

“机载激光试验台”现状及实战应用困境浅析

曾 鹏 杨春才 张夏彬 付安镇

(西北核技术研究所, 新疆 乌鲁木齐 841700)

摘要 从“机载激光试验台”发展历程和最近美、德学者对“机载激光试验台”实战效应的评估结果上看,机载激光武器在反导、反卫上具有良好的应用前景,但真正投入实战尚需时日。基于对最新动向和实验结果的认识,指出了当前影响机载激光武器远程打击能力的主要因素。

关键词 激光技术;激光武器;机载激光试验台;效能评估;实战应用

中图分类号 TN24 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP49.050004

Study on the Status of ALTB and Obstacles Against Its Deployment

Zeng Peng Yang Chuncai Zhang Xiabin Fu Anzhen

(Northwest Institute of Nuclear Technology, Urumqi, Xinjiang 841700, China)

Abstract According to the development roadmap of airborne laser test bed (ALTB) and the evaluation results of its battlefield effect made by scholars from Germany and USA, the foreground of ALTB against missile and satellite is favorable and encouraging, whereas there is still a long way to go to deploy and employ it on future battlefield. Based on the near-term development and experimental results, we point out the main factors which have significantly negative influences on the long-range strike capability of ALTB.

Key words laser technique; laser weapons; airborne laser test bed; performance evaluation; practical application

OCIS codes 140.3440; 350.1820

1 引言

高能激光武器经过数十年的发展,已经越来越接近实战应用水平。尤其是美国导弹防御局的机载激光(ABL)武器,在2010年密集地进行了多项成功打靶试验,成为美军最接近实战部署的高能激光武器。同时美军其他高能激光武器项目也取得了极大成功,如美国海军的自由电子激光武器先后成功进行了击落无人机、击毁小艇引擎等多项阶段性试验。

随着美国高能激光武器试验的成功,人们愈发关注何时能看到高能激光武器真正用于战场,尤其是2010年表现出众的机载激光武器。不可否认,美国机载激光武器项目已经取得了巨大成功。但如果按照真正的战场要求,机载激光武器仍有许多关键问题需要解决。

2 国外机载激光武器发展概况

美军“机载激光武器”项目现已改为“机载激光试验台”(ALTB)项目,始于1994年,主要分包给波音公司、诺斯洛普·格鲁曼公司和洛克希德·马丁公司。其中波音公司是主承包商,主要负责提供飞机、作战管理设备以及全套系统集成和测试;诺斯洛普·格鲁曼公司提供兆瓦级高能化学氧碘激光器(COIL)及用于测量飞机和目标间大气条件的低功率信标照明激光器;洛克希德·马丁公司提供光束控制与火控系统。经过几十年的研发,ALTB项目经历了从概念到实物、从地面试验到空中试验、从分系统试验到全系统试验以及从低功率试验到高功率试验的转变。虽然ALTB项目的发展受到预算削减、政策调整和外界质疑等多方面因素影响,但该项目仍是目前世界上最接近实战应用的战略激光武器。

ALTB项目由一架改装的波音747飞机及其装载的两套千瓦级固体激光器和一套兆瓦级高能激光器组成。ALTB攻击过程包括如下四个步骤^[1]。

收稿日期: 2011-09-16; **收到修改稿日期**: 2011-11-26; **网络出版日期**: 2012-04-01

作者简介: 曾 鹏(1984—),男,工程师,主要从事激光及其应用等方面的研究。E-mail: zp254553668@126.com

- 1) 探测:ALTB使用六个红外传感器中的一个,通过尾焰发现助推段导弹;
- 2) 跟踪:用一套千瓦级固体激光器的跟踪照明激光器跟踪导弹并确定精确打击点;
- 3) 瞄准:用一套千瓦级固体激光器的信标照明激光器测量大气扰动,然后用自适应光学系统校正信标激光以使高能激光精确瞄准并聚焦在靶目标上;
- 4) 攻击:通过飞机鼻锥上的一个大型瞄准镜,火控系统将 COIL 光束聚焦到导弹上受压区,并保持激光对该点的作用,直至能量沉积足够影响导弹结构完整性而使其失效。

2010年ALTB共进行了40次飞行试验,其中8次为拦截助推段目标试验^[2]。2010年1月10日,ALTB在致命性破坏射程外从一个装载仪器的导弹上成功收集到高能激光器性能数据,为2月3日和11日ALTB分别成功打击并摧毁助推段固体燃料 Terrier Black Brant(TBB)导弹和助推段液体燃料 Foreign Military Acquisition(FMA)导弹做了技术准备,后两次试验也达到了预期目标。随后在5月3日,ALTB在1月试验的两倍射程外再次从一个装载仪器的导弹上成功收集到高能激光器性能数据,尽管该次试验的结果表明ALTB有能力在第一次致命性破坏射程的两倍射程外摧毁FMA导弹,但在9月1日和10月20日分别进行的两倍射程外助推段液体燃料FMA导弹和助推段固体燃料TBB导弹拦截试验中,ALTB均未能达到预期试验目标^[1]。

虽然机载激光武器在2010年进行的一系列打靶试验中取得了部分成功,但也暴露出很多问题。如在2010年9月1日的试验中增加了机载激光武器的打击距离。在成功完成第一次试验之后,第二次试验没有达到使导弹助推提前结束的预期任务目标。后来美国导弹防御局分析认为这是“因为一次数据中断导致高能激光束瞄准条件未达到安全性要求,并最终停止打击过程。在造成任何其他损害或激光移离靶目标前,保险系统成功关闭了高能激光器出光^[1]”。这表明距离的增加对机载激光武器的作战管理系统、波束控制系统以及高能激光器都提出更高的要求。而2010年10月20日的试验在跟踪过程中,高能激光器误报其未准备就绪并停止了打击过程。根据美国导弹防御局分析,“这是由于一个控制阈值的单微开关误报了一个关闭值条件。这个值随后被替换,新的软件程序将确保这类单一错误不会再导致系统关闭^[1]”。

从上述失败试验可以看出定向能武器(DEW)的一次成功打击是全系统协同正常工作的结果,任何子系统或子系统中某一部件的误报或出错都将导致定向能武器无法正常工作。ALTB实战化前仍面临许多关键技术、政治和军事问题需要突破。在该项目花费50亿美元之后,根据2010年的试验,美国国防部将该项目转化为一套试验台,用以演示定向能攻击弹道导弹的可能性。今后4年ALTB将向国家试验平台(National Test Platform)转变^[2]。

从美国ALTB项目的变化可以看出,当前部署激光武器对助推段导弹进行拦截还不太现实。但欧美却一直在推进这方面的工作。美国除了部署用于跟踪的新卫星以外,导弹防御局还开展了一项称为“机载红外”(ABIR)的项目,使用装载一套标准“雷神”多光谱瞄准系统鼻锥的“掠食者”无人机进行目标跟踪。欧洲的Diehl公司也发展了一套中波红外和长波红外联合机载传感器系统,用以探测导弹助推段尾焰。

2011年6月27日,波音公司又开展了一项新的车载高能激光器技术演示计划,开始在一个车载平台上装配光束控制系统和其他关键硬件。波音公司坚信定向能将引领美国武器系统的下一次飞跃。美国陆军共开展了三项高能激光可行性计划:1)是高能激光演示验证试验,该试验对激光武器的跟踪和瞄准有很高的参考价值;2)是固体激光器试验台试验,这是一个微型105 kW激光器,计划于2012年初在新墨西哥州的高能激光系统试验设施部署,届时该系统功率有望达到120 kW;3)是一系列激光性能和效应试验^[3]。

最近也有报道称俄罗斯计划恢复苏联时期的机载激光计划,俄罗斯的激光器装载在Beriev A-60飞机上,该飞机与美国ALTB的载机一样有球形鼻锥,但该飞机鼻锥并未开口,而是在飞机背部有一个大型凸起用于出光。有分析家认为这是一个1 MW激光塔,而且就其安装位置而言,应是用于反卫星,而不是地面或其他空中目标^[4]。但由于美国机载激光武器项目的前车之鉴,俄罗斯在发展机载激光武器方面持谨慎态度。

3 机载激光试验台远程打击能力评估

美俄两大军事强国都在致力于发展高能机载激光武器;对机载激光武器打击能力的质疑也从未停止,针对此问题国内外许多专家都曾开展过研究。

早在2007年,就有国内学者专门针对美国机载激光武器的作战能力进行了分析,应用光学基本理论,通过

强激光的衍射角和激光强度计算得出靶目标上的功率密度与温升,并与常规导弹发动机壳体的熔点比较,认为在射程 100、200、300 km 的近衍射极限条件下,机载激光武器对弹道导弹主动段发动机能够产生严重毁伤^[5]。同时,也有学者对激光远距离运动目标辐照性能^[6]、高能激光武器作战效果^[7]以及舰载激光武器反导作战的效能^[8]等问题从激光能量和靶目标特性的角度,对高能激光武器的攻击效果进行了公式化的定量研究。

在机载激光武器试验阶段,这些研究是必要的,高能激光的输出功率也是试验的主要测量和武器鉴定参数之一,对研究美国机载激光武器试验具有一定的指导意义。但如果开始研究机载激光武器真实战场的应用,具体的技术细节就不是影响其作战效果的唯一因素。在现代联合作战条件下,武器系统的任何“短板”都可能演化成整个武器系统的致命伤,在进行作战效能理论计算的过程中还需要考虑战场环境和作战方式等多方面的影响。针对机载激光武器逐渐接近实战应用的趋势,需要在更接近实战环境的条件下,以作战想定为基础对机载激光武器的作战效能进行分析。

2010年2月,美国斯坦福大学国际安全和合作中心的 Jan Stupl 和德国汉堡大学和平研究和安全政策机构的 Götz Neuneck^[9]联合撰写了一篇 60 页的评估报告,对机载激光远程打击问题进行了较为全面的模型分析和数值计算,并获得了一些有价值的建议。

该评估报告首先建立了对激光武器打击能力的评估方法(如图 1 所示)^[9],并以机载激光武器打击一枚朝鲜攻击日本的中程液体燃料弹道导弹想定为蓝本进行评估,激光打击距离 400 km(如图 2 所示)^[9]。这一攻击距离根据两点假设^[9]确定:

1) 机载激光武器处于防空导弹射程之外。有报道称,当前朝军拥有射程达 200 km 的陆基防空导弹。

2) 导弹的发射位置尽可能远离海岸。针对朝鲜的想定中,假定朝鲜发射导弹的发射点靠近中国边境。在针对中国的想定中,由于中国国土面积较大,将发射点假定在中国国土腹地。

该评估方法首先计算激光投射到靶目标上的激光强度,然后计算由此引起的目标被照射区域的温升,最后根据温升确定导弹材料应力是否超过屈服强度以评估激光打击效果。

根据模型计算的结果,报告认为在当前 ALTB 功率强度(3 MW)^[9]且对激光打击最有利的条件下,激光对导弹引擎燃料罐壳体的攻击不足以使其金属外层熔化,但会导致导弹受到的应力超过屈服强度而发生形变,进而影响导弹攻击距离,使导弹不能最终命中目标(如图 2 所示)。

同时,该报告还分析了机载激光武器对三级弹道导弹拦截的能力,并以打击朝鲜、伊朗和中国的导弹想定为基础进行评估。参照前述攻击距离的假定条件,根据计算,对朝鲜和伊朗导弹的拦截,由于攻击距离较短(朝鲜 400 km,伊朗 900 km),激光会对弹道导弹产生较大影响。而对中国导弹的攻击,由于攻击距离较长(1600 km)以及地球曲率的影响,激光不能造成太大的影响。据此认为:机载激光武器在对领土较小国家的导弹进行拦截的过程中,会发挥一定的作用^[9]。

该报告中值得注意的一点是评估了 ALTB 打击卫星的能力。尽管美国导弹防御局对 ALTB 反卫的能力一直讳莫如深,但 ALTB 的机动性、卫星轨道的高可预见性以及高空对激光打击的有利条件,使得 ALTB 能够在反卫中发挥出色作用。而且卫星不方便像导弹一样进行临时或永久抗激光加固处理,对激光攻击的防御能力很低,高能激光甚至可以将卫星烧穿并产生极少碎片。即使卫星上的传感器可以用光闸装置进行

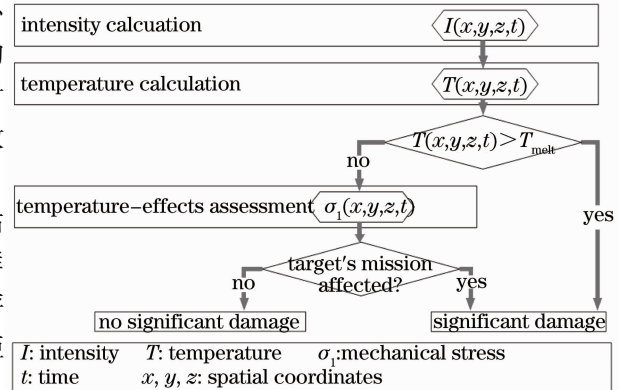


图 1 激光武器打击评估流程图

Fig. 1 Flow chart of the assessment of laser DEW engagement

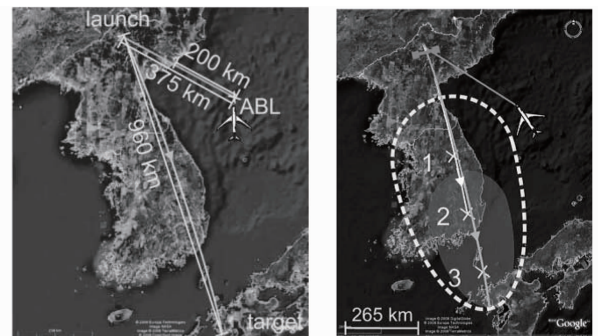


图 2 导弹防御想定及超过屈服强度不同时刻弹头可能影响区($t_1=58$ s; $t_2=64$ s; $t_3=68$ s)

Fig. 2 Missile defense scenario and possible warhead impact after an ABL engagement ($t_1=58$ s; $t_2=64$ s; $t_3=68$ s)

保护,但在光闸保护期间卫星上的传感器也无法发挥应有作用,能够达到激光打击的目的。

4 机载激光武器发展面临的主要问题

通过评估结果以及评估过程的复杂性可以看出,激光成功进行导弹防御取决于许多因素。这些因素突出表现在以下方面。

1) 光学部件易损。激光武器通常具有巨大、易损的光学装置,这些光学装置未校准或在军事行动中受到污染,都会严重降低激光武器打击能力。实战中的机载激光武器可能需要经常进行光学部件校准和清洁,这必然影响其作战效能的发挥。在当前及今后一段时间内,这都是制约激光武器战场部署的主因之一。但随着光纤激光器等新型激光器的出现,这一问题有望解决。

2) 激光器功率受限。激光源技术的发展仍然制约着激光武器的发展。在未来激光武器中最有发展前途的固体激光器的功率也是在最近才达到 100 kW 的武器量级,而光纤激光器的功率还未达到 100 kW 的战术应用级水平。

3) 高精度、高速度光束控制系统的发展也对激光武器发展产生很大影响。激光对靶目标的作用需要一定作用时间,在此作用时间内必须通过高精度的光束控制系统保持激光始终投射在靶目标的相同瞄准点上;同时,机载激光武器要应对多目标,还要求光束控制系统有很高的目标转换速度。如机载激光武器距靶目标 400 km 远,要使激光瞄准点的瞄准误差控制在 0.5 m 以内,控制镜的角指引精度就需要控制在 10^{-6} rad 量级^[9]。同时机载激光武器还置于运动的飞机中,更增加了光束控制难度。

4) 实战中激光的信标和瞄准点的选择较难确定。为了克服大气湍流对激光的影响,需要在靶目标上选择信标点和瞄准点,且由于靶目标与飞机平台的相对运动,信标点和瞄准点间需保持一定距离,而实战中靶目标的长度可能不能达到信标点与瞄准点之间必要的距离,影响对大气湍流的校正作用。即使能选择信标点,但随后根据信标点选择的瞄准点由于导弹材料和结构的问题,可能也不适合用于打击。

5) 大气和地理条件对激光作用存在不可忽视的影响。大气条件对激光的作用使激光武器的远程和近地目标打击受到影响。除了雨、雪、雾等天气因素的影响,湍流及大气对激光的吸收和散射会造成激光能量降低和畸变。同时激光发射的高能量会使大气对激光产生非线性作用,因此激光的大气传输有一定的功率限制^[9]。而近地面大气的强烈吸收作用使得激光武器不可能摧毁仍在发射台上的导弹。地理条件对激光的作用,使激光打击受地球曲率和地形的影响。尽管可以通过在战场上部署中继镜解决这一问题,但必然给光束控制系统进一步增加难度。

6) 靶目标运动影响激光武器瞄准。由于 ALTB 是在导弹助推段进行拦截,而导弹在该阶段处于不断加速过程中,导弹速度始终处于变化状态,不利于激光武器瞄准和打击。

7) 激光武器打击能力受目标抗激光加固措施影响。对于人员,可以佩戴护目镜预防激光的影响,同时激光对人员的影响依赖于背景光等因素;对于导弹,可以在临发射前对导弹表面进行简单的抛光处理,使导弹对激光的吸收率从 0.10 减小到 0.04^[9],而在导弹表面提前镀一层高反射层或者通过先进的制导系统使导弹沿轴向旋转都能降低激光对导弹的影响(如图 3 所示)^[9]。同时,激光武器的诞生必然催生对激光武器

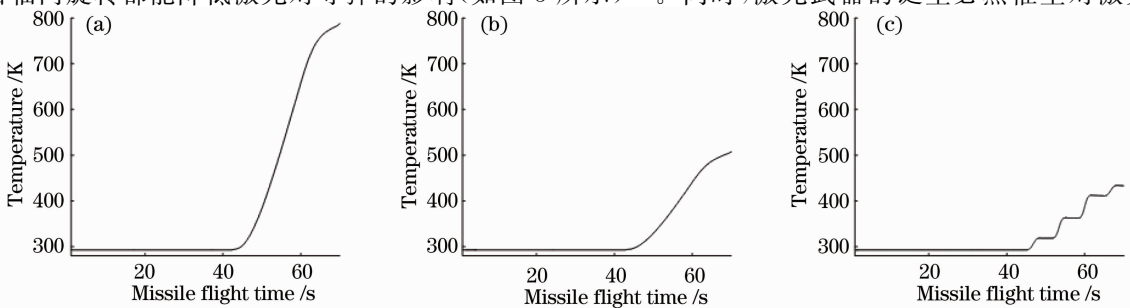


图 3 反激光措施对激光所引起升温与飞行时间的关系。(a) 无反制措施;(b) 提高反射率(吸收率降至 0.04);(c) 0.3 Hz 旋转

Fig. 3 Effects of countermeasures to laser on the curve of maximum temperature vsrsum flight time.

(a) No countermeasure; (b) increased reflectivity (0.04 absorption); (c) 0.3 Hz rotation

的反追踪能力,激光穿过大气时散射的光束可以用于追踪激光武器的位置,进而将激光武器击毁。

8) 对过饱和攻击的应对能力有限。一般来说,进攻国家可以采用过饱和攻击的战术使敌方的防御措施形同虚设。而激光武器由于其散热、能源以及部署位置的问题,在应对这种过饱和攻击时必然无法完全应对。

9) 国际环境对激光武器发展的影响。由于机载激光武器不同于以往任何武器,它可能成为美国第一个可用于实战的助推段导弹拦截系统。同时,它对于卫星的打击能力也很突出,因此对国际安全影响很大。部署机载激光武器可以被视为对其他发展太空实力国家的威胁,并导致新一轮军备竞赛以及相关技术扩散。发展激光武器的相关国家必然会考虑这一问题。

10) 最优攻击环境下评估效果并不理想。评估报告是针对最有利于激光打击的条件下对激光打击效果进行的评估,如湍流影响比实战中小、激光选用可能最大功率、不考虑激光武器系统性能影响以及目标是单级单层液体燃料火箭等。但实际计算结果却表明:机载激光武器当前的发展水平还不足以摧毁这样的目标,最多只能缩短导弹射程,其打击效果并不理想。

5 结束语

上述技术、政治和军事等原因使高能激光武器离真正成为可用于实战的武器装备还有相当距离,而且发展代价昂贵^[10]。在当今的国际和军事环境下,单个武器的优势对整个战争的影响已经减小,战争更多的是以体系对体系的形式进行。美俄等国在发展激光武器时,必然要持谨慎的态度,考虑投入与产出之间的平衡^[11]。因此,机载激光武器在可预见的未来只会作为一种概念武器发展,走样机战略,同时作为“试验台”为更多高能激光武器试验提供平台和保障,而激光武器真正走入战场尚需时日。

参 考 文 献

- 1 U. S. Missile Defense Agency. Fact Sheet: The Airborne Laser Test Bed[R]. 2011
- 2 U. S. Government Accountability Office. Defense Acquisitions: Assessments of Selected Weapon Programs[R]. 2011
- 3 Kenneth Kesner. Light Truck: in Huntsville, Boeing, Army Roll out Next Phase of Laser Program to Help Protect Troops [EB/OL]. <http://missiledefense.wordpress.com/2011/06/30/light-truck-in-huntsville-boeing-army-roll-out-next-phase-of-laser-program-to-help-protect-troops>, 2011
- 4 Chris Pocock. Look Out Above! Russia May Target U. S. Sats with Laser Jet[EB/OL]. <http://www.wired.com/dangerroom/2011/06/is-a-russian-laser-aiming-for-u-s-satellites>, 2011
- 5 Yuan Tianbao, Shi Yanxia, Jiang Na. Analysis of America airborne laser combat capability[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2007, **36**: 72~74
袁天保, 石艳霞, 姜娜. 美国机载激光武器作战能力分析[J]. *红外与激光工程*, 2007, **36**: 72~74
- 6 Xue Haizhong, Lei Ming, Zhang Haitao. Study of the laser on the irradiation performance of the far moveable target[J]. *Optical Technique*, 2007, **33**(2): 223~224
薛海中, 雷鸣, 张海涛. 激光对远距离运动目标的辐照性能研究[J]. *光学技术*, 2007, **33**(2): 223~224
- 7 Sui Jiangbo, Sun Dongyan, Ma Lemei. Study on shipborne laser weapon against antiship missiles[J]. *Modern Defence Technology*, 2006, **34**(4): 6~9
隋江波, 孙东延, 马乐梅. 舰载激光武器反导作战使用[J]. *现代防御技术*, 2006, **34**(4): 6~9
- 8 Bian Jing, Ning Tianfu, Xu Hong. Design practice of high power laser weapon and analysis of action effect[J]. *Laser & Infrared*, 2008, **38**(6): 528~530
卞婧, 宁天夫, 许宏. 强激光武器的设计考虑和作战效果分析[J]. *激光与红外*, 2008, **38**(6): 528~530
- 9 Jan Stupl, Götz Neuneck. Assessment of Long Range Laser Weapon Engagements: The Case of the Airborne Laser[R]. 2010
- 10 Wan Dongsheng. Briefing of ABL project in the United States[J]. *Laser & Optoelectron. Progress*, 2006, **43**(3): 28~31
宛东生. 关注美国机载激光武器(ABL)计划[J]. *激光与光电子学进展*, 2006, **43**(3): 28~31
- 11 Ren Guoguang. Current situation and development trend of high energy laser weapon[J]. *Laser & Optoelectron. Progress*, 2008, **45**(9): 62~69
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