

## 舰载激光武器的发展历程及趋势分析

赵建川<sup>1</sup>, 郭汝海<sup>2\*</sup>, 孙涛<sup>2</sup>

(1. 海军驻长春地区航空军事代表室, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所  
激光与物质相互作用国家重点实验室, 吉林 长春 130033)

**摘要:** 舰载激光武器作为常规舰载武器的有益补充, 已经受到世界各国的普遍关注。本文介绍了舰载激光武器的发展历程, 系统阐述了舰载激光武器系统的组成及功能, 并分析了它们的主要技术特点及关键技术。最后, 论述了舰载激光武器的发展动向, 指出自由电子激光器和光纤激光器是未来舰载激光武器的发展重点, 而低能、小体积重量的激光器也会逐步用于舰载激光武器, 未来舰载激光武器会向小型化、高效率方向发展。

**关键词:** 舰载激光武器; 低能激光器; 高能激光器; 自由电子激光器

**中图分类号:** TJ95; U674.703.5 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/CO.20130602.0151

## Development history and trend analysis of shipborne laser weapons

ZHAO Jian-chuan<sup>1</sup>, GUO Ru-hai<sup>2\*</sup>, SUN Tao<sup>2</sup>

(1. Aviation Commissary of Navy in Changchun, Changchun 130033, China;

2. State Key Laboratory of Laser Interaction with Matter, Changchun Institute of Optics,  
Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

\* Corresponding author, E-mail: hitgrh@163.com

**Abstract:** Shipborne laser weapons provide complements for traditional shipborne weapons and they have been given much attention by many countries in the world. This paper introduces the history of shipborn laser weapons, and analyzes their compositions, functions and key technologies. Then, it points out that the development of shipborne laser weapons will focus on the free electron lasers and optical fiber lasers, and the low-energy lasers with small weights and volumes are expected to used in shipborne laser weapons. Actually, the shipborne laser weapons will develop toward the direction of miniaturization and high efficiency.

**Key words:** shipborne laser weapon; low power laser; high power laser; free electron laser

收稿日期: 2012-12-15; 修订日期: 2013-01-16

基金项目: 吉林省自然科学基金资助项目 (No. 201115123); 激光与物质相互作用国家重点实验室自主基础研究课题  
资助项目 (No. SKLLIM1004-01); 院地合作长吉图专项基金资助项目 (No. 2011CJT0006)

## 1 引言

随着全球化进程的日益加剧,海上领土和主权引起的各种争端愈演愈烈,其核心就是争夺丰富的海上资源,而海上作战舰船就是维护领海主权的有利作战平台,特别是近期中日之间的“钓鱼岛”问题,更说明了海上作战时舰船是一个国家综合国力的体现。

在现代武器快速发展的今天,海上舰船会受到各种武器的打击,特别是反舰艇导弹的袭击。为了保障舰船自身的安全,军用舰船都配备了安全警戒系统,其中美国领先发展的舰载激光武器以其独特的优势,成为了护卫舰艇安全的首选武器<sup>[1-3]</sup>。

舰载激光武器可以攻击近程低空飞行的导弹,也可以干扰、甚至毁伤导弹、无人机等的激光制导传感器和电视传感器。最近,美国海军的舰载激光武器已经可以击毁 3 n mile 以外的无人机,他们已和波音公司签订并完成了 100 kW“自由电子激光武器系统”试验型号的研制任务,预计在 2020 年前后可以装备到军舰上<sup>[4-5]</sup>。由于近年来海上争端的不断升级,对这种舰载的防御性武器—激光武器的研究正在成为各国军备的研究重点<sup>[6]</sup>。

本文简要介绍舰载激光武器的发展历程,并对未来的发展动向进行分析。

## 2 舰载激光武器

### 2.1 舰载激光武器的发展历程

舰载激光武器的历史几乎和发明激光器一样久远,20 世纪 70 年代初,美国海军就开始着手研制中波红外高级化学激光武器(MIRACL),在 80 年代进行了一系列的打靶试验,证明了这种武器系统摧毁快速飞行导弹的可行性。在尝试应用这种激光器进行海上作战时发现,在海上环境下此激光器在 3.8  $\mu\text{m}$  波长会产生严重的热晕效应,而热晕效应与风速有关,在激光能量达到一定阈值时,即使激光能量不断提高,热晕效应也会导致

打击目标的激光能量反而降低,如图 1 所示。

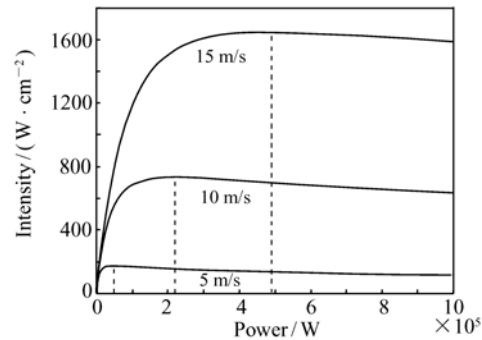


图 1 热晕及风速对到靶激光能量的影响

Fig. 1 Influence of thermal blooming and wind velocity on the laser energy arriving at target

可见找到一种热晕效应较小的激光波长很有必要。已有很多实验表明,在 1 ~ 13  $\mu\text{m}$ ,只有 1 ~ 2.5  $\mu\text{m}$  波长的激光器优于 3.8  $\mu\text{m}$  的化学激光器。由此,美国海军在 90 年代中期宣布放弃进一步执行 MIRACL 计划,启动了一项高能自由电子激光武器(FEL)计划。自由电子激光器发出 1.6  $\mu\text{m}$  波长的激光,处于人眼安全波长范围内,并且具有在不同大气条件下性能稳定等特点,被认为是最适合作为海上作战激光武器光源的首选<sup>[7-10]</sup>。

FEL 通常由高能电子加速器、摆动器和谐振腔组成。高能电子加速器可以把电子枪中的电子加速到接近光速,使电子能量达到 80 MeV 以上。然后电子进入摆动器,摆动器由一排极性交替变化的永磁体或电磁体组成,主要作用是使高能电



图 2 高功率自由电子激光器

Fig. 2 High power free electron laser

子束在垂直方向上做周期性摆动。摆动的电子束会产生激光辐射,并在谐振腔中形成正反馈,从而产生指定波长的激光。图2给出了美国研制的高功率 FEL。

FEL 的主要特点是海上大气传输特性好、波长可调以及输出功率高,已经成为舰载激光武器的主要发展方向,但其发展仍受到许多高难度的物理、工程及系统问题的限制。与此同时,另一种基于固体激光器的高光束质量和高效率舰载激光武器也引起人们的关注,即在多种固体激光器中最接近达到实用阶段的是光纤激光器。

2009年6月,在美国海军水面作战中心(NSWC)达尔格伦实验室的支持下,美国海军首次利用IPG公司的商用相干合束光纤激光器成功地追踪、打击并击毁了一架无人机。据报道,美国海军“宙斯盾”导弹驱逐舰就采用了“百人长”激光防御系统,其核心是固体激光器。

## 2.2 舰载激光武器的组成及特点

舰载激光武器主要由高能激光器及光束定向器两大部分组成,图3给出了基于固体激光器的舰载激光武器的组成示意图。

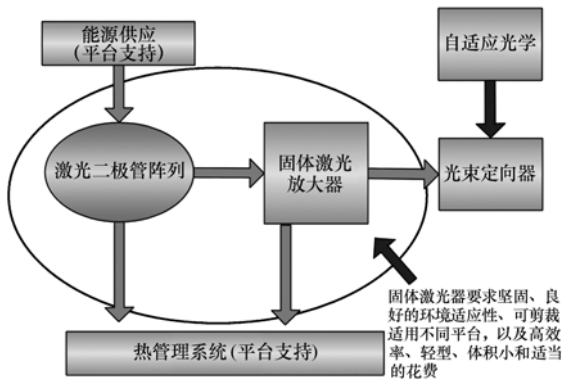


图3 基于固体激光器的舰载激光武器

Fig. 3 Ship borne laser weapon based on solid-state laser

整个舰载激光武器的作战流程如图4所示。首先,远程掠海反舰导弹进入舰船预警雷达范围,预警雷达对导弹进行捕获和跟踪,将方位及速度信息传给指控系统,指控系统将目标信息处理后引导高精度跟瞄系统捕获、锁定、跟踪目标,然后引导光束定向器准确对准目标。当导弹飞到适当距离进行激光发射,发射的高能激光在导弹易损

部分停留几秒后,摧毁导弹,并通过传感器判断毁伤效果,然后定位打击下一个目标<sup>[11-13]</sup>。

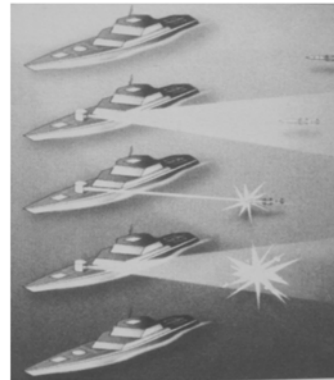


图4 舰载激光武器的作战流程

Fig. 4 Campaign flow of ship-borne laser weapon

与其他类型的激光武器相比,舰载激光武器有其自身的优缺点。除了一般激光武器具有的反应时间快、可连续多次发射及效费比高等特点外,相比于机载和车载激光武器,舰载激光器由于可以采用核动力及承载吨位,所以可负担体积超大、超重和消耗电能较大的激光武器。另外,相比陆基激光武器,舰载激光武器在达到同样的激光高能的情况下具有机动性强的优点。它的主要缺点是:对毁伤型应用,舰载激光武器的作用距离有限(3~5 km);易受天气条件影响,特别是海上作战,大风、大雾、大雨等极端天气条件经常出现,都会极大地限制舰载激光武器的效能。

总体来说,在现代高科技海战中,舰载激光武器仍然是最具发展前景的武器装备,它可以利用高能激光束拦截并摧毁大量的低空飞机、战术导弹及超低空飞行的反舰巡航导弹,致眩敌方侦查传感器等。因此,目前西方发达国家竞相研制,已开展了大量的海上发射试验。

## 3 发展动向分析

美国海军研究局的发展规划显示,自由电子激光器和光纤激光器是未来舰载激光武器的发展重点。他们计划在2015年具有100 kW级自由电子激光器的研制和演示能力,到2025年可以完成MW级的工程样机;另外光纤激光器已经可以作为短期应用装备在舰船上,在2010年美国雷神公

司已经演示过这样的武器系统。试验中,舰载激光武器为6套商用光纤激光器,组束后(32 kW)向3.2 km外,以时速480 km/h飞行的无人机发射,结果成功地将无人机烧毁。预计到2025年可以实现基于100 kW以上光纤激光器的武器装备。

除上述高能激光器的应用外,舰载激光武器也可以由低能、小体积重量的激光器组成,这是目前能够最先装备的武器类型。这种小型、实用、自动化、智能化高的激光器可以广泛地装备到各种类型的舰船上,用于干扰、致盲敌方部队人员、侦查设备及末段制导设备内部的光电传感器。

世界上第一个舰载低能激光武器是英国研制的舰载激光眩目器。在1982年的英阿海战中,英国就曾成功使用此种武器使阿军飞行员被照射后放弃了攻击计划。英国海军已经生产了200余套该武器,已经装备到多艘英国海军大中型舰艇上。

由于激光武器本身的局限性,未来发展的舰载激光武器还需要和现有的常规武器系统配合使用,组成综合的攻击防御系统,充分发挥综合效能。

舰载激光武器的出现,并不能完全取代传统武器,但其特别适于对低空飞行的目标进行打击,这样就可以和传统的舰载火炮系统组成一个交叉的火网。据理论推算,这可使防空、反导总的拦截率达到99%。

未来舰载激光武器还需向小型化、高效率方向发展,一个可行的方案就是利用高效率的固体激光器,采用自适应光学的方式来补偿海上大气对激光传输的影响,使达到目标处的光斑更小,能量集中度更高,这样达到同样作战效果的激光器可以在体积、重量、输出功率上都有所降低,进一步提升舰载激光武器的适用性。

#### 参考文献:

- [1] 王学军. 美国海军舰载激光武器研发进展与趋势[J]. 激光与光电子学进展, 2009, 46(12): 27-37.  
WANG X J. Developments and trends of US naval shipborne laser weapons[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2009, 46(12): 27-37. (in Chinese)
- [2] ERTON D H. A review of the development of optical countermeasures[J]. *SPIE*, 2004, 5615: 1-15.
- [3] 李焱, 曹立华, 王弟男. 惯导平台下舰载光电搜索跟踪系统的控制[J]. 光学精密工程, 2011, 19(5): 1126-1133.  
LI Y, CAO L H, WANG D N. Controlling of shipborne optoelectronic searching and tracking system based on inertial navigation platform[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(5): 1126-1133. (in Chinese)

发展舰载激光武器的同时,也要考虑反激光武器设备的研制,这样“矛与盾”的结合研究,才能最终达到最大限度发挥舰载激光武器效能的目的。如当我方装备被敌方激光击中后,可以利用后向反射法把激光能量反射回去,或者装备本身可以旋转运动,以降低激光束在一点的驻留时间,或者采用发射烟雾弹来衰减激光能量。考虑人员安全可以采取佩戴激光护目镜等措施。针对对方的防护措施,我方激光可采用加大激光能量,多束激光不同角度发射,采用超快脉冲激光等技术来削弱这些防护措施。

#### 4 结束语

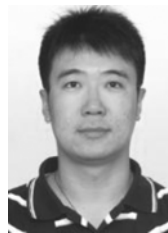
舰载激光武器作为常规舰载武器的有益补充,已经为各国军方所重视。目前,最有前景的舰载激光武器多基于自由电子激光器和固体激光器。除激光器本身以外,还必须发展精密的激光光束控制技术,除改进现有的空对空的跟踪算法以外,美国还在实施同轴和离轴两种光学定向器技术方案的比较,离轴光学系统可以解决中心遮拦问题,使中心光强较强的高斯光束得以全部传输。目前,国内中科院长春光机所已经掌握离轴光学系统的整体技术,但离轴光学系统由于不对称会引入光轴自动对准、其机械结构不平衡的问题,这些关键问题仍在进一步探讨中。与此同时,随着多种激光器的迅速发展,适用于防空反导、保护水面舰艇安全的激光武器将会大量涌现,这些激光武器的研制甚至可以向小型运输机、战斗机以及地面装甲车等机动平台上推广,成为一种普遍应用的军事装备。可以预见,在未来的海上作战中,高、低能舰载激光武器将承担越来越重要的作用。

- [4] 任国光. 高能激光武器的现状与发展趋势[J]. 激光与光电子学进展, 2008, 45(9): 62-69.  
REN G G. Current situation and development trend of high energy laser weapon[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2008, 45(9): 62-69. (in Chinese)
- [5] 徐大伟. 国外舰载激光武器的发展动向与分析[J]. 舰船电子工程, 2012, 32(1): 7-9.  
XU D W. Development trend and analysis of the shipborne laser weapon abroad[J]. *Ship Electronic Eng.*, 2012, 32(1): 7-9. (in Chinese)
- [6] 赵彦森, 李强, 周淳. 舰载激光武器及其发展趋势分析[J]. 舰船电子工程, 2010, 30(7): 1-3.  
ZHAO Y S, LI Q, ZHOU CH. Analysis of ship borne laser weapon and its development trend[J]. *Ship Electronic Eng.*, 2010, 30(7): 1-3. (in Chinese)
- [7] 汪光华. 舰载高能自由电子激光武器[J]. 现代军事, 1999(2): 42-43.  
WANG G H. The shipborne energetic free electron laser weapon[J]. *Modern Military*, 1999(2): 42-43. (in Chinese)
- [8] 杜若, 朱爱平. 美国海军发展舰载自由电子激光武器[J]. 飞航导弹, 2009(12): 20-22.  
DU R, ZHU A P. U. S. Navy development of carrier-based free electron laser weapon[J]. *Cruise Missile*, 2009(12): 20-22. (in Chinese)
- [9] 周伟. 美国海军激光武器技术的研究进展[J]. 激光与红外, 2009, 39(5): 461-463.  
ZHOU W. Research progress on the laser weapon technologies by U. S. Navy[J]. *Laser & Infrared*, 2009, 39(5): 461-463. (in Chinese)
- [10] COOK J R, ALBERTINE J R. The navy's high energy laser weapon system[J]. *SPIE*, 1997, 2988: 264-271.
- [11] 李焱, 陈涛, 曹立华, 等. 舰载光电设备跟踪掠海目标的控制[J]. 光学精密工程, 2010, 18(4): 935-942.  
LI Y, CHEN T, CAO L H, et al. Control of ship-based optoelectronic equipment for tracking near-sea targets[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(4): 935-942. (in Chinese)
- [12] 李焱, 曹立华, 王弟男. 惯导平台下舰载光电搜索跟踪系统的控制[J]. 光学精密工程, 2011, 19(5): 1126-1133.  
LI Y, CAO L H, WANG D N. Controlling of shipborne optoelectronic searching and tracking system based on inertial navigation platform[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(5): 1126-1133. (in Chinese)
- [13] 李博, 陈健, 王伟国, 等. 防空反导高能激光武器[J]. 中国光学, 2012, 5(4): 352-357.  
LI B, CHEN J, WANG W G, et al. High power anti-missile laser weapons for aerial defence[J]. *Chinese Optics*, 2012, 5(4): 352-357. (in Chinese)

#### 作者简介:



赵建川(1969—),男,吉林长春人,学士,工程师,1992年于海军电子工程学院获得学士学位,主要从事光电设备研制与改造方面的研究。E-mail: zaojc@ciomp.ac.cn



孙涛(1980—),男,吉林长春人,博士,副研究员,2003年、2006年、2010年于吉林大学分别获得学士、硕士、博士学位,主要从事自动目标识别,三维图像数据处理等方面的研究工作。E-mail: st\_23@soho.com



郭汝海(1976—),男,辽宁大连人,博士,副研究员,1999年、2001年、2007年于哈尔滨工业大学分别获得学士、硕士、博士学位,主要从事光束控制及激光应用方面的研究。E-mail: hitgrh@163.com