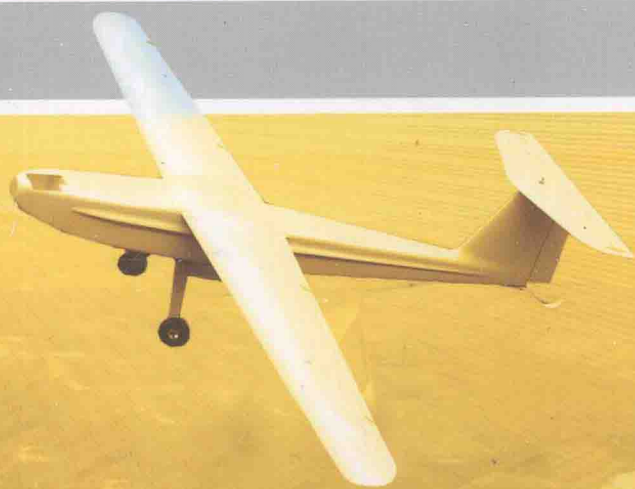


高等学校教材

无人机测绘 技术及应用

Unmanned Aerial Vehicle Surveying and
Mapping Technology and Application

万刚 等 编著



测绘出版社

高等学校教材

无人机测绘技术及应用

Unmanned Aerial Vehicle Surveying and Mapping
Technology and Application

万 刚 余旭初 布树辉 编著
熊自明 曹雪峰 李 科

测绘出版社

· 北京 ·

© 万 刚 余旭初 布树辉 熊自明 曹雪峰 李 科 2015
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

本书在系统归纳无人机测绘的基本理论和方法的基础上,重点探讨无人机任务规划、目标定位与跟踪、测绘成图、应急快速成图、基于无人机影像的三维重建和空中全景监测等相关技术及其应用。

本书适合遥感、测绘、环境监测、军事等相关领域的教师、科研人员、研究生和工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

无人机测绘技术及应用 / 万刚等编著. — 北京: 测绘出版社, 2015.12

ISBN 978-7-5030-3639-2

I. ①无… II. ①万… III. ①无人驾驶飞机—航空摄影测量 IV. ①P231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 041700 号

责任编辑	吴 芸	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍	责任印制	喻 迅
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83543956(发行部)		
地 址	北京市西城区三里河路 50 号				010—68531609(门市部)		
邮政编码	100045				010—68531363(编辑部)		
电子信箱	smp@sindomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	北京建筑工业印刷厂			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	15			字 数	372 千字		
版 次	2015 年 12 月第 1 版			印 次	2015 年 12 月第 1 次印刷		
印 数	0001—1000			定 价	45.00 元		

书 号 ISBN 978-7-5030-3639-2/P·754

本书如有印装质量问题,请与我社门市部联系调换。

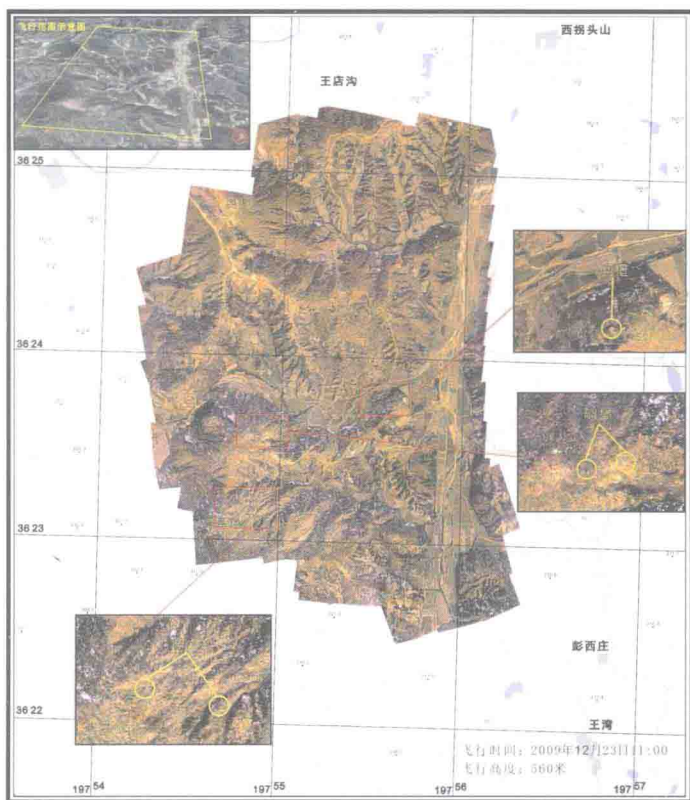


图 5-1 无人机应急影像

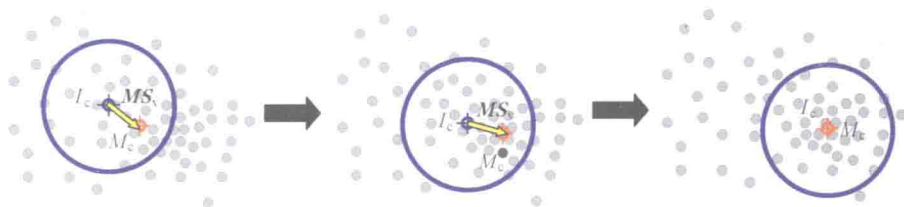


图 6-9 均值偏移的概念



图 7-15 稠密重建的点云

前 言

无人机即无人驾驶飞机(unmanned aerial vehicle, UAV),是一种由动力驱动,机上无人驾驶、可重复使用的航空器。进入 21 世纪后,无人机用途不断扩大,已经成为一种新型的空中平台,在国民经济建设和现代战争中发挥着越来越重要的作用。因此,无人机及其相关技术研发与应用研究引起了各国的高度重视,无人机的发展进入了一个崭新的时代。

在测绘领域,仅靠卫星和有人机难以快速、及时和全方位地获取环境信息,基于无人机平台的测绘技术正是这一缺陷的有效补充手段,具有飞行高度低、分辨率高、获取数据快速等特点,能够满足实时性的要求,所获取的高分辨率遥感图像等数据对于地理信息处理和应用具有重要的意义。无人机测绘技术已经成为测绘科学与技术领域研究的热点,但由于测绘无人机飞行环境的复杂性以及无人机本身性能的限制,导致无人机测绘存在着获取数据幅宽较小、数据量巨大、重叠度不规则且倾角过大、导航定位与姿态测量系统(position and orientation system, POS)信息不够精确等问题。无人机测绘的这些特点,给传统测绘技术带来了新的挑战,必须针对无人机测绘的特点在技术和方法上有所突破和创新。

本书集中了作者及其研究团队近年来在无人机测绘领域的研究成果,在系统归纳无人机测绘的基本理论和方法的基础上,重点对无人机任务规划、目标定位与跟踪、测绘成图、应急快速成图、基于无人机影像的三维重建和空中全景监测等相关技术及其应用进行了深入的探讨。全书共分 8 章,第 1 章介绍无人机的基本概念、组成和发展现状,对无人机测绘的概念和系统组成进行论述;第 2 章详细介绍无人机系统的工作原理;第 3 章重点介绍测绘任务载荷和地面控制站等无人机测绘任务设备,归纳总结任务设备的发展方向;第 4 章研究无人机的任务规划,将无人机航线分为任务航线和突防航线,并给出相应的规划算法;第 5 章研究基于航空摄影测量作业流程的无人机测绘成图,以及在地面控制点和高精度位置姿态测量参数缺乏情况下的应急快速成图的基本理论和方法;第 6 章研究基于无人机序列影像的目标实时定位与跟踪技术;第 7 章引入计算机视觉理论,阐述基于无人机影像的地面模型三维重建技术,给出对重建模型进行地理配准的方法;第 8 章研究基于无人机的空中全景监测的理论和方法,并给出空中全景数据与地理空间数据融合的方法。

本书由万刚、余旭初负责设计全书结构、内容并编稿。万刚负责第 1 章的编写,曹雪峰编写第 2、3 章,熊自明编写第 4、5 章,余旭初负责第 6 章的编写,布树辉负责第 7 章的编写,李科编写第 8 章。讲师张鹏强、李锋也付出了大量努力,研究生马跃龙、张宗佩、张伟、谭熊、杨振发、李钦、王庆贺、谢理想、杨富民、闫鹤、廖晋民、马伟、赵勇、王旭斌、何必、程少光、韩鹏程、张亲卫等人在插图和表格绘制中做了大量工作,在此一并感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,书中不妥之处在所难免,恳请读者不吝批评指正。

2015 年 8 月

目 录

第 1 章 绪 论	1
§ 1.1 无人机的基本概念	1
§ 1.2 无人机系统的基本组成	5
§ 1.3 无人机的发展	7
§ 1.4 无人机测绘的基本概念	13
§ 1.5 无人机测绘系统	16
第 2 章 无人机系统工作原理	20
§ 2.1 空气动力学基础	20
§ 2.2 飞艇空气静力学基础	27
§ 2.3 无人飞行器构造	30
§ 2.4 无人机动力系统	40
§ 2.5 无人机飞行控制系统	43
§ 2.6 无人机发射与回收	55
§ 2.7 无人机数据链路	60
第 3 章 无人机测绘任务设备	65
§ 3.1 测绘任务载荷	65
§ 3.2 测绘无人机地面控制与处理站	80
第 4 章 无人机测绘任务规划	86
§ 4.1 无人机测绘任务规划的内容	86
§ 4.2 无人机测绘任务航线规划	89
§ 4.3 顾及威胁因素的无人机航线规划	93
第 5 章 无人机测绘成图技术	105
§ 5.1 概 述	105
§ 5.2 无人机正射影像图制作流程	108
§ 5.3 无人机航摄影像的质量评价与预处理	110
§ 5.4 航摄像片的解析基础	113
§ 5.5 几何校正	122
§ 5.6 立体像对的相对定向-绝对定向解算	124
§ 5.7 无人机影像的空中三角测量	136
§ 5.8 图像配准与融合	138
§ 5.9 应急快速成图	148

第 6 章 基于无人机序列影像的目标定位与跟踪技术	159
§ 6.1 概 述	159
§ 6.2 目标定位	161
§ 6.3 运动目标检测	168
§ 6.4 运动目标跟踪	177
第 7 章 基于无人机影像的三维重建	188
§ 7.1 概 述	188
§ 7.2 三维重建的基本流程	189
§ 7.3 成像模型与相机标定	190
§ 7.4 极线几何和基础矩阵	200
§ 7.5 结构与运动恢复	203
§ 7.6 三维模型表面重建与纹理映射	206
§ 7.7 基于计算机视觉的三维重建实例	209
第 8 章 基于无人机的空中全景监测	215
§ 8.1 概 述	215
§ 8.2 全景图像数据的采集	218
§ 8.3 鱼眼镜头成像校正	221
§ 8.4 全景图的投影	223
§ 8.5 空中全景数据与地理空间数据融合	229
参考文献	232

第1章 绪论

进入 21 世纪,无人机的用途不断扩大,已经成为一种新型的空中平台,在国民经济建设和现代战争中发挥着越来越重要的作用。无人机及其相关技术研究与应用已经引起了各国的高度重视,无人机的发展进入了一个崭新的时代。

在测绘领域,仅靠卫星和有人机难以快速、及时和全方位地获取地理环境信息,基于无人机平台的测绘技术正是这一缺陷的有效补充手段,能够满足实时获取的要求,所获取的高分辨率遥感图像数据对于地理信息处理和应用具有重要的意义。目前,无人机测绘技术已经成为测绘科学与技术领域的研究热点。

§ 1.1 无人机的基本概念

1915 年 10 月德国西门子公司成功研制了采用伺服控制装置和指令制导的滑翔炸弹,1917—1918 年,英国与德国先后研制成功无人驾驶遥控飞机,这些工作被公认为是有关无人机的先驱。至今无人机已经有百年的历史。

《中国大百科全书·航空航天卷》(2004 年)将无人驾驶飞机定义为:无驾驶员或“驾驶”(控制)员不在机内的飞机,简称无人机;把飞机定义为由动力装置产生前进推力,由固定机翼产生升力,在大气层中飞行的重于空气的航空器。这种定义将无人直升机等排除在外,局限为固定翼无人机。

《无人机系统导论》(2003 年)将无人机定义为:无人驾驶航空飞行器(unmanned aerial vehicle,UAV),即一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器。

在 2002 年 1 月美国联合出版社出版的《国防部词典》中,对无人机的解释为:无人机指不搭载操作人员的一种有动力空中飞行器,采用空气动力为飞行器提供所需的升力,能够自动飞行或进行远程引导;既能一次性使用也能进行回收;能够携带致命性或非致命性有效载荷。弹道或半弹道飞行器、巡航导弹和炮弹不能看作是无人飞行器。

本书将无人机定义为:一种由动力驱动,机上无人驾驶,可自主飞行或遥控飞行,能携带任务载荷,可重复使用的航空器。无人机不同于有人机、航模和导弹,它们之间的区别如表 1-1 所示。

表 1-1 无人机与有人机、航模和导弹的区别

飞行器	驾驶方式	飞行控制方式	任务载荷	使用次数
无人机	无人	程序控制、遥控飞行	多种任务载荷	可重复使用
有人机	有人	人为控制	多种任务载荷	可重复使用
航模	无人	遥控操纵	一般不携带任务载荷	可重复使用
导弹	无人	程序控制、自主飞行	单一任务载荷	一次性使用

无人机要完成任务,除需要飞行平台及其携带的任务设备外,还需要地面控制设备、数据通信设备、维护设备以及必要的操作、维护人员等,较大型的无人机还需要专门的发射/回收装

置。因此,完整意义上的无人机应称为无人机系统。在美国国防部 2005 年发布的《2005—2030 无人机系统路线图》中,最明显的变化就是将以往文件中的“无人机”改为“无人机系统”,并扩大了飞行器的类型(如飞艇)。

鉴于以上描述,本书以无人机系统(包括无人飞艇)为研究对象展开论述。考虑到人们已经熟知“无人机”这一提法,文中对术语“无人机”和“无人机系统”等价使用,不作明确区分。

一、无人机的特点

无人机本身最大的特点是机上没有驾驶员或操控人员,比有人机更加适合执行“枯燥”(dull)、“肮脏”(dirty)和“危险”(dangerous)的“3D”任务,无人员伤亡的顾虑。

(1)可执行“枯燥”的任务。在 1999 年科索沃战争期间,美军 B-2 飞机机组人员执行了多次从美国密苏里州到塞尔维亚的历时 34 h 的往返飞行任务。机组人员从通常的两名扩充到三名,即便这样,超长飞行时间仍旧是部队指挥官考虑最多的问题。他们认为 40 h 将是机组人员执行任务的极限时间。美国兰德公司在科索沃战争结束后进行的评估中指出,美军每架飞机的机组人员应从两名增加到四名或实施国外部署。然而,该建议存在一个明显的制约因素,因为成倍增加机组人员将对训练产生巨大的压力,要么利用美国空军有限的 B-2 飞机进行训练的架次和飞行时间增加一倍,要么降低每名 B-2 机组人员的训练架次和飞行时间,但这样都会造成装备的巨大压力或使飞行员的作战熟练程度和技能下降。而与之形成对照的是,近年来,美国本土人员操作 MQ-1 无人机在阿富汗和伊拉克进行了近乎连续不间断的作战任务,地面操作人员可以每 4 h 轮换一次,承受压力的时间大大缩短。

(2)可执行“肮脏”的任务。美国空军和海军曾在 1946—1948 年分别采用无人驾驶的 B-17 和 F6 飞机在核武器爆炸后的几分钟内飞入到蘑菇云尘埃中采集放射样本,这显然是一项极具放射性危害的任务。当时返回的无人机需采用水管进行大量清洗,采集到的样本由类似樱桃采摘器的机械手获取,以尽可能减少研究人员对放射物的接触。而 1948 年,美国空军认定机组人员所面临的放射物污染风险是可以控制的,无人驾驶飞机的样本采集任务由身穿 60 磅重防辐射铅服的飞行员驾驶 F-84 飞机取代。但结果是参与该任务的部分飞行员受强射线的辐射相继死亡。

(3)可执行“危险”的任务。战场侦察与监测历来都是一项危险的任务。第二次世界大战期间,美军第三侦察大队有 25% 的飞行员牺牲在北非战场,而飞越德国领空的侦察机飞行员死亡比率也为 5%。1960 年 5 月 1 日苏联击落了一架美国 U-2 侦察机并逮捕其飞行员后,美国终止了对苏联进行的有人侦察飞行。冷战时期北约在侦察任务中共损失了 23 架有人驾驶飞机和 179 名飞行员。这些损失促进了美国空军为执行侦察任务开发无人机的工作。无人机系统能够提供显著帮助的其他危险任务还包括对敌防空压制、攻击和电子战等。越南战争和巴以冲突中执行上述任务的飞机和机组人员的损失都是最大的。

此外,无人机和有人机相比还有许多应用上的特点:

(1)成本低,效费比好。目前,大部分无人机的制造成本只是同类型有人机的几分之一乃至几百分之一,而且无人机的使用和维护费用低,即使被击落,损失也很小。

(2)生存力强。现代无人机的制作广泛采用玻璃纤维等合成材料及其他透波材料和模块式结构,大大减小了雷达有效反射面,降低了被雷达发现的概率和被防空武器攻击的毁伤率,即使损坏也比较容易快速修复。

(3)机动性好。小型无人机体积小、重量轻,对专门的起降场要求不高,便于跟随野战部队行动。

无人机的缺点是:首先,由于智能化程度不高,对意外情况处理的灵活性较差,不宜执行复杂的飞行任务;其次,无人机的遥控与信息传输线路很容易受到敌方的电磁干扰,产生飞行事故;此外,无人机在全天候性能、载荷能力等方面与有人机相比存在较大差距,因此能完成任务的类型也受限。

二、无人机的分类

无人机的分类,依据不同的标准而结果各异。

(一)按无人机执行的任务区分

无人机按执行的任务可分为民用和军用两大类。

(1)民用无人机,可分为遥感测绘无人机、资源遥感无人机、环境污染监测无人机、灾情调查无人机、气象探测无人机、治安巡逻无人机和通信中继无人机等。

(2)军用无人机,可分为无杀伤型和杀伤型两种。无杀伤型无人机又可分为侦察无人机、靶标无人机、运输无人机、测绘无人机、通信中继无人机、防化探测无人机、特种无人机等;杀伤型无人机可分为软杀伤(如电子干扰无人机)与硬杀伤(如无人作战飞机)两种。

(二)按任务半径或续航时间区分

航程是无人机的重要性能指标,指无人机起飞后中途不加油所能飞越的最大距离。一般而言的任务半径指顺利完成指定任务的最大距离,一般是最大航程的25%~40%。按任务半径或续航时间分类,可分为近程、短程、中程和远程无人机四种。

(1)近程无人机,任务半径一般在30 km以内,续航时间2~3 h。

(2)短程无人机,任务半径一般在30~150 km,续航时间3~12 h。

(3)中程无人机,任务半径一般在150~650 km,续航时间12~24 h。

(4)远程无人机,任务半径一般在650 km以上,续航时间24 h以上,因此也称为长航时无人机。

(三)按飞行高度区分

飞行高度指真高,可分为低空无人机(飞行高度6 000 m以下)、中空无人机(飞行高度6 000~15 000 m)和高空无人机(飞行高度15 000 m以上)三种。

(四)按无人机大小或重量区分

无人机按尺寸大小或重量可分为大型、中型、小型和微型无人机。起飞重量500 kg以上为大型无人机;200~500 kg为中型无人机;小于200 kg,翼展为3~5 m的为小型无人机。对于微型无人机,美国国防高级研究计划局的定义是翼展在15 cm以下的无人机,英国《飞行国际》杂志将翼展小于0.5 m的无人机统称为微型无人机。

(五)按飞行速度区分

无人机按飞行速度可分为亚音速无人机、超音速无人机和高超音速无人机。

(六)按飞行方式区分

无人机按飞行方式可分为固定翼无人机、旋翼无人机、扑翼无人机和飞艇等。其中旋翼无人机是指能够垂直起降,以一个或多个螺旋桨作为动力装置的无人飞行器;扑翼无人机是模仿昆虫和小鸟通过扑动机翼产生升力进行飞行的无人飞行器;飞艇是依靠密度小于空气的气体的静升力而升空的无人飞行器。

(七)按无人机应用的层次区分

根据无人机参与军事行动的规模和级别,一般可分为战略、战役和战术三个层次。

(1)战略型无人机,即执行有关国家安全和战争全局行动的无人机,一般为高空、长航时无人机。

(2)战役型无人机,即执行军、师、旅、团级别战役级行动、获取所需信息的无人机,一般为中空、中程、短程无人机。

(3)战术型无人机,即执行营、连以下部队战术级行动、获取所需信息的无人机,一般为近程无人机。

三、无人机的功能与作用

(一)军用无人机的功能与作用

无人机首先诞生于军事领域。目前,世界各国已使用和研发中的无人机,绝大多数都是用于军事和国家安全目的。无人机在战场上的作用与其系统本身的性能以及其执行的战斗任务相关。在越南战争期间,美军率先使用“火蜂”无人侦察机和“QH-50”系列无人直升机执行空中照相侦察和电子情报等任务。在两次中东战争中,以色列创新性地将无人机用于电子对抗,引起各国军方对无人机的重视。在海湾战争中,多国部队广泛使用无人机参战,借助无人机实时侦察伊拉克前后方的军事目标分布、防空体系状况、军队和武器装备的部署及调动、战场态势以及空袭效果等信息。在科索沃战争中,美国及北约盟国首先使用无人机担当开路先锋发动进攻,用于中低空侦察和长时间战场监视、电子对抗、目标定位,以及收集气象资料和散发传单等任务,发挥了有人机难以达到的作用。在阿富汗战争中,无人机已经成为美军追捕本·拉登及其基地组织成员的最有效武器,尤其是对基地组织成员发动的定点清除,开创了无人机空中打击的先河。在伊拉克战争中,美军使用无人机的数量已是阿富汗战争时的三倍多,涉及空中打击、侦察、监视、通信等多个领域,无人机已经成为现代战争中一支重要的空中力量。

综上所述,军用无人机的功能可以归纳为以下几项:

(1)靶机。用作靶机是无人机最早的用途之一。无人机用作靶机既廉价又安全,主要任务是模拟各种飞机、导弹等飞行器的飞行状态,以供各种航空、防空兵器性能的检测和训练战斗机飞行员、防空兵器操纵员之用。

(2)侦察和监视。执行战场侦察和监视任务是无人机诞生以来最为重要的任务,现在的无人机大多属于无人侦察机,是现今发展最为完善、门类最为齐全的一类无人机,且在实战中得到了大量运用。无人机自身目标小,不易被对方发现,能进入高危险区并根据不同任务调整飞行航线进行大范围侦察监视,依靠机上的侦察设备对敌主要部署和重要目标进行长时间实时监控。

(3)火力引导和目标指示。在进行超视距火力打击情况下,无人机能够进入火力打击区上空执行火力引导和校射任务,为指挥员进行火力打击效果评估提供重要依据,提高己方火力打击的效果,降低弹药消耗。此外,无人机还可以载有激光照射器,用于指示地面目标,引导作战飞机用激光制导炸弹进行精确攻击。

(4)诱饵骗敌和电子干扰。利用无人机在敌前沿阵地上空模拟有人驾驶飞机的战术飞行动作,诱使敌雷达等电子侦察设备开机,使己方迅速掌握对方的雷达频率和阵地位置等有关信息,为反辐射武器提供重要参数;引诱敌防空兵器射击,吸引敌火力,掩护己方机群突防;可使敌防空雷达把大量宝贵时间消耗在截获、搜索、识别、跟踪这些假目标上,造成可乘之机;无人机还可以携带电子对抗设备,对敌方电子侦察和通信设备实施干扰和压制。

(5)空中通信中继。通信中继无人机是在无人机上安装无线电通信设备,使其成为通信系

统的一个节点,一个机动的通信中继站。这类无人机既可用于兵力集结时的通信联络,也可用于高山地区的远距离通信平台,还可用于攻击性武器的制导信号传输控制等。

(6)空中打击平台。无人机可以携带攻击武器,直接对地面、海上目标实施侦察和攻击,或携带空对空导弹进行空战。

(7)测绘、气象等保障。无人机携带的图像传感器、气象传感器获取实时的序列图像和大气参数数据,支持地理信息、气象信息的快速获取、环境数据的及时更新等,尤其适用于应急测绘、提供气象信息等作战行动保障。

(二)民用无人机的功能与作用

无人机在民用领域的用途极为广泛,应用潜力巨大。

(1)环境监测。无人机可用于农作物生长情况监测;土壤墒情监测;海洋监测(海洋通道、毒品走私、碳氢化合物污染监测、救护的定位);城市安全监视及边防监测;工程建设(如桥梁、大坝)的监测;输油管、天然气管道、悬挂电缆、铁路、高压线的监测;公路交通及危险品的运输监测等。

(2)应急救援监测与评估。无人机可以承担长时间的枯燥监测任务,搭载高分辨率相机、热红外成像仪、激光扫描仪等载荷,用于地震、滑坡、泥石流、森林火情、雪崩、火山、飓风等自然灾害的监测,可执行危险性大的任务(如毒气和放射线污染区域),为灾害损失情况的精确评估提供第一手信息资料。

(3)科学研究。在大气科学、海洋科学、地球科学等领域,无人机可以搭载高光谱成像仪、湍流量仪、激光雷达、气溶胶光谱仪、大气色谱仪、湿度计、温度廓线仪等多种环境探测设备,执行大范围、长时间的科学数据采集任务。

(4)反恐维稳。在突发事件、反恐应急中,搭载成像设备的无人机可用于监控事件现场,提供事态最新变化,为应急处置提供第一手数据,还可以投放传单,进行高音广播,为稳定现场事态提供技术支持。在地区治安、边境巡逻中,无人机可以承担可疑地区长时间监视的任务。在偏远地区缉毒中,无人机可以担负搜寻地面疑似毒品种植区域、加工窝点、运输通道的任务,为快速锁定毒品的种植地点、数量,掌握毒品生产运输情况提供技术保障。

(5)搜索救援。在野外营救中,可利用无人机搭载信号接收机,在人员失踪区域上空持续搜寻失踪人员发出的求救信号,特别是在海上、高山、荒漠等难以大规模人工搜索的地区,可显著提高搜寻和救援的效率。

§ 1.2 无人机系统的基本组成

一个典型的无人机系统应包括飞行器、地面控制设备(任务规划与控制站)、任务载荷、数据链路、发射与回收装置、地面支援及维护设备等六个部分(见图 1-1)。

一、飞行器

飞行器是无人机系统中的主体部分,包括机体、动力装置、飞行控制系统、导航装置以及供电系统等。飞行器可以是固定翼式、旋转翼式、扑翼式或艇囊式(无人飞艇)。需要说明的是,飞行数据终端被安装在飞行器上,属于通信数据链路的机载部分;任务载荷虽然也是机载的,但一般视为独立的子系统,有些型号的任务载荷可以支持在不同类型飞行器之间通用。

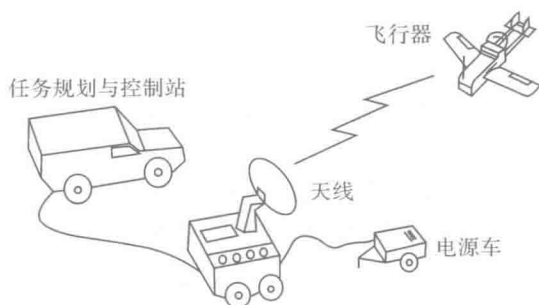


图 1-1 典型无人机系统构成

二、地面控制设备

地面控制设备也称为地面控制站,是无人机系统的指挥、控制中心。传至无人机的遥控数据及无人机向下传输的图像和遥测数据都在此进行处理和显示。地面控制系统一般由任务规划设备、控制及显示平台、图像处理设备、计算机及信号处理器、通信设备等组成。

三、任务载荷

携带有效任务载荷执行各种任务是无人机的主要应用目的。任务载荷通常是无人机系统中最昂贵的子系统之一,包括应用于侦察任务的照相机、日间摄像机及夜视摄像机、雷达等,应用于指示目标的激光定位设备等,应用于电子战的通信中继及干扰设备等,应用于气象及化学探测的传感器等。无人机携带的具有杀伤能力的导弹等武器装备一般不归为任务载荷。

四、数据链路

数据链路能够根据要求提供持续的天地之间双向通信,负责无人机系统的指令、数据、情报的上传下达。

从硬件组成的角度看,数据链路系统一般由地面数据终端和空中数据终端两大部分组成:地面数据终端通常是一个微波电子系统及天线,在地面及飞行器之间提供视距通信,也可由卫星提供中继;空中数据终端是数据链路的机载部分,其中视频发射机及天线用于传递图像及飞行姿态数据,接收器用于接收地面指令。

从数据传输的角度看,数据链路由上行链路和下行链路组成:上行链路提供对无人机飞行系统的控制及对其有效任务载荷下达指令;下行链路则用于接收任务载荷获取的数据及无人机的飞行状态信息。在使用数据链路时还要使其具备相应的抗电磁干扰能力。

五、发射与回收装置

无人机的发射与回收方式种类很多,发射方式包括母机投放、火箭助推、车载发射、滑跑起飞、垂直起飞、容器发射和手抛起飞等,回收方式包括舱式回收、网式回收、伞降回收、滑跑着陆和气垫着陆等。一个无人机系统的发射与回收装置包括能完成上述一种或几种发射与回收方式所需要的各种设备。

六、地面支援及维护设备

地面支援及维护设备一般包括后勤支援设备、维护保养设备以及用于保障无人机完成任

务的必要辅助设备等。

§ 1.3 无人机的的发展

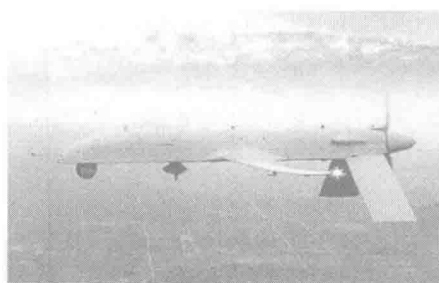
一、世界主要国家无人机发展情况

无人机作为一种高度集成的技术系统,其发展已成为综合国力的体现。世界主要军事强国都投入了大量的人力和物力用于发展无人机。

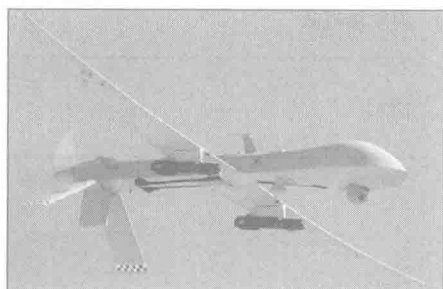
(一) 美国

美国作为最早研制和使用无人驾驶飞机的国家,早在 20 世纪 50 年代越南战争时期就已大规模使用无人机,但随后放慢了无人机的研发速度。随着 20 世纪 70 年代中东战争中以色列使用无人机的出色表现,美国重新认识到无人机的巨大军事价值,又加快了研发速度,经过 30 多年的不懈努力,现已成为全球研制和使用无人机能力最强的国家。

在美军无人机的发展过程中,最重要的标志之一是 Tier 计划(见图 1-2)的执行。该计划于 1994 年由美国国防部先进研究项目局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)和防务空中侦察办公室(Defense Airborne Reconnaissance Office, DARO)共同启动,开发高空长航时无人机项目(high altitude endurance UAV, HAE UAV),目的是通过研制并验证 HAE UAV 系统是否能够为军方提供全天候、大面积、长时间的情报侦察和监视支持。Tier 原计划发展 Tier-I、Tier-II、Tier-III 三种系列无人机。后来发现 Tier-III 研制耗资巨大并且难以完成,便改为平行发展两种互为补充的 Tier-II+ 和 Tier-III- 系统。Tier-II+ 设定用于低/中等威慑环境, Tier-III- 用于高威慑环境。该计划的最终结果构成了美军现有无人机系列的主体成品。



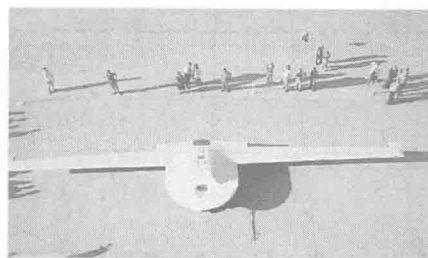
(a) Tier-I “蚊蚋”(Gnat)无人机



(b) Tier-II “捕食者”(Predator)无人机



(c) Tier-II+ “全球鹰”(Global Hawk)无人机



(d) Tier-III “暗星”(Dark Star)无人机

图 1-2 Tier 计划

2002年至2011年,美国国防部副部长办公室分六次公开发布了美军的《无人机系统路线图(2005—2030)》(见图1-3),路线图文中详细阐述了目前和未来20多年的美军无人机发展方向,无人机的动力装置、各种传感器、通信和信息处理等技术水平的发展要求,对美军无人机的发展起到重要的指导作用。

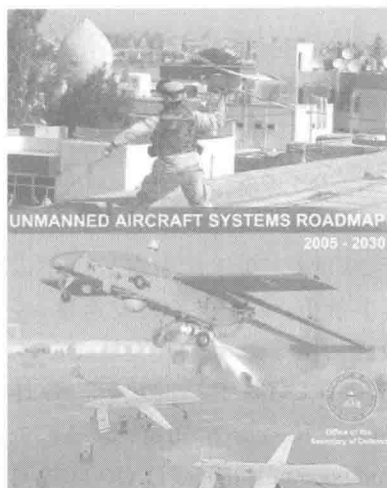


图1-3 美国《无人机系统路线图(2005—2030)》封面

文中详细论述了根据作战需要将来可由无人机执行的任务,并根据这些任务说明无人机应该具备哪些新性能;路线图根据摩尔法则,预测了很多关键技术,例如推动装置、传感器、数据链路、信息处理能力等未来的发展趋势。

这份路线图的时间跨度为30年,正好与无人机技术的研发周期一致,即用15年时间将实验室的研究成果转化为可操作的实际系统,再用15年的时间完成整个系统的螺旋式发展,最终参与作战。

图1-4是美军《无人机系统路线图(2005—2030)》中最重要的几种无人机技术研究、发展、军事应用情况的规划。颜色由浅变深表示该机型由实验室研究阶段正式进入军事应用阶段;由深变浅则代表逐渐退出现役或被其他机型取代。



图1-4 美军无人机系统发展规划

除此之外,美军还制定了一系列相对具体的计划,如联合无人驾驶战斗飞行器(J-UCAV)计划等;各军种也根据自己的特点和需求,分别制订相应的无人机计划,发展最适合本军作战

特点的机型,实现最佳作战效果。例如陆军早期的“天鹰”小型战术无人机计划和随后的“猎人”短程无人机计划;海军和海军陆战队的“火力侦察兵”计划;美国空军总部于2009年5月正式颁布了《美国空军2009—2047年无人机系统发展规划》,以条令、编制、训练、作战物资、领导者的培养、人员与设施以及政策的形式对美国空军2009—2047年的发展规划进行了概述,综合了早期无人机的发展经验与新兴的先进无人机技术。

(二)以色列

以色列在无人机的发展方面走在世界前列,仅次于美国。以色列无人机的发展是在20世纪60~70年代引进美国“石鸡”军用无人机后,通过仿制和改进逐步发展起来的,以色列飞机工业公司(Israel Aircraft Industries Ltd., IAI)是其无人机研究的主要单位。

经过数十年的不懈努力,以色列在这一领域已取得了骄人的成绩,一跃成为世界无人机强国。目前以色列已投入使用的无人机有17种型号,并拥有一批规模不等、产品各异的无人机生产企业,具有研制、生产和实战应用的丰富经验。至今,以色列已经研制了三代无人机,其第一代为“侦察兵”无人机、“猛犬”无人机,第二代为“先锋”无人机,第三代主要是“搜索者”无人机及中空长航时多用途“苍鹭”无人机,现正在研制的是第四代无人机。

以色列的军用无人机包括侦察、干扰、反辐射、诱饵、通信中继等多种类型,形成了一个较完整的无人机体系。世界许多国家在发展无人机时,都曾借鉴以色列的成功经验,或从以色列引进技术、联合研制、进口无人机系统。

(三)俄罗斯

俄罗斯的无人机发展大致可以分为三个阶段。

第一阶段是20世纪50年代后期至70年代初期,由于受到当时世界政治及战略格局的影响,苏联主要研制战略型无人机。最初是在地地导弹的基础上研制出具有超声速巡航能力的无人驾驶攻击机,并在其基础上研制了远程无人驾驶侦察机系统。

第二阶段为20世纪70年代初至80年代末,苏联主要研制战术无人机。在这一时期,速度更快、机动性更强的米格-25有人驾驶高空高速侦察机已大量装备部队且战绩颇佳,因此战略无人机被逐步淘汰,而侦察设备更先进的无人驾驶的亚声速战术侦察机和战役侦察机应运而生。

第三阶段从20世纪90年代初至今。20世纪90年代初,由于缺乏经费,俄罗斯无人机的发展开始走入低谷,与此同时,美国、以色列等国家无人机技术已经开始超过俄罗斯。近年来,俄罗斯军方不断加大了对无人机研发工作的投入,使其无人机工业有了很大的发展。

(四)英国

英国是较早研制使用军用无人机的国家之一,其无人机研制水平也比较高。在1999年的科索沃战争、2002年的阿富汗战争和2003年的伊拉克战争中,英军都有多种无人机参战。英国典型的无人机有“不死鸟”(Phoenix)侦察监视无人机、“观察者”(Observer)战术侦察无人机等。

(五)法国

法国在无人机研制上拥有较强的实力,曾在欧洲无人机领域长期保持领先地位。法国在20世纪80年代末至90年代中期,先后自行研制了“玛尔特”“狐狸”AT和“红隼”“轻骑兵”“麻雀”等战术无人机,“考普特”1和“考普特”2、“警戒观察员”“太阳”等无人直升机,“龙”“狐狸”等电子战无人机等,近年来进展较慢。法国主导的中空长航时无人机系统、多功能多传感器无

人机和神经元无人战斗机三个公开的合作计划中,目前只有神经元无人战斗机验证机获得了成功。

(六)德国

德国早在第二次世界大战期间就已使用过无人航空兵器,从事无人轰炸机的研究并将其用于实战。早在20世纪70年代,德国就开始研制多种无人机,但大部分用于战场侦察或射击校正。德国比较著名的无人机有“月神”X-2000、“布雷维尔/KZO”等无人侦察机,“希摩斯”LV、“奥卡”1200无人直升机,“达尔”(DAR)反辐射无人机,“欧洲鹰”长航时无人机和“台风”无人作战飞机等。

(七)日本

日本具有很强的无人机研制能力。雅马哈公司研制的无人直升机广泛地用于民用和军用领域;微型、多用途和超声速等类型的无人机正在研究开发中。日本计划投入大量的资金从美国引进先进的“全球鹰”和“捕食者”系列无人机并加以改进,以满足其军事需要。

二、无人机的发展趋势

随着无人机技术的发展进步和应用领域的拓展延伸,无人机在国民经济建设和现代战争中将发挥越来越重要的作用。

(一)无人机技术发展趋势

无人机技术的发展将赋予无人机新的性能和功能,随着计算机、通信、人工智能等技术的飞速发展,制约无人机发展的技术难题将会逐一解决,高空、高速、长航时及微型化、智能化和隐身化的无人机系统层出不穷,无人机的发展将进入到一个崭新的时代。无人机技术的发展趋势主要表现在以下几个方面。

1. 无人机平台向高空长航时、高超音速、高隐身性和高仿生性方向发展

美国“全球鹰”无人机,其续航时间在42 h以上,最大飞行高度20 000 m,最大飞行距离26 000 km,可从美国本土飞往全球任何地区进行战略和战役侦察。为延长其飞行时间,美国国防部已与波音公司签订了无人机燃料电池动力系统开发合同,新的燃料电池动力系统能使无人机在空中连续飞行数周,而不是现在的数十小时。同类型的无人机平台还有美国的“全球观察者”无人侦察机、以色列的“苍鹭”TP无人机以及我国的“翔龙”高空长航时无人机。“全球观察者”无人机的体型十分庞大,翼展相当于一架波音747客机,其续航时间约为7天,最大飞行高度19 800 m,被称为“五角大楼永远睁着的眼睛”;以色列航空航天工业公司开发的“苍鹭”TP无人机,又被称为“埃坦”(Eitan),是以军最大的无人机,航程可覆盖包括伊朗在内的海湾地区,续航时间在24 h以上,最大飞行高度13 700 m;“翔龙”无人机是中国新一代高空长航时无人侦察机,其续航时间最大为10 h,巡航高度为18 000~20 000 m。

2013年5月1日,美国波音公司和普惠公司联合研制的X-51A型高超音速无人驾驶飞行器完成最后一次试验,在试验中达到了超过5马赫的最高时速,共计飞行370 s,距离426 km。X-51项目始于2004年,用来验证一种自由飞行、超燃冲压发动机驱动的飞行器的可行性,更高的速度和更大的机动性意味着更高的生存性。该项目是美军“全球快速打击计划”的产物,美国空军号称其在一小时内可以对全球任何目标进行即时打击。

2013年6月巴黎航展上,法国、西班牙、意大利等欧洲六国联合研制的“神经元”隐身无人机进行展示。该机翼展尺寸与“幻影”2000相当,但显示在雷达屏幕上的尺寸却不超过一只麻