



民航科普丛书
无人机科普系列丛书

一本书读懂 无人机

• YIBENSHU DUDONG WURENJI •

主 编 姜 魁 杨 琳
副主编 赵秀云 李晨曦

扫描封面二维码，
视频学习更有趣！



中国民航科普基金会
中国民航出版社



民航科普丛书
无人机科普系列丛书

一本书读懂无人机

主 编 姜 魁 杨 琳
副主编 赵秀云 李晨曦
编 者 刘贤斌 屠雪真 张理科

中国民航科普基金会
中国民航出版社

图书在版编目（CIP）数据

一本书读懂无人机 / 姜魁，杨琳主编. —北京：中国民航出版社，2019.3

ISBN 978-7-5128-0657-3

I. ①—… II. ①姜… ②杨 III. ①无人驾驶飞机 - 普及读物 IV. ① V279-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 049635 号

一本书读懂无人机

姜 魁 杨 琳 主编

责任编辑	王迎霞		
出 版	中国民航出版社（010）64279457		
地 址	北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼（100028）		
排 版	中国民航出版社录排室		
印 刷	北京博海升彩色印刷有限公司		
发 行	中国民航出版社（010）64297307 64290477		
开 本	787×960 1/16		
印 张	11.25		
字 数	175 千字		
版 本	2019 年 7 月第 1 版 2019 年 7 月第 1 次印刷		
书 号	ISBN 978-7-5128-0657-3		
定 价	50.00 元		

官方微博 <http://weibo.com/phcaac>
淘宝网 <https://shop142257812.taobao.com>
电子邮箱 phcaac@sina.com

前 言

近年来无人机技术和产业迅猛发展，应用领域不断扩大，从军用到专业级的农林植保、物流快递、遥感探测、应急救援再到消费级的航拍娱乐，无人机的身影无处不在，影响并改变着人们的工作和生活方式。在全球新一轮技术变革中，无人机无疑是一个引人关注的热点。根据民航局“无人机实名登记系统”统计，截至2019年1月底，中国已登记注册无人机约29.5万架。根据预测，2017—2021年，中国行业级无人驾驶航空器市场规模都将以每年30%的速度增长，大有在通用航空、货运航空等诸多领域替代现有有人驾驶航空器的趋势。

在2018年9月于北京召开的第八届中国无人驾驶航空器系统大会上，笔者遇到许多业内专家学者和知名人士，大家共同探讨无人机产业发展的路径与前景，收获颇丰。此次会议上，中国民航出版社的编辑老师同我沟通并向我约稿，我欣然应允，历时8个月，书稿现即将付梓。

写作本书的目的是给广大读者普及有关无人机的科学知识，无论你是求学的青少年，还是忙碌的工作者，亦或是颐养天年的老人家，只要对这个领域感兴趣，翻开这本书，都会有所收获。而对于在校学习相关课程和专业的学生来讲，本书也是一本全面系统的入门教材。

写作过程中，作者团队竭力使用通俗易懂的语言和图文并茂的方式将内容繁多、技术复杂、应用广泛的无人机结构、种类、发展现状和前景作出浅显的描述，使得心怀好奇和探索之心的无人机爱好者在入门之初便有一本严谨翔实又不失通俗有趣的科普读物，引领他们走入这个行业，并有所作为。如若未

来这本书能够对行业发展起到些微推动作用，我们会深感欣慰。

本书编写团队大部分成员长期从事无人机研发、教学和科普工作。姜魁负责整体书稿的写作和统筹，杨琳撰写了第四章规章部分，并对本书进行了审读。赵秀云负责排版、校对和部分配图工作，李晨曦负责配套视频的制图、配色、剪辑工作。刘贤斌在飞行控制、动力、电源方面，张理科在机身结构、外型方面，屠雪真、舒瑶在原理验证、资料查新比对等方面做了许多工作。

在本书编写过程中，我们得到了以下专家的帮助：

南京航空航天大学博士生导师 无人机研究院副总工程师

黄大庆

南京航空航天大学机电学院副院长 南航无锡研究院院长

唐敦兵

南京航空航天大学工程师

赵雪冬

南京航空航天大学无锡研究院常务副院长

王飞鹏

无锡市科协副主席

姚沛声

无锡市无人机协会会长

蒋顺超

无锡太湖学院机电学院院长

袁惠新

无锡汽车工程高等职业技术学校党委书记

朱林林

无锡汽车工程高等职业技术学校轨道交通工程系主任

陈 波

本书的出版得到了中国民航科普基金会的大力支持。对以上编写人员、各位专家和民航科普基金会的努力、帮助与支持，在此表示诚挚的感谢！。

姜 魁

2019年5月10日

目 录

第一章 初识无人机 / 1

第一节 无人机的定义 / 1

第二节 无人机的结构 / 5

第三节 无人机的分类 / 31

第二章 无人机的前世今生 / 59

第一节 人类的飞天梦 / 59

第二节 飞的实践 / 61

第三节 无人机的诞生 / 68

第三章 小身材 大用途 / 75

第一节 军用无人机的应用 / 76

第二节 民用无人机的应用 / 86

第四章 不以规矩 不成方圆 / 110

第一节 无人机产业发展现状 / 110

第二节 国内无人机相关规章 / 116

第三节 国外无人机监管概览 / 129

第四节 未来政策发展趋势 / 132

第五章 飞向未来 / 139

第一节 无人机前景展望 / 139

第二节 集群无人机 / 147

第三节 “无人机+”时代 / 156

第四节 3D打印无人机 / 163

结束语 / 171

参考文献 / 172

第一章 初识无人机

第一节 无人机的定义

无人机的应用历史久远，几乎可以追溯到飞机诞生之时。但在近些年，无人机的发展才逐渐成熟。军用无人机在过去20年间发展迅猛，民用无人机也在近年开始备受关注，并且突飞猛进，已日渐融入到大众生活中。

那么，无人机究竟是什么呢？

一、无人机的定义

美国联邦航空管理局（Federal Aviation Administration, FAA）在《小型无人机的运行和取证》里这样定义：无人机是一种不需要人类从内部直接介入的飞行器。

我国对无人机的定义为：无人机，是无人驾驶飞机的简称，英文写为“UAV”（Unmanned Aerial Vehicle），是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置操纵的不载人飞机。

两种定义的共同点在于，都承认无人机具有以下特点：

（1）不载人——无人机与一般飞机最大的区别就是不载人。但不载人不代表没有人操作，只是操作的人是通过远程无线控制。

（2）利用无线电控制——利用无线电将遥控信号发送给无人机，从外部接入，指引无人机的飞行与动作。

（3）利用自备设备——不需要人从内部直接接入，而是有自备的程序，可以通过遥控进行间接控制。

与传统飞机相比较，无人机具有制作成本低、运用弹性大以及支援装备少等特性。从广义上讲，通常我们所说的无人机指无需人员驾驶的各种飞行器；从狭义上讲，包括军方使用的无人侦察机、无人攻击机、无人靶机等军用飞行器和用于农业植保、航拍娱乐等方面的民用无人机。按照飞行平台构型分为：固定翼无人机、无人垂直起降机、无人飞艇、无人直升机、无人多旋翼飞行器、伞翼无人机等等。但无论如何划分，只要符合以上几点特性，都有资格被称之为“无人机”。

2018年1月26日国务院、中央军委空中交通管制委员会办公室公布的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例（征求意见稿）》第五条规定，“无人驾驶航空器，是指机上没有驾驶员进行操作的航空器，包括遥控驾驶航空器、自主航空器、模型航空器等。遥控驾驶航空器和自主航空器统称无人机。”

二、无人机与航模的区别

一般意义上的**航模**（即航空模型），是操纵手通过遥控器或控制线控制的，一种重于空气、有尺寸限制、可遥控的不能载人航空器，一般可分为自由飞类、线操纵类、无线电遥控类等三大类。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，其中对航线的规划可以将代码先输入到飞控系统中，或者通过数据传输系统实时输入到飞控系统中，不需要驾驶员在机内驾驶的飞行载体。虽然无人机和航模都是非载人的航空飞行器，但二者还是有区别的。如图1.1所示。

1. 任务载荷不同

无人机任务载荷，就是无人机平台搭载的各种任务设备，如摄像机、雷达等，是无人机系统的重要组成部分。无人机通过装载不同的载荷来实现其目标任务。在远程操控方面，无人机可以在全球范围内活动，而航模则是在视距范围内活动。在自动控制方面，无人机能够智能应对各种情况，按要求执行任

务，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；而大多数航模的自动控制只能实现失控后自动返航。

2. 组成不同

无人机的组成比航模飞机复杂。航模由飞行平台、动力系统、视距内遥控系统组成，主要为了满足大众的观赏和娱乐需要；而无人机则由飞行平台、动力系统、飞控系统、任务系统、地面站等部件组成，主要是为了完成特定任务，重在任务的完成能力，科技含量较高。

3. 飞控系统不同

无人机与航模飞机的主要区别之一就是是否有飞控系统，是否可以实现自主飞行。无人机可以自动驾驶、超视距飞行，通过复杂的中央飞控系统，与地面控制参数进行交互，通过程序控制飞机的姿态和运动。航空模型虽然也是无人驾驶，但是在操控人员的视距范围内由操控人员遥控实现机动和姿态的调整。

4. 目的用途不同

早期的无人机多应用于战争，执行军事任务。随着科技的发展，无人机在民用方面的用途越来越广泛，如在森林防火、物流运输、高速公路巡查、探矿等领域的应用。航模多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。航模通常在目视视距范围内飞行，控制半径小于800米，操作人员目视航模，通过手中的遥控器操控它，只需完成飞行任务，不需要完成其他额外任务。

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，航模飞机则由体育总局下属航空运动管理中心管理。



航模



无人机

图1.1 航模与无人机

总而言之，无人机和航模既有相同点，又有不同点。同时需要注意的是，随着电子技术的发展，现在航模也可以安装具有一定复杂功能的飞控系统了，航模和无人机的界限正随着技术的发展，变得越来越模糊。

三、空中机器人

无人机是机器人吗？答案是肯定的。

联合国标准化组织采纳了美国机器人协会给机器人下的定义：“一种可编程和多功能的操作机；或是为了执行不同的任务而具有可用电脑改变和可编程动作的专门系统。”

而无人机实际上也是这样一种机器，可实行自动控制和编程控制，并且无人机可以在空中飞行。因此，无人机也被称为“空中机器人”。

无人机能够代替人类完成空中作业，同时与成像设备等部件结合，拓展应用场景，实现“无人机+”。

近些年来，在军用机器人家族中，无人机是科研活动最活跃、技术进步最大、研究及采购经费投入最多、实战经验最丰富的领域。自无人机诞生以来，世界无人机的发展基本上是以美国为主线向前推进的，无论从技术水平还是无人机的种类和数量来看，美国均居世界首位。与此同时，各国也在不断研发与创新，为无人机的蓬勃发展注入强大推动力。

第二节 无人机的结构

一、无人机的结构组成

无人机有各种各样的形式。从传统意义上看,可分为传统飞机式无人机和直升机式无人机。虽然它们在机型和外形上有所不同,其他的组件却是相差无异。

在无人机的机载系统中,最重要的部分就是**自动驾驶仪**和**传感器**。自动驾驶仪对于无人机而言,相当于人的神经中枢,它不仅能保证飞机飞行的基本稳定性,还能进行自动巡航,不管是固定翼无人机还是多旋翼无人机,自动驾驶仪都有着举足轻重的作用。如果没有自动驾驶仪,无人机就只是一台普通的遥控飞机。

在自动驾驶仪中,包括了若干传感器。其中,有些传感器是无人机飞行必备的,如压力传感器、加速度仪、陀螺仪、电子罗盘等。这些传感器对无人机的安全飞行非常重要,它们样式各异,所起到的作用也有所不同。

压力传感器控制着无人机的飞行高度,即无人机相对于出发点的高度。同样控制着无人机飞行高度的还有加速度仪,不过,它还有着另外的一个作用,就是对无人机的倾斜度进行实时测量。

而陀螺仪和电子罗盘则分别对无人机的旋转角速度和地磁场强度进行测量,并进行自动校准和偏航的补偿,保证无人机正常的飞行作业。

电子罗盘与传统指针式和平衡架结构罗盘相比能耗低、体积小、重量轻、精度高、可微型化,其输出的信号通过处理可以实现数码显示,不仅可以用来指向,还可被直接送到自动舵,控制船舶的操纵。目前,广为使用的是三轴捷联磁阻式数字磁罗盘,这种罗盘具有抗摇动和抗震性、航向精度较高、对干扰场有电子补偿、可以集成到控制回路中进行数据链接等优点,因而被广泛应用于航空航天等领域。

陀螺仪是用高速回转体的动量矩敏感壳体相对惯性空间绕正交于自转轴的一个或两个轴的角运动检测装置。主要部分是一个对旋转轴以极高角速度旋

转的转子，转子装在一个支架内。陀螺仪的原理就是，一个旋转物体的旋转轴所指的方向在不受外力影响时，是不会改变的。

要保证无人机飞行任务圆满完成，链路是必不可少的。无人机配备双向链路，即上行链路与下行链路。上行链路就是无线电发出的指令，下行链路则是发回信息和数据的传输。链路的具体组件包括无线电接收器、调制解调器及视频发射器。它们分工明确，对往来信息进行发送、接受和处理。

除了以上提及的组件和装置以外，无人机还有其他的机动化组件，包括飞行电池、控制器、功率箱、发动机、螺旋桨等。

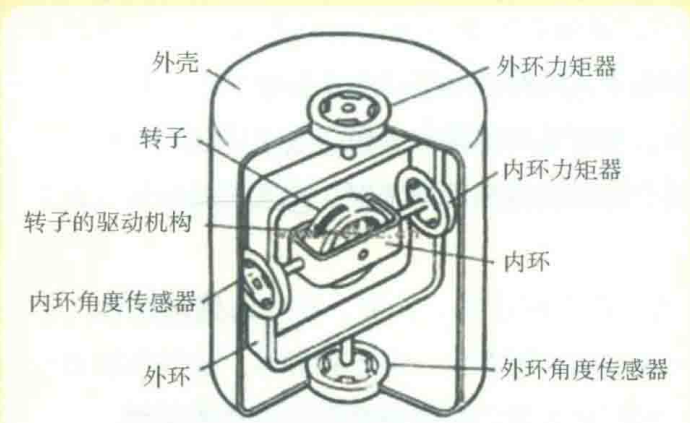


图1.2 陀螺仪结构

陀螺仪是一种既古老而又很有生命力的仪器，从第一台真正实用的陀螺仪器问世以来已有半个多世纪，但直到现在，陀螺仪仍在吸引着人们对它进行研究，这是由于它本身具有的

特性所决定的。人们从儿童玩的地陀螺中早就发现高速旋转的陀螺可以竖直不倒而保持与地面垂直，这就反映了陀螺的稳定性。陀螺仪最主要的基本特性就是它的稳定性和进动性。陀螺仪结构如图1.2所示。

稳定性

当陀螺转子以高速旋转时，在没有任何外力矩作用在陀螺仪上时，陀螺仪的自转轴在惯性空间中的指向保持稳定不变，即指向一个固定的方向；同时反抗任何改变转子轴向的力量。这种物理现象称为陀螺仪的定轴性或稳定性。其稳定性随以下的物理量而改变：

- (1) 转子的转动惯量愈大，稳定性愈好；
- (2) 转子角速度愈大，稳定性愈好。

所谓的“转动惯量”，是描述刚体在转动中惯性大小的物理量。当以相同的力矩分别作用于两个绕定轴转动的不同刚体时，它们所获得的角速度一般是不一样的，转动惯量大的刚体所获得的角速度小，也就是保持原有转动状态的惯性大；反之，转动惯量小的刚体所获得的角速度大，也就是保持原有转动状态的惯性小。

进动性

当转子高速旋转时，若外力矩作用于外环轴，陀螺仪将绕内环轴转动；若外力矩作用于内环轴，陀螺仪将绕外环轴转动。其转动角速度方向与外力矩作用方向互相垂直。这种特性，叫作陀螺仪的进动性。进动角速度的方向取决于动量矩 H 的方向（与转子自转角速度矢量

的方向一致）和外力矩 M 的方向，而且是自转角速度矢量以最短的路径追赶外力矩。如图1.3所示。

这可用右手定则判定。即伸直右手，大拇指与食指垂直，手指顺着自转轴的方向，手掌朝外力矩的正方向，然后手掌与4指弯曲握拳，则大拇指的方向就是进动角速度的方向。

进动角速度的大小取决于转子动量矩 H 的大小和外力矩 M 的大小，其计算公式为进动角速度 $\omega=M/H$ 。

进动性的大小也有三个影响因素：

- （1）外界作用力愈大，其进动角速度也愈大；
- （2）转子的转动惯量愈大，进动角速度愈小；
- （3）转子的角速度愈大，进动角速度愈小。

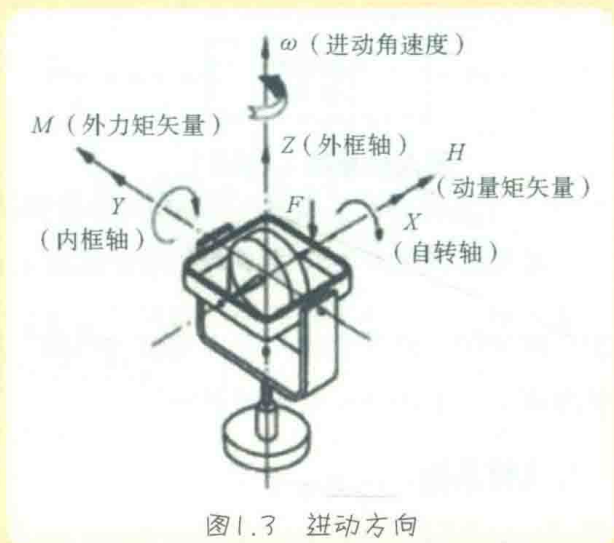
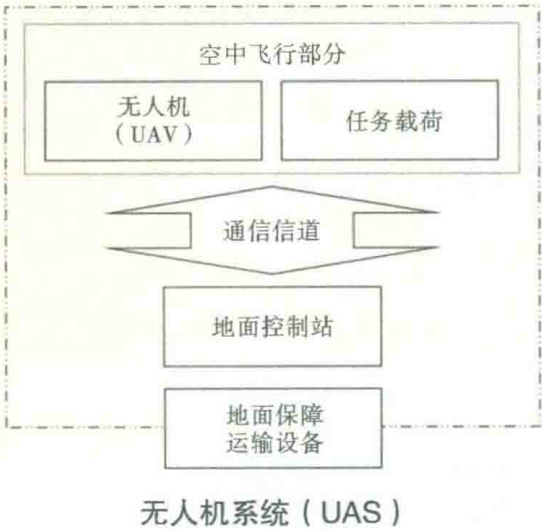


图1.3 进动方向



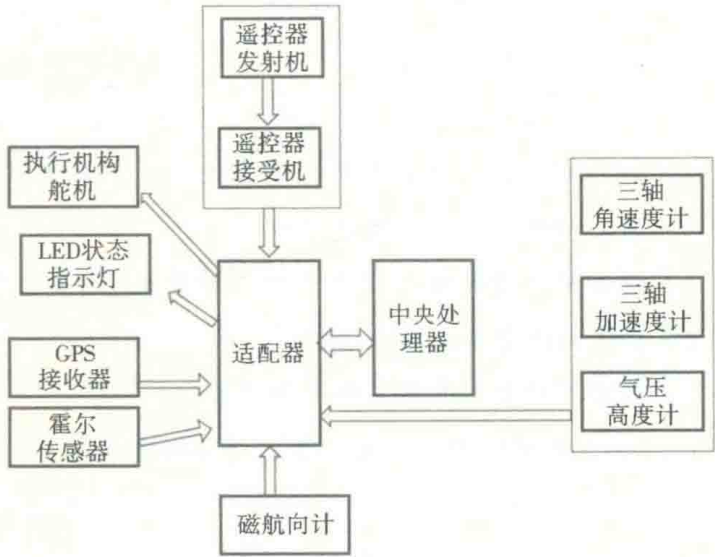
二、无人机系统

无人机是指一种以无线电遥控或自身程序控制为主的不载人飞机。不过，我们平常说的“无人机”，并不仅仅指无人机本身，而是指确保无人机能够正常运行的整个系统。如图1.4所示。

无人机系统的逐渐完善也使无人机在名称上发生了相应的变化，从开始的“无人驾驶飞行器”演变成“无人操作系统”，最后又被改成了“遥控驾驶航空器系统”。

1. 飞控系统

飞控系统是无人机完成起飞、空中飞行、执行任务和返场回收等整个飞行过程的核心系统，飞控系统对于无人机相当于驾驶员对于有人机的作用，是无人机核心技术之一。飞控系统一般包括传感器、机载计算机和伺服作动设备三大部分，实现的功能主要有无人机姿态稳定和控制、无人



机任务设备管理和应急控制三大类，如图1.5所示。其中，机身大量装配的各种传感器（包括角速率、姿态、位置、加速度、高度和空速等）是飞控系统的基础，是保证飞机控制精度的关键。在不同飞行环境下，不同用途的无人机对传感器的配置要求也不同。军用无人机对传感器配置要求非常高，未来对无人机态势感知、战场上识别敌我、防区外交能力等方面的需求，要求无人机传感器具有更高的探测精度、更高的分辨率，因此国外军用无人机传感器中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。相对于军用无人机，民用无人机对传感器配置要求较低。消费类无人机的飞控系统很多是开源的，供用户开发新的各种用途。

2. 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线路飞行，相当于有人机系统中的领航员。无人机导航系统主要分为非自主（GPS等）和自主（惯性制导）两种，但分别有易受干扰和误差积累增大的缺点，而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。

避障技术是导航系统的关键技术之一，目前避障技术主要有深度相机避障技术、声呐系统避障技术、“视觉+忆阻器”避障技术、双目视觉避障技术、微小型雷达避障技术等。

（1）深度相机避障技术

深度相机避障技术的原理是先对场景投影结构光，然后分析红外传感器接收的反光得到深度信息。2014年，英特尔推出Real Sense传感器，其体积小，使用距离短。在2015年美国消费电子展览会上，英特尔把Real Sense技术应用到了无人机上，以用于感知周围环境，进行自主避障。

（2）声呐系统避障技术

Panoptes公司推出的Bumper4避障系统由指向多个方向的超声波传感器组成，通过测量多个方向的距离来判断障碍。

（3）“视觉+忆阻器”避障技术

美国Bio Inspired公司期望利用视觉和忆阻器（具有短期记忆效果的电阻器），使系统具备识别和短期记忆功能，从而使无人机有避障的能力。

（4）双目视觉避障技术

美国Skydio公司采用两个普通的摄像头充当无人机的“眼睛”，并研发出识别障碍软件，从而使无人机具备识别障碍的能力，进而实现自主导航。

（5）微小型雷达避障技术

Echodyne公司利用一台四轴无人机展示了它的小型电子扫描雷达，它可追踪地面上的某个人，或是在飞行中躲避障碍物。

无人机通常利用被跟踪者身上放置的GPS装置进行定位和跟踪，这种方式会在某种程度上影响用户体验。在没有GPS信号的情况下，该方式就会失效，而且对于非自愿携带GPS设备的用户，该方式也是行不通的，

新的技术完全可以从视觉和雷达角度出发。视觉跟踪技术方面，3D Robotics公司推出开源飞控应用Tower，它能够使无人机跟随用户，并将用户保持在摄像头中心。Open CV开源软件也同样有很多跟踪算法供无人机开发。此外，采用小型电子扫描雷达也能够实现新式的跟踪模式。

3. 地面操控系统

地面操控系统是控制无人机安全飞行的核心。无人机要完成飞行任务，除了本身的设置和条件，还有其他更加重要的，那就是地面控制设施，以及接收飞行器、实用载荷数据等设施。地面控制设施包括预先为无人机设定好各种程序和对无人机进行远程支援的通信系统等，通过发送指令来遥控无人机，确保无人机在人的操控之下完成规定动作或者执行任务。

无人机的地面控制设施包含在遥控器中，搭配着电脑和调制解调器，共同完成对无人机的飞行操作。遥控器一般有两种，一种为“盒子”型遥控器，另外一种则是“书桌”型遥控器。“盒子”型的遥控器结构相对紧凑，因此操作起来不是很舒适；而“书桌”型的遥控器则更加专业一些，它配有屏幕，可供操控人员观察，操作起来舒适度较高。如图1.6所示。

一台遥控器分为三个部分，首先是带有弹簧的手柄，手柄是操控人员操