



无人机技术及应用丛书

民用无人机 及其行业应用

蔡志洲 林伟 等著



高等教育出版社



无人机技术及应用丛书

民用无人机 及其行业应用

MINYONG WURENJI JIQI HANGYE YINGYONG

蔡志洲 林伟 等著

高等教育出版社·北京



内容简介

本书是“无人机技术及应用”丛书著作。

本书主要针对民用无人机技术，介绍无人机的组成、无人机系统技术、无人机的行业应用和研究发展趋势。全书共6章，主要内容包括：无人机系统概述和发展、相关法规和管理政策、无人机在行业中的应用、无人机系统遥感测量概述以及无人机系统的可持续发展等。本书图文并茂、实例丰富，结合当前小微型无人机的主要技术特点、优势及其发展趋势，对民用无人机的基础知识和重大工程实践重点讲解，为相关研究和应用提供参考。

本书可供不同行业中应用无人机技术的专业人员培训使用，也可供广大对无人机技术和应用感兴趣的读者阅读。

图书在版编目（CIP）数据

民用无人机及其行业应用 / 蔡志洲等著. -- 北京 : 高等教育出版社, 2017. 1
ISBN 978-7-04-046544-0

I. ①民… II. ①蔡… III. ①民用飞机—无人驾驶飞机—研究 IV. ①V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 238182 号

策划编辑	冯 英	责任编辑	冯 英	封面设计	王 琰	版式设计	马 云
责任校对	胡美萍	责任印制	朱学忠				

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	北京信彩瑞禾印刷厂		http://www.hepmall.com
开 本	787mm×1092mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	11.75	版 次	2017 年 1 月第 1 版
字 数	210千字	印 次	2017 年 1 月第 1 次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	59.00元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 46544-00

主要作者

(排名不分先后)

蔡志洲	林 伟	徐 卉	杨星宇	董亚明
来楷迪	罗 静	刘 磊	宣 昊	王东卫
张本群	张 林	陈俊峰	姜德文	蔡和君
黄丽瑜	刘文霞			

主 编



蔡志洲

交通运输部环境保护中心研究员，总工程师。长期从事环境保护、水土保持等研究工作，是交通部、环保部、水利部等国家级专家。

【编者语】

幼时蓝天白云，常被父母带着放飞小小的纸飞机。多年来在梦里它还在飞，飞得更高、更远、更优美。1983年求学北京农业大学昆虫学专业，研究生求学于北京大学生态学、北京林业大学风景园林专业。那时，常常羡慕优雅的蝴蝶、蜻蜓、瓢虫、草蛉，矫健的燕、雁、鹰、鹦鹉，它们有舒展的翅膀，自由地飞翔在三维景观之中。现在，通过无人机的所见，人们也可以体会高飞的视角和动感，还可以利用航拍的图视频，建立数字化3D计算机模型，进行规划、评价、设计、决策。

在此感谢父母亲人、师尊朋友以及领导同事，他们的教导、帮助和支持成为自己追求理想的动力。相信无人机的应用，会帮助大家更加了解自然、提高保护环境意识，青山碧水、鹰飞鱼翔，子子孙孙，生活更美。——蔡志洲



林伟

交通运输部环境保护中心无人机应用部主任，高级工程师。毕业于北京工业大学。近年来致力于研究、推广无人机相关技术及其行业应用，在环境保护、水土保持等工作领域中积累了大量的应用经验。

前言

近三五年来，无人机系统技术从军用广泛地扩展到民用，发展和应用日新月异。以“天上的视角”遥感和载物，无人机给各行各业不仅带来了技术和手段的革新，更改变着人们传统的观察模式，打开了人们的思路。

实际上无人机的功能即“带它飞”，无人机是一个搭载了各种载具的低空平台。从应用领域分类，它具有遥感和非遥感两大功能。遥感功能包括多光谱图视频、摄影航测等，非遥感功能包括运输货物、携带专业化设备、建立各种空中基站等。

本书围绕民用无人机，介绍了无人机的发展、无人机系统及其组成；汇总了欧美等发达国家和我国无人机、空域、驾驶员、产品和成果的相关法律法规、管理要求和技术规范等；收集了国内外在国土、智慧交通、环境保护、水利、水土保持、农林、输变电、新闻、消防和危险应急、公安、影视、文物考古、保险理赔等遥感领域的应用案例，以及运载功能、数据传输空中中继站等非遥感领域和消费级无人机的应用案例。书中行业应用部分列举了百余案例，是希望帮助读者进一步扩大思路，激发无人机的创新和应用；作为最重要的应用领域之一，本书对无人机遥感测量的工作程序、内容和地理信息相关软件等，做了较全面的介绍；探讨展望了无人机系统、无人机相关法规和应用等的可持续发展；无人机应用的领域、涉及技术极为广泛，书末列出了有关参考文献。

随着法规的完善、监管技术的进步，以及人们安全意识的提高，我们的天空将更加自由、无人机技术越来越可靠，到那时，也许限制无人机应用的只有我们的思想和眼界了。

丙申年春去秋来，编写过程中，各位行业应用方面有经验的专家共同研究、提炼案例、总结经验，付出了大量的经验和智慧，谨此表示深深的感谢。无人机及相关技术的进步一日千里，应用博大精深，本书难免浮光掠影、挂一漏万，还请读者多多批评指正！

作者
2016年10月

目录



1 无人机系统概述 / 1

- 1.1 无人机和无人机系统的概念 / 1
- 1.2 不同平台结构的无人机 / 2
- 1.3 不同领域的无人机 / 5
- 1.4 无人机系统的集成 / 6



2 无人机系统的发展 / 15

- 2.1 无人机的起源 / 15
- 2.2 无人机应用民用化发展过程 / 20



3 无人机相关法规和管理政策 / 23

- 3.1 无人机系统不当使用的事故和威胁 / 23
- 3.2 无人机相关法规标准的体系框架 / 31
- 3.3 国外无人机相关法规和管理政策 / 31
- 3.4 我国的无人机法规 / 42

- 3.5 无人机驾驶员培训驾驶 / 51
- 3.6 无人机作业产品数据安全 / 57
- 3.7 无人机飞行技术管理 / 59



4 无人机系统的多行业应用 / 67

- 4.1 无人机应用概述 / 67
- 4.2 无人机遥感的技术优势 / 68
- 4.3 国土行业 / 70
- 4.4 助力智慧交通 / 75
- 4.5 环境保护和水土保持 / 81
- 4.6 自然保护区和野生动植物研究 / 94
- 4.7 水利工程行业 / 99
- 4.8 农林行业 / 101
- 4.9 输变电行业 / 108
- 4.10 新闻采访 / 110
- 4.11 消防和危险应急 / 113
- 4.12 公共安全 / 115
- 4.13 影视行业 / 115
- 4.14 文物考古 / 116
- 4.15 保险理赔 / 117
- 4.16 无人机系统运载功能的应用 / 118
- 4.17 无线数据传输空中中继站 / 123
- 4.18 消费级无人机 / 124



5 无人机系统遥感测量概述 / 125

- 5.1 无人机遥感概况 / 125

- 5.2 摄影测量的基础知识 / 129
- 5.3 无人机遥感测量的工作程序和内容 / 138
- 5.4 图像后处理软件介绍 / 141
- 5.5 相关地理信息软件介绍 / 145

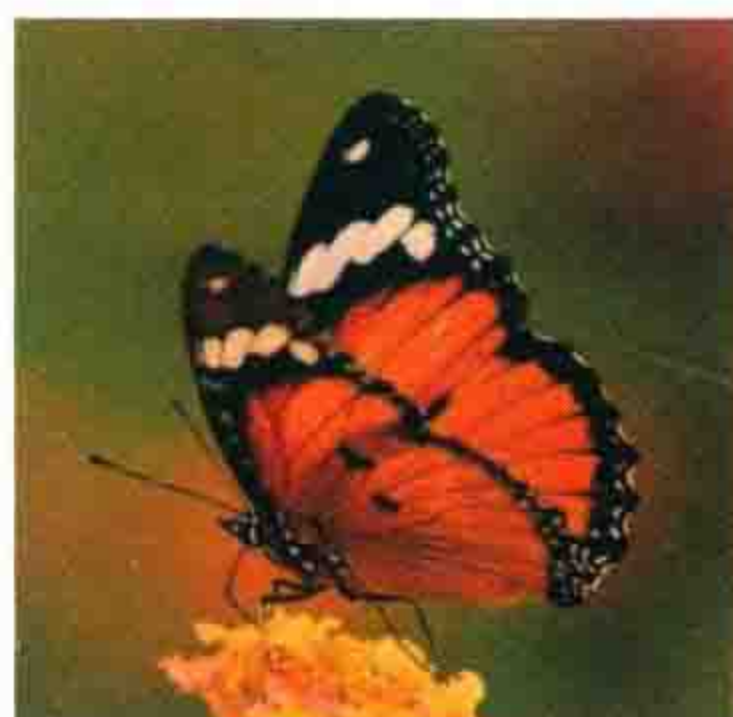


6 无人机系统可持续发展 / 159

- 6.1 无人机系统的发展未来 / 159
- 6.2 无人机系统行业应用发展 / 163



参考文献 / 167



1 无人机系统概述

1.1 无人机和无人机系统的概念

无人机的概念准确表达应分为无人机和无人机系统两个内容。

无人机（Unmanned Aircraft, UA）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（Remotely Piloted Aircraft, RPA），英文也常用 UAV（Unmanned Aerial Vehicle）的缩写。一般所说的无人机是无人驾驶飞机的简称，但也有飞行自动控制、搭载乘客的无人机，采用无人机的多旋翼结构进行载人飞行。

无人机系统（Unmanned Aircraft System, UAS）也称远程驾驶航空器系统（Remotely Piloted Aircraft Systems, RPAS），是指由无人机、相关控制站、所需指令与控制数据链路以及批准型号设计规定的任何其他部件组成的系统。

出于不同平台结构，无人机包括无人直升机、固定翼飞机、多旋翼飞行器、无人飞艇、无人伞翼机等，可用于不同领域。广义地看，无人机也包括临近空间飞行器（20~100 km 空域），如平流层飞艇、高空气球、太阳能无人机等。

无人机结构简单、使用成本低，更适用于有人飞机不宜执行的任务，如危险区域的地质灾害调查、空中救援指挥和环境遥感监测等。

无人机与航空模型有着千丝万缕的联系。航空模型从机体空气动力学外形，到动力、无线遥控等各方面都为无人机打下了坚实的基础。但是，近年来无人机的发展走向更多功能化、可控的新领域，已与航模有了很大的差别。一般认为两者的区别在于，航模只能在视距范围内飞行，且只能用作表演、训练、比赛，并没有可自动飞行的飞行控制系统，没有相机、药箱、

武器等任务载荷，不能实现图视频、遥感、载物等多任务功能。也就是说，除去飞控和任务载荷，纯手控并在视距内飞行的飞行器就是航模。

为方便和简化叙述，本书中在不会引起歧义的条件下，有时用“无人机”代表无人机（UA、UAV）和无人机系统（UAS）两个概念。

1.2 不同平台结构的无人机

无人机主要有固定翼无人机、无人直升机和多旋翼无人机三大平台，其他小种类无人机平台还包括伞翼无人机、扑翼无人机和无人飞船等。固定翼无人机是军用和多数民用无人机的主流平台，最大特点是飞行速度较快；无人直升机灵活性最强，可以原地垂直起飞和悬停；多旋翼（多轴）无人机是消费级和部分民用用途的首选平台，灵活性介于固定翼和直升机之间，操纵简单、成本较低。

1.2.1 无人直升机

无人直升机通过无线电遥控或通过机载计算机程控飞行，相比于固定翼无人机，具有独特的飞行性能及使用价值，其技术优势是能够定点起降，场地要求较小，能够垂直起降、空中悬停，使用灵活等。其在军用方面适合在战场前沿、军舰甲板等狭小的场地上起降，可用于执行侦察、战损评估、通信中继和电子干扰等任务；在民用方面，无人直升机被用于完成大气监测、资源勘探、边防巡逻、电力线巡检、森林防火、航拍等任务。

无人驾驶直升机的结构相对来说比较复杂，操控难度也较大，所以种类有限，主要应用于突发事件的调查，如山体滑坡勘查、火山环境的监测等领域。

1.2.2 多旋翼（多轴）无人机

多轴无人飞行器，是具有两个旋翼轴以上的、能够垂直起降的不载人旋翼航空器。常见的有四轴、六轴、八轴飞行器等。多旋翼无人机由每个轴末端的固联在刚性十字交叉结构上的独立电机驱动的螺旋桨产生上升动力，能够垂直起降、自由悬停、可适应各种速度及各种飞行剖面航路的飞行状况。多旋翼无人机中最为常见的是四旋翼机，具有如下特点。

- 体积小、重量轻，适合多平台、多空间使用，不需要弹射器、发射架，可在地面、军舰上灵活垂直起降；
- 结构简单、成本低，拆卸方便且易于维护，因此携带方便、易于操作，



- 能轻易进入人不易到达的各种恶劣环境；
- 飞行稳定性好，安全性好，可以提供准确实时的目标探测信息；
 - 飞行高度低，具有很强的机动性，能进入建筑物、洞穴或隧道内执行任务，便于在复杂环境下使用，可以对细小环节进行侦察。



图 1-1 无人直升机



图 1-2 多旋翼无人机

1.2.3 固定翼无人机

对于固定翼无人机，手动遥控飞行和预设程序飞行均容易实现，抗风能力比较强，类型较多。其发展趋势是微型化和长航时，微型化的固定翼无人机可随包携带，电力驱动一次起降在 40~120 min；长航时固定翼无人机的体积一般比较大，燃油动力为主，续航时间在 10 h 以上，能同时搭载多种遥感传感器。固定翼无人机的起飞方式有滑行、弹射、车载、火箭助推和飞机投放等，降落方式有滑行、伞降和撞网等。固定翼无人机的起降需要比较空旷的场地，比较适合林业和草场监测、矿山资源监测、海洋环境监测、城乡土地利用监测，以及水利、电力等领域的应用。



图 1-3 固定翼无人机

1.2.4 多轴 + 固定翼（复合翼）无人机

多轴旋翼无人机留空时间短、飞行速度慢，一些飞行作业任务繁重使旋翼无人机无法快速覆盖；而固定翼无人机起降场地要求较严苛，一些飞行作业区又没有合适的起降点。于是，扬长避短的新机型被研发出来，称为“复合翼垂直起降无人机”，它既具有旋翼机型垂直变向特殊优势，又具有固定翼机型飞行中耗能少、速度快、航时长、载荷大等优势。

2016 年成都纵横公司研发的复合翼无人机“大鹏”，不需要跑道和起降空域，无需复杂笨重的发射和回收设备，无需增加额外的回收传感器；无需复杂的辅助设备，运输、展开、维护、撤收简单，系统紧凑、成本低廉，速度快、航时长、效率高，极大扩展了无人机的应用范围。



图 1-4 复合翼无人机 CW-20 大鹏

在科技、娱乐与设计（Technology, Entertainment, Design, TED）2016 展会上，瑞士科学家拉菲罗·安德烈（Raffaello D' Andrea）展示了他的立式垂直起落飞机 Tail-Sitter，可以从盘旋平稳地过渡到向前和向后飞行。和其他固定翼飞机一样，它向前飞的效率更高，远远超过直升机及类似的变体。但又和其他的固定翼飞机不同，它能够悬停，这让它在起飞、降落和通常的动作上拥有巨大优势。



图 1-5 复合翼垂直起降无人机

1.2.5 三种无人机的特点比较

多旋翼、固定翼无人机和无人直升机的主要特点见表 1-1。

表 1-1 无人机的特点比较

性能指标	多旋翼	固定翼	直升机
控制方式	多个旋翼	固定机翼 + 摆翼	螺旋桨 + 旋翼
系统	不稳定系统	自稳定系统	不稳定系统
驱动系统	欠驱动系统	完整驱动系统	完整驱动系统
起飞方式	电机 + 旋翼	桨 + 助推发动机	发动机 + 桨（系统）
起降便利性	垂直起降，方便	弹射、手抛、伞降等	垂直起降，较方便
结构和维护	简单	较复杂	结构复杂，维护成本高
侧飞	是	否	是
载荷	小	大	中等
续航时间	短	较长	中等

1.3 不同领域的无人机

无人机可分为军用、民用和消费级三大类，不同领域对于无人机的性能要求各有偏重。

1 无人机系统概述

1. 军用无人机

在灵敏度、飞行高度、速度、智能化等方面的要求更高，是技术水平最高的无人机，包括侦察、诱饵、电子对抗、通信中继、靶机和无人战斗机等机型。

2. 民用无人机

民用无人机是一类专业化的无人机，对于操作人员培训、综合成本等有较高的要求，需要形成成熟的产业链提供零部件和支持服务。民用无人机的市场包括警用、消防、气象、航拍航测、灾害预防、海洋监测、环境保护等方面。

3. 消费级无人机

消费级无人机一般是指用于航拍、游戏等休闲用途，采用成本较低的多旋翼平台的无人机。虽然价格较低，但一些产品性能并不差，甚至屡次出现在中东等战场上。

1.4 无人机系统的集成

无人机系统(UAS)不是简单的无人机本身，它分为有形和无形两部分。有形部分首先需要进行操作的技术人员，此外还包括飞机系统、地面系统和任务载荷三大部分；无形部分主要是数据链；合在一起可共称为“人、机、地、载、链”。

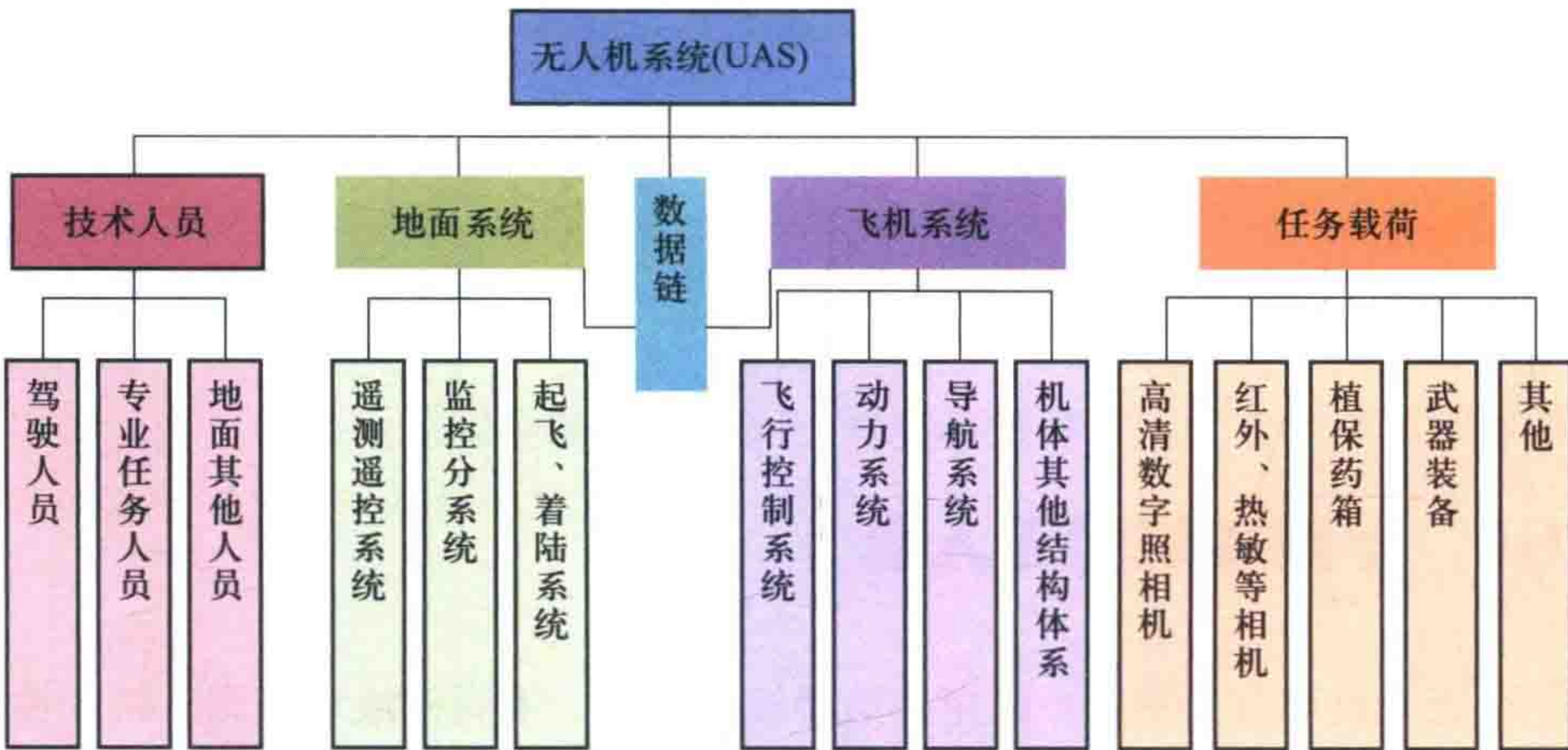


图 1-6 无人机系统组成框图



1.4.1 技术人员

目前无人机还没有发展到不需要人控制的智能化程度。无人机的直接操作人员，称为飞手或机长，根据专业任务的需求，单人或多人相互配合飞行，合作完成具体任务，如拍摄、洒（撒）药等。地面人员包括计算机地面站操作员、数据采集和复核人员、其他辅助人员等。

许多无人机飞行控制系统可以规划飞行高度、节点、路线，并可以在特定的时间或地点自主操作无人机任务载荷，从而减轻了飞手的工作量，也避免了人为的操作失误。

1.4.2 飞机系统

飞机系统由飞控、导航、动力和机体子系统组成。

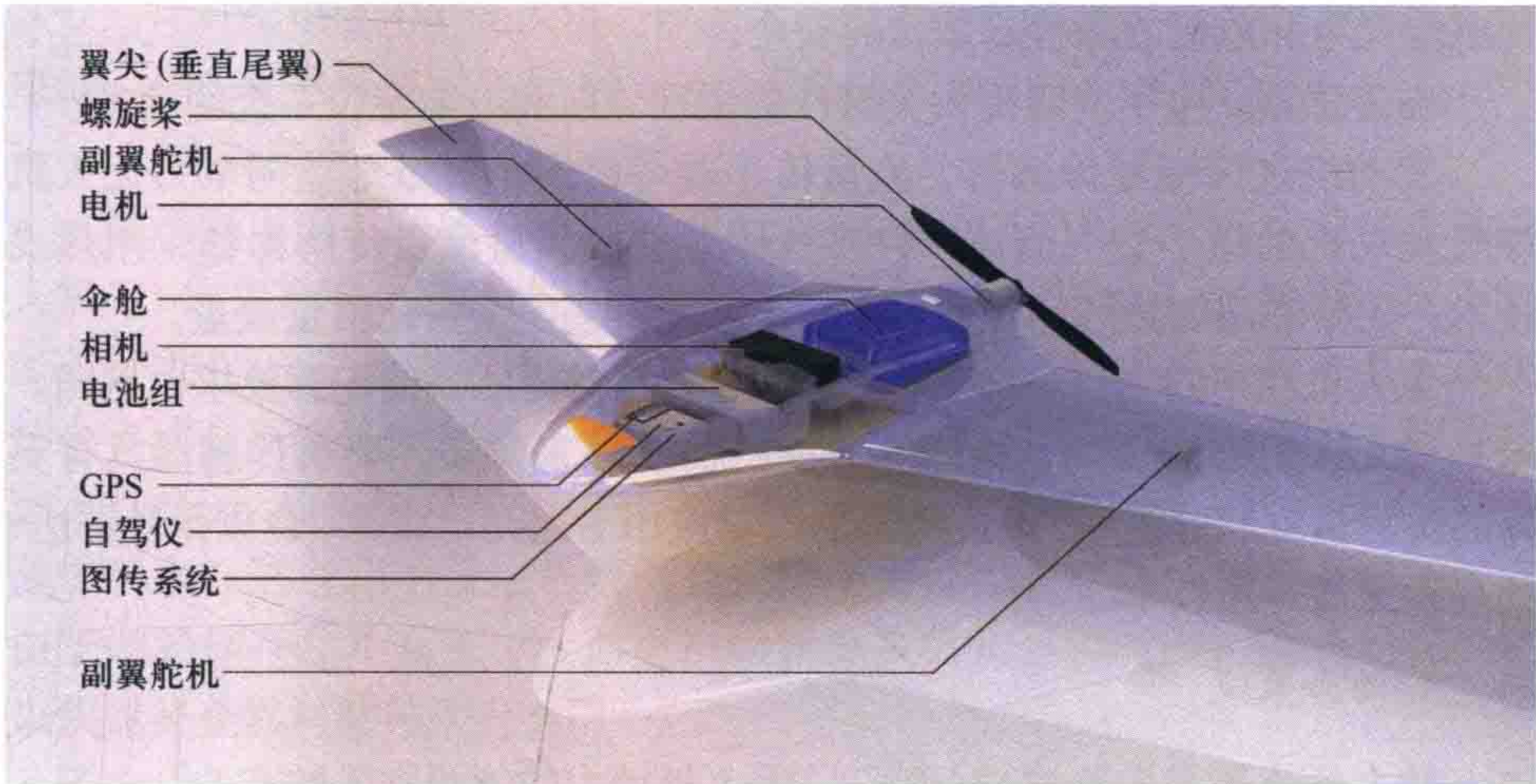


图 1-7 好易飞 V-EZ 无人机系统示意图

1. 导航系统

导航系统向无人机提供参考坐标系的位置、速度、飞行姿态，引导无人机按照指定航线飞行，相当于有人机系统中的领航员。无人机机载导航系统主要分非自主，如全球定位系统（Global Positioning System, GPS）等和自主（惯性制导）两种，但分别存在易受干扰和误差积累增大的缺点。未来无人机的发展要求障碍回避、物资或武器投放、自动进场着陆等功能，需要高精度、高可靠性、高抗干扰性能，因此多种导航技术结合的“惯性+多传感器+GPS+光电导航系统”将是未来发展的方向。

1 无人机系统概述

2. 传感器

无人机机身大量装配有各种传感器，用于感受无人机的姿态、航向、位置、角速度、速度、能量等信息，传送给飞机飞行控制系统。

加速度计。微机电机械传感器（Micro-Machined Electro-Mechanical Sensor, MEMS）通过感知微型集成电路的微小运动，确定位置和无人机的飞行姿态。

惯性测量单元。惯性测量单元采用的多轴磁传感器，在本质上都是精度极高的小型指南针，通过感知方向将数据传输至中央处理器，从而指示方向和速度。惯性测量单元结合 GPS，是维持方向和飞行路径的关键。

倾角传感器。集成了陀螺仪和加速度计，为飞行控制系统提供保持水平飞行的数据。一般采用三轴速率陀螺实现无人机俯仰、倾斜和航向 3 个方向的增稳控制。

电流传感器。电流传感器可用于监测和优化电能消耗，确保无人机内部电池充电和电机故障检测系统的安全。

磁传感器。电子罗盘提供关键性的惯性导航和方向定位系统的信息。

发动机进气流量传感器。流量传感器可以用于有效地监测电力无人机燃气发动机的微小空气流速。许多气体发动机质量流量传感器都采用热式技术，主要利用加热的元件和至少一个温度传感器来量化质量流量。

无人机在不同飞行环境下、不同用途时，对传感器的配置要求也不同。未来对无人机态势感知、避障等方面的需求越来越多，要求传感器具有更高的探测精度和分辨率，因此传感器大量应用了超光谱成像、合成孔径雷达、超高频穿透等新技术。

3. 动力系统

动力系统是无人机的“心脏”，无人机动力的能源常见的有油、电等，不同用途的无人机对动力装置的要求不同，但都希望发动机体积小、成本低、工作可靠，遗憾的是世界上目前无人机都存在“心脏”的问题——续航能力有限。传统的锂电池技术很难突破更大的容量，无人机长航时可寄托在新介质电池、太阳能、氢能等新能源，以及发动机的结构机械技术的创新开发等方面。

（1）燃油动力

燃油发动机提供长航时、大动力的解决方案。其中，民用无人机多为活塞式发动机，适用于低速、低空、稍小型无人机，应用最多的是各种植保无人机等；一次性使用的靶机、自杀式无人机或导弹，要求推重比较大、寿命可以较短（1~2 h），一般使用涡喷式发动机；低空无人直升机一般使用涡轴发动机，高空长航时的大型无人机一般使用涡扇发动机（美国全球