

# 美国强激光武器发展的现状和未来

任国光

(北京应用物理与计算数学研究所, 北京, 100088)

**摘要:** 本文首先概述了美国国防部发展强激光武器的政策和重点, 然后分析和评论了美国发展的五种强激光武器的基本特性, 发展现状, 计划和技术路线, 以及尚待解决的关键技术问题。

**关键词:** 强激光武器 化学氧碘激光器

## Status and future of American high power laser weapons

Ren Guoguang

(Institute of Applied Physics and Computational Mathematics)

**Abstract:** This paper firstly outlines the policy and the emphasis for the development of American DOD high power laser weapons. Then we analyze and evaluate the essential characteristics, status, programs and technical courses as well as the unresolved key technological problems being developed five high power laser weapons of American.

**Key words:** high power laser weapon COIL

### 一、引言

由于技术的发展使战术和战略武器变得威力更大、精度更高、速度更快、作战更加灵活, 这就给常规的防御系统带来了困难。激光武器具有以光速攻击目标、命中率高、在重新装填前能与许多目标交战、作战效费比高和抗电磁干扰等特点, 推动了美国国防部发展许多激光武器系统的技术基础, 并计划把强激光技术发展成先进的高效费比武器。

每种激光装置都具备各自特有的性能, 能完成一种或多种任务, 不存在什么万能的激光装置。美国发展高功率激光的战略是保持几种强激光武器计划。美国从目前和近期的威胁出发, 当前主要发展对付战区弹道导弹和巡航导弹的激光武器。虽然 1993 年 5 月美国宣布“星球大战”时代已经结束, 但从 1994 年 8 月美国国防部公布的《国防部高功率激光计划指南》可以看出, 美国仍在发展反战略弹道导弹和反卫星的激光武器<sup>[1]</sup>。美国国防部每年向高功率激光计划投资二亿美元, 重点发展四种高功率激光武器: 弹道导弹防御局的天基激光武器, 空军的机载激光武器和地基激光武器, 以及海军的反舰导弹防御激光武器。空军获得高功率激光计划经费的 37%, 弹道导弹防御局 30%, 海军 4%, 陆军高能激光试验装置的运行费用占 14%, 基础研究和一些小项目占 15%。目前国防部的一些强激光武器计划处在研究与发展阶段, 某些已准备好进入工程发展阶段。而功率较低的反传感器激光武器已开始生产, 准备装备部队。附表归纳了美国各军种, 弹道导弹防御局和高级研究计划局的高能激光武器项目和经费。

国防部有投资强度适中, 重点突出和协调一致的技术基础来支持各项强激光武器计划。它将继续满足远期要求的高效益技术。近期最有前途的激光装置是 HF/DF 化学激光器和化学氧碘激光器(COIL), 这些激光器是国防部高功率激光计划的骨干。国防部也用一定的经费

支持高效益、高风险的下一代激光器技术。例如二极管泵浦固体激光器(DPL)、自由电子激光器(FEL)和其它具有独特性能的先进概念。我们在以前的文章中已较详细地分析和评估了CO<sub>2</sub>激光器、HF/DF系统、COIL和DPL的特点,存在的技术难题和发展前景<sup>[2]</sup>。

附表 美国陆、海、空军,弹道导弹防御局和高级研究计划局的强激光武器研究项目和经费

军种或 业务局	计划项目 编 号	军种/业 务局代号	项 目 说 明	经费(百万美元)		
				94 财年	95 财年	
陆 军	602307A	A139	染料和二极管泵浦激光器	4.5		
	605605A	HELST F	高能激光系统试验装置运行	24.8		
海 军	602111N	XD1A/ XO1110	激光技术	0.0	3.9	
			FEL	自由电子激光	5.0	
		PDD	点防御演示	0.8		
		PEO(TAD)	PDD	点防御演示(MIPR)	2.0	
空 军	602601F	3326	激光器成像技术	3.5	18.4	
		603605F	3150	先进的光学部件	6.2	5.0
			准分子激光器-有源成像	10.0		
			毛伊光学站激光雷达	18.4		
		3151	大功率半导体激光器	10.3	6.3	
		3647	机载和地基激光技术	27.0	36.7	
			准分子激光器-激光诱发的微波 效应	1.5		
		603319F	ABL	机载激光器	19	20
弹道导弹 防御局	603218C	1302	化学激光器	54.3	77.5	
		1305	捕获、跟踪、瞄准/火控系统	6.5	12.5	
		F1307	机载激光	0.3		
		A1307	二极管泵浦固体激光器	1.7		
		N1307	点防御演示	0.1		
	603215C	1505	激光加固	0.7	0.6	
高级研究 计划局	602707E	Lasers	小型激光器	5.0	5.0	

## 二、天基激光武器

天基化学激光计划是弹道导弹防御局远期发展战略的组成部分,它能有效地防御弹道导弹。这种有效性的关键是要进行助推段拦截,天基强激光武器能把致命辐射沉积在3000km外的目标上,因此能对从世界各地发射的战区和战略弹道导弹进行助推段拦截。它既可以实施战区防御,也可保卫美国本土免遭远程弹道导弹的攻击。尽管美国取消了空间武器部署的计划,但国防部在给国会的报告中仍强调,在空间部署“Alpha”化学激光武器将能在全球范围对付由携带化学和生物弹头的弹道导弹袭击所造成的不断增长的威胁<sup>[3]</sup>。天基激光还可用来防御巡航导弹和远程战略轰炸机。

1995年2月一个高级宇航工业专家小组,向国会提交的一份研究报告说:基于束系统最近取得的进展,在1998年底可以建造并发射一个高功率天基激光平台,在2003年部署整个天基激光作战星座<sup>[4]</sup>。作战型天基平台将用8m直径的望远镜反射镜系统,它将覆盖地球表面

的 1/10, 部署 12 个天基激光平台, 就能覆盖全球。该系统每分钟至少可拦截 5 枚从世界任何地方发射的洲际弹道导弹, 5~10 枚齐射的战区弹道导弹。由于天基激光武器防御覆盖的面积大, 并能执行多种任务, 因此, 预测将有高的军事效益和极高的效费比。

计划在 1998 年作飞行试验的天基平台原型, 将由 Alpha 激光器和 4m 直径的望远镜-反射镜组成。它将试验摧毁千英里以外的助推段导弹, 激光打靶精度相当于能击中 4827km 处的一个汽油桶。天基激光分系统硬件都已成功地进行过演示试验, TRW 公司的 Alpha 激光器被认为是弹道导弹防御局发展的最成熟的先进方案, 自 1991 年以来已多次演示过高品质的兆瓦级激光发射, 洛克希德和伊特克公司分别于 1987 年和 1989 年在大型光学演示实验 (LODE) 和 4m 直径的大型反射镜计划 (LAMP) 中演示验证了光束控制和发射技术, 洛克希德-马丁公司演示验证了捕获、跟踪和瞄准分系统<sup>[5]</sup>。

天基激光尚存的技术问题有天基平台子系统的集成、以及捕获、跟踪、瞄准和火控技术。为此, 国防部将继续执行 Alpha 激光器-大型反射镜综合 (ALI) 计划和高空气球实验 (HABE)。在 ALI 计划中, 将在 1996 财年按规定的输出波前误差, 抖动和瞄准误差产生、控制和发射全功率高能激光束。在 HABE 计划中, 要求在 1997 年和 1998 财年分别完成被动和主动跟踪演示。为实现这些目标将继续发展 HF 泛频激光器、非冷却光学技术、受激布里渊散射相位共轭、自动准直技术和先进的捕获、跟踪、瞄准和火控技术。重点是自动准直, 用于束净化和控制的高功率非线性光学, 以及非冷却共振腔的光学部件。

为了推动演示计划加快运行, 据估计 95 财年要增加预算 0.5 亿美元, 96 和 97 财年预算分别为 4 亿和 6 亿美元, 98 财年为 4.5 亿美元, 外加 Titan IV 运载火箭成本 9 亿美元, 共需 24 亿美元。而要部署 12 个天基激光平台, 费用更高达 150 亿美元。尽管目前美国国会由保守强硬势力掌权, 不仅不要求政府削减军费, 反而要求政府逐年递增军费, 但这样昂贵的天基激光武器试验和部署经费大约是通不过的。而且在空间试验和部署反弹道导弹武器与美苏 1972 年签定的“反弹道导弹条约”相悖, 因此, 我们认为天基激光武器的研究仍将在实验室内进行, 一旦用原型演示了能力和证明了概念的正确性, 就把技术储备起来, 在需要时再迅速发展成武器系统。

### 三、机载激光武器

战区弹道导弹的助推段仅 1~2min, 机载激光能以光束作战, 并能与多枚助推段导弹交战, 这就导致了它被认为是对付战区弹道导弹强有力的候选者。空军已把未来机载激光武器作为它的重点, 美军方可能选择空军的机载激光作为战区导弹防御武器, 空军作战司令部已对机载激光提出了正式的作战要求文件 (ORD)<sup>[6]</sup>, 这在战略防御计划局是从未有过的。机载激光的概念是载有兆瓦级高能激光器的飞机, 在离前线 90km 的空中巡航, 飞行高度 13~15km, 激光射程 100~400km。每次巡航 18h, 可在空中加油。机载激光武器将自主作战, 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仅需 80s, 在一次巡航中可发射激光 20~40 次。机载激光还可用来对付巡航导弹、卫星、机载目标和战场侦察系统。

空军已计划把机载激光纳入整个战区防空体系, 使它成为三位一体的战区防空的一个关键组成部分。在 2002 年建成有作战能力的样机 (COIL 功率 1~2MW), 到 2008 年组成有 8 架载有 2~3MW COIL 的机载激光作战机群<sup>[7]</sup>。1996 年底波音公司和洛克韦尔公司小组将各自独立完成机载激光概念设计, 设计一个完整的实战型机载激光系统, 并在交战模拟中验证他们的设计。然后选择两个设计之一, 从 1997 年进行先期技术演示器计划, 研制和试验实战型

机载激光样机。1994年5月两工业小组的机载激光武器方案已选波音747宽体飞机作为平台,高能激光器选COIL。选择COIL的原因是它能提供高品质的光束,并能定标到很高的功率,能在适中的温度和压力下运行,它比其它类型的激光器安全得多,而且由于波长短,可在保持系统高性能的情况下减小系统的尺寸和重量<sup>[8]</sup>。

最近进行的杀伤力演示和一系列减小风险试验证明,机载激光摧毁导弹是可行的,而且90年代末有可能建造和试验近距离反导机载激光系统<sup>[9]</sup>。1994年10月机载激光计划利用白沙靶场的高能激光器对弹道导弹的燃料箱复制件作了一系列杀伤试验。试验中采用强激光照射不同材料和不同内压的复制件,以确定为了确保摧毁目标所需的激光功率及所需的激光表面的光斑尺寸。不锈钢燃料箱壁厚1.5~2mm,内充高压氮气并达到弹道导弹的燃料压力,激光照射1~3.5s后,所有4个半尺寸靶和3个全尺寸靶都产生了灾难性的结构破坏,这证实了过去10年里发展的弹道导弹的破坏模式。

虽然试验是在地面进行的,但其条件完全代表了标准的机载激光的交战特征。只是所用的激光器不是COIL而是MIRACL。两者的波长不同,COIL是1.315 $\mu\text{m}$ ,MIRACL是3.8 $\mu\text{m}$ 。为了进行比较,采用了低功率的两种波长激光器照射小试件的试验,测量了激光能量吸收之间的差别。COIL波长短,吸收比MIRACL高,试验表明COIL使试件破坏比MIRACL来得早一些<sup>[10]</sup>。

机载激光有待解决的技术问题包括:高空大气特性的表征、强激光的大气传输和自适应光学补偿、激光器的性能以及各部件的一体化。空军正继续了解和研究激光的大气传输和杀伤力,飞机与高功率激光器和束控系统的组装,发展支持机载激光和地基激光的技术研究工作:高功率COIL激光器,主动跟踪/照明激光/人造信标激光,大气传输和瞄准点的选择,以及下一代的技术,其重点是激光器技术(定标、组装和效率)、大气传输与补偿(湍流、照明器的信息、抖动和自适应光学)、模拟和模型化(评价作战概念和任务需求)。

#### 四、地基激光武器

地基激光研究计划正在发展用于控制空间的成象和武器技术。地基激光系统有可能完成反卫星任务。激光能准确地攻击卫星上的特殊瞄准点,并沉积足够的能量,通过热损伤摧毁关键的卫星部件,或使其性能下降,光学传感器是卫星的易损部件。地基激光在1986~1992年期间是美国最大的强激光武器计划,它在自由电子激光器、光束定向器、大气补偿和空间中继光学系统方面都取得了重大进展。1993年美宣布“星球大战”时代结束后,陆军停止了地基激光的反导研究计划,但空军仍在发展地基激光反卫星的技术,如COIL、大口径望远镜、自动跟踪/照明激光器等。

在“星火”光学靶场,研究人员一直在利用光学定向器和1.5m直径带自适应光学的望远镜跟踪和瞄准空间目标,在无大气引起畸变的情况下,这种望远镜可以达到衍射极限,即在805km处的分辨率约为0.1rad·s(约30cm)。更大的3.5m直径的望远镜已于1994年5月在“星火”光学靶场开始运行,这台新的带自适应光学的望远镜将是空军战略光学研究计划的最重要的装置,用于高分辨成象和激光束传输。空军已批准利用这台3.5m的望远镜进行综合光束控制的先期技术演示,以验证满足地基激光反卫星武器系统要求的光束控制和大气补偿系统的可行性和综合能力<sup>[11]</sup>。这台世界上最大的低轨卫星跟踪装置能精确跟踪通过低地球轨道的卫星,配上足够功率的激光器,这个系统将具备中等反卫星武器的能力,能在较短时间

内作好应急发展的准备<sup>[12]</sup>。

空军 Philips 实验室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,目前 TRW 公司正在为空军建造重复脉冲的二极管泵浦固体激光器,其技术指标为输出功率 1kW,脉冲重复频率 2.5~4kHz,光束质量 1.5 倍衍射极限。

地基激光反卫星武器存在的技术问题包括捕获、跟踪和瞄准,光束控制,强激光的大气传输和激光器的定标。地基激光计划将通过低功率综合束演示,继续研究强激光束通过大气的传输,了解卫星的易损性,并进行系统分析。为实现这些目标,将继续研究和发展 COIL 激光器,主动跟踪/照明激光器,人造信标,大气补偿,瞄准点的选择和保持。重点是激光器的定标和强激光的大气传输。

## 五、防御反舰导弹的激光武器

在未来的战争中,海军必须对付离海面不足 3m,以高 g 速度机动的超音速导弹的威胁,这种武器难于发现和难于杀伤。用高能激光器防御各种反舰巡航导弹,将大大提高军舰的自卫能力。海军对高功率 DF 化学激光器作了广泛的物理和杀伤力研究。海军在 1994 年进行的点防御演示是过去 20 年一系列试验中的最后试验,计划包括与亚音速和超音速大航路捷径目标交战,在迎头交战演示中将“冥河”(Styx)导弹作为实际的反舰导弹,研究高能激光系统用于防御目前和近期非核巡航导弹的效能,以判断是否需要进一步的研究计划,来发展用于装舰的高能激光武器系统。下一步是否进行舰载相容性演示、海上演示和发展全尺寸原型,将取决于点防御的试验结果、经费和项目的优先次序。海军 1995 财年没有为继续发展激光反舰导弹防御计划申请经费<sup>[11]</sup>。

海军 20 多年来已建造了全尺寸的激光器(兆瓦级的 DF 化学激光器 MIRACL),束定向器和捕获、跟踪与瞄准系统。它们构成了白沙导弹靶场的高能激光系统试验装置。海军最近告诉国会他们不再希望采用高能激光系统试验装置,完成确定高能激光器能否发展装舰应用的研究,并建议关闭此装置。海军说白沙靶场的试验装置“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”<sup>[13]</sup>。海军认为老的激光试验装置已不能满足海军确定是否应当发展舰载激光器的需要。

美国的休斯公司和荷兰的信号公司将联合研制一种基于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<sup>[14]</sup>。两公司计划把进行硬杀伤的激光武器组装进“方阵”和“守门员”的炮座里。这项研制计划将以美国利弗莫尔实验室发展的高能激光技术为基础,这种二极管泵浦的固体激光器具有使大气吸收最小的激光波长。Hughes 公司将采用其光谱实验室的技术生产固体激光二极管,然后再通过堆积模块化的二极管,以达到所需的功率。电源将以常规舰船动力使其旋转的飞轮系统为基础,它被认为是非常成熟的技术。

## 六、车载激光防空系统

随着战略防御的重点向战区防御转移,激光武器也在从战略应用转向战区和战术应用<sup>[15]</sup>。强激光武器发展计划由原战略防御局转移至各兵种和军事机构后,空军和弹道导弹防御局在战区和战略防御方面保持着广泛的计划,而陆军和海军则在发展和倡导用于其特殊任

务的激光武器概念, 并进行有限的技术开发。

激光武器总装取得的进展和美国战略学说的转变, 使得战术激光武器可能成为用于前线的理想的点防御武器。陆军正在对车载激光防空武器进行概念研究。陆军考虑发展的“通用区域防御综合反导系统(Gardian)”, 将部署在轮式或履带式装甲车上用以对付快速、隐蔽、机动的空中目标, 例如各种导弹、灵巧炸弹、集束式弹药、无人航空飞行器、固定翼和旋转翼飞机。Gardian 将由 400kW 的高能激光器和 70cm 直径的瞄准/跟踪器组成, 能杀伤 5km 区域内的硬目标, 重创几十公里的目标, 能使远距离的光学系统产生裂纹和损伤传感器。系统的典型响应时间约为 1s, 发射率为 20~ 50/min, 它能与以 100g 作机动飞行的目标作战, 每发射一次成本约 1000 美元<sup>[16]</sup>。

陆军也正在与以色列联合发展高能激光武器。它将用于战争和军事行动中, 对付短程火箭、迫击炮弹和武装直升机, 保护前线地面部队, 军事基地和居民区。这项取名为“鸚鵡螺”的计划, 将评估激光对短程火箭的杀伤力, 确定高能激光武器系统的组成。1995 年进行的地面试验采用了捆绑式的短程火箭弹, 试验取得完全成功, 试验结果证实了模拟预测, 为下一步的飞行试验提供了必要的数。在 1996 年 2 月进行的飞行试验中, 高能激光系统试验装置成功地击落了一枚短程火箭(弹头爆炸), 这是有史以来第一次激光与飞行中的火箭弹交战<sup>[17]</sup>。短程火箭总飞行时间仅为 30s, 因此防御地-地短程火箭非常困难。与高炮和导弹防空系统相比, 可能只有激光具有对付这类威胁所需的精度和快速反应能力。陆军已准备好进行一次先期概念技术演示验证, 在 3 年内研制出硬杀伤距离为 1km, 软杀伤距离(破坏传感器)达 10km 的高能激光武器系统。

#### 参 考 文 献

- 1 Department of defense high power laser program guidance. 6 June 1994, AD- A282915
- 2 任国光. 激光与红外, 1995; 25(2): 12~ 17
- 3 高技术与核武器, 1993; (6):
- 4 Military Space, April 3, 1995
- 5 Gildea K. Defense Daily, March 28, 1995
- 6 Aerospace Daily, May 20, 1994
- 7 Berenson D. Inside The Pentagon, August 10, 1995
- 8 Coulombe S A. Airpower Journal, Fall 1994
- 9 Scott W S. AW & ST, December 12/ 19, 1994
- 10 BMD Monitor, January 13, 1995
- 11 Defense Technology Plan, Department of Defense, September 1994
- 12 Hudson N. Space News, May 2, 1993,
- 13 Duffy T. Inside Defense Electronics, January 13, 1995
- 14 Boatman J. Jane' s Defense Weekly, April 22, 1995
- 15 任国光. 激光技术, 1994; 18(3): 129~ 132
- 16 Signal, 1994; 48(11): 59
- 17 Dupont D G. Inside The Army, February 12, 1996

\*

\*

\*

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

收稿日期: 1996-01-22

