

文章编号:1001-5078(2025)01-0003-07

· 综述与评论 ·

基于 SBIR 项目分析美国激光武器发展情况

徐晨阳, 王久龙

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 基于 SBIR/STTR 项目, 对美国激光武器发展情况进行分析, 通过对 2016 年至 2023 年以后公开的 SBIR/STTR 项目进行梳理, 归纳筛选共 98 项激光武器相关技术, 与美军试验和集成报道相结合, 分析认为捕获跟踪与瞄准(ATP)相关技术、激光器相关技术以及传输/环境测量是美国激光武器系统发展重点, 并深入分析项目指标与公开已知美国激光武器项目关联, 重点对潜基激光武器与美国 LLD 激光武器系统指标进行分析。通过对 SBIR/STTR 激光相关项目的跟踪与分析, 总结美国激光武器发展策略和技术问题解决途径, 为我国相关技术发展 with 问题解决方案提供信息支撑。

关键词: 激光武器; 发展机制; 技术实现; 发展动态; 发展预测

中图分类号: E92; TJ95 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2025.01.001

U. S. laser weapon development analysis based on SBIR projects

XU Chen-yang, WANG Jiu-long

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Based on SBIR/STTR projects, an analysis of the development of laser weapons in the United States is conducted in this paper. By reviewing publicly available SBIR/STTR projects from 2016 to 2023, a total of 98 laser weapon-related technologies are summarized and selected. Combined with US military testing and integration reports, the analysis indicates that Acquisition, Tracking, and Pointing (ATP) related technologies, laser-related technologies, and transmission/environmental measurement are the focal points of the US laser weapon system development. In-depth analysis of the project metrics are also conducted in relation to publicly known U. S. laser weapon projects, with a focus on submarine-based laser weapons and U. S. LLD laser weapon system metrics. Through the tracking and analysis of SBIR/STTR laser-related projects, the development strategy and approaches to technical issues of US laser weapons are summarized, providing information support for the development and problem-solving solutions of relevant technologies in the country.

Keywords: laser weapon; development mechanism; technological implementation; development dynamics; development forecast

1 引言

激光武器具备快速响应、高速到靶、软硬杀伤兼备及高效费比等特性, 随着激光技术的飞速发展, 激光武器正由样机阶段迅速进入实战化装备阶段。美国作为激光武器技术的领先者, 进行了深入的理论与

与试验研究, 并全面布局了多域、多平台的激光武器体系^[1-2]。同时, 美国在研发过程中融合了商业技术与前沿科技, 确保技术能够快速转化为实战化装备。

SBIR/STTR 是美国支持的小企业创新项目, 通

作者简介: 徐晨阳 (1992 -), 男, 硕士, 助理研究员, 从事激光及激光与物质相互作用方向技术研究。E-mail: xcynjust@126.com

收稿日期: 2024-05-07

常被称为“美国种子基金”。这些项目涉及军事装备的应用,包括技术探索和技术革新等内容。项目通常分为三个阶段:启动阶段、研发阶段和商业化阶段。启动阶段为期 1 年,主要进行新创意和新技术的可行性研究。研发阶段为期 2 年,对第一阶段成果进行拓展并考虑商业化前景。商业化阶段则将第二阶段的研究成果推向市场,STTR 计划不提供经费支持,小企业需向私营企业或联邦政府其他部门申请资助。综合分析近几年 SBIR/STTR 项目可揭示美国在某一领域的技术基础和发展动向。

为了深入跟踪美国的激光武器发展情况,根据 SBIR 项目周期特点,结合美军披露的项目、试验报道等信息,本文针对 2016 ~ 2023 年 SBIR 公开项目中激光武器相关项目以及激光器、目标捕获跟踪与瞄准、大气传输修正等多种关键技术开展分析,梳理美国激光武器发展特点,为我国激光武器发展与风险防御提供参考。

2 SBIR 计划项目总体趋势分析

为了跟踪美国激光武器系统的发展状态,本文基于美国 SBIR 网站公开的项目库^[3]开展项目索引与分析,检索时间范围为 2016 ~ 2023 年。SBIR/STTR 项目在 2020 年以前的项目未进行“现代化优先事项”分类,而技术应用领域的关键词描述又相对宽泛且存在交叉,从而一部分应用于激光武器系统的项目无法通过检索工具直接完成分类检索。因此为了保证覆盖 SBIR/STTR 中与高能激光武器相关的项目,对检索时间范围内的项目根据项目描述进行逐条粗检索,对 2020 ~ 2023 年度项目通过“现代化优先事项 - 定向能 + 关键技术领域”进行复验,对 2016 ~ 2019 年度项目通过“关键技术领域 + 关键词”进行复验。通过对 4868 项项目进行梳理,共筛选 98 项激光武器相关技术。

结果显示(图 1),激光武器技术的数量和占比在 SBIR/STTR 项目中具有一定的波动,在 2016 ~ 2020 年总体呈上升态势,在 2020 年数量达到最大,上升的关键领域包括“捕获跟踪与瞄准(ATP)”技术和激光器相关技术,其分别在 2018 年至 2020 年有较大增长。在 2021 年后激光武器公开的项目相对减少,在关注领域上光学组件和合束相关技术上的数量相对增多,在合束方向上着重对半导体激光合束技术的需求,期望在通过

形成更高功率的半导体激光提升泵浦、激光传输与激光对抗等能力。

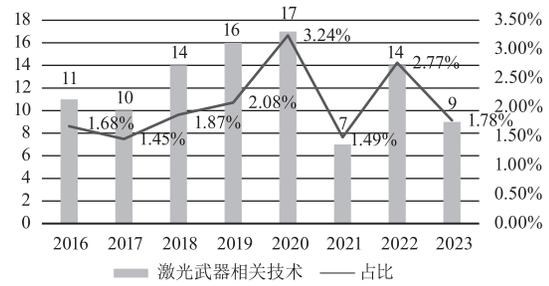


图 1 SBIR/STTR 激光武器相关技术数量与占比

Fig. 1 Number and percentage of SBIR/STTR laser weapon related technologies

对比美军公开披露的项目和试验情况^[4](图 2),美国总体的试验验证、系统升级以及系统集成等活动在 2021 ~ 2022 年期间增加,相较 SBIR 和 STTR 项目的增长趋势推迟 1 ~ 2 年,与 SBIR/STTR 周期相符,可以认为在 2018 ~ 2020 年期间的项目,在 2021 ~ 2022 年演示的系统中形成具体体现,SBIR/STTR 项目相关技术指标具有一定参考性,因此,可以利用公开可查的 SBIR/STTR 项目,对美军当前的激光武器系统性能及其未来发展路径进行合理分析。

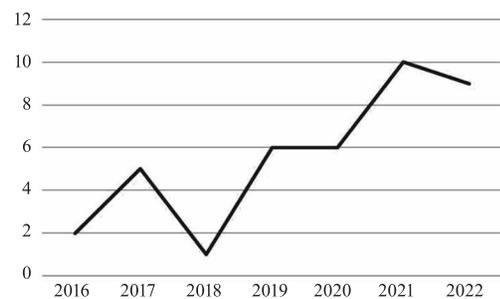


图 2 美军激光武器情况^[4]

Fig. 2 Status of U. S. military laser weapons^[4]

在各年度项目的技术领域构成上(表 1),激光器技术在总数占据较大比例达到 27%,重点技术方向光纤激光器以及半导体激光器,其中光纤激光器主要用于直接毁伤的激光武器系统,半导体激光器主要作为泵浦源以及直接用于激光对抗系统。其次为 ATP 相关技术以及激光大气传输占比分别为 19% 和 14%(图 3),其中 ATP 相关技术技术领域,激光大气传输设计包括围绕大气湍流环境测量、激光束的空间传播校正等领域。

2016 - 2017 年,SBIR 的激光武器项目着重于小型化和降低成本。美国在此期间启动了如

SHieLD 的机载激光武器项目,并开始验证车载与舰载激光武器^[4-6]。但对 SBIR 项目分析发现美国在激光小型化方面面临困难,例如光束控制的光学系统体积过大限制了紧凑型激光系统的集成。美国正尝试通过新型波导等非机械结构技术以及惯性

单元小型化等手段来减小体积。另外,激光光源的体积和重量也过大,美国正寻求创新项目来解决高功率激光半导体激光器技术的问题,包括减小尺寸和重量并保持高电插效率。这些技术可能用于机载激光对抗系统。

表 1 项目技术构成

Tab. 1 Composition of project technologies

年份	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
高性能光学组件	0	0	1	2	1	1	2	3
总体技术	0	1	2	2	3	1	1	0
激光器技术	5	2	5	3	7	1	3	0
ATP 技术	4	2	4	6	2	1	1	0
传输、环境测量技术	0	3	1	2	3	1	1	3
合束技术	0	1	0	1	1	1	3	2
热管理	0	1	1	0	0	0	1	0

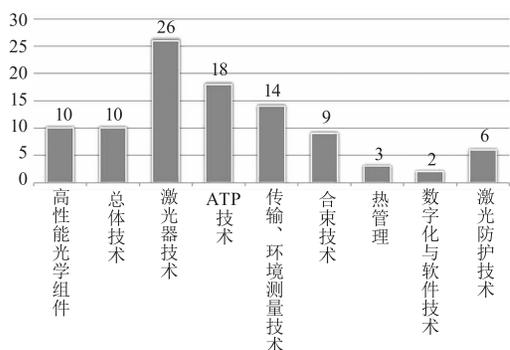


图 3 项目技术领域占比

Fig. 3 Percentage of project technology fields

美国在激光武器机载化方面遭遇挑战。SHield 项目仍在地面试验阶段,2022 年 LANCE 吊舱才交付空军,相关技术未能按时交付,另一典型项目 AHEL2024 年宣布下马^[7]。尽管美国对机载激光项目的需求保持更新,但数量较低。美国在机载激光方面的核心技术挑战包括小型化光源和系统兼容性问题,难以满足机载小型化要求和搭载需求。尽管美国 CSIS 智库 2022 年发布了《助推段导弹防御》^[8]强调无人机搭载激光武器的优势,但美国距离机载激光实战化仍有较大差距。

在 2018 ~ 2023 年,SBIR 项目技术方向侧重于激光武器系统的海上应用,包括水面及水下平台。尤其是舰载系统,结合海军的试验情况,美国海军激光武器发展路线按期形成战斗力^[9],其中需要关注的是在 2017 年美国第一次提出潜基激光武器相关

技术需求,主要期望将高能激光(HEL)武器系统子组件集成到潜艇耐压壳中用以增强自卫和进攻能力。

3 SBIR 项目重点技术分析

3.1 激光光源技术分析

美国军方的激光光源相关的 SBIR 项目主要侧重光纤激光器优化、半导体激光器应用探索以及新型超短脉冲激光器技术三个方面。

美军希望将成熟的光纤激光技术快速且低成本地应用到高能激光武器系统中。SBIR 项目涉及单模高功率光纤技术、高能激光隔离器技术、光纤性能预测模型以及高效泵浦技术等。隔离器技术旨在提高处理能力,泵浦技术则寻求更高效的激光二极管泵浦模块。光纤模型预测基于折射率和掺杂形状预测性能并估算高功率局限。2016 年需求为 600 W,2018 年升至 1 kW,2022 年需求为 4 kW,并探索 6 kW 技术。

在 2018 ~ 2019 年,美军激光武器进行了激光功率的革新,HELMTT 激光功率从 10 kW 提升至 50 kW,CLaWs 从 2 kW 提升至 5 kW。2022 年后,又进行了 HEL-TVD 等项目的革新。推测美国在 2016 ~ 2018 年期间突破了单模块千瓦级光纤激光器的武器系统应用与集成,推动了激光武器系统升级。公开的 SBIR 项目在 2022 年后提出 4 kW 以上需求,推测 150 ~ 300 kW 的大型激光武器系统和 60 kW 的中小型激光武器系统主要通过激光合束提升功率。300 kW 激光器后合束技术可能达到体积

约束和技术极限,因此美军再次提出单模块光纤功率提升需求。

在半导体激光器应用上主要是探索直接高功率激光输出应用,美军在 2016 年提出的 A16-080 项目“高功率半导体激光器”,探索 50kW 输出功率技术,并且具备在数公里范围内将光束聚焦至接近衍射极限点的能力,从而满足陆军定向能武器系统的实际需求。在 2020 年 A20-088“应用于陆军平台的高功率连续组合激光”项目中提出了一个功率输出 15 kW(预期为 60 kW),电光效率为 45%(预期为 65%),光束质量(M^2)为 1.5(预期为 1.1)的连续激光系统需求,半导体激光光源作为可选项。美国导弹防御局在 MDA20-004 也提出了高功率、单模、高亮度、窄线宽、近衍射极限的半导体激光器需求,需要具备光谱合束或其他相干合束能力以进一步提高功率,未来期望实现半导体激光器系统(HP-DDL)10~100 kW 直接输出,用于空间对抗。综合来看,尽管现阶段的高能激光系统主要体制是光纤激光器,但半导体激光器始终作为美国未来十千瓦至百千瓦级紧凑型高能激光武器的发展路线之一,尤其是航空航天平台等空间质量约束严格的应用环境,当前美军正在致力于解决短相干长度、多模和高发散角等技术问题。

在新型超短脉冲激光器方面,鉴于超短脉冲在大气传输和目标毁伤机制中的独特性,美军自 2016 年开始持续提出超短脉冲需求,并期望将其应用于红外对抗领域,在 2020 提出“应用于陆军平台的超短脉冲激光”项目,项目需求在大气传输波长;平均功率输出 20 W;脉冲峰值 1 TW,脉冲宽度 200 fs,重频 20 Hz,光束质量 M^2 为 2。

3.2 ATP 及光束指向技术分析

美军十分重视目标捕获跟踪和瞄准(ATP)以及光束指向技术,尤其是在激光光源系统已具备一定输出能力的基础后,美军期望通过对 ATP 系统的优化完成对目标的毁伤,降低对光源更高功率的依赖,同时避免高功率激光在大气中传输由于热晕等效应带来的损耗。美军在 SBIR 项目的 ATP 技术领域重点关注了小型紧凑化、激光打击下影响下的目标跟踪方法,此外还关注了基于 ATP 系统的目标实时毁伤评估技术。

美国在高能激光小型化方面事实上面临诸多问

题,其中 ATP 及其关联系统的尺寸体积过大是重要因素,这阻碍了高能激光系统在航空航天等领域的应用,为了解决这一问题美军在 SBIR 项目中持续提出相关需求,2016 年 AF161-037“用于高能激光系统实现稳定的紧凑型光学惯性参考装置”项目,以 F-15 为主要平台,为激光系统提供基准精度,具体指标包括:尺寸不大于 3.81 cm(直径)×7.62 cm(长度),总质量小于 0.68 kg;最小惯性姿态分辨能力为在 0~1 Hz 下为 3 mrad rms,1-axis,1-sigma;残余平台抖动在 2~1000 Hz 范围内小于 500 nrad,1~1000 Hz 角抑制频率大于 40 dB,小于 1 Hz 或大于 1 kHz 角抑制频率大于 60 dB,激光光束直径 2~5 mm,能够处理 2 rad/s 的回转速率,稳定平台和基准相视误差小于 2 mrad,并向光束控制系反馈至少 1 微弧度的精确相对位置。在 2019 年针对机载激光系统系统提出了数个项目,包括 AF191-056“一种高宽度快速转向镜”,要求 25~1 kHz 的宽带干扰下保持性能。期望的性能目标是:抗扰能力为 >500 Hz~3 dBn,残余噪声抖动 < 1 μ rad 最小通光孔径 46 mm×70 mm,表面波前误差 $\lambda/4$;AF191-057“低 SWaP 战术光束控制系统”,针对机载条件研制高性能 ATP 系统。对照美空军激光武器项目,可以推断上述指标可能作为 SHield 等项目的初期研制指标。

在地面激光武器系统上,根据 SBIR 2018 年美军公开的 A18-129 以及 A18-130 需求,要求系统指向精度要求为 10 mrad,工作波段为 900~1600nm,视场 20°,口径 100 mm。需要能够与跟踪摄像机共口径。同期要求的跟踪系统瞄准精度在 10 mrad,视场角 100 mrad,带宽 1000 Hz,预计采用大口径光学系统实现,并要求与高能激光系统共口径。在 2019 年为了保证激光跟踪的稳定性对高能激光主动照明精跟踪光学系统提出要求:动态范围采用 16 量化;帧频阈值 1 kHz;阵列大小阈值 128×128;波段 1500~1700 nm;积分时间 10 ns。对比美军此时多种陆基/车载激光武器启动,说明之前激光跟踪精度仍未满足作战要求。此外,系统元件制造上在美国军方认为之前激光武器系统光学元件过于沉重,2019 年提出了 A19-088 轻量化需求并对损伤阈值提出一定要求,要求 300 mm 主镜损伤阈值高于 500 W/cm²,及 60~100 mm 其他光学器件高于

5 kW/cm²。

美国除优化传统 ATP 系统外,还寻求通过光束控制技术等不同技术路线压缩系统体积,如采用新型波导结构和薄膜介电材料创建非机械转向装置。

在跟踪算法方面,2016 年提出了“支持空对空、高带宽、基于图像的主动跟踪的图像处理”项目,旨在防止图像跟踪算法在高带宽激光照明目标跟踪中性能下降。该项目期望跟踪算法精度达到 1/5 像素,系统视场抖动减少 50%,闭环控制系统错误抑制带宽接近 350 Hz,跟踪摄像机帧速率约为 7 kHz。

2019 年激光项目中,包括激光毁伤效能评估、应用于定向能系统的 3D 成像等项目 A19-086。美国海军要求开发一种 3D 成像方法,能应对目标姿势变化,满足跟踪和远场聚焦需求。该方法需处理激光-目标交互的复杂现象,如分布式体积像差、斑点和闪烁、各向异性等。此外,还需考虑低信噪比、尺寸、重量、功率限制和时延等因素。最终要求能在 1 km 外对动目标成像。同时,还需开发 HEL 毁伤评估系统,通过目标表面特征和光斑能量变化评估毁伤效果,提供图像或其他传感器数据。

3.3 传输及环境测量技术分析

伴随激光系统输出功率的提升,激光武器系统由对抗系统向强毁伤系统转变,由于高能激光与传输路径的空气作用产生的热畸变等效切实影响了激光武器作战效能。为了消除大气对激光,需要对实际作战中的大气湍流进行原位测量并进行补偿。在 2019 年提出的 A19-087“高能激光武器系统的自适应光学系统”项目中需要补偿的具体参数为:大气湍流 C_n^2 阈值为 10^{-13} , Rytov 数阈值为 0.25,作用距离阈值为 8 km,理论期望指标为 18 km。美国在 2020 年考虑小型化应用的可行性时,提出了“战术级无信标大气湍流测量技术”以及“高能激光吸收分析及热晕效应预测”项目,战术信标光需求用于测量大气湍流,要求测量 1~3 km 内的湍流测量,分辨率为 100 m。结合激光器项目需求和美军试验结果可以认为,美国在 2020 年左右公开的战术型激光武器作用距离并非能够达到其宣称的 20~30 km,保障作战效能的区域在 8 km 左右,实际有效作战作战范围应该在 3 km。

除了地面环境外,由于舰载激光作为美海军的未来重要武器系统,美海军持续在推动舰载激光武

器的研制进程,为了保证舰载激光的可靠作战效能,美海军十分关注海洋湍流和海洋边界大气对激光的影响。在 2019 年,美国海军公开了“用于海浪边界层大气表征仪器开发的 3 波段皮秒高能量紧凑 (SWaP) 激光系统”,2023 年更新了海洋边界层大气气溶胶模型的需求。

4 典型项目技术指标分析

4.1 潜基激光武器技术分析

美国在自 2018 年以来重视海上激光武器技术发展,其中较为值得关注点是潜基激光武器系统。在 2011 年,美国海军计划将高能激光武器装备在弗吉尼亚核潜艇,2015 年美国海军研究院启动“将高能激光集成在弗吉尼亚级潜艇”的研究项目^[2]。2020 年 2 月公开报道称美国弗吉尼亚核潜艇将装备强大激光武器的潜艇^[10]。在 SBIR 项目中,2017 年美国首次提出将高能激光武器系统集成到潜艇中以增强其自卫和进攻能力。其要求激光系统输出功率为 30 kW,最终目标是 100 kW。光源系统位于艇内,光束控制和激光发射装置位于潜艇外舷,两者相距 30 英尺以上。2017 年发布的技术需求是单模光纤技术,以解决在 30 英尺、总功率为 30~100 kW 的超高激光功率传输光纤和连接器问题。到 2019 年,激光传输光纤的需求被提升到 60 英尺,单光纤的传输功率需要在 2~3 kW,波长包括 1 μm 、1.5 μm 和 2 μm 。

而在 2019 年则提出 250 nm、500 nm 以及 1 μm 的三波段皮秒高能激光大气测量系统,用于测量海绵 0~60 in 大气湍流测量,对近海面参数进行关键元素测量和建模,以满足海洋边界层中通信、防御/进攻型激光武器系统应用。项目要求单脉冲能量不低于 1 mJ,平均功率不低于 10 W,重复频率 1000~5000 Hz,项目的第三阶段要求技术支持转移到潜艇平台。该系统大气测量的范围与低于舰载应用需求,在 2023 年更新了海洋边界层大气气溶胶模型的需求。因此可以推断,在潜基激光武器实际应用中海洋边界大气环境会对激光作战效能产生极大影响,潜基激光武器系统需要搭载原位大气测量系统进行辅助

在 2019 年,SBIR 项目还公布了一个用于潜艇桅杆的紧凑型高能激光武器光束导向器需求,其口径为 12 in(约 300 mm),采用短波红外进行目标跟踪和捕获,系统需要兼容现有潜艇桅杆设计,具备处理

100 kW 以上激光功率,俯仰范围为 $-30 \sim +80^\circ$,方位范围为 360° ,惯性基准精度为 1 rad,需要承受 20 G 过载并在 100 psi 压力下无泄露。

美国潜基激光武器主要用于打击中远距离目标,如图 4 所示。无人机和水面无人艇等目标因对潜艇构成威胁,成为其主要打击对象。考虑到潜艇作战区域远离海岸,打击岸基高价值目标技术难度较大,可能仅作为附带目标。由于激光在水中/跨界面时难以完成远距离传输,而潜艇上浮则会产生较高风险,因此推测系统采用分布式结构,通过潜望系统集成,光源系统位于潜艇内部,光源和发射系统分别位于潜艇内部和潜望镜/桅杆,相距 60 以上。发射系统口径约 12 in,具有 $-30 \sim +80^\circ$ 俯仰范围以及 360° 方位范围,发射波段在近红外波段,总功率为 100 kW,试验阶段采用 30 kW。需要搭载皮秒大气测量系统辅助激光系统完成修正。

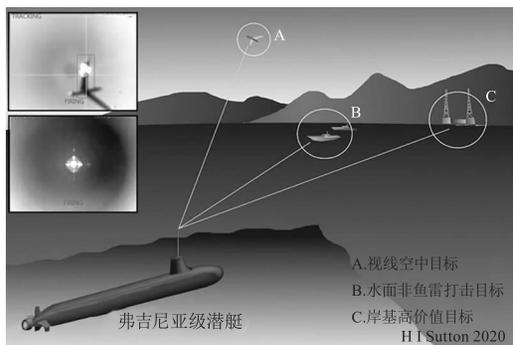


图 4 潜基激光武器应用构想^[10]

Fig. 4 Concept of submarine-based laser weapon applications

4.2 LLD 激光武器系统

根据美国 Navy Lasers, Railgun, and Gun-Launched Guided Projectile 2019 ~ 2022 年各年的国会报告,美国海军高能激光武器主要功能是从干扰光电传感器逐步发展至对小型船只和无人机的毁伤能力,并预计在 2023 年具备反制反舰巡航导弹的能力。在 2022 年 2 月洛马公司公布了其承研的 LLD 系统完成了对巡航导弹的毁伤试验。尽管根据海军实验室拟定的发展计划用于摧毁巡航导弹的 LLD 的功率应为 300 kW,但根据洛马公司激光系统发展情况,在 2021 年仅进行了 150 kW 激光器试验以及美国海军 2023 财年预算中拟通过 HELCAP 项目解决 300 kW + 激光光源技术等多个因素,可以认为此次 LLD 的激光光源功率应在 150 kW。美国在 300 kW 高能激光光源未达到路线图预估理论值的前提下实现了对亚音速巡航导

弹的打击,亚音速巡航导弹典型靶弹为 BQM-177^[11],弹体直径约为 0.5 m,具体参数如表 2。从公开的 LLD 试验图像数据来看,激光准确锁定了导弹头部位置,而非传统的质心或形心锁定模式,锁定位置应该为电子学控制仓端,可以认为其光束指向精度、打击中的评估等技术较为先进,可实现扩展目标特定位置精确跟踪。结合 SBIR 项目在 2019 ~ 2022 年的 A19-087、A18-130、A19-086 等相关项目,美国基于激光对动目标跟踪、远场聚焦以及大气修正等技术的新突破,实现了高能激光武器效能的提升,但仍为达到对高速导弹跟踪打击的要求。

表 2 BGM-177A 弹体参数

Tab. 2 BGM-177A projectile parameters

长度/m	5.18
翼展/m	2.13
最大速度/Mach	0.95
最大弹体高度(含翼)/m	1

综合判断,美国 2022 年试验的分层 LLD 系统应该为 300 kW 同轴发射激光武器系统,口径约为 300 mm,作用距离应不高于 8 km,考虑信标光测量等因素其实际打击距离可能在 1 ~ 3 km 范围内,搜索视场不低于 20° ,跟踪视场为 100 mrad,目标指向精度不低于 10 mrad。具有交火动态成像及光斑实时评估能力,在目标精确跟踪与毁伤判定上有跨越式提升

5 总结与启示

5.1 优化激光发射及跟踪系统充分释放光源能力

美国在制定激光武器系统发展路线时,虽然以激光功率作为关键指标,但未过度追求超大功率激光器。由于高能激光可能引发热畸变和内部光路管理问题,美国更侧重于在一定功率范围内实现激光武器系统的小型化。从 SBIR 项目来看,战术型激光武器通常控制在 300 ~ 500 mm 口径,而紧凑型更小,一方面是因为高功率激光技术难度大,另一方面则是美军通过深入研究目标、场景、环境参数和毁伤效应,明确激光功率和作战半径,避免口径过度扩大。ATP 技术成为激光武器效能的核心之一,在拥有百千瓦级优质光源的基础上,高能激光发射和 ATP 技术成为优先方向,这将大幅提升激光武器效能。

根据美国的发展经验,未来激光武器的发展该技术领域需要围绕高能激光武器作战中的典型目标

(卫星、导弹、无人机)易损部位识别、智能选区、精确跟踪等核心需求,开展暗弱目标捕获跟踪、扩展目标跟踪与选区指向以及耐强光/高速自适应光学系统等关键技术研究。

5.2 激光传输与大气环境测量是高能激光发展关键

美国根据作战需求重点开展了海面、空中激光大气传输的试验,美国陆军、海军和空军分别建立了激光大气仿真以及作战效能评估的相关靶场,通过长时间的数据收集建立了一个丰富的数据库。持续通过项目资助海面等非常规区域的实时大气测量技术研发工作。

伴随激光功率的提升,高能激光对大气的影 响不可忽视,美国通过创新项目鼓励自适应光学在 高能激光,尤其是紧凑型高能激光系统的应用。根据 美国发展经验,在激光武器系统发展的同时应持续 关注相关大气数据库和模型建立,针对特征数据开 展高能激光自适应光学等技术研制工作。

5.3 机载激光武器具有较强应用前景但难度发展较大

明确机载激光战术作战模式后,美国在 2016 ~ 2017 年上马了多个机载激光相关项目,但后续进展 并不顺利,在 2022 年出现了延期交付,核心关键部 件研制受阻等问题,但已有国家完成了机载激光的 实机试验,机载激光的技术应用潜力较大,机载激光 采用抵近消除威胁的方式更具备实施价值。

参考美国发展路线,机载激光光源小型化、紧 凑型激光转塔等技术突破较难,直接开展战术型机 载激光武器的研制难度较大,可采取关键技术、系 统兼容性并行发展模式,一方面从核心单元技术开 展小型化光纤激光光源等技术研究,另一面通过成 熟商业产品等高技术成熟度手段,从机载低能激光 远距离精确打击作战场景入手,开展系统兼容性研 究。

参考文献:

- [1] Ding Yü, Jiang Feng, Zheng Rongshan, et al. Development overview of high-energy laser weapons in the united states [J]. Opto-Electronic Technology Application, 2021, 36 (6): 1-9. (in Chinese)
丁宇,姜锋,郑荣山,等.美国高能激光武器发展概况 [J]. 光电技术应用, 2021, 36(6): 1-9.
- [2] Lin Yunzeng, Xu Xiaoyan, Wang Yongfang. Analysis of foreign laser weapon development based on patent tracking [J]. Laser & Infrared, 2024, 54(2): 163-170. (in Chinese)
林运赠,徐晓艳,王永芳.基于专利跟踪分析国外激光武器发展情况 [J]. 激光与红外, 2024, 54(2): 163-170.
- [3] U. S. Department of defense. Topics App [EB/OL]. https://www.dodsbirsttr.mil/topics-app/.
- [4] Li Wei, Yu Zhifeng, Deng Xianzhi. Research on the development and construction of laser weapons in the united states [J]. Laser & Infrared, 2023, 53(11): 1637-1643. (in Chinese)
李伟,余志锋,邓晓智.美国激光武器发展建设研究 [J]. 激光与红外, 2023, 53(11): 1637-1643.
- [5] Xu Chenyang, Liu Kejian. Analysis of future development of airborne laser weapons [J]. Air-to-Air Missiles, 2021, (4): 27-32. (in Chinese)
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.
- [6] Chen Li. Current situation and prospects of high-energy laser weapon development on US aircraft [J]. Military Digest, 2023, (15): 51-55. (in Chinese)
陈黎.美国机载高能激光武器发展现状及前景 [J]. 军事文摘, 2023, (15): 51-55.
- [7] The air force's dream of mounting a laser weapon on an AC-130 J ghost rider gunship Is dead [EB/OL] [2024-03-19] https://www.military.com/daily-news/2024/03/19/air-forces-dream-of-mounting-laser-weapon-ac-130j-ghost-rider-gunship-dead.html.
- [8] Williams I. Boost-phase missile defense: interrogating the assumptions [M]. Center for Strategic and International Studies (CSIS), 2022.
- [9] O'Rourke R. Navy lasers, railgun, and gun-launched guided projectile: background and issues for congress [R]. CRS Report, 2020.
- [10] The Navy Is arming attack submarines with high energy lasers [EB/OL] [2024-02-09]. https://www.forbes.com/sites/hisutton/2020/02/09/the-navy-will-arm-attack-submarines-with-high-energy-lasers/?sh=5b67a4fc3779.
- [11] BQM-177A product information [EB/OL] [2019-02-27]. https://www.navair.navy.mil/product/BQM-177A.