

固体激光武器的发展动向与分析

徐大伟

(海军驻锦州地区军事代表室, 辽宁 锦州 121000)

摘要:介绍了固体激光武器的发展历程以及装备的研制、改进情况,指出了在现代战争中发展固体激光武器的优势和重要性,重点探讨了几种固体激光武器的性能及其特点,最后论述了固体激光武器的发展动向与分析。

关键词:固体激光武器;动向;发展分析

中图分类号:TN97 **文献标识码:**A

Development trends and analysis of the solid-state laser weapons

XU Da-wei

(Navyforce Representative Bureau in Jinzhou, Jinzhou 121000, China)

Abstract:The process of development of the solid-state laser weapon and equipments in all countries over the world and its modification are described. The technique performance and properties of several solid-state laser weapon seekers are analyzed;and development trends and analysis of the solid-state laser weapons.

Key words:solid-state laser weapon;trends;development analysis

1 引言

由于氟化氪和氧碘等化学激光器系统过于笨重、复杂,离实战型武器还有相当距离,根本不适于作为小型机动平台战术激光武器。另一方面,随着激光二极管泵浦技术的发展,10 kW级高能固体热容激光器和1 kW级高功率光纤激光器已初步开发成功,而100 kW武器级激光器可通过按比例放大的原则实现。美国军事科学家们正在开发和研制下一代战术激光武器使用的固体激光器^[1]。

(1)固体激光器的亮度可高达 $10^{11} \text{ W/cm}^2 \cdot \text{sr}$ 。不仅如此,具有高亮度的激光束经透镜聚焦后,能在焦点附近产生数千乃至上万摄氏度的高温。

(2)固体激光器的高方向性使其能在有效地传递较长的距离的同时,还能保证聚焦得到极高的功率密度。

(3)固体激光器的单色性极高,从而保证了光束能精确地聚焦到焦点上,得到很高的功率密度。

固体战术激光武器,可以装载在地面机动平台上,伴随地面机动部队作战;采用电激励,射击一次

仅需25美分的费用;在一个射击周期中可以射击几千次;不需要弹药补给,可减小后勤负担;与化学激光武器相比,不产生危险的化学排放物,没有明显的特征信号,适合陆军应用。而且,激光武器不仅可以完成对空作战任务,也可以执行对地面目标的直接攻击任务,如可以直接毁伤坦克和地面堡垒的观察窗口,使其成为瞎子,丧失战斗力。此外,固体战术激光武器还可以装载在舰船上,作为海军防御反舰导弹、飞机攻击的武器;经过进一步发展和小型化,还可以装载在飞机上,执行空-空攻击、护尾自卫等任务。本文就固体激光武器的发展动向、发展分析等,作进一步的研究和探讨。

2 发展动向

国外固体激光武器的近期发展动向^[2]:

(1)诺斯罗普·格鲁曼公司成功完成“激光链”性能演示。2008年3月12日,根据联合高功率固

作者简介:徐大伟(1969-),男,大学本科,副总代表,高级工程师,研究方向为电子装备技术。

收稿日期:2009-01-18

体激光器(JHPSSL)“阶段3”项目,诺斯罗普·格鲁曼公司成功对“激光链1”(LC1)的性能进行了演示。JHPSSL系统用于促进固体激光器技术在军事上的应用,包括提供军队防护和基于空中、水上和地面平台上完成精确打击任务。

“激光链1”是JHPSSL可升级结构的重要组件,它由8条激光链组成,其中每条激光链包含有4个激光模块。每条激光链相当于是小型的功率为15 kW的固体激光器,8条激光链组成的系统功率可达100 kW,这将在第三阶段的JHPSSL项目中实现。公司的这种可升级方法可增加尽可能多的激光链以获得更高功率。

JHPSSL技术节点:

“阶段1”:诺·格公司提出同时获得高功率和高光束质量激光的技术需求。

“阶段2”:诺·格公司使用两条激光链将功率提高到25 kW,充分显示了最终实现100 kW或更高功率的可能性。

“阶段3”:达到第一个演示里程碑。激光链的第一个模块功率超过3.9 kW、光电效率为20.6%、工作时间为500 s,满足了所有演示需求。JHPSSL团队进入激光链集成和试验阶段,每条激光链由4个增益模块组成。

“阶段4”:达到第二个演示里程碑。LC1成功演示,满足了所有目标需求,这比既定日期提前了两天。每条激光链的功率达到15.3 kW,超过了既定的12.7 kW目标;垂直光束质量为 $1.58 \times$ 衍射极限,超过了既定的2.0目标;开启时间为0.8 s,低于既定目标1.0 s;LC1的运行时间超过300 s,大大超过了目标时间200 s;光电效能为19.5%。

2008年,JHPSSL团队将组装和测试“激光链2”(LC2),并与LC1集成。作为下一个重要里程碑,将对两条激光链的对准和相位控制进行演示。公司2008年年底已完成剩余6条激光链的集成工作,并进行最终的100 kW功率系统的演示。

(2)美国武器公司声称攻克固态高能激光武器难题。2008年3月13日,美国武器公司诺斯罗普·格鲁曼公司(Northrop Grumman)宣布该公司成功攻克了固态激光武器的一个关键性难题,该公司将在今年实验超过100 kW的固态激光武器。

固态激光武器研究一直受制于其增益介质的研发。固态激光武器这种高能设备的核心是增益介质(一种能够增强激光能量的物质)。这些增益介质块由坚固的陶瓷材料构成,比如掺有稀土元素钕

(neodymium)的钇铝石榴石(yttrium-aluminum-garnet)。通常情况下,增益介质块的尺寸越大,输出功率也就越大。

诺斯罗普·格鲁曼公司则表示其成功研制出一种小型并且可以发出能量高达15 kW的高质量激光束的增益模块,并计划组合8个该种激光增益模块组成总功率超过100 kW的激光链,而100 kW正是实战用激光武器的入门级标准。

但部署这样的激光武器将是另外一个难题,在装甲车上装配100 kW激光武器时,车上至少需要一个500 kW的能量源(现时该激光炮的能量效率为20%),那就意味着装甲车的体积和质量都肯定超过现在的重型坦克。意味着60 t重的挑战者2型坦克在发射激光时需要一半的引擎能量作为激光能量,那么战车的移动速度就会大大减慢,而轻型战车在发射激光时甚至要停下来。而将其装配在飞机上会遇到同样的问题。

(3)以色列研制成功世界首个固体激光反导系统。2008年3月25日,以色列公司应以色列国防部要求,研制出世界首个使用固体激光的反导武器系统。该套系统是在2年前开始研制的,与美国国防承包军火商诺斯罗普·格鲁曼(Northrop Grumman)开发的“天空卫士”(Skyguard)使用化学激光不同,新型系统使用的是固体激光,这项技术至今还未用于国防工业。

据以色列《国土报》报道,新反导系统性能优于“天空卫士”(Skyguard),可以在导弹发射后对其追踪并将其锁定,可以在2 s内将导弹弹头加热到爆炸温度。而该导弹系统的缺点是所需能量大于“天空卫士”。

(4)波音公司完成移动激光武器的光束控制系统初步设计。2008年7月22日,波音公司21日宣布,公司已成功完成陆军高能激光器技术演示(HEL TD)计划的加固型光束控制系统初步设计。

设计工作根据HEL TD阶段1合同进行。阶段1合同签发于2007年,目的是为卡车装载的激光武器系统设计光束控制系统。

波音官员称,HEL TD计划的目标是证明移动、固态激光武器系统能够有效对抗火箭、火炮和迫击炮等发射装置。该计划将支持移动激光器技术向陆军成熟的采办项目过渡。

(5)诺斯罗普公司在固体激光器上取得重大突破。2008年9月8日,诺斯罗普·格鲁曼公司说他们在美国军方的联合高能固体激光器(JHPSSL)项

目的第三阶段中取得了重大突破,对具有战略意义的激光能量束质量的验证时间超过了5 min。

该公司还宣布他们在高能固体激光器产品测试中创造了一项新的工业记录,两个激光器连在一起产生了30 kW的能量。这种激光器能够保持持续高能量超过5 min,总时间超过40 min,完成光电转换效率超过19%。

这个项目的目的是制造一个能产生100 kW的激光系统来建立一个多任务平台,任务包括大范围反导弹、火炮和迫击炮的陆基防御以及对空中平台的精确打击和反巡航导弹的舰载防御等。

(6)诺·格公司首次研制成功武器化设计的全固态激光器。2008年11月13日,诺·格公司研制成功可用于战场的坚固高能量固态 FIRESTRIKE (tm)激光器。它采用行可替换单元(LRU)设计,现准备接受订货。

FIRESTRIKE(tm)激光器提供15 kW的激光能量,如果采用可组合的LRU积木化模块,可以提供更高的功率。这基于诺·格公司在研制联合高功率机固态激光器项目中的集束结构技术。

FIRESTRIKE(tm)激光器根据军方要求进行坚固的设计,但也对全寿命期费用和可靠性进行充分考虑,并为实地行动和简单更换的需要进行的设计。

这是一个紧凑的电驱动激光器,其高功率输出、光束质量和运行时间满足攻击和防卫军事行动的需要。它采用满足功率需求的新型激光电源紧凑设计(LCSA)。结合先进电光和红外传感器,FIRESTRIKE(tm)激光器能够提供自我防护、精确打击和加强环境感知的能力。

FIRESTRIKE(tm)激光器是行替换设计,允许根据特殊打击任务和平台的需要,改变激光武器的输出功率。诺·格公司认为FIRESTRIKE(tm)激光器将为未来激光武器系统奠定基础。其激光器参数如下:

功率:15 kW

光束质量:衍射极限的1.5倍

尺寸:激光头:12 in × 23 in × 40 in(宽 × 深 × 高)(1 in = 2.54 cm)

电流源:9 in × 13 in × 30 in

即时启动:从零到满功率时间小于0.5 s

安全性:远程操控、用户连锁接入,内部安全传感器

控制:通用命令和控制(C2)系统和以太网接口

低功率设置:提供100 W对准光束

质量:每LRU模块400 lb(1 lb = 0.453 592 37 kg)

坚固程度:采用紧凑SSL技术的LRU模块,满足机动性和战地行动需要。

(7)波音公司试图拓展机载激光器用途。2008年12月1日,波音公司机载激光器(ABL)计划最初设计目的是击落处于加速段的敌方弹道导弹,而公司一位高级官员12月1日称,这种高能激光器还可以有新的用途,例如对抗地对空导弹、巡航导弹、甚至敌方飞机等。

波音公司副总裁、ABL计划负责人Michael Rinn称,公司希望ABL在2009年击落弹道导弹,以演示其作为导弹防御武器的价值。此外,公司还将开发这种波音747激光发射载机的其他任务功能。

Rinn于2008年11月24日宣布,ABL通过其光束控制火控系统首次发射出高能激光。在这次地面试验中,两次激光射击持续时间都小于1s,在未来几周内将致力于延长射击持续时间。按照计划,飞行测试于2009年进行。

据悉,ABL对抗弹道导弹以外目标的前景并不明朗。ABL的激光束会被云层耗散,因此不能打击云层之下的目标。此外,巡航导弹和地对空导弹都是在低空飞行的,而大气介质引起的激光束散射和畸变使得ABL无法在低海拔正常工作。

3 发展分析

国外固体激光武器的发展分析:一是发展多种激光材料;二是发展多波长;三是向大功率化发展;四是向小型/微型化发展^[3]。

(1)发展多种激光材料。有多种激光材料可用二极管泵浦,它们的吸收谱分别与各种激光二极管的峰值发射波长很好地匹配,除了传统的激光介质YAG, YLF外,还有高增益的YVO₄,可调谐的Ti:Al₂O₃, Cr:LiSAF, Cr:LiCAF, Cr:LiSGAF等,激活离子除传统的Nd离子外,还有Yb, Er, Tm, Ho离子,可调谐的Cr, Ti等多种离子。

(2)发展多波长。探索多种激光晶体外,实现多波长的另外手段是采用可调谐激光器。周期性极化非线性晶体是人工调制相位匹配的新型非线性材料,它可选用的有效非线性率比普通非线性材料大20倍,通过调节温度或移动具有多种畴长度的晶体便可进行输出波长的调谐。例如,美国Ligh Solution的研究人员研制的采用周期性极化铌酸锂(PPLN)的腔内OPO,输出波长1.5 ~ 5.0 μm,功率达6 W。美国TRW公司的“三军通用中红外LL型激光器”,是二极管泵浦Nd:YAG激光器,使用光学谐振腔组

来实现中红外波长(3.7~4.9 μm)输出,输出功率20 W,脉冲重复频率20 kHz,光束质量极好。

美国 Stanford 大学 Edward. Ginzton 实验室研制的高效自种籽注入脉冲掺钛蓝宝石激光器,采用倍频1.06 μm Nd:YAG 激光器泵浦,5 ns 近衍射极限的单纵模输出,每脉冲能量10 mJ,斜率效率40%。

美国 Lawrence Livermore 国家实验室采用按比例放大二极管端面泵浦技术、偏离激活离子主吸收峰的侧翼泵浦技术、在掺杂的激光棒两端各带有一小段非掺杂的“端帽”技术研制成连续波输出51 W 的高功率2 μm 二极管泵浦 Tm:YAG 激光器。俄罗斯研制出 YSGG:Cr, Yb, Ho 激光晶体,其激光波长在2.84~3.05 μm 连续可调,可获得15~20 mJ 脉冲激光输出。

(3)向大功率化发展。美国采用的是二极管泵浦 Yb:Sr₅(PO₄)₃F(简称为 Yb:S-FAP)激光器,脉冲输出能量100 J、重复频率10 Hz、脉冲宽度1~10 ns,总效率达10%、经放大每脉冲输出能量高于1 kJ 水平。

短脉冲二极管泵浦固体激光器的亮度和平均功率提高了一个数量级。在1.06 μm 处脉冲能量高达每脉冲10 J,光束质量为1.25 倍衍射限,重复频率33 Hz。

(4)向小型/微型化发展。由于二极管泵浦与传统的闪光灯泵浦特性有很大差别,耦合方式有直接耦合、光纤耦合、微透镜及透镜通道耦合、微透镜光学系统耦合等;二极管泵浦的固体激光器,往往激光介质本身还同时充当调制器件或非线性器件等其他功能,或者调制器件、非线性器件与激光介质紧贴

在一起并完成腔的某个元件的功能。这样,腔的结构简单、可靠、多功能、小型/微型的器件可输出高功率;另一方面,二极管泵浦波长可与激光模式很好地匹配、小型/微型结构具有固有的单模、单频特性、频率稳定性高,振幅噪声低,它们成为许多传感测量应用的理想光源。

4 结束语

随着多种激光材料、多波长、多种结构的固体激光器的研制开发,高亮度泵浦源、高增益的激光介质、具有非线性常数的晶体,得到了高速的发展,出现了结构更加紧凑、体积更小、输出功率更高、光束质量更好、波长范围覆盖从紫外到红外的小型/微型二极管泵浦固体激光器(diode pump solid state laser, DPSSL)。微型 DPSSL 固体激光器,已从实验验证走向实用化、进入装备,固体激光器的军事应用将焕然一新,它将在21 世纪信息化战场上发挥得更准、看得更清、反应更快、生存能力更强等多方面的、不可替代的作用^[4]。

参考文献:

- [1] 凌铭,武志超,张海波,等. LD 泵浦 Nd:YAG 无水冷固体激光器可靠性分析[J]. 激光与红外,2008,38(3): 211-213.
- [2] 胡绍云,钟鸣,左研,等. 自适应光学在固体战术激光武器中的应用[J]. 激光与光电子学进展,2006,(2): 25-28.
- [3] 钟鸣. 车载固体战术激光武器系统[J]. 四川工兵学报,2005,(2):3-7.
- [4] 林洪沂,檀慧明,田玉冰,等. LDA 端面泵浦声光调 Q Yb:YAG 1.03 μm 激光器[J]. 激光与红外,2008,38(1):25-27.