

文章编号: 1001-3806(2017)02-0213-08

通用原子公司高能激光器研制进展

易亨瑜¹, 齐予¹, 易欣仪², 黄吉金¹

(1. 中国工程物理研究院应用电子学研究所, 绵阳 621900; 2. 复旦大学2015级自然科学试验班, 上海 200433)

摘要: 通用原子(航空系统)公司高能激光器得到了高能液体激光区域防御系统(HELLADS)计划的经费支持, 目前已发展到第3代系统, 并通过了美国政府验收。首先对HELLADS计划相关信息进行了梳理, 分析了其产生背景、研制阶段、支持经费和相关技术进展。其次详细研究了通用原子公司高能激光器的系统结构、技术路线、抽运方式、技术特点和性能指标。通过综合分析可知, 通用原子公司第3代高能激光器模块采用紧凑的锂离子电池提供电力, 输出功率为75kW, 光束质量 $\beta < 2$, 电光效率接近30%, 模块尺寸为1.3m × 0.4m × 0.5m, 重量/功率比为4kg/kW, 持续运行时间超过30s, 适合于安装在各种小型战术平台上。最后评述了该激光器输出功率定标放大的技术途径, 探讨了其后续发展方向。

关键词: 激光技术; 高能液体激光区域防御系统; 高能激光; 分布式增益介质; 激光器

中图分类号: TJ953

文献标志码: A

doi:10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2017.02.014

Development of GA-ASI's high energy laser

YI Hengyu¹, QI Yu¹, YI Xinyi², HUANG Jijin¹

(1. Institute of Applied Electronic, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900, China; 2. Natural Science Experimental Class 2015, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: The high-energy laser (HEL) system proposed by General Atomics Aeronautical System, Inc. (GA-ASI) has been developed to the third generation system, which supported by high energy liquid laser area defense system (HELLADS) program and approved by U. S. government recently. Firstly, HELLADS program is reviewed. Some information, such as background, development phases, funds, relative technology developments and so on, is introduced. Secondly, system structure, technical route, pumping mode, technical characteristics and performance indexes of HEL of GA-ASI are studied in detail. Compact lithium ion battery is used as power of the third generation of HEL. The output power is 75kW, beam quality is $\beta < 2$, electrical to optical efficiency is nearly 30%, module size is 1.3m × 0.4m × 0.5m, weight/power ratio is 4kg/kW and continuous running time is more than 30s. The third generation of HEL is suitable for installation on all kinds of small tactical platform. Finally, the technical approach to amplify output power calibration of the laser is reviewed, and the future development direction of the laser is discussed.

Key words: laser technique; high energy liquid laser area defence system; high energy laser; distributed gain medium; laser

引言

据英国简氏网站报道, 2015-04-08 通用原子航空系统公司(下面简称通用原子公司)宣布, 美国政府授权的一家独立测量团队已经完成了对该公司第3代高能激光器的性能评估, 进行了光束质量和输出功率的测量^[1]。自此之后出现了大量的相关报告和评述^[2-7]。

该激光器的研制得到了美国高能液体激光区域防御系统(high energy liquid laser area defense system, HELLADS)计划的支持, 参考文献[8]中对该计划的前期进展进行了分析, 随后多篇文献中也提及该计划^[9-11]。HELLADS是在国防部先进研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)支持下在研的、最为保密的一项高能激光计划, 在很长一段时间内, 合同承包商通用原子公司采用的技术方案也从未公开报道过, 甚至没有谈及是何种介质类型的激光器。

作者在多年跟踪和全面收集资料的基础上, 对HELLADS计划相关信息进行了梳理, 分析了其产生背景、研制阶段、支持经费和相关技术进展; 并对通用原子公司液体激光器技术进行了深入研究, 详细剖析了

基金项目: 中国工程物理研究院应用电子学研究所自研课题资助项目(2015XXZY01)

作者简介: 易亨瑜(1969-), 男, 高级工程师, 现从事激光技术的研究。

E-mail: yihengyu1@sina.com

收稿日期: 2016-01-15; 收到修改稿日期: 2016-05-04

激光器的系统结构、技术路线、抽运方式、技术特点和输出性能,评述了该激光器输出功率定标放大的技术途径,并探讨了其后续应用方向。

1 研究背景

重量和体积是高能激光系统的两项重要指标,是其能否走出实验室、进行实战化部署的关键因素,因此在联合高功率固体激光器(joint high power solid-state laser, JHPSSL)计划之后,美国于 2003 年启动了 HEL-LADS 计划,目的是验证一种 150kW 级轻量紧凑型高能激光器技术,能够安装到装甲车辆、巡逻艇、战斗机、无人机等小型战术作战平台上,用于拦截地空导弹、空空导弹、巡航导弹、炮弹、火箭弹等目标。根据美国 DARPA 的要求,整个系统将包括 HEL-LADS 激光器、火控、冷却和供电等子系统。其中激光器(包括冷却系统在内)的体积不大于 2m³、总重量不超过 750kg,系统的重量/功率比小于 5kg/kW。该技术指标要求在输出功率相同的情况下,激光器重量远小于当时正在研制中的各种其它类型高能激光系统,大约只是其 1/10。DARPA 机载自防御系统如图 1 所示。



图 1 DARPA 设想的机载自防御系统

位于圣地亚哥市的通用原子公司从 2003 年就开始参与 HEL-LADS 计划,其原型样机采用的是分布式增益液体激光器。

2 HEL-LADS 计划进展概述

HELLADS 计划得到了 DRAPA 经费的全程支持。从经费支出类别可大致分为 3 个阶段:(1)1999 年~2003 年为预备阶段,其主要题目是 Compact Lasers,经费来源于先进战术技术计划 TT-06 中的战术技术项目 PE 0602702E,目标是研制出一台小型千瓦级激光器;(2)2003 年~2012 年为发展阶段,其题目是高能液体激光区域防御计划(HELLADS),经费来源于先进战术技术计划 TT-06 中的战术技术项目 PE 0602702E;其间在 2008 年~2012 年的预算中,将研究内容分类后,新成立一个航空自适应光学控制(adaptive beam control, ABC)项目,从属于 HEL-LADS 计划;(3)2011 年~2015 年为成熟阶段,其主要题目是高能液体激光区域防御计划(HELLADS),经费来源于联合作战系统计划

NET-01 中的网络中心作战技术项目 PE 0603766E。

2016 年该计划正式终止,接下来将由 DARPA 与空军研究实验室联合支持。图 2 为 HEL-LADS 各年的经费支出表。

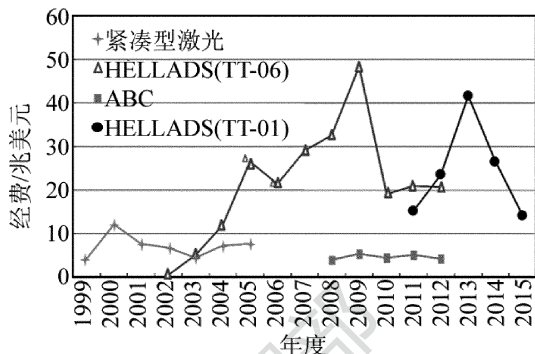


图 2 HEL-LADS 计划各年的经费支出表

按照 DARPA 预计,HELLADS 系统的研制将分 5 个阶段完成:(1)对谐振腔、激光增益和系统热特性进行技术论证和关键技术演示;(2)研制和试验 15kW、17kW 集成了供电单元和热管理单元的激光模块;(3)完成 150kW 激光器的详细设计,启动建造工作;(4)在地面试验中演示验证 150kW 高能激光系统的性能;(5)将高能激光器集成到试验飞机,在飞行试验中,演示验证 150kW 高能激光系统的机载自防御性能。

整个计划为期 5 年(2005 年 3 月~2009 年 12 月)。该计划前期进展顺利,第二阶段集成的供电单元和热管理单元的 15kW、17kW 激光模块分别在 2006 年、2007 年研制成功,但之后由于技术难度极大,HELLADS 计划的进度被推迟。

HELLADS 计划到 2007 年进入第三阶段,同年 9 月,DPARPA 引入了达信防务系统公司参与竞争,由二者负责 HEL-LADS 激光器的研制。HELLADS 计划原打算采用液体激光器路线,但是传统液体激光器具有以下缺点:(1)虽然它发射连续光束,但是光束质量较差;(2)在高功率运行时热效应严重,需要大型冷却系统;(3)增益介质在高温下性能不稳定。因此两家公司在激光器设计中均采用了“浸入式”固体激光增益介质途径,使之兼具高功率输出和优越的热管理性能。其中通用原子公司基于其 2001 年提出的液体 DPL 概念,利用了 2005 年~2008 年申请的 3 个“分布式增益薄片激光器”专利,采用了两套 75kW 的固体薄片激光放大器模块形成 150kW 的激光输出。达信防务系统公司利用了其“薄锯齿形(thin-zag)陶瓷二极管抽运固体激光器专利技术”,采用了 3 套 50kW 的板条激光放大器模块形成 150kW 的激光输出。其中达信公司的技术在高能激光联合技术办公室(High Energy Laser Joint Technology Office, HEL-JTO)倡议的 JHPSSL 计划

中得到应用,并于 2010 年实现 100kW 输出功率。两家公司的设计方案都具备系统结构紧凑的特点,尤其是无需较大体积的冷却系统,就能满足 HELLADS 的要求。

2009 年 DARPA 开始对两家方案进行评估。2011 年通用原子公司成功研制出 34kW 的激光模块。同年 6 月 21 日,通用原子公司的方案最终胜出,获得 HELLADS 计划第四阶段合同。据美国《军用航空电子》网站报道,2011 年 6 月下旬,通用原子公司与 DARPA 签订了 3980 万美元的合同,研制 150kW 级高能液体激光器。

据通用原子公司激光武器项目主管吉姆·戴维斯称,该公司研制的体积较小、重量较轻、效率较高的第 2 代激光器系统已于 2010 年 12 月由国防部下属高能固体激光联合技术办公室完成性能测试,但输出性能未见报道。

根据计划,通用原子公司为美国空军研制的激光器,于 2014 年与光束控制系统集成,并于 2014 年~2015 年在某山顶试验场中开展向下射击试验,演示机载激光系统对地空导弹的自防护性能。

其间,为将激光器、光束控制、供电单元、热管理和作战管理系统集成到有限的飞行空间中,通用原子公司在 2012 年就启动了战术激光武器模块样机(tactical laser weapon module, TLWM)的概念设计和系统架构分析;2013 年完成 TLWM 多个子系统的关键设计,并开始制造机载平台接口、光束控制、作战管理等子系统,计划推动飞行性能的早期弱光验证。

然而随着需求的变化,原计划的机载作战平台又扩展到地基、舰载等移动平台;而且其中工程难度巨大,因此第五阶段目标“将全套 HELLADS 系统安装在飞机上进行飞行打靶试验”被暂时搁置,留待 2016 年后 DARPA 和空军研究实验室共同支持。而 HELLADS 计划就以第四阶段“完成 150kW 激光模块的政府验收和外场试验”作为计划终止目标。

3 系统组成

除了 HELLADS 计划的支持外,通用原子公司在 2010 年~2015 年还得到了坚固式电激光器倡议(robust electric laser initiative, RELI)计划的经费支持,以分布式增益技术为基础,将两个激光单元模块联合在一起,在实验室已经对激光器性能进行了演示,提前达到 RELI 计划第一阶段要求的输出功率和重量。之后以提高电光效率为首要任务,在 2014 年前研制了一种新型、高效的分布式增益介质激光器。第 3 代高能激光器是在上一代基础上进行了大量的技术升级,改变

激光介质、半导体激光抽运方式,并对激光头进行重新设计,进一步改善了光束质量、增加了电-光效率,减少了尺寸和重量,其总体技术准备水平已经接近技术成熟度(technology readiness levels, TRL)6 级水平,能够在相关环境中进行样机的演示验证。在 2015-04-13 ~ 2015-04-15 举办的海-空-天展会上,通用原子公司首次展出了这套机密级的激光器模块的模型,吸引了众多关注。

从图 3 可以看到,HELLADS 激光器模块分为 4 段,从左到右分别是光束耦合单元、谐振腔单元、热能管理单元和供电单元。供电单元采用锂离子电池组,这种设计便于在战术平台上演示一种可部署的高能激光系统架构;工作时无需外接其它外部电源,可以提供一定数量的射击次数;不过锂离子电池容量在通用原子公司属于机密信息,报道显示,供电单元挤满了足够的锂离子电池,其连续工作时间大于 30s。热能管理单元装满了冷却液体,可能采用风冷形式进行循环冷却。根据输出功率的需要,谐振腔单元可以装载了一个或多个激光器单元模块。光束耦合单元是用于光束整形和稳定的光学器件,可以将谐振腔输出光束耦合进入各种战术平台上的光束发射望远镜中。

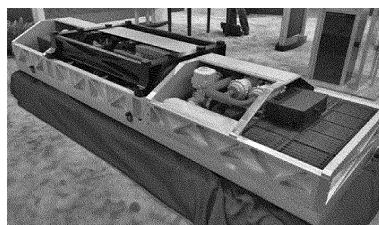


图 3 第 3 代 HELLADS 激光单元模块

因此 HELLADS 激光器模块是一个完整的作战光源,只需外接一个火控信号,以及一台光束发射望远镜,就能方便、快捷地构建一套高能激光系统。

3.1 模块结构

通用原子公司研制激光器,属于薄片激光器中的一类。薄片激光器是一类有潜力的高功率激光源,其设计理念由德国的阿道夫·杰生在 1990 年提出,使用薄的、盘状激活介质可确保大的表面/体积比,能够提供非常有效的热管理。由于薄片介质的直径远大于厚度,废热从薄片介质的表面导出,一方面热流的距离非常短,即使用大的抽运能量也不会产生大的温度梯度;另一方面通过薄片表面进行激光功率的提取,

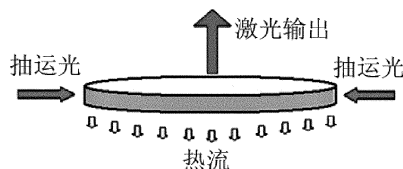


图 4 理想情况下薄片介质热传导示意图

从而热流近似为平行于激光方向、均匀的轴向 1 维热流,如图 4 所示,这样就会大大地降低热透镜效应,使得横向温度梯度、光束传播截面上的相位畸变实现最小化。因此,薄片激光器能有效去除增益介质的热沉积,在获得高功率激光输出同时,保持高效率和高光束质量。

通用原子公司在研制 HELLADS 激光模块中,采用的是折射率匹配液体环绕的浸入式液冷薄片设计方式。经调研和分析得出,通用原子公司采用了分布式增益的薄片激光器专利技术^[12],其单元模块的结构如图 5 所示。一连串厚度为毫米量级的薄片固定在谐振腔的模块中,冷却液从上至下、通过分流后均匀流过薄片介质之间的区域并带走热量;与冷却方向垂直,抽运光入射到增益介质表面。这种技术方案的重点是,在增益介质很薄的情况下,介质内部的温度场比较均匀,介质不会因为热应力而损伤,且由于温度场的梯度和激光传输方向一致,造成的波前畸变也较小,保证了激光束的光束质量。若要实现更高功率的输出,可将几个模块串联使用。

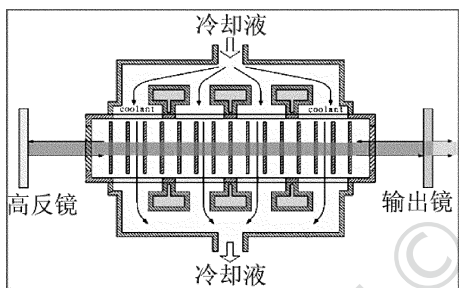


图 5 HELLADS 激光器谐振腔

3.2 抽运方式的选择

从专利上可以看到,通用原子公司薄片激光介质

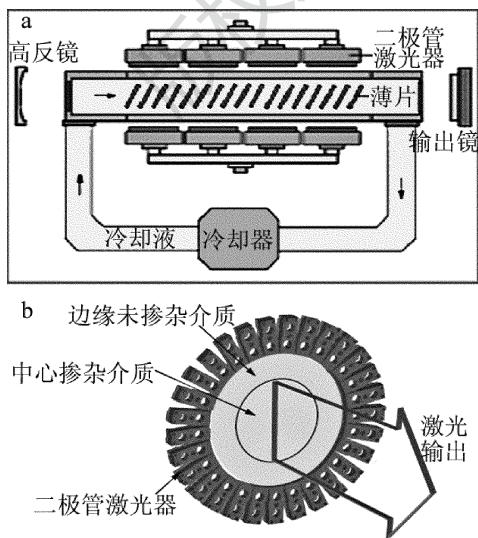


图 6 端面抽运、侧面抽运复合晶体薄片激光器结构示意图

a—端面抽运 b—侧面抽运

原来采用的是半导体激光器端面抽运方式,如图 6a 所示。上方和下方的二极管激光器输出的抽运光束,以一定角度入射到薄片的表面上。端面抽运典型的光吸收效率为 70%~80%,要求材料的激活离子对抽运光的吸收系数必须很大;为了达到均匀抽运,对抽运源的要求是光束质量较高,因此光学设计、装调的精度要求较高,系统稳定性下降。适合于端面抽运的盘片材料有 Nd:YAG, Nd:GGG, Nd:glass 和 Yb:FAP,这几种方式体积较大。

为了体积更加紧凑,通用原子公司薄片激光介质采用半导体激光器侧抽运方式^[13],如图 6b 所示。四周的二极管激光器输出的抽运光束,垂直入射进薄片的侧面中。侧面抽运可以减少耦合系统的复杂性,同时因具有长的吸收路径,可以降低增益介质的掺杂浓度。适合于侧面抽运的盘片材料有 885nm 抽运条件下的 Nd:YLF, Yb:YAG 和 Yb:GGG 等。通用原子公司第 3 代激光器可能采用的是钕镱双掺复合玻璃增益介质。这种方式的挑战在于如何控制二极管激光器个数和抽运间距、激光增益介质吸收系数等参量对抽运均匀性的影响。

3.3 技术特点分析

通用原子公司第 3 代激光器的设计方案是侧抽运“透射式串联”方式。它具有以下特点。

(1) 薄片介质采用侧面抽运方式,减少了激光器体积和设计的复杂性,增加了稳定性。

端面抽运能够实现高达 90% 的吸收效率,其不足之处在于:光学设计非常复杂,需要抽运光 32 次往返照射在薄片介质上,导致元器件多(如图 7 所示),不利于系统的稳定性。另外,由于端面抽运的薄片激光器工作面积小,而且增益介质单位面积内的光吸收有限、散热能力有限,使得端面抽运的薄片激光器实现很

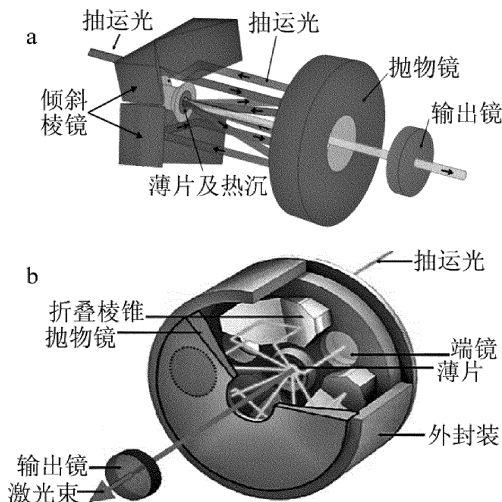


图 7 端面抽运光路设计及其产品

高的输出功率非常困难。

(2) 薄片介质无需焊接在热沉上, 不会引入焊接形变。

与通用原子公司不同, 2007 年中国工程物理研究院的 YAO 等人采用“反射串联式”薄片介质方式, 率先在国内实现千瓦级双薄片激光器输出^[14]。波音公司采用同样方式在 2013 年 8 月研制出 35kW、光束质量小于 2 的第 3 代反射式薄片激光器^[15]。图 8 中给出了波音公司采用 10 片薄片增益介质的反射串联放大构成的激光器谐振腔。但是薄片激光介质由于非常“薄”, 在加工、镀膜中, 为了控制像差需要精密的加工仪器和更多的修磨流程, 这大大提高了加工成本。在“反射式串联”中, 需要将薄片无像差地焊接在热沉上, 这无疑也带来了巨大的技术难题。

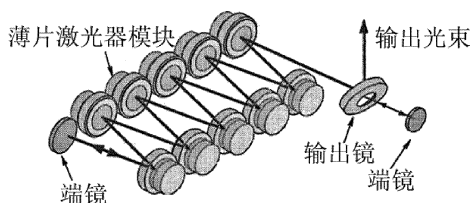


图 8 波音公司 10 个薄片增益介质的反射串联放大

(3) 折射率匹配冷却液体的研制难度极大。

在通用原子公司的设计方案中, 要求冷却液的折射率和薄片增益介质的折射率须严格匹配, 否则由于固液界面很多, 很小的折射率失配就会带来很大的激光损耗; 另外冷却液对抽运光和激光要足够透明。但是满足这些条件的冷却液, 一般都是剧毒化学试剂。而且液体的热光系数通常比薄片增益介质大两个数量级, 在温度变化中如何控制, 这些都是一系列工程技术难题。

(4) 薄片之间冷却液湍流对光束的影响。

在激光器工作时, 冷却液体流经高温薄片介质之间, 在带走热量的同时, 将产生复杂的湍流和浸润现象, 这将严重影响激光器的输出光束质量。一种较为理想的方式是采用腔内光束净化装置, 如图 9 所示。波前校正器位于激光谐振腔内部。腔内光束净化技术主要用于校正谐振腔腔内光学元件的静态像差、腔镜失调、腔内增益介质在工作时产生的动态像差, 起到从激光产生的源头提高激光器输出光束质量的作用。

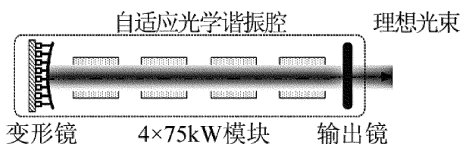


图 9 腔内光束净化装置示意图

尽管目前腔内光束净化技术能够有效地从激光谐振腔提升光束质量, 但腔内光束净化技术的理论基础

尚不完善。波前校正器工作时, 不断对谐振腔模式进行微扰调制, 故而畸变激光谐振腔的输出特性很难用解析的形式表达。因此给控制算法参量的优化带来挑战, 只能采用“爬山法”等方式工作, 无法像腔外自适应光学装置那样, 利用相位反演实现快速的光束校正。

3.4 性能指标

2015-04-08, 独立测量小组根据美国政府授予的合同要求, 利用美国国防部高能激光联合技术办公室 (HELJTO) 提供的国有诊断系统 (government diagnostic system, GDS), 鉴定了通用原子公司的第 3 代高能激光器在一系列输出功率和运行时间下的光束质量, 其中最大连续运行功率超过 50kW, 持续运行时间超过 30s, 该激光器均保持了卓越的光束质量。

戴维斯表示, 第 3 代的电光效率与光纤激光器在同一水平上, 另外通用原子公司已经用了多年时间来大幅改善光束质量, 并在最新的测试中取得了“极好的光束质量”, 利用适应光学技术补偿了光束在大气传输过程中受到的扰动。

综合各种资料信息, 可以知道: (1) 通用原子公司第 3 代激光器单元模块尺寸为 1.3m × 0.4m × 0.5m, 指标为 4kg/kW; (2) 该激光器单元模块采用紧凑的锂离子电池提供电力, 由此限制了“弹仓深度”; (3) 该激光器单元模块最大连续运行功率超过 50kW, 持续运行时间超过 30s, 此间激光器均保持了卓越的光束质量; (4) 第 3 代激光器单元模块是国防部研发的 TLWM 的组成单元, 150kW 级样机将于今年夏天在新墨西哥州的白沙导弹靶场测试; (5) 第 3 代高能激光器是 2015 年 4 月研制成功的 75kW、光束质量 $\beta < 2$ 、电光效率接近 30% 的激光器单元模块。而第 1 代高能激光器可能是 2011 年研制成功的 34kW 的激光器单元模块, 第 2 代是 2012 年 12 月研制成功的 60kW, $\beta = 2$ 的激光器单元模块。

4 定标放大分析

本次通过国家级验收的是 TLWM 中的一个单元模块, 这个单元模块的特点是灵活性高、适装性好。TLWM 的设计适用于机载、舰载和陆基平台, 将提供 50kW ~ 300kW 间 4 种型号的激光输出功率。因此对于第 3 代高能激光器单元模块, 它可能采用扩大薄片直径、增加腔内薄片数量和光束合成等 3 种方式实现输出功率的定标放大。

4.1 扩大薄片直径

在薄片设计方式中, 通过增加介质的有效体积, 很容易实现激光输出功率的定标放大。由于废热排除是通过薄片介质的另一个表面, 因此在恒定厚度和恒定

抽运功率密度下,增加激活介质面积将保持温度不变。此外,激光模式的面积也将增加,保持单位面积上的激光功率密度不变。这特别有利于脉冲工作方式:在这种定标放大中,谐振腔内单位表面积上的脉冲能量和脉冲峰值强度都没有严格限制。

然而这会进一步加大薄片介质加工、镀膜中的技术难度和加工成本,甚至在薄片介质夹持方式上引入新的挑战。

4.2 腔内串联放大

在实现功率放大时,可将几个激光器单元模块连接在一起使用,产生一束 150kW 或 300kW 的高能激光。戴维斯称,其间没有采用类似高能光纤激光器中的光束合成技术。

如图 10 所示,模型中有一个 75kW 的激光单元模块(图中箭头所示)。对于一个 150kW 的 TLWM,需要空间容纳两个模块。为了实现高光束质量输出,可采用变反射率非稳腔(variable reflectivity mirror, VRM),并针对抽运光斑形状进行 VRM 的反射率轮廓匹配研究设计^[16]。

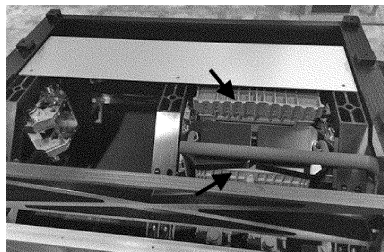


图 10 含一个模块的 HELLADS 激光器谐振腔

在腔内串联放大方式下,当腔内模块数量变化时,需要重新替换不同曲率半径的谐振腔腔镜。除此以外,可以采用图 9 所示的自适应光学谐振腔。

4.3 光谱合成及偏振合成

对于固定的激光单元模块,采用光谱合成或偏振合成方式,组合更加方便,光束质量更有保障。通过光束合成方式得到的第 3 代 HELLADS 激光器如图 11 所示。两台波长 λ_1 、 λ_2 略有差别的 75kW 的激光单元模块,首先通过光谱合成得到 150kW 的激光束;然后两路 150kW 激光束再通过波长合成,得到 300kW 的激光输出。图 11 中, d 为两台 75kW 激光单元模块输出光束的间距, f_1 是望远镜物镜与光栅的间距,它们由实

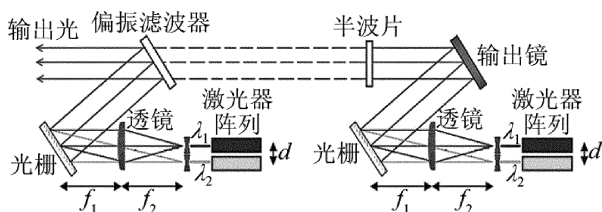


图 11 光束合成方式得到的第 3 代 HELLADS 激光单元模块

验装置确定; f_2 是望远镜的结构参量,由其物镜和目镜的焦距决定。

当然,如果 200kW 左右的高功率、高光束质量激光单元模块能够顺利研制出来,这种光束合成方式可能在 800kW 等更高功率下采用。

5 后续发展展望

5.1 150kW 级 TLWM 的外场测试

第 3 代高性能激光器也是正在研制的 TLWM 中的一个单元部件,TLWM 将采用灵活、可部署的系统结构,设计用来在陆基、海基和空基平台上使用,将具有 4 种基本型号,其输出功率分别为 50kW, 75kW, 150kW 和 300kW。而且激光器在 50kW ~ 300kW 功率水平下运行时,可以仅由自身携带的紧凑型锂离子电池组提供电力,可方便地部署在陆基、舰载或机载平台上。

第 3 代高性能激光器问世,为美国充分奠定了高能激光系统用于战术平台的灵活可用性。本次评估后,该独立测量团队将对通用原子公司研发的 HELLADS 激光演示系统的光束质量进行测量。HELLADS 激光演示系统包括 150kW 级激光器和集成的电源与热管理部件。据激光武器项目主管吉姆·戴维斯称,HELLADS 将于 2015 年夏天在新墨西哥州的白沙导弹靶场测试 150kW 级样机,后又推迟到 2016 年 1 月。迄今为止,作者还未查到相关信息。据报道,通用原子公司的 150kW 的激光器,光束质量是第 1 代舰载高能激光系统(laser weapon system, LaWS)的 3 倍^[17-18],光束质量 $\beta \approx 5$ 。

5.2 美国空军需求

通用原子公司原本是一家老牌无人机生产商,为美军提供了多种型号的无人机。公司预计 2018 年前部署 TLWM 在“捕食者 C”复仇者无人机上,示意图见图 12。戴维斯称,第 3 代激光器的体积紧凑,可使一台 150kW 的机载激光模块安装在公司生产的复仇者无人机上。无人机有足够的机载电源,可以在飞行中对模块电池进行充电。戴维斯说:“这是有效的,飞机不需要回来重新加载电池”。另外媒体认为,TLWM 将成为 AC-130 武装直升机或 V-22 鱼鹰的一个标准

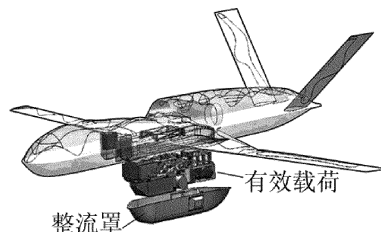


图 12 无人机上部署 TLWM 的示意图

配件。

导弹防御局对激光武器吊舱表示了兴趣,准备在2016年申请4.5千万美元,继续研制无人机载高能激光拦截系统。空军最新关注的是第6代战斗机载高能激光系统,并在2015年12月开展了商业竞标。

5.3 美国海军需求

美国海军正在利用30kW非相干合成激光器,在波斯湾开展实战测试^[17]。为了进一步提供激光打击能力,海军研究办公室(Office of Naval Research, ONR)也向工业团队进行招标,要求提供适合安装在未来DDG-51-class驱逐舰上的150kW激光器。

2013-01-24《航空周刊》报道,DARPA向通用原子公司采购第2套HELLADS系统,供海军反水面舰只演示试验。2015-04-21《航空周刊与空间技术》报道,通用原子公司针对海军需求,开发了一台150kW高能激光系统来对抗无人驾驶飞机和小船,只使用船上电力和冷却装置。另外据《航空周刊》报道,系统将在2018年安装在一艘海军测试军舰进行演示,地点在加利福尼亚州奥克斯纳德市胡内米港口外。

海军高能激光系统方案受到ONR“固体激光器技术成熟化”计划的支持,将于2018年在“保罗·福斯特”号上进行演示验证。“保罗·福斯特”号是美国“斯普鲁恩斯”级驱逐舰,目前已经退役,现在在加州胡内米港口,作为美国海军舰载防御测试舰艇。

5.4 美国陆军需求

TLWM的体积小、重量轻,也能够安装在轻型战术车辆上,甚至在沃尔沃家用轿车上。

除了完成ONR的项目,GA-ASI公司还着眼于陆军“高能激光移动演示样机”(high energy laser mobile demonstrator, HEL-MD)项目。去年年底,该系统样机完成了10kW工业光纤激光器的测试,美国陆军计划用洛马公司研发的60kW光纤激光器对其进行升级。HEL-MD项目下一步发展目标是120kW,计划于2020年后开展测试。GA-ASI准备将第3代HELLADS激光器申请作为主战光源。

6 小结

本文中HELLADS计划进行了梳理,并对通用原子公司高能激光器的研制进行了分析。可以看到,2015年结束时,HELLADS计划中第五阶段目标尚未实现,预计2016年后由美国空军研究实验室继续支持。但是通用原子公司第3代高能激光器的成功研制,为军用高能激光器在效率、光束质量及系统重量上建立了新的标准;而且在该计划实施中,研制出了世界上亮度最高的二极管激光器,并推动着紧凑型电池组、

热管理、激光增益介质制造和光学元件加工等等技术的进步。

由各类信息分析得到:通用原子公司第1代高能激光器可能是2011年研制成功的34kW的激光器单元模块;第2代是2012年12月研制成功的60kW, $\beta = 2$ 的激光器单元模块;第3代高能激光器是2015年4月研制成功的75kW、光束质量 $\beta < 2$ 、电光效率接近30%的激光器单元模块,其它性能指标如下:(1)模块尺寸为1.3m × 0.4m × 0.5m,指标为4kg/kW;(2)采用紧凑的锂离子电池提供电力,“弹仓深度”,运行时间超过30s。

通用原子公司第3代高能激光器适合于安装在各种小型战术平台上。它在技术架构上采用了“浸入式”薄片介质方式和“分布式增益薄片激光器”专利;在模块的功率定标放大中采用了“透射式串联”方式,使薄片介质无需焊接在热沉上,不会引入焊接形变;采用侧面抽运方式代替原来的端面抽运方式,进一步减少了激光器体积。这些技术革新,都值得人们加以关注。

参 考 文 献

- [1] THE SHEPARD NEWS TEAM. GA-ASI's Gen 3 HEL system evaluated [EB/OL]. (2015-04-13) [2015-06-01]. <http://www.shepherdmedia.com/news/defence-notes/ga-asis-gen-3-hel-system-completes-evaluation/>.
- [2] CHRIS J. General atomics developing laser weapons for navy ships [EB/OL]. (2015-04-21) [2015-06-01]. <http://timesofsandiego.com/tech/2015/04/21/general-atomics-developing-laser-weapons-for-navy-ships/>.
- [3] GRAHAM W. General atomics; third-gen electric laser weapon now ready [EB/OL]. (2015-04-20) [2015-06-01]. <http://aviationweek.com/technology/general-atomics-third-gen-electric-laser-weapon-now-ready>.
- [4] JOHN M. High energy laser from general atomics finishes beam quality test [EB/OL]. (2015-04-21) [2015-06-01]. <http://mil-embedded.com/news/high-energy-laser-from-general-atomics-finishes-beam-quality-test/>.
- [5] GARDEN STATE. High energy laser weapon completes beam quality and power testing [EB/OL]. (2015-04-06) [2015-06-01]. <http://www.element14.com/community/community/news/blog/2015/05/03/high-energy-laser-weapon-completes-beam-quality-and-power-testing>.
- [6] COURTNEY H. Measurement team evaluates general atomics gen 3 high-energy laser [EB/OL]. (2015-04-06) [2015-06-01]. <http://www.intelligent-aerospace.com/articles/2015/04/measurement-team-evaluates-general-atomics-gen-3-high-energy-laser.html>.
- [7] ACKERMAN E. Tactical laser weapon module can laserify almost anything [EB/OL]. (2015-04-15) [2015-06-01]. <http://spectrum.ieee.org/tech-talk/aerospace/military/tactical-laser-weapon-module-can-laserify-almost-everything>.
- [8] REN G G. New tactical high energy liquid laser [J]. Laser technology, 2006, 30(4):418-421 (in Chinese).
- [9] WANG M G, XU X J, LU Q S. Thermal effect research of longitudinal

- nally pumped liquid laser media [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(12):3413-3418 (in Chinese).
- [10] CHEN J B, GUO S F. Review on technical approaches of high energy solid-state lasers [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2013, 40(6): 0602006 (in Chinese).
- [11] LUO W, DONG W F, YANG H B, *et al.* Development trend of high power lasers [J]. *Laser & Infrared*, 2013, 43(8):845-852 (in Chinese).
- [12] PERRY M D, BANKS P S. Lasers containing distributed gain medium; US7103078[P]. 2006-09-05.
- [13] VETROVEC J, COPELAND D A, LITT A S, *et al.* Erbium-based edge-pumped disk laser [J]. *Proceedings of the SPIE*, 2013, 85991:1-9.
- [14] YAO Z Y, JIANG J F, TU B, *et al.* 1.5kW laser diode-pumped Nd:YAG disk laser [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2007, 34(1): 37-40 (in Chinese).
- [15] NIXON M D, CATES M C. High energy high brightness thin disk laser[J]. *Proceedings of the SPIE*, 2012, 8547: 85470D.
- [16] YI H Y, YE Y D, ZHOU Z Q, *et al.* High beam-quality Q-switched repetitive mini laser [J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2010, 37(9): 2318-2322 (in Chinese).
- [17] YI H Y, QI Y, HUANG J J. Development of ship-based laser weapons [J]. *Laser Technology*, 2015, 39(6):834-839 (in Chinese).
- [18] BMD. General atomics claims laser weapon advance [EB/OL]. (2015-02-13)[2015-12-03]. <http://indiandefence.com/threads/general-atomics-claims-laser-weapon-advance.52453/>.

版权所有 © 《激光技术》编辑部

版权所有 ©