

全彩
印刷

四旋翼无人机 的制作与飞行

戴凤智 王璇 马文飞 编



化学工业出版社

四旋翼无人机 的制作与飞行

戴凤智 王璇 马文飞 编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

四旋翼无人机的制作与飞行 / 戴凤智, 王璇, 马文飞
编. —北京: 化学工业出版社, 2018.9

ISBN 978-7-122-32572-3

I. ①四… II. ①戴…②王…③马… III. ①旋翼
机-无人驾驶飞机-制作②旋翼机-无人驾驶飞机-飞
行控制 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第147215号

责任编辑: 宋 辉
责任校对: 边 涛

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 装: 中煤 (北京) 印务有限公司

710mm×1000mm 1/16 印张10¹/₂ 字数148千字 2018年9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

天津科技大学戴凤智人工智能与机器人团队从2014年起，与化学工业出版社合作，以每年一本书的速度陆续出版了《机器人制作轻松入门》《Arduino轻松入门》《机器人设计与制作》《用MATLAB玩转机器人》。从众多读者的反馈可以看出，大家对机器人已经从好奇发展到了动手制作，这让我们深感振奋。而随着民用化程度的不断深入，无人机更是飞入了大众的视野，让越来越多的电子发烧友实现自己的飞行梦。

作为无人机爱好者，有些人可能并不希望直接购买无人机，而是希望通过学习无人机的相关知识后亲手制作一台无人机。这就要面对如下的问题：无人机由什么组成，如何选择无人机的各种零件，如何组装一台无人机，如何调试无人机，如何操作无人机飞行，等等。

开始制作无人机之前，仔细选择各种零件非常重要，如果选择不当，在后面的组装和调试中很容易出现问题。比如，你可能会发现所选电调的插头不能与电机匹配、电机的参数不能满足无人机的工作要求、所选遥控器的控制通道数不足等。所以，在准备组装你的“战机”之前，需要对无人机有一个比较全面的了解，对选用的器件心中有数。

本书就是帮助读者解决以上问题的。全书共分5章，内容和整体结构安排如下。

第1章介绍了飞行器，特别是无人机的发展历史、无人机的分类以及无人机的应用领域，以激发读者的阅读兴趣，让读者能够更好地了解和学习无人机制作。

第2、第3章先后介绍了无人机的飞行原理、硬件组成、硬件配置以及无人机的组装和调试。通过这两章的学习使读者能够学会如何



选择和搭配无人机的各种零部件，学会怎样组装和调试无人机。

第4、第5章介绍了无人机的飞行操作及无人机在使用过程中所遇到问题的解决方法。安排这两章的目的是让读者逐步学会无人机飞行的操作方法和解决无人机使用过程中可能遇到的问题。这两章也可以作为资料随时供玩家查阅参考。

为方便读者学习，本书配套了演示视频，读者通过扫描书中相应二维码可获取详细的无人机制作、试飞视频教程，让学习变得更加深入、更有乐趣。

另外，扫描本书前言中的二维码，读者还可以获得APM全部参数表。

本书在编写和修改过程中，得到了天津市科技支撑计划项目（14ZCZDSY00010），天津市教委和教改项目（20120831，20140710，171005704B）的支持。本书内容在本人负责的“培养以‘教学-竞赛-科研’为支撑的‘人工智能’新形势下的创新型人才”项目中进行了实验验证。

在书籍的编写和修改过程中，特别感谢天津科技大学的孟宇对本书的指导和帮助，同时感谢龚彩霞、马赛飞、刘东鹏、卢建、刘前程、史越、陈超、江涛、张迎、欧雪、顾宗亮等对本书提出的宝贵建议和帮助。天津浩芝蓝机器人科技有限公司和天津天科智造科技有限公司提供了技术支持，在此一并表示感谢。

如果您对本书在编写和内容方面有什么疑问，可以发邮件到 daifz@163.com 联系我们。如果您需要提供无人机制作和飞行控制上的技术支持，可以发邮件到 1123372732@qq.com 获得帮助。

由于我们水平有限，书中难免存在不足，敬请各位读者批评指正。

编者



第 1 章 初见——认识无人机 / 1

- 1.1 飞行器发展简史 / 1
 - 1.1.1 飞行器的诞生 / 1
 - 1.1.2 飞行器的定义及分类 / 2
 - 1.1.3 飞行器的发展 / 4
- 1.2 无人机简介 / 5
 - 1.2.1 军用无人机 / 5
 - 1.2.2 民用无人机时代的到来 / 7
 - 1.2.3 外形各异的无人机 / 7
 - 1.2.4 无人机的应用领域 / 14

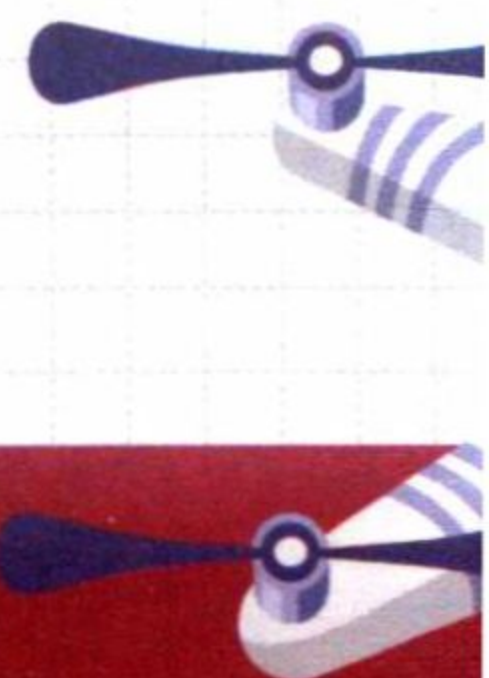
第 2 章 认知——四旋翼无人机的飞行原理及硬件配置 / 16

- 2.1 四旋翼无人机的飞行原理 / 16
- 2.2 四旋翼无人机的硬件组成 / 20
 - 2.2.1 机架 / 20
 - 2.2.2 飞控板 / 23
 - 2.2.3 GPS 定位器 / 33
 - 2.2.4 无刷电机 / 34
 - 2.2.5 螺旋桨 / 36
 - 2.2.6 无刷电子调速器 / 38

- 2.2.7 电池 / 40
- 2.2.8 遥控器 / 41
- 2.3 四旋翼无人机的硬件配置 / 42
 - 2.3.1 机架的选取标准 / 42
 - 2.3.2 飞控板、GPS 模块的选取 / 42
 - 2.3.3 无刷电机及螺旋桨的搭配 / 44
 - 2.3.4 电子调速器的选择 / 45
 - 2.3.5 电池的选择 / 46
 - 2.3.6 遥控器的选择 / 46

第 3 章 操作——四旋翼无人机的安装及调试 / 48

- 3.1 机架的组装 / 49
 - 3.1.1 学习组装无人机机架是入门第一步 / 49
 - 3.1.2 F450 机架的组装 / 49
- 3.2 电调和供电线的焊接 / 55
 - 3.2.1 电调的焊接 / 55
 - 3.2.2 电源供电线的焊接 / 58
- 3.3 入门级开源飞控 APM 的装机及调试 / 60
 - 3.3.1 整机的组装 / 60



- 3.3.2 利用开源地面站调试无人机 / 84
- 3.4 入门级闭源飞控NAZA lite的装机及调试 / 107
 - 3.4.1 NAZA lite的装机 / 108
 - 3.4.2 利用闭源地面站调试无人机 / 115

第4章 实验——四旋翼无人机的试飞 / 127

- 4.1 无人机试飞前的检查及飞行注意事项 / 127
 - 4.1.1 无人机试飞前的检查 / 127
 - 4.1.2 试飞无人机时要牢记的注意事项 / 130
- 4.2 四旋翼无人机飞行的操作步骤 / 130
 - 4.2.1 无人机的起飞 / 130
 - 4.2.2 无人机的上、下、前、后、左、右运动 / 131
 - 4.2.3 无人机的降落 / 136
- 4.3 四旋翼无人机的飞行技巧及心得分享 / 136
 - 4.3.1 天气因素对飞行的影响 / 136
 - 4.3.2 不同飞行模式下的飞行效果及使用体会 / 137
 - 4.3.3 如何操作遥控器能让无人机飞行平稳 / 139
 - 4.3.4 飞行无人机应该选择什么样的场地 / 139

目

录

Contents

第5章 解惑——四旋翼无人机常见问题及解决方法 / 141

- 5.1 地面站 / 141
 - 5.1.1 开源地面站部分参数的中文注释 / 141
 - 5.1.2 地面站常见的报错提示及解决方法 / 151
- 5.2 无人机装机 / 153
 - 5.2.1 机架强度对飞行的影响 / 153
 - 5.2.2 无人机的重心对飞行的影响 / 154
 - 5.2.3 无刷电机的性能对飞行器的影响 / 154
- 5.3 无人机调试 / 155
 - 5.3.1 PID参数对无人机飞行状态的影响 / 155
 - 5.3.2 常见的非理想飞行状态及其调试方法 / 158

参考文献 / 160

第1章

初见——

认识无人机



1.1 飞行器发展简史

1.1.1 飞行器的诞生

人类很早就有像鸟类一样在空中飞行的理想。2000多年前中国人发明的风筝（图1-1），虽然不能把人带上天空，但它是世界上最早的飞行器。还有中国的孔明灯，古希腊的阿尔希塔斯所制造的机械鸽、澳大利亚的飞去来器都表现出人类强烈的飞天愿望及为之付出的不懈努力。

现代飞行器的发展，得益于18世纪第一次工业革命带来的科学

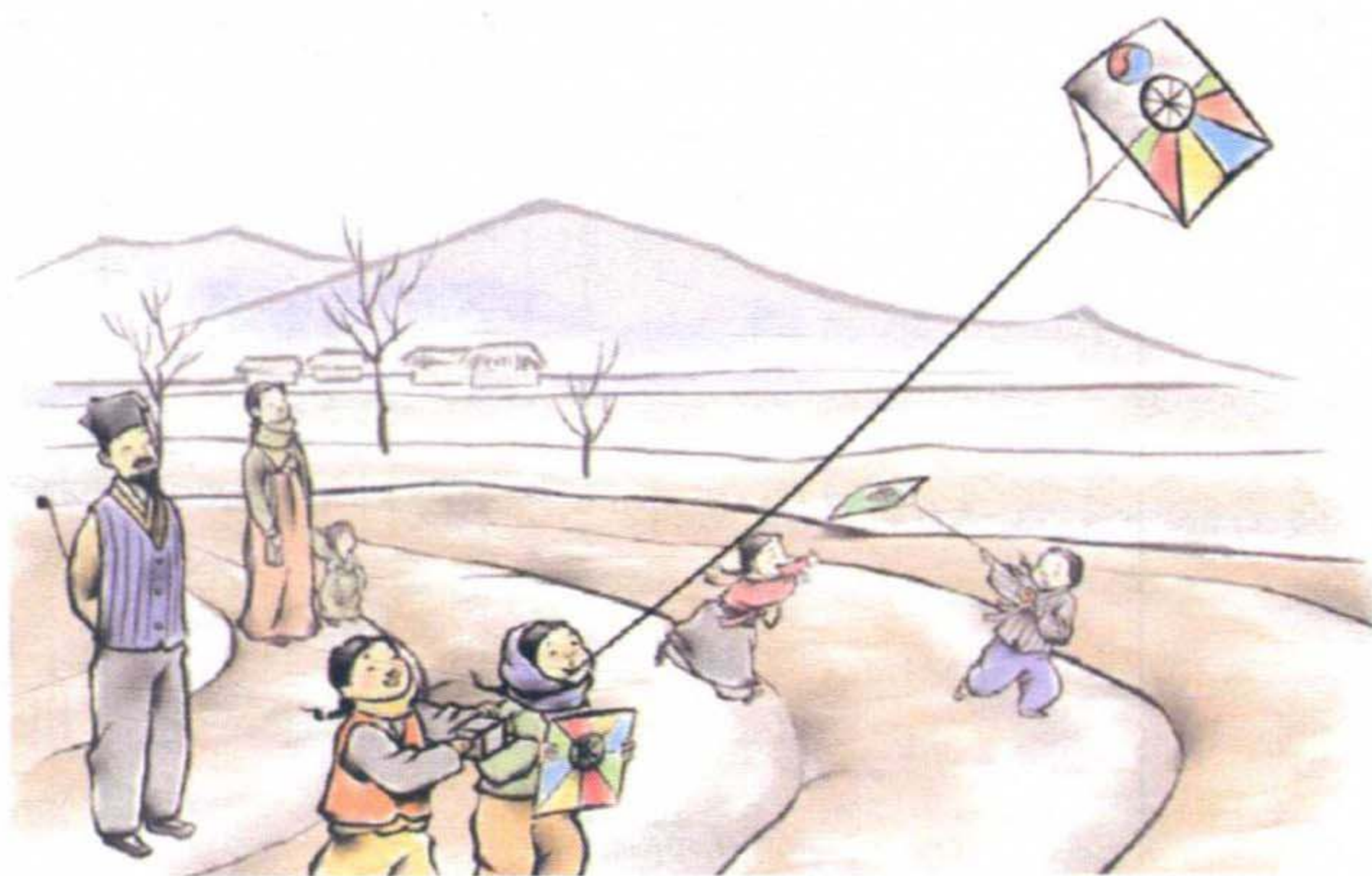


图1-1 风筝



和技术的巨大飞跃。随着内燃机的发明和广泛应用，人类在空中的飞行梦想也逐渐成为可能。美国的莱特兄弟率先在美国制造出能够飞行的“飞行者”1号（图1-2），完成了重于空气的航空器第一次持续可控的动力飞行。随后，飞机及其相关的科学和技术得到了飞速发展。

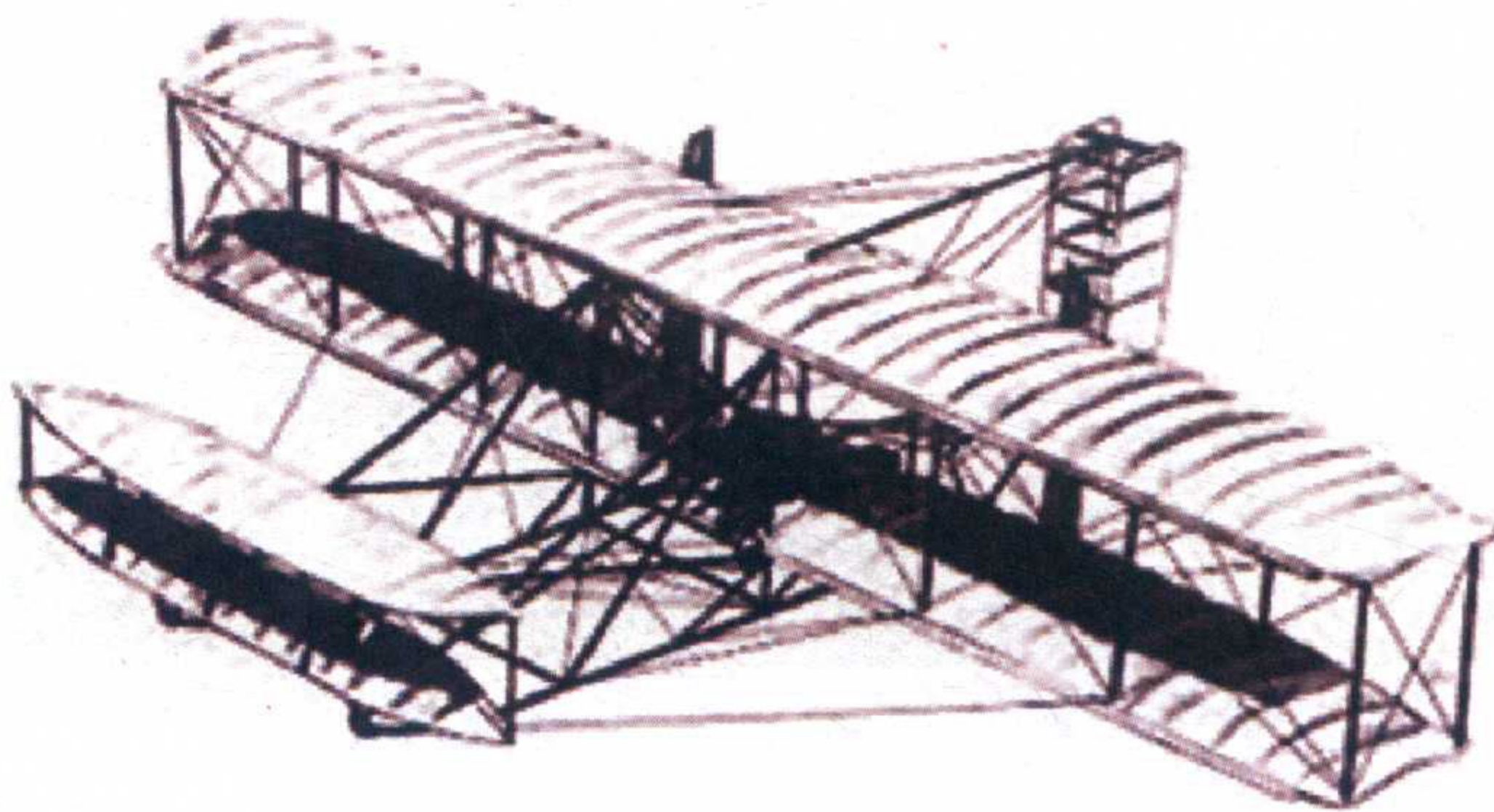


图 1-2 莱特兄弟制造的第一架飞机——“飞行者”1号

1.1.2 飞行器的定义及分类

飞行器是由人类制造、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空间（太空）飞行的机械飞行物。

飞行器具体分为5类：航空器、航天器、火箭、导弹和制导武器，如表1-1所示。

表 1-1 飞行器分类

名称	特点	飞行原理	分类
航空器	在大气层内飞行	靠空气的静浮力或飞行器与空气相对运动产生的空气动力升空飞行	<p>可划分为两大类：①是轻于空气的航空器，如气球和飞艇。②是重于空气的航空器，如固定翼航空器、旋翼航空器、扑翼机、倾转旋翼机。</p> <p>固定翼航空器又细分为滑翔机及飞机。旋翼航空器又细分为直升机及自转旋翼机</p>

续表

名称	特点	飞行原理	分类
航天器	在外太空飞行	在运载火箭的推动下获得一定的速度得以进入太空,然后在引力作用下完成轨道运动	按照应用领域具体分为军用航天器、民用航天器和军民两用航天器。 这三种航天器又都可以分为无人航天器和载人航天器。无人航天器分为人造地球卫星、空间探测器和货运飞船。载人航天器分为载人飞船、空间站和航天飞机、空天飞机等
火箭	以火箭发动机为动力	是以热气流高速向后喷出,利用产生的反作用力向前运动的喷气推进装置。它自身携带燃烧剂与氧化剂,不依赖空气中的氧助燃,既可在大气中,又可在外层空间飞行	①按能源不同,分为化学火箭、核火箭、电火箭以及光子火箭等。化学火箭又分为液体推进剂火箭、固体推进剂火箭和固液混合推进剂火箭。②按用途不同分为卫星运载火箭、布雷火箭、气象火箭、防雹火箭以及各类军用火箭等。③按有无控制分为有控火箭和无控火箭。④按级数分为单级火箭和多级火箭。⑤按射程分为近程火箭、中程火箭和远程火箭等
导弹	是一种携带战斗部,依靠自身动力装置推进,由制导系统导引控制飞行航迹的飞行器	导弹推进系统为导弹提供推力,通常分为火箭发动机和吸气喷气发动机两大类。前者同火箭的飞行原理,后者是利用燃料燃烧时产生的气体高速喷射而产生动力	主要有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按作战任务分为:战略导弹、战术导弹。②按射程分为:近程导弹、中程导弹、远程导弹、洲际导弹。③按弹道特性分为:弹道导弹、飞航式导弹。④按发射点和目标位置分为:地面、空中、舰艇(水面)、潜艇(水下)。因此,导弹又可分为地对地、地对空、岸对舰、空对地、空对空、空对舰导弹等



续表

名称	特点	飞行原理	分类
制导武器	精确制导武器，是以微电子、电子计算机和光电转换技术为核心的，以自动化技术为基础发展起来的高新技术武器，它是按一定规律控制武器的飞行方向、姿态、高度和速度，引导战斗部准确攻击目标的各种武器的统称	导弹推进系统为导弹提供推力，通常分为火箭发动机和吸气喷气发动机两大类。前者同火箭的飞行原理，后者是利用燃料燃烧时产生的气体高速喷射而产生动力	如末敏弹、制导炮弹等。 精确制导武器从总体上可以分为两大类：①导弹。②精确制导弹药（可分为末制导弹药和末敏弹药）。 末制导弹药通常分为制导炸弹、制导炮弹、制导鱼雷三种。末敏弹药主要包括制导地雷等

1.1.3 飞行器的发展

正在到来的第四次工业革命使人类进入“无人机时代”。无人机的发展始于军事领域。20世纪60年代，美国军方率先使用无人机进行运输、侦查、攻击等。之后，无人机被许多国家运用并且不断创新。目前，我国的军用无人机在技术上已经能够通过遥控准确无误地击中目标。

无人机由军用进入民用领域后，用途十分广泛。地质勘探、电网巡检、交通流量统计、大气污染检测等，都可以借助无人机完成。灾害发生时，无人机可快速飞至救灾人员无法抵达的现场实施救援。

近年来，随着纳米、仿生机器人技术的突飞猛进，出现了外形似鸟或昆虫的微型无人机，如纳米蜻蜓无人机，翼展仅5cm，可从窗户飞进飞出。也许数年之后，停在你书房角落里的一个蜘蛛，飞行的一只苍蝇，或者一只小鸟，正是一架微型的仿生无人机！

无人机的时代正在到来，它会走向何方？这不单是政府应该思考的问题，也是所有人应该思考的问题。

就飞行器而言，空天飞行器（Aerospace Vehicle）是航空航天飞行器的简称，它将是未来飞行器发展的重点。

从商业意义来看，发展空天飞行器可以大幅降低空天之间的运输

费用。据估计，空天飞行器的运输费用至少可以降到航天飞机的1/5，甚至可降到1%。实现途径有以下三点。

① 充分利用大气层中的氧，以减少飞行器携带的氧化剂，从而减轻起飞质量；

② 整个飞行器全部重复使用，除消耗推进剂外不抛弃任何部件；

③ 水平起飞，水平降落，简化起飞（发射）和降落（返回）所需的场地设施和操作程序，不受发射窗口限制，减少维修费用和管理调度成本。

空天飞行器不仅可以向空间站等空间系统补充人员、物资、燃料，提供在轨服务，把空间站内制成的产品运回地球，还可以搭载乘客进行太空旅行，方便快捷地到达世界的任何地方。此外，空天飞行器还可以对自然灾害进行快速响应。

在军事意义上，空天飞行器可以在大气层内外自由飞行，可以发展成一种全新的航空航天轰炸机、战斗机和运输机，它能在1~2小时内突破任何地面防御系统，从空间对陆、海、空目标实施精确打击，而且，空天飞行器可以长期在太空部署，可以对敌方的卫星、宇宙飞船，甚至太空站实施打击。此外，只要装备一套简单的机械手，空天飞行器就能将敌方卫星俘获；而装备导弹后，空天飞行器就能成为标准的太空战机。

1.2 无人机简介

1.2.1 军用无人机

(1) 诞生

军用无人机的诞生可以追溯到1914年。当时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，而用无线电操纵的小型飞机，使它能够飞到敌方某一目标区上空，将事先装在小飞机上的炸弹投下



去。这种大胆的设想立即得到当时英国军事航空学会理事长戴·亨德森爵士赏识。他指定由A.M.洛教授带队进行研制。1917年3月，在第一次世界大战临近结束之际，世界上第一架无人驾驶飞机在英国皇家飞行训练学校进行了第一次飞行试验。可是飞机刚起飞不久，发动机突然熄火，飞机因失速而坠毁，但A.M.洛教授并没有灰心，继续进行着无人机的研制。10年后，他终于取得成功。1927年，由A.M.洛教授参与研制的“喉”式单翼无人机在英国海军“堡垒”号军舰上成功地进行了试飞。该机载有113公斤(kg)炸弹，以每小时322公里的速度飞行了480公里。“喉”式无人机的问世在当时曾引起极大的轰动。

随着高新技术在武器装备上的广泛应用，无人机的研制取得了突破性的进展，并在几场局部战争中频频亮相，屡立战功，受到各国军界人士的高度赞誉。可以预言：在21世纪战场上，人们将面临日益增多的无人机，军用无人机将会重塑21世纪的作战模式。

(2) 特点

军用无人机作为现代空中军事力量中的一员，具有无人员伤亡、使用限制少、隐蔽性好、效费比高等特点，在现代战争中的地位和作用日渐突出。

(3) 区别

军用无人机要注意下面四个问题：首先是解决电磁散逸问题。因为无人机主要是通过无线电传输指令，消费级无人机的指令在传输时很容易被附近的敌方电子系统探测到，相当于无人机刚起飞或抵达目标上空，对手就立刻知道了，失去了无人机隐蔽接敌的意义。

其次，在航行时间上，消费级无人机与军用无人机也存在差距。军用无人机要比消费级无人机的航行时间长，因为一般侦察距离会比较长。

第三是大载荷能力。军用无人机目前最主要的使用领域是侦察和监测、测绘，无论搭载的是光电还是红外设备，这类电子吊舱重量通常在数公斤以上，远超消费级无人机的有效携带能力。

第四是保密通信问题。为防止与后方的通信链路被截断或监听，军用无人机需要装备加密电台，它的尺寸、功耗和重量也都相当可观。在执行攻击任务时，更需要连续与后方保持通信。最关键的是，在现代作战体系里，无人机不再是单一的飞行平台，而是需要嵌入整个作战系统里承担相应的任务，需要在设计之初就做好周密考量。

所以军用无人机不单单只是一个飞机，它是一个真正按照航空工业理念研发制造的航空器系统。它拥有无坚不摧、所向披靡的“战衣”和精明强干、卓尔不群的“大脑”，通过精密的运算和各部件默契的配合，完成既定的任务。

1.2.2 民用无人机时代的到来

随着生产技术的日趋成熟，无人机的造价大幅降低。有资料表明，目前迷你无人机的制造成本已降低到三年前的十分之一。因此，这类曾经带有神秘色彩的无人机，已经成为集实用与娱乐功能于一体的高端“玩具”，进入了普通人的生活。今天在网上就可以搜索到各种型号的玩具无人机，其中数千元价位的就带有GPS定位和图传功能，通过手机APP就能操控，航拍图像清晰，深受消费者青睐，具有广阔的市场前景。本书中后面介绍的无人机都是指民用无人机。

民用无人机分为消费级无人机和专业级、行业级无人机。消费级无人机主要面向普通人群。目前民用无人机市场呈现“一超多强”的状态。深圳市大疆创新科技有限公司（DJI-Innovations，简称DJI）是全球领先的无人飞行器控制系统及无人机解决方案的研发和生产商，全球每年售出的消费级无人机有近70%都是大疆的产品。

除了DJI公司，全球还有多家无人机厂商具有不容小觑的实力，比如我国的“零度”“亿航”、北美的“3D Robotics”、法国的“Parrot”。

1.2.3 外形各异的无人机

(1) 种类介绍

除了传统意义和结构的无人机外，还有各种形式、不同用途的异形无人机。



① 混合布局无人机

混合布局无人机就是将旋翼机和固定翼融合在一起。兼具两种无人机长处，如图1-3所示。这种无人机的工作模式分为四旋翼垂直起降模式和固定翼高速巡航模式。在四旋翼垂直起降模式下，四个旋翼系统工作，提供垂直起飞和降落的动力；在固定翼高速巡航模式下，机身推进系统提供巡航动力。这两种模式使得混合布局无人机可以像直升机一样无需跑道就能起飞和降落，又可以像固定翼飞机一样进行高速、长时间和远距离巡航作业。适用于山区空地、城市道路和楼顶、舰船甲板等狭小区域进行起飞和降落，可以携带多种任务载荷完成多种作业任务，极大扩展了无人机应用范围。



图1-3 76页转旋翼混合布局无人机

② 涵道风扇无人机

所谓“涵道”就是气流管道，有降低气动损耗、稳定气流输出的作用。无人机以涵道风扇为结构主体和动力系统，飞行控制机理与其他多旋翼无人机有所不同。其动力系统采用类似运载火箭的飞行原理，通过涵道内部和尾部的导流板、舵面来实现无人机的姿态稳定控