

高等教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

无人机概论

严月浩◎主编



西北工业大学出版社

高等教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

无人机概论

严月浩 主编

西北工业大学出版社

西安

【内容简介】 本书主要内容包括无人机概论、无人机飞行原理、航空器平台、无人机动力系统、无人机导航系统、无人机地面站系统、无人机数据链系统、无人机应用及发展趋势以及无人机社会管理等。本书内容全面,深入浅出,通俗易懂,使读者能够全面了解无人机的基本知识。

本书可以作为高等院校低年级学生的专业基础课教材,也可供初级工程人员和无人机爱好者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

无人机概论 / 严月浩主编. — 西安:西北工业大学出版社,2018.7

ISBN 978-7-5612-6166-8

I. ①无… II. ①严… III. ①无人驾驶飞机-概论
IV. ①V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 174984 号

WURENJI GAILUN

无人机概论

责任编辑:张 潼

策划编辑:杨 军

责任校对:杨 军

装帧设计:李 飞

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号

邮编:710072

电 话:(029)88491757, 88493844

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm

1/16

印 张:13

字 数:341 千字

版 次:2018 年 7 月第 1 版

2018 年 7 月第 1 次印刷

定 价:39.80 元

如有印装问题请与出版社联系调换

前 言

航空产业是工业生态链的高端产业,是高端制造能力的集中体现,是现代工业的皇冠。无人机无疑是当前航空产业中最具创新活力的载体。无人机产业发展快、应用范围广,它综合了基础、工程和应用学科最新成果,对人类社会生活具有极大的影响力,是 21 世纪最具有竞争力的产业之一。

无人机技术是集力学、材料学、控制理论、电子信息、先进制造工艺等技术于一体的综合学科。对航空航天学科、电子信息、先进制造技术等无人机相关专业的本、专科(高职)应用型工科类学生来说,了解无人机系统的基本知识、基本原理、基本技术、发展概况是非常必要的。本书主要针对高等院校低年级的学生和初级工程人员编写,主旨在于开拓他们的视野,扩大知识面,为今后的学习和工作打下良好的基础。

全书分为十章:第一章绪论,介绍无人机的定义、发展历史、分类标准以及无人机产业情况;第二章无人机飞行原理,介绍无人机飞行环境、原理、空气动力的基本知识、坐标系转换等无人机基础理论知识;第三章航空器平台,介绍固定翼、直升机、多旋翼等航空器平台的原理和基本构成;第四章无人机动力系统,介绍了燃油动力、电池动力等无人机动力系统基本构成;第五章无人机飞行控制系统,介绍无人机飞行控制原理、基本组成、基本算法以及开源飞控;第六章无人机导航系统,介绍北斗、GPS 等导航系统基本工作原理;第七章无人机地面站系统,介绍地面站的基本功能和构成;第八章无人机数据链系统,介绍无人机数据传输过程、构成以及关键技术;第九章无人机应用及发展趋势,介绍无人机在行业的应用及发展趋势;第十章无人机的社会管理,介绍无人机引发的社会问题、无人机的反制以及我国无人机相关法律法规。

本书由严月浩担任主编,王艳萍、刘白璐、何云华、韩霞任副主编,刘贞报教授对全书进行了审阅。朱显明、郭通、田珺、黄奕、郑鑫、余晓江、陈旭等在资料收集和文字处理方面做了大量工作。本书的编写过程得到李斌教授、李刚俊教授、贺春林教授的大力支持,在此表示感谢!书中参考了国内外文献资料和兄弟院校的相关资料,在此对其作者表示谢意!

由于本书涉及学科众多、领域广泛,且鉴于笔者水平有限,书中如有不当之处,恳请给予批评指正,以便后续修订更正。

编 者

2018 年 3 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 无人机概述	2
1.2 无人机产业介绍	12
课后练习	15
第 2 章 无人机飞行原理	16
2.1 无人机的飞行环境	17
2.2 气流特性	20
2.3 升力与阻力的产生	27
2.4 常用坐标系及其转换	39
2.5 无人机的稳定性	42
2.6 无人机的发射回收方式	46
课后练习	48
第 3 章 航空器平台	49
3.1 固定翼飞机	50
3.2 单旋翼平台——直升机	54
3.3 多旋翼飞行器	61
3.4 其他类型航空器	66
课后练习	67
第 4 章 无人机动力系统	68
4.1 无人机动力系统概述	68
4.2 油动系统	69
4.3 电动系统	86
课后练习	102
第 5 章 无人机飞行控制系统	103
5.1 飞控原理	104
5.2 飞控的基本组成	107
5.3 飞控算法	114
5.4 开源飞控	117
课后练习	124

第 6 章 无人机导航系统	125
6.1 导航概述	126
6.2 导航分类	126
6.3 常用导航系统	133
课后练习.....	145
第 7 章 无人机地面站系统	146
7.1 无人机地面站发展历程	147
7.2 无人机地面站的功能	147
7.3 无人机地面站的构成	149
7.4 地面站分类	157
7.5 设计理念	159
7.6 现状及发展趋势	160
课后练习.....	163
第 8 章 无人机数据链路系统	164
8.1 数据链的构成	165
8.2 数据链路传输数据的过程	167
8.3 主要性能	171
8.4 无人机数据链系统关键技术	172
8.5 无人机数据链系统发展方向	177
课后练习.....	179
第 9 章 无人机应用及发展趋势	180
9.1 无人机应用概况	181
9.2 植保类无人机	182
9.3 航拍类无人机	183
9.4 物流类无人机	186
9.5 其他类无人机	189
9.6 军用无人机	190
9.7 无人机发展趋势	192
课后练习.....	197
第 10 章 无人机社会管理	198
10.1 无人机引发的社会问题.....	199
10.2 反无人机技术.....	200
10.3 我国相关法律法规.....	201
课后练习.....	201
参考文献	202

第 1 章 绪 论

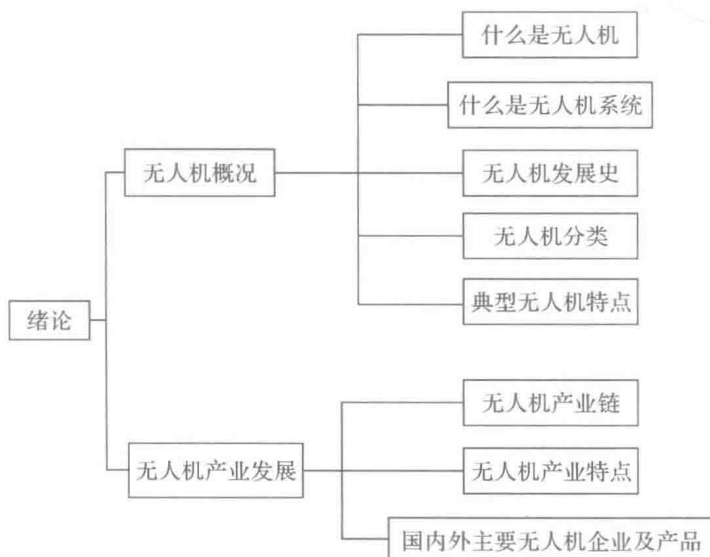
内容提示

无人机诞生于第一次世界大战期间,最早是作为靶机出现。经过一个世纪的发展,无人机不仅在军用领域展现出强大的生命力,在农业、电力、安防、测绘等民用领域也得到了长足发展。目前无人机产业正处于快速成长期,世界各国都在大力发展无人机产业,我国也涌现出诸多无人机企业及明星产品。

教学要求

- (1) 掌握无人机基本概况,了解什么是无人机。
- (2) 了解无人机产业发展现状。
- (3) 了解主要无人机企业及产品。

内容框架图



1.1 无人机概述

1.1.1 无人机的定义

无人驾驶航空器简称“无人机”，是一种不搭载操作人员，采用空气动力提供升力，利用无线电或机载计算机与导航设备进行自主控制飞行，集成各类有效载荷，可一次性或多次重复使用的飞行器。根据中国民用航空局飞行标准司的规定，无人机(UAV, Unmanned Aircraft Vehicle)，是由控制站管理(包括远程操纵或自主飞行)的航空器，也称远程驾驶航空器(RPA, Remotely Piloted Aircraft)。无人机及其配套的通信站、起飞(发射)回收装置以及无人机的运输、储存和检测等装置又被统称为无人机系统(UAS, Unmanned Aircraft System)，也称远程驾驶航空器系统(RPAS, Remotely Piloted Aircraft Systems)。根据任务，无人机系统可分为飞行系统、任务载荷系统、地面控制系统、数据链系统等(见图 1-1)。飞行系统相当于无人机系统的“心脏”部分，对无人机的稳定性、数据传输的可靠性、精确度、实时性等都有重要影响，对其飞行性能起决定性的作用；任务载荷系统包括无人机执行任务所需携带的各种任务设备，作为无人机执行任务的必要“手段”；地面控制系统主要完成飞行环境监测、飞机性能状态及机载设备监控，起降控制等任务；数据链系统可以保证对遥控指令的准确传输，以及无人机接收、发送信息的实时性和可靠性，以保证信息反馈的及时有效性和顺利、准确的完成任务。

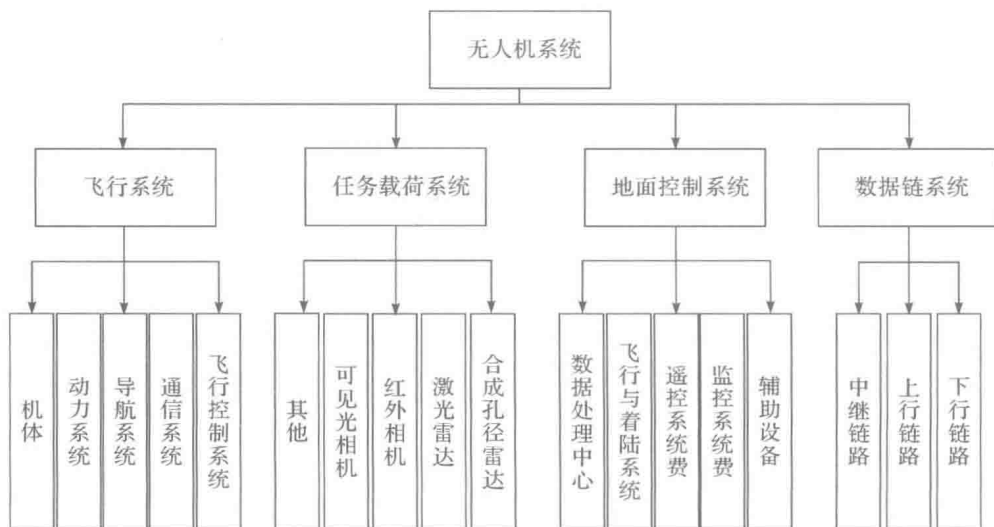


图 1-1 无人机系统构成图

常常有人将无人机与航模等同起来，其实它们的不同主要表现在控制方式、飞行方式、模块组成以及执行任务的差别上。

(1) 控制方式不同

航模是操纵手通过遥控器或者是控制线进行控制，无人机则是通过飞行控制器(简称飞控)来主动控制飞机的姿态和航线，或者通过数据传输系统实时输入到飞控系统中。

(2) 飞行方式不同

飞行方式的区别在于是否有导航飞控系统,能否实现自主飞行。通俗来说,无人机可以实现自主飞行,而航模不可以,必须由人来通过遥控器控制。也就是无人机的本身是带了“大脑”飞行,可能“大脑”受限于人工智能。但是航模的“大脑”始终在操纵人员的手上。

(3) 组成不同

通常无人机比航模要复杂。航空模型由飞行平台、动力系统、视距内遥控系统组成。主要是为了大众的观赏性,追求的是外表的像真或是飞行优雅等,具有一定的科技含量。无人机系统由飞行系统、任务载荷系统、地面控制系统、数据链系统等组成。主要是为了完成特定任务,追求的是系统的任务完成能力,科技含量高。

(4) 任务不同

无人机可执行多超视距的多任务,任务半径可达上万千米,利用机载导航飞控系统自主飞行,利用链路系统上传控制指令和下传任务信息。航模通常在目视视距范围内飞行,控制半径小于 800 m,操作人员目视飞机,通过手中遥控发射机操纵飞机,机上一般没有任务设备。小微无人机系统也有类似航模的能力,可以在视距内直接遥控操作。

1.1.2 无人机的发展历史

1. 世界无人机的发展历史

(1) 第一阶段:萌芽期

无人机最初的发展是战争需要。1914 年英国的卡德尔和皮切尔两位将军提议研制一种无人驾驶空中炸弹,可以自行飞到目标上空消灭敌人,然而多次实验均以失败告终。

1917 年美国海军采用了彼得·库伯和艾尔姆·A. 斯皮里发明自动陀螺稳定仪,将柯蒂斯 N-9 式教练机改装成了世界上首架无线电控无载人飞行器(UAV, Unmanned Aerial Vehicle)。斯皮里“空中鱼雷”式在飞行测试中挂载一枚 300 磅^①重的炸弹飞行了 50 mi^②,却从来没有参加过战斗,如图 1-2 所示。

1921 年,英国成功研制世界上第一架靶机,它的飞行高度只有 1.83 km,速度 160 km/h。

1935 年,“蜂王”无人机的问世,是现代无人机历史上的“开山鼻祖”(见图 1-3)。“蜂王”式的飞行高度达 17 000 ft^③,最大速度为 161 km/h,它在英国皇家海军和皇家空军中服役。随后无人机被运用于各大战场,执行侦察任务,但是由于当时的科技比较落后,无法出色完成任务,所以逐渐受到冷落,甚至被军方弃用。

(2) 第二阶段:探索期

1944 年,德国的工程师弗莱舍·弗鲁岑豪设计了“复仇武器”1 号(Vergeltungswaffe)飞行速度为 757 km/h 的无人机,是现代巡航导弹的先驱,可携带弹头达 2 000 lb。

1951 年美国制造了世界上第一款喷气动力无人机“火蜂”的原型机 XQ-2,后装备美国空军,它用来执行情报收集和监听无线信号的任务。

1963—1968 年间美国秘密地进行 M-21 和 D-21 的研发。

① 1 磅(lb)≈0.45kg。

② 1mi≈1.61km。

③ 1ft≈0.30m。



图 1-2 “空中鱼雷”式无人机

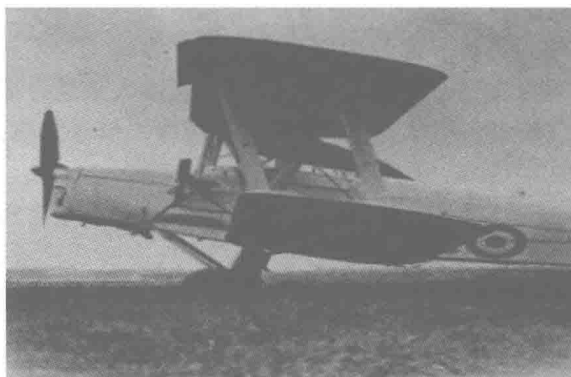


图 1-3 “蜂王”无人机

科技在不断发展,无人机的技术也在逐渐成熟,1982年以色列首创无人机与有人机协同作战以及无人机在海湾战争中大放异彩也引起了各国军事高层的重视,开启了无人机真正的发展之路。

(3) 第三个阶段:发展期

1986年12月美国先锋 RQ-2A(The Pioneer)无人机首飞成功。它通过火箭助力起飞,起飞质量 416 lb(1 lb \approx 0.454 kg),航速 109 mi/h(1 mi/h \approx 1.609 km/h),无人机能够漂浮在水面,并通过海面降落,进行回收。

1994年美国通用原子公司(General Atomics)制造了 MQ 捕食者无人机,在 1995年参加了联合国及北约对波斯尼亚的战役。

2004年制造的 RQ-7B 幻影 200 无人机,是当时无人机家族中最小的一款,被美国陆军和海军陆战队用于入侵伊拉克和阿富汗战场。

2005年美国制造了能够在战舰自行起飞并且在非预定地点着陆的火力侦察(Fire Scout)无人直升机。

2009年由洛克希德·马丁公司附属公司臭鼬工厂(Skunk Works)设计并生产的 RQ-170 哨兵号服役于美国空军,飞行高度达到 50 000 ft,2011年5月参加了剿杀了奥萨马·本·拉登行动。

2010年由美国诺斯罗普·格鲁曼公司研制高空高速无人侦察机 RQ-4A 全球鹰部署于爱德华兹空军基地。全球鹰翼展 35.4 m,长 13.5 m,高 4.62 m,最大飞行速度 644 km/h,最大起飞质量 11 622 kg,最大航程可达 26 000 km,自主飞行时间 41 h,可以完成跨洲飞行。

2. 中国军用无人机发展

1966年12月中国第一架无人机靶机“长空一号”首飞成功,开启中国无人机发展之路,如图 1-4 所示。

1978年5月“长虹”一号定型试飞成功,成为中国第一架高空无人驾驶侦察机。

1994年12月由中国西北工业大学研制完成 ASN-206 多用途无人驾驶飞机,具有实时视频侦察系统,机身尾部、尾撑之间装有 1 台 HS-700 型四缸二冲程活塞式发动机,功率为 37.3 kW,巡航时间为 4~8 h,航程 150 km,如图 1-5 所示。

2007年中国航天科技集团公司自主研发“彩虹-3(CH-3)无人机”首飞成功。彩虹-3 无人机是一种由无线电遥控设备或自身程序控制装置操纵的无人驾驶飞行器,采用的是活塞发动机,

最远航程能达到 2 400 km,巡航高度 3 000~5 000 m,最大升限 6 000 m,巡航时间可达 12 h,其翼展 8 m,机长 5.5 m,起飞质量达 640 kg;有效载荷 60 kg,最大载荷 100 kg,可携带光电侦察设备甚至 AR-1 型空地导弹,可以从跑道起飞,配备 3 点式起落架,如图 1-6 所示。

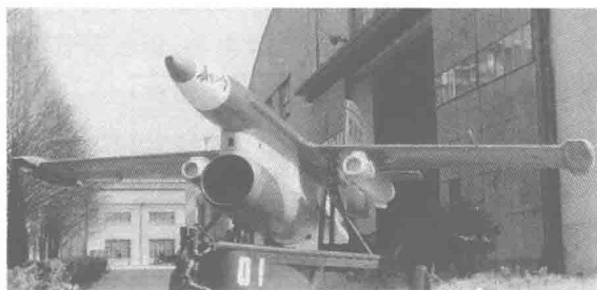


图 1-4 长空一号无人机



图 1-5 ASN-206 无人机

2011 年 6 月由中国中航工业成都飞机工业公司自主研究和设计的“翔龙”无人侦察机首次面世,它是一种大型高空高速无人机,机长 14.33 m,翼展 24.86 m,机高 5.413 m,正常起飞质量 6 800 kg,任务载荷 600 kg,作战半径 2 000~2 500 km,续航时间最大 10 h,起飞滑跑距离 350 m,着陆滑跑距离 500 m,如图 1-7 所示。



图 1-6 彩虹-3(CH-3)无人机

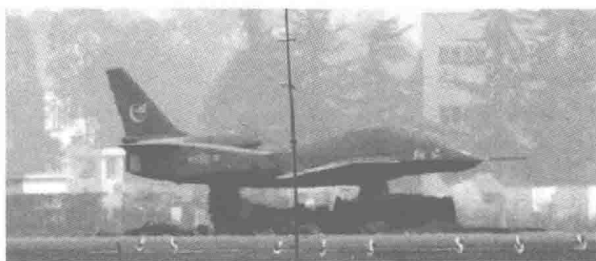


图 1-7 翔龙无人机

3. 民用无人机发展

21 世纪初,由于电子、信息的技术的发展,飞机机型更加小巧、性能更加稳定,催生了民用无人机的诞生。

2006 年,深圳市大疆创新科技有限公司公司成立,先后推出的 phantom 系列无人机,在世界范围内产生深远影响,研制的 phantom 2 vision+ 还在 2014 年被《时代周刊》评为全球十大科技产品,如图 1-8 所示。

2009 年,美国加州 3DRobotics 无人机公司成立,这是一家最初主要制造和销售 DIY 类遥控飞行器(UAV)的相关零部件的公司。

2015 年,是无人机飞速发展的一年,各大运营厂商融资成功,为无人机的发展创造了十分有利的条件,还上线了第一个无人机在线社区。无人机给生活带来了许多便利,但同时如何规



图 1-8 四旋翼无人机

范日趋火爆的无人机市场,使其持续、健康的发展是目前亟须解决的问题。

1.1.3 无人机的分类

无人机种类繁多,形式各异。可以按用途、平台构型、空机质量、飞行高度、活动半径等方面分为不同的类型,如图 1-9 所示。



图 1-9 无人机的分类

1.1.4 无人机标准体系

根据无人机的飞速发展,我国中航工业综合技术研究所制订了民用无人机相关发展指南——《无人驾驶航空器系统标准体系建设指南》规划无人驾驶航空器系统标准体系按照“三步走”原则建设,具体如下:

第一步,根据无人驾驶航空器系统分类分级复杂,体积质量及技术构型差异大,应用领域众多等特点,分别从管理和技术两个角度,提取共性抽象特征,构建无人驾驶航空器系统管理架构和技术架构。管理架构由生命周期、分级分类和应用对象组成,技术架构由系统层级、分级分类和平台构型组成。从而界定无人驾驶航空器系统标准化的内涵和外延,提出覆盖研发、注册、鉴定、制造、流通、运行和报废等全生命周期的标准化需求。

第二步,在深入分析标准化需求的基础上,综合无人驾驶航空器系统管理架构和技术架构各维度逻辑关系,将管理架构的分级分类维度和应用对象维度组成的平面依次映射到生命周期维度的七个层级,形成研发、注册、鉴定、制造、流通、运行和报废等七类管理标准;将技术架构的分级分类维度和平台构型维度组成的平面依次映射到系统层级维度的三个层级,形成系统级、分系统级和部件级等三类技术标准。考虑到基础标准和行业应用标准的特殊需求,将基础标准、行业应用标准与管理标准、技术标准共同构成无人驾驶航空器系统标准体系结构。

第三步,对无人驾驶航空器系统标准体系结构分解细化,进而建立无人驾驶航空器系统标准体系框架,指导无人驾驶航空器系统标准体系建设及相关标准立项工作。

1. 无人驾驶航空器系统架构

(1) 无人驾驶航空器系统管理架构

无人驾驶航空器系统管理架构通过生命周期、分级分类和应用对象三个维度构建完成,如图1-10所示。

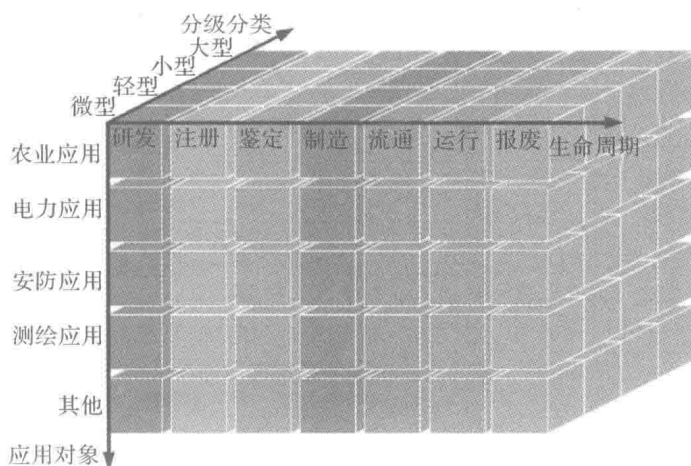


图 1-10 无人驾驶航空器系统管理架构

1) 生命周期。生命周期是由研发、注册、鉴定、制造、流通、运行和报废等一系列相互联系的价值创造活动组成的链式集合。生命周期中各项活动相互关联、相互影响。

2)分级分类。根据起飞重量和体积划分,将无人驾驶航空器系统分为微型、轻型、小型和大型。

3)应用对象。从应用对象角度,将无人驾驶航空器系统分为农业应用、电力应用、安防应用、测绘应用、其他应用等五类应用。

(2)无人驾驶航空器系统技术架构

无人驾驶航空器系统技术架构通过系统层级、分级分类和平台构型三个维度构建完成,如图 1-11 所示。

1)系统层级。系统层级共三层,分别为系统级、分系统级和部件级。

2)分级分类。根据起飞重量和体积划分,将无人驾驶航空器系统分为微型、轻型、小型和大型。

3)平台构型。从平台构型分类角度,将无人驾驶航空器系统分为直升机、多旋翼、固定翼和其他等四类。其他类可包含伞翼、扑翼、混合构型等。

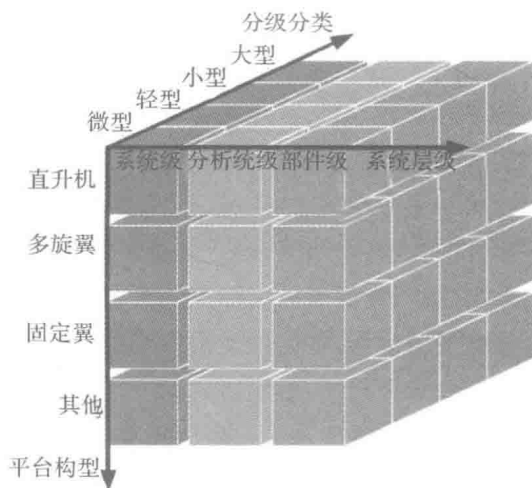


图 1-11 无人驾驶航空器系统技术架构

2. 无人驾驶航空器系统标准体系结构

无人驾驶航空器系统标准体系结构包括“A 基础标准”“B 管理标准”“C 技术标准”和“D 行业应用标准”等四个部分,主要反映标准体系各部分的组成关系。无人驾驶航空器系统标准体系结构图如图 1-12 所示。



图 1-12 无人驾驶航空器系统标准体系结构图

3. 无人驾驶航空器系统标准体系框架

无人驾驶航空器系统标准体系框架由无人驾驶航空器系统标准体系结构向下映射而成,是形成无人驾驶航空器系统标准体系的基本组成单元。无人驾驶航空器系统标准体系框架如图 1-13 所示。



图 1-13 无人驾驶航空器系统标准体系框架

1.1.5 无人机发展趋势与特点

1. 无人机发展趋势

目前随着信息技术的发展,无人机发展将会出现以下发展趋势:

(1) 无人机发展与新兴信息技术产业密切相关

大数据、云计算、物联网(含互联网)等新兴信息技术产业发展,正在深刻影响着无人机技术的变革。在大数据技术方面,无人机作为空中移动的传感器节点,能够在大地测绘、国土资源调查、气象探测、交通监管、工林业生产、物流运输、个人消费等领域产生海量的数据。还包括无人机飞行参数信息,部分数据具有至关重要的经济效益,而大部分数据需依托大数据技术进行综合开发利用;在云计算方面,将来无人机的机上计算、机上存储、机上智能能力都需要通过云端来解决;在物联网方面,物联网是一个比移动互联网更加复杂的生态系统,倡导万物互联,无人机融入物联网后将更好地发挥机动、灵动、传感器数据多样等优点,实现人机交互、互操作、互理解。

(2) 信息基础设施将成为无人机组网测控和飞行管理的重要依托

现在,要想将无人机产业化,必须依托基础信息设施来解决未来交通的管理问题。移动通信基础设施、互联网基础设施以及广播电视基础设施都将成为无人机组网和飞行管理的重要依托。

(3) 人工智能技术是提升无人机应用能力的技术之首

人工智能技术对无人机的发展有着核心的引用导向。从无人机的发展来看,环境感知与规避,智能路径规划、智能飞控、智能空域整合和智能飞行、多机协同涉,都需要人工智能技术支持。

2. 常规类型无人机的特点

无人机与有人机相比,具有制造维护成本低、体积小的特点。由于不需要人员生存保障系统和应急救生系统,所以大大减小了飞机质量和安全风险系数,当前典型无人机类型的特点见表 1-1。

表 1-1 典型无人机特点

序号	类 型	特 点
1	固定翼无人机 	优势:续航时间长、载荷大 缺陷:起飞须助跑、降落须滑行、不能空中悬停 应用领域:军用、专业级民用
2	无人直升机 	优势:垂直起降、空中悬停 缺陷:机翼结构复杂、维护费用高 应用领域:军用、专业级民用

续表

序号	类 型	特 点
3	多旋翼无人机 	优势:垂直升降、空中悬停、结构简单 缺陷:续航短、载荷小 应用领域:民用
4	无人飞艇 	优势:垂直起降、空中悬停 缺陷:速度慢、机动性差 应用领域:航拍、空中巡视、大气监测
5	无人伞翼机 	优势:体积小、飞行高度低、成本低 缺陷:抗风性差、高空飞行不佳 应用领域:民用
6	扑翼无人机 	优势:垂直起降、动力系统和控制系统合为一体 缺陷:难于高速化、大型化,材料要求较高 应用领域:军用、民用
7	变翼无人机 	优势:通过机翼后掠角变化,能在低速和高速飞行中获得理想的机翼前缘升力 缺陷:结构复杂、机身质量大 应用领域:民用、军用