

兵器广角

在硝烟弥漫的现代战场上,当人们在关注导弹、火炮的威力时,一种新型装备正在悄然崛起。它就是激光武器。

我们可以想象一下这样的场景:随着一道肉眼几乎不可见的高能光束瞬间划过海天,数千米外的无人机随之毁损坠落,整个过程静默无声。

与传统武器装备不同,激光武器有不

少优势:不需要其他弹药、不产生后坐力、能以光速打击目标、单次拦截成本较低等。值得关注的是,这一“光之利刃”如今已从实验室走向战场,开始改变现代战争中的攻防格局。那么,激光武器的杀伤原理是什么?各国激光武器发展现状如何?未来将朝哪些方面发展?请看本期解读。

激光武器——

“光之利刃”走向战场

■ 逢心一    涂志超

威力从何而来

激光武器是指利用发射的激光束直接毁伤目标或使之失能的定向能武器,其“锋刃”就是可以集中释放的光束能量。激光抵达目标时,能量会聚焦在目标极小的面积上,瞬间转化为热能,以此烧穿金属、引爆弹药或损毁精密电子设备。

太阳在人们印象中已足够亮,但一台巨脉冲红宝石激光器发出的激光,比太阳还亮200亿倍。激光并非能量大,而是激光的能量非常集中。红宝石激光束能穿透3厘米厚的钢板,总能量却煮不熟一个鸡蛋。正是这种“极端聚焦”特性奠定了激光成为精准破坏利器的基础。

除了高精度、能量高度集中的特点,激光还具有可光速抵达的优势,这使激光武器的攻击速度快如闪电。此外,激光武器还具备出色的抗干扰能力。

激光武器的作用方式主要有两种。一是穿孔,即用高功率、高密度的激光束使靶材表面急剧熔化、蒸发并向外喷射,反冲力形成冲击波,从而击毁目标。二是层裂,靶材表面吸收激光能量后,原子被电离,离子云向外膨胀喷射形成应力波向深处传播,造成靶材被拉断。除此之外,等离子体还能辐射紫外线或X光,破坏目标结构和电子元件。

根据应用场景和打击对象的不同,激光武器可分为致盲型、近距离战术型和远距离战略型几种。

致盲型激光武器常见于机载设备及小型枪械,通过向目标光电传感器或目标操作人员发射高强度光束,使飞行员眼睛或相关传感器暂时或永久“失能”。1982年英阿马岛海战中,英国军舰上装备的激光致盲武器,使阿根廷多架飞机失控、坠毁或误入英军火力网。

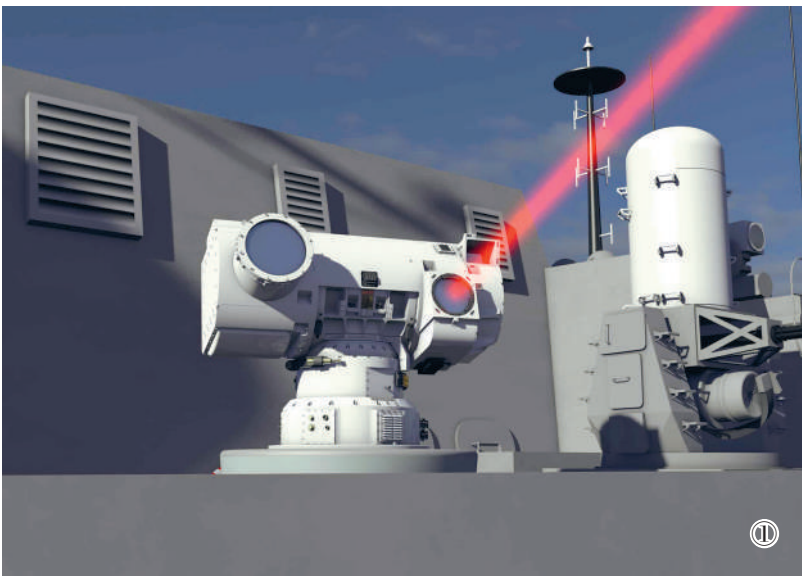
当前的近距离战术型激光武器功率通常在100千瓦以下,射程不超过20千米,主要用来攻击飞机、无人机等目标。美国陆军部署的“定向能机动近程防空系统”采用50千瓦级光纤激光器,集成在“斯特瑞克”装甲车上,据称能在6秒内损毁1.5千米外的无人机。德国莱茵金属公司研发的50千瓦级高能激光武器系统,使用光束合成技术,曾在试验中成功拦截2千米外的迫击炮弹,系统反应时间约2秒。这些系统采用自适应光学技术,配备先进红外追踪系统,单次拦截成本不足10美元,但在雨雾环境下效能会降低40%以上。随着功率提升至100千瓦级,这类激光武器未来或被用于应对巡航导弹的威胁。

远距离战略型激光武器功率通常在兆瓦级以上,射程大于1000千米,主要用于攻击洲际导弹、太空中的侦察卫星和通信卫星等。例如,美国“天基激光综合飞行实验(SBL-IFX)”验证了太空激光反导能力,在模拟试验中精准摧毁了1000千米外的弹道导弹靶标。2009年,美在“机载激光实验室”项目中,用改装的波音747搭载兆瓦级氧碘化学激光器,测试拦截了550千米外处于助推段的弹道导弹。同时,这些试验和测试也暴露出上述激光武器在能源供应和散热方面存在很多问题。

各国纷纷研发

20世纪70年代,美国率先提出利用大型作战飞机搭载激光发射器的构想,拉开了激光武器研发帷幕。

当时,美国研制出实验型机载激光系统ALL(二氧化碳气体激光器),将其搭载在NKC-135A大型军用飞机上,在后续实验中成功拦截了AIM-9B“响尾蛇”导弹,初步展示了其在军事上的应用前景。但该激光系统体积太大、射程不足,难以进行实战部署。



图①：英国“龙火”系统；图②：美国“定向能机动近程防空系统”；图③：以色列“铁束”系统；图④：日本激光-微波混合防御系统。

后来,美空军相继研制出第二代激光武器ABL(化学氧-碘激光器)及该激光武器的“简配版”ATL(化学氧-碘激光器),在减小体积和增加射程方面取得一定成效。这些研究,为美国研发如今的先进战术激光武器奠定了基础。

在激光武器研发方面,其他国家也纷纷试水,但研发使用进度不一。在这一背景下,全球激光武器发展呈现出鲜明特征。

部分达到实战应用水平。以色列“铁束”系统作为较早投入实战的高能激光防御系统,采用100千瓦级光纤激光器,有效射程达10千米。韩国国防科

学研究所研发的Block1反无人机激光武器系统于2024年正式量产,该系统据称拦截成本非常低。英国“龙火”系统在2024年初的测试中成功摧毁3.2千米外的无人机目标,预计2027年前列装。其他一些国家研发的激光武器,也有部分从实验室走向战场。

主要应用于反无人机。激光武器应用于反无人机的定位,源于战场的迫切需求。美国陆军“定向能机动近程防空系统”已部署在欧洲多个军事基地,专门应对小型无人机威胁;德国莱茵金属公司测试50千瓦级激光防空系统时,曾在15秒内连续击落5架无人机;沙特

致力突破短板

激光作为定向能,目前广泛应用于武器装备的情报侦察、火控控制、精确瞄准等环节。同时,作为一种完整的武器系统,凭借效费比高等优势,它也有着广阔的发展前景。今后,激光武器的发展将聚焦所暴露的短板,重点突破能量屏障,不断改进完善。具体来说,它将在以下几个方面继续发展——

向小型化发展。为了实现机动灵活部署,新一代激光武器系统将采用更为科学的设计,减轻重量和体积,能够适配多种轻型作战载具,包括无人机和无人水面舰艇等。去年5月,澳大利亚测试了其首款定向能武器——Fractl便携式高能激光武器。据称,该武器只有手提箱大小,可在500米范围内摧毁时速达100千米的微型无人机。

提升战场适应性。当前,激光武器的使用常受到恶劣环境影响,进而出现能量损耗,削弱其威力。如以色列的“铁束”系统,遇到下雨、沙尘暴天气,战力就大打折扣。因此,如何有效克服这方面短板,将是激光武器研发的重点,以确保其在各种环境下都能稳定发挥作用。

解决散热难题。激光武器在使用时会产生大量热量,如果不能及时散热,设备性能会急剧下降,出现寿命缩短甚至瞬间“罢工”问题。当前,各国科研机构和军事企业已开始投入大量人力物力,对此问题展开研究。除使用传统散热方式外,一些国家已将目光投向新型材料、新型散热结构和散热系统。

多种技术融合。今后激光武器的发展将深度融合多领域前沿技术,以形成更高效的作战体系。一方面,与电磁发射技术协同运用——借助电磁炮的超高初速,快速投送激光作战单元至目标区域,实现“电磁发射+激光打击”的复合打击模式。另一方面,通过融合量子精密测量技术,显著提升光束控制精度;结合纳米级光学材料的应用,优化激光器的能量转换效率,实现发射系统的轻量化设计。这种跨领域技术的集成,或将推动激光武器在射程、精度和可靠性方面取得实质性突破。

输出更高功率。随着光束能量的持续提升,研发人员或将谋求激光武器对远程战略目标和集群目标的硬杀伤能力。目前,很多国家在积极研发新型激光材料和激光发射技术,以实现更高功率激光的输出。这种研究有望推动战术激光武器进入兆瓦时代,使单次照射能量达到毁伤重型装备的水平。同时,超高功率激光武器在将来可能成为研发重点,以进一步拓展反导、反卫星能力。

尽管面临诸多挑战,但随着科技水平的提升与战场需求的拉动,激光武器在攻防领域的应用潜力将不断释放,成为未来智能化战场上的制胜利器。从某种程度上说,在这个“发现即摧毁”的时代,谁掌握了先进激光武器,谁就多了一分打赢未来战争的胜算。

供图:阳 明

兵器观察



土耳其Baykar公司研制的Akinci无人机。

6月下旬落幕的第55届巴黎航展,吸引了来自48个国家的2500多家展商,所展出的空天装备在一定程度上折射出该领域未来的发展趋势。

无人僚机成为发展焦点,“有人+无人”协同作战的演进方向更加明显。无人僚机成为各国近年来研发的热点,因为它不仅可以帮助飞行员高效获取战场信息,还可替代有人机前出,执行攻击、电子干扰等任务。此次巴黎航展上的不少展品体现着这一趋势。美国安杜里尔公司与德国莱茵金属公司签署合作协议,将基于美军协同作战飞机(CCA)项目,共同研发欧洲版YF-44A无人机,通过模块化设计满足北约各国需求。土耳其Baykar公司展出了两款可用作无人僚机的无人机——Akinci无人机和TB3无人机,Akinci无人机可搭载大量弹药,TB3无人机则拥有可折叠机翼,能在航母短跑道上起降。法国达索公司在本届航展上宣布,将为正在研发的“阵风”F5战斗机配备基于欧洲“神经元”无人战斗机项目研发的无人僚机。这些动态表明,无人僚机正从概念走向现实,未来体系化协同作战将以有人驾驶为核心,辅以无人系统,实现多维战场的高效打击。

在太空通联技术推动下,卫星通信系统成为“构建空天一体化网络”的优先发展事项。与短波、光纤等通信方式相比,卫星通信系统在军事上具有覆盖范围广、抗毁保密、多维融合等优势。随着一些国家决意将大空军事化,以卫星通信系统为代表的太空通联技术,正在推动空天装备从单域作战单元向全域通联节点进化,并将空基、天基、地面相关装备接入同一全球云网,实现实时按需灵活组网与协同打击。法国一家公司在此次航展展示的SATCOM卫星通信系统就体现了这一点。该系统的用户端天线采用可重构智能表面技术,通过超材料控制电磁波反射方向,可实现“点对点”精准传输信号。法国军方和欧洲空中客车公司准备依托此系统,搭建新型卫星通信网络,以满足联合作战、指挥控制、情报侦察等军事需求,减少对外来通信链路的依赖。

氢燃料电池发动机备受关注,军用

从巴黎航展看空天装备发展

■ 刘一澳    余励飞

飞机或将获得“可持续清洁动力”。航展期间,欧洲空中客车公司展示了ZEROe氢动力飞机项目的最新进展——氢燃料电池推进器。该推进器由氢燃料与空气中的氧气反应释放能量来提供动力,排放的水可经处理作为燃料构成来源“循环使用”。由于单位质量氢燃料释放出的能量是航空煤油的3倍,氢燃料电池发动机的燃烧效率可达到50%~60%,与传统发动机相比优势明显,预计未来氢动力飞机的飞行时间可提升到传统飞机的5~10倍。当前,氢燃料电池发动机技术正从商业民用领域向军用领域渗透。欧洲空中客车公司与德国MTU公司签署合作备忘录,将联合开发军用型氢燃料发动机,以提升军用飞机的续航能力。

无人预警机研发受关注

■ 刘 含



基于MQ-9B无人机的空中预警装置效果图。

前不久,瑞典萨博公司携手美国一家公司,开始基于MQ-9B无人机平台研发预警系统,并计划于2026年实现首飞;俄罗斯也在积极推进“牵牛星”无人预警机项目。这些研发动向表明,预警机正渐渐步入无人时代。

为什么要研发无人预警机?这要从传统有人预警机的一些“痛点”说起。

以美国E-3“望楼”预警机为例,其搭载的AN/APY-2雷达系统可在近9000米高空监控广阔空域的情报,并指挥多架战机作战。但是,受制于飞行员的生理极限,其单次任务续航时间比较有限,难以满足长时间高强度战场监控需求。同时,有人预警机为保障机组人员生存,需要配备复杂的生命维持保障系统,留出宽敞的驾乘空间,无形中挤压了搭载空间与能力,还使得研发、采购和维护成本居高不下。由于体积庞大,有人预警机的雷达反射截面积也较大,这使得本就是攻击重点的它更易被发现和攻击,且一旦被击毁,将导致空战体系在相当大程度上陷入瘫痪。

在上述方面,无人预警机则具有较大优势。首先,无人平台搭载预警系统,不用受飞行员生理极限方面的影响,能够执行超长航时任务。一些国家研制的太阳能无人机可持续飞行14小时,展现了“超长时间滞空”的可能。其次,无人预警机可以通过简化机体结构、充分利用机体空间,有效降低研发、采购和维护成本。瑞典萨博公司携手的美国公司明

确表示,其MQ-9B无人预警机方案的成本远低于传统有人预警机,并具备全天候空中监视能力。再次,无人预警机可通过应用共形阵列天线技术,使雷达天线与机身表面高度融合,从而有效减少气动阻力并显著降低雷达特征。与传统有人预警机只能“躲”在后方监视指挥的运用方式相比,无人预警机能够更隐蔽地接近高危空域执行前沿监视任务。此次,萨博公司为MQ-9B研发的吊舱式雷达,探测距离据称可达400千米,虽无法匹敌大型有人预警机,但通过多机协同或与有人预警机前后搭配使用,可形成互补的探测体系。

基于这些优点,无人预警机渐渐成为各国关注与研发的热点。

当然,无人预警机距离实战部署还有一段距离,原因在于一些关键技术还亟待突破或进一步提升。在自主决策与控制层面,复杂战场环境下的实时避障、动态航线规划及自主威胁响应,对人工智能算法提出了更高要求。MQ-9B预警吊舱的测试重点之一,便是验证其在强电磁干扰环境下的可靠自主决策能力。同时,如何在有限的无人机空间内集成足够数量的传感器尤其是高功率雷达,也是亟待解决的难题。通信链路的初性与安全方面也存在瓶颈。远距离、高带宽的数据传输在强对抗环境下极易受到电子干扰和网络攻击,因此在确保指控指令与情报信息传输的稳定、安全方面也需探索出更好的方法路子。

总而言之,无人预警机的兴起并非简单地替代有人预警平台,而是通过分布式部署、成本效益优化和生存能力提升,来增强战场态势感知能力。未来的制空权争夺,将更强调“先敌发现、持续监控、高效生存”能力。随着相关技术的快速发展,无人预警机或将发挥更大作用。

装备动态