

无人机技术系统 导论与实操

● 主编 石书羽 孙传原



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书详细介绍了无人机发展现状、系统平台、运行自然环境、飞行原理和运行法律法规，并将这些理论知识融入6种无人机模拟飞行训练和4种无人机组实操训练的教学任务。

本书可作为学生学习无人机的教材或参考书，也可作为无人机竞赛的指导用书，还适合无人机爱好者在自学时选用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

无人机技术系统导论与实操 / 石书羽, 孙传原主编

—北京: 北京理工大学出版社, 2023.1

ISBN 978-7-5763-1716-9

I. ①无… II. ①石… ②孙… III. ①无人驾驶飞机
IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第172065号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68944723 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北鑫彩博图印刷有限公司

开 本 / 787毫米 × 1092毫米 1/16

印 张 / 12.5

字 数 / 308千字

版 次 / 2023年1月第1版 2023年1月第1次印刷

定 价 / 59.00元

责任编辑 / 阎少华

文案编辑 / 阎少华

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

前 言

PREFACE

当飞行遇上智能，就像机器人获得了飞行的能力，从而诞生了无人机，因此，无人机也可以理解为会飞行的机器人。近年来，科技的进步使无人机技术得到了迅猛发展。无人机的视角从地面到天空，被赋予了更强大的应用能力，以至于在各个行业都能够看到它的身影。

前有无人机在外星球上飞行探索，后有军事上使用无人机进行侦察，如今可拍照的无人机进入了千家万户，也进入了普通大众的世界。可编程的教育无人机也飞入了学生的课堂。无人机教育是科技创新教育的重要组成部分，在培养学生学习兴趣、思维、沟通、协作、创新及核心素养等方面扮演着至关重要的角色。

本书汇集了编委会近 10 年的无人机技术和相关教学经验，将无人机的理论知识和实际操作应用进行整合，对无人机的发展历史、系统、飞行原理和运行法律法规进行了梳理，并详细介绍了无人机模拟飞行训练和实操训练的方法，让读者通过实操探索无人机飞行的乐趣。书中无人机的操作训练内容源于企业实操经验，还有很多内容源于本书编委在实际操作实验中产生的灵感。书中无人机的飞行程序大多由编委进行测试，我们通过多次反复测试，确保每个程序都能够让学生成功完成任务。愿本书的读者能体验无人机的乐趣。

编 者

目 录

CONTENTS

第 1 章 无人机概述

1.1 无人机的定义	002
1.2 无人机的广义定义	004
1.3 无人机的分类	006
1.4 世界无人机发展历程简述	009
1.5 中国无人机发展历程简述	011
1.6 无人机的应用	014
1.7 民用无人机的未来发展	020

第 2 章 无人机系统概述

2.1 无人机的飞行平台系统概述	024
2.2 无人机的任务载荷系统介绍	036
2.3 无人机地面站及支持设备概述	039

第 3 章 无人机运行自然环境概述

3.1 大气成分组成与特点	043
---------------------	-----

3.2 大气气象要素	046
3.3 大气特性	052
3.4 影响飞行的主要因素	056

第 4 章 无人机飞行原理

4.1 低速气流特性	067
4.2 机翼结构及压力分布特性	071
4.3 飞机的升力	076
4.4 飞机的阻力	079
4.5 旋翼升力的产生	084

第 5 章 无人机运行法律、法规

5.1 国内、国外无人机相关法规	089
5.2 无人机相关法律、法规的定义及要求	094

第 6 章 模拟器

6.1 模拟器简介	104
-----------------	-----

6.2 无人机驾驶模拟器	107	7.6 “8”字飞行技能训练	141
6.3 遥控器测试	111		

第7章 无人机模拟飞行训练

7.1 多旋翼悬停模拟训练	125
7.2 多旋翼通道模拟训练	127
7.3 多旋翼平移模拟训练	136
7.4 四位悬停训练	138
7.5 八位悬停训练	140

第8章 无人机组调实操训练

8.1 无人机组装常用工具	144
8.2 无人机的组成与材质	158
8.3 F450 组装与调试	169
8.4 无人机飞行测试	184

参考文献	193
------------	-----

第1章 无人机概述

学习目标

一、知识目标

1. 了解无人机的定义；
2. 了解无人机的分类；
3. 了解世界和中国无人机发展历程；
4. 掌握无人机的应用；
5. 掌握民用无人机的未来发展。

二、能力目标

1. 具备及时了解和掌握无人机技术的新发展、新领域、新应用的能力；
2. 具备及时了解无人机发展历程的能力；
3. 知道无人机的常见分类。

三、素养目标

1. 具有爱岗敬业、谨慎细致、高效务实、团结协作的职业态度；
2. 具有良好的科学文化素质、专业素质和科学创新意识。

在现代社会，无人机这个词越来越多地被人们提及，近几年，无人机的研制与应用引起了世界各国政府的高度重视，普通人也能够越来越多地接触到无人机领域的产品或者看到其广泛的应用。无人机作为高科技产品最先应用在军事领域(图 1-1)。现在，无论是抢险救灾、新闻报道、治安防控、交通巡逻，还是勘察测绘等越来越多的民用领域也出现了无人机的身影(图 1-2)。民用无人机的出现和大量应用已经影响了我们的生活，认识无人机、学习无人机是适应社会发展进步的需要，是与我们的日常生活密切相关的。如无人机快递、无人机摄影、无人机娱乐、无人机植保作业等都与我们的生活息息相关。我们很有必要了解这一领域的知识，都应该具备更为专业的精神和态度。学习这一领域的知识可以让我们了解全新的学科，认识它的应用，构想它的未来，开拓它的“疆土”，对我们的生活生产将大有裨益。因此，我们应该传播无人机的科技知识，使更多的人认识无人机、使用无人机，同样促进无人机产业的发展与应用也是年轻一代人的使命。



图 1-1 军用无人机



图 1-2 民用无人机

1.1 无人机的定义

1.1.1 无人机

无人机的运用越来越广泛，社会需求也越来越大。社会的发展、国家的进步离不开人工智能，更加离不开科技。无人机是什么？无人驾驶飞机简称“无人机”，它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。无人机实际上是无人驾驶飞行器的统称，从技术角度定义可分无人直升机、无人固定翼机、无人多旋翼飞行器、无人飞艇、无人伞翼机这几大类。

根据《民用无人机驾驶员管理规定》中的定义和描述：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。其也称远程航空器(Remotely Piloted Aircraft, RPA)，是利用无线电遥控设备和装备在无人机本体上的自动驾驶装置，按照预定的程序控制，实现按照预定飞行线路轨迹飞行的，并且利用装载于本体上的任务设备完成指定任务的非载人的飞行器。

无人机虽然是指在空中飞行的、飞机上是没有人员的航空器。但是，就无人机整个系统而言，人仍然是必不可少的管理者和监督者，仍然在全系统运行中起到非常关键的作用。

1.1.2 无人机系统

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

无人机的正常使用离不开地面设备或其他平台设备的支持。在空中飞行的无人机本体，更多地依赖于地面的控制站、发电机、综合地面保障系统、备份的无人机、定向增程天线、卫星通信天线、双向通信指挥与控制链路，以及无人机的任务计划、起降、飞行、任务实施、监控管理，应急处理等管理程序，这些设备与管理程序统称为无人机系统(图 1-3)。



图 1-3 典型的无人机系统

1.1.3 无人机的驾驶员和机长

无人机系统的驾驶员，是指由运营人指派对无人机的运行负有必不可少的职责并在飞行期间适时操纵无人机的人员。

无人机系统的机长，是指在系统运行时间内负责整个无人机系统运行和安全的驾驶员。

无人机的驾驶员和机长区别在于：驾驶员是参与飞行计划的设计规划，无人机起降前后的检查与维护，无人机的起降操作及执行应急操作的人员；而机长要全面负责飞行空域的申报，飞行计划的设计提交，检查驾驶员在起飞前的检查工作，监督或执行无人机的起降操作，全面监督或操作机载任务载荷执行情况，临时调整飞行计划节点，出现特殊情况发布操作指令或对驾驶员进行操控，是对整个飞行过程负有安全责任的人员。即驾驶员可以理解为执行者，而机长不仅是执行者还是设计者和监督者。

1.1.4 无人机和无线电遥控航空模型

无人机和无线电遥控航空模型的区别：首先，无人机和无线电遥控航空模型最主要的区别是控制飞机“大脑”所在位置。在无线电遥控航空模型中，航空模型的控制是接收无线电的信号，并将信号过滤、解调、输出给操纵舵机，舵机控制舵面偏转，从而实现飞行控制。航空模型完全受地面飞行操纵人员的控制，所以，它的“大脑”就是操纵者的大脑，它在天空中飞行所做出的动作或运行轨迹就是反映操纵者的意图或者杆量的移动。人们操纵无线电遥控航空模型的主要目的就是享受飞行控制这个过程快乐。在无线电遥控航空模型运动中主要比拼的也是运动员的操纵技巧和制作调整技术，如图 1-4 所示。

无人机的功能有明确的个性化要求，由机上任务载荷(又称有效载荷)来体现完成任务的能力。在这个意义上，无人机可以理解为载荷与搭载平台的组合体，有时还包括地面设施在内组成的系统。如侦察型无人机就是在具有一定飞行能力的平台上安装侦察设备和传输设备；攻击型无人机通过装载武器或战斗执行部件完成攻击任务。即使是科学验证用无人机，为了获取飞行数据，也要安装必要的感知、测量和数据传输设备，以实现特定功能。所以，无人机是通过机上有有效载荷来体现不同功能的系统。无人机和无线电遥控航

空模型的主要区别就在于是否携带任务载荷。一般来说,除保障飞行的控制系统外,只有机上载有任务载荷,才可以称为现代意义上的无人机。其次,无人机都安装有自动驾驶仪及飞行控制装置。所以,飞行状态就不再是操纵者主要关心的内容,而其所搭载的任务载荷所要执行的任务变成操纵者主要考虑的内容。由于可以预先进行飞行线路和飞行高度的设定,因此,在机载自动驾驶仪和机载飞控计算机的帮助下,无人机可以按照预定的飞行剖面 and 飞行计划实现主动的或半主动的飞行控制。地面控制人员的主要精力在于这架无人机能否在任务空域顺利圆满地执行航拍、监视、勘察、探测等任务,对于无人机是否能飞花哨的特技动作不是很关心。另外,也因为无人机本身拥有自主飞行的能力,它所搭载的自动驾驶仪和飞行控制计算机就成了控制“大脑”的一部分,大大减轻了地面操作人员的工作负荷,使得地面操纵者能够专注于执行任务。因此,无人机的一部分“大脑”和无线电遥控航空模型一样,是地面操纵者的“大脑”,还有一部分则是安装在无人机本体上的飞行控制设备,这些机载设备可以让无人机按照预定程序沿着垂直飞行剖面和水平飞行轨迹自动飞行,甚至是自动起飞和自主降落,这是无人机和无线电遥控航空模型最主要的区别。无人机是空中飞行的机器人,它隶属于更为广泛的机器人范畴。图 1-5 所示为韦加无人机公司生产的翔宇型固定翼无人机。

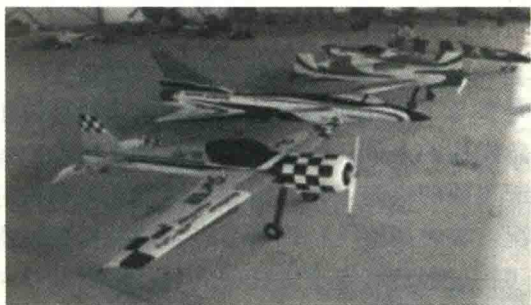


图 1-4 无线电遥控航空模型

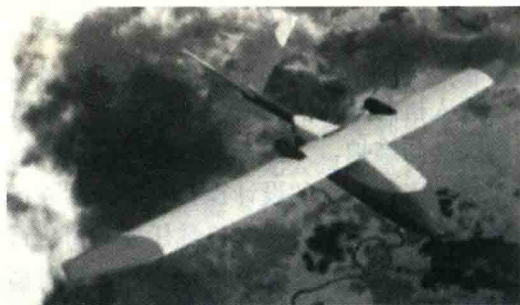


图 1-5 翔宇型固定翼无人机

1.2 无人机的广义定义

人工智能从诞生以来,其理论和技术日益成熟,应用领域也不断扩大,可以设想,未来人工智能带来的科技产品,将会是人类智慧的“容器”。人工智能可以对人的意识、思维的信息过程进行模拟。人工智能不是人的智能,但是能像人那样思考,也可能超过人的智能。

人工智能是引领新一轮科技革命和产业变革的战略性技术,加快发展新一代人工智能是事关我国能否抓住新一轮科技革命和产业变革机遇的战略问题。当前,人工智能正在全球范围内蓬勃兴起。据推算到 2030 年,人工智能将贡献 15.7 万亿美元的全球经济,而中、美两国将占据其中的 70%。准确预判人工智能发展对产业结构转型升级和要素收入分配格局的影响,对于推动我国经济实现高质量发展具有重要的现实意义。人工智能是一种通用技术,具有基础设施的外溢性特征。通用技术是全面影响经济各个产业的具有基础性

和通用性特征的技术，如推动三次工业革命的蒸汽技术、电力技术和信息技术。作为推动第四次工业革命的通用技术，“人工智能具有溢出带动性很强的‘头雁’效应”。这意味着虽然人工智能应用的是市场化运作，但是人工智能的外溢性特征要求政府进行必要的投资建设。当前，全球主要经济大国均将人工智能视为赢得国家科技竞争力的重要抓手，提升到了国家战略规划的高度，投入大量资金用于人工智能研发。

现在提到人工智能，人们想到最多的就是无人机。而现在各种无人机的种类层出不穷，人们也纷纷瞄准了无人机市场。但并不是所有的无人机都是人工智能的，通常情况下，无人机被理解为“无人驾驶的飞机”，实际上，应当把它理解为“机器人”的一种。它可以代替人们前往那些不适合人类前往的区域，开展如调查、探索、救援等人们期望其能够完成的工作。按照运行空间的不同，我们可以把各种在太空、地外天体、地球大气层、地(水)面、地(水)下、某一系统(内)外运行的，通过遥控方式或原始设定的程序自行执行相应任务各类无人载具定义为更广义的无人机，这里的“机”不再是单纯的“飞机”，而是“机器人”。

机器人(Robot)是指能自动完成工作的机器装置，可以通过无线或有线方式接受人类直接指挥控制、通过运行储存在自身内部预先编排的程序来执行任务，也可以根据以“人工智能技术”制定的原则、纲领来自行决定任务的执行方式和顺序。机器人的核心任务就是协助或取代人类进行工作(例如，在制造业、建筑业，或是危险的区域工作)。机器人是整合“控制、机械、电子、计算机、材料和仿生学”的高级产物，目前在工业、医学、农业甚至军事等领域中均有重要用途。图 1-6 所示为本田公司研发的 ASIMO 机器人。

目前，已经有越来越多的机器人进入我们的日常生产和生活。它们有的在工厂里协助人类实现大规模自动化生产制造，有的在遥远太空对未知世界进行探测，有的深入水下帮助我们搜寻飞机(舰船)残骸或科考勘察等。不难看出，人类研发的各种深空探测器、地外天体着陆器、人造卫星、无人驾驶航空器、无人驾驶船舶、无人驾驶潜航器等都可以划分到广义“无人机”的范畴。所以，对于无人机的领域，其外延是很大的。图 1-7 所示为我国研发的自动水下航行器；表 1-1 为广义无人机的划分标准。就本书而言，我们仍然只研究在大气层飞行的无人驾驶航空器。

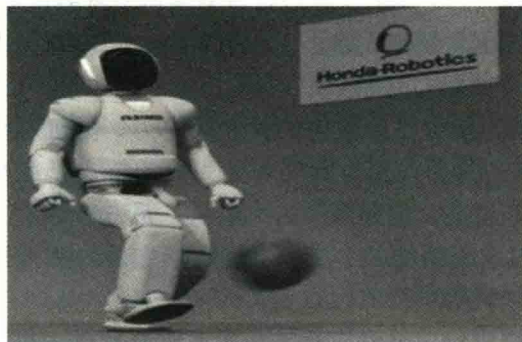


图 1-6 ASIMO 机器人

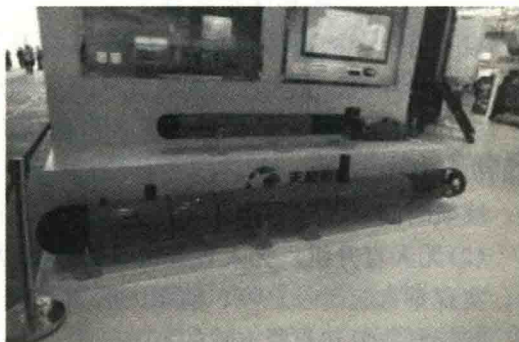


图 1-7 自动水下航行器

表 1-1 广义无人机的划分标准

运行空间	类型	任务类型	举例
太空	深空探测器	对各个天体或宇宙空间进行探测, 探索宇宙未知领域	“旅行者”1号深空探测器
	地外天体探测器	围绕各种天体运行勘测, 甚至实现降落其表面的勘察探测	“好奇号”火星着陆器
大气层	无人驾驶航空器	将各种任务设备安装在空中飞行平台上开展相应工作	“全球鹰”无人机
陆地表面	无人驾驶的车辆	将各类任务设备安装在地面车辆平台上开展相应任务	美军 MULE 后勤机器人车辆(Multifunction Utility/Logistics Equipment Vehicle)
海洋表面	无人驾驶的船舶	将各种任务设备安装在船舶平台上执行相应工作	以色列“保护者”无人水面作战舰艇
水下	无人驾驶的潜水器	将各类设备安装在水下潜航平台上完成相应任务	美国“蓝鳍金枪鱼”自主水下航行器

1.3 无人机的分类

目前无人机的用途广泛, 种类繁多, 型号各异, 各具特点, 其主要功能是由飞行平台决定的。不同平台赋予了无人机截然不同的飞行品质和特性。对于机载飞行控制设备而言, 不同用途的无人机需要不同的控制软硬件系统, 而其任务载荷和数据链系统大同小异。

1. 按飞行平台构造形式分类

按飞行平台构造形式的不同, 无人机可分为固定翼无人机、无人直升机、多旋翼无人机、无人伞翼机、无人扑翼机、无人飞艇和混合式无人机等。

(1) 固定翼无人机。固定翼无人机是指由动力装置产生前进的推力或拉力, 由机身固定的机翼产生升力, 在大气层内飞行的重于空气的无人机。固定翼无人机的特点是载重大、续航时间长、航程远、飞行速度快、飞行高度高, 但起降受场地限制, 无法悬停。

(2) 无人直升机。无人直升机是指依靠动力系统驱动一个或多个旋翼产生升力和推进力, 实现垂直起落及悬停、前飞、后飞、定点回转等可控飞行的无人机。

按旋翼数量和布局方式的不同, 无人直升机可分为单旋翼带尾桨无人机直升机、共轴式双旋翼无人机直升机、纵列式双旋翼无人机直升机、横列式双旋翼无人机直升机和带翼式无人机直升机等不同类型。

无人直升机的特点是可垂直起降、可悬停、操作灵活、可任意方向飞行, 但结构复

杂、故障率较高。与固定翼无人机相比,无人直升机飞行速度低、油耗高、载荷小、航程短、续航时间短。

(3)多旋翼无人机。多旋翼无人机是指具有三个及三个以上旋翼轴提供升力和推进力的可垂直起降无人机。

与无人直升机通过自动倾斜器、变距舵机和拉杆组件来实现桨叶的周期变距不同,多旋翼无人机的旋翼总距是固定不变的,通过调整不同旋翼的转速来改变单轴推进力的大小,从而改变无人机的飞行姿态。

多旋翼无人机的特点是结构简单、价格低、操作灵活、可向任意方向飞行,但有效载荷较小、续航时间较短等。

(4)无人伞翼机。无人伞翼机是指以伞翼为升力面,以柔性伞翼代替刚性机翼的无人机。伞翼位于全机的上方,多用纤维织物织成不透气的柔性翼面,可收叠存放,张开后利用迎面气流产生升力。

无人伞翼机的特点是体积小、速度慢、飞行高度低等。

(5)无人扑翼机。无人扑翼机是一种利用仿生原理,通过机翼主动运动模拟鸟的翅膀振动,产生升力和前行力的无人机。其特征是机翼主动运动,靠机翼拍打空气的反作用力作为升力和前行力,通过机翼及尾翼的位置改变进行机动飞行。扑翼空气动力学尚未成熟,无人扑翼机的材料和结构也有待进一步研发改进。

(6)无人飞艇。无人飞艇是一种轻于空气、具有操纵和推进系统的无人机。

无人飞艇可分为硬式、半硬式和软式三种类型。现代无人飞艇多为软式无人飞艇。软式无人飞艇一般由气囊、辅助气囊、吊舱、推进装置及尾翼、方向舵和升降舵等组成。其中,气囊由涤纶、聚酯纤维等人造材料组成,里面充满了轻于空气的气体,如氢气、氦气;辅助气囊通过充气和放气来控制与保持飞艇的形状及浮力;吊舱位于飞艇下方,里面装有发动机;推进装置为飞艇的起飞、降落和空中悬停提供动力;尾翼、方向舵和升降舵为飞艇提供机动能力。无人飞艇最大的优势是滞空时间和静音性能,但也存在造价高、速度过慢等问题。

(7)混合式无人机。混合式无人机是指混合以上两种或多种平台构造形式的无人机。

倾转旋翼无人机就是一种最典型的混合式无人机,它在类似固定翼无人机的机翼处安装可在水平位置和垂直位置之间转动的倾转旋翼系统组件。当倾转旋翼无人机垂直起降时,旋翼轴垂直于地面,呈横列式直升机飞行状态,并可在空中悬停、前后飞行和侧飞;当飞行达到一定速度后,旋翼轴可倾转 90° 呈水平状态,旋翼当作拉力螺旋桨使用,此时倾转旋翼无人机能像固定翼那样以较高的速度进行远程飞行。

倾转旋翼无人机兼具固定翼机和旋翼机的优点,具有垂直起降、空中悬停和高速巡航飞行的能力。

2. 按应用领域分类

按应用领域的不同,无人机可分为军用无人机、民用无人机和科研无人机。

(1)军用无人机。军用无人机是指应用于军事领域的无人机。无人机最早起源和应用于军事领域,军用无人机具有较强的技术保密性和垄断性。

军用无人机按用途可分为靶机、侦察无人机、诱饵无人机、电子对抗无人机、通信中继无人机和无人战斗机等。

(2)民用无人机。民用无人机是指应用于民用领域的无人机。与军用无人机的百年历史相比,民用无人机技术要求低,更注重经济性。军用无人机技术的民用化降低了民用无人机的市场进入门槛和研发成本,使民用无人机得到快速发展。

民用无人机可分为消费级无人机和工业级无人机。消费级无人机主要用于个人娱乐、个人航拍、青少年科普教育等方面,强调产品的易操作性、便携性和性价比。工业级无人机主要用于各个行业应用领域,强调产品的专业性、稳定性和可靠性。

(3)科研无人机。科研无人机是指应用于科学研究、科学试验或类似用途的无人机。

3. 按飞行航程分类

按飞行航程的不同,无人机可分为超近程无人机、近程无人机、短程无人机、中程无人机和远程无人机,见表 1-2。

表 1-2 无人机的分类(按飞行航程划分)

无人机的分类	无人机的飞行航程/km	无人机的分类	无人机的飞行航程/km
超近程无人机	<15	中程无人机	200~800
近程无人机	15~50	远程无人机	>800
短程无人机	50~200		

4. 按飞行高度分类

按飞行高度的不同,无人机可分为超低空无人机、低空无人机、中空无人机、高空无人机和超高空无人机,见表 1-3。

表 1-3 无人机的分类(按飞行高度划分)

无人机的分类	无人机的飞行高度/m	无人机的分类	无人机的飞行高度/m
超低空无人机	0~100	高空无人机	7 000~18 000
低空无人机	100~1 000	超高空无人机	>18 000
中空无人机	1 000~7 000		

5. 按民航法规分类

按《民用无人机驾驶员管理规定》(AG-61-FS-2018-20R2),无人机可分为 7 类,见表 1-4。

表 1-4 无人机的分类(按民航法规划分)

无人机的分类	空机质量/kg	起飞质量/kg
I	0<空机质量/起飞质量≤0.25	
II	0.25<空机质量≤4	1.5<起飞质量≤7
III	4<空机质量≤15	7<起飞质量≤25
IV	15<空机质量≤116	25<起飞质量≤150
V	植保类无人机	
XI	116<空机质量≤5 700	150<起飞质量≤5 700
XII	空机质量/起飞质量>5 700	

6. 按运行风险分类

按国务院、中央军委空中交通管制委员会(以下简称国家空管委)组织起草并于2018年年初面向社会公开征求意见的《无人驾驶航空器飞行管理暂行条例(征求意见稿)》中的规定,根据运行风险大小,民用无人机可分为微型无人机、轻型无人机、小型无人机、中型无人机和大型无人机,具体分类见表1-5。

表 1-5 无人机的分类(按运行风险划分)

无人机的分类	无人机的运行风险
微型无人机	空机质量小于 0.25 kg,设计性能同时满足飞行真高不超过 50 m、最大飞行速度不超过 40 km/h、无线电发射设备符合微功率短距离无线电发射设备技术要求的遥控驾驶航空器
轻型无人机	同时满足空机质量不超过 4 kg、最大起飞质量不超过 7 kg、最大飞行速度不超过 100 km/h,具备符合空域管理要求的空域保持能力和可靠被监视能力的遥控驾驶航空器(不包括微型无人机)
小型无人机	空机质量不超过 15 kg,或最大起飞质量不超过 25 kg 的无人机(不包括微型无人机、轻型无人机)
中型无人机	最大起飞质量超过 25 kg 不超过 150 kg,且空机质量超过 15 kg 的无人机
大型无人机	最大起飞质量超过 150 kg 的无人机

1.4 世界无人机发展历程简述

提到无人机,最让人印象深刻的就是无人机航拍,其实无人机发展到今天,其应用范围已经非常广泛,在军事和民用等领域均有它的身影。现在随着我国经济社会的发展,无人机科技正在被更多人认识,青少年们对无人机也越来越感兴趣,但关于无人机的知识,你知道多少呢?

航空器的出现和更新是紧随航空器及其相关设备的发展历程而进行的。它与有人航空器的本质区别是必须依靠自动驾驶仪和无线电遥控技术两项技术,这两项技术的历史可以追溯得更久远,没有这两项技术,就没有现代的无人机。

早在中国山西夏县的新石器时期遗址中就已经出现了石质的陀螺,而汉朝出现了孩子们玩的玩具陀螺。18世纪,当中国的另一个玩具竹蜻蜓流传到西方后,西方把竹蜻蜓称为“中国陀螺”,可见陀螺流传到西方有着更为悠久的历史。可是在中国,长时间以来仅仅把陀螺和直升机的鼻祖——“竹蜻蜓”作为玩具(图1-8)。而在国外,高速旋转的陀螺具有空间定轴的特性逐渐被科学家发现,利用陀螺的定轴性可以测量物体的运动姿态,稳定物体的运动方向,测量方位角等,这也是自动增稳驾驶仪的理论和实践基础。

制造无人机的想法就是在第一次世界大战的背景下提出的。起初无人机仅作为训练用的靶机,但到了第二次世界大战,德军开始使用大量无人驾驶轰炸机参战。随着电子技术的进步,无人机在侦察敌情上的作用逐渐展露,并且又具有成本低、控制灵活、持续时间长的优势,各国军队便开始相继投入经费研发无人机。

从发展历史来看,无人机技术起源于20世纪初期,在第一次世界大战爆发前的1900年,已经有部分气球炸弹、靶机等研制出来。第一次世界大战的开始使得无人机技术获得了发

展机会,英美等国家都陆续开始了无人机技术的研发。如1916年,英国军事航空学会指定A. M. Low教授研发遥控无人机投弹。1917年,美国第一架无人机在纽约长滩试飞成功,但由于此类飞机仅作为炸弹使用,因而无法实现回收,也无法完成遥控操作、自主飞行等复杂任务。



图 1-8 竹蜻蜓与陀螺

此后,在1940年,更多种类的无人机获得应用。英国的蜂后无人机是无线电遥控全尺寸靶机,1934—1943年共批量生产了420架,在英国海军和陆军服役。至1950年,美国的Ryan Aeronautical Company为空军研制生产了高亚音速、喷气推进的靶机,代号Q-2“火蜂”(Firebee),是现今无人飞行器的鼻祖。1960年后,该公司按照五角大楼的要求,将一批“火蜂一号”改装成147A型(Model147A)、名为“萤火虫”(Firefly)的“特殊用途飞机”,用来执行侦察拍照任务。至1970年,美国已将无人机应用于越南战争,用以减少人员伤亡。

据文献记载,军事无人机经历了无人靶机、预编程序控制无人侦察机、指令遥控无人侦察机和复合控制的多用途无人机的发展过程,到20世纪八、九十年代开始得到广泛应用,各国制造的无人机有近百种,其起飞质量从数千克到100 kg以上,航程从数千米到上千千米,飞行速度从大于100 km/h到超声速。在20世纪90年代的海湾战争和科索沃战争中,无人机执行的多种军事任务包括照相侦察、充当诱饵、地理位置标识、布散传单等。可以说20世纪80年代后,无人机真正具备了智能化、功能多样、外形灵活的特点。

无人机的战争需求巨大,各国的研发团队在技术上也不断突破创新,20世纪后半叶实现了无人机的现代化,将无人机改良成更智能、更高速、更轻便、续航力更强的设备。到了20世纪80年代,功能越来越强大的无人机从军用拓展到民用行业。20世纪90年代以来,西方各国认识到军用无人机的巨大应用前景,开始竞相研发无人机,由此促成了无人机技术的迅猛发展。目前,美军已经装备的无人机近80种、7 000余架,包括“全球鹰”“暗星”“黑色雨燕”等长航时无人机,“影子”“指针”“先驱者”等近程无人机,“微星”“黑寡妇”等微型无人机,“捕食者”“死神”等无人作战飞机。此外,由法国、瑞典、希腊等欧洲六国联合研发的“神经元”无人作战飞机、俄罗斯的“鳐鱼”无人作战飞机、以色列的“赫尔墨斯”战役战术无人机和“哈比”反辐射无人攻击机、英国的“雷电之眼”无人机等,都是大名鼎鼎的业界翘楚。时至今日,伴随着现代科技的迅猛发展,无人机的运用也已经从最初单纯的军事领域,逐渐向民用领域拓展。如今,无人机可完成情报侦察、中继通信、电子对抗、防空、制空、精确打击等多种任务,已成为影响作战进程的重要力量。无人机已经有军用和民用两大类。

1.5 中国无人机发展历程简述

中国有着悠久的历史与灿烂的文明，曾经有过很多和航空航天技术紧密相关的发明与创造，甚至相当多的创新是远远领先于世界发展水平的，但是非常遗憾的是这些与航空航天有关的技术并没有得到有效的传承和发扬。虽然全球实用的航空技术诞生仅仅 110 多年，但是，1949 年以前的中国在世界航空航天设计领域几乎没有任何可以称道的发展。1949 年以后，我国相继建设了体系完善、门类齐全的航空工业，无人机的研发生产也在稳步推进，在各省、市、自治区及航空专业的高校内大力开展的航空模型活动为新中国的无人机技术打下了良好的基础。

1.5.1 发展历程简述

我国无人机的研制始于 20 世纪五六十年代。1966 年 12 月 6 日，“长空一号”大型喷气式无线电遥控高亚音速无人靶机首飞成功。该机型于 1976 年年底批准设计定型，之后多次改进，在此基础上改装成的核试验取样机于 1977 年圆满完成了一次核试验穿云取样任务。“长空一号”开创了我国无人机的先河。1972 年 11 月 28 日，“无侦-5”（又称“长虹 1 号”）高空高亚音速无人驾驶侦察机试飞成功。该机型于 1980 年批准设计定型，1981 年开始装备部队，1986 年在对越自卫反击战中参加实战，是到目前为止我国唯一参加过实战且在我国正式装备的无人机型号中保持着最大升限和最快飞行速度纪录的无人机。

我国无人机的研制一直着眼军民两用。用于导弹打靶和防空部队训练的“长空一号”经过适当改装，就可执行大气污染监控、地形与矿区勘察等民用任务，并在此基础上研发了 WZ-2000 隐身无人机、“蜂王”无人机和“翔鸟”无人驾驶直升机等一系列无人机，形成了目前种类繁多、用途多样的无人机研发制造体系。

目前，我国专门从事无人机行业的企事业单位超过 300 家，其中将近一半具备无人机研发、制造、销售和服务体系。已经研制并投入使用的无人机型多达百余种，小型无人机技术已逐步完善，战略无人机已成功试飞，攻击无人机也已多次成功试射空地导弹。据统计，2002 年至 2015 年 7 月，我国与无人机相关的专利申请共 15 245 件。其中，新型专利占比 37.48%，发明型技术专利占比 57.39%，外观型专利占比 5.13%。从我国无人机专利技术情况来看，在国家政策的大力扶持下，近年来我国无人机产业快速发展，技术水平不断提升，相关专利数量也在不断增长。如图 1-9 所示，2021 年我国无人机相关专利申请数量为 18 775 项，较上年减少 976 项。

另外，我国无人机的发展还存在以下一些问题：

(1) 行业规划与规范问题。存在低水平重复投资、高端项目攻破困难等问题。

(2) 发动机瓶颈问题。发动机的问题在很大程度上制约着我国无人机的发展，涡扇发动机是未来应用的主要走向，目前我国与国外的差距较为明显，达不到无人机对飞行速度、航时等指标的要求。

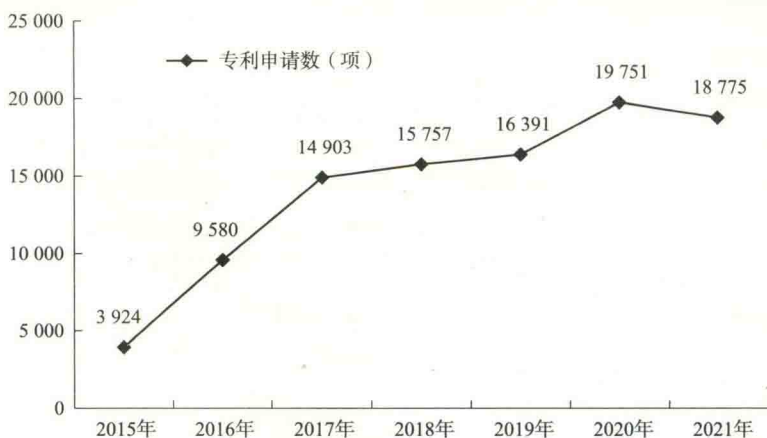


图 1-9 2015—2021 年我国无人机相关专利申请数量情况

(3) 无人机行业人才紧缺。根据中国民航局飞行标准司日前发布《中国民航驾驶员发展报告 2021》显示，无人机驾驶员执照数量 2021 年已达 120 844 本，其中多旋翼无人机执照数量最多，为 110 794 本，固定翼执照 3 917 本，直升机执照 2 363 本，垂起固定翼执照 3 764 本。2021 年无人机驾驶员执照全年增长数量为 30 466 本，相比 2020 年增长近 50%。按照无人机千亿的市场规模，无人机驾驶员的数量远远达不到市场需求。

1.5.2 国内民用无人机的兴起

20 世纪 90 年代起，我国经济迎来了发展的新高峰。随着无线电遥控模型运动的推广和普及，发展进程加快，90 年代初从各省、市退出的航模职业队的专业选手中，一些人开办了模型生产企业，得益于这些优秀的运动员和教练员对航空模型的深刻理解，他们开办的企业很快成为中国模型生产产业的骨干。这些骨干力量紧随市场潮流研发各种类型的航空模型，当然也开始涉足无人机的研发制造领域，近年随着无人机热而新办起来的一批无人机企业也推进了中国模型生产的迅猛发展，在全国各地涌现出多家航模器材厂家或者无人机公司。“全世界 80% 的航空模型或者相关零部件、设备都由中国企业生产”，这一现实大大降低了航空模型在中国市场流通中的价格，带动了我国航空模型产业乃至无人机的发展。同时，也为广大航模运动的爱好者在挑选器材时提供了极大便利，特别是在我国珠海、深圳等南方城市，市场的产业链条集中优势更加明显，这些航模或无人机企业也与很多高校、航校保持着密切联系，这些企业的努力促进了航模器材在我国大众间的普及，也进一步推动了民用无人机的发展，逐步开创了我国民用无人机走出军工体系，面向民用消费市场的局面。

早期民用无人机需要的飞行控制系统绝大部分依赖进口，当时的民用无人机尚未形成完善产业链条，部分附件价格高，进口飞行控制软硬件价格更是不菲，整个无人机系统调试复杂，训练难度大，交付客户后续问题较多。当时很多无人机研发团队一边研发，一边利用自己的无人机产品进行各种服务，发现了问题再进行修正。随着航模主动控制技术的发展，进口的轻小型自动增稳系统也开始出现在市场上，我国市场上也逐步出现了数传电台、图传电台、增程天线等设备，很快就大量出现了利用此类设备的无线电遥控航空模