



无人机反制技术的五个领域

□ 李思可

近年来，无人机已经成为战场上

的新宠儿，无论是小范围武装冲突，还是大规模军事对抗，无人机充斥在战场的各个角落，在侦察情报、信息传输、火力打击、支援保障等方面发挥着举足轻重的作用。面对无人机带来的新威胁新挑战，世界主要国家和地区都在积极开发无人机反制技术及武器装备，力求在预警探测、综合干扰对抗、软硬杀伤等方面，构建远近衔接、高低互补的立体防御体系，有效拒止无人机的攻击。

一是探测识别技术。无人机之所以有较大的突袭成功率，原因之一在于其很难被探测识别。为提高对各类无人机的探测能力，减少雷达虚警漏警概率，应用和发展主被动融合探测技术、分布式组网技术、雷达杂波抑制技术十分必要。

主被动融合探测技术，即综合集成主动有源探测与被动无源探测各类技术，利用电磁波反射、光学成像、热辐射、噪声监测等手段，对无人机外在特征、飞控特性、电磁频谱等进行多角度、全方位侦察探测，实时将信息接入数据库匹配印证，实现对无人机尽早尽远感知识别。分布式组网技术，即在远中近程、高中低空梯次部署警戒雷达，组网协同配置，灵活调整工作状态，从不同空域、不同地域、不同频域密切监视进入防御圈的大中型无人机及识别跟踪低空小型无人机，通过信息全时共享，准确研判目标威胁。

雷达杂波抑制技术主要针对“低慢小”类无人机。“低慢小”类无人机具有低空飞行、慢速巡航、尺寸较小的特点，极易与复杂环境中各类背景杂波相混淆，识别难度较大。这类无人机经改装后很容易成为攻击性武器，监管不力时会对国家空防安全构成直接或潜在威胁。雷达杂波抑制技术运用包括目标显示与检测、空时

自适应处理等技术，可从反馈的雷达信号中消除或减少杂波成分，提高雷达分辨率及信号对比度，从而改善跟踪和识别的效果。

二是干扰阻断技术。无人机的自主行动能力和协同作战能力高度依赖无线通信，受尺寸影响，其内部电子系统相对简易，电磁防护能力不足。针对性使用相关技术，干扰阻断无人机与控制站、通信中继节点之间的网络连接，可有效限制无人机作战效能。

电磁干扰技术，即通过侦测无人机或通信平台的电磁辐射特征，判定目标通信链路的工作频段，主动产生干扰带宽或与通信带宽相当的噪声干扰信号，阻塞网络传输通道，使无人机无法及时准确地接收控制指令、回传侦察信息，迫使无人机迫降或受控返航。导航干扰技术，通过发射大功率的同频信号干扰无人机的导航定位信号，使无人机无法连续有效地接收卫星导航信息而悬停或被迫返航，或仅依靠自身的惯性导航系统工作，致使累积误差逐步增大，测绘精度显著降低。

此外，可以采用伪装干扰技术反制敌方的无人机。主要是模拟周边环境，在防御阵地布设大量伪装网、角反射器等伪装器材，实施烟幕遮挡或涂覆隐身涂料，以改变重要目标的激光传播特性或光学特性，干扰无人机侦察探测。同时可通过雷达交替开机、工程适时伴动实现对无人机的诱导欺骗，降低被无人机侦察和打击的概率。

三是链路攻击技术。尽管利用干扰阻断技术可对无人机网络通信和导航制导产生一定影响，但对于抗干扰能力较强的无人机，往往还需要运用链路攻击技术对其通信协议进行解码破译或通过无线网络植入干扰指令，以实现对无人机的控制和破坏。具体

而言，包括导航欺骗技术、信号劫持技术与黑客攻击等手段。

导航欺骗技术，无人机导航一般是通过计算发射和接收雷达波的时间差来定位目标位置，针对此特点，在接收无人机电磁信号的基础上，可使用专门的电子设备对电磁信号进行时间和多普勒调制，将无人机导航定位到欺骗信号所指定的位置。信号劫持技术，通过解析无人机链路信号和通信协议，与先期积累的各类无人机的遥控信号进行比对，在对抗时快速实现机型识别、协议匹配和指令植入，实现对无人机的控制权。黑客攻击技术，利用无人机系统总线的漏洞，针对其数据传输、地址存储、指挥控制中的某一特定应用，通过篡改数据、植入错误字段或向程序缓冲区写入超出其容量的数据，使无人机系统崩溃或执行恶意代码。

四是高能毁伤技术。对于无人机的反制，除了应用网电干扰类技术进行软杀伤外，还可结合硬摧毁措施予以打击，其中高能激光、大功率微波和粒子束等新概念新机理毁伤武器及其技术原理，已成为当前主要国家和地区研究发展的重点。

高能激光技术，是利用高功率发射器产生高能激光束，直接定向作用于无人机机体，对其内部电子器件及各类传感器进行烧蚀破坏，具有“发现即打击”的效果，且附带损伤较小。大功率微波技术，即向无人机来袭主要方向发射大功率微波，以高强度电磁波作为武器侵入无人机各类电子系统，干扰卫星导航定位，瘫痪网电信息链路。相较于高能激光，大功率微波的作用范围更广，且无需精确瞄准，战场上更适用于对抗无人机蜂群的袭击。粒子束武器技术，其原理是通过加速器将粒子（电子、质子、离子等）加速至接近光速，形成极高能量，并以电磁场控制粒子束的作用方

向，利用粒子束高速撞击目标产生热效应或机械应力以破坏其结构，或通过带电粒子穿透无人机电子设备，引发电离辐射效应摧毁目标。

五是火力拦截技术。作为一种传统的防空模式，以火力拦截对抗无人机攻击仍然是最常用的防御手段，也是防御体系的最后一道屏障。随着科技的发展进步，传统防空手段也融入了新兴技术，如精确制导技术、智能火控技术、弹炮一体技术等，有效提升了传统武器在复杂战场环境下的态势感知、目标识别和火力打击能力，在防御无人机方面已然成为一支不可或缺的力量。

精确制导技术，通过建立包含战场环境、目标特征、防御能力、作战指令等信息的战场数据资源池，以网络信息为基础、数据算力为驱动、系统集成为依托，各装备节点基于信息反馈灵活选择探测制导方式、突防手段、引爆方式等，从而赋予制导弹药动态自主的行动能力和精确控制的打击能力。智能火控技术，指反无人机平台及智能化火炮武器系统在目标感知与识别的基础上，利用人工智能算法进行深度计算和数据挖掘，研判敌方无人机作战特点和战术意图，针对性地快速完成敏捷弹药装填及毁伤概率计算，进而实现地面阵地火力的智能分配和协同打击。弹炮一体技术，主要应用于现代近程弹炮结合防空系统，集成了目标探测技术、跟踪制导技术、火力控制与毁伤技术等，通过模块化设计及系统性集成，能够实现对目标的主动搜索、自动识别，以及多目标跟踪和弹炮协同杀伤。



（上接1版）进入新发展阶段，青海将坚持生态优先、绿色发展，紧扣“清洁能源+”全方位融合发展，推动新能源装备产业“串珠成链”、绿色低碳产业“聚链成群”、绿色算电产业“集群成势”，不断开辟发展新赛道、塑造发展新优势。推动科技创新和产业创新深度融合，主动对接国家战略科技力量，加快推进重点实验室、工程技术研究中心、新型电力系统技术创新中心等平台建设，推动大型风电、高效率光伏、光热等技术创新，加大氢气制备与储运技术研究，加强页岩气、地热等新型清洁能源勘查开发技术攻关，构建科技引领的能源创新体系。推动能源转型与产业转型深度融合，聚力打好“绿电牌”，积极吸引符合环保、能效等标准要求的产业向青海有序梯度转移，促进清洁能源就地消纳。构建清洁能源应用与制造垂直一体化发展新模式，培育绿电—绿氢—绿醇—烯烃产业链和一体化基地，发展以汽车铝合金轮毂、高端铝箔等为主的绿色铝精深加工产业链，建设退役光伏组件、风电机组叶片、废旧锂电池等资源综合利用产业基地。推动绿色电力和绿色算力深度融合，充分发挥绿电资源充沛、气候凉爽干燥等优势，抢抓国家“东数西算”重大机遇，全力实施绿色算电协同发展试点工程，加快建设自发自用绿色微电网算力中心、绿电智算融合示范园、天文绿色算力中心、青海图灵小镇等项目，打造高价值、可复制、能推广的绿色算电协同示范场景和应用，推动绿电绿算“双向奔赴”，“瓦特”向“比特”高效转化。推动清洁能源与绿色低碳转型深度融合，大力实施可再生能源替代行动，推动交通运输和可再生能源融合应用，因地制宜发展高速公路沿线光伏，全力推进清洁取暖工程，实施大电网延伸和农区微电网供电工程，推进防沙治沙与风电光伏一体化工程，推动光伏发电与生态修复、现代农牧业协同发展。

以体制机制改革构建市场化发展体系。创造更加公平、更有活力的市场环境是打造清洁能源产业高地的题中之义。党的十八大以来，青海深入推进电力市场建设，初步构建了“中长期+现货+辅助服务”市场体系，将

绿电交易纳入中长期交易范围，绿电交易由年度向月度、月内延伸，实现省内绿电交易常态化连续运行，市场在提升清洁能源消纳水平、保障电力供应、促进资源优化配置等方面的作用日益显现。进入新发展阶段，青海将在市场机制的“立”与价格机制的“破”上下功夫，促进绿电资源在更大范围共享互济和优化配置，更好实现绿电价值。推进电力市场化改革，积极参与建设全国统一电力市场体系，探索绿色电力价格形成机制，深化新能源上网电价市场化改革，完善抽水蓄能和新型储能电价机制，完善适应清洁能源特性的电力中长期、现货和辅助服务市场交易机制，推动跨省区电力市场化交易，推动构建有效竞争、充满活力的电力市场体系。提高能源管理和服务水平，完善清洁能源战略规划体系，协同推进规划、监管、服务等工作。健全现代电力市场监管体制，建立全链条项目管理体系，强化要素服务保障，不断优化能源领域营商环境，持续激发经营主体活力。积极引导绿色能源消费，建立碳排放预算管理制，打造基于区块链技术的园区级绿电溯源交易平台，加快建立绿电消费体系，加强高耗能企业使用绿电的刚性约束，有效拓展绿证应用场景，构建产品碳足迹管理体系，推动电力市场、绿证市场、碳市场有效衔接，更好体现绿电减碳价值。

以高水平对外开放形成产业合作新优势。改革和开放相辅相成，推动能源高质量发展离不开高水平对外开放。党的十八大以来，青海坚定不移推进高水平对外开放，深化能源领域交流合作，与国家能源局搭建省部共建协调机制，深化与援青省市、周边省份和央企的合作，连续5年成功举办“一带一路”清洁能源发展论坛，与国际可再生能源署联合发布合作意向声明，清洁能源产业品牌影响力持续提高。进入新发展阶段，高质量共建“一带一路”、西部大开发等战略深入实施，为清洁能源产业发展带来了新机遇。青海将坚持深化改革、扩大开放，不断创新清洁能源产业跨区域合作模式，形成对内对外开放合作新优势。深化省部共建，用足用好与国家能源局的共建机制，坚持共商共

建，加强协调对接，共同开展清洁能源技术攻关、规划编制、政策研究、咨询评估、项目实施、基地建设等工作，汇聚共建合力。深化区域合作，健全区域协调发展机制，全力推动与周边省份、对口援青省市、能源央企的战略合作协议落实落地，在有序推动大型风光基地和电力外送通道建设、加强管网互联互通、零碳产业园区建设、新能源消纳等方面深化合作，推动优势互补、互利共赢，打造清洁能源发展合作典范。加强国际合作，深化与“一带一路”沿线国家和地区在清洁能源领域的合作，加强与国际可再生能源署在可持续发展和能源转型领域的知识对话与技术交流，鼓励支持竞争优势明显的企业“走出去”，深挖光伏组件、锂电池出口潜力，不断扩大清洁能源“朋友圈”，推动形成绿色能源合作“大合唱”。

以系统观念推进打造国家清洁能源产业高地新实践

《决定》提出进一步全面深化改革需要遵循的“六个坚持”重大原则，指出“增强改革系统性、整体性、协同性”。打造国家清洁能源产业高地，必须牢固树立全局观念和系统思维，努力走出一条具有青海特色的清洁能源高质量发展道路。

处理好全局与局部的关系。习近平总书记强调，“要牢固树立全国一盘棋思想，谋划和推动本地区本部门工作要以贯彻党中央决策部署为前提，创造性开展工作，做到既为一域增光、又为全局添彩”。打造国家清洁能源产业高地，必须加强顶层设计、搞好统筹兼顾，更好体现青海担当、服务国家大局。我们将积极融入国家清洁能源战略布局，建立对接区域协调发展战略、区域重大战略、主体功能区战略机制，加强系统谋划和统筹协调。立足青海实际，持续做好能源资源普查，研究编制“十五五”能源规划，有针对性地制定新型电力系统、基地建设等领域规划方案，做好能源规划、地方规划、相关专项规划之间的有效衔接，提前布局好产业

发展规划。

处理好新能源与传统能源的关系。习近平总书记强调，“传统能源逐步退出必须建立在新能源安全可靠的替代基础上”。打造国家清洁能源产业高地，必须坚持先立后破，推动新能源与传统能源同步发力、多元互补、多能互补。我们将立足保障能源可靠供应，合理控制化石能源消费增长，推动非化石能源高质量发展，实现新能源和传统能源协同发展。推动传统能源绿色转型，推进煤炭清洁高效利用，提升油气供给能力，加快支撑性调节性电源建设，发挥好传统能源支撑和兜底保障作用。

处理好能源开发与节约利用的关系。习近平总书记强调，“坚决控制能源消费总量，有效落实节能优先方针，把节能贯穿于经济社会发展全过程和各领域”。打造国家清洁能源产业高地，必须坚持集约节约、循环利用，做好开源和节流两方面工作。我们将创新新能源开发利用模式，加快构建清洁低碳、安全高效的能源体系，更好发挥新能源在能源保供增供方面的作用。大力推进节能降碳增效，严把新上项目能耗和碳排放关，推动重点行业节能降碳改造，增强全社会的节约能源意识、能源安全意识，加快形成节约资源、绿色低碳的产业结构、生产生活方式。

处理好政府与市场的关系。习近平总书记强调，“坚定不移推进改革，还原能源商品属性，构建有效竞争的 market 结构和市场体系，形成主要由市场决定能源价格的机制，转变政府对能源的监管方式，建立健全能源法治体系”。打造国家清洁能源产业高地，必须坚持两手发力，推动有为政府和有效市场相互促进、有机统一。我们将坚持市场化改革方向不动摇，鼓励引导各类经营主体依法投资能源开发利用、能源基础设施建设，依法依规按照市场规则公平参与能源领域竞争性业务，构建公平开放、有效竞争的能源市场。认真实施《中华人民共和国能源法》，加强对能源工作的组织领导和统筹协调，统筹抓好规划编制、政策引导、开发利用、储备应急、科技创新和监督管理，不断提升能源治理体系和治理能力现代化水平。

传统武器虽具备坚实的技术基础，但在现代复杂多变的战争环境下，其局限性日益凸显。智能化改造犹如传统武器注入全新活力，使其得以更好地契合未来战争的严苛需求。这不仅是对武器性能的进阶提升，更是推动军事战略与作战模式转型的关键驱动力，对于维护国家安全、强化军事力量具有不可估量的意义。

智能化改造提升传统武器作战效能

传统武器在过往的战争中表现不俗，然而在精确打击与快速反应等关键能力上，存在着不容忽视的短板。智能化改造借助先进传感器、高性能数据处理系统以及智能算法，大幅提升了传统武器的作战效能。

以火炮为例，传统火炮受炮手操作熟练度、气象条件等多种因素制约，射击精度会有浮动。经智能化改造后，火炮搭载高精度传感器，可实时精准感知自身位置、炮管姿态以及目标信息。依托先进的数据处理系统，能迅速对采集到的海量信息进行深度分析与精准运算，进而精细调整射击参数，显著提高命中精度。智能化火控系统还能依据战场实时态势，自动筛选最优弹种与射击方案，进一步强化打击效果。这些都是传统火炮难以比拟的优势。

在导弹领域，智能化改造同样展现了良好的前景。尽管部分型号的导弹已经具备了“发射后不用管”的能力，即导弹能够依靠自身携带的制导系统自主地完成对目标的搜索、跟踪和攻击任务，但在抗干扰能力和目标识别能力上还受到一些限制。智能型导弹则具备自主决策能力，一旦发射，其搭载的智能系统会依据目标的实时动态以及周边环境信息，自主规划飞行轨迹，巧妙规避敌方拦截，精准命中目标。

智能化改造不仅提升了武器的打击精度，还极大缩短了反应时间。传统武器从目标发现到实施打击，流程烦琐，涉及多个操作环节与人员协同，耗时较长。而智能化武器系统能够实现信息的高速采集、高效传输与精准处理，将作战流程全面自动化。一旦传感器捕捉到目标，系统瞬间便能完成分析决策，并控制武器实施打击，大幅压缩作战反应时间，令敌方防不胜防。这种智能化升级让传统武器在复杂战场环境下的作战效能实现了质的飞跃，极大减轻了操作人员的负担，提升了作战效率与安全性。

智能化改造拓展传统武器应用场景

传统武器的智能化改造为其开拓了更为广阔的应用空间，使其在多样化任务中发挥关键作用。在作战中，指战员凭借先进的监控系统、预警系统与自卫武器，利用传感器对目标区域进行实时监测，相较于人力的观察与判断，更能及时察觉危险行为并作出反应。

在城市作战中，高楼林立、街道纵横交错，加之人员密集，传统武器的运用面临重重阻碍。以轻武器为例，配备先进瞄准系统的智能手枪、智能冲锋枪此时可以大显身手。该系统集成了高分辨率的光学器件与先进的电子成像技术，能在各种光线条件下提供清晰的瞄准视野。尤为关键的是，它们运用先进的图像识别技术，能够在瞬息万变的战场环境中精准区分敌我，有效规避因误判而导致的伤亡。此外，智能武器还具备良好的互联互通能力，可与单兵信息化作战装备无缝对接，通过高速数据传输链路实时获取战场态势信息，包括敌军位置、敌军分布、地形地貌等。这些信息经整合处理后，以直观易懂的方式呈现给士兵，为其提供精准的作战支持。

在反恐作战这一复杂且充满挑战的战场环境中，智能化无人机将成为重要作战力量。传统无人机在反恐作战中主要用于侦察领域，如为后方指挥中提供战场态势信息。智能化改造后的无人机具备自主搜索、精准识别与高效攻击的能力。它们凭借搭载的先进传感器，可敏锐捕捉到任何细微的异常信号，并借助算法对收集到的数据进行快速分析，从而精确识别、定位隐藏的恐怖分子。一旦锁定目标，无人机能够迅速做出反应，并根据实际情况选择恰当武器与攻击策略。不仅如此，智能化无人机还拥有协同作战能力，通过数据共享与实时通信，构建起一个全方位、高效的反恐作战体系，提升反恐作战的效率与成功率。

传统武器的智能化改造

□ 董 颖

智能化改造推动武器体系变革

传统武器的智能化改造将对整个武器体系产生深远的影响，推动武器体系朝着更为高效、协同的方向演进。

智能化改造实现了传统武器之间的互联互通，有力促进了武器系统的一体化集成。通过构建统一信息网络，各类智能化武器得以实现信息共享与协同作战。在联合作战中，经过智能化改造的坦克、火炮、舰艇和战机等传统武器装备，能够通过网络实时交互战场信息，达成对目标的联合侦察、定位与打击。坦克可将自身探测到的敌方目标信息实时传输给火炮与战机，己方据此实施炮火支援，进行精确空袭。这种一体化作战模式打破了传统武器间的壁垒，大幅提升了武器体系的整体作战效能。

智能化改造促使武器体系结构发生显著变化。随着传统武器智能化程度的不断提高，智能弹药、无人作战平台等新型武器装备相继涌现。这些新型装备在武器体系中的占比逐步增加，改变了传统武器体系的构成。智能弹药在飞行过程中可根据目标情况自主调整攻击方式，提升弹药作战效能，在战场上的应用愈发广泛。无人作战平台凭借良好的隐蔽性与执行危险任务的优势，成为现代战争中的重要力量。武器体系结构的这一变革，使整个体系更能适应现代战争需求，具备更强的作战能力与灵活性。

传统武器的智能化改造深刻影响了武器体系的作战理念。传统作战理念侧重武器的个体性能与火力优势，而智能化武器体系更注重信息优势、协同作战与自主决策。在智能化武器体系下，作战双方的对抗不仅是武器装备的较量，更是信息获取、处理与利用能力的比拼。通过信息共享与协同作战，各型武器装备得以充分发挥自身优势，凝聚成强大的作战合力。武器的自主决策能力也使作战过程更为灵活高效，能够在瞬息万变的战场上迅速作出反应。这种作战理念的转变，要求军队在作战指挥、人员培训等方面进行相应调整与变革，以适应智能化武器体系的发展需求。

在智能化技术的赋能下，传统武器突破过往局限，作战能得到显著提升，在复杂多变的战场环境中展现出更为强大的作战能力。展望未来，随着科技的持续进步，传统武器智能化改造必将不断向纵深发展，这一变革将持续重塑现代化军事力量的格局。

