

## 基于自研光纤和器件实现 20 kW 高光束质量激光稳定输出

受到模式不稳定 (TMI) 效应、受激拉曼散射 (SRS) 效应、材料损伤等因素的限制, 研制万瓦至数万瓦高光束质量光纤激光器是一件极具挑战的工作。在实验中还会受到大模场增益光纤和核心器件的性能、各种非线性效应的抑制技术、光纤熔接技术等因素的影响。当前, 级联泵浦是国内外实现单纤大于 10 kW 高光束质量激光输出的主要技术手段。近年来, 国防科技大学针对级联泵浦方案, 在高效 1018 nm 光纤激光泵浦源、高吸收大模场双包层增益光纤、用于抑制 SRS 的啁啾倾斜光纤光栅 (CTFBG)、高光束质量反向信号/泵浦合束器等方面开展了大量研究, 取得了一系列创新成果。

近期, 国防科技大学高能激光技术研究所基于自研的  $48\ \mu\text{m}/400\ \mu\text{m}$  掺镱双包层光纤和  $(6+1)\times 1$  反向信号/泵浦合束器, 搭建了反向泵浦的 20 kW 级高

功率光纤激光器, 系统结构如图 1 所示。种子激光 (功率约为 180 W, 中心波长为 1080 nm, 输出尾纤为  $20\ \mu\text{m}/400\ \mu\text{m}$  双包层光纤) 经啁啾倾斜光纤光栅、模场适配器 (MFA) 和包层光滤除器 1 (CPS 1) 进入增益光纤。泵浦源为 6 组自研的高功率 1018 nm 光纤激光器, 每组能够实现大于 4 kW 的 1018 nm 激光输出。泵浦光通过  $(6+1)\times 1$  反向信号/泵浦合束器 (PSC) 注入到  $48\ \mu\text{m}/400\ \mu\text{m}$  掺镱双包层光纤 (YDF) 中, 未被吸收的泵浦光由 CPS 1 滤除。放大后的激光被包层光滤除器 2 (CPS 2) 滤除包层光后由端帽 (QBH) 输出, 并进入高功率准直器 (CO)。准直后的激光经高反镜 (HRM) 的反射和扩束镜 (BE) 后进入功率计 (PM), 光谱仪 (OSA) 收集微弱反射光用于监测输出激光光谱, 少量透射光进入光束质量分析仪 (LQM) 用于光束质量测量。

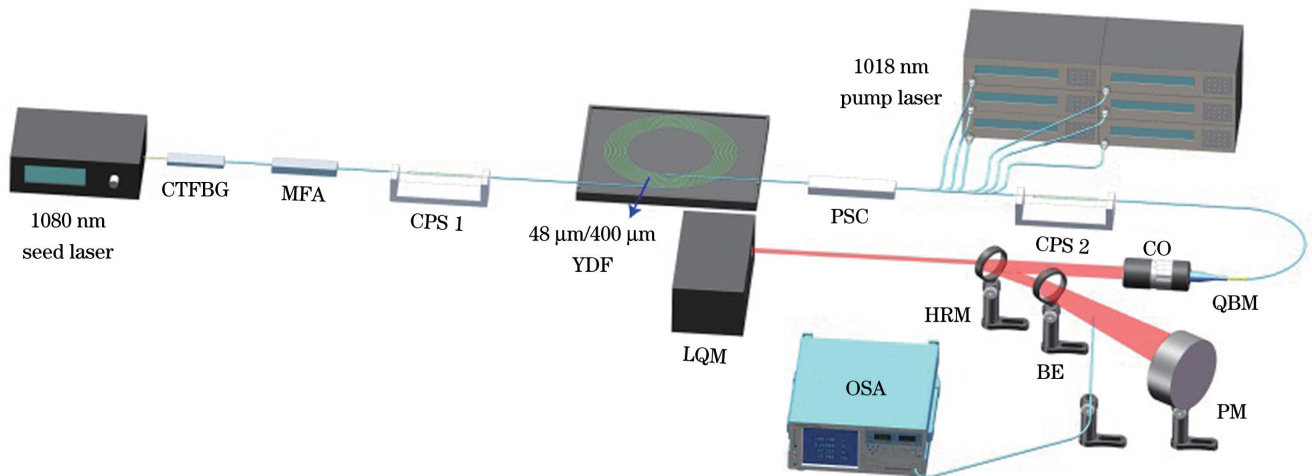


图 1 系统结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of system

实验结果如图 2 所示。从图 2(a) 可以看到, 放大器的输出功率随泵浦功率的增加呈线性增长, 当注入了最大泵浦功率 24.60 kW 时, 输出功率为 20.22 kW, 放大级对应的斜率效率为 81.52%。系统满功率稳定运行 5 min, 功率起伏小于 1%。放大器的输出光谱如图 2(b) 所示, 在最高功率时拉曼抑制比为 31.5 dB, 光谱积分结果表明, 此时拉曼光功率占比仅为 0.15%, 功率仍有进一步提升的空间。输出功率为 18 kW 时测得的光束质量  $M^2=2.87$ , 最高功率时  $M^2=3.3$ , 结

果分别如图 2(c)、(d) 所示。

系统中所用的大模场双包层掺镱光纤、反向泵浦合束器、啁啾倾斜光纤光栅、包层光滤除器、模场匹配器、光纤端帽等核心器件均为国防科技大学独立自主设计研制的。20 kW 单纤激光的长时间稳定运行标志着国防科技大学在高功率光纤激光核心器件研制、非线性效应抑制等方面取得了重要突破。下一步, 团队将继续优化光纤设计和模式控制, 实现光束质量和功率的同步提升。

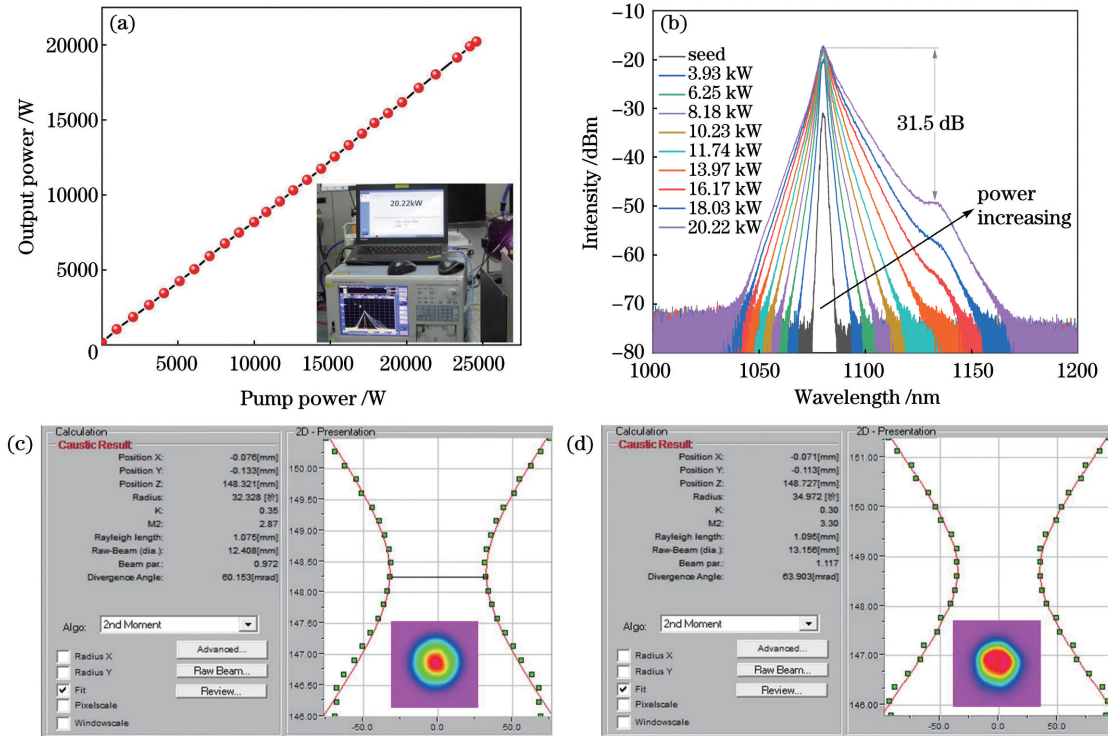


图 2 光纤放大器的实验结果。(a) 输出功率;(b) 输出激光光谱;输出功率为(c) 18 kW 和(d) 20.22 kW 时的光束质量  
 Fig. 2 Experimental results of fiber amplifier. (a) Output power; (b) output spectra; beam quality at output powers of (c) 18 kW and (d) 20.22 kW

肖虎, 潘志勇, 陈子伦, 奚小明, 黄良金, 王蒙, 杨欢, 闫志平, 冷进勇, 王小林, 王泽锋\*, 周朴\*\*, 许晓军, 陈金宝\*\*\*

国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073

通信作者: \*zefengwang\_nudt@163.com; \*\*zhoupu203@163.com; \*\*\*kdchenjinbao@aliyun.com

收稿日期: 2022-06-01; 修回日期: 2022-06-11; 录用日期: 2022-06-22