

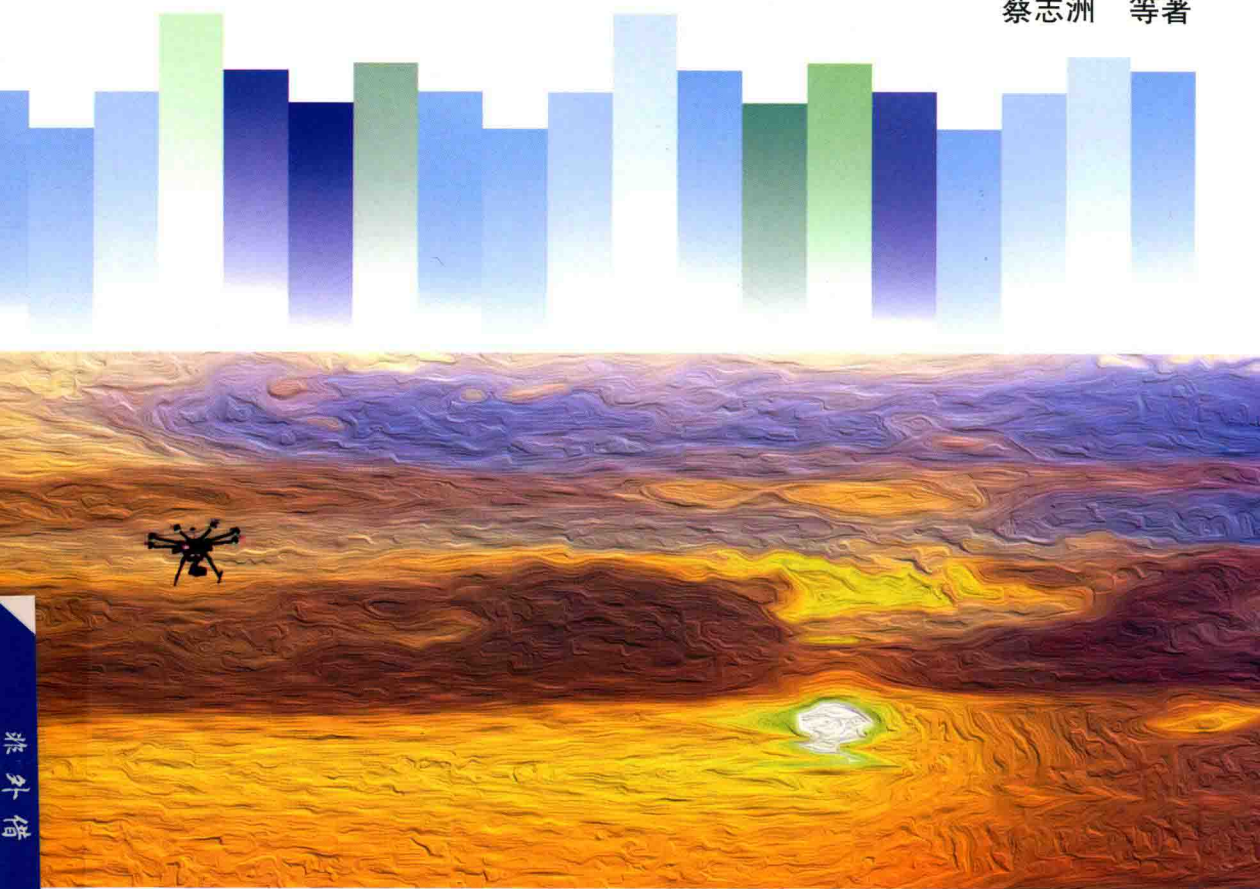


无人机技术及应用丛书

小型无人机应用

——环境保护和水土保持

蔡志洲 等著



非外借

高等教育出版社



无人机技术及应用丛书

小微型无人机应用

——环境保护和水土保持

蔡志洲 等著

高等教育出版社·北京

内容简介

本书主要针对小微型无人机技术在环境保护和水土保持中的应用,介绍无人机系统知识、相关管理法规政策、飞行基础知识和研究发展趋势。全书共9章,主要内容包括:无人机系统概述,无人机系统集成,无人机系统相关法规和管理政策,无人机飞行与气象,无人机系统在环境保护和水土保持中的应用概述,无人机系统在建设工程中的环保水保应用,无人机系统辅助自然生态环境管理和监测,无人机遥感测量概述,环保水保专业化无人机系统可持续发展。

本书可供环境保护和水土保持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

小微型无人机应用:环境保护和水土保持/蔡志洲
等著. -- 北京:高等教育出版社,2017.7
(无人机技术及应用丛书)
ISBN 978-7-04-047669-9

I. ①小… II. ①蔡… III. ①无人驾驶飞机-应用-
环境保护②无人驾驶飞机-应用-水土保持 IV. ①X
②S157

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第080673号

XIAOWEIXING WURENJI YINGYONG

策划编辑 冯英
责任校对 陈旭颖

责任编辑 冯英
责任印制 尤静

封面设计 王琰

版式设计 马云

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京佳信达欣艺术印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 13
字 数 230千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>
<http://www.hepmall.com>
<http://www.hepmall.cn>
版 次 2017年7月第1版
印 次 2017年7月第1次印刷
定 价 59.00元

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 47669-00

主要作者

(排名不分先后)

蔡志洲	林 伟	赵保军	赵海珍	张本群
张 林	刘 镭	徐 卉	杨星宇	来楷迪
罗 静	刘晓宇	蔡和君	王伟琦	

前言

刚开始接触无人机仅仅是出于兴趣。三年前尝试将无人机用于工作，是在赣、黔的公路和豫、闽的港口环保验收中。然后我们发现这样一个全面的空中视角，使认识环境变得清晰和容易。2015年以后，小微型无人机摄影测量成为无人机环境保护和水土保持（简称环水保）应用的新方向，越来越多的参与者和实践，将相关设计和工程管理技术推向高效、量化的新高度。

随后我工作的交通运输部环境保护中心陆续举办了多次培训班，推广这项新技术。与获得业内的称赞相比，看到无人机被越来越多的单位采用，更使人感受到了分享的快乐。感谢环保和水利行业的领导、专家和同行们，他们对新生事物十分敏感，在大家的热情支持下，无人机的应用有了越来越广阔的舞台，技术水平也不断提高。目前，无人机在环水保行政监察执法、自然保护区科研管理、环境监理监测、工程现场勘察设计和风险应急等领域广泛应用，也由此创新了“空天地一体化水土保持监测、环境监理监测”等新理念。可以骄傲地说，当前中国以环水保等行业为代表的民用无人机应用，无论深度还是广度都处于世界领先的地位。成绩的取得，一方面是当代中国经济发展的机遇，另一方面是大家辛勤的探索，当然还有政府对无人机创新产业的支持。天时地利人和，累累硕果来之不易。同时，感谢书中提及的众多公司和朋友们，他们无私分享的案例，已是我们大家共同的财富。

以实践为基础，我国无人机法规标准仍在研究、完善中。遵纪守法、安全操作、保密数据，环水保界的朋友们，在自由的蓝天里，让我们一起飞！

蔡志洲

丁酉年四月十五燕园月圆日

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 按应用分类的无人机 / 5
- 1.4 按使用领域分类的无人机 / 6



2 无人机系统集成 / 7

- 2.1 技术人员 / 7
- 2.2 飞机系统 / 8
- 2.3 地面系统 / 11
- 2.4 数据链 / 12
- 2.5 任务载荷 / 13
- 2.6 无人机主要性能参数 / 13



3 无人机系统相关法规和管理政策 / 15

- 3.1 无人机相关法规标准的体系框架 / 15
- 3.2 国外无人机相关法规和管理政策 / 16
- 3.3 我国的无人机相关法规 / 24
- 3.4 无人机驾驶员驾驶培训 / 34
- 3.5 无人机作业产品数据安全 / 44
- 3.6 无人机飞行技术管理 / 45



4 无人机飞行与气象 / 57

- 4.1 大气性质要素及其影响 / 57
- 4.2 空气运动状况要素及其影响 / 60
- 4.3 大气现象要素及其影响 / 65
- 4.4 大气影响要素 / 68



5 无人机系统在环境保护和水土保持中的应用概述 / 69

- 5.1 行业背景和无人机技术优势 / 69
- 5.2 环保水保中无人机应用领域 / 71
- 5.3 环保水保行业无人机应用历程 / 72
- 5.4 环保水保微型无人机功能和选型 / 75



6 无人机系统在建设工程中的环保水保应用 / 79

- 6.1 环境评价、水保方案编制和审查 / 79
- 6.2 环水保监理、监测 / 85
- 6.3 环保水保竣工验收 / 106
- 6.4 环保水保日常监督管理 / 107
- 6.5 环境监测 / 112
- 6.6 环境和水土流失风险应急 / 115
- 6.7 无人机助力环境保护宣传影视作品创作 / 117



7 无人机系统辅助自然生态环境管理和监测 / 119

- 7.1 辅助自然栖息地保护和科研 / 119
- 7.2 辅助野生动物保护和科研 / 125



8 无人机系统遥感测量概述 / 137

- 8.1 无人机遥感概述 / 137
- 8.2 无人机系统测绘在环保水保中的应用 / 140
- 8.3 摄影测量的基础知识 / 142
- 8.4 无人机遥感测量的工作程序和内容 / 148
- 8.5 图像后处理软件介绍 / 155
- 8.6 地理信息相关软件介绍 / 159



9 环保水保专业化无人机系统可持续发展 / 171

- 9.1 环保水保无人机系统的需求 / 171
- 9.2 无人机、图传、载具等硬件专业化开发 / 172
- 9.3 专业化无人机系统环保水保产业链相关服务 / 180



参考文献 / 183

彩图



1 无人机系统概述

1.1 无人机和无人机系统的概念

无人机的概念准确地表达应分为无人机和无人机系统。

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, UAV) 来表达。一般所说的无人机是无人驾驶飞机的简称, 也有飞行自动控制、搭载乘客的无人机, 采用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、所需指令和控制数据链路以及批准的型号设计所规定的其他部件组成的系统。

出于不同的平台结构, 无人机包括无人直升机、固定翼无人机、多旋翼无人机、无人飞艇和无人伞翼机等。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、无线遥控等方面, 都为无人机打下了坚实的基础。近年来, 无人机的发展走向更多功能化、可控的新领域, 拉开了与航模的距离。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, 在视距内飞行的纯手控飞行器就是航模。

为方便和简化叙述, 本书在不会引起歧义的情况下, 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，其他小种类的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，其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无人机的首选平台，灵活性介于固定翼无人机和无人直升机中间，操纵简单、成本较低。

1.2.1 多旋翼（多轴）无人机

多旋翼（多轴）无人机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。

多旋翼无人机具有如下特点：

- ① 体积小，重量轻，适合多平台、多空间使用，可以在地面、舰船上灵活垂直起降，不需要弹射器、发射架进行发射；
- ② 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；
- ③ 飞行稳定性、安全性好，可以提供准确、实时的目标探测信息；



图 1-1 多旋翼无人机

④ 飞行高度低，具有很强的机动性，能进入建筑物、洞穴、隧道内执行任务，便于复杂环境下使用，可以对细小环节进行侦察。



1.2.2 固定翼无人机

固定翼无人机的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，微型化的无人机可用背包携带，电力驱动一次起降在 40~120 min；长航时无人机的体积一般比较大，以燃油动力为主，续航时间在 10 h 以上，能同时搭载多种遥感传感器。固定翼无人机起飞方式有滑行、弹射、车载等，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，适合林业、草场、矿山资源、海洋环境、城乡土地利用等的监测，以及水利、电力等领域的应用。



图 1-2 好易飞固定翼无人机

1.2.3 无人直升机

无人直升机通过无线电遥控或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，其技术优势是对场地要求较小，能够定点起降、垂直起降、空中悬停，使用灵活等。在军用方面，无人直升机可在战场前沿、军舰甲板等狭小的场地起降，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，无人直升机可用来完成大气监测、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、火山环境监测等领域。



图 1-3 中航工业 AV500 无人直升机

1.2.4 多旋翼 + 固定翼（复合翼）无人机

多旋翼无人机留空时间短、飞行速度慢，对于一些飞行作业任务繁重的情况，多旋翼无人机无法快速覆盖；而固定翼无人机的起降场地往往要求较严苛，在一些飞行作业区缺少合适的起降点。于是，一种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，它既具有旋翼机垂直转向的特殊优势，又具有固定翼机飞行耗能少、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，也不需要复杂笨重的发射和回收设备以及增加额外的回收传感器和复杂的辅助设备。这种无人机运输、展开、维护、撤收简单，系统紧凑，而且具有成本低廉、速度快、航时长、效率高的特点，极大地扩展了无人机的应用范围。

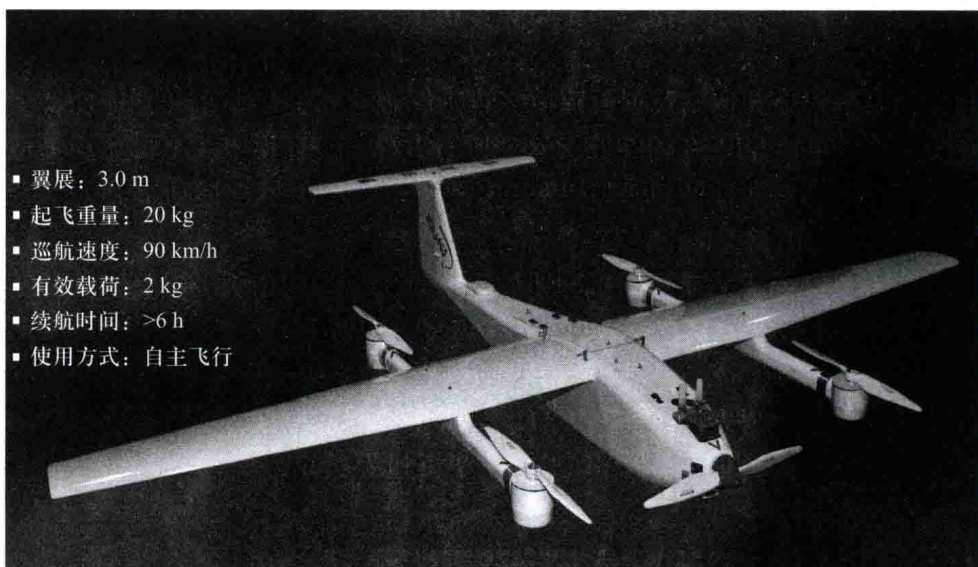


图 1-4 复合翼无人机 CW-20 大鹏

1.2.5 三种无人机的特点比较

多旋翼无人机、固定翼无人机和无人直升机的主要特点比较见表 1-1。



表 1-1 三种无人机的特点比较

性能指标	多旋翼无人机	固定翼无人机	无人直升机
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 按应用分类的无人机

依据无人机的不同使用功能，可分为遥感应用和运载等非遥感应用两类，各自的应用领域见表 1-2。

表 1-2 无人机的应用

应用分类		应用领域
遥感应用	图视频	国土、交通、电力、公安、环保、水利、海洋、石油、城市规划、景观园林、农业、林业、气象、保险、执法监查、考古、旅游、新闻等行业
	测绘	低空遥感测量建立的各种比例尺的低空遥感测量，各种比例尺的DLG、DOM、地形模型等，是工程规划、设计、监理、验收、运行维护的基础资料
非遥感应用	运载	农业和林业植物保护播洒农药、电力架线、载具灭火、物流快递、公安等行业
	数据传输	无线数据中继站
	驱离	农业、环境保护等

1.4 按使用领域分类的无人机

无人机按使用领域可分为军用、民用和消费级三大类，对于无人机的性能要求各有侧重。

1. 军用无人机

对灵敏度、飞行高度、速度、智能化等的要求高，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

作为专业化的无人机，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航拍、航测、警用、消防、气象、灾害预防、海洋监测、环境保护、运载等方面。

3. 消费级无人机

一般用于航拍、游戏等休闲用途，采用成本较低的多旋翼平台。虽然价格较低，但一些产品性能并不差，遥控距离可达 3~5 km，可拍摄高清图视频，具有自动跟随、绕避树木房屋障碍物等功能，特别是可以按规划航线自动飞行，满足部分专业工作的需要。消费级无人机甚至多次出现在战场上。



图 1-5 战争中消费级无人机航拍侦察



图 1-6 消费级无人机航拍和投炸弹



2 无人机系统集成

无人机系统（UAS）不是简单的无人机本身，可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，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，合在一起无人机系统可共称为“人、机、地、载、链”。

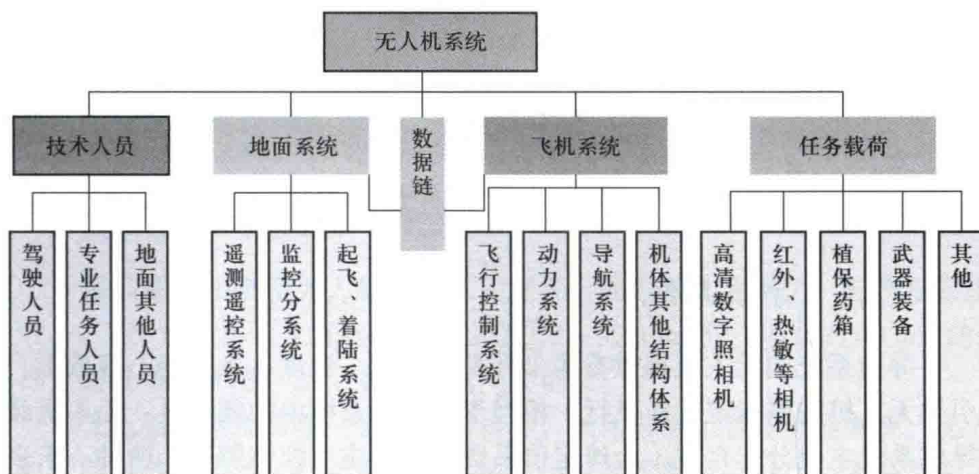


图 2-1 无人机系统组成框图

2.1 技术人员

无人机的直接操作人员称为无人机驾驶员，也称为飞手或机长。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、撒药等。地面人员包括地面站操作员、数据采集和复核人员、安全和其他

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，减轻了飞手的工作，也避免了人为的操作失误。

2.2 飞机系统

飞机系统由机体、导航、传感器、动力、飞行控制与管理等子系统组成。图 2-2 为好易飞 V-EZ 无人机系统的示意图。

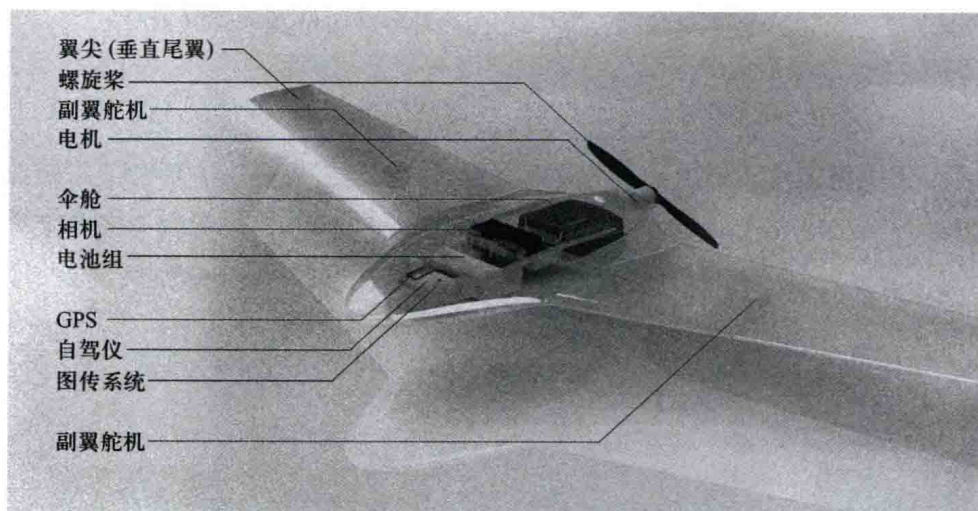


图 2-2 好易飞 V-EZ 无人机系统示意图（彩图）

2.2.1 导航系统

导航系统向无人机提供参考坐标系的位置、速度、飞行姿态等数据，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。无人机载导航系统主要分非自主（全球定位系统）和自主（惯性制导）两种。未来无人机的发展要求具备障碍回避、物资或武器投放、自动进场着陆等功能，需要导航系统具有更高的精度、可靠性、抗干扰性能，因此多种导航技术结合的“惯性+多传感器+全球定位系统（Global Positioning System, GPS）+光电导航系统”是发展方向。

2.2.2 传感器

无人机机身大量装配有多种传感器，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，包括加速度计、