

防空反导高能激光武器

李 博¹, 陈 健^{1,2*}, 王伟国¹, 刘廷霞¹, 姜润强¹, 王红萱¹, 崔 爽^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 概述了防空反导高能激光武器的技术现状, 包括地基防空反导激光武器系统和机载激光制导防空反导激光武器系统的组成、技术难点及发展趋势。介绍了天基和空基激光反导武器系统的组成及功能, 并对其主要技术性能和关键技术进行了分析。

关键词: 高能激光武器; 反导激光武器; 天基防空武器; 空基防空武器

中图分类号: TJ955 文献标识码: A doi: 10.3788/CO.20120504.0352

High power anti-missile laser weapons for aerial defence

LI Bo¹, CHEN Jian^{1,2*}, WANG Wei-guo¹, LIU Ting-xia¹,
JIANG Run-qiang¹, WANG Hong-xuan¹, CUI Shuang^{1,2}

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

* *Corresponding author, E-mail: chenjian4500@163.com*

Abstract: This paper summarizes the technological states of high power anti-missile laser weapons, including the composition, technological difficulty and the developing directions of ground-based anti-missile laser weapons and airborne anti-missile laser guiding weapons in the aerial defence. It also introduces the composition and the function of the heaven base and space base anti-missile laser weapons and analyses the main technologic capability and the key technology of the anti-missile laser weapons in the aerial defence.

Key words: high power laser weapon; anti-missile laser weapon; heaven base aerial defence weapon; space base aerial defence weapon

1 引言

按照美国国防部的定义,平均输出功率 ≥ 20 kW或每个脉冲的能量 ≥ 30 kJ的激光武器称为高能激光武器。高能激光武器要比低能激光武器复杂得多。它需要有一个高平均输出功率的激光器,并要求其激光束在大气中远距离传输时有好的目标指向性;高能激光束应能持续地聚焦到很小的目标上,实施精确打击;由于其攻击目标多在高速运动,它必须有自动识别和跟踪能力。另外,作为导弹防御体系,它还需要有远距离激光毁伤效果评估机制。总之,高能激光武器系统的使命可概括为以下几方面:

(1) 识别目标,选择适当的攻击点,对目标进行跟踪;

(2) 将光束对准目标上的选定点,并使光斑聚焦到尽可能小;

(3) 补偿大气影响,尽量减小光斑抖动和能量弥散;

(4) 评估毁伤效果。

在技术上,实现其中任何一项都有很大的难度。为了实现相关目标,目前主要开展了两方面的工作:光束控制和火控研究。光束控制任务包括引导光束并将其聚焦在目标上,通常还需要对大气引起的光束畸变进行矫正;火控决定武器系统的指向并控制发射,任务包括对目标的识别和跟踪,触发发射机制,并对毁伤效果进行评估^[1-5]。

本文重点介绍了目前常用防空反导激光武器的组成,关键技术及发展趋势。

2 防空反导激光武器系统

2.1 地基防空反导激光武器系统

高能激光武器主要应用于防空反导体系。长期以来,全球防务部门的军事计划人员、科学家,以及工业研究所的工程师们都在致力于设计高性能的激光武器,以对付先进战斗机、武装直升机、巡航导弹及海面滑翔艇等的威胁。

理论上讲,要求高能激光武器必须能在敌方

飞行器向我方目标发起攻击之前就将其摧毁。尤其是现代技术飞机可以掠地飞向目标区并低空投弹,有时还会使用防区外武器,如导弹可以从远在激光武器防御范围之外的飞机上发射,这些情况都要求在弹药执行任务之前将其摧毁^[6-9]。

实际上,这并非是一件容易的事情。由于大气污染及恶劣的气候会对激光在大气中的传输带来极大的影响,因而要求激光武器具有很好的性能。现代敌方战斗机、直升机装备告警系统,导弹的飞行速度越来越快,智能化程度越来越高,适应能力越来越强,因此,目标探测难度已越来越大,要在这些飞行器的武器系统发挥作用之前将其全部击摧毁是非常困难的。

尽管当今的防空体系已经是一个综合的智能化系统,执行拦截、战斗任务的飞机、高射机枪及导弹等都由训练有素的指挥部控制,但所有防空设备的综合效果在多数情况下只能对付目前的威胁,不能对付未来的威胁。一些军事参谋人员和科学家认为,高能激光武器是解决上述问题的唯一有效方法。据分析,用于防空的未来高能激光武器必须满足以下基本要求:

(1) 具有对目标快速探测和跟踪的能力。探测一个目标的时间 < 1.5 s,瞄准一组目标中的第一个目标所需的时间 < 0.5 s,以后每瞄准同组内另一个目标的附加时间 < 0.1 s。

(2) 在非常短的时间内可发射10次或更多次激光脉冲。

(3) 跟踪和火控系统必须有非常高的成功率。

至于导弹,由于体积小,速度快,而且数量往往也更多,因而比飞机或直升机更难对付。只有当导弹上装有对激光敏感的传感器时,才可能在它到达目标之前将其摧毁^[7-11]。

2.2 机载激光制导防空反导激光武器系统

像其他武器一样,机载制导武器的发展趋势取决于当前与未来战争中的作战任务需求,作战环境变化,以及科学技术的进步程度。海湾战争之后的战争,都是以现代战争管理系统“C3I”(指挥自动化技术系统)或“C4IRS”(电子监听和电子侦察系统)为核心,主要应用精确制导武器进行的“陆海空天电”多维一体的常规战争。进攻方

尽可能通过非接触方式,在各军用卫星保障下,发动陆、海、空、天、电多军种,采用战略空隙和夺取制空权相结合、作战飞机与巡航导弹进攻相结合等作战形式,使用多种精确制导武器系统,首先展开全方位、全高度、全时域、高强度的联合大空袭,夺取并保持信息制空权,为战斗机进入战区执行任务扫除威胁,进而全面摧毁敌方的政治、经济、军事等目标,打击敌方的防御反击力量和经济潜力。防守方为避免丧失信息制空权,必然进行防守反攻,用一切可以使用的手段攻击对方设立在陆海空天的雷达通信系统、计算机网络系统、军用飞机起降平台和导弹发射平台。无论是进攻方还是防守方,在执行上述任务时,空军首当其冲,常常担负着从空中打击敌军的雷达站、指挥中心、通信中心和空中电子战飞机、预警指挥飞机甚至低轨卫星等“C4IRS”关节点,夺取并保持制信息权和制空权。一旦夺取了制空权,就可以集中精力用空地制导武器摧毁敌方的各种地面和海上目标,取得战争主动权。因此,现代战争要求机载武器和载机必须向数字化、网络化、智能化方向协调发展,以确保己方空军的现代化战争应对能力,既能和己方“C4IRS”联网,且有效保护己方“C4IRS”免于瘫痪,又可攻击敌方“C4IRS”,进而彻底打垮敌人。为完成这些作战任务,就必须装备功能更多、性能更好的机载制导武器。

随着机载制导武器攻击目标种类的增多和难度的增大,对引战系统提出了越来越高的要求。为提高单发杀伤概率,除提高引爆战斗部的精确性外,还要提高战斗部的威力。采用定向战斗部、聚能战斗部、侵彻战斗部和非传统的次声战斗部、微波战斗部、电磁脉冲战斗部、空爆战斗部和智能战斗部等进行硬杀伤或软杀伤,从而极大地提高杀伤威力。

3 天基激光反导武器系统

早在20世纪70年代中期,将高能激光束用于反弹道导弹的思想就已强烈地冲击着美国军界。该计划最初起源于一个来自几家航空与航天公司的工程师组成的4人研究小组,计划的目的是用功率为5 mW的激光器和直径为4 m的光学

反射镜,防御前苏联的所有重型导弹,大约300枚洲际弹道导弹,几乎包括全部潜艇发射弹道导弹、远程炸弹及巡航导弹运载系统。条件是前苏联在15 min之内从世界上任何敌方发射所有这些战略系统。如果他们发射所花费的时间更长,则防御体系的效果会更好。相反,如果对方能在更短的时间内完成发射,则防御体系的效果会有某种程度下降。如果能建造更大功率的激光器和直径更大的反射镜,防御效果也会更好^[12-15]。

天基激光反导武器系统由18个战斗站组成,彼此相距近5 000 km,可覆盖整个地球。每个战斗站包括目标探测系统、大型激光器、大型光学反射镜、指示-跟踪装置及指令和控制设备。这些战斗站坚固得足以经受附近的核爆炸,只有功率更大的激光器从更远的距离发射才有可能对它们造成破坏。

最初计划的战斗站轨道高度为1 300 km。据估算,如果轨道上升到5 000 km,则每个战斗站可以覆盖地球表面的10%左右,面积约为 $5 \times 10^7 \text{ km}^2$ 。所用的氟化氢高功率激光器长6~8 m,重约17 000 kg,携带的燃料足够完成1 000次发射。

美国国防部分析家们所得到的结论与此相差甚微,例如,他们假定摧毁一个助推器需要花10~20 s,那么要拦截1 000枚苏联导弹,大约需要25个战斗站。据估计,当时的苏联拥有1 400个地基洲际导弹发射架、950个装在潜艇上的发射架及156架远程轰炸机。

激光武器防御弹道导弹的计划也招致军事分析家们的尖锐批评,原因是:

(1)天基激光武器要求激光束的亮度比地基激光系统的高100万倍,能否达到值得怀疑;

(2)将大型激光战斗站及所需要的大量燃料送上数千km高的轨道十分困难;

(3)激光武器攻击的对象可能附有小卫星,接近轨道站时,小卫星所带的炸弹发生爆炸,有可能损坏激光器;

(4)将激光束聚焦到数千米远的小目标点上也很困难,对波长较长的化学激光器尤为如此,还需要庞大而复杂的光学系统。

激光武器三组件的第三部分是大型光学试验

系统,主要用于检验制导大口径反射镜的能力,包括复杂的相互作用控制系统和为获得高质量光束的束能控制系统,并要求能在模拟工作环境下达到理想的精度。值得指出的是,系统采用了自适应光学技术控制输出激光束的特性。

4 空基激光反导武器系统

机载激光武器是美国空军支持的目前美国最主要的一项硬杀伤激光武器研制计划,目标是研制安装在大型宽体波音 747-400F 飞机上的高能化学氧碘激光武器(如图 1 所示)。



图 1 机载激光武器拦截弹道导弹示意图

Fig. 1 Sketch map of laser weapons carried by planes to head off the missile

此外,机载激光武器还可用于防御低空飞行的巡航导弹,压制敌方防空火力;击毁敌方从空中或地面发射的各种导弹,以保护己方空中预警机和进行自卫;实施成像侦察,进行战斗毁伤评估;为其他武器系统指示目标并进行指挥与控制。

将激光器安装在飞机上可以避开地基激光武器系统存在的受恶劣气候影响的问题。通常地球表面大气的密度随着高度的增加而减小,大气总量的 3/4 处于地面到 10 km 高的范围内,而从 15 km 以上直到太空,只有相当于总量 1/8 的大气。因此,如果运载激光系统的飞机在这一高度以上飞行,则基本上可以避免因恶劣气候所引起的光束传播问题。

与安装在山顶的激光器相比,机载激光系统具有很好的机动性。由于卫星的轨道通常是已知的,携载激光武器的飞机可以在卫星到达某一区域之前先飞抵适当位置,等卫星来到时对其加以

攻击。若飞机沿着卫星轨道飞行,还可延长激光照射卫星的时间。

将大型激光系统安装在飞机上并非易事,但要比送入太空轨道容易得多。事实上,1981 年,美国空军就已成功地将一台功率为 40 kW 的气动二氧化碳激光器装在波音 NC-135 上飞上天空,被称为机载激光实验室系统(如图 2 所示),用于检测空军激光器的性能。



图 2 机载激光系统结构图

Fig. 2 Structure map of laser system carried by the plane

机载激光系统由以下几部分构成:

(1) 高能氧碘化学激光器

由美国 TRW 公司负责研制,采用组件式结构,由 14 个激光组件组成,发射波长为 $1.315 \mu\text{m}$,功率为 2~3 mW 的高能激光束。每个组件的质量为 1 360 kg,输出功率为 100 kW 级。

(2) 红外搜索/跟踪系统

由洛马公司负责研制,采用 9 个红外焦平面阵列搜索/跟踪传感器,探测 360° 视场内导弹羽烟的红外辐射,利用一部电子轰击式 CCD 摄像系统跟踪目标,可在微光条件下以 20 kHz 的帧频工作。

(3) 光束发射/控制系统

该系统确保将高能激光束精确射向导弹并停留一定时间。它包括跟踪/照射激光器,可变形反射镜,大带宽控制回路,主动测距系统和战斗管理、指控、通信、计算与情报系统等。

(4) 激光发射转塔

激光发射转塔(如图 3、图 4 所示)安装在机头部位,重 6 350 kg,内装直径 1.5 m 可控望远镜

等元件,是高能激光的发射窗口。



图3 激光发射转塔的孔径

Fig. 3 Aperture of laser beam tower



图4 激光发射转塔近视图

Fig. 4 Close sight of laser beam tower

5 结束语

高能激光武器利用高能激光束对目标进行毁伤。由于它具有能量集中、传输距离远、打击精度高、效费比高等优点,其作战方式也被称为“发现

即杀伤”。高能激光武器不但可以防御火箭炮、巡航导弹和直升机/无人机,还可防御反舰导弹、弹道导弹,甚至摧毁各种军用卫星。根据所载平台,可分为地基、车载、舰载、机载以及天基高能激光武器。随着高能激光武器向紧凑化、模块化和普及化方向发展,未来战争的军事思维和作战模式将发生深刻变革。

参考文献:

- [1] 张晓琳,唐文彦,孙和义.水下声信号的激光干涉测量[J].光学精密工程,2010,18(4):809-815.
ZHANG X L,TANG W Y,SUN H Y. Laser interferometry of underwater acoustic signals[J]. *Opt. Precision Eng.*,2010,18(4):809-815. (in Chinese)
- [2] 刘志春,苏震,袁文,等.激光反导武器的最新发展动向与分析[J].激光与红外,2009,39(9):914-917.
LIU ZH CH,SU ZH,YUAN W,et al.. Development trends and analysis of the laser anti-missile weapons[J]. *Laser and Infrared*,2009,39(9):914-917. (in Chinese)
- [3] 卢科青,王文,陈子辰.点激光测头激光束方向标定[J].光学精密工程,2010,18(4):880-886.
LU K Q,WANG W,CHEN Z CH. Calibration of laser beam-direction for point laser sensors[J]. *Opt. Precision Eng.*,2010,18(4):880-886. (in Chinese)
- [4] 黄勇,刘杰.高能激光武器在水面舰船上的潜在应用[J].应用光学,2005,26(3):1-4.
HUANG Y,LIU J. Potential application of high-energy laser weapons on surface ships[J]. *J. Appl. Opt.*,2005,26(3):1-4. (in Chinese)
- [5] 郑猛,冯其波,邵双运,等.CR扫描仪激光扫描光学系统的设计[J].光学精密工程,2010(1):21-28.
ZHENG M,FENG Q B,SHAO SH Y,et al.. Design of laser scanning optical systems for computed radiography[J]. *Opt. Precision Eng.*,2010(1):21-28. (in Chinese)
- [6] 陈健,薛乐堂.舰载红外告警分系统的告警距离研究[J].光机电信息,2010,27(10):55-58.
CHEN J,XUE L T. Alarm distance research based on infrared alarm system carried by ship[J]. *OME Information*,2010,27(10):55-58. (in Chinese)
- [7] 王焯,张岩,秦莉,等.高功率半导体激光器阵列封装引入应变的测量[J].光学精密工程,2010,18(9):1951-1958.
WANG Y,ZHANG Y,QIN L,et al.. Measurement of packaging-induced strain in high power diode laser bar[J]. *Opt. Precision Eng.*,2010,18(9):1951-1958. (in Chinese)
- [8] 陈健,于洪君.光电对抗与军用光电技术研究进展[J].光机电信息,2010,27(11):12-17.
CHEN J,YU H J. Research evolution of the electro optical warfare and army electro technique[J]. *OME Information*,

- 2010,27(11):12-17. (in Chinese)
- [9] 戴昱,陆建,刘剑,等. 使用长脉冲高能激光对石英玻璃打孔[J]. 光学精密工程,2011,19(2):380-386.
DAI G,LU J,LIU J,*et al.*. Experiment of long pulse high energy laser drilling on silica glass[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011,19(2):380-386. (in Chinese)
- [10] 刘志春. 区域激光反导多节点防空技术[J]. 光电技术应用,2005,20(2):1-3.
LIU ZH CH. Laser air defense technologies against missile[J]. *Electro-Optic Technology Appl.*, 2005,20(2):1-3. (in Chinese)
- [11] 吕亮,张可,戴绩俊,等. 基于垂直腔面发射半导体激光器的自混合测速实验[J]. 光学精密工程,2011,19(1):23-28.
LU L,ZHANG K,DAI J J,*et al.*. Self-mixing velocimetry based on vertical-cavity surface-emitting laser[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011,19(1):23-28. (in Chinese)
- [12] 冯志庆,白兰,张增宝,等. 高能激光反射镜热变形补偿[J]. 光学精密工程,2010,18(8):1781-1787.
FENG ZH Q,BAI L,ZHANG Z B,*et al.*. Thermal deformation compensation of high-energy laser mirrors[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010,18(8):1781-1787. (in Chinese)
- [13] 丛梦龙,李黎,崔艳松,等. 控制半导体激光器的高稳定度数字化驱动电源的设计[J]. 光学精密工程,2010,18(7):1629-1636.
CONG M L,LI L,CUI Y S,*et al.*. Design of high stability digital control driving system for semiconductor laser[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010,18(7):1629-1636. (in Chinese)
- [14] 王思雯,郭立红,赵帅,等. 高功率 CO₂ 激光对远场 HgCdTe 探测器的干扰实验[J]. 光学精密工程,2010,18(4):798-804.
WANG S W,GUO L H,ZHAO SH,*et al.*. Experiments of high-power CO₂ laser disturbance to far-field HgCdTe detectors [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010,18(4):798-804. (in Chinese)
- [15] 姜忠明,陈殿仁. 全固态复合内腔和频 570nm 连续波黄光激光器[J]. 光学精密工程,2010,18(4):805-808.
JIANG ZH M,CHEN D R. All-solid-state continuous-wave doubly resonant all-intracavity sum-frequency yellow laser at 570 nm[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010,18(4):805-808. (in Chinese)

作者简介:李 博(1974—),男,吉林长春人,硕士,助理研究员,主要从事高精度数字伺服系统方面的研究。

E-mail:slivermichael@sina.com

陈 健(1981—),男,吉林长春人,硕士,助理研究员,主要从事高精度快速数字伺服系统方面的研究。

E-mail:chenjian4500@163.com