

强激光武器技术最新发展评述

任国光 黄裕年

(北京应用物理与计算数学研究所,北京,100088)

摘要: 在过去三年里,高能激光武器技术取得了巨大的发展,第一代实用的武器系统即将实现。本文中首先评述了美国的高能激光武器计划和最新的发展。然后分析和评述了各种武器技术取得的重大进展。最后简要地介绍了最近进行的激光射击卫星试验。

关键词: 机载激光武器 天基激光武器 战术高能激光武器 激光反卫星武器

Recent development of the powerful laser weapon technologies

Ren Guoguang, Huang Yunian

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

Abstract: In the last three years, the enormous development has been made in the field of high energy laser weapon. The first generation of the practical weapon systems will come out soon. This article reviews American high energy laser weapon programs and recent developments. The significant progresses of various laser weapon technologies were reviewed and analyzed. Finally, we briefly describe the recent tests of the laser firing at a satellite.

Key words: airborne laser weapon space based laser weapon tactical high-energy laser weapon laser antisatellite weapon

引 言

激光武器被认为是革命性的,它以光速攻击目标的独特性能将使战场发生革命性变化。其应用范围从战术、战区和国家弹道导弹防御、反巡航导弹、反卫星直到飞机和舰只自卫。它将是 21 世纪夺取制空权和控制空间的重要的新概念武器。激光武器经过 30 多年的发展,第一代实用的平台载运系统即将实现。未来 10 年极有可能部署机载激光武器,地基和机载激光反卫星武器。未来第 2 个 10 年将部署更为先进的飞机自卫激光器和无人机载战术导弹防御武器。未来第三个 10 年可能部署光子战斗机和天基全球精确光学武器或空间中继激光武器。

美国防部 1996 年发表的防御技术领域(武器部分)计划,包括了用于全新和升级的非核武器的武器装备和电子战技术。它由常规武器,定向能武器和电子战三部分组成(见表 1),定向能武器包括激光与高功率微波两部分^[1]。目前美国各军兵种都在大力发展定向能武器,特别是美国空军已把它的主要工作集中在高能激光(HEL)武器和高功率微波(HPM)武器。

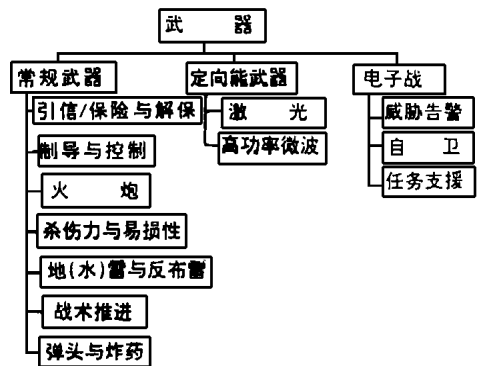


表 1 武器技术领域计划结构图

表 2 是在这份国防部防御武器计划中给出的激光武器项目的主要目标及相关时间表。从表中可以看出,美国目前的高能激光武器计划包括机载激光、天基激光、地基激光和舰载激光武器,以及小项目红外对抗激光系统和半导体/固体激光源等。此计划未包括车载激光武器,我们认为这可能是美-以联合发展对付喀秋莎火箭弹的战术高能激光系统不属于美国国防部的计划,而美国自己的战术高能激光武器系统才开始概念研究。从表中还可清楚地看出,化学氧碘激光器(COIL)和氟化氢(HF)化学激光器是美国高能激光武器计划的骨干。为发展新一代的舰载激光武器,无人机载激光武器和光子战斗机,国防部也用一定经费支持高效益、高风险的下一代激光器:二极管泵浦固体激光器,自由电子激光器和相控阵二极管激光器。

表 2 美国国防部激光武器项目的主要目标及相关时间表

应用/任务	近期(1~2年)	中期(3~5年)	远期(6年以上)
机载激光(ABL)用于远距离拦截助推段战区导弹(600km)	支持 ABL 演示器研制的 COIL 装置,大气测量,自适应光学与光束控制技术	演示保证 ABL 设计满足作战性能要求所需的自适应光学和光束控制	先进的 COIL,自适应光学与光束控制技术,使 ABL 作战距离提高 20%~30%
地基激光用于反近地低轨卫星	COIL 装置技术发展到基线水平;用自适应光学系统进行大气补偿和主动卫星跟踪的可行性演示	集成光束控制演示,全尺度武器级系统大气补偿和光束控制功能的演示	先进 COIL;自适应光学与光束控制技术,支持地基激光、反卫星系统发展的优化设计和提高性能
天基激光用于战区导弹防御、国家导弹防御、反卫星、防空、监视、云层以上的空中优势	高功率武器级 HF 化学激光器,4m 孔径分节式望远镜,输出波前控制的地面综合性能演示	演示捕获、跟踪技术;天基激光系统样机的初级地面演示	天基激光反导系统的空间综合演示
基于破坏/摧毁机制的红外对抗激光系统		确定靶系列的易损性;演示选定波长激光器的可行性与定标放大律	地面演示真实场景下集成激光系统反红外制导弹硬件的性能
舰载激光用于防御反舰导弹	评估各种激光用于防御反舰导弹的效能和靶目标的杀伤力,演示 1kW 的 FEL		
半导体/固体激光源及其综合光束控制	半导体激光技术转移到非致命武器及医学应用	演示可放大的相干半导体激光二极管阵列的体系结构;演示电子束转向概念	演示相干阵列放大到中等功率和高功率;研究相似阵列和集成激光源/束控制的可行性

目前,美国每年向高能激光武器计划投资约 5 亿美元,仅机载激光和天基激光计划 1999 财年的经费就分别高达 2.67 亿美元和 1.87 亿美元。随着一些计划陆续开始研制作战样机,估计今后几年的经费还将增加。

我们简要评述和分析了以上各项强激光武器计划近二年来的发展和取得的重大技术进展。有关这些武器的在战场上的作用,基本特性,关键技术及尚待解决的问题,我们在 1995 年的文章中已经讨论过了^[2]。

1 机载激光计划圆满完成概念设计,开始研制具有作战能力的样机

机载激光将提供可快速部署的装备远程高能激光武器的机载平台,它能自动探测、捕获、跟踪、识别、瞄准和摧毁几百公里外的液体和固体战区弹道导弹。它是美国目前最雄心勃勃的一项强激光武器计划,极有可能成为部署的第一种实际有效的高功率定向能武器。它代表了

迄今技术发展的最高水平,并将成为未来 10 年最重要的演示论证项目。

1.1 机载激光概念设计取得重大成果

机载激光计划在化学氧碘激光器,激光大气传输,光束控制,靶现象学,非致冷光学部件,消除飞机运动和振动引起的低频“颤动”等关键技术方面都取得了重大的进展。并成功地进行 COIL 激光器模块的功率和效率演示试验,强激光杀伤力试验,束控系统演示验证和主动跟踪助推段导弹的演示验证。从而结束了概念设计阶段,进入了研制样机的阶段。

1.1.1 概念设计阶段的主要成果

- * COIL 激光器模块原形演示证明能满足兆瓦级激光器的性能要求;
- * 杀伤力演示试验证明机载激光摧毁弹道导弹是可行的;
- * 束控系统演示试验提高了机载激光杀伤几百公里外目标的可信度(最近的试验证明机载激光在大气湍流中的瞄准精度达到 $0.1\mu\text{rad}^{[3]}$);
- * 建立并验证了大气湍流的计算机模型,并成功地表征了大气的传输特性,验证了在典型的湍流情况下补偿大气畸变的可行性;
- * 首次演示了助推段弹道导弹的主动跟踪。

1.1.2 机载激光武器系统的主要性能

激光器和功率:作战型 COIL:2~3MW;演示型 COIL:1~2MW;作战高度:12~15km;激光射程:100~400km;运载平台:波音 747-400F;发射镜直径:1.5m;武器系统总重:45t;机载化学燃料重量:14t;激光器模块:功率 200kW,重量 373kg,长×高为 2.5m×1m,作战型 COIL 由 14 个模块组成。

每次巡航 8h,可空中加油。在一次巡航中可射击 40 次,每次持续 3~5s,至少能击毁同时发射的三枚弹道导弹。战机自主作战,逐一探测、捕获、跟踪和射击多枚导弹,从探测到击落助推段导弹在 80s 之内。一个战区需七架机载激光战机,五架值勤,两架处于维修或设备更新。

1.1.3 发展阶段及重要日程

机载激光武器分四个发展阶段:概念设计;技术设计和降低风险;工程和制造研究;生产阶段。1994~1996 年是概念研究;1997 年进行技术设计和降低风险阶段,开始研制作战样机;1998 年演示全功率飞行重量 COIL 模块;1999 年改装波音 747-400E 型飞机;2003 年建成有作战性能的样机,并进行拦截弹道导弹的试验;2004 年开始生产;2006 年建成三架机载激光战机(包括重新改装的样机);2008 年建成另外 4 架机载激光战机。

1.2 飞行重量 COIL 模块输出功率超过设计值 10%,重量仅有 373kg

机载激光计划于 1997 年开始研制作战样机,一年多来已制造了许多硬件,包括飞行重量激光器模块,定标型激光炮塔,激光炮塔光学窗,子标度变形镜,两台试验台照明激光器,定标束控系统试验台等。特别是激光器模块和束控演示验证取得了重大成果。

几十千瓦的飞行重量激光器模块是机载高能激光武器系统的基本积木式部件,它的研制和试验是美国 11 亿美元机载激光样机演示计划的重要组成部分,是关系机载激光计划成败的重要因素之一。

经过一年的研制,飞行重量 COIL 模块于 1998 年 6 月成功地进行了首次出光试验,并在 8 月底进行的试验中输出功率达到了设计值的 110%^[4],我们估计可能是 220kW,化学效率至少在 27% 以上,它标志着机载激光计划又向前迈出了关键的一步。飞行重量 COIL 模块的重量和大小也是人们十分关注的问题。在关键部件的设计中,由于采用了先进的航天材料,所以,

它比1996年的原型更轻,更紧凑。图1给出了飞行重量COIL模块的照片,我们估计它高约1m,长约2.5m。特别是模块的重量从1362kg降至373kg^[5],使2~3MW的COIL总重约4480kg,仅占波音747-400载重的1/10。取得这一重大成就最明显的原因是整个装置用塑料件代替了金属零部件。塑料激光器的想法是独一无二的,它不仅大大减轻了重量,而且注塑成形降低了成本。COIL的工作温度低,而且容易达到关键部件的公差,因此,使它有可能采用塑料件代替金属件。

对目标进行致命杀伤所需的能量极大地影响着激光器的尺寸和重量,以往的许多激光武器方案,均因照射到目标上的光斑尺寸过大,而导致难以接受的系统尺寸和重量。我们知道,表征激光武器火力水平的物理量——亮度是与激光波长的平方成反比,因此,30多年来,武器用高能激光器的发展趋势是由长波长走向短波长,即由传统型CO₂(10.6μm)和DF(3.8μm)激光器转向COIL和DPL节能型激光器。目前,只有COIL技术成熟,因此,大功率短波长COIL的研制成功有着非常重要的意义。在美国发展的各种高能激光器中,化学氧碘激光器在定标放大,光束质量,可靠性,重量和寿命方面均获得了异常的成功。化学氧碘激光技术的发展已直接或间接地导致了一些重量更轻的分系统出现,有希望实现对激光作战系统杀伤力,重量和体积的要求。

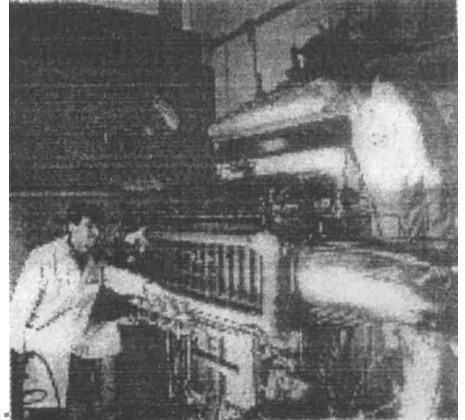


图1 飞行重量化学氧碘激光器模块

1.3 发展小型战术机载激光武器对付巡航导弹和掠海飞行导弹

大功率COIL模块的研制成功,已导致研究将COIL用于战术机载激光武器、车载激光武器、红外对抗、高亮度目标照明器和工业应用。目前正在全世界扩散的“廉价低空飞行器”——巡航导弹,是未来战争中的严重威胁。波音公司将把目前的机载COIL小型化,安装在倾斜旋翼机和直升机等小型飞机上,用于攻击巡航导弹和掠海飞行导弹^[6]。从上向下攻击,是一种对付贴地和掠海飞行巡航导弹十分有效的方法。所用战术COIL功率为200kW,射程10km,能在探测到目标6s内将其摧毁,重新瞄准时间2s,可连续发射100次。这种战术机载COIL系统可在18个月后演示,再过一年就能交付初始作战系统。

V-22“鱼鹰”倾斜旋翼机可垂直起降,空中悬停和自旋,又能以509km/h的高速飞行。垂直起飞载重5.4t,短距起飞载重9t。已建造的飞行重量COIL模块输出功率几百千瓦,重仅373kg,我们估计加上跟瞄装置和携带的化学燃料,重量不成问题,小型化的关键可能主要是缩小压力恢复系统的体积。若采用巨型直升飞机问题就简单多了。

美国空军也已开始研究战术机载激光武器^[7],他们认为激光武器对未来的空战是至关重要的。他们将首先研究战术激光武器的潜在应用,确定激光武器所需的技术和可能的平台问题。

2 战术高能激光武器

2.1 美-以开始研制战术高能激光系统样机

美-以联合的鸚鵡螺激光计划在1996年2月成功地拦截了喀秋莎火箭弹后,双方共投资

8900 万美元研制战术高能激光武器样机,要求 1999 年在以色列试验完整的战术高能激光武器样机。演示完成后,具有有限作战能力的演示器将部署在以色列。以色列国防军计划在北部边界总共部署 13 个战术高能激光武器系统,对付阿拉伯游击队的短程导弹攻击。

美-以研制的战术高能激光武器只不过是一种应急的防御短程火箭的系统,而且是建造在固定的平台上,因此并不需要更先进的技术,它将尽可能地采用现有的子系统,如 DF 化学激光器和跟踪-瞄准器。目前该计划正处在子系统验证和最后组装阶段,预计 1999 年 7 月在美国白沙导弹靶场进行实弹拦截试验,第一个武器系统可在 3 个月后部署在以色列^[8]。

2.2 美引入创新概念和新技术,发展自己的车载激光防空武器

美国和以色列需要战术激光武器完成的任务不同,所以对激光系统性能的要求大不相同。美国的车载激光武器在防御目标的种类,激光射程,发射率,机动性,与现有和研制中的防空系统配合等方面都有很高的要求。美-以联合发展的战术高能激光系统,由于射程短,作战目标单一,所以作战效能很有限,显然不能满足美国的需要。美国陆军正在借美-以迅速发展战术高能激光武器的机会,要求把创新的高能激光武器的关键技术(例如 COIL, DPL 和大气补偿,变形镜)和其它新概念引入高能激光防空系统,发展机动的第二代战术高能激光武器^[9,10]。美国的战术高能激光武器将用于防御短程导弹,巡航导弹,武装直升机和无人驾驶飞行器。它将是高机动的车载激光防空武器,总重量低于 18t,可用陆军的标准车辆运载。目前美国陆军已与各大军火商签定合同开始进行概念研究,TRW 公司将探索各种途径,洛克达因公司集中研究化学氧碘激光器,麦道公司与休斯飞机公司分别研究二极管泵浦固体激光器。TRW 公司拟采用 500kW 的 DF 化学激光器,束定向器的口径 70cm,杀伤距离 5km,发射率 20~50/min。洛克达因公司正在研究把一台化学氧碘激光器装在战车上,激光器的功率为 200kW,束定向器的口径 50cm,致命杀伤距离超过 10km,能连续发射 100 次^[11]。

有关鸚鵡螺激光系统实弹拦截试验,美-以联合研制战术高能激光武器,以及美陆军发展自己的车载激光防空武器的要求和打算,我们已在最近的两篇文章中做了评述和分析^[12,13]。

3 天基激光地面综合试验获得成功,开始研制天基激光空间演示器

3.1 天基激光计划开始研制空间演示器

天基激光武器打击处在助推段弹道导弹的能力是无可比拟的,一个小型的天基激光星座,可以有效地防御一批弹道导弹的攻击,从战略弹道导弹到中程和短程战术弹道导弹。天基激光能覆盖全球,对未来的威胁可提供全球和快速的反应。天基激光除了防御弹道导弹外,还可用于反卫星,防御战略轰炸机,以及用作侦察传感器。

最近提出的由 30° 倾角的 12 个平台组成的最小星座,被认为是代表了一种可在未来几年部署的天基武器系统,它的主要性能为:覆盖全球表面所需的卫星平台数目:12 个;部署高度:1300km;每个平台重量:32t;激光器功率:2MW;发射镜直径:8m;杀伤距离:4000~5000km;拦截高度:9~11km(已出云层)。每分钟至少拦截从世界任何地方发射的洲际弹道导弹 5 枚,或 5~10 枚齐射的战区弹道导弹。

近两年来,天基激光计划迅速升温,美国正在推进一项积极的计划,想在 2005 年使一台天基激光演示器成为国家导弹防御系统的一部分。空间演示器旨在证明天基激光武器拦截和摧毁助推段弹道导弹的技术可行性,也将评估天基激光武器防御非弹道导弹的实用性。目前,洛克希德-马丁公司和 TRW-波音小组各从空军获得 1 千万美元的合同,研究确定空间演示器和

先进天基激光技术概念。1998 年底选择一个小组建造空间演示器,合同经费高达 10~20 亿美元^[14]。

3.2 天基激光地面综合试验获得成功

1997 年 2 月在 TRW 公司试验场成功地进行了关键的 Alpha 激光器-大型反射镜综合 (ALD) 试验^[15]。天基激光系统头尾相连,演示了高能激光器,光学系统扩束器和光束控制系统的综合高功率性能。这是高能激光束首次利用 4m 的大型发射镜,通过象征性的天基激光束控系统进行传输。实验演示了精确瞄准,抖动控制和波前测量。初步结果表明所有的试验目的都已达到,此次试验工作时间仅 1/2s,1998 年还进行了 2s 和 5s 的试验。在这一试验中,从 Alpha 激光器产生的高能光束经由 LODE 光束控制系统稳定和校正像差后,由大型反射镜扩束后发射。实验的目的是将输出光束进行校正,使所有的波前误差和抖动值都符合天基激光系统的要求。

3.3 天基激光武器技术的未来方向

天基激光武器将能最终实现军事格言“占领制高点”,并有可能使战争模式发生革命性变化,但现有技术不足以支持这一潜力,需要在空间发射技术和光学技术上有突破性进展。

一种有效的激光武器应当能向目标发射一束与所需摧毁相匹配的射束,从而获得最大的能量效率,否则将造成能量的极大浪费,这就提出了节能型激光器的概念。要减小靶斑尺寸必需采用更大的光学系统、更短波长的激光器和提高光束质量。未来设想的节能型天基激光武器将包括 20m 的光学系统,1 μ m 激光波长和衍射极限光束。预计未来的某些创新技术将优化激光武器的设计,它们是:(1)利用薄膜加工工艺制造大型轻质的光学系统;(2)高功率短波长激光器;(3)高平均功率相位共轭技术;(4)采用各类光阀技术或集成微机电装置的自适应光学系统的新发展;(5)光束成形与控制用的相控阵二极管激光器。

未来可用于节能型武器的短波长激光器有化学氧碘激光器(1.315 μ m)、氟化氢泛频激光器(1.35 μ m)、二极管泵浦固体激光器(1.06 μ m)和相控阵二极管激光器(0.8 μ m)^[16],其中最成熟的是 COIL 激光器。

4 冷战后作战环境变化致使海军高能激光武器计划改变方向

4.1 美海军放弃氟化氙化学激光器,拟选用自由电子激光器

海军一直在探寻定向能武器在海上的应用,在它的研究中希望用高能激光武器和高功率微波武器防御反舰导弹。海军对高能激光武器感兴趣可以追溯到几十年前,它最早研究的是 10.6 μ m 波长的 CO₂ 激光器,用于军舰自卫。但很快海军就决定发展 3.8 μ m 波长的连续波 DF 化学激光器,因为与 CO₂ 激光相比它有较好的性能。海军 20 多年来已建成了兆瓦级的 DF 化学激光器(MIRACL)和海石束定向器(SLBD),它们构成了白沙导弹靶场的高能激光系统试验装置,一直用于试验和验证几种激光武器概念,从海军舰只的自卫计划到空军的机载激光计划和陆军的战术高能激光武器计划。

冷战结束,作战环境发生了巨大变化,海军也开始它的作战转移,即从大海作战转变为沿海作战,作战形式也由进攻型海战转变为舰只自卫,因此,海军的高能激光武器计划也必须进行调整。海军认识到作为海上应用的激光器,克服海洋环境引起的传输效应是至关重要的。海军的研究表明,在近海作战中,热晕限制了高能激光束的大气传输,因此,也就限制了激光武器的效能。而 DF 化学激光器的波长对于沿海的环境并不是最佳的,海军于 1995 年 1 月告诉

国会,他们不再采用 MIRACL 进行确定高能激光器能否发展装舰应用的研究,海军认为 MIRACL“是 70 年代的技术,它既不代表当前的技术能力,也不适合装舰应用”^[17]。

热晕是光吸收,风速和风向,以及各种交战速度矢量的复杂函数。虽然 MIRACL/SLBD 系统能满足对付横向目标所需的性能,但在军舰自卫作战中,它的杀伤能力却十分有限,这主要是由于侧风太小。对一个向东定向器径向飞行的目标来说,要求通过大气的高功率激光束没有或有少许移动。在沿海区域支援作战时,预料军舰可能是完全不动的或以低的巡航速度航行,因此,总的侧风主要是由交战时当地的气候条件产生的。这种风一般很小,高功率光束在这样的环境中传输,将非常容易产生热晕,这将使 MIRACL 无法传送足够的能量,对现代巡航导弹的整流罩造成严重的物理破坏。因此,用具有很低大气吸收波长的激光器代替 MIRACL 就变得非常必要了。另外,在点防御(径向攻击目标)和护航防御(侧行目标)情况中,所需钻入导弹外表面的光流量,前者要比后者高得多。加之,为了克服导弹整流罩的加固和它的形状因素,就需要传送更多的激光能量到目标上,这就要求选择具有最低大气吸收系数波长的激光器。于是,海军的高能激光计划改变了方向,于 1995 年完全停止了研究 DF 化学激光器装舰可行性的工作,并开始了一项新的研究计划,建造一台适合沿海作战的兆瓦级激光器^[18]。

4.2 研究表明自由电子激光器有希望满足未来海军舰载自卫武器系统的要求

目前海军定向能办公室正在开展三项研究工作。第一项研究工作是准确地预测未来 10~15 年里,反舰导弹抗激光辐射加固的能力。第二项研究工作是确定在沿海环境中作战最有效的高能激光波长。这两项研究已接近完成,取得了令人鼓舞的结果。在 1~13 μm 波长只有 1~2.5 μm 之间的大气窗口,显示了比 MIRACL 的 3.8 μm 波长有更好的传输性能。海军作战司令部的 J. R. Cook 等人选择了有代表性的 6 个大气窗口,1.042 μm ,1.064 μm (YAG),1.315 μm (COIL),1.6 μm ,2.2 μm 和 3.8 μm (MIRACL)。在典型的沿海大气条件下,利用 FAC 程序计算了它们的消光特性和吸收特性。在所有大气条件下,1.05 μm 窗口(包括 1.042 μm 和 YAG)的总吸收比下一个窗口 1.6 μm 低一个量级。而 2.2 μm 窗口的性能虽比 MIRACL 稍好,但总吸收又比 1.6 μm 高出一个量级。另一方面,在所有的大气条件下,1.6 μm ,2.2 μm 和 MIRACL 的总消光都比短波长低。因此,他们建议选择 1.6 μm 和 1.05 μm 波长的激光器。由于 1.6 μm 波长处在人眼安全的波长范围和它在不同的大气条件下性能变化小,因此,更倾向于选择 1.6 μm 波长的激光器^[19]。

为了确定这些波长的吸收是否低到足以传送足够的能量到靶上,还必需进行传输分析。Cook 等人进行了一系列的波-光学传输计算(MOLLY),以估计 1.05 μm ,1.62 μm ,1.315 μm 和 3.8 μm 波长激光在典型的沿海大气条件下的传输特性,其相对结果如图 2 所示。从图中可以明显看出,1.6 μm 和 1.04 μm 波长的海上传输性能远远优于 MIRACL。虽然传输性能对选择激光波长十分重要,但它并不是人们唯一关心的问题,像对人眼安全的考虑和低于致命的武器性能等作战特性也是选择激光波长的因素。

海军开展的第三项研究工作,也是最后一项任务是研制一台具有最佳波长的兆瓦级激光器。自由电子激光器(FEL)的波长可调性和高功率运行的潜力,有希望满足未来海军舰载自卫武器系统的要求。而超导射频直线加速器驱动的 FEL 有高的功率效率和加速梯度,能满足

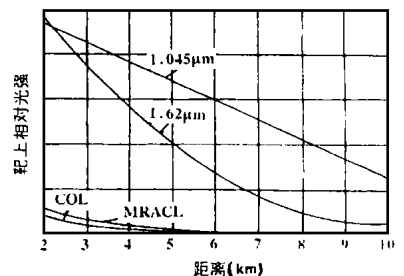


图 2 靶上的光强

对舰载集装和原动力的限制。因此,海军已选择由超导射频加速器驱动的 FEL,作为海军高能激光武器系统的激光器^[20],并于 1996 年与能源部的托马斯·杰斐逊国家加速器中心,海军研究生院,格鲁曼公司和纽波特纽斯造船厂联合执行 FEL 装置计划。表 3 给出了由他们选择的 FEL 高能激光武器系统的高级性能目标。

第一阶段工作将通过研制一台 3~6 μm 波长的连续波 1kW 平均功率的 FEL,以验证超导 FEL 概念的功率定标律,然后开展演示和降低风险的工作。目前已在 5 μm 波长获得平均功率 155W 的创记录水平^[21]。发展舰载兆瓦级 FEL 有许多高难度的物理、工程和系统问题,因此,要产生兆瓦级 1.6 μm FEL 还有很长的路要走。不过,原战略防御计划局花了大量人力、物力和财力发展的 FEL 技术,对海军现在的计划是一笔巨大的遗产,它将有助于海军舰载 FEL 的发展。

4.3 美-荷联合发展舰载近程 DPL 激光武器系统

美国休斯公司和荷兰的信号公司将联合研制一种采用 DPL 高能激光器的舰载近程武器系统,使之能在 2000~2005 年代替他们各自的“方阵”和“守门员”近程武器系统。激光器的功率为 200kW,发射口径为 50cm。在重新“装填”之前,可对目标进行 100 次 1~2s 的攻击,而重新装填仅需 10s^[22]。所选 DPL 激光器的波长是 1.05 μm ,这正是大气吸收最小的波长。

5 美国进行地基激光射击卫星试验

21 世纪战争的主要形式,是核威胁下的信息战争,具有反卫星能力被认为是控制信息战的一种基本要素。由于战场空间的扩展和卫星的作用日益增长,控制空间可能成为头等大事。动能和定向能武器是美国国防部正在探索的两种反卫星技术。

美国空军一直在发展地基激光反卫星技术,这项计划的中心是进行综合束控技术演示,并开展的技术工作包括 COIL 装置,自动跟踪/照明激光器和卫星易损性评估。空军将在 1999 年底开始进行自适应光学和光束控制系统试验,以验证激光反卫星的技术。1999 年试验卫星的轨道高度为 402km,2001 年最后试验的卫星轨道高度为 1207km。最近直径分别为 3.67m 和 3.5m,带自适应光学的两台望远镜相继开始运转,它们将验证满足地基激光反卫星系统要求的光束控制和大气补偿系统的综合能力。这两台世界上最大的低轨卫星跟踪装置,配上足够功率的 COIL,将具备中等反卫星武器的能力。TRW 公司也正在为地基激光研制主动跟踪和自适应光学的照明激光器,所用 DPL 的功率为 1kW,脉冲重复频率 4kHz。

1997 年 10 月 17 日,美国进行了用地面强激光射击卫星的试验,以检验卫星抗激光的能力。试验的靶星是空军的小型探测技术综合 3 号(MSTI-3)卫星,它用来探测试验火箭发射中排出的热量,所以,卫星的关键传感器是 256×256 像元的碲化铟红外相机。该卫星的轨道高度是 420km。美国军方说激光射击卫星试验的主要目的是要了解激光对卫星红外相机的影响,并收集卫星易损性数据。而俄罗斯则认为此次试验可能在反卫星武器领域中引发军备竞赛。

表 3 FEL 高能激光武器系统的高级性能目标

与同时到达的 4 枚超音速巡航导弹交战	
在 20s 作战时间里覆盖 360° 的范围	
进行硬的热杀伤(空气动力学毁坏或高能炸药爆炸)	
系统循环时间	20min
激光器输出功率	1MW
波 长	1~2 μm (标称 1.6 μm)
有效利用率	95%
对另外的任务可进行功率调节	
可组装进 5/54 炮座(重量 100 t,体积 500m ^[3])	

在实验中, MIRACL 激光器发射了两束强激光, 一次持续 1s, 用于确定卫星的位置。另一次持续 10s, 了解激光对卫星的影响。陆军认为试验取得了许多成功, 成功地定位、跟踪, 并用高功率激光器和低功率激光器射击了卫星, 当重复进行激光发射时, 成功地使卫星的传感器达到了饱和^[23]。但在试验中, MIRACL 光腔的某些部件损伤, 后来的试验是用另一台仅 32W 的低功率激光器进行的。而且在高功率射击中, 卫星下行传输发生故障, 一些关键数据丢失, 因此, 数据主要来自低功率激光试验, 美国陆军和空军对试验结果的看法相去甚远。根据激光发射系统和卫星的参数, 我们可估算出 32W 激光束在卫星表面的功率密度为 $38\mu\text{m}/\text{cm}^2$ 。由于传感器光学系统的聚焦作用, 在 CCD 传感器上的功率密度被增大到 $160\text{W}/\text{cm}^2$ 。而激光在一个 CCD 像元上的驻留时间为 6.3ms, 因此, 照射到 CCD 面上的能量密度可达 $1\text{J}/\text{cm}^2$ 。此值远超过铽化铟传感器的饱和能量密度, 将使其局部严重饱和。但短暂的局部饱和使传感器失效的有效性如何? 且相机的视场很小, 地基激光只能在非常窄的窗口里辐照相机的焦平面, 因此, 它可能并不能成为激光反卫星的有效手段。

参 考 文 献

- 1 Defense Technology Area Plan, DOD, Director of Defense Research and Engineering, May, 1996
- 2 任国光. 激光技术, 1996; 20(5): 257
- 3 Proctor P. A W & S T, 1998; 4: 32
- 4 BMD Monitor, 1998, September 18: 311
- 5 Optics & Photonics News, 1998, September: 10
- 6 Aerospace Daily, 1997, October 15: 74
- 7 Aerospace Daily, 1998, June 29: 497
- 8 Aerospace Daily, 1998, December 9: 381
- 9 Inside The Army, 1996, May 20: 5
- 10 BMD Monitor, 1998, October 16: 348
- 11 International Defense Review, 1997; (3): 5
- 12 任国光. 中国航天, 1997; (4): 18
- 13 任国光. 激光技术, 1997; 21(6): 321
- 14 Whitley G. Defense News, 1998, April 20 ~ 26
- 15 Defense Daily, 1997, March 18: 421
- 16 Lamberson D, Dane B, McCall G *et al.* New World Vistas: Air and Space Power for the 21th Century, USAF Scientific Advisory Board
- 17 Duffy T. Inside Defense Electronics, 1995, January 13: 9
- 18 Knowles J. Journal of Electronic Defense, 1996; (10): 48
- 19 Cook J R, Albertine J R. SPIE, 1997; 2988: 264
- 20 Tode M M, Colson W B, Neil G R *et al.* SPIE, 1997; 2988: 176
- 21 Rice J. Optics & Photonics News, 1998, August: 6
- 22 Boatman J. Jane's Defense Weekly, 1995, April 22: 6
- 23 Donnely J. Defense Week, 1997, December: 1

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

收稿日期: 1999-03-15 收到修改稿日期: 1999-04-23