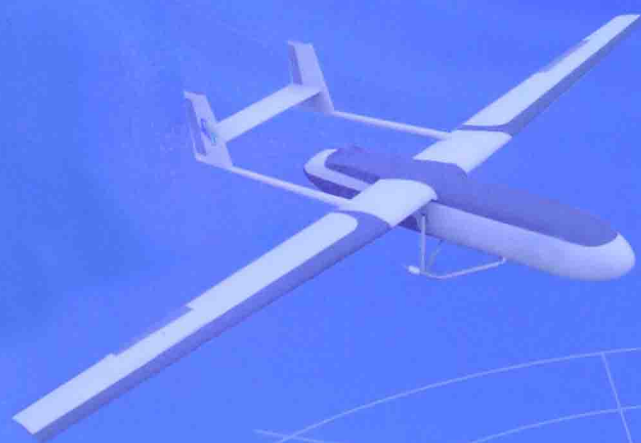


海军工程大学专著基金资助

无人机系统 纯方位定位技术及应用

黄亮 刘忠 石章松 许江湖 刘志坤 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

海军工程大学专著基金资助

无人机系统纯方位 定位技术的应用

黄亮 刘忠 石章松 许江湖 刘志坤 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书立足于无人机未来战争中纯方位定位的典型应用需求,全面、系统地介绍基于无人机系统的纯方位定位的技术理论基础及实现原理,并重点讨论了定位系统误差的影响因素和修正方法。全书共分7章,以作者多年来在目标运动分析以及无人机系统领域的教学工作、科研成果为基础,全面讨论了纯方位定位涉及的可观测性分析、数据配准、定位方法及定位模型等基础问题,系统分析了影响无源定位精度的主要因素,并从多个角度,运用多种方法对定位误差修正进行了探讨。

本书可作为高等院校相关专业的教学用书和学习参考书,也适合于相关领域的科研工作者和工程技术人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

无人机系统纯方位定位技术及应用/黄亮等编著. —北京:国防工业出版社,2015.1

ISBN 978-7-118-09741-2

I. ①无... II. ①黄... III. ①无人驾驶飞机-定位-研究 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第25760号



国防工业出版社 出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码 100048)
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
新华书店经售

开本 710×1000 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 205 千字

2015年1月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 38.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

无人机系统作为现代化航空向智能化、高性能、多功能、高科技方向发展的新增长点,各国比任何时候都更重视无人机的开发、研制与使用。现代战争的复杂电磁环境下,纯方位定位因其隐蔽性好、抗干扰能力强、可进行长期侦察和监视等优点,成为各国大力发展的一种重要的技术手段。而当无人机系统、纯方位定位两者相结合,从某种意义上来说,已经代表了未来的一大发展趋势。研究现代战争条件下快速、稳定、高精度的纯方位定位技术具有非常重要的理论价值和现实意义。除了对传统的纯方位定位方法展开系统分析外,还应立足新的应用环境,提出新的改进算法,并对影响到定位精度的问题给出解决方案,既要从算法本身出发,又应结合实际应用条件,才能够对基于无人机系统的纯方位目标定位技术研究有所创新与突破。

本书内容正是基于此背景展开的,并围绕如何实现无人机系统对目标的纯方位定位、如何提高对目标的定位精度两大问题进行论述。

无人机以其速度快、易机动等优势,有效避免了传统单站的纯方位定位方法所存在的可观测性差、定位解算时间长等问题,但是如何建立计算量小、速度快、精度高的纯方位定位模型并选择合适的定位滤波算法仍是需要重新考虑的重点。因此,本书首先系统讨论了无人机系统三维空间下进行纯方位定位的基础内容,包括坐标系变换、时间配准、目标可观测性分析、基本滤波方法;然后重点分析了关于静止和匀速直线运动目标的定位模型及方法;最后针对机动目标的纯方位定位讨论了相关模型及方法。

纯方位定位算法设计完成后对其定位精度的分析是必不可少的内容,首要问题就是找到关键所在。而影响定位精度的因素有很多,既有随机因素,又含系统误差,所以必须要确定主要影响因素;接着就是如何去修正主要影响因素所引起的系统误差。具体方法上,一方面对传统的系统误差修正方法进行了系统的分析、改进,另一方面则是将蚁群算法、粒子群算法等现代智能群理论用于系统误差修正,拓展了研究思路,并得到了一些有用的结论。

纯方位定位能够实现应用的关键有两点:一是快速实时解算,二是精确稳定跟

踪。从纯理论的角度来说,这都不是问题;而一旦和实际相结合,很多理论上优秀的算法却水土不服,败下阵来。因此,在本书的著述过程中,既注意引入现代算法解决问题,又注重新方案的实际应用,而且更从仿真角度论证方法的有效性与可行性;力求做到既有一定的理论深度,又兼具较高的工程应用价值。

无源定位技术已经得到了迅速发展与广泛应用,很多科研人员也已经开展了大量工作,但是所需解决的问题仍有很多,比如测量数据的预处理、微弱信号的检测、数据的融合处理等实际问题还需要进一步研究。

本书融入了多位作者多年以来的研究总结,同时还包含了曲毅博士、温林博士、张国栋博士以及郭睿硕士、杨揆硕士、田子希硕士等人的沥血工作,对于他们所做出的贡献表示感谢!由于作者水平的限制,书中难免存在一些问题和不足,欢迎广大读者批评指正!

作者

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 无人机系统介绍	1
1.1.1 无人机特点	2
1.1.2 无人机的任务	3
1.1.3 无人机在局部战争中的使用	5
1.1.4 无人机受到器重的主要原因	6
1.1.5 无人机系统组成	8
1.2 纯方位定位技术发展及应用	12
1.2.1 纯方位定位技术分类及特点	12
1.2.2 国内外研究现状	15
1.2.3 无人机系统纯方位定位应用	19
1.3 本书组织结构	20
第 2 章 纯方位目标定位技术基础	22
2.1 坐标系变换	22
2.1.1 常用坐标系	22
2.1.2 坐标变换分析	24
2.2 时间配准	27
2.2.1 邻域时刻匹配	27
2.2.2 差值平滑匹配	27
2.3 目标可观测性分析	31
2.3.1 可观测性判别准则	31
2.3.2 N 次多项式运动目标可观测性研究	34
2.3.3 Grammian 矩阵正定性判定系统可观测性	37
2.3.4 几何法分析可观测性	39

2.3.5	无人机航路设计原则	41
2.4	常用滤波方法	42
2.4.1	最小二乘估计	43
2.4.2	扩展卡尔曼滤波	47
2.4.3	粒子滤波	53
2.5	定位误差度量	63
2.5.1	三维正态分布	63
2.5.2	等概率密度椭球	64
2.5.3	落入误差球的概率	64
2.5.4	球概率误差及圆概率误差	65
第3章	单机纯方位定位方法	67
3.1	三角几何定位	68
3.2	测向交叉定位	70
3.2.1	模型推导	71
3.2.2	仿真分析	72
3.3	最小二乘无源定位	73
3.3.1	模型推导	73
3.3.2	仿真分析	78
第4章	测量数据噪声及数据预处理	80
4.1	各类噪声及其分类	80
4.2	基于小波理论的数据预处理方法	81
4.2.1	随机抖动噪声与震动噪声消噪	81
4.2.2	测量漂移噪声消噪	83
第5章	机动目标跟踪方法	86
5.1	机动目标模型	87
5.1.1	白噪声加速度模型	88
5.1.2	维纳过程加速度模型	88
5.1.3	通用多项式模型	89
5.1.4	辛格加速度模型——零均值一阶马尔可夫模型	89

5.1.5	均值自适应加速度模型	91
5.1.6	二阶马尔可夫加速度模型	92
5.1.7	对于协同转弯的马尔可夫加速度模型	92
5.1.8	非对称分布式垂直加速度模型	94
5.1.9	半马尔可夫跳变过程模型	94
5.1.10	一阶马尔可夫加速度模型	95
5.1.11	非零均值加速度模型	95
5.2	多模型算法	96
5.3	仿真算例	101
第 6 章	定位误差影响因素分析	104
6.1	GPS 测量误差	104
6.2	无人机姿态测量误差	105
6.3	载荷角度测量误差	106
6.3.1	载荷自身的系统误差	107
6.3.2	载荷安装对准误差	107
6.3.3	载荷安装对准误差模型	109
6.4	仿真分析	111
6.4.1	GPS 测量误差对定位精度的影响	111
6.4.2	无人机姿态误差对定位精度的影响	111
6.4.3	光电载荷角度测量误差对定位精度的影响	112
第 7 章	定位系统误差修正方法	114
7.1	最小二乘载荷安装对准小误差快速修正	115
7.1.1	最小二乘修正模型	115
7.1.2	快速修正算法实现流程	118
7.1.3	仿真分析	119
7.2	蚁群算法在系统误差动态标校中的应用	120
7.2.1	基本蚁群算法的数学模型	122
7.2.2	收敛性分析	124
7.2.3	蚁群算法的参数选择	127
7.2.4	仿真分析	128

7.3	基于混沌自适应粒子群算法的系统误差动态标校.....	131
7.3.1	基本粒子群算法的数学模型	131
7.3.2	收敛性分析	132
7.3.3	混沌自适应粒子群算法及其参数优化	134
7.3.4	仿真分析	136
7.4	大误差条件下的安装误差标校.....	138
7.4.1	实际噪声对安装误差标校的影响	138
7.4.2	模糊评价法则与偏差统计法	141
7.4.3	仿真分析	143
7.5	拟线性化载荷安装对准误差在线补偿方法.....	145
7.5.1	安装对准误差的拟线性化规律分析	146
7.5.2	实现步骤	149
7.5.3	仿真分析	149
	参考文献.....	151

第 1 章 绪 论

1.1 无人机系统介绍

无人机是“无人驾驶空中飞行器”(UAV)的简称。1917 年首先由英国研制出来,最先只用作靶机,这种用途一直持续到今天。各国武装部队都广泛装备各种类型的靶机,在无人机市场的销售量中靶机至今仍占 70%左右。除靶机外,无人机在漫长的岁月里发展一直很缓慢。虽然一些国家早就对无人机的其他军事用途进行过探索和研究,例如英、美在第一次世界大战期间曾分别研制出由双翼机改装而成的可控“飞行炸弹”和“飞行鱼雷”,因当时技术水平有限、性能不佳而未投入实战使用。又如在第二次世界大战期间,德国人研制出 V-1 和 V-2 飞弹,从广义上讲,它们也算得上是无人机,但人们把它们归属于导弹类;德国人还研制出从飞机上发射的可控攻击型靶机以及用于袭击英国预警网中雷达的滑翔武器,但因精度差等原因并未取得明显效果。

无人机真正作为一种可供实战使用的武器装备还是在 20 世纪 60~70 年代美国侵越战争期间。当时北越的防空网十分严密,火力凶猛,对美军飞机构成极大威胁,例如 1965 年,平均发射 13 枚地空导弹即可击落一架美军飞机;1966 年和 1967 年,这一数字上升到 33 枚和 55 枚,但 55 枚地空导弹的代价也远比被击落的 B-52 轰炸机和 F-4“鬼怪”战斗机低得多。为减少飞行员的危险,美军首次使用了无人侦察机(即装有跟踪与控制系统和航空照相机的 BQM-34“火蜂”靶机),共出动 3435 架次,在北越上空实施战略侦察,其损失率为 16%,这意味着如果换算成有人驾驶飞机执行侦察任务的话,就要有 1500 多名飞行员丧命。尽管无人机在战争中取得了良好效果,但美国在 1973 年越战结束后并没有加快发展无人机,这一方面是由于当时的无人机只能作为获取战略情报的辅助手段,还不足以对战场作战行动起到直接支援的作用;另一方面是由于美空军认为无人机将有碍于载人飞机的发展和飞行员的职业生涯。

直到 20 世纪 80 年代,以色列在战场上用无人机直接对作战行动提供支援并取得显著效果后,才引起各国军方对无人机的普遍重视,从而对无人机的发展和使用起到了很大的推动作用。如今,无人机的发展势头日趋强劲,世界范围内已

掀起一股竞相研制与采购无人机的热潮。无人侦察机现正趋于成熟，它已经并将继续成为现代战争中不可缺少的有效作战手段，并有可能逐步取代有人驾驶侦察机；电子战型和反潜型等无人机也在开发之中；无人作战飞机(UCAV)也于近几年被美、英、法等国提到议事日程上，正在探索研究各种方案，预计不久将列入装备发展计划，并可望于 2020 年前后投入使用。由此可见，无人机在现代战争中大有用武之地，它的迅速发展和大量使用，必将对未来的军事行动产生重大影响，甚至可能改变战争的面貌和样式。

1.1.1 无人机特点

1. 隐蔽性好、生命力强

比起有人驾驶飞机，无人机无论是体积、重量，还是反射面积都比后者小得多，加之其独特精巧的设计、机体表面涂敷的隐身涂料，使得它的暴露率呈几何级数减小。无人机还有一个突出的特点，即不受人为因素，如过载因素的制约(这正是有人驾驶飞机的一大不足)，因而可以最大限度地发挥速度、高度、航程等性能，也可以通过超加速升降、倒飞、急转弯飞行等方式来增加隐蔽性、机动性，从而提高生存能力。

2. 造价低廉、不惧伤亡

海军舰艇尤其是潜艇所载的无人机不仅体积小、结构紧凑，而且机上大量使用高技术模块化的电子设备和微型高效的武器系统，结构简单，使用方便，造价相对便宜得多。通常无人机的造价只有有人驾驶飞机的十分之一甚至百分之几。例如美国海军正在研制的最新无人驾驶飞机容易操纵，安全性较高，造价也十分低廉，其造价为每架 200~2000 万美元不等，使用成本仅为有人驾驶战斗机的 10%。

实际上无人机的最大好处，就是不存在人员伤亡或被俘的危险，这也是极力推崇“零伤亡”的美英等国对其格外关注的原因。为了减少飞行员和机组人员的伤亡，美军及其盟国尽量避免派遣有人驾驶飞机去对手防空力量强大的高风险区域或战场上空执行任务，他们把飞行员的生命看得比一架飞机还重要。

3. 起降简单、操作灵活

各国海军无人机的起飞方式虽然有多种多样，但归纳起来不外乎以下几种：短距起飞、垂直起飞和由其他飞行器携挂抛射。

短距起飞包括短距滑跑起飞、滑轨式滑动起飞、助飞火箭推动起飞等多种方式。无人机体积小、重量轻，其滑跑距离要比有人机短得多，要求也不像航母起降甲板那样严格。滑轨式滑动起飞是在舰上安装一定长度的滑轨，设置其上的无人机在自带助飞动力装置的作用下，快速滑动；当加速到一定速度后，就飞离滑轨并自动扔掉助飞动力装置，然后在无人机上的主发动机作用下，完成飞行任务。

垂直起飞则包括固定翼垂直起飞、旋翼式垂直起飞等。固定翼垂直起飞多是利用尾支座或尾座式起落架支撑无人机，使之垂直竖立在舰甲板上；当它接到指令后先由机载动力装置推进无人机垂直升空，然后再由垂直起飞姿态逐渐改为水平飞行姿态。美国海军在研的三种无人驾驶攻击机中的一种，就是采用垂直姿态起飞/降落的，即利用喷气式发动机和火箭发动机作为组合动力装置来达成垂直起飞和降落的目的。旋翼式垂直起落方式也可以细分为主旋翼/尾旋翼(尾桨)式垂直起落、共轴式垂直起落、倾转翼起落等。倾转翼无人机是美国海军颇为看好的一型无人机。美国海军近年来大力开发的“鹰眼”舰载无人机，能以直升机方式爬升、下降、悬停和横向机动，再以固定翼飞机方式转入巡航状态。

当然，使用其他飞行器携挂无人机在空中抛射也是一种常见的办法。

1.1.2 无人机的任务

到目前为止，世界上各国竞相发展无人机，其中美国已研制了上百种无人机系统(见图 1-1)，能够完成诸如电子战、情报监视与侦察、目标指示等任务^[2]。

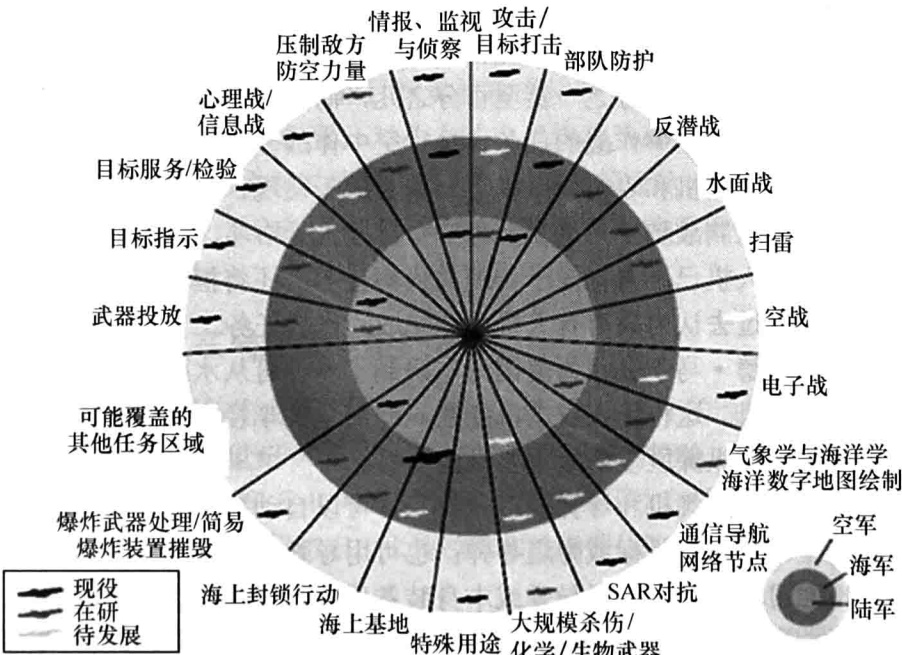


图 1-1 美国已研制了上百种无人机系统

1. 情报侦察与战场监视

无人机具有续航时间长、飞行高度高、不易被对方发现与攻击的特点，机上可搭载电视摄像机、光电/红外传感器、激光指示器、合成孔径雷达等多种传感器，对可能发生武装冲突、局部战争或是海盗活动猖獗的海域进行长时间的实时侦察、监视；一旦发生冲突和战争，便可实施多批量、大纵深、全天候、立体化的全向

侦察，搜集敌方的作战情报，及时传送到己方舰载或岸基指挥控制中心，为指挥官正确决策提供可靠的依据。

美国海军正在研制的，主要配备在航母、两栖战舰等大中型水面舰船上的一种中型无人机，其有效载荷约 500kg，能在空中连续活动 24~48h，该型无人机除可担负侦察任务外，必要时还可进行攻击。这些无人侦察机在卫星的支援下，还将作为环球情报搜集系统的重要组成部分，长时间轮流交替地在空中进行侦察预警。

从 20 世纪 90 年代初到现在，RQ-1“捕食者”、RQ-2“先锋”、RQ-3“暗星”、RQ-4“全球鹰”、RQ-5“猎人”、RQ-6“超骑手”以及 RQ-7“影子”等型号的无人机都被用于侦察用途。

海湾战争中，美国海军使用了 50 架“先锋”等型号无人机，执行了 483 次作战任务，总计飞行时间超过 1 万小时；广泛出动的无人机不仅及时准确地收集到伊军的军事情报，为指挥官确定打击目标定下了决心，而且也为“战斧”巡航导弹等各型武器进行了制导，明显提高了打击精度。

2. 空中作战

无人机体积小、结构紧凑，大量使用模块化的电子设备和微型武器系统，造价仅为有人驾驶飞机的十分之一甚至百分之几，而且不存在人员伤亡或被俘的危险，因此逐渐担负起空中作战的任务。执行空中作战任务的无人作战飞机包括战斗无人机、轰炸无人机和攻击无人机等，主要用于发现、识别和摧毁敌固定和移动目标，用火力的压制敌防空力量以及与空中目标进行格斗。

现代海军无人机已不再拘泥于传统的侦察任务，还将担负对地攻击、空中格斗、拦截导弹等过去认为只有有人机才能完成的作战任务。

美国洛克希德·马丁公司为美国海军研制了一种可从水面战舰或潜艇上起降的无人驾驶攻击机。这种无人攻击机能在 600 海里的半径内压制敌方防空火力，并可深入危险区或纵深区攻击敌重要设施与目标。

舰载无人机具有飞机和导弹的双重特点，可以自动搜索和攻击目标，可用激光武器攻击空中、地面目标或弹道导弹；也可用导弹或低成本非制导武器攻击敌方舰船、地面目标；用反辐射导弹或本身装备反辐射导引头攻击敌方雷达、通信指挥设备，摧毁其作战系统；或使用电子干扰机对敌方编队和舰艇进行电子干扰，干扰其信息探测、指挥和通信，使敌方舰艇编队看不见、打不着、联不上，成为挨打的靶子。特别是反辐射攻击能力，由于无人机可连续在战区上空巡航几个小时，只要敌方雷达开机，无人机就可进行攻击；一旦敌方雷达关机，无人机可凭借记忆进行主动搜索攻击或继续待机，等待目标重新开机或重新选择其他目标进行攻击。攻击型无人机的战场运用将会改变以往海战场的作战模式。

3. 目标指示与效能评估

无人机可为舰艇炮火和导弹选定攻击目标、测定目标参数，协助舰载火控系

统计算射击诸元，进行目标分析；还可用激光目标指示器照射目标，对激光制导武器精确制导。攻击过后，可测定弹着、校正参数、检查目标的毁伤程度。利用无人机还可转发情报、通讯、导弹控制指令等信号，满足现代海战作战区域广而产生的对信息传递、指挥控制、导弹攻击的更高要求。

21 世纪高科技条件下的局部战争的基本特征是信息化，强调和依赖信息能力，未来军事力量的较量集中在获取制信息权。海军舰只作战的困难在于舰艇本身获取战场情报的手段及作用距离有限，难以获得较完整的战场信息，舰载导弹难以发挥其最大性能；而依靠卫星或舰载机提供目标信息，存在着不能随机指定目标区域、不能实时接收、不能获得连续而系统的情报、目标信息精度不够以及需要考虑机载人员安全等问题。舰载无人机不仅可实时提供目标区的各种信息，而且可提供目标的精确图像，利于识别目标，为指挥员实施打击提供依据。特别是潜载无人机的研制使用，将提高潜艇的作战能力，扩大潜艇的作战范围，改变潜艇的作战使命。

4. 电子战

在未来的海上作战或海空作战中，海军无人电子战飞机将发挥至关重要的作用。如战前或战争过程中，无人电子干扰机可作为电子压制和干扰的主力。在一般情况下，在对敌方重要的设施和目标实施攻击前 3~5min(分钟)，舰载无人机先于己方的攻击编队到达干扰位置，对敌方的电子情报系统、指挥机构实施强有力的电子干扰。有时，它们也可以伴随己方有人攻击机或无人攻击机编队一同出击，但无人干扰机依然处于领先的位置；它们通过施放有效的积极干扰和消极干扰来掩护攻击机编队作战。

1.1.3 无人机在局部战争中的使用

无人机自 1917 年首先由英国研制以来，经过了 90 多年的改进与发展，并经历了多次战争，尤其是 20 世纪 90 年代以来历次局部战争的检验。1982 年以色列的侵黎战争、1991 年的海湾战争及 1999 年的科索沃战争等历次高技术局部战争中，各种军用无人机在战场侦察、目标指示、火炮校准和战损评估等方面均发挥了重要作用。

1. 以色列入侵黎巴嫩

以色列吸取了美军在越战中使用无人机的经验以及 1973 年第四次中东战争中以军飞机遭到强大地空导弹火力而蒙受巨大损失的教训之后，加快了无人机发展步伐。在 1982 年入侵黎巴嫩的军事行动中，以军先派遣“猛犬”无人机，从 1500m 高度进入贝卡谷地上空，发射出酷似以色列战斗机大小的“电子图像”，诱使叙利亚地空导弹阵地的雷达开机并发射大量地空导弹。据称，一架无人机可诱使 32 枚地空导弹向其开火，而自身还安全返回。与此同时，以色列派出的“侦察兵”无人机收集叙方雷达位置和信号频率等情报，并立即把这些情报(包括目标的图像)实时传输给地面作战指挥中心。几分钟之后，以色列出动一批携带反辐射导

弹和常规炸弹的 F-4G、F-16 战斗机一举摧毁了叙利亚在贝卡谷地的全部 19 个导弹阵地。这一举世瞩目的成功战例引起了许多国家军事部门的高度重视，使他们认识到无人机系统的军事价值和发展潜力。

2. 海湾战争

在 1991 年初的海湾战争中，美军借鉴了以色列的成功经验，动用了“先锋”、“指针”等无人机系统以及 TALD 和 BQM-74 等诱饵；法国也使用了尚处于试验阶段的 MART 无人机系统。这些无人机系统执行了靠其他手段无法执行或者用载人飞机将会遭受巨大损失的任务，在侦察、监视、目标捕获、战场管理、炮兵火力支援和空袭后的目标毁伤评估等方面都发挥了极其重要的作用。例如，“先锋”无人机在侦察和监视中发现了大量目标。它曾发现多艘伊拉克的巡逻艇，在其引导下，有两艘高速艇遭到打击；它还确认了两个“蚕”式反舰导弹发射场、320 艘舰船以及许多高炮阵地等重要目标，后来这些目标都被摧毁。它还是目标毁伤评估的有效工具，由于它能近实时发送目标的视频图像，指挥官根据视频图像可立即做出是否需要进行再次攻击的决定。有一次曾根据视频图像判定某个导弹阵地未被使用，由此断定它是一个假目标，无需进行攻击。

TALD 和 BQM-74 等作为诱饵的无人机在诱使敌雷达开机的防空压制任务中发挥了很大作用。例如，在 F-117 隐身战斗机实施第一波攻击之后，美军派出可模仿盟军各型轰炸机“电子图像”的 BQM-74 诱饵无人机。它们以 3 或 4 架的编队队形在关键目标上空以环形或 8 字形剖面飞行，引诱伊拉克保护机场和导弹发射场的防空系统对其开火，使其暴露，紧随在 BQM-74 后面的 F-4G 等攻击机就对已暴露的敌防空阵地实施轰炸，两天之内就使伊防空系统陷于瘫痪。

3. 波黑冲突

在波黑冲突中，美国分别于 1994 年 2 月和 1995 年 7 月派遣“蚱蜢”750(Gnat 750)型和“捕食者”(Predator)型无人机，部署到阿尔巴尼亚的基地，以加强对波黑战场的监视。据透露，“捕食者”无人机到 1997 年 3 月底在波斯尼亚累计飞行 2436 任务小时，它提供的图像情报曾被北约部队用来做出重大打击的决定。尤其在 1995 年 8 月 30 日~9 月 15 日北约对波黑塞族实施空袭期间，“捕食者”无人机在确定目标和评估对目标的破坏效果方面起到了至关重要的作用。该机装载的光电和红外传感器能够以很高的分辨率昼夜拍摄塞族阵地的重要目标图像，并指引北约攻击机迅速找到目标，实施轰炸。“捕食者”无人机在经过改进、装上合成孔径雷达之后，于 1996 年 5 月重新部署到匈牙利的基地，至今仍在监视波黑各方遵守和平协议的情况。

1.1.4 无人机受到器重的主要原因

无人机在历次局部战争中的出色表现，充分证明了它的军事价值，从而受到越来越多国家的重视。进入 20 世纪 90 年代后，重视程度持续增加，许多国家的

军事部门都把无人机的发展置于优先地位。无人机之所以受到如此重视,归纳起来主要包括以下三个原因^[1]。

1. 军事需求牵引

现代的和未来的战争都十分强调和依赖信息能力,谁能获取与支配信息,夺取信息优势,谁就能掌握战争的主动权。国外军事战略家已经预言,未来战争形态将是信息化战争,“信息力可能比火力更重要”,甚至可能会成为战斗力诸要素中的首要要素。战区或战场指挥官乃至上到国家最高指挥当局、下至最下层的指挥员都迫切需要通过信息系统全面掌握整个战场或局部地区瞬息万变的战略/战役或战术态势的实时情报。美国国防部追求的全球感知能力正是这一军事需求的有力佐证。无人机恰巧是能够满足这一需求的有效手段。与一次只能扫掠某一给定地区、只能定时拍摄一小块地域目标图像的侦察卫星相比,或者与在目标地区上空停留时间很有限且有飞行员被击落风险的有人驾驶侦察机相比,无人机具有受气候条件限制很少、昼夜可用、能突入危险地区上空长时间实施监视与侦察以获取情报信息(包括通信情报和电子情报的信息)并能实时传输目标图像的独特优势。因此,无人机已成为信息战中不可或缺的重要装备。

军事需求的另一个重要方面就是在当今和以后很长一段时间内,军用高技术向全球的迅速扩散,许多国家越来越多地拥有先进的一体化防空系统和其他高技术武器装备,对有人驾驶飞机构成极大威胁。在这种情况下,美国和以色列等国特别强调要把作战人员的伤亡减少到最小程度,这就更加需要发展无人机。当然,其他国家也有为减少伤亡而发展无人机的需求。

2. 科学技术推动

高科技的飞速发展,尤其是20世纪七八十年代后,微电子、光电子、微米/纳米与微机电系统、计算机与信息处理、通信与网络、隐身、新材料以及航空与航天等高技术的迅猛进展,为无人机的性能和作战效能的大幅度提高奠定了坚实的物质基础。无人机本身可大量采用轻型优质的复合材料结构;先进的气动设计和隐身技术的应用使其能在不被敌人发现的情况下突入严密设防的目标区实施监视/侦察和攻击;光电、红外、多光谱和合成孔径雷达等先进传感器的使用可极大提高目标图像的分辨率(现已达到0.3~0.9m,今后将更高);高速微处理机和数据链路的使用能做到信息的快速处理、分发和利用以及图像的实时传输;全球定位系统(GPS)和惯性导航系统的组合使无人机和目标能够精确定位;超声速燃烧冲压发动机技术的突破有可能使无人机实现高超声速飞行;微机电系统的应用有可能使无人机只有手掌甚至昆虫那么大,从而可伸向战场的每一个角落……这一切都为无人机的发展创造了必要条件,使其从常规技术的靶机地位跃升为能够适应多种作战任务的全新的高技术产品。

3. 经济上可承受

长期以来,武器系统费用的持续上涨一直困扰着各国军事部门。以飞机为例,

当代战斗机(如美国的 F-15)的研制费为 20 多亿美元, 采购单价达 3000~5000 万美元, 其使用维护费约占全寿命费用的 60%甚至更多; F-22 战斗机, 研制费高达 200 多亿美元, 单价近 1 亿美元; 有人驾驶侦察机的单价, 其中 SR-71 为 2260 万美元, TR-1 为 4000 万美元。如此昂贵的费用已成为各国沉重的经济负担, 严重制约着武器装备的研制、采购与使用。就连美国这样的经济富裕的国家, 也颇感买不起和用不起。对此, 美欧国家一直在绞尽脑汁寻求解决办法。近几年来, 美国提出武器装备发展要把经济可承受能力放在首要地位, 并追求那些能完成相同任务使命而效费比又很高的武器装备。国外军事战略家已提出用巡航导弹取代轰炸机(从广义上讲, 巡航导弹也是一种无人机), 用无人侦察机取代有人侦察机, 用无人作战飞机部分取代有人作战飞机的论点。

无人机因无飞行员, 可以设计得结构简单、重量轻、尺寸小、使用方便、易于操作和维护, 故其研制费、生产成本和使用维护费肯定要比载人飞机低得多, 而且还可节省培训飞行员的大量费用。例如正在研制中的最先进的美国“全球鹰”和“暗星”无人侦察机, 其研制费都不超过 2 亿美元, 其单价均为 1000 万美元; 无人作战飞机的单价大都可能低于 2500 万美元。在国防预算日趋拮据而武器装备费用日益昂贵的情况下, 价廉而效费比高的无人机无疑会受到各国军方的青睐。

1.1.5 无人机系统组成

一架典型的无人机系统至少应包括飞行器、一个或多个地面控制系统和/或任务规划与控制站、有效载荷(机载任务设备)及数据链路。此外, 很多无人机系统包括发射与回收子系统, 舰载或地面的处理及维护设备。典型无人机系统如图 1-2 所示。

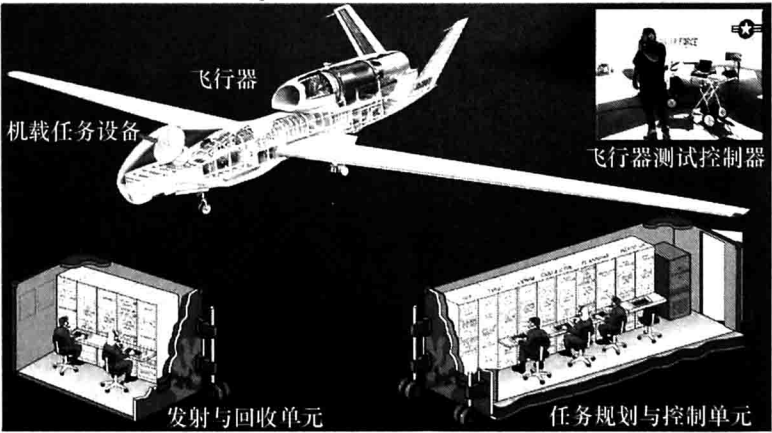


图 1-2 普通无人机系统

1. 飞行器

飞行器是无人机系统的空中飞行部分, 包括飞机机体、推进装置、飞行操纵