

轻松
玩转



多旋翼无人机

崔胜民 主编

刘云宾 吴永亮 宋金平 副主编



化学工业出版社

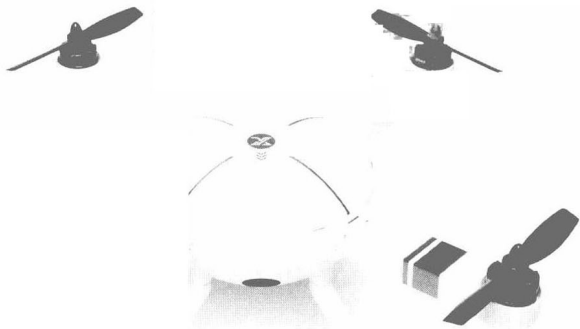
轻松
玩转



多旋翼无人机

崔胜民 主编

刘云宾 吴永亮 宋金平 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面系统地介绍了无人机的定义与分类,多旋翼无人机的主要部件和飞行理论、组装、训练、应用,无人机相关法律法规以及无人机驾驶员的培训和考试等。本书内容既包含了无人机的基础知识,又包含了多旋翼无人机设计开发理论,通过学习,读者可以全面了解多旋翼无人机的结构、理论和应用,轻松设计或组装多旋翼无人机,掌握多旋翼无人机飞行训练方法。

本书内容新颖,图文并茂,通俗易懂,实用性强,可供无人机爱好者阅读,还可供从事无人机行业的工程技术人员及相关专业的学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

轻松玩转多旋翼无人机/崔胜民主编. —北京:化学工业出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-122-28575-1

I. ①轻… II. ①崔… III. ①无人驾驶飞机 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第287854号

责任编辑:陈景薇

文字编辑:冯国庆

责任校对:宋玮

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市瞰发装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张12½ 字数243千字 2017年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

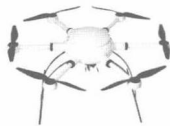
定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD



近年来，随着民用无人机产品的热销、各种相关技术的不断进步、开源飞控的推动、专业人才的不断加入以及资本的投入等因素，多旋翼无人机技术得到迅猛发展，已经成为人们最喜爱的智能产品之一。

本书全面系统地介绍了多旋翼无人机相关知识。全书共分七章，第一章介绍了无人机的相关概念、分类、特点、发展历程及趋势、关键技术；第二章介绍了多旋翼无人机的主要部件，包括多旋翼无人机的组成、布置形式以及多旋翼无人机用电动机、电调、螺旋桨、电池、飞控系统、机载设备、图传设备和遥控器等；第三章介绍了多旋翼无人机飞行理论，包括多旋翼无人机坐标系、飞行原理、姿态描述、姿态解算、数学模型和控制技术等；第四章介绍了多旋翼无人机 DIY，包括如何拥有自己的无人机、多旋翼无人机主要部件选择和组装等；第五章介绍了多旋翼无人机飞行训练，包括多旋翼无人机飞行注意事项、基本飞行训练、进阶飞行训练、专业飞行训练和应急飞行训练以及利用模拟器进行飞行训练等；第六章介绍了多旋翼无人机的 13 种应用场景，重点介绍了多旋翼无人机在航拍和农业植保中的应用；第七章介绍了无人机的相关法律法规，主要包括民用无人机空中交通管理办法、轻小型无人机运行规定、民用无人机驾驶员管理规定以及民用无人机驾驶员培训和考试标准等。

本书主编为崔胜民，副主编为刘云宾、吴永亮、宋金平，参与编写的还有刘昌进、陶仕佳。在本书编写过程中，感谢威海星煜无人机科技有限公司提供的材料。同时，书中引用了一些产品使用说明书以及参考文献中的部分内容，特向其作者表示深切的谢意。

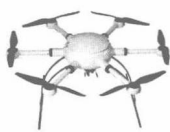
由于笔者学识有限，书中不足之处在所难免，恳盼读者给予指正。

编 者



目录

CONTENTS



Chapter 1	第一章	了解无人机	1
	第一节	无人机的相关概念	1
	第二节	无人机的分类	11
	第三节	无人机的特点	17
	第四节	无人机的发展历程及趋势	18
	第五节	无人机的关键技术	24
Chapter 2	第二章	多旋翼无人机的主要部件	27
	第一节	多旋翼无人机的组成	27
	第二节	多旋翼无人机的布置形式	30
	第三节	多旋翼无人机用电动机	30
	第四节	多旋翼无人机用电调	37
	第五节	多旋翼无人机用螺旋桨	40
	第六节	多旋翼无人机用电池	43
	第七节	多旋翼无人机飞控系统	48
	第八节	多旋翼无人机机载设备	72
	第九节	多旋翼无人机图传设备	77
	第十节	多旋翼无人机遥控器	79
Chapter 3	第三章	多旋翼无人机飞行理论	84
	第一节	多旋翼无人机坐标系	84
	第二节	多旋翼无人机飞行原理	85
	第三节	多旋翼无人机姿态描述	94
	第四节	多旋翼无人机姿态解算	98
	第五节	多旋翼无人机数学模型	104
	第六节	多旋翼无人机控制技术	109

Chapter	4	第四章	多旋翼无人机DIY	124
			第一节 如何拥有自己的无人机	124
			第二节 多旋翼无人机主要部件选择	127
			第三节 多旋翼无人机组装	131
Chapter	5	第五章	多旋翼无人机飞行训练	133
			第一节 多旋翼无人机飞行注意事项	133
			第二节 多旋翼无人机基本飞行训练	136
			第三节 多旋翼无人机进阶飞行训练	140
			第四节 多旋翼无人机专业飞行训练	145
			第五节 多旋翼无人机应急飞行训练	146
			第六节 模拟器飞行训练	149
Chapter	6	第六章	多旋翼无人机应用	157
			第一节 多旋翼无人机典型应用场景	157
			第二节 航拍无人机	164
			第三节 植保无人机	169
Chapter	7	第七章	无人机相关法律法规	176
			第一节 无人机相关法律法规概况	176
			第二节 民用无人机空中交通管理办法	176
			第三节 轻小型无人机运行规定	178
			第四节 民用无人机驾驶员管理规定	180
			第五节 民用无人机驾驶员培训和考试	184
			参考文献	193

第一章

了解无人机

第一节 无人机的相关概念

当前我国智能制造产业正处在新一轮技术革命 10 年周期的起点上，无人机已经成为热点词汇之一，越来越受到人们的关注。无人机用途极为广泛，除军事用途外，未来市场主要集中于航拍、农林植保、电力巡检等领域。随着无人机技术壁垒降低、硬件成本下降、需求增多、投资火爆、政策管制逐步放开等，我国民用无人机行业将呈现爆发式增长。

随着无人机市场的火热，有些航模飞机、遥控玩具飞机等也被称为无人机，造成称谓上的混乱。在此介绍飞行器、无人机、航模遥控飞机、玩具遥控飞机的概念，了解它们的区别，以便更好地学习无人机的相关知识。

一、飞行器

飞行器是指由人类制造、能飞离地面、在空间飞行并由人来控制的在大气层内或大气层外飞行的器械飞行物。飞行器分为航空器、航天器、火箭、导弹和制导武器等。

1. 航空器

航空器是指在大气层内飞行的飞行器，主要依靠空气的静浮力或与空气相对运动产生的空气动力升空飞行。典型的例子有热气球、滑翔机、飞机、直升飞机、旋翼机、飞艇等。

(1) 热气球 热气球是用热空气作为浮升气体的气球，如图 1-1 所示。在气囊底部有供冷空气加热用的大开口和吊篮。空气加热后密度减小，温度达 100°C 时密度约为 $0.95\text{kg}/\text{m}^3$ ，是空气的 $1/1.3$ ，因此升空不高。现代热气球在吊篮中安装有简单的飞行仪表、燃料罐和喷灯等设备。从地面升空时，点燃喷

灯，将空气加热后从气囊底部开口处充入气囊。升空飞行后，控制喷灯的喷油量操控气球的上升或下降。热气球出现得最早，现今乘热气球飞行已成为人们喜爱的一种航空体育运动。此外，热气球还常用于航空摄影和航空旅游。

(2) 滑翔机 滑翔机是指不依靠动力装置飞行的固定翼航空器，起飞后仅依靠空气作用其升力面上的反作用力进行自由飞行，如图 1-2 所示。它不能自行起飞，要依靠飞机拖带、汽车或绞盘车牵引、弹性绳索弹射等外力获得速度而起飞升空，还可从高坡上下滑到空中。现代滑翔机主要用于体育运动，分为初级滑翔机和高级滑翔机。前者主要用于训练飞行，后者主要用于竞赛和表演，有的还可以完成各种高级空中特技，如翻跟斗和螺旋等。

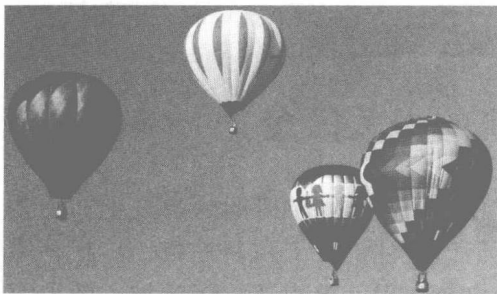


图 1-1 热气球



图 1-2 滑翔机

(3) 飞机 飞机是指具有一个或多个发动机的动力装置产生前进的推力或拉力，由机身的固定机翼产生升力，在大气层内飞行的航空器，如图 1-3 所示。飞机是最常见的一种固定翼航空器。按照其使用的发动机类型又可分为喷气式飞机和螺旋桨式飞机。



图 1-3 飞机

(4) 直升飞机 直升飞机本质上是不同于飞机的另一种飞行器，其推力、升力和操控的实现均与飞机有很大的差距。直升飞机主要由机体（含旋翼和尾桨）、动力系统、传动系统以及机载飞行设备等组成，如图 1-4 所示。旋翼一般由涡轮轴发动机或活塞式发动机通过由传动轴及减速器等组成的机械传动系统来驱动，也可由桨尖喷气产生的反作用力来驱动。



图 1-4 直升飞机

(5) 旋翼机 旋翼机是一种利用向前飞行时的相对气流吹动旋翼自转以产生升力的旋翼航空器，如图 1-5 所示，它介于飞机和直升飞机之间。旋翼机与直升飞机的最大区别是旋翼机的旋翼不与发动机传动系统相连，发动机不是以驱动旋翼为旋翼机提供升力，而是在旋翼机飞行的过程中，由前方气流吹动旋翼旋转产生升力，旋翼系统仅在启动时由自身动力驱动，起飞之后靠空气作用力驱动；而直升飞机的旋翼与发动机传动系统相连，既能产生升力，又能提供飞行的动力。由于旋翼为自转式，传递到机身上的转矩很小，因此旋翼机无需像单旋翼直升飞机那样的尾桨，但是一般装有尾翼，以控制飞行。

(6) 飞艇 飞艇是一种轻于空气的航空器，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。飞艇由巨大的流线型艇体、位于艇体下面的吊舱、起稳定控制作用的尾面和推进装置组成，如图 1-6 所示。艇体的气囊内充以密度比空气小的浮升气体（有氢气或氦气），借以产生浮力使飞艇升空；吊舱供人员乘坐和装载货物；尾面用来控制和保持航向、俯仰的稳定。大型民用飞艇可以用于交通、运输、娱乐、赈灾、影视拍摄、科学实验等。

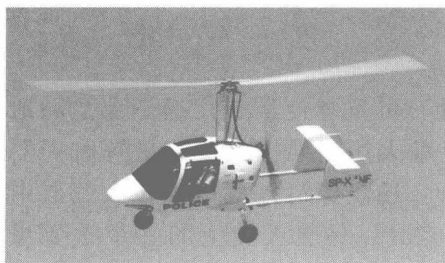


图 1-5 旋翼机

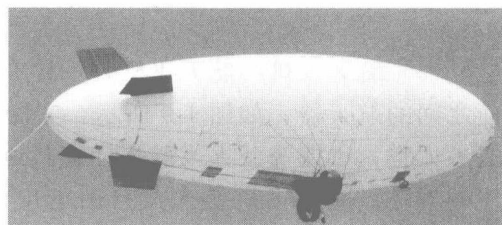


图 1-6 飞艇

2. 航天器

航天器是指在大气层外飞行的飞行器，它们需要通过火箭等运载工具获得必要的速度进入大气层外，并在引力作用下进行近似天体的轨道运动。典型的例子有人造地球卫星、载人飞船、航天飞机、空间探测器、空间站等。

(1) 人造地球卫星 人造地球卫星是指环绕地球飞行并在空间轨道运行一圈以上的无人航天器,如图 1-7 所示。人造地球卫星是发射数量最多、用途最广、发展最快的航天器。人造地球卫星按用途可分为科学卫星、技术试验卫星和应用卫星。科学卫星是用于科学探测和研究的卫星,主要包括空间物理探测卫星和天文卫星,用来研究高层大气、地球辐射带、地球磁层、宇宙线、太阳辐射等,并可以观察其他星体。技术试验卫星是进行新技术试验或为应用卫星进行试验的卫星,航天技术中有很多新原理、新材料、新仪器,其能否使用,必须在外层空间中进行试验;一种新卫星的性能如何,也只有把它发射到外层空间中试验成功后才能应用。应用卫星是直接为人类服务的卫星,它的种类最多,数量最大,其中包括通信卫星、气象卫星、侦察卫星、导航卫星、测地卫星、地球资源卫星、截击卫星等。

(2) 载人飞船 载人飞船是指能保障航天员在外层空间生活和工作以执行航天任务并返回地面的航天器,如图 1-8 所示。载人飞船可以独立进行航天活动,也可作为往返于地面和空间站之间的“渡船”,还能与空间站或其他航天器对接后进行联合飞行。载人飞船容积较小,受到所载消耗性物质数量的限制,不具备再补给的能力,而且不能重复使用。

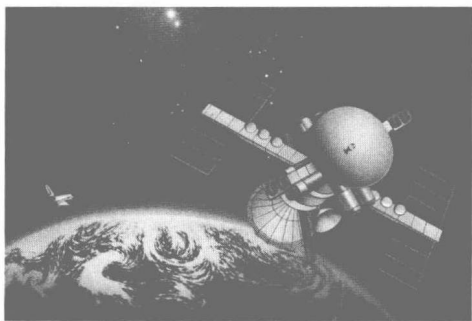


图 1-7 人造地球卫星

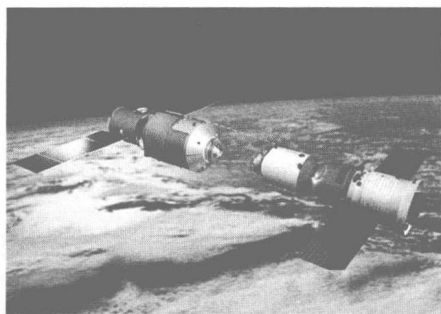


图 1-8 载人飞船

(3) 航天飞机 航天飞机是一种有人驾驶、可重复使用、往返于太空和地面之间的航天器,如图 1-9 所示。它既能像运载火箭那样把人造卫星等航天器送入太空,也能像载人飞船那样在轨道上运行,还能像滑翔机那样在大气层中滑翔着陆。航天飞机是人类自由进出太空的工具,是航天史上的一个重要里程碑。

(4) 空间探测器 空间探测器又称深空探测器或宇宙探测器,是对月球和月球以远的天体及空间进行探测的无人航天器,是空间探测的主要工具,如图 1-10 所示。空间探测器装载科学探测仪器,由运载火箭送入太空,飞近月球或行星进行近距离观测,做人造卫星进行长期观测,着陆进行实地考察,或采集样品进行研究分析。空间探测器按探测的对象划分为月球探测器、行星和行

星际探测器、小天体探测器等。空间探测器的显著特点是在空间进行长期飞行，地面不能进行实时遥控，所以必须具备自主导航能力；向太阳系外行星飞行，远离太阳，不能采用太阳能电池阵，而必须采用核能源系统；承受十分严酷的空间环境条件，需要采用特殊防护结构；在月球或行星表面着陆或行走，需要一些特殊形式的结构。

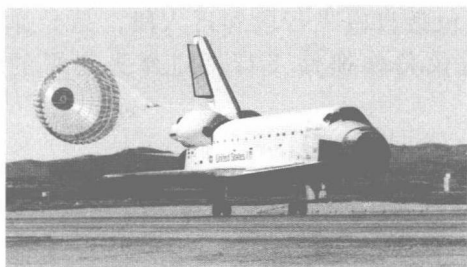


图 1-9 航天飞机

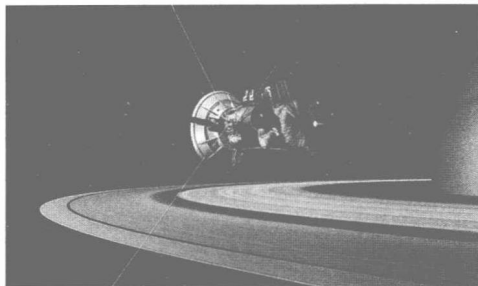


图 1-10 空间探测器

(5) 空间站 空间站又称太空站、航天站、轨道站，是一种在近地轨道长时间运行、可供多名航天员巡访、长期工作和生活的载人航天器，如图 1-11 所示。空间站分为单一式和组合式两种。单一式空间站可由航天运载器一次发射入轨，组合式空间站则由航天运载器分批将组件送入轨道，在太空组装而成。空间站中要有人能够生活的一切设施，不再返回地球。

3. 火箭

火箭是以火箭发动机为动力的飞行器，如图 1-12 所示。它主要靠喷射高压气体或者其他物质给自身提供强大的动力进行飞行，既可以在大气层内飞行，也可以在大气层外飞行。

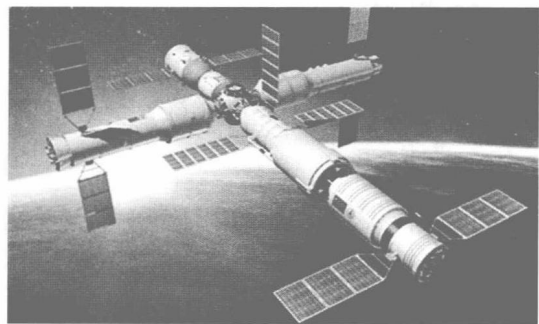


图 1-11 空间站

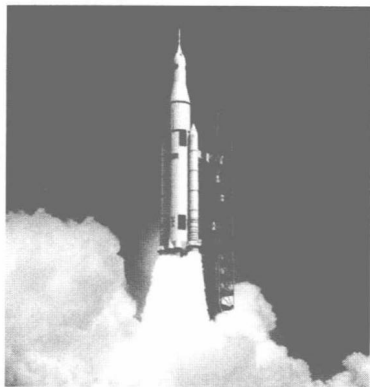


图 1-12 火箭的发射

4. 导弹

导弹是指具有战斗力的可控制的火箭，包括主要在大气层外飞行的弹道导弹和装有翼面在大气层内飞行的地空导弹、巡航导弹等。

(1) 弹道导弹 弹道导弹是在火箭发动机推力作用下按预定程序飞行，关机后按自由抛物体轨迹飞行的导弹，如图 1-13 所示。其飞行弹道一般分为主动段和被动段。主动段是导弹在火箭发动机推力和制导系统作用下，从发射点起飞到火箭发动机关机时的飞行路径；被动段包括自由飞行段和再入段，是导弹按照在主动段终点获得的给定速度和弹道仪角作惯性飞行，到弹头起爆的路径。



图 1-13 弹道导弹

(2) 地空导弹 地空导弹是指从地面发射攻击空中目标的导弹，又称防空导弹，如图 1-14 所示。它是组成地空导弹武器系统的核心。地空导弹是由地面发射，攻击敌方来袭飞机、导弹等空中目标的一种导弹武器，是现代防空武器系统中的一个重要组成部分。



图 1-14 地空导弹

(3) 巡航导弹 巡航导弹主要是指以巡航状态在稠密大气层内飞行的导弹，如图 1-15 所示。巡航状态是指导弹在火箭助推器加速后，主发动机的推力与阻力平衡，弹翼的升力与重力平衡，以近于恒速、等高度飞行的状态，其飞行弹道通常由起飞爬升段、巡航段和俯冲段组成。它依靠喷气发动机的推力和弹翼的气动升力进行飞行。

5. 制导武器

制导武器是指能够按照一定规律进行的、在大气中飞行的高命中率武器，如末敏弹、制导炮弹等。

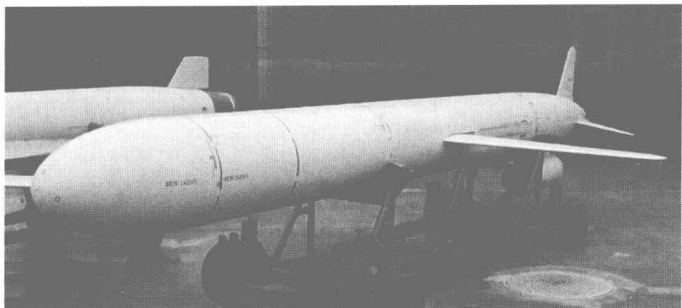


图 1-15 巡航导弹

(1) 末敏弹 末敏弹是一种能够在弹道末段探测出目标的存在，并使战斗部朝着目标方向爆炸的现代弹药，如图 1-16 所示，主要用于自主攻击装甲车辆的顶装甲，在 21 世纪信息化战场上具有作战距离远、命中率高、毁伤效果好、效费比高和发射后不管等优点。

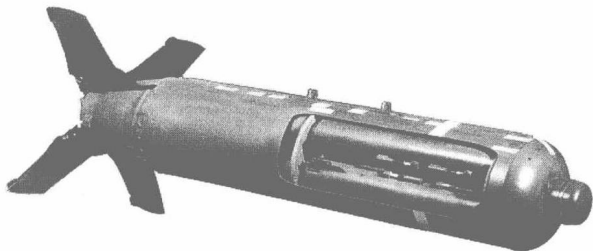


图 1-16 末敏弹

(2) 制导炮弹 制导炮弹是一种高新技术炮弹，它使火炮这类间接瞄准杀伤武器具备远距离精确打击点目标（装甲目标）的能力，如图 1-17 所示。

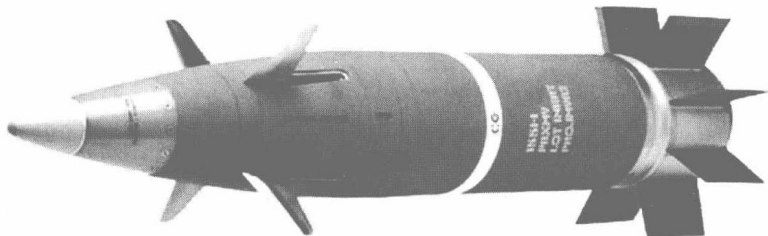


图 1-17 制导炮弹

随着科学技术的发展以及人们对太空的不断探索，各种新型的飞行器将不

断出现。

如图 1-18 所示是洛克希德-马丁公司设计的超音速绿色飞机，该方案采用了关键的倒 V 形发动机，巧妙地降低了音爆，其革命性的技术有助于实现航程、载荷和环保目标，预计在 2030 年左右开始投入使用。

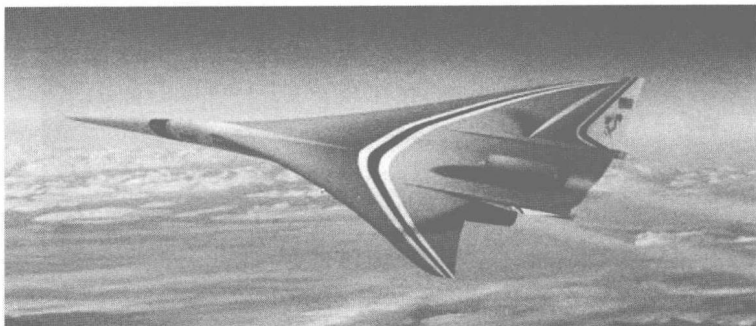


图 1-18 洛克希德-马丁公司设计的超音速绿色飞机

波音公司与洛克希德-马丁公司合资企业联合发射联盟公司（ULA）将同毕格罗航空公司合作，于 2020 年发射首个充气私人太空站，它可能成为首座太空旅馆（图 1-19），并迎来首批太空居民。

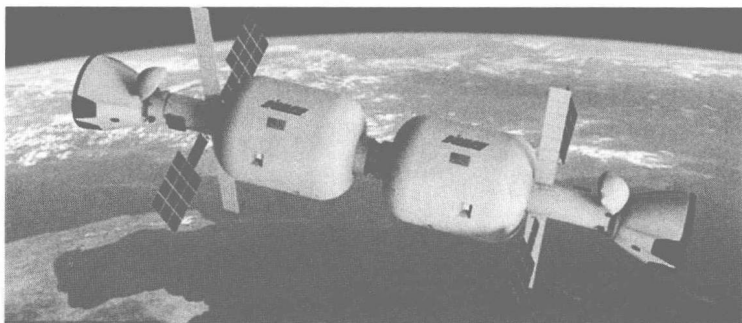


图 1-19 太空旅馆

二、无人机

无人机（unmanned aerial vehicle, UAV）是利用无线电遥控设备或自备的程序控制装置操控的不载人飞机，是飞行器的一种，所以有时也把无人机称为飞行器。

无人机最早在 20 世纪 20 年代出现，1914 年第一次世界大战正进行得如火如荼，英国的卡德尔和皮切尔两位将军，向英国军事航空学会提出了一项建议，研制一种不用人驾驶而用无线电操控的小型飞机，使它能够飞到敌方某一目标区域上空，将事先装在小型飞机上的炸弹投下去。研制小组经过多次试

验，研制出一台无线电遥控装置，飞机设计师设计出一架小型单翼机，并把无线电遥控装置安装到这架小飞机上，如图 1-20 所示。

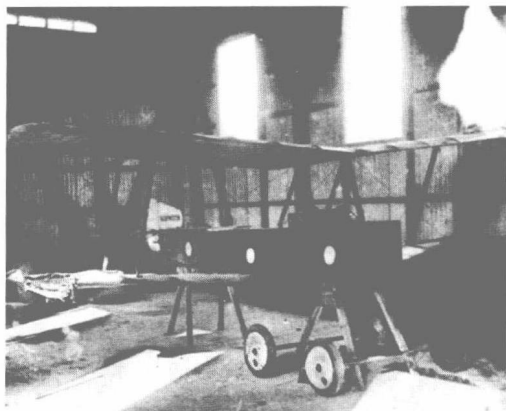


图 1-20 世界上第一架无人机

在第二次世界大战及后来的反恐战争中，无人机在军事领域发挥了重要作用，其功能主要有靶机、侦查监视、骗敌诱饵、实施干扰、对地攻击、校射、通信中继等。如图 1-21 所示为军用无人机。

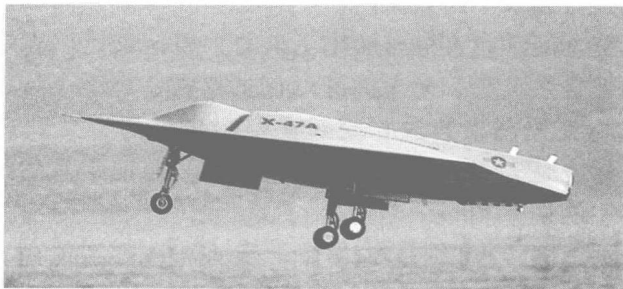


图 1-21 军用无人机

进入 21 世纪，新兴科技让军用无人机的性能更加优秀，也促进了民用无人机的诞生和发展。如图 1-22 所示为植保用无人机。

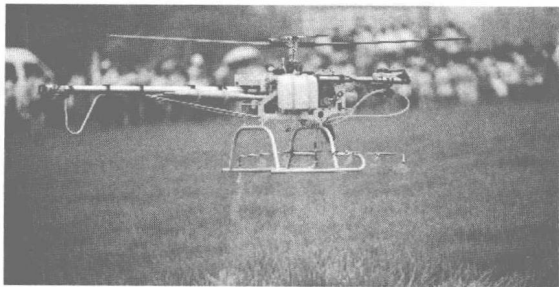


图 1-22 植保用无人机

无人机这一概念往往仅限定在飞机自身，实际上这是不准确的。无人机是由一套完整的系统构成，除飞机自身以外，还包括地面装置和通信链路系统。无人机类型不同，其系统构成也有差异。

无人机控制一般分为半自主控制和全自主控制。半自主控制是指飞控系统的控制算法能够保持无人机的姿态稳定，但还是需要通过人员遥控操控；全自主控制是指飞控系统的控制算法能够完成无人机航路点到航路点的位置控制以及自动起降等。目前民用无人机主要是半自主控制。

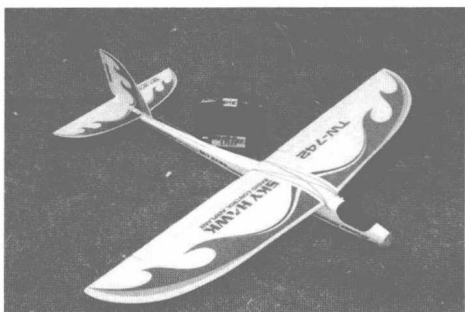


图 1-23 航模遥控飞机

三、航模遥控飞机

在国际航联制定的竞赛规则里明确规定，航模遥控飞机是一种重于空气的、有尺寸限制的、带有或不带有动力装置的、可遥控的不能载人的航空器，如图 1-23 所示。航模遥控飞机要在视距内飞行，它不具有飞控导航系统和任务系统。

无人机与航模飞机都是非载人的航空飞行器，但具有以下不同点。

(1) 飞控系统不同 无人机与航模飞机的主要区别之一在于是否有飞控导航系统，能否实现自主飞行。无人机可以自动驾驶，超距飞行，通过复杂的中央飞控系统，与地面控制参数进行交互，控制飞机的姿态和运动，是程序控制。航模飞机虽然也是无人驾驶，但是在操控人员的视距范围内由操控人员遥控实现运动和姿态的调整。

(2) 自动控制不同 在自动控制方面，无人机能够智能应对各种情况，要求进行任务执行，与地面站进行数据融合和任务确认，并要求进行下一步操作。而大多数航模飞机的自动控制只能实现失控后自动返航。

(3) 组成不同 无人机比航模飞机要复杂。航模飞机由飞行平台、动力系统、视距内遥控系统组成，主要是为了大众的观赏性和娱乐性，科技含量不高。无人机系统由飞行平台、动力系统、飞控系统、链路系统、任务系统、地面站等组成，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。部分高档的航模飞机和低档的无人机的飞行平台及动力系统部分并无太大区别。

(4) 用途不同 无人机多执行超视距任务，早期的无人机主要应用于战争，执行军事任务，最大任务半径上万千米。通过飞控系统自主飞行，通过链路系统上传控制指令和下传任务信息。随着无人机的发展，无人机在民用方面的用途越来越广泛，如航拍、植保、森林防火、高速公路巡查、探矿等应用领

域。航模飞机则侧重于航空模型运动、参与国际航联竞赛项目、航模爱好者交流研究等方面，航模飞机通常在目视视距范围内飞行，控制半径小于 800m，操作人员目视飞机，通过手中的遥控器操控飞机，只完成飞行任务，不需要完成其他任务。

(5) 安全管理不同 在我国，民用无人机由民航局统一管理，军用无人机由军方统一管理，航模飞机由国家体委下属航空运动管理中心管理。

总之，无人机和航模飞机既有相同点，又有不同点，民用无人机和航模飞机相同点更多一些。

四、玩具遥控飞机

玩具遥控飞机与航模遥控飞机相比，结构简单，价格便宜，体积小，其电子调速器、接收器、飞控都是集成在一起的，用的都是空心杯电动机，也不存在散热问题，如图 1-24 所示。航模遥控飞机通常是能适用于室外飞行的，并能在一定风雨环境条件下操控；而玩具遥控飞机只能在室内等小风甚至无风环境飞行。



图 1-24 玩具遥控飞机

近几年，无人机民用技术越来越成熟，市场销量越来越大，无人机、航模遥控飞机、玩具遥控飞机没有相应标准，三者的界限越来越模糊，公众现在几乎都称其为无人机。

第二节 无人机的分类

目前无人机分类没有统一的标准，有多种划分方法，如按动力源划分、按飞行平台构型划分、按用途划分、按行业应用划分等。

一、按动力源划分

根据动力源的不同，无人机可分为油动无人机、电动无人机、氢燃料无人机和太阳能无人机等。

1. 油动无人机

油动无人机采用燃料油作为驱动力，一般采用汽油，如图 1-25 所示。优点是续航时间长，续航能力强；具有较好的抗风能力。缺点是使用复杂，不易操控，对操作人员要求较高；稳定性差；环境场地适应性差，高原性能不足；振动较大；存在安全隐患，坠机可能引发火灾。

2. 电动无人机

电动无人机采用动力电池作为驱动力，一般采用锂离子电池，如图 1-26 所