

5 kW 全光纤结构 1018 nm 激光合成*

谷炎然¹， 冷进勇^{1,2,3}， 肖 虎^{1,2,3}， 陈子伦^{1,2,3}， 周 朴^{1,2,3}， 刘泽金^{1,2,3}

(1. 国防科技大学 前沿交叉学科学院, 长沙 410073; 2. 高能激光技术湖南省重点实验室, 长沙 410073;
3. 大功率光纤激光湖南省协同创新中心, 长沙 410073)

摘 要： 光纤激光同带抽运方案具有泵浦亮度高、量子亏损小等优势,有着巨大的功率提升潜力,是近年来国际上的研究热点。1018 nm 光纤激光可作为高功率掺镱光纤激光器的高效同带抽运源,但是单个 1018 nm 光纤激光器输出功率有限,光束合成是突破这一局限的重要方案。基于 19 台单模 1018 nm 光纤激光器和一个 19×1 光纤功率合束器,搭建了一套全光纤结构激光合成系统,实现了 5 kW 的 1018 nm 合成激光输出。

关键词： 光纤激光器； 光纤合束器； 激光合成
中图分类号： TN248 **文献标志码：** A **doi:**10.11884/HPLPB201729.170396

随着层泵浦技术的不断成熟和光纤及器件制作工艺水平的不断提高,光纤激光器的输出功率迅速提高^[1-4]。掺镱光纤激光器由于具有转换效率高、功率提升潜力大等诸多优点,是目前获得高功率光纤激光的主要方式^[5-6]。然而,抽运过程中的量子亏损和半导体激光二极管的低亮度限制了单根光纤激光器的最大输出功率^[7]。一种有效的解决方法是采用 1018 nm 光纤激光对掺镱光纤进行同带抽运,在提高泵浦源亮度的同时减小量子亏损,降低光纤热负载^[8-9]。目前公开报道的单台 1018 nm 光纤激光器的输出功率已达 kW 级^[10-14]。但单路 1018 nm 光纤激光器的输出功率有限,直接将 1018 nm 光纤激光器作为泵浦源,难以满足高功率光纤激光器对泵浦功率的需求,将多路 1018 nm 光纤激光器进行功率合束后再泵浦掺镱光纤,是实现万 W 级高功率输出的有效途径。

国防科技大学课题组基于自主设计研制的 19×1 功率合束器实现了高功率、高亮度的 5 kW 级 1018 nm 光纤激光合束输出,其中 19×1 光纤功率合束器的输入光纤为 30/250 μm 双包层光纤,输出光纤为 100/120/360 μm 的多模光纤,纤芯直径为 100 μm,数值孔径为 0.22,采用的 19 台单元光纤激光器模块,如图 1(a)所示,由 30/250 μm 双包层掺镱光纤产生,每台输出功率约 280 W,中心波长为 1018 nm。实验测得注入合束器的激光总功率为 5240 W 时,输出激光总功率为 5138 W,透过率大于 98%,实验结果如图 1(b)所示。合成激光的光束质量 M^2 因子约为 14,光束质量随输出功率无明显变化,其中 5 kW 时的光束质量测试结果如图 1(c)所示。目前 100 μm 光纤耦合的半导体激光输出功率小于 200 W,而经过合束后的 1018 nm 激光功率、亮度远高于半导体激光功率和亮度,可作为同带泵浦方案的高功率、高亮度泵浦源。

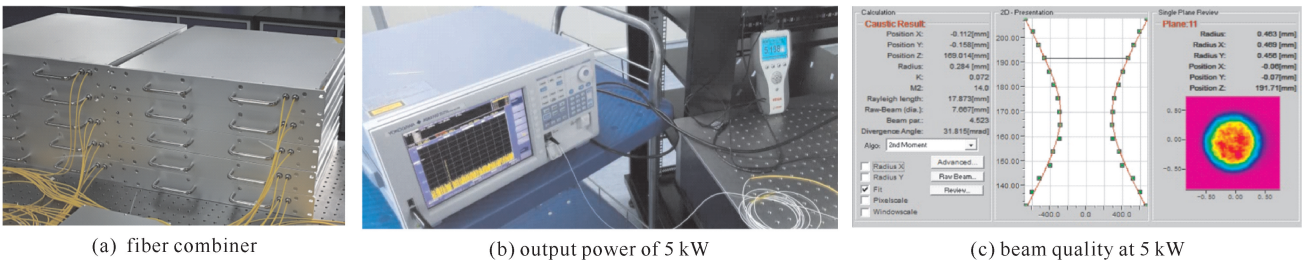


Fig. 1 Nineteen fiber laser and it's output
图 1 19 台光纤激光器及其输出功率为 5 kW 时的实验照片和光束质量

* 收稿日期:2017-10-10; 修订日期:2017-10-30
基金项目:国家自然科学基金项目(61370045)
作者简介:谷炎然(1992—),男,硕士,从事大功率光纤激光器件研究;guyanran2011@sina.com。
通信作者:陈子伦(1978—),男,副研究员,从事大功率光纤激光器件研究;zilun2003@163.com。

参考文献:

- [1] Jeong Y, Sahu J, Payne D, et al. Ytterbium-doped large-core fiber laser with 1.36 kW continuous-wave output power[J]. *Opt Express*, 2004, **12**(25): 6088-6092.
- [2] 周军, 楼祺洪, 朱健强, 等. 采用国产大模场面积双包层光纤的 714 W 连续光纤激光器[J]. 光学学报, 2006, **26**(7): 1119-1120. (Zhou Jun, Lou Qihong, Zhu Jianqiang, et al. A continuous-wave 714 W fiber laser with China-made large-mode-area double-clad fiber. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(7): 1119-1120)
- [3] 刘泽金, 冷进勇, 郭少锋, 等. 全光纤结构 2 kW 准单模光纤激光器[J]. 中国激光, 2013, **40**(9): 183. (Liu Zejin, Leng Jinyong, Guo Shaofeng, et al. The all-fiber 2 kW near-single-mode fiber laser. *Chinese Journal of Lasers*, 2013, **40**(9): 183)
- [4] 王雪娇, 肖进榕, 闫平, 等. 国产光纤实现直接抽运全光纤化 3000 W 级激光输出[J]. 物理学报, 2015, **64**(16): 257-262. (Wang Xuejiao, Xiao Qirong, Yan Ping, et al. 3000 W direct-pumping all-fiber laser based on domestically produced fiber. *Acta Physica Sinica*, 2015, **64**(16): 257-262)
- [5] Dawson J W, Messerly M J, Beach R J, et al. Analysis of the scalability of diffraction-limited fiber lasers and amplifiers to high average power[J]. *Opt Express*, 2008, **16**(17): 13240-13266.
- [6] Jauregui C, Limpert J, Tunnermann A. High-power fibre lasers[J]. *Nat Photon*, 2013, **7**(11): 861-867.
- [7] 楼祺洪, 周军, 张海波, 等. 大芯径光纤激光器的新进展[J]. 中国激光, 2010, **37**(9): 2235-2241. (Lou Qihong, Zhou Jun, Zhang Haibo, et al. Recent progress of large core fiber lasers. *Chinese Journal of Lasers*, 2010, **37**(9): 2235-2241)
- [8] 朱家健, 杜文博, 周朴, 等. 单模光纤激光极限功率的数值研究[J]. 物理学报, 2012, **61**: 064209. (Zhu Jiajian, Du Wenbo, Zhou Pu, et al. Numerical study on power limit of single-mode fiber lasers. *Acta Physica Sinica*, 2012, **61**: 064209)
- [9] Richardson D J, Nilsson J, Clarkson W A. High power fiber lasers: current status and future perspectives[J]. *J Opt Soc Am B*, 2010, **27**(11): B63-B92.
- [10] 王岩山, 孙殷宏, 马毅, 等. 高亮度 1018 nm 光纤激光实验研究[J]. 中国激光, 2015, **42**: 0102007. (Wang Yanshan, Sun Yinhong, Ma Yi, et al. Experimental study on high brightness 1018 nm ytterbium doped fiber laser. *Chinese Journal of Lasers*, 2015, **42**: 0102007)
- [11] 刘泽金, 肖虎, 周朴, 等. 309 W 全光纤结构 1018 nm 掺镱光纤激光器[J]. 中国激光, 2013, **40**: 0205001. (Liu Zejin, Xiao Hu, Zhou Pu, et al. 309 W all fiber 1018 nm ytterbium fiber laser. *Chinese Journal of Lasers*, 2013, **40**: 0205001)
- [12] Yan P, Wang X, Li D, et al. High-power 1018 nm ytterbium-doped fiber laser with output of 805 W[J]. *Opt Letters*, 2017, **22**(7): 1193-1196
- [13] Xiao H, Leng J, Zhang H, et al. High-power 1018 nm ytterbium-doped fiber laser and its application in tandem pump[J]. *Appl Opt*, 2015, **54**(27): 8166-8169.
- [14] 姜曼, 肖虎, 周朴, 等. 1018 nm 短波长掺镱光纤激光高功率自组织相干合成[J]. 强激光与粒子束, 2013, **25**(9): 2219-2222. (Jiang Man, Xiao Hu, Zhou Pu, et al. High power self-organized coherent beam combination of 1018 nm Yb-doped fiber lasers. *High Power Laser and Particle Beams*, 2013, **25**(9): 2219-2222)

5 kW all-fiber 1018 nm laser combining

Gu Yanran¹, Leng Jinyong^{1,2,3}, Xiao Hu^{1,2,3}, Chen Zilun^{1,2,3}, Zhou Pu^{1,2,3}, Liu Zejin^{1,2,3}

(1. College of Advanced Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

2. Hunan Provincial Key Laboratory of High Energy Laser Technology, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China;

3. Hunan Provincial Collaborative Innovation Center of High Power Fiber Laser, Changsha 410073, China)

Abstract: The scheme of tandem pumping has drawn a lot of interest in fiber laser field for their outstanding characteristics, which include high-brightness, low quantum defect, and great potential for power scaling. The 1018 nm laser can be used as an efficient tandem pumping source for high-power ytterbium fiber laser, but it is difficult to improve signal fiber laser output power. One of the efficiency methods to break through this limitation is beam combining. In this paper, based on 19 single-mode 1018 nm fiber lasers and a 19×1 fiber combiner, we setup an all-fiber schematic laser combining system, and achieve 5 kW laser output with 1018 nm.

Key words: fiber laser; fiber combiner; laser combining

PACS: 42.55.Wd; 42.81.Wg