

国际知名战略学者、军事装备发展史专家诺曼·弗里德曼的权威力作
详解冷战后世界各国主要无人机系统的开发、使用及战术性能

全球作战无人机

Unmanned Combat Air Systems: A New Kind of Carrier Aviation

诺曼·弗里德曼 (Norman Friedman) 一著

聂春明 尹 群—译 殷 华—校





全球作战无人机

诺曼·弗里德曼 著
聂春明 尹群 译 殷华 校

 中国市场出版社
China Market Press

图书在版编目 (CIP) 数据

全球作战无人机 / (英) 弗里德曼 (Friedman, N.) 著 ; 聂春明, 尹群译.
—北京 : 中国市场出版社, 2011.9
ISBN 978-7-5092-0782-6

I. ①全… II. ①弗… ②聂… ③尹… III. ①军用飞机 : 无人驾驶飞机—研究 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字 (2011) 第145744号

Copyright © 2010 by Norman Friedman.

Copyright of the Chinese translation © 2011 Portico Inc.

This translation of *Unmanned combat air systems* is published by arrangement with Naval Institute Press.

Published by China Market Press.

著作权合同登记号 : 01-2011-4320

书 名 : 全球作战无人机

著 者 : [英] 诺曼 · 弗里德曼

译 者 : 聂春明 尹 群

审 校 : 殷 华

责任编辑 : 郭 佳

出版发行 : 中国市场出版社

地 址 : 北京市西城区月坛北小街2号院3号楼 (100837)

电 话 : 编辑部 (010) 68033692 读者服务部 (010) 68022950

发行部 (010) 68021338 68020340 68053489

68024335 68033577 68033539

经 销 : 新华书店

印 刷 : 北京九歌天成彩色印刷有限公司

开 本 : 710 × 1000毫米 1/16 16印张 332千字

版 次 : 2011年10月第1版

印 次 : 2011年10月第1次印刷

书 号 : ISBN 978-7-5092-0782-6

定 价 : 56.00元

目录

世界军用无人飞行器 / 001

无人机 / 遥控驾驶飞机和无人飞行器 / 003

无人飞行器分类 / 005

新出现的无人飞行器类型 / 007

自动起降和空中防碰撞 / 008

火炮目标指示和战场监视 / 009

实时战术侦察 / 015

短程海军无人飞行器 / 017

战术侦察：替代有人战机 / 018

高空侦察 / 029

攻击前电子对抗 / 035

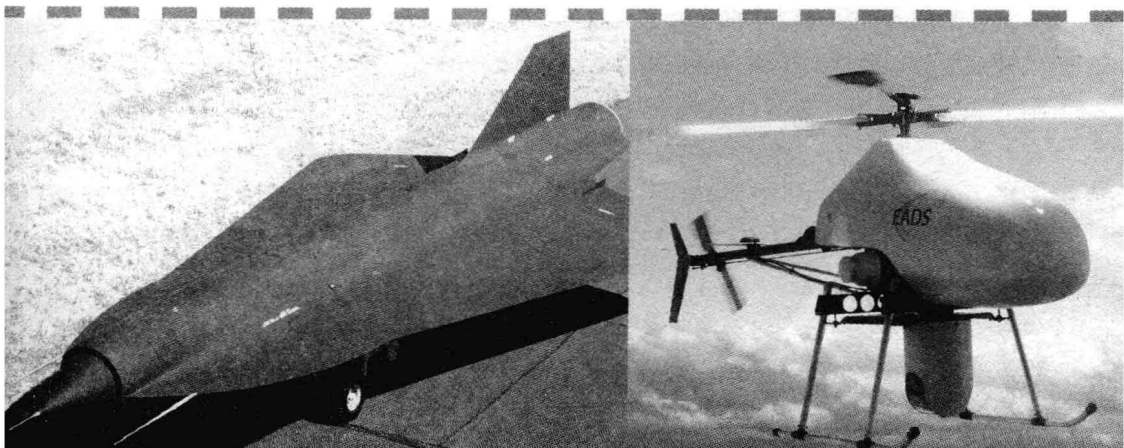
攻击型无人飞行器 / 036

以色列无人机使用经验 / 040

近期无人机使用经验 / 041

阿布扎比 / 阿拉伯联合酋长国 / 042

阿根廷 / 043



目录

奥地利 / 045

比利时 / 045

加拿大 / 046

克罗地亚 / 048

捷克共和国 / 048

芬兰 / 049

法国 / 050

德国 / 063

希腊 / 071

印度 / 071

印度尼西亚 / 074

欧洲 / 074

伊朗 / 076

以色列 / 079

意大利 / 101

日本 / 109

约旦 / 110

韩国 / 112

马来西亚 / 115

墨西哥 / 117

巴基斯坦 / 118

波兰 / 124

俄罗斯 / 125

新加坡 / 137

南非 / 139

西班牙 / 143

瑞典 / 145

瑞士 / 148

土耳其 / 149

乌克兰 / 154

英国 / 155

美国 / 166



世界军用无人飞行器

本书中将尽可能全面地收录各国曾经开发、现役或正处于开发中的大型军事无人飞行器（飞行器全重 50 千克以上）；此外，为力求全面，在叙述中也包括一些各国军方正在使用或近期使用的小型无人飞行器。一些较不常见的飞行器开发项目、样机，具有历史意义的、引领潮流的无人飞行器也包括在其中。在介绍各国所开发的不计其数的无人飞行器时，读者可能会发现，很多现在的无人飞行器在外形上很难与以往的飞行器（三四十年前曾部署过的）相区别开来，然而，仔细考察会发现两者之间存在着非常重要的差别，这种差别更多在于其内部配置、控制系统以及传感器。例如，美国陆军早期使用侦察无人机，它们搭载着胶片相机，须返回基地后才能获取侦察信息；但现在其装备的无人飞行器，在完成相同的侦察任务后则通过数据链实时地将侦察所得发送回后方。类似的，现在所使用的全数字式的飞行控制系统，与几十年前无人机所采用的模拟控制系统也存在着本质的区别，前者可以自行决定飞行器如何飞行到达指定路径点或目标区域，即使飞行途中有强风或其他影响，还是能自动控制飞行器完成起飞、着陆这样的复杂操作，而后者则更像是自动驾驶仪，它们缺乏对飞行途中出现的种种复杂情况作出判断和选择的能力。

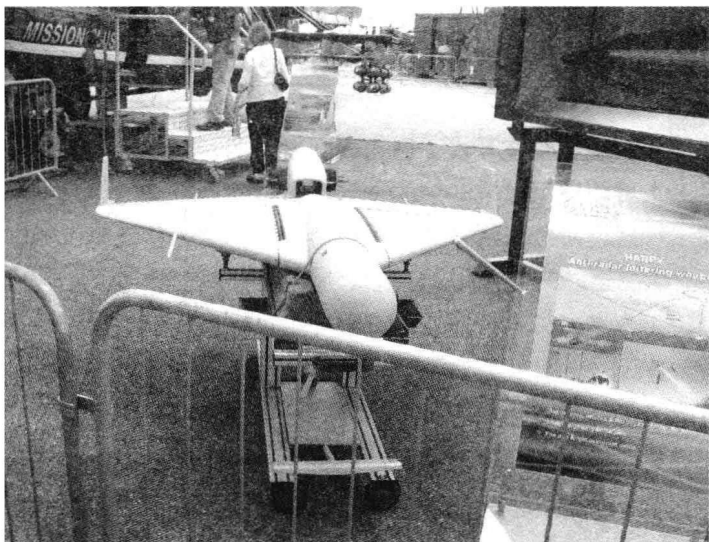
在选择本书收录的无人飞行器时，也排除了很大一部分无人靶机，虽然这其中很多后来也被改装成无人飞行器（在介绍各国别的无人飞行器时，涉及此类靶机的也有所描述）。

为了简明起见，本书也排除了很多现在正在开发（已完成开发）的、但未进入军方服役（很多这样的飞行器也不太可能被军方采纳）的小型、微型和纳米级的无人飞行器。这类数量极众的轻型飞行器之所以不被当做是军用飞行器，主要是就尺寸和功能而言，这些飞行器的成本通常非常低（续航时间也较短，性能较弱），很多与模型飞行器的差别并不明显。正是由于无人飞行器在过去数十年里所表现出的惊人的发展势头，很多国家竭力进入这一新兴领域，并努力在竞争日益激烈的世界无人系统市场发展壮大。其中，最明显的例子就是英国，英国政府和企业界似乎已决意要打造具有世界领先地位的无人机工业，一些英国人士甚至认为未来军用航空业将属于无人系统而非现在的有人驾驶飞机，考虑到此前英国军用航空工业逐渐衰退

和萎缩，很多航空器项目都进行泛欧开发和制造，这一决定的意义更显重大。从某种意义上说，认为无人飞行器领域是一个低门槛的工业领域完全是毫不现实的幻象，因为无人系统真正的成本和价值并不在于飞行器本身，而在于其搭载的传感器组件、在于其飞行控制系统以及与地面控制站或其他平台的传输数据链。在本书记录的无人系统中，有些飞行器的地面控制系统是标准化的、通用的，但另一些飞行器则并未采用这样的控制理念。此外，由于书中很多无人飞行器都是近几年开发出的新型系统，其设计概念、实用经验都未经实战考验，而且不少涉及各国军事机密，因此存在着资料缺乏、无法详细叙述的情况。

另外，还要注意的，本书也未收录那些徘徊攻击导弹，例如美国的 N-LOS 导弹、战术“战斧”导弹以及以色列“哈比”导弹等，尽管这些飞行器也搭载着一次性使用的侦察监视设备，但也正是考虑到它们一次性使用的特点以及避免收录的飞行器类别、数量过于庞杂，才有这样的决定。事实上，无人空中作战飞行器（UCAV）与这类徘徊式导弹之间的分类界限本就模糊不清，也有的国家认为未来可能开发的电磁武器（如非核的电磁脉冲弹，EMP）应该归类于广义上的无人飞行器。因为在理论上说，这类电磁武器的杀伤效应可能也会波及发射它们的载机，它们除了利用巡航导弹或一次性使用的无人飞行器进行搭载外，别无他途；因此尽管运输它们的载机也可能能够回收，但此类无人机和巡航导弹之间的差别也并不明确。有时，无人飞行器也用作电磁干扰设备的载机，在这种情况下，如果它们因敌方的干扰源攻击武器而被击毁，那么即使载机能够回收，谁又能明确地把它们归类为无人飞行器抑或巡航导弹呢？

还要注意的，现在各国对各类纳米级无人飞行群抱有浓厚的兴趣，也许利用它们可以组成一支庞大的平台集群，在一些开发实例中，它们的尺寸和体型更堪比



以色列开发的“哈比”（Harpy）徘徊式反辐射系统经常被描述为无人飞行器，像其他无人飞行器一样，它也可在空中长时间保持巡航状态，利用其传感器（雷达信号接收装置）探测感兴趣的目标；但与无人飞行器不同的是，“哈比”一经发射后就无须再回收。现在，有相当多类似“哈比”的一次性“无人飞行器”在各国军中服役。“哈比”是导弹还是无人飞行器？两者的区别又在哪儿？图中“哈比”反辐射系统摄于2007年巴黎国际航展。（诺曼·弗里德曼）

小鸟或昆虫，可以渗透进建筑物遂行大型平台无法进行的任务，但考虑到这类飞行器数量日益增多且很多开发项目因涉及各国军方的保密项目，因此只在本书中选取几种较有代表性的实例。

在本书中提及的飞行器尺寸和重量都采用公制单位，航程及速度以千米和千米/时表示；涉及飞行器重量的数量如未特别指明，通常是其最大起飞重量。

无人机/遥控驾驶飞机和无人飞行器

在无人飞行器（UAV）诞生的初期，也就是20世纪越南战争中后期，它们常被称为“无人机”（Drone）或是“遥控驾驶飞机”（Remotely Piloted Vehicle, RPV）。最后这个缩略语可能最早应用于美国在越南中使用最为广泛的“火蜂”（Fire Bee）无人机，而且当时空军也更喜欢这样称呼这类新出现的空中飞行器。经历几十年发展后，目前这类飞行器统称为“无人飞行器”或“UAV”。改变的并非只是名称，更意味着这类飞行器的自主程度、智能化水平与以往相比，已有了很大提高（虽然在越南战争期间，遥控驾驶飞机也能在没有控制人员的干预下飞行数百千米）。

很多被描述为“无人机”的飞行器（也常常被归为“无人飞行器”）通常都要预置任务参数，而且这其中很多机型采用的也是模拟飞行控制系统（如模拟自动驾驶仪）而非现在常见的数字式控制系统，它们在任务途中按预先设定好的动作完成所有操作，对操作人员的干预也反应有限。从很多方面看来，它们都无法被称为现代意义上的自动任务—控制系统（它们也可能搭载对传感器感应产生反应的控制系统）。现代无人飞行器则是具有数字式（意即可编程）任务—控制系统，拥有接受指令和回传任务信息的数据链，发射后能够进行回收的无人系统；数字式的任务控制能力也使它们具有了在飞行途中感知和处理突发情况、修订和完善飞行任务程序以适应新的变化的能力，而这正是以自动驾驶仪为代表的模拟飞行控制系统所不具备的。因此，至少从理论上说，一架无人飞行器不需要控制人员持续地对其飞行进行干预，一名控制人员可同时控制多架飞行器。但是，这类智能化飞行器在使用过程中，并不能使使用它们的空军轻易改变其固有观念，空军在更多的时候只是将其看做有人飞机的替代品，他们想为每架使用中的无人飞行器都配备全职的操控人员。但是，至少也曾发生过因为控制人员（通常由空军飞行员转职而来）操纵失误而导致无人飞行器（“掠食者”）坠毁的实例，这些控制人员更熟悉大得多、快得多的有人战机，他在无人飞行器进入螺旋后习惯性地采用了有人战机摆脱危险的动作（但对无人飞行器来说则是致命错误）。可能，这带给我们的启示是，无人飞行器可以更好地自主飞行，只有在最极端的情况下才需要必要的控制干预。最近，美国陆军也采用了“掠食者”改进型型号“勇士”系列无人飞行器，由于他们没有空军那么多由战机飞行员转职而来的控制人员，在这些飞行器着陆时通常都依靠其自身的自动着陆系统，因此其着陆事故率比空军低得多。

而且，现在网络化的战场环境也意味着无人飞行器可通过数据链实时地将其获取的信息传输到网络中任何指定的平台或终端。为了获得足够的带宽或容量，数据链必须借助高频电磁信号，这反过来又限制了信号的传输距离，对于一架飞行在3000米空中的飞行器来说，这意味着它的数据链传输距离只有210千米左右。远程无人飞行器，如“全球鹰”系统因此必须借助卫星数据链（其机首部位和飞行员座舱大小类似的卫星天线用于完成连接卫星与飞行器）才能完成信息的实时传输。也正因如此，现在很多无人系统仍需采用传统的胶片或其他传感器信息记录载体，待返回基地后才能获得侦察信息。

2006年10月，瑞典萨伯公司出版的一份资料中，将现代战术无人飞行器进行了划代（主要分为三代），虽然现在不同专家对无人飞行器划代有不同标准和看法，但至少在笔者看来萨伯公司的标准较具参考价值：第一代无人飞行器最初出现于1985年，第二代以1990年为分水岭，第三代则是2000年后的各类飞行器。资料中对比了各种飞行器的操作使用/维护成本以及制造/开发成本，得出结论认为，第一代无人飞行器，以以色列早期开发的各类无人飞行器为代表，这两项成本基本相同；对于第二代无人飞行器，操作使用与维护成本基本持平，但制造及开发成本则两倍于使用飞行器的成本；而第三代无人飞行器，例如法国和荷兰联合开发的“食雀鹰”（Sperwer）无人系统，其制造及开发成本增加得则更多，且其操作使用和维护成本也有所提升。对于第四代无人飞行器，萨伯公司预计，其操作维护成本将会下降，但制造及研发成本将可能持平。如果其预计无误，按这种趋势来看，无人飞行器净成本可将首次下降。

事实上，无人飞行器出现的时间并不短，它们第一次出现是在20世纪第一次世界大战期间，当时各交战国曾试图开发现在称为“巡航导弹”的无人飞行器，但限于技术能力，这更多的只是想象。在两次大战期间，一些国家开发出了无人机（采用无线电控制）靶机，但它们最初并非完全用于作战，部分原因是由于传统的拖曳无人靶机无法模拟出战术轰炸机新演练的空中攻击战术（如俯冲投弹）。而且在二战爆发前，德国和美国都在开发无人作战飞行器（也就是一次性的导弹），但这些开发活动并未对战后反思起到明显的影响。但相反的是，从20世纪50年代开始的类似研究却对现在产生了持续性的影响，从这一角度看，很多现在使用的无人系统就是那时研发的直接成果。因而，现在无人飞行器的历史可能就始于20世纪50年代开始的无人侦察机，特别是美国和苏联当时在这一领域投入了大量精力和资源。

20世纪70年代，美国成功地在越南战争中大量使用无人系统，也推进了这一进展，至少在美国70年代中期，这类飞行器（无人机或称遥控驾驶飞机）表现出了未来可能排挤有人驾驶战机的趋势。越南战争期间，美国有人驾驶飞机损失惨重，与此同时期的中东“赎罪日”战争（Yom Kippur War）中，也表现出类似的情景（战场对于有人驾驶战机太过危险），当时就有人判断无人机将在可预见的将来取代有人

战机。然而，战后随着隐形技术的出现和普及，以及防区外弹药的发展，似乎推翻了上述判断，这也使1991年海湾战争期间，有人战机再次以极高的生存率重新主宰空中战场。正因如此，海湾战争后各国青睐无人系统更多的是看中其所具有的有人战机所无法比拟的特点，比如数量（有人战机越来越昂贵使采购量越来越少）、持续存在于战场上的能力（无视飞行员疲劳）；而现在，对高性能无人空中作战系统的追逐，则意味着人们又开始重新审视用无人飞行器整体替代有人战机的可能性了。

20世纪90年代，世界军用无人系统市场相对较少，而且这一市场亦主要由以色列飞机工业公司（IAI）所把持，直到1998年时，该公司也仅仅生产了600余架各类飞行器（以整套系统计，则少于100套）。而现在情况已有了根本变化，不断增大的需求，带动起了庞大的无人系统产业链。1991年的海湾战争，可看做是无人系统首次大规模登上战争舞台（配备实时传输数据连）；3年后，北约在科索沃再次大量部署了无人飞行器，包括“掠食者”、“猎人”和CL-289等，但这场战争也显示出低速无人机在现代战场上的易损性，战争期间共损失27架飞行器（损失的飞行器更多是由于使用方面的问题，而非敌方防空系统直接击落）。

大多数无人飞行器为便于进行侦察监视，而被设计成低速飞行，这一概念是源于低速飞行更有利于传感器捕捉目标细节，从而更准确地判断和识别，但低速同时也大大减少了飞行器在危险空域的生存率，当然，如果飞行器本身成本较低，基于完成任务的考虑，这种损失并非不可接受，毕竟在任何情况下，损失低速无人飞行器都不如减少飞行员的损失重要。当然，无论飞行器价值如何，要快速大量补充前沿部署的无人飞行器也是一件费力的事。对于有人战机来说，一种解决办法就是增加飞行器速度，但这对于低空飞行的战机来说成本更为高昂。另一种解决无人飞行器高速飞行提高生存率与低速飞行提高侦察效率的办法可能是数据融合，利用高速无人飞行器反复对目标进行侦察，再将侦察信息融合以提升精确度，其结果可能就能达到与低速飞行器相同的侦察效果。

无人飞行器分类

美国军方根据无人飞行器的升限及续航能力，对其进行分类，“HALE”意即“高空长航时”，“MALE”意即“中空长航时”。高空长航时飞行器典型的飞行使用高度约在15240米以上，甚至可达到21300~22800米，在不远的将来，高升限更意味着可达到27400米的飞行高度。这类中、高空长航时飞行器典型的负载能力可达到400千克以上，美军一些现役的高空长航时飞行器甚至可搭载1200千克的负载；其续航时间通常也超过24小时，数据通信链接经由卫星链路进行远程连通。通常而言，超过24小时的续航时间，这类无人飞行器一般在距起飞点1800千米范围内使用，例如“全球鹰”战略无人侦察机。当然，现在也有开发一些超轻型超长航时的无人飞行器，它们通常使用太阳能动力。中空长航时飞行器通常指飞行使用高度

在 6100 ~ 12200 米，负载能力在 150 ~ 400 千克，续航时间至少达到 12 小时的无人飞行器；使用时，这类飞行器一般可在距起飞基地 920 千米范围内使用，其通信联系则依靠卫星链路和中近程直线无线电链接的混合数据链模式，例如“掠食者”无人飞行器。目前，在高空长航时和中空长航时两类飞行器之间，新出现一类介于两类之间的飞行器，如“收割者”飞行器，它的使用高度在 12200 ~ 15200 米，更高甚至可达到 16700 米，其负载能力达到 600 ~ 900 千克（其中舱内负载 200 ~ 300 千克，舱外负载 400 ~ 600 千克），续航时间约 18 小时。此外，一些国家也曾开发过所谓的“LALE”飞行器，即低空长航时飞行器，其使用飞行高度在 50 ~ 9150 米，续航时间超过 24 小时。

要注意的是，上述分类方式只是美国军方所采用的分类表述方式，其他国家也有其自己的标准，可参见表 1。当然，所有的这些分类标准和数据都是近似的，仅仅是给出对飞行器不同航程和性能的大致界定。



RQ-4“全球鹰”战略无人侦察机是目前最先进的高空长航时飞行器，由于航程较远，它在飞行途中需要卫星数据链来中继传输获取的信息，其卫星天线配置于机首上方隆起的整流罩内。（诺斯罗普·格鲁曼公司）

表 1 不同无人飞行器分类标准

飞行器类型	质量（千克）	航程（千米）	使用高度（米）	续航能力（小时）
微型	<5	10	240	1
轻型	<25	10 ~ 150	N/A	<2
近航程	25 ~ 150	10 ~ 30	3048	2 ~ 4
短航程	50 ~ 250	30 ~ 70	3048	3 ~ 6
中航程	150 ~ 500	70 ~ 200	4560	6 ~ 10
中航程长航时	500 ~ 1500	>500	7620	10 ~ 18
低升限远航程	250 ~ 2500	>250	45 ~ 9144	0.5 ~ 1

其他还有一些分类标准，比如根据飞行器数据的传输方式和使用范围分为战略无人飞行器和战术无人飞行器，前者飞行距离较远且数据通过卫星链路中继传回后方，而后者则直接将数据传回地面控制站。

尽管各类无人飞行器相互之间存在着相当的差距，但侦察监视类的无人飞行器通常都搭载着类似的传感器：光—电、红外及可见光传感器，此外，还可能搭载激光指示器；一些大型的无人飞行器还携带着机载雷达，甚至被动的信息情报收集阵

列。考虑到各类无人系统多用于针对地面目标的侦察和监视，其雷达通常是具有高地面成像分辨率和动态目标指示（GMTI）功能的合成孔径雷达（SAR）。光电（EO）传感器组通常处于飞行器机鼻下方，之所以这样配置，一方面是为其提供尽可能广阔的视场，另一方面则是避免机体本身热源（引擎）对传感器造成影响。正因如此，不少无人飞行器的设计采用较短的机身配合单（双）尾撑的结构，将引擎和螺旋桨推进器布置于机体尾部或机身后侧，正是为了减少对机首传感器组的干扰。此外，本书中收录的大多数飞行器，在讲述其负载配置时都并未对其传感器负载进行重点分析，这是因为几乎所有的无人飞行器所负载的传感器都含有功能、结构类似的光电传感器组，尽管它们的具体性能各有不同，但相对广泛的应用以及低廉的成本，使其成为无人飞行器上较易改装的部分，固在书中对其传感器负载性能涉及较少。

对于地面部队而言，无人飞行器更多地表现为各级部队所使用的类型，例如，排级、连级、营级、旅级、团级、师级、军级无人飞行器等。等级越低的飞行器，其重量越轻，且飞行器也必须越易于携带。因此，排级或连级飞行器通常是指那类可手持（投掷）发射的飞行器，它们也常被称为“微型”飞行器。目前，全球各国军队，特别是美国，对于这种微型飞行器的兴趣日益浓厚，可以增大其使用数量将之组成空中集群以覆盖感兴趣的区域，如城市的特定区域，这些飞行器更多时候也被称为“机器蟑螂”或“机器蜜蜂”，它们能飞（爬）进较小的建筑物，因此很大一部分这类飞行器也不在本书收录的范围之内。

新出现的无人飞行器类型

除了现在的这些飞行器外，还有一些在未来可能会开发成功，且非常重要的无人飞行器，比如美国现在就有很多概念性的开发项目。在大型飞行器方面，国防部先进研究项目局（DARPA）已显示出对超长航时大型无人飞行器的兴趣，比如能连续滞空4~5年之久无须落地的轻重量太阳能飞行器；另一类则是大型无人软式飞艇，它们能搭载大型的相控阵雷达，危机时将其部署到战场上空受到严密保护的空域，利用其监视战场上敌方力量的活动（特别是战区弹道导弹），昼间雷达及其动力设备将使用飞艇表面的太阳能电池提供的能源（富余能源则以某种形式储存起来），夜间则使用昼间被储存的富余能源，实现全天24小时的不间断部署。这类搭载雷达阵列的大型飞艇已于2010年完成试飞，而这样一个平台真正投入使用后，就能提供本书开篇所提到的种种战术态势信息，而这亦正是无人空中作战系统所必须依赖的。

在种种大型无人飞行器中，还将新出现一种以输送和投送功能为主的无人飞行器，海军陆战队目前非常热衷于这种飞行器的开发。设计师卡曼已设计出一种大型无人直升机（K-Max Burro）就专用于船只之间的物资补充，如果这种飞行器投入使用，那么其功能便能轻松地扩展到货物投送。就此而言，这类以货物搭载性能为主要指标的飞行器和搭载武器的飞行器之间的差别并不明显，很可能未来作战用途的

无人飞行器也可具备向前沿部队投送给养的能力，担负起后勤支援的作用。就后一种可能来说，尽管武装无人飞行器搭载的武器重量可能不如专用货物投送飞行器那么大，但其具备的高速度却是另一种飞行器所不具有的。

此外，种种空中发射的无人飞行器也是现在各国开发的重点。在无人系统开始应用于军事的初期，老式无人侦察机通常都采用空中发射的方式（最戏剧性的例子莫过于洛克希德公司开发的 D-21 型无人机，它由 SR-71 战略侦察机在空中发射）。但现在的空射无人飞行器明显更小，而且无论造价还是数量都更经得起损耗，开发这种功能相对单一的飞行器的主要目的，在于利用其完成较危险的任务，以避免载机的损失。如此，一架飞行器就可发射多个小型飞行器，利用其扩展监视侦察范围。这样，发射载机在这种使用模式下自然就担负起数据融合中心的角色，这可能也是它最重要的任务。至少在美国，也有开发机构致力于潜基发射的无人飞行器系统，在完成任务后，它们可在水面降落并在水下被回收。其实这一构想早在 20 世纪 60 年代就有人提出过，但后来这种潜基发射的喷气式无人机项目被终止了。



自动起降和空中防碰撞

无人飞行器发展现今，一些重要航电系统的出现也至关重要，比如，自动起降系统（ATLS）和空中防碰撞系统。至少在理论上说，这两类系统极大地减轻了飞行器操作人员的工作量，使得少量操作人员控制多架飞行器成为可能。目前，这两类系统已广泛应用于新开发和已投入使用的无人飞行器上。

空中防碰撞系统（位置感知—规避控制）在原理和实现上更为复杂一些。国际民用航空组织（ICAO）曾设定了空中防碰撞的目标，即将每 10 亿飞行小时的空中碰撞发生次数降至 1 起，在如此低的空中碰撞概率下，如果发生这类事故其原因只能归咎为驾驶或航空管制的失误。以美国目前的空中交通环境为例，每年，美国空中交通运输飞行时数累计达 180 万小时，所以最理想的是每 55 年发生一次飞行器空中碰撞事故。这一数据只是理论上存在着的，现实中根本无法用实际飞行器去验证和试验，所以只能依赖系统模拟进行试验。通常来说，防止飞行器空中碰撞需要利用一些传感器的配合，在远距离上（超过 320 千米），主要基于空中交通管制程序对两飞行器进行交通分离；当两架飞行器在 50 ~ 320 千米范围内时，就由空中交通管制系统负责协调两架飞行器的航线。当两架飞行器位于 50 千米范围内时，就需要依靠空中防碰撞系统的帮助，如果存在碰撞危险，它会提示飞行器爬升或降低高度以避免风险；而两架飞行器距离极近时，此时飞行员就必须依赖自己的视觉观察。而无人飞行器也受益于为有人驾驶飞行器设计的空中防碰撞体系，它们通常都搭载有空中防碰撞系统（由机载光电 / 红外照相机、雷达或激光雷达等传感器组成），这套系统能够探测附近的飞行器，跟踪它们并判断是否构成威胁以及威胁的优先度，得出初步结论后系统就会强制飞行控制系统进行必要的规避操作。

整套防碰撞系统可采用闭环或开环的结构设计，在采用后一种结构设计时也常涉及控制人员的干预。2006年以来，美国“全球鹰”项目办公室曾资助以诺斯罗普·格鲁曼公司为首的研发团队，开发一套用于无人机空中防撞的“多人侵者自动规避”项目。项目试验采用1架“利尔喷气25”飞机，由其采用程序飞行的方式模拟“全球鹰”，再从目标飞行器周围空域不同方位和高度用多个飞行器朝目标飞行器飞行，测试系统的防碰撞探测和反应能力。最初，目标飞行器上安装一对110度视角的照相机（安装在飞行器机鼻两侧），但这种防撞击的方式在夜间和多云的空域明显存在局限。在经过多次试验和改进后，到2007年目标飞行器已能典型地探测两倍于人眼视觉距离外的其他飞行器。试验也证明，利用可见光照相机用于防碰撞，无论在分辨率、扫描容量以及扫描速度方面，都存在较大的缺陷。因此，现在空中防撞系统主要是利用雷达及红外传感设备，预计2013—2015年时有望部署可靠性更高的系统。除机载防碰撞设备外，2007年DARPA也尝试利用地面传感器用于防碰撞系统，这使飞行高度较高的飞行器，如“全球鹰”飞行器在到达预计高度空域前能顺利通过低、中空飞行器密集繁杂的危险空域。海军陆战队也希望利用这一方法为其“阴影”飞行器通过管制及限制空域时，开辟一条飞行通道。

当前，飞行器空中防撞系统开发的目标是将其设计为一套可靠性高的闭环系统，这意味着飞行器在空中的各种规避动作无须操控人员的干预，使其从空中交通管制角度看，无人飞行器更像一架由人类驾驶的飞机；最终要设计一种能对进入以目标飞行器为中心其周围150米半径的球形区域内的其他飞行器，进行有效规避的空中防撞系统，而对于人类飞行员来说，在这一距离内进行有效反应的难度要大得多。

除美国外，欧洲有关国家至少也启动了两项类似的防碰撞项目，其中有英国的“机载评估和接近相关自动系统技术”（ASTRAEA）和多国军方资助的“空中防撞系统”（MidCAS）。ASTRAEA项目第一阶段已于2008年在未隔离的英国空域进行了相关模拟试验，项目第二阶段将试验机载防碰撞传感器及控制系统的测试，预计于2012年开发出实用的系统，但也有消息称这一目标过于乐观，研制进展不可避免地将拖延。MidCAS系统由法国、德国、意大利、西班牙和瑞典军方联合开发（瑞典为项目牵头方，参与的企业几乎包括所有欧洲知名防务企业），预计研发周期为四年，将研制一整套空中防撞系统以及新的标准。很明显，多国开发的MidCAS系统将采用为欧洲“神经元”无人空中作战飞行器而开发的技术。

火炮目标指示和战场监视

无人侦察飞行器开始对西方军队变得极为重要，是随着陆军所拥有的超视距武器系统日益实用化后而产生的。20世纪50—60年代以核（火箭）炮兵为代表的陆基超视距大规模杀伤火力开始配备部队，这类武器在与华约的战争中担负摧毁华约装甲突击集群及梯队的重任，如此就需要一种能靠近攻击目标区域并能实时侦察传输

战场情报的侦察手段，这一要求远远超过了地面部队所能拥有的常规侦察方式。新的战术核武器的部署使北约得以重新拉回与华约本就悬殊的常规力量平衡，但战术核武器能发挥其效能的必要前提条件，就是要尽量在其射程的最远端对华约目标进行攻击，否则核武器的巨大杀伤就可能波及自身。美国最初曾简单地认为，只要其人员躲进装甲车辆中就能避免核武器杀伤，进而可在相对较近的距离内使用战术核武器，但经过多次核试验表明，核武器的杀伤效应并非只有初期的冲击波和核辐射，最安全的办法仍是在尽可能距己方力量较远的地点使用核武器。因此，为有效使用战术核武器的努力，就在于找到一种能实时为它们指示目标的侦察手段上。到冷战后期，北约使用战术核炮兵的思想又进一步扩展，希望能够用核炮兵对付机动中的华约装甲集团，利用超远射程的战术导弹和火箭打击敌方纵深目标，然而这些设想的实现都有一个必备的前提，即地面部队拥有一种可靠的实时侦察手段。

在北约构想的两种交战模式中，利用高速有人驾驶的喷气式战机完成侦察任务基本不可行，因为这些高速飞行器在空中飞行时想发现、识别出地面相对低速的目标非常困难，同时这些飞机要想在低空飞行也得冒更大风险，而且就算它们完成了侦察任务但也不得不在返回后方机场后才能将获得的战场信息用于前线攻击。因此，美国陆军遂将越南战争时间的无人侦察机改装后，用于为其地面部队提供侦察监视情报。采用无人机充当这一角色有很多优势，首先它不怕损耗也不用怕被己方核武器杀伤；其次它飞行速度慢、高度低、目标小，便于获取敌方地面部队的情报；最后由于其航程相对较近，利用数据链可实时地将情报传回打击部队。从某种意义上说，可将此举视作美国陆军希望重新获得战场前沿战术侦察能力所作出的努力，而这种侦察能力更是空军当时无法也不愿提供的。因此，从这一角度考虑，军种间侦察能力的不平衡亦是推动无人飞行器发展的重要因素。

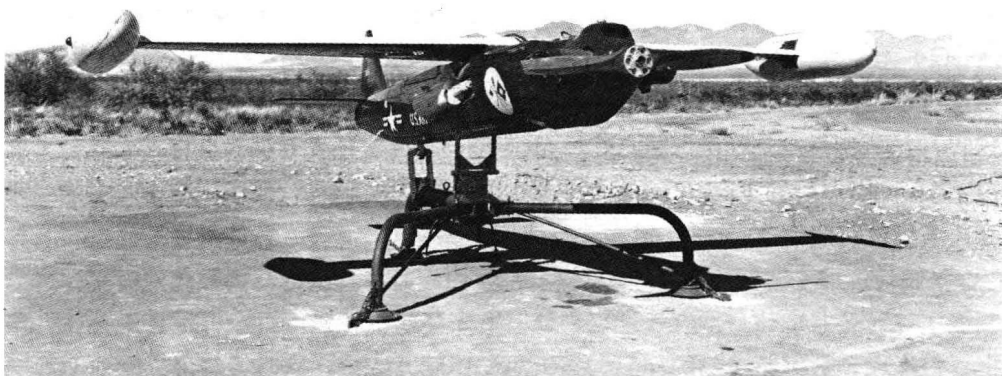
20世纪50年代初期，美国陆军开始为其驻欧地面部队配备“诚实约翰（MGR-1）”战术核火箭（炮）系统（射程超过48千米）；1973年，驻欧美国陆军开始用射程更远的“长矛”系统替换“诚实约翰”（后一种战术核发射装置一直保持在北约服役至1985年），随着这类远程攻击系统的陆续配备，为使用部队配备相应目标指示手段的工作也越来越急迫。考虑到侦察信息回传带来的时间延迟以及华约装甲集群的推进速度，当时陆军评估任何与“诚实约翰”核火炮搭配使用的实时侦察系统必须在火炮使用前到达前线50千米以远的区域待机侦察，如此才能最大限度地发挥核火炮射程和杀伤力优势。“诚实约翰”核火炮系统于1951年开始试验，1953年1月开始部署在欧洲。据推测，陆军一开始仍想用常规炮兵校射飞机为“诚实约翰”指示目标，但考虑到有人驾驶的校射飞机极可能在战术核攻击中也被波及，便采用了无线电飞机公司（已并入洛克希德公司）的防空靶机作为侦察无人机，经过改装后新侦察机被称为USD-1型无人侦察机[后正式取得军用编号MQM-57，绰号“猎鹰者”（Falconer）]，这是一种采用常规飞行器布局和结构的小型螺旋桨推进器飞行

器，其基础机体经过授权后由意大利流星公司生产，据推测这段授权生产的经历也对后来意大利开发“米拉齐”（Mirach）无人机最初版本有过启发。

“猎鹰者”飞行器的开发始于1955年，它也是当时美军现役MQM-33“鹌鹑”（Quail）无人机（MQM-33首飞于1945年，也是一种早期无人靶机在更换了新引擎后的改型，其初期编号为OQ-19）的衍生型飞行器，经过几年试验和设计完善后，1959年该机型量产并配备部队。这种MQM57“猎鹰者”无人机（也称为无线电飞机RP-71）一直服役到1966年，总产量总计约1445架。该飞行器航程为161千米，典型任务续航时间约30分钟，最大飞行速度为300千米/时，其负载为1部昼间照相（95张胶片）或1部红外相机（10张胶片）。由于胶片冲洗需花费额外的时间，这也减少了飞行器获取信息的有效性。当时，最先进的电视摄像机也可配备于该飞行器上，但考虑到数据链传输的问题，仍无法实用到系统中。当时，美国驻欧地面部队中，每个装备有“诚实约翰”核火炮的陆军师，都编配了1个航空监视和目标指示排，该排共编有12架“猎鹰者”飞行器。与“猎鹰者”同时代的无人飞行器中，海军也配备了编号为KD2R的靶机（MQM-33“鹌鹑”无人机的海军型），KD2R也有用于侦察的改型（推测可能用于陆战队）。后来，海军还改装了MQM-36“雌麻鸭”（Shelduck）无人机，称为KD2R-5无人机，主要用于投掷鱼雷和核辐射采样（KD2R和KD2R-5常被误认为是同一种无人机的不同改型）。英国陆军在60年代也曾接收过32套“猎鹰者”无人系统（改称为“观察者”），根据目前资料不清楚“猎鹰者”飞行器是否还提供给其他北约国家军队，但该飞行器机体确经授权后由意大利流星公司生产，因此美国在将其完善后也将相关资料提供给意大利方面，意大利又将其技术融合进“米拉齐”系列后继的飞行器中。到80年代，该系列飞行器也称为“基础训练目标靶机”，生产的各种型号、版本总计愈7.3万架。

“猎鹰者”飞行器只是美国最初成功开发的一系列无人机中的一种，它最初被用于航空靶机（之后又衍生出其他型号）。而“猎鹰者”飞行器的另一个源头，无线电飞机（Radio Plane）公司，据称是20世纪30年代由好莱坞演员兼模型飞行的狂热爱好者雷金纳德·丹尼（Reginald Denny）创建。在二战期间，该公司共生产了总计达15374架各类无线电控制无人机（主要用做靶机），战后这理所当然地成为美国第一批无人侦察机的基础。这些无人机飞行过程完全依赖无线电遥控，这限制它们的有效操作距离，也无法在遮蔽物后对其进行操作，而且还需要雷达跟踪以确保它们时刻能处于正常的飞行状态。例如，最初的型号RP-1型飞行器采用老式的磁石电话拨号盘来生成控制飞机左右和上下运动的音调。早期，这些遥控飞行器虽然简陋，但对于军队训练来说却不可缺少，因为它们起码能模拟出飞行器的各种机动，而拖曳式的靶机却无法做到这点，特别是在训练地面防空炮手打击敌方的俯冲式轰炸机时，遥控飞行的重要性就更加显著了。

1957年1月15日，陆军作战监视局（ACSA）组建，据推测该机构的成立是



无线电飞机公司生产的“猎鹰者”，是美国配备的第一种无人侦察机。图中这架称为SD-1的“猎鹰者”早期型号拍摄于1959年1月。目前无线电飞机公司已成为诺斯罗普·格鲁曼公司的文图拉分部。（美国陆军）

由于五群制原子师（配备“诚实约翰”这样的核火炮）作战概念需要超地平线的战场侦察监视能力所致。很明显，由于时间仓促，装备“猎鹰者”无人机只是作为未曾预料到的“诚实约翰”火炮目标指示问题的过渡性解决方案。1957年，作战监视局公开招标准备选择一种新的战场侦察无人机，当时共有两家公司提供了原型机用于试验。Rheem制造公司（后为航空喷气公司收购）开发的USD-2型（即后来的MQM-58）“监督者（Overseer）”飞行器，这也是一种与USD-1相似的螺旋桨推进器驱动的飞行器，它最明显的特征就是主翼翼尖的油箱和机尾倒V形尾翼，而且它的速度更快（563千米/时），可搭载红外成像仪、可见光照相机，并配备了实时数据链。在军方试验过程中，也曾用它试验搭载侧视雷达和可更换传感器模块。该飞行器采用一种较为原始的远程导航方式，利用两个信号接收站（一个主站、一个从站）接收到的飞行器发射的信号的时间差来判断其位置，该导航模式可在100千米内提供约1.6米的精度误差，但这种方式也极不可靠。据称，正因为其在导航方面存在的问题，1966年该项目被中止，此外，当时美国已开始大规模干涉越南战争，这也导致军方不再资助项目开发。USD-2飞行器从未正式服役，试验期间总共制造出35架飞行器。另一种竞标的原型机是共和公司开发的USD-3“刺探者”（Snooper）或称“空中间谍”（Sky Syp）（军方并未为该机型指定MQM系列军用编号），该飞行器也是第一种采用双尾撑布局/螺旋桨推进器驱动的飞行器，其原型机于1959年1月试飞，其航程约160千米，与USD-1型飞行器类似，飞行速度则达到482千米/时，共制造了50架原型机，原计划海军也采用这种飞行器，但和USD-2一样，该机型也未被军方采用。