

机载激光武器技术发展探讨

郭 劲, 邵俊峰

(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: 美国的 ABL 系统是一个集成了大气补偿技术的兆瓦级机载激光武器系统, ABL 的设计目标是击毁敌方的弹道导弹。本文对 ABL 的作战使用方法、系统组成以及主要关键技术进行了介绍, 分析了其发展过程中遇到的技术困难, 探讨了我国机载激光武器的发展思路。

关键词: 激光武器; 机载; 机载激光武器

中图分类号: TJ95 **文献标识码:** A

DOI: 10.3788/OMEI 20102711.0001

Technical Overview of Airborne Laser Weapons

GUO Jin, SHAO Jun-feng

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

Abstract: The Airborne Laser (ABL) is an airborne, megawatt-class laser system with a state-of-the-art atmospheric compensation system to destroy enemy ballistic missiles at long ranges. This paper provides an overview of the ABL weapon system including the notional operational concept, the overall aircraft configuration, the technologies being incorporated in the ABL, and the difficulties encountered. Finally, we propose a feasible strategic frame to develop airborne laser weapons by Air Force of China.

Keywords: laser weapons; airborne; airborne laser (ABL) weapons

1 国内外发展现状及趋势

机载激光武器是美国最早研究和试验的一类高

能激光武器。早在 20 世纪 70 年代, 美国空军就实施了一项名为“机载激光实验室”(ALL)的计划, 将当时最先进的二氧化碳激光器安装到经过改进的

“波音”-707 飞机上,用于演示用高能激光拦截空中目标的技术可行性。但是,由于二氧化碳激光波长较长($10.6\text{ }\mu\text{m}$)、当时所能达到的功率较低(50 千瓦)、有效拦截距离还不到 5 km,而且没有适当的作战需求,加之美国在 80 年代初提出“星球大战”计划,转向重点研究防御助推飞行中弹道导弹的天基和地基高能激光武器技术,ALL 计划在 1984 年停止。

1996 年,美国国防部又启动了美国空军机载激光计划 (ABL),机载激光武器 (ABL) 系统使用安装在 747-400F 飞机上的高能氧化碘化学激光器^[1] (COIL) 拦截处于助推阶段的战区弹道导弹。ABL 机载激光武器系统主要用于拦截 400 km 以外处于飞行轨迹助推段的弹道导弹目标,是美国国家导弹防御系统的一个组成部分。我们看到,ABL 从刚开始就定位为战略级的武器系统,军事价值巨大。经过若干年的努力,ABL 若干关键系统取得突破。2002 年 5 月,飞机的改装工作完成。这些工作包括激光转塔的安装、机鼻的改造以及控制计算机等硬件的安装。交付的飞行转塔是光速控制/火力控制系统 (BCFC) 的心脏,采用全套阵列的镜面和光学装置对大气影响和飞行扰动进行修正,使高能激光束对准、到达并聚集到助推阶段的弹道导弹上。2007 年 7 月,美国导弹防御局 (MDA) 完成了机载激光器 (ABL) 的空中模拟攻击试验,通过跟踪、瞄准和模拟攻击空中目标,对机载激光器的战场管理系统以及波束控制/火控系统的性能进行了演示验证。2009 年先后进行了数次空中试验,最近的一次击落了 5 架无人机,但距离达到原设计要求还遥遥无期。



图 1 ABL 系统

由于 ABL 作战性能远远达不到预先设计指标,为了充分利用 ABL 计划业已取得的成果,美国空军和波音公司于 2002 年启动了先进战术激光器计划 ATL,用于防御巡航导弹和精确打击地面目标,杀伤距离 5~15 km,作战高度 150 m,可执行致命性或非致命性打击任务,2009 年的实验证明,实际作战能力达到了设计要求。ATL 大大推进了机载激光武器系统的实用化进程。可以说,ATL 是个大大简化的 ABL 系统,其作战价值也与 ABL 相距甚远。

从技术水平来讲,虽然进展缓慢,ABL 代表了当前机载激光武器研究的最高水平;从应用需求来看,作为战略级的武器系统,ABL 仍然是机载激光武器未来发展的方向。本文就 ABL 的系统组成、作战使用方法以及主要关键技术进行综述,理解其发展中遇到的技术困难,为我国发展相关武器技术研究提供经验。

2 武器系统构成

整个系统由 4 个主要部分组成,即激光器、光束控制/火控系统、战场管理系统以及波音载机,如图 2 所示。

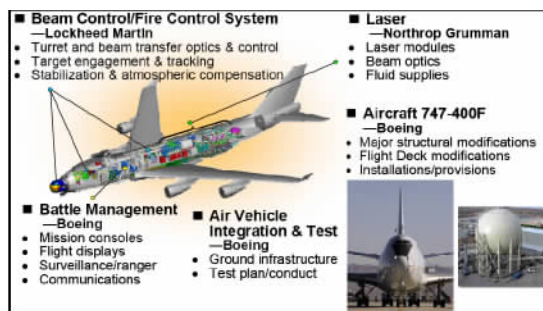


图 2 ABL 组成

ABL 平台是一个经过改编的商用波音 747-400 货运飞机。货运机的前端移开后安装了跟踪单元和 1.5 m 的望远镜。飞机的地板和底部经过改装以增强强度,并且增强耐高温性能。

光束控制系统是控制光束、保证远场聚焦特性,以提高功率密度实现目标硬损伤的关键。主要涉及的核心技术包括利用尾焰红外特性的被动捕获技术、

为稳定目标位置主动跟踪弹体技术以及大气补偿的自适应光学技术。大气补偿系统对于高能激光远距离传输到靶达到击毁效果非常重要。

作战管理指挥、控制、通信、计算机和情报(BMC4I)系统提供有源和无源侦察、威胁排序、杀伤评估、联合战区互用、自防御组合等传感器。这些无源侦察传感器是改进的F-14红外搜索和跟踪(IRST)传感器。有源系统是一个改进的LANTIRN光电目标瞄准吊舱。目前,ABL机组由4个BMC4I操作员和飞行员及联合飞行员组成。战场管理系统提供自动目标识别功能,这样ABL在导弹的助推段就能准确获取导弹的精确位置。ABL还有通讯设备,

用来与反导系统的其他自系统进行通讯,并提供导弹发射和防御战况的实时信息。

激光器系统使用COIL技术。高能激光器将采用一个几兆瓦的化学氧碘激光器(COIL),COIL由14个关键模块组成。最先进的机械和轻量化技术提供的兆瓦级激光系统能够满足ABL对于体积和重量的限制条件。

3 作战使用方法

ABL机载激光武器系统主要用于拦截400 km以外处于飞行轨迹助推段的弹道导弹目标,是美国国家导弹防御系统的一个组成部分^[2]。

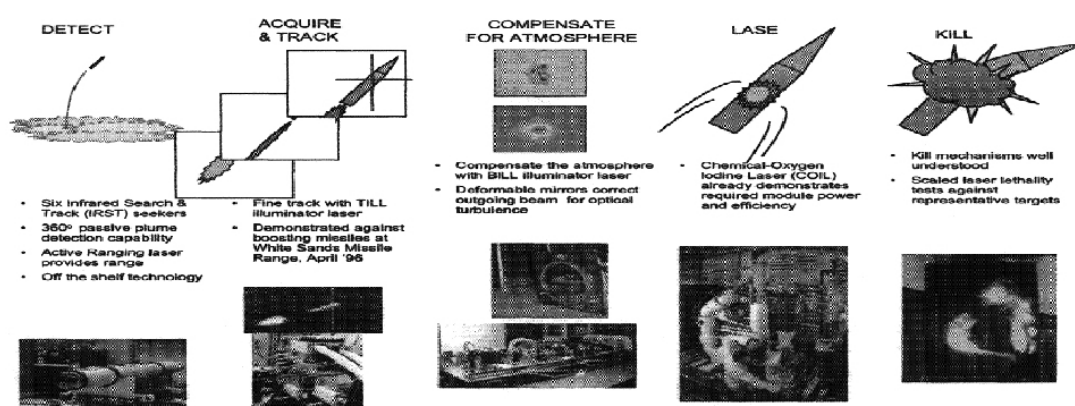


图3 作战过程示意图

具体工作流程如图3所示。首先,通过告警装置发现导弹。明亮的导弹火焰在穿过云层时使用红外搜索跟踪系统(IRST)进行捕获跟踪。为了实现360°的视场,共有6套相同的系统布置在ABL载机的周围。主动测距系统(ARS)用来测算目标的距离,区分有效目标,然后命令光束控制/火力控制(BC/FC)在特定坐标点处开火。BC/FC惯导单元(IRTU)指向目标,并使跟踪单元(TA)与其同轴。捕获系统获取了导弹的尾焰,并将尾焰图像呈现在视场的中心。第二,尾焰跟踪单元利用共孔径获取尾焰的图像,优化跟踪单元的光学系统设置,开始导弹跟踪程式。将计算出的指示角度告知跟踪指示激光系统TILL,发射激光并且逐步将瞄准点从弹尾移到导弹头部。第三,TILL分析回波图像,锁定弹体头部的跟踪点。同时,TILL使用测距激光精确计

算出距离。第四,信标激光BILL照射到导弹的“甜点”位置。从目标表面反射回来的光与高能激光HEL的传输路径是相同的,这样就可以利用哈特曼传感器等波前传感器进行分析,得出大气扰动情况;该波前信息传送给兆瓦级高能激光HEL的变形镜,变形镜提前变形以修正高能激光HEL的波前畸变,从而实现对远场聚焦性能的修正。第五,经高度聚焦的激光作用在弹体的最佳攻击位置,由热效应造成弹体发生裂缝等现象,最终导致弹体损坏。热损伤机理研究已经相当成熟。

4 关键技术

ABL的关键技术甚多,包括重型载机技术、大功率激光器技术、自适应技术、激光主动照明技术、图像处理技术、信息技术以及精密机械与控制技术

等大量高精尖技术。这些技术均有广泛的应用,美国实际上以机载激光武器技术研究,带动了一大批核心技术的发展。由于机载激光武器系统的核心是激光,本文只就激光相关的核心技术部分作一讨论。

4.1 激光器技术

高功率激光器是机载激光武器技术的核心技术

之一。最重要的参数是功率,这是因为到靶功率密度决定着激光击毁靶标的作用时间,ABL使用的是兆瓦级化学氧碘激光器(COIL)。

化学氧碘激光器是菲利普实验室于1975年发明的。图4演示了高能激光器集成到一架飞机上的几项必要的关键技术,激光燃料可供使用几个小时。

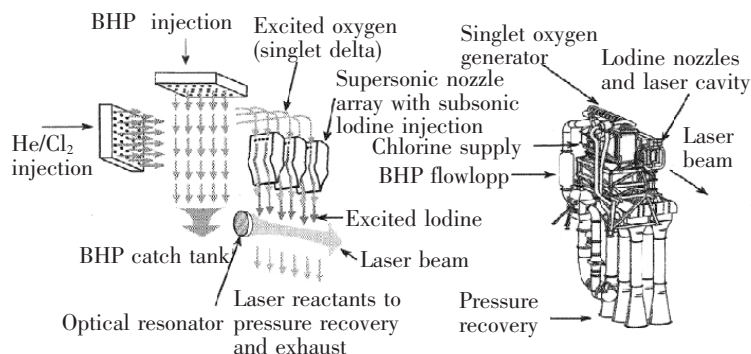


图4 化学氧碘激光器

图4包括激光燃料循环使用和轻型材料在内的几项小型化技术。1996年夏,美国空军演示了用以满足样机ABL要求的全功率高效率化学激光模块。事实上,该模块的输出功率超过ABL技术指标20%。

4.2 自适应光学技术

自适应光学是远距离激光武器技术的核心技术^[1]。研究结果表明,自适应光学系统能够大大提高同一套激光器的作战距离,如图5所示。在相同的大气条件下,添加了自适应光学系统的激光武器系统能够达到无自适应光学模块的激光武器的10倍。具有非常高的反射性能的光学镀膜材料和变形镜技术使非致冷光学系统可用于ABL中,消除了早期的“机载激光试验室”(ALL)计划上看到的光束倾斜和抖动。取消致冷系统还简化了设计,降低了重量和成本。这些测量和补偿大气扰动的可变形光学系统和算法的使用,已经在20世纪80年代在菲利普实验室的“星火”光学靶场进行了试验。此外,在1996年夏,有源精跟踪助推段导弹的能力在白沙导弹靶场进行了演示,但是其在ABL系统集成后的性能仍然不得而知。

自适应光学主要包括“导星”、波前传感、波前

重构以及变形镜4个关键技术。“导星”是个形象的说法,主要功能是提供自适应光学参考信号。波前传感、波前重构分别可以通过哈特曼传感器、波前重构算法得到。变形镜根据波前重构的结果修正高能激光的波前,以提高HEL到靶功率密度。在战术激光武器中使用BILL信标光照射弹体瞄准点,即弹体作为“导星”,从而修正高能激光HEL传输时大气造成的扰动。对于战术激光武器系统来讲,需要提供高损伤阈值的变形镜。变形镜技术(工艺)是自适应光学系统中最难的部分之一。

4.3 激光应用技术

整个ABL使用了4种不同的激光。ABL可谓集激光应用于一身,包括激光照明、测距、激光损伤等。

具体说来,ABL系统这4种激光如图5所示^[2],百瓦级11.16 μm 的CO₂激光用来测距,使用其提供的信息,战场管理系统就能够判断发射和瞄准点估计。Yb:YAG激光器的作用是照亮导弹的前端,为跟踪系统提供稳定的图像,实际上,激光照明涉及了大量图像处理的难题。Nd:YAG激光作为自适应光学的信标光使用^[2]。最后,COIL高能激光用来摧毁目标。这些激光紧密合作,才能使得整个系统达到设想的

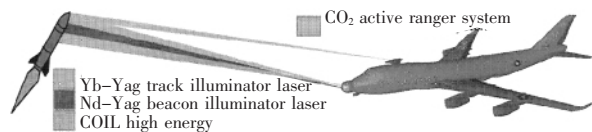


图5 ABL使用的各种激光

技术指标。多束激光在 ABL 上的应用也是一个技术难题。

除此之外,系统集成、重型载机技术以及图像处理也都是战术激光武器发展中遇到的难题,这里就不再一一介绍。ABL 之所以还远未达到目标是上述一系列核心技术还未完全突破造成的,这其中最大的难点包括系统集成和大气自适应光学等部分。

5 讨论

虽然设想的机载激光武器军事前景诱人,但投入甚巨,研发时间亦极其漫长。例如,ABL 第二阶段 PDRR (项目启动和风险降低阶段, Program Definition and Risk Reduction) 投入超过了 11 亿美元。在前期大量研究的基础上,大大简化的 ATL 系统投入亦达到 1.8 亿美元。机载激光武器从 20 世纪 70 年代机载激光实验室 (ALL) 开始,到 2010 年以 ATL 为阶段性成果,前后经历了将近 40 年时间。那么,发展机载激光武器有必要么? 其价值何在?

如前所述,机载激光武器是一个庞大的系统,包含众多的核心技术。虽然 ABL 还未达到最初设定的目标,但部分核心技术的突破却使得美国大大领先于其他国家,例如各种激光应用技术、高功率自适应光学技术等。同时,到现在为止,美国仍然是战术激光武器最大的投入国,各种地面战术激光武器逐步走向成熟,我们相信,机载激光武器系统在克服若干关键困难后,亦很有可能变成现实。由于 ABL 将用于战略反导系统,一旦变成现实就将产生巨大的战略威慑力。我们知道,在一个历史时期内,各种军事资源之间是很难相互转化的。因此,必须缩小我国在该领域与美国等发达国家的差距,防止

受到战略讹诈。

然而,我国发展机载激光武器技术的确困难重重,需要大量基础研究和核心技术投入,其成果亦需较长时间才能转化为现实的军事竞争力。基于这种考虑,我国一方面应在战略上向 ABL 方向发展,最终发挥出机载激光武器独特的军事价值;另一方面亦应考虑现实条件,在机载激光武器系统众多的核心技术领域中,投入资金集中精力研究若干基础性、平台性的核心技术以及有部分基础、应用范围广泛的相关技术,保障研究可检查性和阶段性成果。主要包括:

(1) 高功率激光器技术。高功率激光器技术是平台性建设的基础。当前,激光器正朝着固体化、小型化方向发展。必须紧跟形势,加大基础研究的投入,掌握高功率激光器这一核心技术。

(2) 重型载机技术。战术激光武器对载机提出了相当高的要求。以 ATL 为例,仅激光器载重就超过 5.5 t,美国为其配备的载机 C130H 载重达到 22 t。结合我国“大飞机计划”的开展,我国自主研发的重型载机技术在不久的将来将变成现实。

(3) 激光应用技术。这里主要指激光照明和激光雷达(测距、测速)技术。我国在这些领域基础较好;同时,激光应用技术可广泛应用于战场的各个层次、各种环境。

(4) 自适应光学技术。自适应光学是提高战术激光武器作战性能的关键因素,我国在成像自适应光学领域基础良好,除变形镜技术外,已经掌握了大部分核心技术。可以适度加大投入力度,提高这一核心技术。

6 结 论

本文以 ABL 为例分析了机载激光武器的组成、作战使用方法以及核心技术,并指出我国发展机载激光武器的必要性,提出以激光器、重型载机、自适应光学和激光应用等若干核心技术为突破点的发展路线。

参考文献

- [1] 郭汝海. 化学氧碘激光器研究进展[J]. 光机电信息, 2010, 27(5): 22-28.
- [1] Lamberson S E. The airborne laser[J]. *SPIE*, 2002, 4760: 25-33.
- [2] Billman K W, Breakwell J A, Holmes R B, *et al.* ABL beam control laboratory demonstrator[J]. *SPIE*, 1999, 3706: 172-179.

作者简介: 郭劲(1964-), 男, 汉族, 吉林长春人, 博士, 研究员, 博士生导师, 2008年于长春光机所获得博士学位, 主要从事光电对抗技术与装备研制方面的研究。E-mail: wtfeng@sina.com

《光学 精密工程》(月刊)

《光学 精密工程》是中国仪器仪表学会一级学术期刊, 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所主办, 科学出版社出版。由国内外著名科学家任顾问, 陈星旦院士任编委会主任, 国家科技部副部长曹健林博士担任主编。

《光学 精密工程》坚持学术品位, 集中报道国内外现代应用光学、光学工程技术、光电工程和精密机械、光学材料、微纳科学与技术、医用光学、先进加工制造技术、信息与控制、计算机应用以及有关交叉学科等方面的最新理论研究、科研成果和创新能力。本刊自2007年起只刊发国家重大科技项目和国家自然科学基金项目及各省、部委基金项目资助的论文。《光学 精密工程》竭诚欢迎广大作者踊跃投稿。

本刊获奖:

中国精品科技期刊
中国科学技术协会择优支持期刊
中国百种杰出学术期刊
第一届北方优秀期刊
吉林省双十佳期刊

国际检索源:

《美国工程索引》(EI Compendex)
《美国化学文摘》(CA)
《英国INSPEC》(SA)
《俄罗斯文摘杂志》(PJK)
《美国剑桥科学文摘》(CSA)

国内检索源:

中国科技论文统计源期刊
中国学术期刊(光盘版)
万方数据系统数字化期刊
台湾华艺中文电子期刊网
中国科学引文数据库
中国物理文献数据库
中国期刊网

中文核心期刊要目总览(北大)
中国学术期刊综合评价数据库
中国光学与应用光学文摘
中国科学期刊全文数据库
中国光学文献数据库
中国学术期刊文摘
中国物理文摘

电 话: (0431) 86176855

传 真: (0431) 84613409

E-mail: gxjmgc@ciomp.ac.cn gxjmgc@sina.com

<http://www.omeinfo.com>