。图 1-6 所示为一种典型的无人直升机。

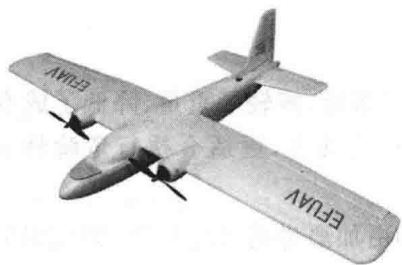


图 1-5 固定翼无人机



图 1-6 无人直升机

按旋翼数量和布局方式的不同,无人直升机可分为单旋翼带尾桨无人机直升机、共轴式双旋翼无人机直升机、纵列式双旋翼无人机直升机、横列式双旋翼无人机直升机和带翼式无人机直升机等不同类型。

无人直升机的特点有可垂直起降、可悬停、操作灵活、可任意方向飞行,但结构复杂、故障率较高。与固定翼无人机相比,飞行速度低、油耗高、载荷小、航程短、续航时间短。

#### 3) 多旋翼无人机

多旋翼无人机是指具有三个及以上旋翼轴提供升力和推进力的可垂直起降无人机。图 1-7 所示为一种典型的多旋翼无人机。