

无人机

及其测绘技术新探索

全广军 康习军 张朝辉◎著



吉林科学技术出版社

无人机及其测绘技术新探索

全广军 康习军 张朝辉 著



 吉林科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

无人机及其测绘技术新探索 / 全广军, 康习军, 张朝辉著. -- 长春: 吉林科学技术出版社, 2018.5
ISBN 978-7-5578-4362-5

I. ①无… II. ①全… ②康… ③张… 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(2018)第095797号

无人机及其测绘技术新探索

著 全广军 康习军 张朝辉
出版人 李 梁
责任编辑 孙 默
装帧设计 韩玉生
开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 210千字
印 张 18
印 数 1-3000册
版 次 2019年5月第1版
印 次 2019年5月第1次印刷

出 版 吉林出版集团
吉林科学技术出版社
发 行 吉林科学技术出版社
地 址 长春市人民大街4646号
邮 编 130021
发行部电话/传真 0431-85635177 85651759 85651628
85677817 85600611 85670016
储运部电话 0431-84612872
编辑部电话 0431-85635186
网 址 www.jlstp.net
印 刷 三河市天润建兴印务有限公司

书 号 ISBN 978-7-5578-4362-5
定 价 108.00元
如有印装质量问题 可寄出版社调换
版权所有 翻印必究 举报电话: 0431-85659498

作者简介

全广军，男，主任工程师，本科，河北保定人，1978年11月19日出生，2001年毕业于辽宁工程技术大学工程测量专业，2001年9月至今在河北水文工程地质勘察院任职。主要负责工程测量、地籍测量、海籍调查、三权调查、不动产数据整合、三维建模、倾斜摄影等工作。曾在《河北遥感》、《城市建设理论研究》等刊物发表过多篇论文，所主持的项目获得过河北省优秀成果二等奖、河北省优秀测绘地理信息工程二等奖、全国优秀测绘工程奖等多项奖励。本人曾获河北省科技创新人才等多项荣誉。

康习军，男，测绘高级工程师，河北平山人，1971年9月出生，1996年毕业于成都理工学院测量工程专业。1996年7月至今在河北水文工程地质勘察院任职。主要负责工程测量、地籍测量、建筑物变形观测、三权调查、农经权调查等工作。曾在《城市建设理论研究》、《科技视界》等刊物发表过多篇论文。负责完成多京石客专站房监测、南水北调中线工程断面测量等大型测绘项目测量工作。

张朝辉，男，测绘工程师，河北晋州人，1972年8月出生，2008年毕业于石家庄铁道学院工业与民用建筑专业，在河北水文工程地质勘察院任职，从事工程测量、地籍测量、建筑物变形观测、农经权调查等工作，负责完成石家庄市沙磁河应急水源地、石家庄市动物园迁建工程、石家庄市环城水系等多个大中型项目的测量工作。



前 言

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。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。

测绘地理信息事业“十三五”规划指出：“加快装备现代化，加快建设多分辨率、多传感器、全天候综合航空遥感体系，大力发展长航时航空遥感平台，促进无人飞机、轻型飞机、浮空器等新型平台和机载激光雷达、重力仪、倾斜摄影仪等新型传感器的推广应用，配套建设数据传输和通信指挥系统。”从以上规划可以看出，国家非常重视测绘装备现代化、全球地球信息资源建设、应急测绘综合保障、基础地理信息资源建设，这是测绘事业发展的有力保障，同时也为无人机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。

鉴于此，作者撰写了《无人机及其测绘技术新探索》一书。本书的内容共有九章。第一章阐述了无人机的基本概念和发展现状，对无人机系统以及无人机测绘系统进行了初步的论述；第二章系统地论述了无人机系统的构建；第三章阐述了无人机系统的工作原理；第四章重点论述了测绘任务载荷和地面控制站等无人机测绘任务设备，归纳总结无人机测绘任务规划内容和顾及威胁因素状况下的无人机测绘任务航线规划；第五章阐述了基于正射影像图制作流程、空中三角测量以及应急快速成图的无人机测绘成图技术研究



究；第六章诠释了无人机系统在地理空间数据采集的相关研究；第七章探讨了无人机测绘新技术的应用及创新研究；第八章以美国为例诠释了无人机航空监管体系的借鉴研究；第九章阐述了无人机发展的愿景。

本书内容条理清晰，逻辑性强。作者在撰写的过程中借鉴了中外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、测绘成图、应急快速成图等相关技术及其应用进行了深入的探讨。在此，作者向这些文献的作者表示诚挚的感谢！由于时间有限，本书难免会存在一定的不足，有待进一步完善，恳请专家和读者提出批评进行指教。

作者

2018年3月



目 录

第一章 导论	1
第一节 无人机概述	1
第二节 无人机系统的初步认知	17
第三节 无人机测绘以及测绘系统的初步认知	42
第二章 无人机系统的构建	50
第一节 无人机系统(UAS)解析	50
第二节 遥控驾驶飞行器(RPA)的认知	52
第三节 通信数据链在无人机系统中的作用	54
第四节 无人机系统中的任务载荷与人的因素	56
第五节 无人机系统中的发射与回收	63
第六节 无人机系统感知与规避	64
第三章 无人机系统的工作原理解析	78
第一节 无人机系统工作原理中的空气动力学基础	78
第二节 无人机系统工作原理中的飞艇空气静力学基础	89
第三节 无人飞行器构造以及无人机动力系统	95
第四节 无人机发射与回收的工作原理	112
第五节 无人机数据链路的工作原理	119
第四章 无人机测绘任务设备与测绘任务规划	124
第一节 无人机测绘任务载荷	124
第二节 测绘无人机地面控制与处理站	147
第三节 无人机测绘任务规划内容	154
第四节 顾及威胁因素状况下的无人机测绘任务航线规划	159

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



第五章 无人机测绘成图技术研究	176
第一节 无人机正射影像图制作流程解析	176
第二节 无人机影像的空中三角测量解析	182
第三节 应急快速成图解析	185
第六章 无人机系统在地理空间数据采集的相关研究	201
第一节 无人机系统地理空间数据采集浅析	201
第二节 无人机系统地理空间数据采集的应用	206
第七章 无人机测绘新技术应用及创新研究	218
第一节 无人机测绘数据处理关键技术及应用研究	218
第二节 无人机遥感技术在环境保护领域中的应用	224
第三节 无人机航拍测绘技术在农村土地利用规划中的应用研究—— 以江西省石城县洋地村为例	229
第八章 无人机航空监管体系借鉴研究——以美国为例	240
第一节 美国航空监管体系	240
第二节 国际航空条例解析	245
第三节 标准和条例	248
第四节 规则制定的过程	251
第五节 有关无人机的现行规定	253
第六节 FAA 对无人机系统的执法权	258
第七节 无人机系统管理条例的未来	262
第九章 无人机发展的愿景	265
第一节 预期市场增长与就业机会的前景	265
第二节 无人机系统基础设施的开发空间	267
第三节 无人机飞行器的演化趋势	270
第四节 未来概念以及五年后及更远的未来	271
参考文献	274



第一章 导论

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。

第一节 无人机概述

一、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，不做明确区分。

（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）可持续执行“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(约27kg)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，无人机与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



无人机的几十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。

1. 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。

2. 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。

3. 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 6000 m 以下）、中空无人机（飞行高度 6000 ~ 15000 m）和高空无人机（飞行高度 15000 m 以上）三种。

4. 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。

5. 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。

6. 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。

7. 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

1. 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) 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、湍流通量仪、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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(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。

2. 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) 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视。

(2) 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。

(3) 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。

(4) 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。

(5) 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。

(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) 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。

二、无人机的发展

(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。

1. 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。

2002 年至 2011 年,美国国防部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)》,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。

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。

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。

2. 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。