

文章编号: 1001-3806(2002)04-0241-03

机载激光武器作战信息链分析

任国光

(北京应用物理与计算数学研究所,北京,100088)

摘要: 简要地介绍了机载激光武器的使命和研制进展,分析了作战信息链及其先进的红外搜索与跟踪传感器、跟踪照明激光器和超灵敏的弱光探测器。最后,讨论了武器系统的作战时序。

关键词: 机载激光武器;作战信息链;传感器

中图分类号: E928.9 **文献标识码:** A

Information link analysis of airborne laser weapons

Ren Guoguang

(Beijing Institute of Applied Physics and Computational Mathematics, Beijing, 100088)

Abstract: This article briefly describes the message and development status of the airborne laser. The operational link and its advanced infrared search and track sensor, track illuminator laser and extreme low-light level sensor are analyzed. Finally, the weapon system's operational sequence is discussed.

Key words: airborne laser; operational link; sensor

引言

近几年来,高能激光武器技术取得了迅猛的发展,高能激光器技术已经成熟,有可能在今后 10~20 年研制出用于空中、空间、海上和地面的高能激光武器“家族”。美国国防部目前有 3 项主要的高能激光武器发展计划:机载激光武器,天基激光武器和陆军战术高能激光系统。其中机载激光是美国最雄心勃勃的高能激光武器计划,它将几兆瓦的化学氧碘激光器装在经改装的波音 747 飞机上用于防御处于助推段的弹道导弹。该计划打算在 2003 年底进行拦截飞毛腿弹道导弹的演示试验,武器系统将在 2010 年左右具有初步的作战能力。

1 机载激光武器的作战使命

战区弹道导弹和巡航导弹是高技术局部战争中的主要威胁,它除了能携带高爆炸头外,还能携带核、生物和化学弹头。目前,已有 30 多个国家拥有了战区/战术弹道导弹,其中 10 多个国家有能力研制弹道导弹,而且战区/战术弹道导弹的性能也在不断提高。预料到 2005 年,导弹的射程将提高到

2500km,命中精度也将提高到 5~10m。为了有效防御战区弹道导弹需采用多层防御,机载激光是战区弹道导弹多层防御中的一个重要组成部分,它是美国国防部目前唯一旨在摧毁助推段导弹的战区弹道导弹防御系统。发展助推段拦截能力是非常重要的,其原因在于:(1)具有威慑力:生、化、核弹头的碎片落在发射方;(2)防御效能高:导弹在释放多弹头或子母弹之前就被摧毁,并且不会受诸如诱饵之类突防手段的欺骗,大大简化了末段的防御任务;(3)目标容易探测:在助推段,目标飞行速度慢,并具有强烈的红外特征信号;(4)目标易被摧毁:燃烧室压力高,处于受力状态。

战区弹道导弹的助推段仅 1~2min,机载激光能以光速作战,并能与多枚助推段导弹交战。另外,通过传递极精确的弹着点预测,机载激光还能增强中段和末段的防御,是对付战区弹道导弹最强有力的候选者。图 1 说明了机载激光武器是战区弹道导弹多层防御体系中的助推段拦截部分。

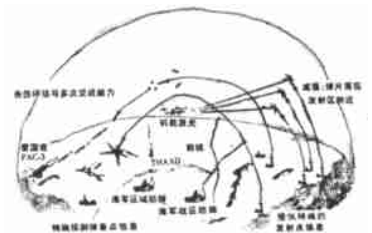


图 1 机载激光是 TMD 系统的重要组成部分

作者简介:任国光,男,1938 年 4 月出生。研究员。现从事激光技术发展策略研究工作。

收稿日期:2002-02-09;收到修改稿日期:2002-03-29

机载激光还能用来攻击卫星和防御巡航导弹、压制敌防空及保护高价值的机载军事装备。特别是机载激光战机在 12km 的高空飞行,避开了稠密大气层的大气效应,是十分有效的激光反卫星武器。另外,美国弹道导弹防御局也正在研究机载激光的战略作用,在国家导弹防御计划中击落洲际弹道导弹。由于机载激光利用了自适应光学系统通过大气摧毁导弹,因此,有可能利用同一系统在湍流较弱的较高助推高度拦截洲际弹道导弹。

机载激光武器样机的研制工作已进行了 4 年多,各项工作正在紧张地进行。波音 747-400E 飞机的改装工作已基本结束,在 2002 年 2 月安装作战管理/指挥、控制、通信、计算机和情报系统后,将飞往爱德华空军基地。化学氧碘激光器模块(LM-1)已完成,并在 2000 年 6~8 月进行了测试和性能试验。输出功率达到设计指标的 111%,并在 LM-1 上成功地演示了在飞机上提供压力恢复所必须的引射器系统^[1]。束控系统的主要部件也已研制完成。激光在地面完成系统集成试验后将与束控系统一起装进飞机,开始进行地面与飞行试验。2002 年 10 月开始将用有人驾驶飞机携带的传感器检验机载激光系统的跟踪照明激光器,信标照明激光器和低功率化学氧碘激光器的功能,随后将对各种飞行目标进行高功率打靶试验。最终将于 2003 年 9~12 月采用兆瓦级的化学氧碘激光器进行 3 次拦截飞毛腿导弹的演示试验。

2 机载激光武器的作战信息链

机载激光武器系统装有几个红外搜索-跟踪系统,它能对所监视的区域提供 360°的视场监视,这就意味着机载激光武器是一个自主作战的系统。机载激光武器集捕获、跟踪、瞄准、火力控制和射击于一身,整个杀伤过程都由平台完成,因此,从原则上讲,它并不必需从其它系统得到帮助。但为了提高识别能力和杀伤概率,需要采用这样一种信息系统,使系统的每一组成部分在交战的始终都能收集和分享信息。而且机载激光武器的作战响应时间仅在 10s 之内,为了万无一失地在最短时间内捕获目标,也可由预警卫星(天基红外系统)和预警机(机载预警与控制系统)提供提示信号。

在机载激光战机上并没有雷达与机载激光的电气传感器配合工作,然而它能从机外平台(例如天基红外系统高轨卫星)获得提示信号。并且它也是与联合通信网络连成一体的首要用户之一,不仅与

机载预警与控制系统(AWACS)和联合监视目标攻击雷达系统(JSTARS)飞机相连,而且也与现有和未来的通信和控制节点(例如无人飞行器)相连,从这些来源获得的所有信息都将实时地通过机载激光系统。这种联合传感器体系的每一组成部分,都会用各种手段和外推从物理原理得到的其它信息,对识别任务作出独特的贡献。这样的传感器组合将使美国的多层防御系统十分有效。

机载激光系统将采用主动照明激光系统对来袭弹体进行精跟踪,演示论证表明其跟踪精度高达

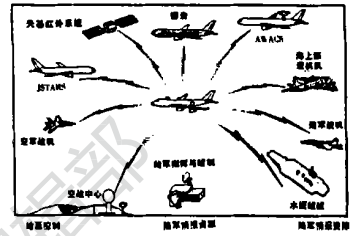


图 2 机载激光武器的信息链路

0.1μrad。它能提供有关目标速度、仰角和可能的弹着点的精确信息。机载激光武器的作战管理/指挥、控制、通信、计算机和情报系统,将通过无线电向多层防御系统的其它组成部分提供有关目标速度和弹道的信息。图 2 给出了机载激光的信息链路。

3 机载激光武器的传感器技术

作为反导系统,除了必须要有对来袭导弹进行杀伤的武器外,还必须要足够的传感器用以探测和捕获目标,并有能力判断目标的速度和弹道。因此,各种传感器是反导系统作战信息链的关键组成部分,机载激光也不例外。由于机载激光武器用于助推段拦截,所以,除了要求传感器非常灵敏外,还要求有极快的响应时间。近些年来,由于在焦平面阵列技术和计算机处理方面取得的重大进展,已有可能在地面、空中和空间部署非常灵敏和快速响应的传感器了。

机载激光武器将采用红外传感器探测和捕获目标,采用跟踪照明激光系统测定目标的速度和弹道。另外,机载激光武器还采用 CO₂ 激光器和第 3 代焦平面阵列对导弹进行精确的三维定位,采用信标照明激光器实时测定大气的特性,以使用自适应光学系统对大气畸变进行补偿。跟踪照明激光器和信标照明激光器都是先进的千瓦级二极管泵浦固体激光器。其中有的传感器采用了反导计划目前正在发展的通用传感器技术,另外,机载激光计划也发展了一些独有的传感器技术。

机载激光战机在离前线约 80km 的空中并与前线平行作“8”字巡弋。它利用安装在战机头部、尾部

和两侧的 6 个 $0.9\mu\text{m}$ 波长的红外搜索和跟踪传感器自动探测和初步跟踪刚发射后的导弹。红外搜索和跟踪传感器是作战管理/指挥、控制、通信、计算机系统的重要部件,它们构成了机载激光的广域侦察系统,能对距机载激光战机几百公里的范围内进行 360 的侦察^[2]。采用多个红外传感器,一方面是能以 360 的视场监视和探测导弹尾焰。另一方面采用多个传感器可以综合出信噪比较高的信息,从而能从复杂背景中迅速地提取出真实的目标信号,提高捕获能力。这在目标远和信噪比小时尤为重要。红外搜索与跟踪传感器已研制出来,目前已装入 BM/C⁴I 的“虚拟实验”装置,与 BM/C⁴I 软件一起进行集成试验,验证能否按设计要求工作。

机载激光武器将用跟踪照明激光系统测定目标的速度、仰角和预测可能的弹着点。跟踪照明系统是机载激光束控/火控系统的心脏,它采用了全新的技术。机载激光计划正在大力推进两方面的工作,发展更灵敏的传感器和更大功率的照明激光器,这可降低风险,因为它们能相互补充。

机载激光的跟踪照明激光系统采用了一个脉冲固体激光器,它是掺镱的钇铝石榴石激光器(Yb:YAG),波长为 $1.03\mu\text{m}$ 。在以往这类应用中的大多数固体激光器,是掺钕的 YAG 激光器(Nd:YAG),波长为 $1.06\mu\text{m}$ 。地基激光计划和机载激光计划原来发展的基线照明激光器都是 Nd:YAG。由于 Yb:YAG 较之 Nd:YAG 有许多优点,并且近几年来,输出功率迅速地几十毫瓦提高到了千瓦级,所以,机载激光小组在 1988 年决定将基线 Nd:YAG 升级为 Yb:YAG 激光器。

Yb:YAG 激光器超过 Nd:YAG 的主要优点是它的吸收带(941nm)和发射峰(1029nm)比较接近,因而在相同的输入功率下,Yb:YAG 产生的热量百分比大约比 Nd:YAG 小 4 倍。已证明它在所有固体激光介质中产生的热效应最小,因此,Yb:YAG 激光器只需较小的泵浦功率和能作得更小,从而这种激光器更有效。另外,Yb:YAG 激光器有较宽的发射带和长的荧光寿命时间,这也使它在激光性能、可靠性和成本方面明显优于 Nd:YAG 激光器。

目前,跟踪照明激光器 Yb:YAG 已研制出来,并于 2001 年 3 月 30 日进行了“第 1 光”试验。激光器的输出功率为 1080W,重复频率 5kHz,墙壁效率为 12.3%。试验证明跟踪照明激光器有足够的功率满足系统对信号的需要^[3]。

机载激光系统为了检测很弱的携带有目标速度

和弹道信息的反射光,特别研制了一种高帧速,低噪声和超灵敏的弱光传感器。这种称为电子轰击电荷耦合器件(EBCCD)的相机系统,是目前世界上最灵敏的相机,它的 128×128 像元焦平面阵列的灵敏度,比现有最好的弱光传感器高 8 倍,它比目前世界上最快的家庭胶片相机快 4 千万倍。同时,EBCCD 具有 5~10kHz 的高带宽,而大多数像机的带宽只有 60~120Hz^[4]。EBCCD 的研制成功,代表了一种重大的技术成就,它不仅使束控和火控系统能满足机载激光的苛刻要求和与这个系统的机载平台有关的独特环境,而且这种弱光传感器正在被考虑用于非定向能的其它计划中。

4 机载激光武器系统的作战时序

为了避开稠密大气层的大气效应,机载激光武器系统的飞行高度选择在 12~14km,以便当目标飞出云层能发现目标并建立瞄准线。1000km 级的战区弹道导弹发动机的燃烧时间一般为 80~90s,根据计算导弹需要 42s,才能穿过云层达到 12km 的高空。因此,探测捕获、跟踪、瞄准直到摧毁导弹,必需在另外 40 多秒的时间内完成。如果要攻击多个目标,时限将更短。分析作战时间的分配是:预警探测和识别 40s,捕获、跟踪和瞄准 10s(捕获 3s,粗跟踪 2.5s,精跟踪 1s,瞄准 2.5s),激光与导弹的交战时间约 30s。为了防御齐射的多个目标,要求系统的重新瞄准时间为 1s。对在同一视场里的多个目标,采用多台快速计算机确定打击的先后次序和分别完成捕获、跟踪和瞄准计算。摧毁一个目标后,只要根据计算结果,使反射镜转一个角度就可攻击第 2 个目标。图 3 给出了机载激光作战模式示意图。

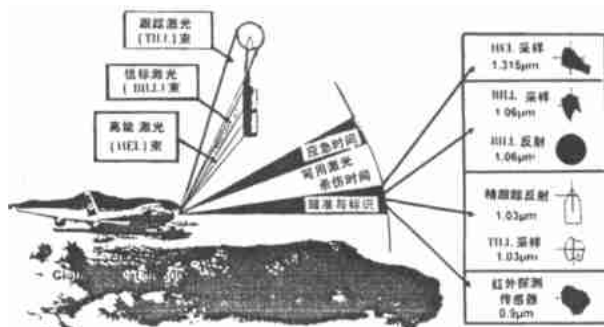


图 3 机载激光武器的作战示意图

作战顺序:

- (1) 预警探测和识别:预警卫星或预警机提示发射导弹的准确位置和导弹速度,并识别导弹。
 - (2) 飞机上的 6 个红外搜索和跟踪传感器以 360 的视场
- (下转第 269 页)

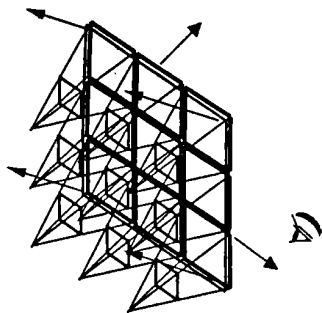


Fig. 6 Schematic diagram of pixelated transmission holographic displaying system

目前,已经分别用上述两种方法在实验上成功地实现了大尺寸透射和反射全息图的显示。

3 讨论

提出的像素化全息显示技术可以显示单色和彩色的透射型或反射型全息图。在显示彩色全息图时,需要把 HOE 做得能分别对多个波长的光波产生同一方向或不同方向的再现光,实验表明,这种方法是可行的^[7]。全息显示单元的大小不受限制,如果全息单元的尺寸为 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$,用波长 650nm ,输出功率 5mW 的 LD 做光源时,其再现物光的亮度可以满足在日光观察,全息显示装置可以做得很薄,并且保证每一个光源的热辐射和每一个全息图单元再现的光强都在安全限以内。与最新实时计算机全息图和空间光调制器技术结合,可以实现三维全息电影和交互式全息显示。像素化全息显示系统可以设计成任意形状和大小,可以制作

成与结构表面形状相同的形状镶嵌在结构表面,也可以制作成柱面、球面、立方体等封闭结构,观察者可以在这些封闭结构的里、外、上、下位置观察,适用于各种广告展示、科普宣传等。与计算机全息图和空间光调制器技术结合,可以按设计者的想象,通过空间光调制器实时产生各种平面和立体的图形和图像;随着计算机运行速度的提高,高响应速度和高分辨率空间光调制器的发展,可以实现大尺寸全息动画和全息电影。

4 结论

提出了一种可以制作任意形状、任意厚薄、任意大小、可模块化生产,特别适合于大尺寸全息图显示的全息显示技术,可以克服现有全息显示技术的不足。用这一技术制作的装置展示方便、安全,适于放置在不同大小空间和不同明暗环境,有广泛的用途和良好的商业前景。本技术与其它技术结合可以派生出新技术。

参 考 文 献

- [1] Kubota T, Ueda H. Proc SPIE, 1996, 2866: 207 ~ 214.
- [2] Berkhout R. Proc SPIE, 1998, 3293: 145.
- [3] Leith E N, Upatnieks J. J O S A, 1963, 53: 1377.
- [4] Leith E N, Upatnieks J. J O S A, 1964, 54: 1295 ~ 1301.
- [5] Jeong T H, Ro R J, Aumiller R W. Proc SPIE, 2000, 4149: 390 ~ 396.
- [6] Jeong T H, Wesly E. Proc SPIE, 1989, 1183: 706 ~ 713.
- [7] 吕晓旭,熊秉衡,施英. 光电子·激光, 1998, 9(6): 484.

(上接第 243 页)

探测导弹的羽烟,捕获并转入粗跟踪。(3)激光测距仪精确测量导弹的位置。(4)发射多束跟踪照明激光,照明导弹鼻锥转入精跟踪。(5)发射信标激光,并标识导弹燃料箱上的一点,也为以后的杀伤激光提供了相同的路径。(6)机上的波前传感器探测大气湍流引起的光束畸变,并将所得的信息送往自适应光学(变形镜)系统。(7)变形镜“预先畸变”杀伤性高能激光束,使之穿过大气时能再聚焦到目标上。(8)在照明激光连续跟踪,信标光和自适应光学连续校正畸变的情况下,瞄准系统完成对目标瞄准点的选择和对主激光的瞄准控制,向目标发射杀伤激光,并保持一定时间,直到摧毁导弹。

5 结束语

(1)机载激光武器是一个自主的作战系统,它集捕获、跟踪、瞄准、火力控制和射击于一身,因此难于

干扰或破坏其作战信息链。(2)机载激光系统采用主动照明的光系统对来袭导弹进行精确跟踪,演示证明其跟踪精度高达 $0.1\mu\text{rad}$ 。它能通过 BM/C⁴I 系统向战区内的其它武器系统提供有关目标速度、仰角和可能的弹着点的精确信息,从而形成十分有效的多层防御系统。(3)机载激光的跟踪照明激光系统采用了全新的技术。高重复率的 kW 级二极管泵浦 Yb YAG 激光器,能跟踪和锁定瞄准点,并有足够的功率满足系统对信号的需要。而特别研制的高帧速,低噪声和超灵敏的 EB CCD 相机,能满足对成像帧频和灵敏度的苛刻要求,以高分辨力检测出从几百公里外反射回来的微弱光信号。

参 考 文 献

- [1] Airborn Laser Focus, 2001, 9/ 10: 2.
- [2] Wall R. AW & ST, 2001-08-13: 55.
- [3] Bennett J. Inside Missile Defense, 2001-05-02: 1.
- [4] Adams J. Airborne Laser, 1999-09-21: 1.