



反无人机设备随着无人机的大量应用也应运而生。



2016年美军第46测试中队在“黑色标枪”反无人机演习。



雷神公司的舰载激光反无人机武器。

反无人机作战系统加速发展问题探要

刘清 张凤坡

“甲坚则兵利，城成则冲生”。进攻性武器与防御性武器总是相伴而生、互相促进的。进入信息时代以来，军用无人机技术迅速发展，并广泛运用到作战过程中。为了避免和降低无人机的致命威胁，各国均把发展反无人机作战系统、反制无人机威胁，确保无人机对抗领域的主导权视为装备发展首当其冲和迫在眉睫的重要任务。

反无人机作战系统加速发展的主要动因

无人机威胁持续增大。无人飞机结构简单、造价低廉、效费比高、隐蔽性好、操纵人员安全。近年来，其在军事上广泛应用。据悉，截至2010年全球军用无人机已有200多型、10000余架，且仍在不断增长之中。目前，军用无人机型号已涵盖微型、小型、中型、大型，航程范围从近程、短程、中程直至远程，应用领域涵盖战略、战役、战术层次，作战任务拓展至侦察监视、通信中继、空中预警、诱饵欺骗、精确打击、信息攻防、毁伤评估等领域，使得无人机已经成为现代战场上敌对各方不得不高度重视的重要威胁。特别是近年来无人机集群作战的蜂群战、技术，以及有人机与无人机的密切配合协同作战的战、技术得到高度重视和大力发展，使得无人机作战效能进一步提高，战场威胁进一步增大。加之大部分小型、微型无人机可以通过公开的商业渠道获得，对其进行简单改装后就会具有相当程度的杀伤力，也就使得无人机成为某些极端势力实施恐怖活动主要备选武器。

传统防空武器先天不足。目前，各国军队防空武器主要是针对传统飞机、直升机等有人飞行器的威胁而开发的，其应对无人机威胁效果较差。与有人机相比，无人机不必装备驾驶座舱和安全系统，不必考虑作战人员的过载承受能力，其重量可以更轻，体积及尺寸可以更小，外形设计可以更优，速度可以更快，使得其雷达、红外、可见光等隐身性能更好，更难被防空系统发现、跟踪和拦截。此外，一些小型、微型无人机造价相当低廉，作战中可以忽略甚至不计战损。在1982年贝卡谷地之战中，以色列先用造价低廉的“侦察兵”无人机飞达叙利亚防空导弹阵地上空，引诱叙方制导雷达开机并发射价格高昂的“萨姆”-6等防空导弹，同时与电子干扰、实体摧毁手段相结合，在短短6分钟内摧毁了叙利亚19个防空导弹连发射阵地，

取得了震惊世界的辉煌战果。

寻求攻防双重优势。有战略眼光的世界军事强国，往往在发展和应用无人机的同时，还充当着推动反无人机作战系统发展的“急先锋”和“领头羊”。表明这些国家在享用无人机领先地位和作战红利的时候，也深刻认识到无人机正在逐步改变战场面貌和颠覆作战规则，影响作战进程和战争胜负，因而必须牢牢掌握无人机对抗领域的主导权。一方面，他们继续大力推进无人机发展及应用，保持和利用其领先地位；另一方面，同时大力发展反无人机作战系统，削弱对手无人机的利用能力。美国早在2012年就开始制定反无人机战略，企图利用其技术优势抢占反无人机领域的制高点。俄罗斯为了缩小与美国的差距，已制定了详细的国家无人机发展规划，投入巨资加强无人机与反无人机研发。英国将反无人机技术列入2016年无人系统战略中，高度重视其技术、战术的开发。法国专门开展了“全球反无人系统技术和方法的分析和评估”计划，以提高对无人机的探测、识别、分类和压制能力。以色列国防科技和工业都比较发达，其反无人机武器与无人系统同样受到高度重视，发展一直处于世界领先水平。此外，德国、意大利、日本、韩国等也高度重视并相继开展了反无人机作战系统的技术开发及发展规划工作，以推动反无人机作战系统的发展，争夺无人机对抗领域的“先手”和主导权。

反无人机作战系统加速发展的基本路径

反无人机属于新兴的作战领域，反无人机作战系统属于新生的武器装备，以美国为代表的世界各军事强国在推动反无人机作战系统发展上不遗余力、多法并举，力争通过武器装备发展的先行优势、技术优势获得无人机对抗领域的优势和主动权，从而为赢得未来战争奠定坚实基础。

加强反无人机作战问题理论研究。加强反无人机作战相关问题的研究与探索，为反无人机作战系统发展提供针对性强的需求牵引和理论指导，一直受到各国高度重视。如，美国陆军2014年举办了一场反无人机的研讨会，对各层级反无人机作战的探测、决策和攻击机制进行了讨论，对动能、定向能及电子和网络等不同攻击方式和武器的优劣进行了比较和探讨。经过研讨，美军火力中心、联合防空与反导组织、参谋长联席会议以及其他反无人机参与方都一致认为，能够使无人系统失效即可，并非一定需要击毁无人机，因而

传统的电子攻击手段、电磁脉冲武器都可大有作为。这些研究结论为美军反无人机作战系统发展提供了具体指导，确认了美军反无人机作战系统的发展思路与发展策略。此外，美国空军也正在制定反无人机防空作战条令，更新作战概念和技术、战术程序，在规范反无人机作战行动的同时，也为美国反无人机作战系统发展提供了借鉴和指导。

制定反无人机作战系统发展规划。加强顶层设计，搞好统筹规划，为反无人机作战系统长远发展提供依据，是世界各国推动反无人机作战系统发展的普遍做法。如，美军高度重视无人机的威胁，空军认为无人机技术的扩散将严重影响其空中霸主地位，陆军将无人机与飞机、直升机、弹道导弹和巡航导弹并列为最具有破坏力的“五大威胁平台”。俄罗斯为了提升无人机作战领域的建设与发展水平，保持传统军事强国的地位，俄总统普京已下令制定了详细的国家无人机发展规划，2020年前将投资高达130亿美元军费建立无人机作战系统科研体系，加强军用无人机与反无人机技术研发，以提升与其军事大国地位相称的反无人机作战能力。英国2016年的无人系统战略中，将反无人机技术列为非常重要的组成部分，并成立了代号为CO14的反无人机信息中心，专门研究反无人机战术、技术及发展规划，以反制利用无人机实施的恐怖活动、袭击事件等。以色列国防科技和工业都比较发达，其反无人机武器与无人系统同样受到高度重视，发展也一直处于世界领先水平。法国也越来越关注反无人机武器和技术的发展，曾专门开展“全球反无人系统技术和方法的分析和评估”计划，以帮助法国政府、警察和武装部队对非法无人机进行探测、识别、分类和压制。

加速推进反无人机作战系统研发验证。通过实装实弹的试验、演习，检验反无人机作战系统性能，为其发展查漏补缺、纠错修偏，并验证反无人机作战系统发展方向的可行与否，是世界各国反无人机作战系统发展的常用策略。如，自2002年以来，美国国防情报局每年都要进行一次名为“黑色标枪”（Black Dart）的实装、实弹的大型联合反无人机演习，以评估和改进反无人机能力，助推反无人机作战系统发展。美国2015年的“黑色标枪”演习长达2周，由联合一体化防空和导弹防御组织的空军军官负责指挥，共测试了55种无人机的探测和攻击系统。通过试验美军认为，世上不存在能够应对全部无人机威胁的反无人机作战系统，最有效

的反无人机探测方法

是将雷达、光电传感器、红外传感器、声响传感器和其他探测器组合起来构成警戒网，攻击敌无人机可以通过枪、炮、导弹、激光器、高功率微波武器以及GPS和无线电干扰装置来实现。另外，美军还认为反制小型、微型无人机的最大难题在于如何及时发现，对付集群式的无人机则尤为困难。法国马劳技术无人机公司提出利用无人机拦截无人机的思路，并在2016年2月的演示试验中，利用MP2000六旋翼无人机下方悬挂拦截网成功地捕捉了一架四旋翼的目标无人机，证明了其反无人机作战系统发展方向的可行性。

反无人机作战系统加速发展的技术性举措

近年来，世界各军事强国加大了反无人机作战系统的研发力度，反无人机作战系统蓬勃发展，呈现出百舸争流、百花争艳的态势。但认真梳理其技术发展进程，不难发现其主要举措有以下三条。

升级改造传统制、防空系统。充分挖掘传统武器装备潜能，根据最新需要对其进行升级改造，一直是武器装备发展最重要的技术路径之一，反无人机作战系统发展也可依例而行。在已有歼击机、防空导弹、防空高炮等制空或防空武器系统基础上进行适应性改造，拓展其作战职能，使得其既能应对传统的空中威胁，又能应对新出现的大、中型无人机的威胁，投入少、见效快，已被战史证明行之有效。如，1964年到1969年，我军多次利用歼击机击落美军入侵我领空的BQM-147G型无人侦察机，2003年伊拉克用飞机击落了美国空军的一架“捕食者”无人机，2006年以色列用F-16击落了真主党游击队的一架无人机，2008年俄罗斯用米格-29战斗机击落过多架格鲁吉亚的“竞技神”-450无人侦察机。此外，伊朗2014年在“先知穆罕默德”演习中以“天兵”防空系统发射多枚导弹击落了假想敌的数架无人机。

美阿贡国家实验室开发高超声速推进系统

8月14日，美国《国防杂志》网站在“研发特别报道：联邦投资的研究实验室”专题中，发布了阿贡国家实验室国家安全项目负责人基思·布拉德利撰写的文章“The Big Bet: HYPERSONIC PROPULSION”，内容如下：

国防部将高超声速推进系统列为其首要技术优先事项。其他超级大国也正在开发这项技术，因为以5马赫飞行的高超声速飞行器可以免遭探测、跟踪和拦截。

能源部的阿贡国家实验室通过3个高超声速相关学科的科学来帮助加强国家安全：复杂的空气动力学、推进和材料科学。支持这一专业知识的是阿贡国家实验室在硬X射线科学、建模和仿真以及高性能科学计算方面的独特实验能力，所有这些都通过现场用户设施来提供。

以5马赫或更快的速度飞行需要不同于现代飞机的推进系统。阿贡国家实验室的硬X射线能力称为高级光

子源，通过硬件组件进入高超声速喷气发动机的内部工作，解开复杂流动和燃烧的奥秘，同时不会损害性能。这种能力为高超声速系统的优化设计提供了途径。

阿贡国家实验室的研究还为异型复合材料和陶瓷的设计和制造提供了信息，这些复合材料和陶瓷可以帮助高超声速飞机承受大气阻力产生的应力。很难预测这类材料在实际使用条



件下的行为。我们在实验和高性能科学计算方面的专业知识使得能够在全尺寸飞行之前预测工程材料的性能。一些高超声速喷气发动机部件只能使用增材制造生产，也称为3D打印——这是阿贡国家实验室专业技术的另一个领先领域。通过增材制造生产的材料中尺度结构决定了其整体性能，这与传统生产方法产生的结构极为不同。先进的光子源实际上可以实

现金属凝固成像，允许即时修改打印过程以增强所需的性能。

先进的光子源还揭示了喷气发动机部件的隐蔽特征。制造商需要在制造每个部件时对其进行表征。通过X射线进行原位X射线检查提高了对组件性能的了解，同时也有助于解开增材制造的奥秘，在许多方面这仍然是一个难以理解的过程。阿贡国家实验室的阿贡领导力计算机（ALCF），是能源部领导全国开发下一代超级计算机的几个设施之一。ALCF团队多尺度模拟高超声速科学与工程。例如，已经生成了计算量最大的流体动力学模拟，以便在能够测量的更精细的分辨率下理解相关现象，提供只通过实验无法获得的基本见解。

阿贡实验室与行业学术界合作，加速高超声速创新。通过这种方式，能源部的国家实验室不仅有助于解决国家最大的问题，而且还使美国国防工业在世界市场上更具竞争力。（郭道平）

DARPA推动机器学习减少对标签数据的依赖

据美国国防预先研究计划局（DARPA）官网报道，机器学习（ML）系统通过实例学习提取了大量数据。随着系统不断发展，深度神经网络（DNN）成为机器学习模型中的最新技术。但训练DNN需对大量数据 10^9 或 10^{10} 个进行标注，成本昂贵且耗时；且ML模型脆弱，环境稍微变化就容易失效，而修改模型代价与从头创建无异。

为减少训练和调整模型的前期成本和周期，DARPA推出“更少标记的学习”（Learning with Less Labels, LwLL）的新项目，研究新算法，可显著减少训练或调整代价；构建模型所需数据量减少一百万倍，调整模型所需数据量从数百万减少至数百个。昔日需一百万张图像来训练系统，将来只需一张图像。项目重点研究两个技术领域。第

一个侧重构建有效学习和适应性的学习算法，研发在不牺牲系统性能前提下，通过既定计划指标，减少所需数量标签先例的算法。研究人员将在元学习、迁移学习、主动学习，k-shot学习以及监督/无人监督适应性等领域进行创新；第二个要求研究人员规范描述机器学习问题，包括决策难度和用于制定决策的数据的真实复杂性。由于评估构建ML系统效率或者模型准确度水平限制因素方面存在困难，研究人员希望找到ML可能性的理论极限，并利用这一理论来推动系统开发。

深度神经网络（DNN）能以更高准确度进行机器翻译和模式识别，是人工智能最重要的关键技术之一。DARPA新项目将着力解决其对数据标签的依赖性，进一步推动人工智能的发展。（姚保寅）