

文章编号: 1001-5078 (2006) 010-01001-03

利用光纤组束获得机载软杀伤高功率光源

胥 杰, 赵尚弘, 占生宝, 李勇军
(空军工程大学电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要:提出了利用光纤组束技术获得机载软杀伤高功率光源的想法。分析了双包层光纤激光器的工作原理, 简单介绍了非相干组束的原理和缺陷, 重点阐述了并联主振荡相干组束方法及相干组束的优势。分析表明相干组束光纤激光器是未来机载软杀伤高功率光源的必然选择。

关键词:光纤组束; 相干组束; 机载激光; 软杀伤

中图分类号: E928.9 **文献标识码:** A

The Attainment of Airborne Soft Killing High Power Laser Source through Fiber Combination

XU Jie, ZHAO Shang-hong, ZHAN Sheng-bao, LI Yong-jun
(The Telecommunication Engineering Institute, AFEU, Xi'an 710077, China)

Abstract: The conception of attainment of airborne soft killing high power laser source through fiber combination is put forward. The principle of double cladding fiber laser is analyzed, simply illustrated the principle and drawbacks of noncoherent beam combination, the coherent beam combination method of multiple optical power amplifier and its advantages are discussed in detail. The analysis has proved that fiber laser through coherent beam combination must be necessary for the future airborne soft killing high power laser source.

Key words: fiber combination; coherent beam combination; airborne laser; soft killing

1 前 言

随着激光技术的飞速发展, 激光武器也在军事领域中得到了广泛的应用。传统的大功率激光武器光源主要是化学激光器和准分子激光器, 但受到其体积和重量的限制, 一般只能用于陆基和车载移动平台, 激光武器的灵活性受到了极大的制约^[1]。以美国为代表的西方国家正在致力于机载激光武器系统的研究, 并已有了初步的实验论证, 所采用的高功率激光光源仍然是化学激光器。考虑到光纤激光器输出功率不断提高, 结合光纤激光光源重量轻、体积小优势, 利用光纤激光组束技术, 可以得到满足软杀伤需求的低能激光武器光源, 将其用于机载可大大提高激光武器的灵活性, 具有很大的发展潜力。

2 光纤激光器工作原理

2.1 基本原理

与其它激光器一样, 高功率光纤激光器也由泵浦源、增益介质和光学谐振腔构成, 所不同的是增益介质通常为双包层光纤^[2]。双包层光纤是一种具有特殊结构的光纤, 它比常规光纤增加了一个内包层, 双包层光纤的纤芯一般掺有稀土离子 (通常为 Yb^{3+}), 是单模激光的传输波导。内包层包绕在纤芯的外围, 是多模泵浦光的传输波导, 其横向尺寸和数值孔径都比较大, 可以有效地将泵浦光耦合到增

作者简介: 胥 杰 (1980 -), 男, 博士研究生, 研究方向为光电对抗。E-mail: xujie1225@163.com

收稿日期: 2006-04-10

益光纤,提高了泵浦光的入纤效率。泵浦光在内包层传输过程中,以折线方式反复穿越纤芯(图 1),被纤芯内的稀土离子吸收,产生单模激光。这种光纤结构增加了泵浦长度,大大提高了泵浦效率,从而使光纤激光器的输出功率提高几个数量级。单根光纤虽然可以通过技术手段提高输出功率,但功率达到一定程度后就会受到掺杂光纤非线性效应、光学损伤及热损伤等物理机制的制约,要想大幅度地提高单个激光器的功率是相当困难的,为此,只能采用光纤组束技术。

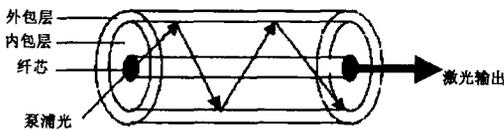


图 1 双包层光纤激光器结构

3 光纤激光组束技术

激光组束技术简单地说就是将多路激光束组合到一起,使之成为一束激光,由于能量守恒,该束激光的功率可得到相当程度地提高。激光组束的方法多种多样,一般分类为相干组束方法和非相干组束方法。

3.1 非相干组束

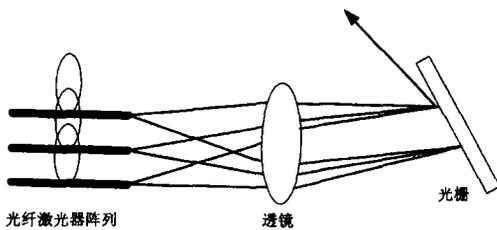


图 2 非相干组束的基本结构

非相干组束主要是采取波长叠加的方式,与波分复用的原理相同,如图 2 所示。每一个阵元采用不同的波长,通过色散元件使得各阵元发出的光束在空间重叠^[3],理想情况下总输出功率应该是单根光束的 N 倍,并且具有良好的光束质量,虽然最大峰值功率没有相干组束大,但是其平均输出功率与相干组束应该是一样的。非相干组束的优势在于不需要对各阵元光束进行相位控制,只需选择质量优良的色散元件即可,组束方法相对简单易行。但是其输出功率不大,组束阵元数受到光学器件尺寸的限制,不能任意的增大,并且当阵元数增大到一定程度后组束光功率不但不会增加,反而会影响到输出光束质量。适当提高非相干光纤组束功率的方法是利用微透镜阵列代替传统的单一透镜元件,可以对聚

焦光斑进行控制,提高功率密度。或者将放大器阵列换为带反射镜的光纤放大器,可以使泵浦激光功率得到有效地利用。然而,无论怎样改进,非相干组束方法远不能满足机载激光光源的功率需求,只能采用相干组束方法。

3.2 相干组束

相干组束需要精确控制每个阵元输出激光的位相,使其具有严格稳定的相差,多路激光束相干得到功率放大。相干组束的方法多种多样,主要有受激布里渊散射光纤组束、衍射光学元件光纤组束、并联主振荡功率放大等方法。考虑到机载软杀伤激光光源的功率需求,这里只介绍输出激光功率最高的并联主振荡功率放大方法,其它方法不再赘述。

3.2.1 并联主振荡功率放大

在此方法中,每个光纤激光器运转在由光栅确定的波长下,从每个光纤激光器出来的光都耦合进后续对应的放大器中,由于功率放大器的存在,使得初始光纤激光光源的输出功率不需要太高,而把功率放大的任务交给放大器完成,这就能够保证在低功率水平下完成光纤激光器阵列频率和相位的控制,大大降低了锁相难度。在每一束光路中加上一个调制相移器,以分别控制各光束的相位,保证在光束阵面口径上各光束相位一致,从而实现激光束相控阵,其结构如图 3 所示。据文献[4]报道,在此结构下,对 5 个掺镱光纤激光器进行组束,每个脉冲峰的宽度为 0.05nm ,峰值间距 3.2nm 。测得组束激光的光束质量因子 M^2 为 1.14,相当于单束激光的光束质量。利用平均效率 72% 的偏振平均光栅,在总功率 8.4W ,放大自发辐射 1% 的情况下,获得远场输出功率 6W 。

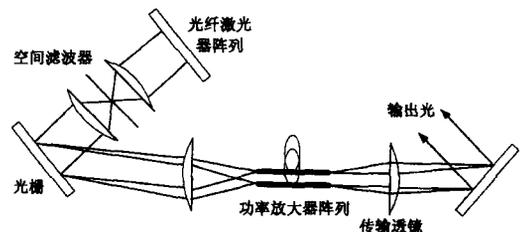


图 3 并联主振荡功率放大结构图

增大组束输出功率的可行性办法是增加阵元数和提高单根光纤的输出功率。正如前面所述,提高单根光纤的输出功率难度很大,并且随着功率的增大非线性效应将越来越严重,因而,只能考虑提高功率放大器阵列的工艺和放大增益,可尝试利用掺稀

土离子光纤放大器来作为功率放大器阵列。阵元数目的增加受到光学原件的限制,例如传输透镜等尺寸的制约,超出光学元件尺寸的部分功率将不能得到有效地耦合。此外,由于光栅的频谱范围有限,在有限的频谱范围内要获得尽可能多的阵元数,每个阵元间就只能保持微量的波长差,并且阵元输出光谱宽度要尽可能的小,这就对多波长窄带宽光纤激光器的研究提出了更高的要求。

需要注意的是对光功率的提高不能忽略光束质量。若一旦光束质量严重劣化,光束发散角增大会导致靶面处光斑尺寸增大,将显著地减小输出光束的功率密度,在低于毁伤目标损伤阈值的情况下,高功率激光对目标不造成显著的影响。可考虑在光栅聚焦光束后再增加透镜组,利用光学变换,在尽量不损耗功率的前提下,减小光束发散角。此外,光学器件对激光的吸收会造成元件升温,特别是传输光栅,它是组束的重要光学部件。光栅热效应将导致光栅变形,从而使激光器的线宽增大,降低输出质量。考虑的解决办法是使用高损伤阈值的抗热变形光栅,或者增加降温、恒温装置。

3.2.2 相干组束的优势

相干组束较非相干组束的最大优势在于,其输出功率是随着光纤阵元数 N 成平方律变化,而非相干组束输出功率与光纤阵元数 N 仅为线性关系。应该注意到的是,输出光功率成 N^2 变化并不是在所有的光束平面上都是如此,而仅仅在有限光点呈现出峰值功率时。然而这些峰值功率对破坏探测器阵列是相当利害的,尤其是对 CCD 探测器,峰值光点可以对 CCD 像元造成破坏,对单个像元的破坏就足以影响整个 CCD 器件的工作性能。

以掺镱双包层光纤激光器为例,单根光纤激光器的输出已达到 10W 量级。利用相干组束技术,国外文献报道千瓦量级的光纤激光器已不少见^[5-6]。图 4 是 5 根掺镱双包层光纤激光器相干组束结构及远场光斑图,图 5 是利用参考光束进行相位控制的掺镱双包层光纤激光器相干组束图。美国 IPG 公司更是在 2002 年就已经推出了千瓦级的光纤激光器阵列,利用的也是光纤激光阵列组束技术,并在致力于 10kW 量级的光纤激光技术研究。而初步的计算表明,在作用距离千米量级的条件下,对光电探测器造成软杀伤的功率需求为千瓦左右,这就说明利用光纤组束技术所获得的输出功率是可以满足战术需

求的。加之光纤激光器自身体积小、重量轻的特点,将是机载激光软杀伤高功率光源的必然选择。

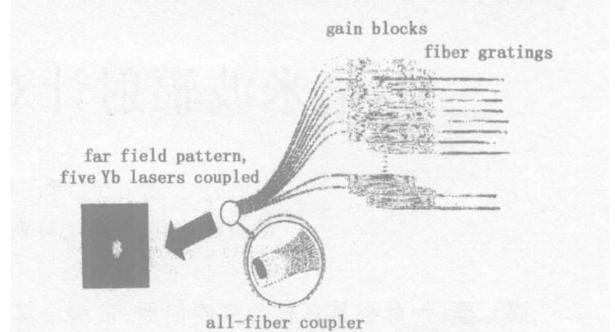


图 4 5 根掺镱双包层光纤激光器相干组束结构及远场光斑图

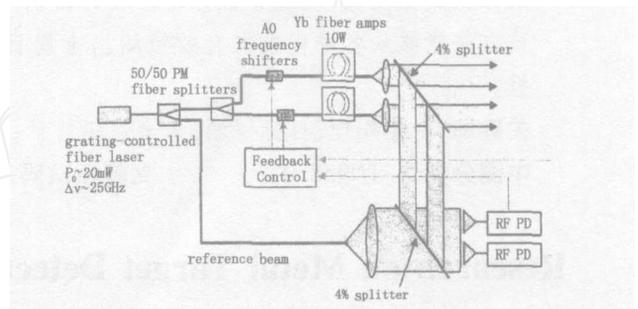


图 5 利用参考光束进行相位控制的掺镱双包层光纤激光器相干组束

4 结论

利用光纤激光相干组束技术可以得到高功率的合成激光光束,在满足战术软杀伤功率需求的前提下,光纤激光器阵列的体积和重量都将远远小于传统的化学激光器。将其用于机载,在受到敌方激光威胁时,无论对敌方光电传感器或操作员视觉系统都具有一定的战术软杀伤能力,并且可增大激光武器的机动能力。可以预见,组束光纤激光器阵列将是机载软杀伤高功率光源的必然选择。

参考文献:

- [1] 王戎瑞. 美国机载激光武器发展现状 [J]. 激光与红外, 1999(4): 195 - 196
- [2] 孙选箴, 胡谊梅, 梁建中, 等. 掺镱双包层光纤激光器研究 [J]. 光通信研究, 2000, (5): 40 - 41.
- [3] 李永忠, 范滇元. 光纤激光器光束的叠加技术 [J]. 激光与光电子学进展, 2005, 42(9): 28 - 29.
- [4] 王双义, 林殿阳, 王超, 等. 光纤组束研究的新进展 [J]. 激光技术, 2005, 29(6): 657 - 658
- [5] Monical Minden, Hans Bruesselbach, Jeffrey Rogers Coherent combining of fiber lasers[A]. 2005 IEEE Conference on Lasers and Electro-Optics Europe: 718
- [6] T Y Fan Laser Beam Combining for High-Power, High-Radiance Sources[J]. IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, 2005, 11(3): 570 - 571.