



职业教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

无人机任务载荷

段连飞 章 炜 黄瑞祥◎主编



西北工业大学出版社

职业教育“十三五”规划教材·无人机应用技术

WURENJI RENWU ZAIHE

无人机任务载荷

段连飞 章 炜 黄瑞祥 主编

西北工业大学出版社

【内容简介】近年来,随着光电探测技术和无线通信技术的快速发展,无人机机载任务载荷也在向全天候、高分辨率、远距离、宽收容、实时化、小型化方向发展。本书立足于无人机任务载荷的特点和现状,着重从载荷的工作原理入手,选取了无人机应用最为广泛的数字航空照相、可见光电视摄像、红外摄像、合成孔径雷达4种光电探测方式,向读者阐述了各系统的组成、结构构成与分类、工作机理、典型设备特性等。

本书既可作为高等院校无人机技术、摄影测量与遥感、信息工程等专业的教材,又可供无人机领域科技人员、操作人员和爱好者使用。

图书在版编目(CIP)数据

无人机任务载荷/段连飞,章炜,黄瑞祥主编..—西安:西北工业大学出版社,2017.4
ISBN 978-7-5612-5256-7

I. ①无… II. ①段… ②章… ③黄… III. ①无人驾驶飞机—载荷分析 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第100251号

策划编辑:杨军

责任编辑:卢颖慧

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电话:(029)88493844 88491757

网址:<http://www.nwpup.com>

印刷者:兴平市博闻印务有限公司

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:12.875

字数:312千字

版次:2017年4月第1版

2017年4月第1次印刷

定价:38.00元

前 言

无人机任务载荷是无人机系统的重要组成部分之一,也是无人机执行任务的各种传感器的总称。无人机任务载荷可分为非成像型和成像型两类,非成像型任务载荷主要是针对某一特定任务,如电子干扰类任务载荷、气象探测类任务载荷等;成像型任务载荷主要是通过获取图像的信息处理与提取来完成指定任务。目前,在民用领域,主要以成像型任务载荷为主,因此,本书所阐述的任务载荷主要针对的是成像型任务载荷。成像型任务载荷主要包括航空相机、电视摄像机、红外成像仪、合成孔径雷达等。

近些年,随着光电探测技术和无线通信技术的快速发展,无人机机载任务载荷也在向全天候、高分辨率、远距离、宽收容、实时化、小型化方向发展,高清晰度数字电视、实时传输的数字航空照相机、非扫描成像的高分辨率前视红外仪以及全天候工作的合成孔径雷达已经在无人机系统中广泛应用。本书立足无人机任务载荷的特点和现状,着重从载荷的工作原理入手,选取无人机应用最为广泛的数字航空照相、可见光电视摄像、红外摄像、合成孔径雷达4种光电探测方式,向读者阐述各系统的组成、结构构成与分类、工作机理、典型设备特性等;开篇引入绪论和电磁辐射与物体的波谱特性等基础理论内容,便于读者对无人机任务载荷的发展轨迹和工作原理得到更好的认识和理解。

本书力求理论完善、基本原理清晰、详略得当、重点突出,注重新理论、新方法、新技术的引入,本书可作为高等院校无人机技术、摄影测量与遥感、信息工程等专业的教材,也可供无人机领域科技人员、操作人员和爱好者使用。

全书共分为六章,第一章:绪论;第二章:电磁辐射及物体的波谱特性;第三章:无人机航空摄影原理;第四章:无人机电视摄像与跟踪定位原理;第五章:无人机红外成像原理;第六章:无人机载合成孔径雷达成像原理。

本书第二、五、六章由段连飞编写,第一、四章由章炜编写,第三章由黄瑞祥编写。在编写过程中,参考、借鉴了国内外相关领域的专家、学者发表的文献和出版的著作,在此表示真诚的谢意!

由于笔者水平有限,加之时间仓促,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2016年5月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 无人机发展概况	1
1.2 无人机分类	4
1.3 无人机系统组成	7
1.4 无人机的用途	13
习题1	14
第2章 电磁辐射及物体的波谱特性	15
2.1 电磁辐射	15
2.2 电磁辐射与物体的相互作用	23
2.3 电磁辐射的大气传输	34
习题2	38
第3章 无人机航空摄影原理	40
3.1 概述	40
3.2 无人机航空摄影任务规划	43
3.3 数字航空照相机分类	54
3.4 数字航空照相机结构与特性	61
3.5 普通航拍设备及操作要求	81
习题3	85
第4章 无人机电视摄像与跟踪定位原理	86
4.1 概述	86
4.2 CCD结构与原理	87
4.3 CCD分类与特性	97
4.4 光电稳定平台原理与特性	106
4.5 电视摄像系统跟踪与定位	116
习题4	128
第5章 无人机红外成像原理	129
5.1 红外物理基础	129
5.2 红外成像技术	135
5.3 红外探测器	136

5.4 红外探测器制冷	153
5.5 红外热成像系统	157
习题 5	162
第 6 章 无人机载合成孔径雷达成像原理	164
6.1 概述	164
6.2 合成孔径雷达成像原理	167
6.3 合成孔径雷达图像的几何特征	174
6.4 合成孔径雷达图像的几何变形分析	179
6.5 合成孔径雷达成像模型与图像测量	185
习题 6	197
参考文献	198

第 1 章 绪 论

无人机是一种由动力驱动、机上无人驾驶、可重复使用的航空器的简称(英文表示为 Unmanned Aerial Vehicle, 缩写为 UAV)。它是利用无线电遥控设备和自备的程序控制装置的不载人飞机, 主要包括多旋翼飞机、无人直升机、固定翼飞机、无人飞艇、无人伞翼机等。广义上也包括 20~100 km 空域范围的临近空间飞行器, 如平流层飞艇、高空气球、太阳能无人机等。

无人机系统所使用的大量先进技术涵盖了航空技术、电子技术、通信技术、信息处理技术、计算机技术、光电技术等, 是先进武器装备的代表之一。无人机的最初发展也仅仅是为了纯粹的军事目的, 英国在一战时期研制的世界第一款无人机被称为“会飞的炸弹”, 德军在第二次世界大战时期已经开始大量应用无人驾驶轰炸机参战。在 20 世纪 60 年代的越战、70 年代的中东战争、90 年代的海湾战争和科索沃战争, 以及 21 世纪初的阿富汗战争、伊拉克战争中, 无人机均大显身手, 无人机作为军队战斗力倍增器的特性已得到世界各军事强国的广泛认可。我国从 20 世纪 50 年代开始研制无人机, 到现在已生产了众多型号各异、用途不同的无人机, 在空军、海军、陆军和导弹部队服役。正是由于无人机在侦查和情报获取方面所具有的成本低廉、控制灵活、持续时间长等优势, 各国军队都相继投入大量经费, 用以研发更新、更先进的无人机系统。

由于无人机在“3D”(Dull, Dirty, Dangerous)环境下执行任务的显著优势以及灵活机动的特性, 使得无人机在民用领域也得以快速发展。应该说民用无人机是在 20 世纪 80 年代军用无人机的现代系统大发展的基础上才开始尝试应用的, 但是无人机在民用各领域的全面开花仅用了 10 余年时间。

1.1 无人机发展概况

1.1.1 军用无人机发展概况

战争是无人机发展的最大牵引力, 20 世纪初无人机开始起步, 直到今天, 已经形成了比较完整的体系。无人机的发展起始于小型飞行器, 1915 年德国西门子公司研制的采用伺服控制装置和指令制导的滑翔炸弹被公认为无人机的先驱。在相当长一段时期内, 无人机基本上都是靶机的一种别称。1917 年英国与德国先后研制成功无人驾驶遥控飞机, 1930 年英国首先开始靶机研制, 1933 年世界上第一架有人驾驶飞机被成功地改成“蜂后”号靶机并试飞成功, 1939 年美国也开始研制靶机。第二次世界大战后为发展新型防空导弹, 美国先后有 30 多家公司投入了靶机和遥控飞行器的研制, 其中最负盛名的有瑞安公司研制的世界上生产最多的“火蜂”系列靶机, 以及诺斯罗普公司的“石鸡”系列靶机等; 而加拿大、以色列、日本、德国等也相继研制成功多种靶机, 苏联也研制成功由米格-15 改装的靶机。

伴随测量等技术的发展,世界各国也开始着手对靶机装载测量装置进行改造,使其具有战场侦察监视、目标探测和电子战能力,如美国的“火蜂”、意大利的“米拉奇”等。除靶机外,无人机在军事方面的应用发展缓慢,直到近代几场局部战争,无人机才崭露头角,逐步成为除有人驾驶飞机和导弹以外的另一类作战武器。

无人机直接用于战争开始于 20 世纪 60 年代至 70 年代的美军侵越战争。当时越南防空火力对美军构成很大的威胁。据统计,1965 年用 13 枚地空导弹就能击落一架军用飞机,由于采取了干扰措施,1967 年需 33~55 枚地空导弹才能击落一架军用飞机。即便如此,B-52、F-4 鬼怪式飞机等仍然时有被击落。为减少损失,美军首次使用了改装后的“火蜂”无人侦察机,共出动 3 400 多架次,在越南执行空中照相侦察和电子情报侦察等任务,损失率仅为 16%,这就意味着避免了近 540 架有人驾驶飞机被击毁,也避免了一千多名飞行员丧生。

在两次中东战争中,以色列创新使用了无人机对地面作战实施支援。在 1973 年的第四次中东战争中,以色列沿苏伊士运河大量使用美制“BQM-74C 石鸡”多用途无人机模拟有人作战机群,掩护有人机超低空突防,成功摧毁了埃及沿运河部署的地空导弹基地,扭转了被动的战局。在 1982 年入侵黎巴嫩的军事行动中,以军派遣了“猛犬”无人机从 1 500 m 高度进入贝卡谷地上空,发出酷似以色列战斗机大小的“电子图像”,诱使地空导弹阵地的雷达开机并发射大量地空导弹。以色列军队对无人机的成功运用也引起了各国军方的重视,加之无人机自身在造价低、用途广、“零伤亡”等方面的优势,引发各国竞相研究与采购无人机的热潮,这也进一步促进了无人机的快速发展和使用。

进入 20 世纪 90 年代,冷战结束后,各国军费削减、军队裁员,迫使军方努力寻求既能完成特定任务,又花费较少的武器装备,这无疑为无人机的发展提供了机遇。从军事侦察使用的角度来看,无人机是侦察卫星和有人侦察机的重要补充和增强手段,与侦察卫星相比,具有成本低、侦察地域控制灵活、地面目标分辨率高等特点;与有人侦察机相比,具有可昼夜持续侦察的能力,不必考虑飞行员的疲劳和伤亡问题,再加上电子技术和航空航天技术的飞速发展,为无人机满足军事需求在技术上提供了可能。海湾战争时,多国部队使用多种无人机在伊拉克军队前沿和纵深阵地实施昼夜侦察,获取了伊拉克军队地空导弹阵地、坦克、飞机机库、仓库和掩体等目标实时准确的图像和数据信息,为战争胜利提供了大量可靠的情报支援。在科索沃战争中,美国及北约盟国首先使用无人机当开路先锋。共使用“RQ-1A 捕食者”“猎人”“先锋”“红隼”“CL-289”“不死鸟”“米拉奇 26”7 种无人机 300 多架,用于中低空侦察和长时间战场监视、电子对抗、战况评估、目标定位、收集气象资料、营救飞行员和散发传单等任务,发挥了有人机难以发挥的作用。以上诸因素促使军用无人机的发展进入了一个新的时代,并在 20 世纪末形成了三次发展浪潮。

第一个浪潮是发展师级战术无人机系统。海湾战争之后,性能各异、技术先进、用途广泛的战术无人机新机种不断涌现,全球共有 30 多个国家装备了师级战术无人机系统,在陆、海、空三军组建了无人机分队,形成了战斗力。代表性机型有以色列的“侦察兵”(Scout)、“先锋”(Pioneer)、“搜索者”(Searcher),美国的“猎人”(Hunter)、“先驱者”(Outrider),法国的“玛尔特”(Mart)、“红隼”(Cerebella),德国的“布雷维尔”(Brevel),加拿大的 CL-289,英国的“不死鸟”(Phoenix),意大利的“米拉奇-26”(Mirach),南非的“探索者”(Seeker)、“秃鹫”(Vulture)和俄罗斯的“熊蜂”(Shmel)等。

第二个浪潮是发展中高空长航时无人机系统。1993 年,美国启动了蒂尔(Tier)无人机发

展计划,自从美国的“捕食者”(Predator)(蒂尔Ⅱ)中空长航时无人机在波黑和科索沃战场中试用并获得成功之后,开始形成了第二个发展浪潮。虽然这个浪潮的规模比第一个浪潮小得多,仅有美国、以色列、法国等少数国家投资发展,但因长航时无人机所独具的全天候、大纵深侦察监视能力,有许多国家对此表示了极大兴趣。代表性机型有美国的“捕食者”(Predator)(蒂尔Ⅱ)、“全球鹰”(Global Hawk)(蒂尔Ⅱ+)、“暗星”(Dark Star)(蒂尔Ⅲ-),以色列的“苍鹭”(Heron)、“赫尔姆斯”(Hermes),法国的“鹰”(Eagle)、“萨若海尔”(Sarohale)等。

第三个浪潮是发展旅/团级战术无人机系统。该浪潮出现在20世纪末,与大型无人机相比,此类无人机体积小、机动性好、价格低廉、使用简便且容易与其他军事设备配套。该类无人机装备陆军、海军陆战队旅/团级部队和海军舰队,可执行多种军事任务,用途极为广泛,非常适合大多数发展中国家的需求,采购量大大超过前两个高潮。代表性机型有美国的“影子”(Shadow)200、“火力侦察兵”(Fire Scout)和奥地利的“坎姆考普特”(Camcopter)等。

1.1.2 民用和消费级无人机发展概况

由于军用无人机的显著优势及其灵活机动的特性,其相关技术也不断向民用方面扩展,为无人机产业化的普及创造了条件。

早在1983年,日本雅马哈公司就采用摩托车发动机,开发了一种用于喷洒农药的无人直升机,1989年其成为首架实际成功用于试飞的无人直升机。

2003年,美国NASA成立了世界级的无人机应用中心,专门研究装有高分辨率相机传感器无人机的商业应用。2007年,美国宇航局使用“伊哈纳”(Ikhana)无人机评估森林大火的严重程度以及灾害的损失估算工作。2011年,墨西哥湾钻井平台爆炸后,艾伦实验室公司利用无人机协助溢油监测和溢油处理。

以色列也专门组建了一个民用无人机及其工作模式的试验委员会,2008年给予“苍鹭”无人机非军事任务执行证书,并与有关部门合作展开多种民用任务的试验飞行。

欧洲在2006年制定并即刻实施“民用无人机发展路线图”,之后欧盟拟筹建一个泛欧民用无人机协调组织,为解决最关键的空中安全和适航问题提供了帮助。

中国对民用无人机的研究起步较早,近年发展尤为迅速。早在20世纪80年代,中国就尝试将自行开发的无人机用于地图测绘和地质勘探。2010年,专为民用研制的“黔中”1号无人机顺利实现首飞;2011年,国产“蜜蜂-28”无人机实现了全自主起飞、着陆、悬停和航路规划,并应用于农业喷洒、电力巡检、防灾应急、航拍测绘、中继通信等。

应该说,世界各国都在广泛开展民用无人机技术的研究,拓展无人机在民用方面的应用深度和广度。受益于无人机各方面技术的成熟和成本的大幅下降,民用无人机可谓实现了爆发式发展。目前,世界各国无人机在民用方面的应用领域构成如图1-1所示,由此也给民用无人机研发企业带来了可观的经济收入。成立于2006年的我国深圳大疆公司,其2010年的产值仅几百万人民币,而2013年产值就高达8亿元人民币,2014年产值更是趋近30亿元人民币。

由于移动智能终端的兴起,芯片、电池、惯性传感器、通信芯片等产业链迅速成熟,为无人机向更加小型化、低功耗方向迈进创造了条件。尤其是近十年伴随硬件产业链的成熟、成本曲线的不断下降,使得民用和消费级无人机市场快速兴起。

目前,高性能芯片完全可以满足无人机导航传感器的信息融合,实现无人飞行器的最优控

制。MEMS 惯性传感器从 2011 年开始大规模兴起,6 轴、9 轴的惯性传感器也逐渐取代了单个传感器。WIFI 等通信芯片用于控制和传输图像信息,通信传输速度和质量已经可以满足几百米的传输需求。电池能量密度不断增加,使得无人机在保持较轻的质量下,续航时间达到 25~30 分钟,可满足一些基本应用。此外,太阳能电池技术使得高海拔无人机能够持续飞行一周甚至更长时间。近年来,移动终端同样促进了锂电池、高像素摄像头性能的急剧提升和成本的快速下降。

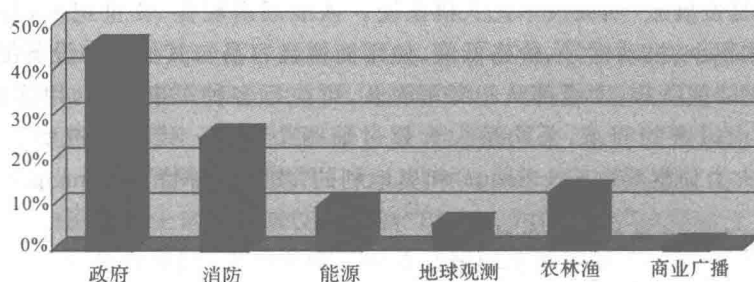


图 1-1 世界民用无人机应用领域构成

除了硬件技术提高与成本下降之外,近年来飞控系统开源化的趋势也为无人机从军用和科研机构的应用逐步转向民用和消费级市场。目前,国际上广泛使用的无人机开源平台主要包括 APM,MK,Paparazzi,PX4 和 MWC。

德国 MK 公司是在多旋翼无人机上使用开源飞控系统的鼻祖;2011 年,美国 APM 公司开放了无人机设计平台,该举措彻底点燃了市场对无人机系统开发的热情,之后的 2012 年民用和消费级无人机进入了加速上行的通道。

2014 年 10 月,Linux 将 3D Robotics、英特尔、高通、百度等科技巨头纳入项目组,推出了“Dronecode”无人机开源系统合作项目,旨在为无人机开发者提供所需要的资源、工具和技术支持,加快无人机和机器人领域的发展。根据调研,Dronecode 项目使未来十年世界无人机研发、测试和评估等活动的总值达到 910 亿美元。

当然,民用和消费级无人机的快速发展也和各国针对无人机的相关政策密不可分。英国民航局是世界无人机法规领域的领航者,2012 年 8 月,英国颁布了 CAP722,该法规对民用无人机实施相当程度的开放政策。2015 年 2 月 15 日,美国联邦航空管理局公布了无人机商转管理办法草案,该草案打破了之前全面禁飞的局面。2009 年之前,我国无人机尚处于无监管的空白状态;在此之后,我国才开始逐步进入持证飞行阶段。

总之,无论是军用无人机,还是民用和消费级无人机,其快速发展的关键主要取决于航空技术的不断进步,可以说航空技术的发展为无人机获得更高的飞行性能、更好的可靠性提供了条件,这其中既有智能化技术的发展,又有高速宽带网数据链的实现;既有轻型材料和小型传感器的出现,又有续航能力的进一步增强。

1.2 无人机分类

无人机自诞生雏形至今,经历了很长时间的发展,无论从外形结构上,还是从功能用途上都发生了很大变革,根据不同的分类方式可以将其分为多种类型。

1. 按平台构型分类

按照不同平台构型,无人机主要分为固定翼无人机、无人直升机和多旋翼无人机三大平台。其他一些小种类无人机平台还包括伞翼无人机、扑翼无人机和无人飞船等。

固定翼型无人机通过动力系统和机翼的滑行实现起降和飞行,遥控飞行和程控飞行均容易实现,抗风能力也比较强,是类型最多、应用最广泛的无人驾驶飞行器,也是军用和多数民用无人机的主流平台。其发展趋势是微型化和长航时,目前微型化的无人机只有手掌大小,长航时无人机的体积一般比较大,续航时间在10小时以上,能同时搭载多种遥感传感器。起飞方式有滑行、弹射、车载、火箭助推和飞机投放等;降落方式有滑行、伞降和撞网等。固定翼型无人机的起降需要比较空旷的场地,比较适合林业和草场监测、矿山资源监测、海洋环境监测、城乡结合部的土地利用监测以及水利、电力等领域的应用。

无人直升机是灵活性最强的无人机平台,其技术优势在于能够实现定点起飞、降落,对起降场地的条件要求不高,其飞行也是通过无线电遥控或通过机载计算机实现程控。但无人驾驶直升机的结构相对来说比较复杂,操控难度也较大,所以种类不多,实际应用也比较少。

多旋翼(多轴)无人机则是消费级和部分民用用途无人机的首选平台,灵活性介于固定翼和直升机之间,但操纵简单、成本较低。

2. 按使用领域分类

按不同使用领域来划分,无人机可分为军用、民用和消费级三大类,这三者对无人机的性能要求各有侧重。

1) 军用无人机对于灵敏度、飞行高度与速度、智能化等有着更高的要求,是技术水平最高的无人机。根据航程、活动半径、续航时间和飞行高度区分,军用无人机可分为战术无人机和战略无人机两大类;按作战任务区分,军用无人机可分为侦察监视无人机、校射无人机、电子战无人机、通信中继无人机、攻击无人机、运输无人机和靶机等几类。

2) 民用无人机一般对于速度、升限和航程等要求都较低,但对于人员操作培训、综合成本有较高的要求,因此需要形成成熟的产业链提供尽可能低廉的零部件和支持服务。民用无人机主要用于地质勘查、地形测绘、农作物病虫害防治、农作物产量评估、森林防火、汛情监视、交通管制、气象监测等方面,我国D-4型无人机就作为航空磁探矿使用。目前,民用无人机最大的市场还在于为政府提供公共服务,约占总需求的70%。未来无人机发展潜力最大的市场应在民用领域,诸如农业植保、空中无线网络以及数据获取等。

3) 消费级无人机多采用成本较低的多旋翼平台,该类型无人机主要用于航拍、快递、游戏等休闲用途。诸如利用高清数字视频传输来提供飞行影像,将无人机与运动相机相互结合,是无人机在运动健康等个性化航拍领域的重要应用;利用无人机为偏远山村运送食品、医疗用品等,为城市物流提供速递业务;将无人机技术与虚拟现实技术相结合,创建一个虚拟世界,使用户获得更加直观的视觉体验。

3. 按大小分类

无人机按大小可分为大型、中型以及小型无人机。小型无人机犹如一架大的航模飞机,它执行任务较少或只能执行单一的特定任务,质量只有约10 kg。大型无人机相当于一架小飞机,它可执行多种复杂的战斗任务。中型无人机介于大型和小型之间。据资料显示,目前微型无人机已经存在,它是一种尺寸、质量均很小的无人机。

4. 按质量分类

从已有的资料来看,无人机按质量有两种分法,一种是分为轻型、中型和重型,轻型无人机其质量小于 90 kg,中型无人机其质量在 90~2 270 kg 之间,重型无人机质量大于 2 270 kg;另一种是分为大型、中型和小型,其总质量分别为大于 500 kg,200~500 kg,小于 200 kg。

5. 按活动半径分类

航程是无人机的重要性能,它是指起飞后中途不加油能够飞越的距离。而活动半径(也称作战半径)一般规定为航程的 25%~40%。按活动半径区分,无人机一般可分为近程、短程、中程和长续航时间(简称长航时)四种。

近程无人机活动半径小于 30 km,续航时间 1~3 h。一般在旅、营级以下单位使用,在其关心的地域执行任务,例如美国 R4E-50 及 FQM-151A 无人机等。

短程无人机活动半径约 150 km,续航时间 6~9 h,由军、师级单位使用。

中程无人机活动半径约 650 km,续航时间不小于 8 h,一般设计成高亚声速飞行。要求其提供高质量的近实时图像,完成对敌重点防御目标的侦察任务。

长航时无人机目前尚未给出严格概念。它是指能担负多种作战任务,携带多种载荷,飞行时间长的无人机。其主要特征是具有可连续几天飞行、航程远、飞行高度高,可把它看成常规飞机和卫星之间的特别飞行器。

6. 按使用次数分类

无人机按使用次数分为一次使用无人机和多次使用无人机。

一次使用无人机发射升空,在完成任务之后不回收,这种无人机与导弹一样是一次使用的,故不需要在该机上装回收系统。早期时简单的靶机以及诱饵机就是一次使用无人机。

多次使用无人机在完成任务或升空后要求回收,以便再次执行任务,该种无人机较复杂,特别是机上设备较为重要或精密。目前使用的无人机大多数都是可以回收的。

7. 按飞行器的构造分类

以机翼来分类:按机翼数目可分为单翼机、双翼机和多翼机,分别在机身两边各装一只或两只机翼的称为单翼机或双翼机,四只机翼沿机身分布成“+”字形或“×”字形配置为多翼机;按机翼是否带撑杆分为带撑杆的单翼机,不带撑杆的张臂式单翼机;按机翼在机身上的相对位置分为上单翼、中单翼和下单翼;按机翼的形式分为固定翼式、旋转翼式的无人机,固定翼机即常见的飞机,旋转翼式机一般分为旋翼机和直升机;按机翼平面形状,可分为平直翼飞机、后掠翼飞机、前掠翼飞机和三角翼飞机。

以尾翼来分类:按尾翼在机身前后位置分为正常尾翼式和鸭式无人机,前者尾翼在机翼之后,后者尾翼在前;按尾翼的数量和配置可分为单立尾、双立尾、三立尾、无尾翼、V 形尾、倒 Y 形尾以及十字形尾等无人机。后三种的尾翼数量分别为二、三和四只尾翼,呈 V、Y 和十字形配置。美国 RPV-004 无人机的两只垂直尾翼分别安装在机翼上。

8. 按飞行速度分类

按飞行速度分类无人机可分为亚声速无人机、超声速无人机和高声速无人机。

此外,按控制方法分类,无人机可分为自控式、遥控式和寻的式无人机;按飞行高度分类,无人机可分为高空、中空和低空无人机。现已出现混合命名的无人机,如高空长航时无人机,可回收亚声速喷气无人机及多用途小型遥控无人机等。

1.3 无人机系统组成

无人机系统通常包括无人机本身和完成任务所用的设备、设施的全体,有时还包括操纵无人机的地面或母机(舰)上的人员。作为高新技术的综合体,无人机技术涉及力学、热力学、材料学、光学、传感技术、电子技术、自动控制技术、计算机技术、喷气推进技术以及制造工艺学等多种科学技术领域,而且其涉及的领域也在不断拓展当中。无人机技术是在现代战争和经济建设的需求牵引下不断发展的,新一代无人机对通信技术、传感器技术、人工智能技术、发动机技术、隐身技术等提出了更高的要求,并且随着以全球导航定位技术、合成孔径雷达成像技术、毫米波雷达技术、红外遥感技术、智能控制技术、隐身技术等为代表的多种高新技术的应用而正进行着脱胎换骨的变化。

1.3.1 飞行器分系统

能离开地面飞行的机器或装置总称为飞行器。飞行器按是否有人驾驶分为有人驾驶飞行器(飞机、载人飞船等)和无人驾驶飞行器(无人驾驶飞机、导弹等)。飞行器按飞行空间范围分为航空器、航天器和航宇器。在大气层飞行的飞行器称为航空器,如飞机、导弹;主要在大气层外空间飞行的飞行器称为航天器(亦称大气层飞行器),如人造地球卫星、航天飞机;用于航宇的飞行器称航宇器,如星际探测器。后两种亦称为外层空间的飞行器。

任何航空器都需要产生升力以克服自身重量才能在空中飞行。航空器按照产生升力的基本原理分为:轻于空气的飞行器,如气球、飞艇;重于空气的飞行器,如飞机、直升机、滑翔机、旋翼机、导弹、地面效应飞行器等。气球和飞艇的主体是一个气囊,内充密度比空气小得多的气体以产生浮力而在空中飞行,两者的主要区别是气球升空后只能随风飘荡或系留在地面某一个固定位置;而飞艇具有推进系统,有安定面和操纵面,可在空中操纵飞行。飞机是一种有动力装置、靠机翼产生升力的航空器。机翼可以固定在机身上,也可以是旋转的。机翼固定的,包括机翼后掠角可变的飞机称为固定翼飞机,其中在固定翼飞机里有动力装置的称为飞机,无动力装置的称为滑翔机。靠旋转产生升力的机翼称为旋翼,旋翼由动力装置驱动飞机称为直升机,旋翼无动力驱动的飞机称为旋翼机,它靠迎面气流吹动旋翼而产生升力飞行。我国习惯上把直升机、旋翼机、滑翔机等也称为飞机。

导弹是具有战斗部、依靠自身动力推进、由制导系统导引并控制其飞行轨迹,最终导向目标的飞行器。导弹必须装有制导系统,通过它对导弹进行飞行控制。制导系统可以全部装在弹上,也可以一部分装在弹上,另一部分放在地面指挥站,从指挥站对导弹进行控制。总体而言,导弹是一次性使用、无人驾驶的飞行器。

无人机的飞行平台主要由六大部分组成:机身、机翼、尾翼、起落装置、飞行自动控制系统和动力系统。

1. 机身

机身主要用来装载发动机、燃油、任务设备、电源、控制操纵系统等,并通过它将机翼、尾翼、起落架等部件连成一个整体。

2. 机翼

机翼是飞行器用来产生升力的主要部件。固定翼无人机的机翼有平直翼、后掠翼、三角

翼等。

平直翼比较适用于低速飞行器,后掠翼和三角翼比较适合高速飞行器。

机翼上一般还有副翼,用于控制飞机的倾斜,但当左右副翼偏转方向不同时,就会产生滚转力矩,使飞行器产生倾斜运动。

3. 尾翼

尾翼分垂直尾翼和水平尾翼两部分。对于一些结构比较特殊的无人机来说,可能会不设垂直尾翼或水平尾翼。

垂直尾翼:垂直安装在机身尾部,主要功能为保持机体的方向平衡和操纵。通常垂直尾翼后缘有用于操纵方向的方向舵。

水平尾翼:水平安装在机身尾部,主要功能为了保持俯仰平衡和俯仰操纵。

4. 起落装置

起落装置的功用是使无人机在地面或水面进行起飞、着陆、滑行和停放。

起落装置对于无人机来说是形式最多样的一部分,这是因为无人机有多种发射/回收方式。大型无人机的起落装置包含起落架和改善起落性能的装置两部分,起飞后起落架收起,减少飞行阻力;多数无人机的起落架很简单,飞行时也不收起;对于采用弹射、拦阻网等方式进行发射/回收的小型无人机不需要起落架;对于采用手掷发射的小型无人机,也没有起落装置;伞降回收的无人机着陆装置就是降落伞。

5. 飞行自动控制系统

飞行自动控制系统包括控制指令自动形成装置和传输操纵装置。指令自动形成装置包括自动驾驶仪和相关的传感器、导航设备;传输操纵装置包括从控制指令输出点到水平尾翼、副翼、方向舵等操纵面,用来传递操纵指令,改变飞行状态的所有装置。

6. 动力装置

飞机动力装置是用来产生拉力(如螺旋桨飞机)或推力(如喷气式飞机),使飞机前进的装置。现代无人机的动力主要分为涡轮喷气发动机和涡轮风扇发动机两类。

1.3.2 控制导航分系统

无人机上没有驾驶员,所以无人机的飞行靠“遥控”或“自控飞行”。

1. 遥控飞行

遥控即对被控对象继续远距离控制,主要是利用无线电遥控。遥控信号:遥控站通过发射机向无人机发送无线电波,传递指令,无人机上的接收机接收并译出指令的内容,通过自动驾驶仪按指令操纵舵面,或通过其他接口操纵机上的任务载荷。遥控站设有搜索和跟踪雷达或无线电设备,他们测量无人机在任意时刻相对地面的方位角、俯仰角、距离和高度等参数,并把这些参数输入到计算机,计算后就能绘出无人机的实际航迹;与预定航线比较,就能求出偏差,然后发送指令进行修正。下传信号:遥控指令只包含航迹修正信号显然是不够的,在飞行中无人机会受到各种因素的影响,无人机的飞行姿态也在不断变化,所以指令还需要包括对飞行姿态的修正内容。无人机上的传感器一直在收集自身的姿态信息,这些信息通过下传信号送到遥测终端,遥测终端分析这些信息后就能给出飞行姿态的遥控修正指令。遥控飞行有利于简化无人机的设计,降低制造成本;但它也受无线电作用距离的限制,限制通信距离通常只可达到 320~480 km,且容易受到电子干扰。

2. 自控飞行

自控飞行又称为程序控制飞行,它是指不依赖地面控制,一切动作都自动完成的飞行。为此,机上需要有一套装置来保证飞行航向和飞行姿态的正确,这套装置就是导航装置。通常的导航装置包含以下几类。

(1) 惯性导航

在机载设备上,它一般简称惯导(Inertial Measurement Unit;IMU)。惯性导航是以牛顿力学为基础,依靠安装在载体内部的加速度计测量载体在三个轴向的加速度,经积分运算后得到载体的瞬时速度和位置,以及测量载体的姿态的一种导航方式。惯性导航完全依赖机载设备自主完成导航任务,工作时不依赖外界信息,也不向外界辐射能量,不易受到干扰,不受气象条件限制。惯导系统是一种航位推算系统。只要给出载体的初始位置及速度,系统就可以实时地推算出载体的位置速度及姿态信息,自主地进行导航。纯惯导系统会随着飞行航时的增加,因积分积累而产生较大的误差,导致定位精度随时间增长而呈发散趋势,所以惯导一般与其他导航系统一起工作来提高定位精度。

(2) 卫星导航

全球定位系统(GPS)是由美国建立的一套定位系统,可以提供全球任意一点的三维空间位置、速度和时间,具有全球性、全天候、连续性的精密导航系统。全球卫星导航分为三部分,包括空间卫星部分、地面监控部分、卫星接收机部分。在飞机上安装卫星接收机就能得到自身的位置信息和精确到纳秒级的时间信息。现在全球在使用的卫星导航系统还有俄罗斯的glonass、欧洲的伽利略系统以及我国的北斗系统。

我国北斗导航系统的第一颗试验卫星于2000年发射,第一颗组网卫星发射于2007年4月14日,到2016年3月30日发射的最近一颗,至今已发射22颗北斗导航卫星,目前发射的已为新一代的北斗卫星。北斗导航系统自2012年年底开始正式提供区域服务,为我国及周边地区提供无源定位、导航、授时服务。预计2020年将向全球提供定位服务。

(3) 多普勒导航

多普勒导航是飞行器常用的一种自主导航系统,它的工作原理是多普勒效应。多普勒导航系统由磁罗盘或陀螺仪、多普勒雷达和导航计算机组成。磁罗盘或陀螺仪类似指北针,用于测出无人机的航向角,多普勒雷达不停沿着某个方向向地面发射电磁波,测出无人机相对地面的飞行速度以及偏流角。根据多普勒雷达提供的地速和偏流角数据,以及磁罗盘或陀螺仪提供的航向数据,导航计算机就可以不停地计算出无人机飞过的路线。多普勒导航系统能用于各种气象条件和地形条件,但由于测量的积累误差,系统会随着飞行的距离增加而使误差加大,所以一般用于组合导航中。

(4) 组合导航

组合导航是指组合使用两种或两种以上的导航系统,达到取长补短,提高导航性能的目的。目前飞行器上实际使用的导航系统基本上都是组合导航系统,如GPS/惯性导航、多普勒/惯性导航等,其中应用最广的是GPS/惯性导航的组合导航系统。

(5) 地形辅助导航

地形辅助导航是指飞行器在飞行过程中,利用预先存储的飞行路线中某些地区的特征数据,与实际飞行过程中测量到的相关数据进行不断比较来实施导航修正的一种方法。其核心是将地形分成多个小网格,将其主要特征,如平均标高等输入计算机,构成一个数字化地图。

地形辅助导航技术就是利用机载数字地图和无线高度表作为辅助手段来修正惯导系统的误差,从而构成新的导航系统。它与导航方法的根本区别在于数字地图对主导航系统仅能起到辅助修正作用。地形辅助系统可分为地形匹配、景象匹配等。

地形匹配:也称地形高度相关。其原理是地球表面上任意一点的地理坐标都可以根据其周围地域的等高线或地貌来确定。飞行一段时间后,即可以得到真实航迹的一串地形标高。将测得的数据与存储的数字地图进行相关分析,确定飞机航迹对应的网格位置。因为事先确定了网格各点对应的经纬度值,这样就可以使用数字地图校正惯导。

景象匹配:也称景象相关。它与地图匹配的区别是,预先输入到计算机的信息不仅是高度参数,还包含了通过摄像等手段获取的预定飞行路径的景象信息,将这些景象数字化后存储在机载设备上。飞行中,通过机载摄像设备获取飞行路径中的景象,与预存数据比较,确定飞机的位置。自控飞行可使飞行的航程加大、自主工作、无须与地面站联系;但是其复杂的自主导航系统和控制系统,也增加了无人机重量,提高了研制成本。

3. 遥控与自控结合

现代无人机在不同的飞行段,交替地采用遥控或自控飞行,这样可以充分利用遥控和自控两种控制方式各自的优势,克服彼此的缺陷。

1.3.3 无线电分系统

无线电分系统又可称为无人机系统综合无线电分系统,它是无人机系统的主要组成部分,主要实现对无人机飞行状态和机载任务设备工作状态的实时遥控,实现对无人机的跟踪定位,完成无人机侦察图像的实时传输显示,并具有主要遥测参数的综合处理和显示等功能。

无线电分系统由地面设备和机载设备两部分组成。地面设备主要包括测控天线、天线座、伺服、发射机、接收机、测控终端及电源等;机载设备主要包括机载天线、接收机、发射机和测控终端等。对于大型侦察无人机来说,其遥测信号和图像信号共用同一下行遥测链路,而对于普通的小型无人机一般将遥测信号与图像无线传输分开。视距内通信的无人机多数安装全向天线,而超视距通信的无人机一般采用自跟踪抛物面卫通天线。地面设备一般会被集成到控制站系统中,部分地面终端还配有独立的显示控制界面。无人机常用的通信频率主要有:1.2 GHz,2.4 GHz,5.8 GHz,72 MHz,433 MHz,900 MHz 等。

采用无线电遥控方式时,无人机的活动半径和飞行自由度主要受机载和地面遥控设备的发射功率、无线电波的传输距离以及飞行器本身性能的限制。受地球曲率、遥控设备发射功率等因素的影响,地面站的作用距离一般较短,往往只能用于较近距离(250 km 以内)的飞行控制。如果采用中继平台或卫星通信,也可进行远距离甚至洲际范围(上万千米)的操控,但费用将大大增加,使用上也较复杂。另外,采用无线电遥控容易受到电磁干扰,在此种情况下,不但难以完成任务,甚至有可能导致无人机无法返回。

1.3.4 任务设备分系统

随着计算机技术、通信技术的迅速发展以及各种数字化、质量轻、体积小、探测精度高的新型传感器的不断面世,无人驾驶飞行器系统的性能不断提高,应用范围和应用领域迅速拓展。无人机的续航时间从几十分钟延长到几十个小时,任务载荷从几千克到几百千克,这为长时间、大范围的遥感监测提供了保障,也为搭载多种传感器和执行多种任务创造了有利条件。

通常将为完成特定任务在无人机上搭载的传感器称为任务设备,而任务载荷及其相配套的系列机载和地面设备共同构成了任务设备分系统。任务设备分系统的具体组成和无人机所执行的任务相关,根据任务的不同,同一型号的无人机也可装载不同的任务设备,通常将无人机任务设备分系统分为侦察设备、电子战设备、攻击设备、通信中继设备等。本书重点围绕完成侦察监视等任务的无人机任务设备系统展开介绍。

目前,无人机主要使用数字航空照相机、可见光电视摄像机、红外热像仪、合成孔径雷达(SAR)四种方式进行航空侦察与监视任务,其中数字(航空)照相机、可见光电视摄像机主要执行昼间侦察任务,红外热像仪主要执行夜间侦察任务,合成孔径雷达(SAR)主要执行全天候侦察任务。此外,为了完成侦察目标定位、指示等任务,还可安装激光测距或目标指示设备等。总之,不同类型的无人机,由于其任务目标、结构特点和负载大小等各不相同,飞行时所携带的任务载荷也存在差异。

1. 航空相机

航空相机是装载在飞机上以拍摄地表景物来获取地面目标的光学仪器。随着航空技术日新月异的发展,航空相机已经在航空遥感、测量和侦察等领域发挥了重要的作用。航空相机具有的良好机动性、时效性和较低投入等优点,已成为获取地面信息的主要途径之一。

航空相机主要实施昼间、准实时侦察观测任务,可获取航摄区静态高分辨率影像,还可对影像上任意像点的坐标进行提取,完成多幅满足一定要求影像的自动拼接、立体影像提取及其显示等任务,军事上可利用航摄影像完成火力打击效果与伪装情况评估等任务,已在地形测绘、土地和森林资源调查、铁路和公路建设以及军事侦察等诸多领域得到了广泛的应用。

2. 电视摄像机

电视摄像机(可见光)是一种将被摄景物的活动影像通过光电器件转换成电信号的光电设备。主要由摄影镜头、光电转换器、放大器和扫描电路等组成,镜头将景物的影像投射在光电转换器上,通过扫描电路对光电转换器件按一定次序的转换,逐点、逐行、逐帧地把影像上明暗不同或色彩不同的光点,转换为强弱不同的电信号,再通过记录设备或图像传输设备将电信号记录或发送出去。通常将电视摄像机分为黑白、彩色两种类型,黑白电视摄像机主要传送景物明暗影像,彩色电视摄像机主要传送景物彩色影像。

在无人机机载条件下,电视摄像机要实现对地面景物的观测,必须借助相应的稳定转台,通过稳定转台实现对电视摄像机光学中心指向的改变,进而对航摄区域的实时电视影像捕捉,通过改变可见光电视摄像机光学系统焦距,改变航摄区电视影像的比例大小,利用无线数字传输设备将电视图像传输至地面监视器,或直接记录在机载电子盘上。军事上,利用可见光电视摄像机的实时侦察监视特点,可对航摄区目标进行自动定位、校正火力射击、监视战场情况及评估毁伤效果等任务。

3. 红外热像仪

大气、烟云对可见光和近红外线的吸收较强,但是对 $3\sim 5\ \mu\text{m}$ 和 $8\sim 14\ \mu\text{m}$ 的热红外线却是透明的,故将这两个波段称为热红外线的“大气窗口”。人们利用这两个窗口,能在完全无光的夜晚,或是在烟云密布的战场,清晰地观察到前方或地面的情况。

为了提高无人机全天候实时观测能力,将红外热成像技术应用于空中探测,即利用红外热像光谱探测器对具有热泄露的地面物体进行探测,并将温度高于其周围背景的地物通过热白图像实时记录并传输至地面监测设备,或存储在机载电子存储器上。