



·新型激光技术专题·研究快报·

# 光谱线宽与中心波长可同时调谐的高功率 光纤激光实现 3 kW 输出\*

叶 俊, 李思成, 张 扬, 马小雅, 许将明, 周 朴

(国防科技大学 前沿交叉学科学院, 长沙 410073)

**摘 要:** 光谱灵活可调的高功率光纤激光在光谱合束、光声光谱检测和非线性频率变换等方面具有独特优势, 近年来受到国内外研究人员的广泛关注。基于光谱灵活可调的超荧光光纤种子源, 通过主振荡功率放大器结构实现了光谱中心波长 1065~1085 nm 可调谐、3 dB 线宽 2.4~13.8 nm 可调谐的 3 kW 光纤激光输出。

**关键词:** 光纤激光器; 高功率; 放大自发辐射; 波长可调谐; 光谱线宽

中图分类号: TN242

文献标志码: A

doi: 10.11884/HPLPB202133.210506

## 3 kW linewidth- and wavelength-tunable high-power fiber laser

Ye Jun, Li Sicheng, Zhang Yang, Ma Xiaoya, Xu Jiangming, Zhou Pu

(College of Advanced Interdisciplinary Studies, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** Due to the great application potential in various fields such as spectral beam combination, photoacoustic spectroscopy and nonlinear frequency conversion, high-power spectrum-tunable fiber lasers have gained much attention in recent years. Based on a spectrum-flexible superfluorescent fiber source and the well-known master-oscillator power amplifier structure, we have demonstrated a 3 kW linewidth- and wavelength-tunable high-power fiber laser. The output central wavelength of the fiber laser can be tuned over 1065–1085 nm, and the 3 dB linewidth is adjustable over 2.4–13.8 nm.

**Key words:** fiber laser; high-power; amplified spontaneous emission; wavelength-tunable; spectral linewidth

光谱灵活可调的高功率光纤激光在光谱合束、光声光谱检测和非线性频率变换等方面具有独特优势, 近年来受到国内外研究人员的广泛关注<sup>[1-3]</sup>。尽管固定波长的光纤激光已实现数 kW 量级高功率输出<sup>[4-8]</sup>, 可调谐光纤激光的功率仍限制在 kW 量级, 并且此前的报道主要为波长调谐输出<sup>[9-12]</sup>。2019 年, 笔者所在课题组基于光谱灵活可调的超荧光光纤种子源, 通过主振荡功率放大器(MOPA)结构首次实现了 100 W 量级光谱中心波长与线宽可同时调谐的光纤激光输出<sup>[13]</sup>; 2020 年, 实现了 2 kW 级光谱中心波长 1068~1092 nm 可调谐、3 dB 线宽 2.5~9.7 nm 可调谐的高功率光纤激光输出, 并数值仿真研究了非线性效应和增益竞争等对光谱调谐范围的影响<sup>[14]</sup>。

近期, 本课题组通过进一步优化种子源和放大级结构参数, 实现了 3 kW 级光谱灵活可调的高功率光纤激光输出, 线宽调谐范围得到进一步提升。系统结构如图 1 所示, 采用 976 nm 激光二极管(LD)泵浦长度 9 m、纤芯直径 10 μm 的掺镱光纤(YDF), 后向输出的宽谱超荧光经两级隔离器(ISO)后注入可调谐滤波器(BA-TOF); 随后采用两级预放大器(pre-amp)将功率提升到约 40 W; 为了保护前级的安全, 每一级预放大器后均接有隔离器; 主放大器采用后向泵浦结构, 增益光纤选用 20/400 μm 自研掺镱光纤, 其在 976 nm 处的平均包层吸收系数约为 0.8 dB/m; 为了兼顾实现较高的泵浦吸收和较弱的非线性效应, 掺镱光纤的长度优化为 25 m。剩余泵浦光通过包层光剥除器

\* 收稿日期: 2021-10-20; 修订日期: 2021-11-10

基金项目: 国家自然科学基金项目 (62061136013, 61905284); 湖南创新型省份建设专项 (2019RS3017); 脉冲功率激光技术国家重点实验室主任基金项目 (SKL2019ZR01)

联系方式: 叶 俊, yejun1021@163.com。

通信作者: 许将明, jmxu1988@163.com;

周 朴, zhoupu203@163.com。

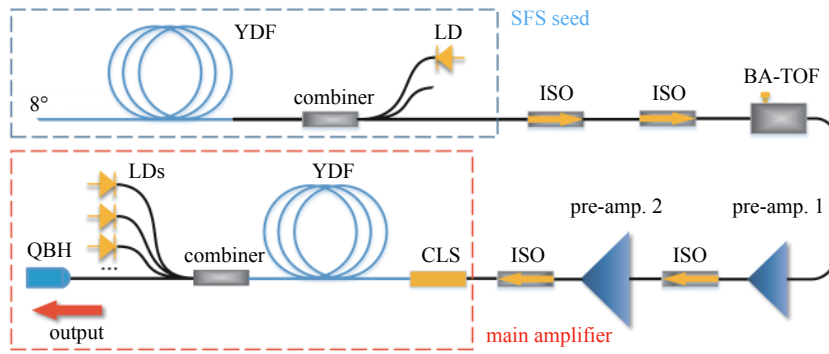


Fig. 1 Experimental setup of the linewidth- and wavelength-tunable high-power fiber laser

图 1 光谱线宽与中心波长可同时调谐的高功率光纤激光实验结构图

(CLS)滤除, 放大后的信号光通过光纤输出头(QBH)输出到自由空间。

图 2(a)为主放大器中心波长可调谐时的输出光谱, 波长可调谐范围为 1065~1085 nm, 这主要是由于范围外的波长成分滤波种子源功率较低或受激拉曼散射(SRS)效应的影响。不同中心波长下的最大输出功率如图 2(b)所示, 1070~1085 nm 范围内的最大输出功率均达到 3 kW, 1065 nm 波长条件下的最大输出功率为 2.65 kW。图 2(c)所示为中心波长固定于 1075 nm 时的线宽可调谐输出光谱(图例表示滤波器的透射带宽)。不同滤波带宽下的光谱 3 dB 线宽如图 2(d)所示(蓝色实线柱), 线宽可调谐范围为 2.4~13.8 nm。图 2(d)红色虚线柱表示不同滤波带宽下的最大输出功率, 当滤波器带宽为 0.4 nm 时, 由于四波混频和 SRS 效应的影响, 输出功率最高仅放大到 2 kW<sup>[15-16]</sup>。其余滤波带宽下的最大输出功率均达到 3 kW。通过进一步优化种子源和放大级结构参数, 有望实现更大的光谱调谐范围和更高的输出功率。

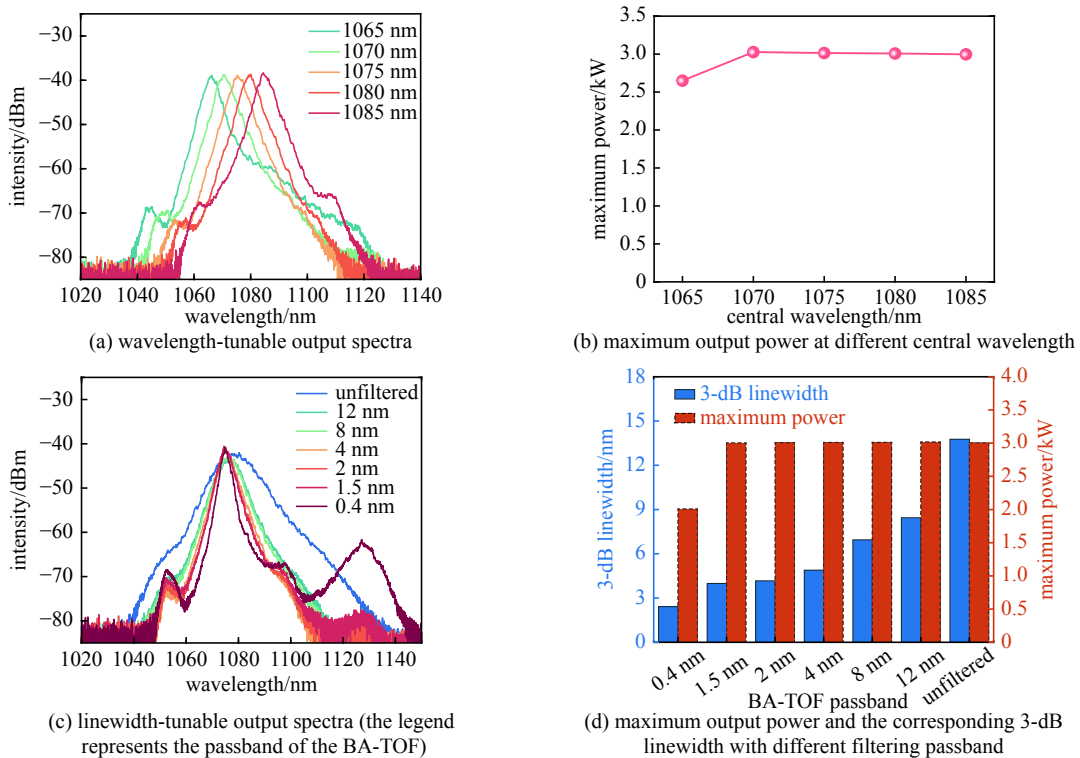


Fig. 2 Experimental results of the 3 kW linewidth- and wavelength-tunable high-power fiber laser

图 2 3 kW 光谱线宽与中心波长可同时调谐高功率光纤激光的实验结果

致 谢 感谢周聪、范晨晨、王涛、任博等在实验过程中的支持和帮助。

参考文献:

[1] Wirth C, Schmidt O, Tsybin I, et al. High average power spectral beam combining of four fiber amplifiers to 8.2 kW[J]. *Optics Letters*, 2011, 36(16): 3118-3120.

- [2] Webber M E, Pushkarsky M, Patel C K. Fiber-amplifier-enhanced photoacoustic spectroscopy with near-infrared tunable diode lasers[J]. *Applied Optics*, 2003, 42(12): 2119-2126.
- [3] Wu Hanshuo, Wang Peng, Song Jiabin, et al. High power tunable mid-infrared optical parametric oscillator enabled by random fiber laser[J]. *Optics Express*, 2018, 26(5): 6446-6455.
- [4] Liu Zejin, Jin Xiaoxi, Su Rongtao, et al. Development status of high power fiber lasers and their coherent beam combination[J]. *Science China Information Sciences*, 2019, 62: 41301.
- [5] 王泽晖, 肖起榕, 王雪娇, 等. 国产光纤实现同带抽运3000W激光输出[J]. *物理学报*, 2018, 67: 024205. (Wang Zehui, Xiao Qirong, Wang Xuejiao, et al. 3000 W tandem pumped all-fiber laser based on domestic fiber[J]. *Acta Physica Sinica*, 2018, 67: 024205)
- [6] Fang Qiang, Li Jinhui, Shi Wei, et al. 5 kW near-diffraction-limited and 8 kW high-brightness monolithic continuous wave fiber lasers directly pumped by laser diodes[J]. *IEEE Photonics Journal*, 2017, 9(5): 1506107.
- [7] 林傲祥, 湛欢, 王瑜英, 等. 国产泵浦增益一体化复合功能激光光纤实现8.74 kW激光输出[J]. *强激光与粒子束*, 2018, 30: 010101. (Lin Aoxiang, Zhan Huan, Wang Yuying, et al. 8.74 kW (8+1) GT-wave fiber amplifier[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2018, 30: 010101)
- [8] 陈晓龙, 楼风光, 何宇, 等. 高效率国产化10 kW光纤激光器[J]. *光学学报*, 2019, 39: 0336001. (Chen Xiaolong, Lou Fengguang, He Yu, et al. Home-made 10 kW fiber laser with high efficiency[J]. *Acta Optica Sinica*, 2019, 39: 0336001)
- [9] Liu Yakun, Su Rongtao, Ma Pengfei, et al. 1 kW all-fiberized narrow-linewidth polarization-maintained fiber amplifiers with wavelength spanning from 1065 to 1090 nm[J]. *Applied Optics*, 2017, 56(14): 4213-4218.
- [10] Li Zhe, Li Gang, Gao Qi, et al. Kilowatt-level tunable all-fiber narrowband superfluorescent fiber source with 40nm tuning range[J]. *Optics Express*, 2020, 28(7): 10378-10385.
- [11] Tian Jiading, Xiao Qirong, Li Dan, et al. Tandem-pumped high-power narrow-linewidth fiber laser tunable from 1060-1090 nm[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2020, 38(6): 1461-1467.
- [12] Yagodkin R, Platonov N, Yusim A, et al. >1.5kW narrow linewidth CW diffraction-limited fiber amplifier with 40nm bandwidth[C]//Proc of SPIE. 2015: 972807.
- [13] Ye Jun, Xu Jiangming, Zhang Yang, et al. Spectrum-manipulable hundred-watt-level high-power superfluorescent fiber source[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2019, 37(13): 3113-3118.
- [14] Ye Jun, Fan Chenchen, Xu Jiangming, et al. 2-kW-level superfluorescent fiber source with flexible wavelength and linewidth tunable characteristics[J]. *High Power Laser Science and Engineering*, 2021, 9: e55.
- [15] Yin Lu, Han Zhigang, Shen Hua, et al. Suppression of inter-modal four-wave mixing in high-power fiber lasers[J]. *Optics Express*, 2018, 26(12): 15804-15818.
- [16] Liu Wei, Ma Pengfei, Zhou Pu, et al. Spectral property optimization for a narrow-band-filtered superfluorescent fiber source[J]. *Laser Physics Letters*, 2018, 15: 025103.