

[引用格式] 徐晨阳, 刘克检. 机载激光武器未来发展分析[J]. 飞航导弹, 2021(4): 27-32.

机载激光武器未来发展分析

徐晨阳¹, 刘克检²

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033;

2. 中国人民公安大学遥感中心, 北京 100038)

摘 要: 机载激光武器系统是未来激光武器发展的重要方向, 其在反恐、反导、反无人机等领域具有广阔的应用空间。概述了机载激光武器系统的国外发展现状; 结合目前飞机平台对机载激光武器的作战任务, 总结了区域支援作战、反导自卫、反低慢小目标及反高超声速武器四种机载激光武器的未来典型作战场景; 基于典型作战场景, 分析了未来激光武器技术应朝大功率激光器小型化、机载系统兼容性、机载强激光自适应技术及动目标高精度跟踪捕获技术方向发展。

关键词: 激光武器; 载机平台; 典型作战场景

中图分类号: TJ95

文献标识码: A

文章编号: 1009-1319(2021)04-27-06

DOI: 10.16338/j.issn.1009-1319.20200127

引 言

随着无人机等新型航空飞行器广泛部署, 飞机平台的作战区域已经涵盖了从超低空到临近空间的广阔空域, 其面对的任务也更加复杂多变。同时, 高超声速导弹、无人蜂群作战武器等新兴装备层出不穷, 因此为应对新型作战场景及作战任务需要发展新型机载武器。

激光武器作为新型武器系统具有快速反应、精准打击的特点, 现阶段呈现多平台、多制式、多光源的发展特点。激光武器被构想设置在多种平台上, 其中飞机平台是设计构想的重要方向之一, 将激光武器的特点与飞机平台相结合可以提高部队的作战效率、精度和速度。但目前, 由于激光武器系统仍处于发展阶段, 激光器的功率密度距离杀伤性激光武器应用还有一定差距, 且由于飞机平台自身对于气动外形、空间布局的严苛限制, 其与现有激光武器的系统兼容性可能存在一定问题, 部分任务构想尚不具备技术条件。

本文对国外机载平台的发展现状进行整理分析, 从载机平台入手结合现有技术水平分析未来

机载激光武器的作战模式, 构建机载激光武器的典型作战场景, 并分析机载激光武器未来技术发展方向。

1 国外现状分析

国外对机载激光武器的研究起步较早, 其中美国是世界上最早研制机载激光武器的国家, 其相关技术一直处于世界领先水平。欧洲各国也跟随美国脚步陆续开展了相关的武器试验研究。

随着激光领域各项技术的逐步发展, 机载激光武器的任务目标、作用体制、任务平台等均发生了改变。机载激光武器用于战略反导是机载激光武器最早的任务设想。20世纪70年代, 美国首先提出了机载激光实验室(ALL)计划, 后续又跟进了机载激光计划(ABL)^[1-3]。ABL的预期作战模式为2架一个班次, 8 h巡航, 3班次值班, 可形成对巡逻战区全天候监视拦截弹道导弹的能力。ABL的主要性能指标如表1所示。

在多次试验后, 尽管ABL成功完成对助推段导弹的拦截, 但美军认为将ABL投入到实战中仍

收稿日期: 2020-07-27

作者简介: 徐晨阳, 助理研究员, 主要研究方向为激光武器前沿技术分析。

表1 ABL主要作战参数^[1]

指标	参数性能
激光波长/ μm	1.3
激光器体制	氧-碘化学激光器
发射镜直径/m	1.7
激光功率/MW	2~3
总质量/t	80

存在许多关键技术问题,如散热、光束稳定等需要解决,后续机载激光战略反导项目被叫停。

美国从 ALL 和 ABL 项目上得出,战略激光反导受到平台以及功率的限制,缺乏实战可操作性。机载激光战略反导任务需要解决高功率激光器小型化、高功率激光器远程传输、机载激光系统散热等问题,因此在后续的激光项目中逐步重视战术级激光武器^[4-6]。

为了充分利用 ABL 技术,美国并行开展了先进战术激光武器 ATL 项目,其主要目的是采用机载激光武器实施空中精确战术打击。相较于远距离反战略导弹,对地打击的激光作用距离相对较近,ATL 降低了激光器功率,缩减了体积,具体参数见表 2。

表2 ATL性能参数^[7]

指标	参数性能
激光波长/ μm	1.3
激光器体制	氧-碘化学激光器
发射镜直径/m	0.5
激光功率/kW	75
总质量/t	20

经过多轮试验,美军认为 ATL 仍存在大量缺点:尽管相较于 ABL 系统降低了激光器功率、体积,但相对于飞机平台承载能力来说,仍需要进一步小型化;ATL 的射程不足;系统光束稳定性差。

随着激光器相关技术的成熟,美国将激光武器的应用方向拓展到大飞机平台自卫上。2009 年,美国在开启了大型飞机电激光器 ELLA 项目,预期将 100 kW 激光器安装在 B-1B 轰炸机上用于平台自身导弹防御。ELLA 计划极大提升了美国固体激光器水平,将固体激光器质量功率比提升到 5 kg/kW。

其后,美国又开启了自卫高能激光器演示样机 SHiELD 项目,其主要目标是在新一代战斗机上搭载激光武器用于防御导弹或无人机目标。SHiELD 的激光器功率预期是能够安装在战斗机上的 100 kW 远距离防御系统以及 300 kW 的远距离攻击系统^[20-21]。

与美国不同,俄罗斯注重将激光武器作为重要的反卫星手段。在 2003 年,俄罗斯开启了机载激光反卫星的研究,其主要模式是采用脉冲激光对卫星的光学器件进行攻击,作用距离为 1 500 km,主要目标是低轨的侦察卫星,项目在 2011 年中断。但近些年由于美国等国家的侦察威胁,俄罗斯在 2016 年重启了该项目^[8-9]。

2014 年,以色列 Elbit Systems 公司公布了 SkyShield 系统,主要用于飞机自卫。SkyShield 采用一个名为多光谱红外对抗装置(简称 MUSIC),整合了激光技术和热感相机技术,通过一个热感镜头来侦测导弹,并通过激光致使导弹的制导系统瘫痪,使其离开弹道并在安全距离外引爆导弹。但目前仍需要解决机载兼容性,散热等问题。

近年来,随着光纤激光器等新型激光器的发展,为机载激光武器提供了新型光源,美国等军事强国均陆续开展了多种战术机载激光武器的研究工作。

2016 年,德国的莱茵金属公司展出了一款集束激光武器系统,该系统配备有 4 具 20 kW 功率的激光炮,能在 2 s 内击毁数千米范围内的迫击炮弹,未来有望进一步加大功率改装为反导激光炮。

2017 年,雷锡恩公司在阿帕奇直升机上完成了机载激光武器的试射工作,命中 1.5 km 初级和中级目标。美国海军研究院开展了机载激光武器针对多种作战场景的可行性方案论证工作,包括机载激光武器排爆、反无人机、舰载无人机反小型艇等^[10-17]。美国也在大力发展高能激光传输技术,确保激光武器的射程^[18-19],但目前距离实战仍有一定差距。

综合上述发展现状来看,早期受制于激光体制等因素,机载激光武器被设定为大飞机平台下的战略反导武器。随着激光武器技术的发展以及现代战争的需求,机载激光武器发展呈现出由战

略应用向战术应用转变、由大型平台向小型平台转变、由化学激光向固体激光转变的趋势,机载激光武器正在从试验演示逐步向武器装备转化。但目前仍存在激光器质量功率比过高,光束控制较差,高能激光远距离衰减过高等技术问题。

2 载机平台分析

飞机平台由于其作战跨度大,种类多,结构差异化明显,因此机载激光武器在不同种类飞机上承担的任务也有极大区别。按照以下分类对现有飞机平台进行分析,归纳出各平台上机载激光武器预期承担的任务。

2.1 大飞机平台

大飞机平台目前主要承担的作战任务包括大型设备、载荷的运输、轰炸以及空中战场保障等。这类飞机的空间目标明显,速度较低能够被卫星侦察,被锁定后较难机动逃脱。其作战任务又决定了大飞机平台的飞行时间长,作战空域广,因此大飞机平台具有较高的暴露风险。大飞机自身及承担任务的特点,要求大飞机平台需要具备一定的空中自卫能力。目前多数飞机采用的是红外诱饵弹进行自卫,在任务执行过程中红外诱饵弹为不可补充的消耗品,无法应对多频次攻击。

激光武器具有多频次、精确毁伤的特点,是定点精确打击的优秀手段。大飞机平台自身载重量大,空间充足可以为激光武器系统分配充分的空间质量。当前中小型激光器的输出功率可以达到十千瓦级,达到了对导弹导引头的干扰效果^[1],并且实现硬毁伤的高功率激光器小型化是可以预期的。综合分析在大飞机平台下机载激光武器预期的作战任务有:平台自卫、战略打击以及区域导弹防御。

机载激光武器实现战略打击要求激光武器系统要至少具有兆瓦级以上的发射功率并且具有良好的光束质量,目前短期内无法实现。

2.2 战斗机系列

战斗机主要完成的任务是空域作战和制空权的保障,因此机载激光武器在这类飞机上的主要功能也应该是空中对抗、平台自卫以及超视距打

击。这类飞机的主要特点是高机动能力,隐身性能良好。但战斗机尤其是四代以后的战斗机由于隐身和超声速的性能对外形要求十分严格,这就要求激光武器发射系统与战斗机已有对外窗口共形。同样受制于外形和速度要求,战斗机的空间紧凑,载重量有限。以歼-20为例,作为先进战斗机,歼-20弹药载质量为11 t,机腹主弹仓内部可挂载4枚空空弹。尽管歼-20的载弹能力十分优秀,但以目前的激光系统体积短期内无法在战斗机上搭载。

现代空战率先攻击的要求日益强烈,对新型战机的超视距打击的能力要求越来越高,因此机载激光武器要满足空中对抗的要求就必须具有超视距打击的能力。高能激光的传输会受到大气的影 响,并且高能激光的光束控制技术仍有待提高,因此可以预测的是短期内战斗机上的机载激光武器不具有可行性。

2.3 无人机系列

无人机作为新兴的飞机平台正广泛应用于各个部队的实际作战中。从无人机诞生到现在,无人机技术实现了跨越式发展。无人机的作战空域从低空到临空跨度极大,在不同空域下的无人机性能、体制具有较大差异^[25-27]。目前无人机承担了包括侦查、打击、运输等工作,同一空域下承担不同任务的无人机性能、结构、体制也有很大差异。

各国的一线作战部队、警察部队均部署有无人机,目前这部分无人机主要承担的是侦察或运输任务。随着作战模式的不断进化,当前的军事需求要求无人机具有察打一体的功能,现阶段无人机的主要打击手段为导弹。例如,美国击毙伊朗军方高官,使用的就是挂载了AGM-114导弹的MQ-9无人机。但导弹附加伤害高,且打击分散目标的数量有限。激光武器则可以做到多频次精确打击,同时降低附加伤害。侦察无人机一般搭载多光谱的瞄准系统,如MQ-9搭载的AN/AAS-52 MTS-B多光谱瞄准系统^[27],将激光系统与瞄准系统进行共光路整合可以有效节约空间。

低慢小目标的防护是一线部队的主要诉求;目前传统防空成本高、附加损伤高;现有的地基

反无人机、反空飘球等激光武器装备,射程有限对高空低慢小侦查无法形成有效防护。将激光武器搭载到高空长航时无人机上可以有效降低激光武器的功率要求,配合地面探测感知设备,可以做到对低慢小目标的有效防护。

新型临近空间无人飞行器的出现为军事斗争提供了新的作战平台,临空飞行器包括高超声速武器、浮空飞艇以及太阳能长航时侦察飞机等。高超声速武器的主要作战任务是对敌方重要目标实施战略打击,其高超声速特性使得现阶段地基、海基的反导武器无法及时反应。而同处于临空的飞艇和长航时飞机是对高超声速武器拦截的重要平台。激光武器可以做到快速交火、精准打击,是拦截高超声速飞行器的重要手段。将激光武器置于临空飞行平台上还可以缩短激光在大气中的传输距离,有效提高激光毁伤能力。

2.4 直升机系列

直升机不仅是现代陆军空中火力支援、侦察运输的重要单位,也是海军海上侦察的重要手段。直升机的飞行速度不高,可搭载大型外置载荷,多数直升机均配备有光学吊舱。由于传统航炮需要搭载备弹系统,这对承载能力不强的直升机型号产生巨大压力,部分轻型直升机仅配备有导弹/火箭弹发射装备,而没有航炮。

在直升机上搭载激光武器可以提高直升机的精确打击能力,并且直升机机载激光武器还可以对来袭导弹进行拦截,有效提高直升机的生存能力。目前,美国雷锡恩公司在阿帕奇直升机上已经开展了机载激光武器的试验,其将一个导弹发射架替换为光纤激光器,并且在白沙靶场完成了初步试验。

3 未来典型作战场景及技术发展方向分析

尽管在各类飞机平台上机载激光武器均有适合的作战任务,但目前受制于激光器技术以及目标探测识别技术,短期内能够实现的机载激光武器设想有限。下文对4种典型作战场景进行分析。

3.1 区域作战支援

区域作战支援包括特种作战、反恐作战等。

执行该种任务的部队包括警察部队、维和部队、特种部队等。这些部队均配备有无人机或直升机装备,具有机载激光武器应用的平台基础。在区域作战中应对的重要目标,包括爆炸物、小型冲锋艇、小型车辆、恐怖分子等。机载激光武器在区域作战中的任务是对上述目标的精确处理。

区域作战任务的目标移动速度较低,部分目标一般为静止状态,对目标的侦察手段成熟,部分跟踪还可以采用人在回路的方式,因此对机载跟踪瞄准系统 ATP 要求不高。激光武器对爆炸物的处理主要是依靠激光的热效应,常见的炸药组分包括 RDX、HMX、TNT。爆炸物通常为静止状态或者搭载于车辆或快艇上以低速运行,可以允许激光有较长的辐照时间,这就对激光器功率要求相对较低。

目前已有成熟车载激光排爆系统,美国在阿富汗投入使用的 zues 车载激光排爆系统,功率为 500 W,作用距离为 300 m。但车载系统对高楼或复杂狭小地形的爆炸物处理较为困难,难以处理汽车炸弹与快艇炸弹。机载激光武器可以克服高度差带来的问题,通过快速抵近的方法能够对快艇以及车辆进行有效打击。在反恐作战中一般要求对人员进行非致命打击,在特殊情况下采用致命打击。现有激光致眩武器以单兵武器为主,需要操作员接近目标操作,危险系数较大,且在广阔复杂地形中较难接近恐怖分子。无人机通过搭载激光武器快速接近目标并对目标进行有效压制,无需人员直接对峙,减小伤亡风险。目前存在的主要问题是中小型无人机无法为搭载的高能激光系统提供充足的能源;激光器性能不足;在平台高振动高速状态下光束稳定性差。

3.2 反导自卫作战

大飞机平台的反导自卫作战是机载激光武器的重要应用场景。目前研究主要是针对导弹的软杀伤,包括激光对探测器件及跟踪系统的干扰,以及激光对制导系统的光学元件及其光学系统干扰。这类干扰方式主要的目标是红外制导导弹,对其他制导方式或无制导的来袭目标无法造成有效防护。目前大飞机平台激光自卫最主要的限制是激光器功率,根据美国海军等试验结果,对导

弹实现硬毁伤需要至少千瓦级的功率发射。

因此反导自卫作战下的机载激光武器需要提高现有小型化激光器功率;发展激光精确定位技术,在目标高速移动的条件下控制激光束命中导弹战斗部或发动机;发展高效的热管理技术,如相变储能技术、环路热管技术、强化换热技术等。

3.3 反低慢小目标作战

低慢小目标的防护是一线部队的重要诉求。尽管现在已经有一定的手段应对低慢小目标,但传统防空成本高、附加损伤高;现有地基反无人机、反空飘球等激光武器设备射程有限,对高空低慢小侦察无法形成有效防护;且部分气球类目标采用透明材料,一般激光无法对其有效毁伤,因此需要采用特定波长的激光提高目标对激光的吸收率。目前CO₂激光器的波长满足需求,但其体积庞大不适合部署在飞机平台上。部分低慢小目标雷达反射低,光学谱段上的特征不明显,因此对其的探测感知较为困难。反低慢小目标一般为全天候全时段作战,因此需要无人机和激光武器系统具有长续航能力。

3.4 反高超声速作战

尽管以现有技术短期内不具备实现机载激光武器反高超声速作战的能力,但高超声速武器作为新型尖端武器目前仍无法对其进行有效防护,现有导弹防御体系对高超声速武器来说处于“看不见、跟不上、瞄不准、打不着”的绝对劣势。激光武器反应迅速,火力转移快,在锁定高超声速目标的同时,便能做到瞬时打击。机载激光武器的拦截时间充分,既能在高超声速武器的发射段对其传感器实施致盲拦截,又能在其飞行段对其实施毁伤打击拦截。

从发展角度来说,当前应对高超声速武器的机载激光技术还处于无高功率激光器、无高效率探测器、无高性能飞行器的“三无”阶段,现有激光武器技术与目标技术差距巨大。从激光毁伤角度来看,目前根据试验对高超声速飞行器的防护材料进行破坏至少需要兆瓦级激光,但能做到兆瓦级的激光器的功率体积过于庞大。高功率激光在大气中传输除了大气衰减外还存在热畸变效应,到靶功率密度必然下降。从光束控制的角度,

由于目标的高速移动,需要激光武器系统具有快速反应能力,同时快速反射镜系统需要能够经受住高能激光的照射。从探测感知角度,当前单一平台对高超声速飞行器的发现识别存在一定障碍,而飞机平台的感知半径更为有限。

4 未来技术发展方向

综合来看,尽管由于飞机平台种类繁多,承担的任务各不相同,但在激光武器技术上仍具有许多相同的发展方向:

(1) 最关键的技术是大功率激光器小型化,目前光纤激光器和固体激光器具备一定前景,在低功率近距离场景下半导体激光器也是较为优秀的选择;

(2) 飞机系统兼容性问题,包括机载热控技术、共形发射技术、飞机武器系统能源供给技术等,保证激光武器在飞机有限条件下发挥最大效能;

(3) 机载强激光自适应技术,目前地面的强激光自适应系统体积重量过大,在机载平台上无法直接应用,需要开发机载自适应强激光系统;

(4) 动目标高精度跟踪捕获技术,机载激光武器系统需要将激光束会聚至目标易损部位,实现对目标的有效毁伤,这要求对目标的跟踪精度达到微弧度甚至亚微弧度量级,因此需要采用高性能的光电跟踪传感器、复合轴跟踪环架、复合控制与共轴跟踪等技术综合保证系统的精度指标。

5 结束语

根据战争需求,机载激光武器发展呈现出由战略应用向战术应用发展、由大型平台向小型平台转变、由化学激光向固体激光转变的趋势,机载激光武器的目标从传统的弹道导弹发展到空地海上的多种目标。但目前受制于激光器功率以及飞机平台的能力,机载激光武器的实现方式有限,从现有飞机平台技术来说区域支援作战、反导自卫、反低慢小目标及反高超声速武器四种作战场景是未来最有可能应用的技术场景。基于典型作战场景分析未来激光武器技术应朝大功率激

光器小型化、机载系统兼容性、机载强激光自适应技术及动目标高精度跟踪捕获技术方向发展。

[参 考 文 献]

- [1] 刘李辉, 谭碧涛, 张学阳, 等. 美国机载激光武器发展—ABL 计划[J]. 激光与红外, 2019, 49 (2): 137-142.
- [2] MDA 授予波音空基反导用机载激光武器技术研发合同[J]. 航天电子对抗, 2017, 33 (6): 10.
- [3] 张亦卓. 美国机载激光武器研究进展[J]. 航空制造技术, 2019, 62 (7): 91-94+100.
- [4] 田春雨, 张猛山. 机载激光武器及其关键技术[J]. 科技导报, 2019, 37 (4): 30-34.
- [5] 冯紫峤. 激光武器在海陆空的应用[J]. 中国物流与采购, 2019 (12): 60-61.
- [6] 袁俊. 美军机载“先进战术激光武器”取得重要进展[J]. 中国航天, 2008 (7): 40-43.
- [7] 吕琳琳. 美军无人机机载激光反导武器发展现状和应用前景[J]. 现代军事, 2017 (10): 66-70.
- [8] 俄罗斯发展机载激光反卫武器系统[J]. 空天防御, 2018, 1 (2): 26.
- [9] Russia's A-60 laser weapon carrier begins airborne tests [EB/OL]. https://defense-update.com/20160926_a60.html, 2016-09-26.
- [10] Romero C A. Feasibility of high energy lasers for interdiction activities [R]. Naval Postgraduate School, 2017.
- [11] O'Rourke R. Navy shipboard lasers for surface, air, and missile defense: background and issues for congress [C]. Library of Congress Washington DC Congressional Research Service, 2013.
- [12] Paiva C, Slusher H. USAF high energy laser (HEL) systems: multi-spectral algorithm efficiencies susceptibilities during missile staging [C]. Aiaa/asma/sae/asee Joint Propulsion Conference & Exhibit, 2012.
- [13] Carsten P, Thomas H, Frank D. Experimental and numerical analysis of atmospheric propagation of high energy laser[C]. SPIE Security + Defence, 2015.
- [14] Lionis A. Experimental design of a UCAV-based high-energy laser weapon [R]. Naval Postgraduate School, 2016.
- [15] Fiedler B, Martinez K, Garcia V, et al. Increasing the kill effectiveness of high energy laser (HEL) combat system[R]. Naval Postgraduate School, 2015.
- [16] Fasone J. Feasibility and utility of airborne solid state lasers against ground ordnance [R]. Naval Postgraduate School, 2018.
- [17] Angell A. The high-energy laser: Tomorrow's weapon to improve force protection [R]. National Defense University Washington DC, 2012.
- [18] Morrill D F. Numerical simulation of high energy laser propagation [R]. Air Force Institute of Technology, 2018.
- [19] Hayati E. Effects of relative platform and target motion on propagation of high energy lasers [R]. Naval Postgraduate School, 2016.
- [20] Cook, Joung. High-energy laser weapons since the early 1960s[J]. Optical Engineering, 52 (2): 1007.
- [21] 曹秋生, 路静, 柳建光, 等. 从 SHIELD 看机载激光武器的反导能力和技术挑战[J]. 中国电子科学研究院学报, 2019, 14 (5): 443-451.
- [22] 伊炜伟, 屈长虹, 任国光. 战术机载激光武器[J]. 激光与红外, 2018, 48 (2): 131-139.
- [23] 张明. 大浪淘沙——2017 年世界空军装备发展[J]. 军事文摘, 2018 (1): 28-30.
- [24] 秦博, 王蕾. 无人机发展综述[J]. 飞航导弹, 2002 (8): 4-10.
- [25] Pei Y, Song B. Method for assessing unmanned aerial vehicle vulnerability to high-energy laser weapon [J]. Journal of aircraft, 2012, 49 (1): 319-323.
- [26] 李怡勇, 王建华, 李智. 高能激光武器发展态势[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38 (6): 1-6.
- [27] 徐晨华. 美国 MQ-9 无人机的新发展与技术性能[J]. 飞航导弹, 2018 (7): 48-53+66.
- [28] 张同鑫, 李权. 对抗高超声速武器的机载激光武器发展研究[J]. 航空科学技术, 2016, 27 (3): 5-8.
- [29] Zhao W, Huang Y, Song H, et al. Residual strength and damage mechanisms of laminated carbon fiber reinforced polymer under thermal environments and laser irradiations[J]. Polymer Engineering & Science, 2018, 58 (12): 2311-2319.