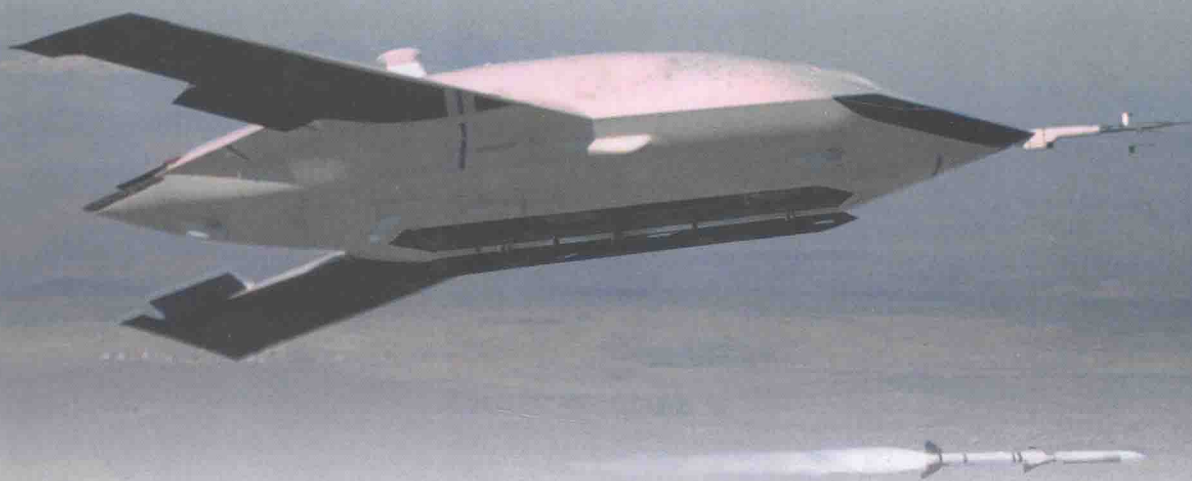


无人飞行器作战系统与技术丛书

无人作战飞机 内埋式导弹发射技术

Internal Missile Launch Technology for UCAV

黄长强 唐上钦 杜海文 韩统 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

无人飞行器作战系统与技术丛

无人作战飞机内埋式 导弹发射技术

黄长强 唐上钦 杜海文 韩 统 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书系统阐述了无人作战飞机内埋式导弹发射前的弹舱流场特性和机理,发射初始弹道的理论建模和数值计算方法,发射时的燃气射流冲击和弹舱流场噪声,流场综合控制仿真方法等内容。

本书可供无人飞行器机载武器系统及相关专业本科高年级学生和研究生学习参考,同时也适合从事无人作战飞机武器系统、机载导弹内埋式发射技术研究、开发和教学等参考。

图书在版编目(CIP)数据

无人作战飞机内埋式导弹发射技术/黄长强等编著. —
北京:国防工业出版社,2014.7
(无人飞行器作战系统与技术丛书)
ISBN 978-7-118-09555-5

I. ①无... II. ①黄... III. ①歼击机-导弹发
射-研究 IV. ①V271.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 137074 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)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 14 1/4 字数 251 千字

2014 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2800 册 定价 65.00 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

本书编委会

主 编 黄长强

副 主 编 唐上钦 杜海文 韩 统

编写组成员 曹林平 赵 辉 王 勇 丁达理

翁兴伟 黄汉桥 程 华 侯洪宁

前 言

无人作战飞机是一种能完成压制防空、实施对地轰炸与攻击、执行对空作战任务的空中无人作战系统。无人作战飞机的发展源于战争形态、作战模式的发展和高新技术在军事装备上的广泛应用,是现代政治、军事需求与科学技术发展到信息时代的产物,也是在无人机、有人作战飞机基础上向更高技术和更高作战能力方向深入发展的一种全新武器系统。无人作战飞机作为信息化武器装备的产物,在战争中所发挥的作用越来越重要,已成为世界各军事强国的重点发展方向。

从各国无人机的发展趋势上看,无人作战飞机正朝着高隐身、超机动能力和高超声速飞行方向发展,机载武器内埋装载将是先进无人作战飞机的共同特点。相对于导弹外挂方式,导弹内埋式挂载的优势:一是减小武器外挂附加阻力,易于实现载机的高速飞行;二是有利于减小无人作战飞机 RCS 值,提高对雷达的隐身能力;三是可以保证气动外形,有利于提高无人机升阻比,改善气动性能;四是减少外挂武器与机体相互干扰,提高飞行稳定性。但是,机载导弹内埋挂载在导弹发射时将产生复杂的流场干扰,可能导致导弹不能安全发射、降低导弹命中精度等后果,这些问题的解决就需要对导弹内埋发射的机弹相容性问题进行研究。因此,对基于内埋弹舱的新一代导弹发射技术进行研究,具有重大的理论意义和现实意义。

内埋式导弹发射技术包含的研究内容比较宽广,如导弹内埋发射前的流场研究、导弹内埋发射后的弹道研究以及对弹道和流场的控制研究等。对内埋弹舱流场的稳态压力特性和流动机理进行研究,为导弹发射前的运动趋势分析和稳态流场控制提供依据;对内埋弹舱流场噪声的特性和产生机理进行研究,得到内埋弹舱流场噪声产生的特殊机理,为内埋弹舱结构的噪声预测和控制提供理论支持;对内埋弹舱流场干扰下导弹内埋发射初始弹道、气动/运动耦合情况进行研究,建立弹道理论分析模型,进行相关数值解算,为导弹内埋发射的安全性设计提供理论依据;对内埋弹舱流场干扰下导弹发射初始弹道控制和流场控制进行研究,为相关的最优化数值计算提供仿真方法。本书立足于上述研究内容,在作者多年研究的基础上,参考国内外相关文献编著而成。

全书共 7 章,分别从无人作战飞机内埋式导弹发射需求分析、无人作战飞机内埋式导弹发射前的流场和受力分析、无人作战飞机内埋式导弹发射初始弹道理论建模、无人作战飞机内埋式导弹发射初始弹道数值计算方法、无人作战飞机内埋式导弹发射时燃气射流冲击分析、无人作战飞机内埋弹舱流场噪声分析、无人作战飞机内埋式导弹发射及其流场综合控制仿真方法等方面进行论述。

本书由空军工程大学教授黄长强任主编,唐上钦、杜海文、韩统任副主编,曹林平、赵辉、王勇、丁达理、翁兴伟、黄汉桥、程华、侯洪宁、唐传林、封普文、肖红、罗畅、董康生、国海峰、蔡佳、李牧东、蚩军翔、蔡亚伟、任洋、焦朋勃、刘长龙、黄康强、王骁飞等参加了全书的撰写和修改。在此,对为本书付出辛勤劳动的同志们致以衷心的感谢,同时向本书引用参考文献的各位作者表示诚挚的谢意。

尽管作者在本书的写作过程中投入了大量的时间和精力,但由于编著者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请同行专家和广大读者予以指正。

目 录

第 1 章 无人作战飞机内埋式导弹发射需求分析	1
1.1 无人作战飞机概述	1
1.1.1 无人作战飞机的基本概念	1
1.1.2 无人作战飞机的发展历程和发展趋势	4
1.2 无人作战飞机内埋式导弹发射过程分析	12
1.3 无人作战飞机内埋式导弹发射技术研究内容分析	14
1.4 无人作战飞机内埋式导弹发射技术研究方法分析	16
1.4.1 风洞试验方法	16
1.4.2 数值计算方法	19
第 2 章 无人作战飞机内埋式导弹发射前的流场和受力分析	24
2.1 内埋弹舱流场特性和机理研究现状	24
2.2 流场数值计算方法	26
2.2.1 流动控制方程	26
2.2.2 流动控制方程离散化求解方法	28
2.2.3 边界条件和湍流模型	32
2.3 流场数值计算方法验证与网格无关性验证	36
2.3.1 RAE2822 翼型模型验证	36
2.3.2 ONERA M6 机翼模型验证	38
2.3.3 翼身组合体 DLR - F4	41
2.3.4 内埋弹舱流场计算网格无关性验证	41
2.4 无人作战飞机内埋弹舱流场稳态压力特性	44
2.5 无人作战飞机内埋弹舱流场机理	53
2.6 小结	55
第 3 章 无人作战飞机内埋式导弹发射初始弹道理论建模	56
3.1 内埋弹舱流场干扰下导弹发射初始弹道研究现状	56

3.2	导弹内埋发射初始运动过程分析	57
3.2.1	初始运动过程阶段划分和相关假设	57
3.2.2	问题求解方法分析	59
3.3	导弹内埋发射初始运动过程气动力和力矩建模	60
3.3.1	初始运动过程整体模型推导	60
3.3.2	弹舱内和弹舱外运动阶段求解	64
3.3.3	穿越剪切层运动阶段求解	68
3.3.4	导弹受力和力矩的渐进解及阻力建模	75
3.4	导弹内埋发射初始弹道模型和仿真验证	80
3.4.1	导弹内埋发射初始弹道模型	80
3.4.2	仿真验证	81
3.4.3	导弹内埋发射初始弹道影响因素研究	83
3.5	小结	89
第4章	无人作战飞机内埋式导弹发射初始弹道数值计算方法	90
4.1	引言	90
4.2	初始弹道数值计算模型和解算方法	95
4.3	气动/运动耦合算法分析	99
4.3.1	松耦合算法和紧耦合算法精度分析	99
4.3.2	改进的松耦合算法设计	103
4.4	初始弹道数值计算方法的实现	104
4.5	导弹内埋发射初始弹道模拟	106
4.5.1	方法验证	106
4.5.2	内埋弹舱流场对初始弹道的影响	110
4.5.3	导弹内埋发射初始弹道计算	111
4.6	小结	118
第5章	无人作战飞机内埋式导弹发射时燃气射流冲击分析	119
5.1	引言	119
5.1.1	两相流体力学的研究现状	121
5.1.2	相关假设	125
5.2	燃气射流冲击波和热效应分析	125
5.2.1	计算模型和边界条件设置	125
5.2.2	燃气射流冲击波分析	127

5.3	燃气射流固体颗粒冲击分析	129
5.3.1	固体颗粒特性分析	130
5.3.2	颗粒轨道模型下颗粒相控制方程	133
5.3.3	颗粒相边界条件	134
5.3.4	两相耦合算法	137
5.4	导弹发动机燃气射流数值模拟	139
5.4.1	固体火箭发动机燃气中颗粒相特性	139
5.4.2	Al_2O_3 颗粒对内埋弹舱壁面的冲蚀	141
5.5	小结	144
第 6 章	无人作战飞机内埋弹舱流场噪声分析	146
6.1	引言	146
6.2	气动声学基础理论	148
6.2.1	气动声学研究现状分析	148
6.2.2	运动介质声学的基本方程	152
6.2.3	广义格林函数公式	153
6.2.4	Lighthill 方程	156
6.2.5	FW-H 方程	159
6.3	计算方法建立及验证	163
6.3.1	大涡模拟方法	163
6.3.2	声学特性参数分析	164
6.3.3	数值计算方法验证	165
6.4	内埋弹舱流场噪声特性和产生机理	169
6.4.1	内埋弹舱流场噪声特性	170
6.4.2	内埋弹舱流场噪声产生机理	175
6.5	内埋弹舱流场噪声频率计算建模	179
6.5.1	空腔噪声频率计算的 Rossiter 公式	179
6.5.2	内埋弹舱流场噪声频率计算分析	180
6.6	小结	183
第 7 章	无人作战飞机内埋式导弹发射及其流场综合控制仿真方法	184
7.1	初始弹道和弹舱流场主动控制研究现状	184
7.2	FLUENT/SIMULINK 协同仿真方法	188
7.2.1	协同仿真方法的提出	188

7.2.2	FLUENT/SIMULINK 协同仿真方法的实现	189
7.3	导弹内埋发射初始弹道控制仿真方法验证	191
7.3.1	流场数值计算模型和弹道模型	191
7.3.2	初始弹道协同仿真的控制模型	193
7.3.3	仿真结果及分析	194
7.4	基于合成射流的内埋弹舱流场主动控制数值仿真	196
7.4.1	合成射流数值模拟方法对比	196
7.4.2	合成射流控制内埋弹舱流场数值仿真	202
7.5	基于协同仿真和 PSO 算法的合成射流流场控制最优化方法	204
7.5.1	PSO 算法分析和流场控制最优化问题建模	204
7.5.2	PSO 算法改进和仿真计算	206
7.6	小结	208
参考文献		210

第1章 无人作战飞机内埋式 导弹发射需求分析

本章从无人作战飞机的基本概念入手,介绍无人作战飞机的发展历程和发展趋势,以及当前典型无人作战飞机的性能特点,可知无人作战飞机导弹内埋装载和发射将成为其发展趋势。分析无人作战飞机内埋式导弹发射的过程,无人作战飞机内埋式导弹发射技术的研究内容和研究方法,分析对无人作战飞机内埋式导弹发射技术进行专门研究的必要性和紧迫性。

1.1 无人作战飞机概述

1.1.1 无人作战飞机的基本概念

无人作战飞机(Unmanned Combat Aerial Vehicles,UCAV)是一种能完成压制防空、实施对地轰炸与攻击、执行对空作战任务的空中无人作战系统。大体上看,它可分为无人战斗机、无人攻击机和无人轰炸机三大类。在无人机(Unmanned Aerial Vehicles,UAV)体系内无人作战飞机是集目标探测、识别和作战功能于一体的无人机系统。无人作战飞机的最大特点是可以进行目标打击,无人作战飞机是无人机用于军事领域的发展趋势和重要的发展方向^[1,2]。

目前,无人作战飞机一般采用人在回路的控制方式,由指挥中心来控制无人机,或者由有人战斗机上的飞行员操纵,执行对地攻击和空战任务。无人作战飞机是无人机的重要分支,是将无人机武器化,即把武器系统加装或综合到一个原来主要用于情报、监视和侦察的无人机系统中,形成具有攻击能力的无人机^[3-5]。即为了增强无人机的生存能力和作战使用性能,在作为传感器平台而设计的无人机上加装了防御或进攻性武器而组成。而无人作战飞机在设计之初就是作为机载武器的发射平台,因此,无人作战飞机上的飞控、火控等系统主要用于对目标的搜索、识别和跟踪等功能,并通过机载武器系统发射载机携带的武器。

无人作战飞机上用以攻击、摧毁目标的制导装备称为无人作战飞机机载制导武器系统。装备有机载制导武器系统是无人作战飞机的主要特征。无人作战

飞机机载制导武器系统由机载武器弹药、火力/飞行控制系统和悬挂/发射等装置组成。其作用是对目标进行探测、识别、跟踪、瞄准和攻击。无人作战飞机机载制导武器系统的性能直接决定无人作战飞机的作战能力。无人作战飞机的武器装备根据所执行的任务大致可分为对地攻击武器、对空作战武器和激光、微波等定向能武器^[6]。

美国军方提出无人作战飞机是一种真正的作战飞机,在使用中具备有人驾驶飞机的便捷性,而不是一种智能巡航导弹,可以执行对敌防空体系进行压制的任务和执行空中作战任务,无人作战飞机从起飞到着陆完全自主,只是在瞄准、武器发射和毁伤效能评估方面需要有人参与。同时,无人作战飞机可以实施杀伤性攻击任务和非杀伤性的情报、监视和侦察任务^[7,8]。美国军方对无人作战飞机提出的要求从另一个角度说明了无人作战飞机应该具备的特性。

美国国防部在《2005 年—2030 年无人机发展路线图》中,将开发无人作战飞机列为首位,并将其作为实施网络中心战(Network Centric Warfare, NCW)的关键节点(图 1.1),并指出无人作战飞机的发展将对未来作战模式产生重大影响^[9]。在网络中心战框架下无人作战飞机的特性将扩展为:①具备一机多用的能力,无人作战飞机必须是集传感器系统、武器系统和通信系统为一体的多任务平台;②具备侦察和作战支持能力,无人作战飞机应具有高精度的战场侦察和监视能力,并具备对目标的识别、跟踪和快速定位能力,作为网络中心战的一个节点在多维战场实现快速态势感知和信息共享;③具备多种攻击能力,无人作战飞

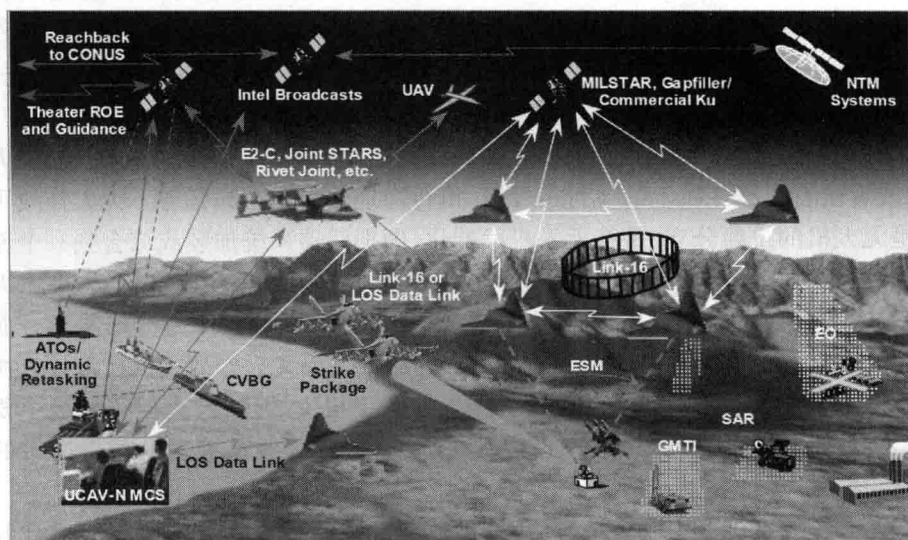


图 1.1 无人作战飞机参与的网络中心战示意图

机应根据自身获取或网络获取的战场信息,运用武器系统对地面或空中目标进行打击,或者进行电子干扰等软杀伤;④无人作战飞机还应能够兼顾战场毁伤效能评估,通过网络中不同层次节点的配合提高毁伤评估效果^[10]。

现代战争已成为高技术战争,在近几次局部战争中,作战方式逐渐表现出“非对称”“非接触”“信息战”“网络化”等特点。无人作战机在战争中所发挥的作用越来越重要,已经成为现代战争不可替代的空中力量。

无人作战飞机与有人驾驶的作战飞机相比具有以下特点:

(1) 作战效费比高。随着隐身技术、新材料技术、微电子技术、计算机与信息处理、通信和网络等高技术的迅速发展,使得无人作战飞机的作战效能大大提高。与有人驾驶的作战飞机相比,无人作战飞机不但可以在整个战场进行巡航飞行,还有着其他预警手段缺少的能力,即实时攻击能力。新材料技术和隐身技术的应用,使无人作战飞机能突入目标上空实施侦察。光电、红外和合成孔径雷达等先进传感器的使用,使无人作战飞机对目标的分辨力进一步提高,一旦发现目标,无人作战飞机可使用携带的弹药对目标实施实时的精确打击,大大削弱了目标的机动规避能力,提高了作战效能。

另一方面,据统计,在有人驾驶的战斗机上,飞行员支持系统占飞机有效载重的 15% 左右,与飞行员相关的救生和电子支援系统占飞机总费用的 50% 左右。由于无人作战飞机上没有驾驶员,可以省去人机接口和生命保障系统,使得无人作战飞机的体积更小、结构更加简单。据计算,性能相同的无人作战飞机和有人驾驶的作战飞机相比,尺寸可减小约 40%。它的设计制造、战场使用和维护费用都大大降低,无人作战飞机的单价只有同级有人驾驶飞机的 30% 左右,使用费用只有 25% 左右。因此,无人作战飞机攻击每个目标的成本要低于有人驾驶飞机。

(2) 机动性高和隐身性好。由于人的生理原因,新型战斗机的最大过载一般为 10g,无人作战飞机在技术上无须考虑驾驶员的生理极限,其最大过载可超过 20g,这个过载水平可以提供给无人作战飞机更好的机动性能,从而更好地躲避空导弹,在作战中具有更好的生存能力^[11]。同时,由于无人作战飞机取消了座舱,即去掉了一个大的雷达发射体,具有固有的低可探测目标特性;必要时采用被动探测雷达,选择高隐身进气道和尾喷管(如内壁涂附吸波材料的双 S 弯进气道等),飞机的三大散射源(座舱、雷达、进/排气管道)雷达散射截面(RCS)得以消除或有效抑制,因此无人作战飞机的其 RCS 值小于有人驾驶战斗机。小的发动机可以降低红外辐射,因此无人作战飞机将具有更好的雷达和红外隐身性能。

(3) 作战任务多样性。随着信息技术的不断发展,无人作战飞机的综合集

成度不断提高,逐渐发展成为多作战任务平台。无人作战飞机成为飞机、传感器、武器、发射与回收装置、通信系统、指控系统的融合体。这给无人作战飞机赋予了新的使命和功能,无人作战飞机必将摆脱过去单一侦察或作战模式,未来的无人作战飞机是一种集侦察、监视和攻击等能力于一身的作战平台,使无人机系统通过空中、海上或陆地平台的实时控制或自主控制,实现多机种无人机相互协同作战,除完成情报搜集、侦察、监视和电子干扰等任务外,还可以利用其高隐身性、机动性,以及滞空时间长等优点,在战争开始时尽可能地接近目标,运用携带的精确制导武器对敌方目标实施精确打击。毋庸置疑,无人作战飞机将非常适合于在高风险区域进行侦察和监视任务,更可成为“发现即打击”和突防打击的“杀手锏”而不必考虑人员的伤亡情况。

1.1.2 无人作战飞机的发展历程和发展趋势

无人作战飞机的发展源于战争形态、作战模式的发展和高新技术在军事装备上的广泛应用。现代战争已成为高技术战争,无人作战飞机已经成为现代战争中不可替代的空中力量。2003 年的伊拉克战争中,美英两国使用了 10 多种无人机,从大型的高空远程“全球鹰”、中空远程“捕食者”,到各种小尺寸的短航程无人机,其承担的任务也呈现多样化。

无人机具有机动灵活、续航时间长(长航时无人机)和“零伤亡”的特点,能够收集比较完整、详细的情报信息,提高战场态势的感知能力,是未来网络战中获取和保持信息优势的重要手段。无人作战飞机的出现拓展了无人机在战争中的作用和角色,无人机不仅能执行战场侦察、监视和毁伤评估等任务,而且能压制对方防空系统,实施对地攻击,甚至对空作战,是“非接触”作战的重要手段。

在无人机的开发和作战应用方面美国和以色列走在了前列,自 20 世纪 60 年代开始,美军就大量使用无人机,当时主要用于靶机、诱饵、照相侦察、电子对抗、目标指示、通信中继等,最著名的“火蜂”系列无人机曾大量参加越南战争^[12]。

此后的 1982 年 6 月贝卡谷地之战中,以色列的“哈比”(Harpy)无人机(图 1.2)在战斗中发挥了不可替代的作用。“哈比”无人机是一款反辐射无人机,它既是飞机又是导弹,能够自动搜索、识别目标并对其实施攻击。“哈比”无人机的气动布局采用小展弦比三角翼的无平尾式布局,前部装有被动雷达导引头,中部装有导航系统和战斗部,后部装有一台双冲程双缸活塞发动机,通过两叶螺旋桨推进,航程可达 500km,续航时间为 2h。通过前部的被动雷达导引头,“哈比”无人机可以对敌方雷达辐射的电磁波信号进行截获、分选、判断从中识别出预先存储的目标信号,然后进行跟踪并摧毁敌方地空导弹和雷达。美国与

以色列合作研制了“哈比”无人机的改进型“短剑”(Cutlass),称为战术目标定位和攻击无人机系统,其改进包括安装 AIM-9X“响尾蛇”空空导弹的红外导引头和自动目标识别系统,可以用来攻击空中目标,从而提高了“哈比”无人机的空战能力。

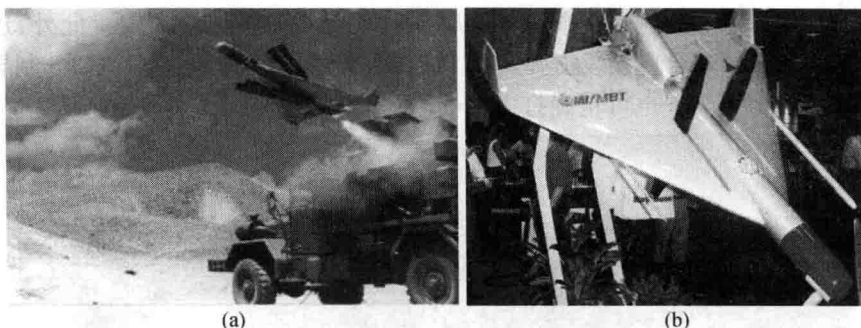


图 1.2 “哈比”和“短剑”无人机
(a) 哈比; (b) 短剑。

从 1991 年第一次海湾战争开始,无人机在战争中的使用变得更加频繁,执行的任务范围也逐步扩大。

2000 年 11 月,RQ-1A“捕食者”无人机进行了 AGM-114“海尔法”激光制导导弹的发射试验,导弹直接击中目标。2001 年 10 月,美军在阿富汗战争中用“捕食者”无人机向塔利班部队发射了“海尔法”空地导弹,成为无人机使用精确制导武器实施对地攻击的首次实战,标志着无人机在战场上的地位和作用发生了重要转变,即由辅助作战手段转向基本作战手段,从而拉开了无人机向无人作战飞机过渡的帷幕。特别是 2002 年 11 月 3 日,在也门西部地区,美军一架“捕食者”无人机发射的“海尔法”导弹将“基地”头目哈里斯与其几名手下全部予以歼灭后,美军更是热衷于发展无人作战飞机^[13]。

RQ-1A“捕食者”无人机是美国通用原子公司 1994 年为美国空军研制成功的中空长航时无人机,1995 年 6 月服役。该无人机长 8.2m,翼展 14.63m,机高 2.143m,巡航速度 160km/h,实用升限 7925m,巡航时间达 60h,空重 544.8kg,有效载荷 204kg。机上装备有光电摄像机、红外成像仪和合成孔径雷达,主要执行空中监视侦察和目标捕捉任务。随后,通用原子公司对“捕食者”无人机进行了改装,以多光谱目标瞄准系统取代合成孔径雷达。经过改进,“捕食者”无人机可以装备“海尔法”反坦克导弹和空空“毒刺”导弹,因而具备了导弹攻击能力,摇身变成了 MQ-1A 无人作战飞机(图 1.3(a)),并参加了伊拉克战争。在此基础上,该公司生产了 MQ-9“死神”无人作战飞机(图 1.3(b)),该无人作战

飞机翼展约 20m,与 A-10 攻击机尺寸相当;可携带质量约 2000kg 的武器,比“捕食者”的载重能力高 10 倍;最大飞行速度 460km/h,比“捕食者”快 2 倍;可以持续作战飞行 15h;空载时巡航飞行高度达 15000m,满载时巡航飞行高度达 9000m。“死神”无人机主要机载武器包括 2 枚 GBU-12 激光制导炸弹和 4 枚 AGM-114“海尔法”空地导弹,并可以配备“响尾蛇”空空导弹^[14]。此外,还可以携带 227kg 的联合直接攻击弹药和 113.5kg 的小直径炸弹。这些 GPS 制导武器使其在恶劣天气下也可精确打击目标。

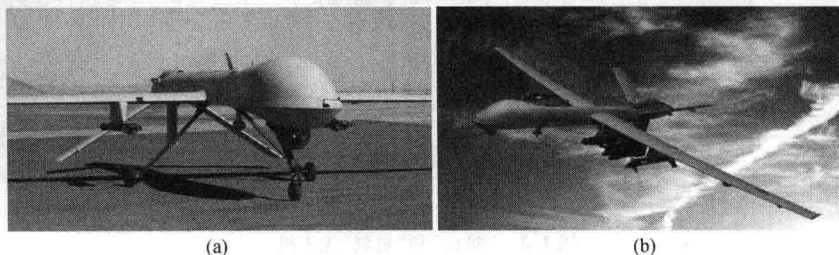


图 1.3 “捕食者”和“死神”无人作战飞机
(a)“捕食者”;(b)“死神”。

美军现役的主要无人机根据质量和飞行高度两项参数比较如图 1.4 所示。分析可知,“捕食者”和“死神”无人作战飞机属于中型无人机,处于无人机系统发展的高端类型。两型无人作战机在实战中展示了其对地攻击能力,有资料显示,美军将在此基础上重点发展其对空攻击能力,并把相关技术应用于后期发展的新型无人作战飞机上。

我国在 2011 年的第 49 届巴黎航展上首次展出了“翼龙”无人机模型,该无人机不仅具备对敌目标进行精确打击的能力,还能够携带侦察设备对敌方目标进行远距离长航时侦察,总体性能已经达到了国际上同类型无人机的先进水平。在 2012 年珠海航展上“翼龙”无人机真机系统首次亮相(图 1.5)。“翼龙”无人机是由中航工业研制的一种中低空、军民两用、长航时多用途无人机。它装配一台活塞发动机,具备全自主平轮。“翼龙”无人机可携带各种侦察、激光照射/测距、电子对抗设备及小型空地打击武器,可执行监视、侦查及对地攻击任务等任务。

随着无人机技术的不断发展,拥有高机动性、隐身性、高速性能和综合智能化控制性能已经成为当今无人作战机发展的趋势。同时无人机在战场上的使用不再局限于单纯地执行军事侦察、监视、搜索和目标指示等非攻击性任务,而是朝着具备对地攻击和空战能力发展。根据《2009—2047 美国空军无人机系统飞行计划》的内容可知,美军无人作战飞机发展趋势如图 1.6 所示。

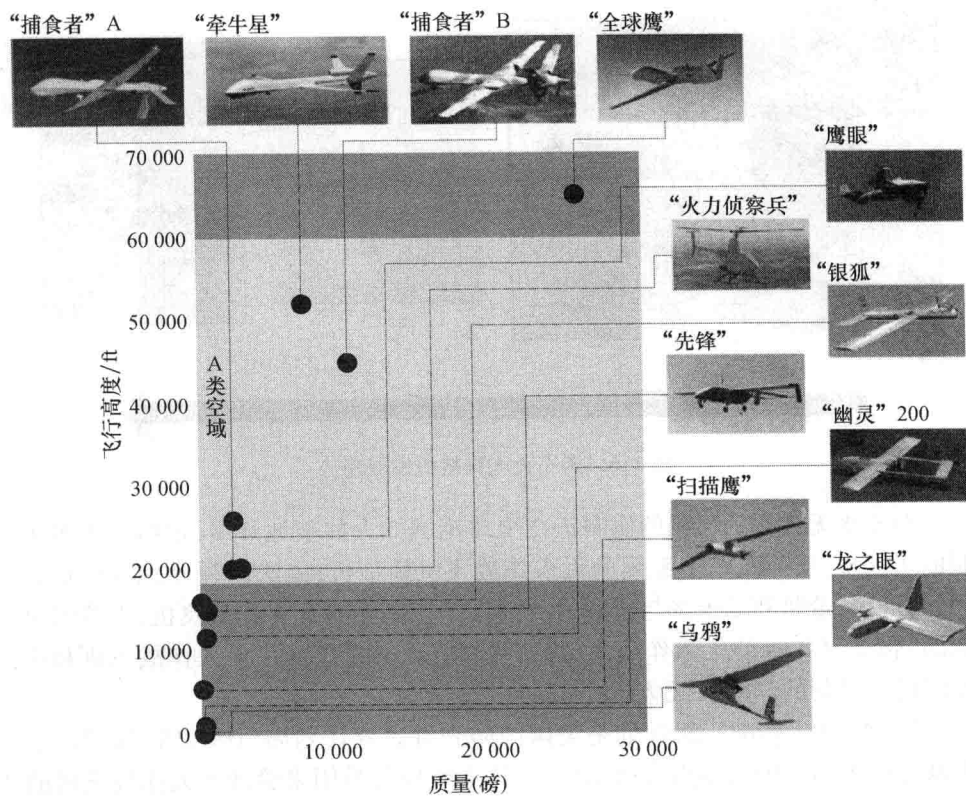


图 1.4 美军现役的主要无人机

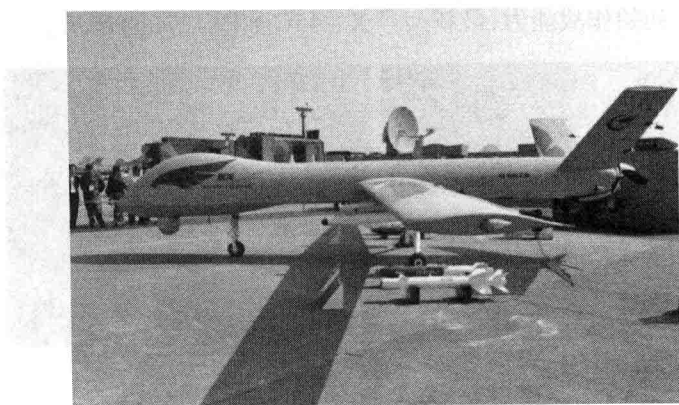


图 1.5 “翼龙”无人机