

高校无人机应用技术专业新形态系列教材（总主编：何先定 刘建超 李屹东）

无人机 系统概论

（活页式）

主 编 何先定 许云飞 尹子栋
副主编 姚慧敏 李兴红



课程思政



活页式



新形态



课件



微课



校企合作

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

无人机系统概论 / 何先定, 许云飞, 尹子栋主编
— 成都: 西南交通大学出版社, 2022.1
ISBN 978-7-5643-8468-5

I. ①无… II. ①何… ②许… ③尹… III. ①无人驾
驶飞机—高等教育—教材 IV. ①V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 253050 号

Wurenji Xitong Gailun

无人机系统概论

主编 何先定 许云飞 尹子栋

责任编辑 李 伟
封面设计 吴 兵

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段 111 号
西南交通大学创新大厦 21 楼)

邮政编码 610031
发行部电话 028-87600564 028-87600533
网址 <http://www.xnjdcbs.com>
印刷 四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 11.5
字数 266 千
版次 2022 年 1 月第 1 版
印次 2022 年 1 月第 1 次
定价 35.00 元
书号 ISBN 978-7-5643-8468-5

课件咨询电话: 028-81435775

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

高校无人机应用技术专业新形态系列教材

编写委员会

主任委员

刘建超 国家教学名师 成都航空职业技术学院

副主任委员

何敏 云影系列无人机总设计师 成都飞机工业(集团)有限责任公司
李屹东 翼龙系列无人机总设计师 中航(成都)无人机系统股份有限公司
李中华 国家英雄试飞员 中国人民解放军空军指挥学院
冯文全 北京航空航天大学
任斌 成都纵横自动化技术股份有限公司
董秀军 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室
张秦罡 自然资源部第三航测遥感院

总主编

何先定 刘建超 李屹东

执行编委(按拼音排序)

陈世江	重庆电子工程职业学院	江启峰	西华大学航空航天学院
李乐	国网乐山供电公司	李兴红	成都理工大学工程技术学院
刘清杰	四川航天职业技术学院	卢孟常	贵州航天职业技术学院
王福成	黑龙江八一农垦大学	王晋誉	上海民航职业技术学院
王利光	成都纵横大鹏无人机科技有限公司	王永虎	重庆交通大学
魏永峭	兰州理工大学	吴道明	重庆航天职业技术学院
许云飞	成都航空职业技术学院	徐绍麟	云南林业职业技术学院
查勇	天府新区通用航空职业学院	周军	厦门大学

委员(按拼音排序)

陈宗杰	成都航空职业技术学院	戴升鑫	成都航空职业技术学院
邓建军	成都航空职业技术学院	段治强	成都航空职业技术学院
范宇航	成都航空职业技术学院	房梦旭	成都航空职业技术学院
冯成龙	成都航空职业技术学院	付鹏	成都纵横大鹏无人机科技有限公司
何达	成都航空职业技术学院	何国忠	四川航天中天动力装备有限责任公司
何云华	成都工业学院	胡浩	天府新区航空旅游职业学院
姜舟	成都航空职业技术学院	蒋云帆	西华大学航空航天学院

李 恒	成都航空职业技术学院	李林峰	成都纵横大鹏无人机科技有限公司
李 艳	成都航空职业技术学院	李宜康	成都航空职业技术学院
李懿珂	成都纵横大鹏无人机科技有限公司	李志鹏	中航（成都）无人机系统股份有限公司
李志异	成都航空职业技术学院	廖开俊	中国人民解放军空军第一航空学院
刘 驰	四川航天中天动力装备有限责任公司	刘 奔	成都纵横大鹏无人机科技有限公司
刘佳嘉	中国民用航空飞行学院	刘 健	山西机电职业技术学院
刘 静	重庆科创职业学院	刘明鑫	成都航空职业技术学院
刘 霞	重庆航天职业技术学院	马云峰	成都纵横大鹏无人机科技有限公司
梅 丹	中国人民解放军海军工程大学	牟如强	成都理工大学工程技术学院
潘率诚	西华大学	屈仁飞	成都西南交大研究院有限公司
瞿胡敏	四川傲势科技有限公司	任 勇	重庆电子工程职业学院
沈 挺	重庆交通大学	宋 勇	四川航天中天动力装备有限责任公司
唐 斌	成都航空职业技术学院	田 园	成都航空职业技术学院
王 聪	成都航空职业技术学院	王国汁	中航（成都）无人机系统股份有限公司
王 进	成都纵横大鹏无人机科技有限公司	王朋飞	西安航空职业技术学院
王 强	成都航空职业技术学院	王泉川	中国民用航空飞行学院
王思源	成都航空职业技术学院	王文敬	中国民用航空飞行学院
王 旭	成都航空职业技术学院	王 洵	成都航空职业技术学院
魏春晓	成都航空职业技术学院	吴 可	重庆交通大学
吴 爽	中航（成都）无人机系统股份有限公司	谢燕梅	成都航空职业技术学院
邢海涛	云南林业职业技术学院	熊 斌	重庆交通大学
徐风磊	中国人民解放军海军工程大学	许开冲	成都纵横自动化技术股份有限公司
闫俊岭	重庆科创职业学院	严向峰	成都航空职业技术学院
杨 芳	成都航空职业技术学院	杨谨源	中航教育科技（天津）有限公司
杨 琴	成都理工大学工程技术学院	杨 锐	成都纵横自动化技术股份有限公司
杨少艳	成都航空职业技术学院	杨 雄	重庆航天职业技术学院
杨 雪	成都航空职业技术学院	姚慧敏	成都航空职业技术学院
尹子栋	成都航空职业技术学院	游 奎	成都纵横大鹏无人机科技有限公司
张 捷	贵州交通技师学院	张 梅	成都农业科技职业学院
张 松	四川零坐标勘察设计有限公司	张惟斌	西华大学
张 伟	成都纵横大鹏无人机科技有限公司	赵 军	重庆电子工程职业学院
郑才国	成都理工大学工程技术学院	周 彬	重庆电子工程职业学院
周佳欣	成都航空职业技术学院	周仁建	成都航空职业技术学院
邹晓东	中航（成都）无人机系统股份有限公司		



前言

PREFACE

无人机产业是现代航空航天技术与网络通信技术、人工智能、大数据融合发展形成的战略新兴产业。在百年未有之大变局下，无人机装备对部队战斗力生成，提升国家安全的作用更加突出。习近平主席在空军航空大学视察参观时讲话“要加强无人作战研究，加强无人机专业建设，加强实战化教育训练，加快培养无人机运用。”“十三五”以来，无人机从军用到民用、从消费领域到工业领域，得到极为广泛的应用，众多产业通过“无人机+”增值赋能，实现了产业升级换代。众多省市均在产业规划中将无人机产业定性为须着力打造的极具发展潜力的优势产业。随着无人机系统在军民领域的广泛应用，无人机市场规模和应用领域不断扩大，除了消费级无人机的持续火热，工业级无人机在农业、植保、航测、警用、电力、能源、环保、应急、人工影响天气等领域成为新的热点。

本书按走近无人机系统、无人机可以干什么、无人机发展简史、无人机的组成、如何成为无人机领域的行家里手 5 个学习情境进行编写。每个学习情境采用多重循环任务框架，以情境创建、任务实施、知识点理论与方法的模式，通过实际问题与知识点结合，更好地帮助学生或读者理解无人机系统的基本概念、基础知识，快速完成无人机系统知识技能体系的自我建构。另外，本书还系统设计了课程思政内容，将家国情怀、航空文化、航空职业素养与无人机系统的发展历程、专业术语、技术技能体系、典型机型构型、行业应用、未来发展趋势等内容有机融合。本书可作为高校无人机应用技术及相关专业的配套教材或参考教材，也可作为无人机培训教材和无人机爱好者的参考书。

本书由何先定、许云飞、尹子栋担任主编，姚慧敏、李兴红担任副主编。本书在编写过程中得到了国内外各大主流无人机厂家及相关兄弟院校的大力支持，同时编者参阅了众多专业学者、无人机研制及使用单位和院校的文献资料，在此表示真诚的感谢。由于无人机体现广而大，编者水平有限，编写过程中难免存在疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编者

2021年9月

于成都航空职业技术学院

目录

CONTENTS

学习情境 1	走近无人机系统	001
项目 1	课前思考及准备	001
任务 1	提前了解并说出 3 种无人机型号	001
任务 2	预习飞机的基本组成	001
项目 2	走近翼龙系列无人机系统	002
任务 1	去看看翼龙无人机	002
任务 2	知识拓展	003
项目 3	飞一飞大疆无人机	006
任务 1	通过实践了解大疆无人机	006
任务 2	知识拓展	008
项目 4	聊聊垂起固定翼无人机	009
任务 1	通过实践了解垂起固定翼无人机	009
任务 2	知识拓展	011
项目 5	拓展项目	012
学习情境 2	无人机可以干什么	017
项目 1	无人机的军事用途	018
任务 1	了解并制作 MQ-9 无人机发展介绍的幻灯片	018
任务 2	撰写纳卡冲突中无人机应用的论文	023
任务 3	无人机地面站	028
任务 4	其他无人机机型介绍	028
项目 2	无人机在测绘勘探巡检领域的应用	032
任务 1	收集无人机倾斜摄影相机的应用场景案例	032
任务 2	收集无人机激光雷达的应用场景案例	036
项目 3	用无人机实现城市三维实景建模、物流与运输	042
任务 1	用无人机实现城市三维实景建模	042
任务 2	用无人机进行物流与运输	043

项目 4 用无人机进行智慧农业，服务于乡村振兴	049
任务 1 了解农业生产现状，思考无人机如何推动智慧农业发展	050
任务 2 详细了解并学习无人机如何进行植保作业	051
任务 3 了解并学习无人机如何进行农场放牧	052
项目 5 无人机近年来的非凡表现	055
任务 1 分组收集无人机应用典型案例	055
任务 2 知识拓展	058
项目 6 拓展项目	060
学习情境 3 无人机发展简史	065
项目 1 课前思考与准备	065
任务 1 飞机的起源	065
任务 2 中国航空简史	066
项目 2 无人机的过去	072
任务 1 学习与掌握	072
任务 2 知识拓展	076
项目 3 无人机的现在	079
任务 1 学习与掌握	079
任务 2 知识拓展	088
项目 4 无人机的未来	100
任务 1 学习与掌握	100
任务 2 知识拓展	102
项目 5 拓展项目	118
学习情境 4 无人机的组成	123
项目 1 课前思考与准备	123
任务 1 系统的概念	123
任务 2 系统工程的概念	124

项目 2 大中型无人机的组成	124
任务 1 大中型无人机的系统组成	124
任务 2 知识拓展	132
项目 3 小型无人机的组成	142
任务 1 学习与掌握	142
任务 2 知识拓展	144
项目 4 拓展项目	152
学习情境 5 如何成为无人机领域的行家里手	157
项目 1 无人机产业发展与无人机专业体系	157
任务 1 了解无人机产业发展	157
任务 2 了解无人机应用技术专业人才培养体系	158
任务 3 走出课堂，走进企业	161
项目 2 无人机职业资格	161
任务 1 了解无人机四大证书	161
任务 2 了解无人机 1+X 证书	163
项目 3 拓展项目	168
参考文献	174



学习情境 1

走近无人机系统

项目 1 课前思考及准备

任务 1 提前了解并说出 3 种无人机型号

无论是在战场上，还是在日常生活中，“无人机”越来越频繁地出现在我们的视野中。

请在预习时，通过上网搜索资料等方法，了解 3 种无人机型号，并通过小组（每组 4~5 人）方式制作无人机型号介绍的幻灯片，从型号的名称、国籍、首飞时间、用途、外形描述和主要飞行性能（如飞行高度、飞行时间和飞行速度等）等多方面进行图文并茂地介绍。

任务 2 预习飞机的基本组成

【目标要求】

知识目标

- (1) 掌握无人机的定义。
- (2) 了解军用无人机当前的主要用途。
- (3) 了解无人机在我国国民经济发展中所起的作用。
- (4) 掌握固定翼与旋翼机的差别。

技能目标

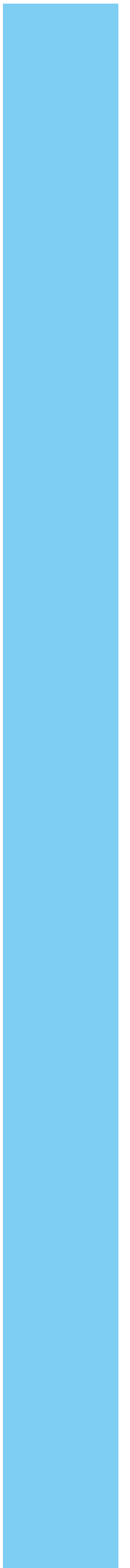
- (1) 通过搜索引擎和关键词等方法获取与无人机相关的知识。
- (2) 通过工具软件绘制相关知识的思维导图。
- (3) 利用 PowerPoint 等软件制作简报。

思政目标

- (1) 了解我国在无人机领域的发展，树立“四个自信”。

002

(2) 能够通过团队合作，在规定的时间内按规定的目标，分工完成任务目标。



项目 2 走近翼龙系列无人机系统

翼龙系列中空长航时、侦察/打击一体化多用途无人机满足军民需求。该无人机系统具有全自主水平轮式起降和巡航飞行能力、空地协同能力、地面接力控制能力，平台飞行性能、载荷装载能力、数据传输与控制能力优秀，可适应复杂使用环境下的多种任务需求；在国际上已为用户提供了基于任务需求的多种解决方案，已成功装备多个用户，并实现大强度常态化使用和实战应用，战果显著；在国内已在人工影响天气、应急通信保障等领域深入应用，发挥着重要作用。国内航空工业翼龙系列无人机、北航长鹰系列无人机、航天彩虹系列无人机均是该类无人机的典型代表。

任务 1 去看看翼龙无人机

一、在停机坪看翼龙无人机

对有条件开展现场教学的学校，可组织学生参观停机坪上的翼龙 I/II 无人机。

引导问题 1：请观察并描述翼龙 I/II 无人机的机翼是什么形状。

引导问题 2：请观察并描述翼龙 I/II 无人机的尾翼特点，同时描述该尾翼与日常所见客机尾翼的差别。

引导问题 3：请观察并描述翼龙 I/II 无人机的发动机在哪里。

对没有条件开展现场教学的学校，可组织学生在虚拟教学环境或利用项目 1 中完成的汇报材料，对翼龙 I/II 无人机进行观察。

二、在课堂上再认识翼龙无人机

在停机坪看翼龙 I/II 无人机时，我们通过对停机坪上的翼龙 I/II 无人机的观察，初步认识了翼龙 I/II 无人机的外形，并通过几个引导问题，着重对翼龙 I/II 无人机的主要特征进行了较为细致的观察和描述。

那么，翼龙 I/II 无人机在一个从业人员的眼中又是什么样子的呢？让我们以翼龙 II 无人机为例，对其特点做一次系统梳理。

翼龙 II 无人机采用较为常见的气动外形设计方案。最引人注意的特点是翼龙 II 无人机的机翼左右两端跨度极大（见图 1-1-1）。通常我们把机翼从一侧端头到另外一侧端头的距离叫作翼展。而描述一架飞机的外形大小，除了翼展之外，还会用到全机长度和停机状态下到地面的最大高度。另外，翼龙 II 无人机的机翼不仅翼展很大，而且机翼细长，我们把这个特点叫作有比较大的展弦比。一般具有长航时性能的飞机，都会有这个特点。与之类似的还有 RQ-4、MQ-9 等无人机。



飞机长度：11 m
翼展：20.5 m

飞机高度：4.1 m
最大起飞重量：4 200 kg

最大外挂重量：480 kg
外挂点：6 个

图 1-1-1 翼龙 II 无人机

RQ-4 和 MQ-9 均是美军的无人机型号，代表了国际上较为先进的无人机技术水平。诚然，由于历史原因和工业基础等原因限制，与美国为首的西方发达航空工业国家相比，我国的航空工业还需要继续戒骄戒躁，奋起直追。但在察打无人机上，翼龙 II 无人机经过我国航空工业人员的不懈努力，已经站在了国际市场的前沿，成为我国的明星外贸产品。

任务 2 知识拓展

一、无人机系统

无人机有很多种不同的定义方法，但归根结底，能够取得共识的特点包括无人机首先是一种飞行器，同时无人机在飞行时不搭载飞行员和乘客，再次无人机的飞行一定有目的性，并通过机上搭载的任务载荷来完成这个任务。

但在现有的人类技术手段条件下，机上没有飞行员和任务载荷的操作人员，无人机光靠自身难以对所有飞行中遇到的状况进行决断。因此，无人机的飞行还需要人参与飞行决策。这就是无人机地面站的目的与作用，它保障了无人机飞行和任务的完成。

有了无人机，也有了地面站，是不是无人机就构成一个完整系统并且能够完成飞行了呢？还不够，在无人机与地面站之间，还需要一个数据链路将无人机与地面站联系起来。通过数据链路，飞行员可以在地面站获取无人机的飞行状态和机上设备的状态。而无人机也可以通过数据链路，获取飞行员在地面站内进行的各种操作。数据链路还能将无人机上搭载任务载荷的数据实时地传递到地面站，供任务载荷的操作人员对数据进行处理和进一步操作，等等。

所以，对于一个可作业的无人机系统，无人机、地面站和数据链路都是必不可少的组成部分。通常，行业内，我们用“机-站-链”这个词组来概括无人机系统的组成。

无人机是无人驾驶飞机（Unmanned Aerial Vehicle）的简称，是控制站管理的遥控飞行或自主飞行的航空器，包括无人直升机、固定翼机、多旋翼飞行器、无人飞艇、无人伞翼机等，广义地看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、太阳能无人机等。从某种角度来看，无人机可以在无人驾驶的条件下完成复杂空中飞行任务和各种负载任务，可以被看作是“空中机器人”。

通常所提的“无人机”主要指的是无人机空中飞行平台，从实际使用技术方面考虑，更重要的是“无人机系统”概念。无人机系统是指无人机空中平台及与其配套的任务设备、数据链、控制站、起飞着陆装置以及相关支持保障设备设施的功能系统。

二、固定翼飞行器的飞行原理

最常见的固定翼飞行器就是我们通常见到的飞机。大家都知道飞机是依靠机翼飞起来的。那么，机翼又是如何托起飞机的呢？是不是光靠机翼就能让飞机飞起来呢？

显然，答案并不是如此。下面让我们先来做一些小试验，如图 1-1-2 和图 1-1-3 所示。

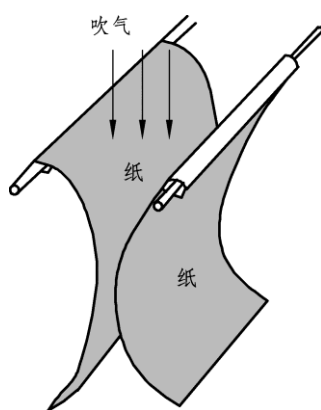


图 1-1-2 试验 1



图 1-1-3 试验 2

从这两个小试验中，我们都观察到了一些非常有意思的现象。例如，在第一个试验中，两张纸条神秘地贴到了一起，没有分开。在第二个试验中，乒乓球始终躲在水龙头之下，并没有被水冲跑。其实，这两个试验都揭示了一个现象，就是动压与静压之和守恒的道理。这个现象揭示了机翼，乃至包括鸟类的翅膀在内，能够产生升力的原因。

基于这个原因，航空先驱们通过大量的试验、理论计算与研究，在动压与静压之和守恒的基础上，进一步掌握产生升力的秘诀。这个秘诀就是翼型（见图 1-1-4）。



图 1-1-4 翼型及周围流场示意图

通过翼型，可以高效地产生升力，将飞机与空气相对运动时的动能转换为提升高度获取的势能。但仅仅只是产生升力并不能算是可以飞行。因为，飞行除了具有能够平衡自身重力的升力之外，还需要可控，即通过尾翼（或鸭翼）等气动面，控制飞机的姿态和飞行方向。

事实上，尾翼（或鸭翼）就像一个跷跷板。通过杠杆原理，撬动了飞机的姿态，使其在飞行过程中可以根据飞行意图，朝向正确的飞行方向，保持稳定的飞行姿态，实现随心所欲地飞行。

三、固定翼飞行器的飞行控制

通过前面的学习，我们知道一个固定翼飞行器可飞，不仅要有足够的升力，还需要有平衡的稳定性和可操作性。那么，再来看看固定翼飞行器的飞行控制是如何实现的。

我们已经知道，机翼因其特有的形状，在与空气的相对运动中可以高效地获取气动力。因此，固定翼飞行器的各种尾翼，包括鸭翼在内，其本质仍然是一个面积较小的翼面。但其主要用途不一定只是为了获取使飞机腾空而起的升力，而是通过其产生的气动力，使飞机在飞行过程中获取对其姿态进行控制的控制力矩。

我们可以将飞行过程中的飞机看作是一个绕其重心的跷跷板。当希望改变飞机的飞行方向，包括改变飞机的航向、俯仰和左右高低时，其实是希望获取一个控制力矩去撬动飞机的机头指向，使其对准我们期望的方向，进而改变飞机的速度方向，或者说飞行方向。正因为如此，在最常规的飞机布局中，飞机都有一对水平尾翼和一个垂直尾翼（也可能是多个）。水平尾翼的功能就是通过其上的升降舵偏转产生气动力使飞机抬头或低头，而随着喷气式飞机的出现，对控制力矩的需求日益增大，甚至出现了全动水平尾翼，即整个水平尾翼偏转产生俯仰力矩。而垂直尾翼的功能就是通过其上的方向舵产生对航向的控制力矩，使飞机能够左右偏转。但需要注意的是，飞机在飞

行时，不仅可以低头、抬头、左右偏航，还可以绕其机身纵轴左右偏转，我们将其称为滚转。而控制这个滚转的，就是在机翼左右两侧靠近翼梢处的副翼，它通过左右差动来实现滚转。

除了上述水平尾翼和垂直尾翼之外，在无人机中还有一些更为普遍的翼面，如 V 形尾翼和鸭翼。它们的作用又是什么呢？

V 形尾翼的本质仍然与水平尾翼、垂直尾翼的作用一致。我们在高中物理中学习过力的分解与合成。事实上，V 形尾翼也可以看作是水平尾翼和垂直尾翼的合成，反之亦然。V 形尾翼通过其上舵面的组合偏转，产生的气动力在飞机水平面 and 对称面投影，也就产生了与水平尾翼或垂直尾翼相同的作用效果。

我们可以把鸭翼看作是放到机翼前面的水平尾翼，但因为在前面，所以也就不再叫作尾翼。只是在控制过程中，水平尾翼通过产生负升力去“压”飞机的尾部使其抬头，而鸭翼是通过产生正升力去“抬”飞机的头部使其抬头。

项目 3 飞一飞大疆无人机

任务 1 通过实践了解大疆无人机

无人机出现得比有人机早，但由于技术发展的限制，早期无人机发展很慢，直到 20 世纪 60 年代，由于战争的需要无人机才开始发展，到 20 世纪 90 年代，由于技术发展的推动，无人机开始加速发展。2016 年，以大疆系列消费级无人机作为消费电子类的产品迅速点燃了整个市场，一时间家喻户晓，在引起消费者狂热追捧的同时，国内外制造商也前赴后继地加入无人机市场，“无人机+”成为热点，其行业应用也越来越广泛。

一、大疆系列无人机

大疆无人机目前有 4 个系列：

- (1) 初级入门，Phantom 3 系列；
- (2) 中坚力量，Phantom 4 系列；
- (3) 极致便携无人机系列，Mavic 与 Spark；
- (4) 专业应用，Inspire 系列。

1. 初级入门

Phantom 3 系列：一共有 5 款机型，分别是 Phantom 3 SE、Phantom 3 Standard、Phantom 3 Professional、Phantom 3 Advanced 和 Phantom 3 4K。

Phantom 3 SE 及 Phantom 3 Standard 拥有较高的性价比。Phantom 3 Professional 和 Phantom 3 4K 拥有较强的拍摄能力。

Phantom 3 Advanced 拥有与 Phantom 3 Professional 一样的 DJI Lightbridge 高清数字图传能力，传输距离可达 5 km。

2. 中坚力量

Phantom 4 系列：一共有 3 款机型，分别是 Phantom 4、Phantom 4 Pro、Phantom 4 Advanced。

Phantom 4 系列相较之前的产品变化较大，并进行了较大升级。Phantom 4 的发布引领了机器视觉时代的到来。

3. 极致便携无人机系列

Mavic 与 Spark 这两款小型化的无人机产品不单体积小巧便携，而且功能集成度非常高，依旧保留一体式云台相机，且拥有不错的航拍性能。

4. 专业应用

Inspire 系列：Inspire 1 和 Inspire 2。

Inspire 2 延续了 Inspire 1 的可变形机体设计，从而实现了 360°无遮挡拍摄，其他性能也得到全面提升。

二、景区里的大疆无人机

在各个风景名胜，游客总喜欢拍照留下到此一游的纪念。随着无人机应用的普及，越来越多的游客开始喜欢用无人机帮助自己留下不一样视角的风景和记忆（见图 1-1-5、图 1-1-6）。



图 1-1-5 无人机

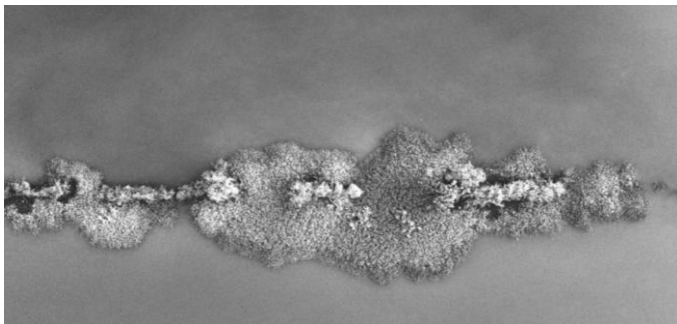


图 1-1-6 无人机拍摄的照片

晴空之下，一架无人机在青山绿水之间自由地飞翔。它依次飞过热带雨林、亭台池塘、林间瀑布、丘壑山谷，以及片片水田，之后返航回到无人机主人身边，带着一路拍摄的照片和视频缓缓降落。

位于海南保亭黎族苗族自治县的呀诺达景区拥有中国唯一地处北纬 18° 的热带雨林，它北连五指山，南邻海棠湾，景区内以雨林、山谷、瀑布等自然景观为基础，同时融合了黎苗民俗和南药文化于一体的自然和人文旅游资源。在之前将近 10 年的运营中，已有总量超过一千万的游客来这里感受热带植物的繁茂、穿越水帘和峡谷间踏瀑戏水、乘滑索从上空飞跃雨林，或登上观景台欣赏海上日出。

呀诺达是继宁夏沙湖、江西婺源篁岭、湖南张家界武陵源旅游区后，与大疆合作的第四个“无人机友好型景区”。目前在呀诺达，游客可以借助“天空之眼”，从哇吱噜观景台眺望农场、水库甚至海棠湾景，在雨林谷俯视周围郁郁葱葱的热带雨林和船型黎族传统民居，飞跃三道神瀑探索丛林和山石中的瀑布。

任务 2 知识拓展

一、旋翼飞行器的飞行原理

我们已经学习了简单的固定翼飞行器的飞行原理。那么，旋翼飞行器又是如何飞起来的呢？

在固定翼飞行器飞行原理中，隐含了两个基本假设，这也是空气动力学中的两个基本假设，即：空气是延绵不绝的；当空气静止时物体与空气发生相对运动产生的效果与物体静止不动而空气与之相对运动的效果是一样的。

经过数百年的验证，这两个基本假设已经得到了充分验证。它们同时也是飞行原理的基础。

在固定翼飞行原理中我们知道，当机翼与空气发生相对运动时，即机翼向前运动时，可以产生升力。那么，如果空气仍然保持静止，而机翼从直线运动改为绕转轴旋转呢？是不是也会产生气动力呢？答案是肯定的。基于此，旋翼机利用我们所说的相对运动，将原本需要滑跑获取的与空气的相对速度转化为通过旋转获取与空气的相对速度，得到了升力。这就是旋翼机产生升力的基本原理。

二、多旋翼与直升机的差别

在前面的学习中，我们知道旋翼通过旋转获取了与静止空气的相对速度，进而得到了升力。当旋翼绕轴旋转的同时向某一个方向前进时，旋翼的线速度方向与前进方向相同时，相对速度会变小；反之，旋翼的线速度方向与前进方向相反时，相对速度会变大。我们知道，气动力的大小与速度有关，速度越大，气动力越大。因此，如果直升机的旋翼不采取任何措施，那么当直升机前进时，左右受到的升力就会不平衡，而这个不平衡的力会随速度的增加而加大，直到将直升机从左或右掀翻。或者说，使直升机滚转。

为此，在 20 世纪 20—30 年代，大量的航空先驱们进行了大量的研究，寻求解决的办法。最终，通过自动倾斜器等技术措施，解决了上述问题。而这个问题及其解决措施，就是直升机与多旋翼最大的区别。

直升机和多旋翼都属于旋翼飞行器，都是通过旋翼的旋转获取气动升力。但直升机在飞行过程中，为了解决前面提到的问题，在桨毂上采取了大量措施，消除了前行桨叶和后行桨叶的升力差问题。而多旋翼无人机，由于其固有的对称性，并不需要自动倾斜器等措施。

项目 4 聊聊垂起固定翼无人机

固定翼无人机的优点是航速快、航程长；缺点是起降场地受限，需要跑道或者手抛，弹射起飞，降落只能采用滑降或者伞降，安全性和灵活性都比较差。多旋翼无人机的优点是操作相对简单、垂直起降、对起降场地要求不高，可以随时悬停；缺点是飞行速度慢、续航时间短，控制范围和工作效率都不高。垂直起降固定翼无人机的出现很好地解决了这个矛盾。它兼顾了旋翼机垂直起降的安全、便捷和固定翼飞机航速快、航程长的优点，所以一经推出就受到了市场和各行业无人机使用者的青睐。但是这种动力布局带来巨大方便和安全性的同时，也有一个缺点，无人机在起飞和降落阶段是在多旋翼模式下工作的，这样固定翼动力是死重（对飞行和作业都无效的重量），而在固定翼模式下，多旋翼动力和动力臂是死重，并且多旋翼动力部件会在无人机以固定翼模式飞行时造成多余的气动阻力和扰流，降低机翼的升阻比，这些都会降低飞机的带载能力和续航时间。

任务 1 通过实践了解垂起固定翼无人机

一、CW 系列垂起固定翼无人机

CW-30 是成都纵横公司自主研发的垂直起降固定翼无人机，采用油电混合动力。CW-30 在各项参数性能上实现了多个突破。其中，翼展长度达到 4 m，机身长度达到 2.1 m，比 CW-20 大了不少。而这款最新型号无人机的发动机，也比历代产品提供了更多的动力。大机翼为 CW-30 带来更多的升力，因此它可以飞得更高，能够达到 5 500 m 的高度，满足高原作业的苛刻要求。此外，结合功率更加强健的飞机发动机，CW-30 的最大任务载荷能够达到 6 kg。如果负载重量进一步减轻，CW-30 的理论续航时间能够达到 6 h。在正常飞行作业的情况下，擅长大面积飞行任务的 CW-30，其单次飞行能够轻松完成 150 km² 以内的面积。

在上一代产品的基础上，CW-30 还增加了一定的防雨能力。在 10 mm 以下的小雨天气下，CW-30 依然能够轻松驾驭，完成飞行作业。

作为工业级无人机，强大的续航能力和任务载荷能力，是衡量其性能的关键。由于 CW-30 的机身尺寸更大，任务载荷能力更强，因此可供选择搭载的大尺寸任务设备就更多。除常见的单反相机外，CW-30 还能够搭载激光雷达、多拼相机、光电吊舱以及高光谱、多光谱成像设备，以服务更多的行业领域。

相对于纯电无人机，油电混合动力的无人机由于有着高效率、长航时等特点，因

此更多被用于测绘、河道巡检、边境巡逻等领域，图 1-1-7 为 CW-10、CW-20、CW-30 三种型号的无人机。

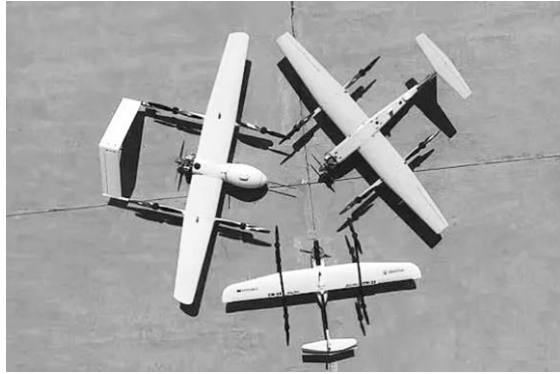


图 1-1-7 CW-10、CW-20、CW-30 无人机

二、飞行在祖国名山大川之上的垂直起降无人机

近年来，无人机航测技术在城市改造、道路桥梁设计、农村宅基地确权、工程项目精细设计等项目中的应用越来越普及，不仅能满足项目对大比例尺地形图的需求，而且无人机机动灵活、工作效率高、经济便捷等特点也是其备受青睐的重要原因。

在测绘领域，垂直起降无人机在高海拔测绘、大高差航测、全画幅倾斜摄影等项目都表现出了卓越的性能。

1. 西藏高海拔测绘，挑战高原复杂环境

为西藏自治区拉萨市达孜区编制未来十五年（2020—2035 年）的国土空间总体规划，布局国土空间发展新格局，2020 年 7 月，自然资源部第一航测遥感院来到这片海拔 3 600 m 以上的高原，用无人机航测技术为该区域获取现势性最好、分辨率可以达到 20 cm 的 1 : 2 000 比例尺数字正射影像成果。

测区范围：完成达孜区 120 km² 1 : 2 000 测图航摄，测图区域分布于山谷、河道中，实际航飞区域 300 多平方千米。

飞行航线规划：根据实际情况，将测区划分为 18 个摄区，分不同高度航摄，航线设计基本都是沿山谷、河道走向，由于山区地势起伏大，旁向重叠都大于 50%，航向重叠大于 75%。

像控点布设：由于测区属于高海拔地区，山高沟深，像控点测量困难重重，为了减少外业测点的困难度，像控点布设沿测区范围均匀布设，像控点尽量布设在容易到达区域，测区总共布设像控点 198 个，检查点 42 个。

作业中，CW-15 无人机最高起飞海拔 4 500 m，凭借着优越的性能，灵活穿梭在地形复杂的山谷中。在有效的时间内，面对苛刻的环境，高效完成了高原航测任务。

2. 大高差航测任务，助力灾后重建

在科技力量助力防震减灾的新时代，工业无人机的应用得到了重视和大规模应用推广，有效提升了地震预测预警能力，并在震后救灾、重建等工程中发挥了重要作用，补齐了防震减灾工作存在的短板。

2017年8月九寨沟遭遇7.0级地震，景区内多处景点受损、山体大量滑坡，地质隐患较大。为了加快景区重建及隐患排查工作，成都纵横公司使用CW-15无人机协助四川省地矿局402地质队，开展景区航测工作。

作业区域位于九寨沟自然保护区，地势南高北低，山谷深切，高低悬殊，区北缘九寨沟口海拔仅2000m，中部峰岭均在4000m以上，南缘达4500m以上，地质背景复杂，且大部分为无人区，植被茂密。整个任务难度系数大，对飞行技术、飞机的整体性能提出了要求。

本次作业CW-15无人机搭载专业航测相机，在九寨沟景区尖盘寨起降，共飞行3个架次，作业面积约57km²，最远作业半径为21km。通过航测数据可协助景区重建工作，发现人工难以巡查到的地质灾害点，推进景区内地质灾害风险预报，提前做好防范措施。

3. 高精度数据采集，高效完成房地一体项目

2020年，农村房地一体不动产确权登记项目持续推进，无人机航测成为高效且保质完成房地一体项目的重要工具。

2020年4月，CW-15无人机搭载2.1亿像素的全画幅倾斜相机CA503作业，基于精细化三维模型做房地一体，三维模型平面中误差0.032m，高程中误差0.026m，大大提高了作业效率，满足精度要求。

测区范围：本次测试位于攀枝花盐边县红格镇，测区高差约30m，总面积约0.33km²，涵盖密集房屋、山体、植被梯田等，整体地势较为陡峭，具有较好的典型性。

像控布设：此测区共布设17个像控点，5个检查点。

航线设计：CW-15无人机按照1.6cm地面分辨率规划航线，航向重叠度75%，旁向重叠度80%，相对航高124m，一个架次完成任务。

飞行前准备：CW-15长航时电动小型无人机，组装简单，全自主飞行，获取原始数据。整机模块化设计，无须任何工具即可完成无人机拆装。

精度验证：将场外获得的数据导入倾斜数据处理软件内，生成三维模型，模型上测得检查点坐标数据与实测点位数据对比，其误差非常小，满足1:500地籍精度要求。

基于CW系列无人机倾斜摄影系统，通过实景模型的地理信息系统(GIS)数据采集，不仅能够真实地反映地物情况，高精度地获取物方纹理信息，还可通过先进的定位、融合、建模等技术，生成真实的三维城市模型，可广泛应用在基础测绘、不动产确权、农村宅基地、旧城改造等项目中。

任务2 知识拓展

复合翼无人机指的是固定翼与旋翼无人机型的完美组合，固定翼无人机具备飞行速度快、飞行高度高、飞行时间长的特点，旋翼无人机具备垂直起降、悬停、灵活等特点，复合翼无人机就具有这两种无人机的优势。

应急救援一直是无人机行业应用中的重点项目，在很多救援行动中都有旋翼无人机的的身影，通过航拍传递救援现场数据，帮助救援者做出正确判断。但是，普通旋翼无人机受航时影响，一般多旋翼无人机持续工作时间不能超过 40 min，控制半径不超过 5 km，且受地形影响也非常大，稳定性不够。

固定翼无人机无法垂直起降，起飞时需要专门的跑道，更局限于地形，用于应急救援的情况比较少。

复合翼无人机综合了二者的优点，以应急救援场景为例，应急救援一般比较复杂，如山区火灾现场情况探测、洪涝灾害人员救助、地震现场救援、游客失踪定位等，复合翼无人机非常适合这些复杂场景作业。根据救援地需求，无人机平台搭载高清航测相机、红外相机、紫外相机或可见光相机，可快速精准完成可见光巡线、视频巡检、红外排查及紫外检测等任务，为应急救援提供高效率帮助。

项目 5 拓展项目

自编案例和学习感悟

014



