

# 中国激光

## 准连续光纤激光器实现高亮度 8 kW 峰值功率输出

准连续(QCW)光纤激光器是在近年来迅速崛起的一种特殊形式的激光器。该激光器既兼顾了连续光纤激光器电光转换效率高、可靠性好、稳定性强、结构紧凑等优点,又具有脉冲激光器功耗低、时域可控性强、峰值功率高等特点,在激光精细焊接、打孔、特殊材料切割等领域具有广泛的应用场景。QCW 激光器通常是采用脉冲信号控制泵浦源电源的方式获得不同时域特性的激光输出,因此激光的时域稳定性非常高,同时输出脉冲的重复频率和脉宽可控范围大。另一方面, QCW 激光器可以在相同的峰值功率下,通过在一定程度上调节占空比来控制平均功率,从而有效控制激光器的产热,抑制高功率光纤激光器一个重要的限制因素——模式不稳定。由于模式不稳定不再成为 QCW 激光器的主要限制因素,可以在结构设计上采用大吸收系数的 976 nm 波长激光进行泵浦,以有效缩短增益光纤长度,从而很大程度上抑制受激拉曼散射等非线性效应。因此 QCW 激光器是实现高功率、大脉冲能量激光的理想方式。目前多家大型光纤激光器厂商均推出了不同型号的 QCW 激光器,例如 IPG 光子公司报道了平均功率为 2300 W、峰值功率为 23000 W 的准连续光纤激光器产品,该产品是目前已报道的 QCW 激光器功率

最高的产品,但是大多数高功率产品都是多模光纤输出,光束质量较差(IPG、锐科等公司生产的峰值功率大于 3000 W 的产品均采用纤芯直径大于 50  $\mu\text{m}$  的光纤)。同时为了提高输出峰值功率,国内有些商用产品采用的是增加泵浦源数量的方式,这无疑增加了激光器的成本。近期,国防科技大学通过自主研发的电源,“超调”控制大功率半导体泵浦源,使原本连续工作电流为 18 A 的泵浦源,在脉冲形式下能够在 36 A 稳定运行,实现了输出峰值功率为 8283 W、平均功率为 739 W、重复频率为 1 kHz、脉冲宽度为 90  $\mu\text{s}$  的激光输出。该“超调”工作方式在不增加泵浦源数量的前提下,提高了泵浦的峰值功率,从而有效提高输出激光的峰值功率,减小了体积,降低了成本。该 QCW 激光器采用的是双向泵浦谐振腔结构,泵浦合束器为  $(18+1)\times 1$  合束器,总共接入 32 只泵浦源,泵浦源中心波长为 976 nm,光纤光栅中心波长为 1070 nm,增益光纤为长度约为 16 m 的纤芯、包层直径分别为 30  $\mu\text{m}$  和 400  $\mu\text{m}$  的掺镱光纤。在 8283 W 峰值功率时,输出激光的光束质量因子( $M^2$ )为 2.2(环形光斑),光谱无拉曼成分,光光转换效率为 70%,该结构进一步增加了泵浦源或者提高了泵浦峰值电流,有望获得超过万瓦的峰值功率输出。

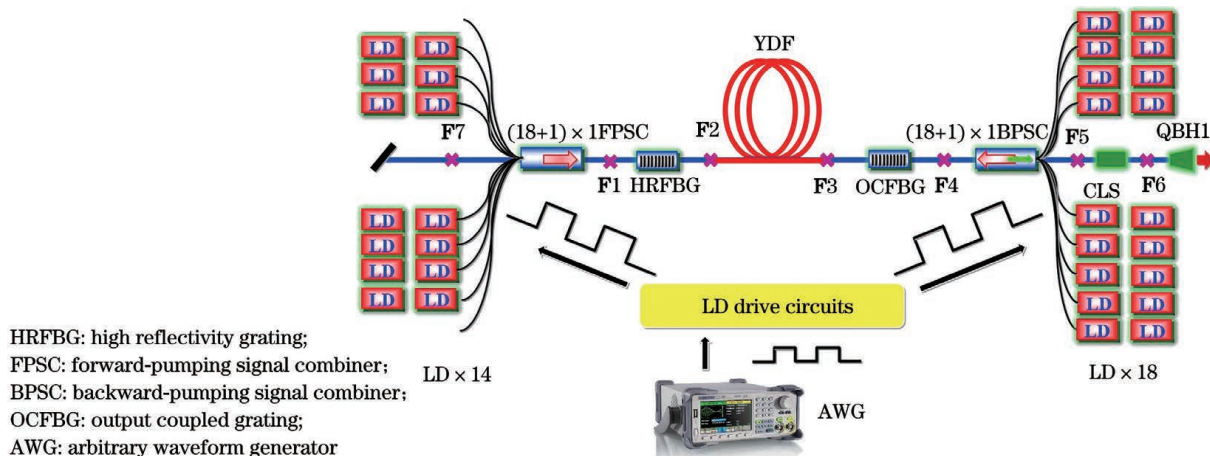


图 1 QCW 激光器结构示意图

Fig. 1 Structural diagram of QCW laser

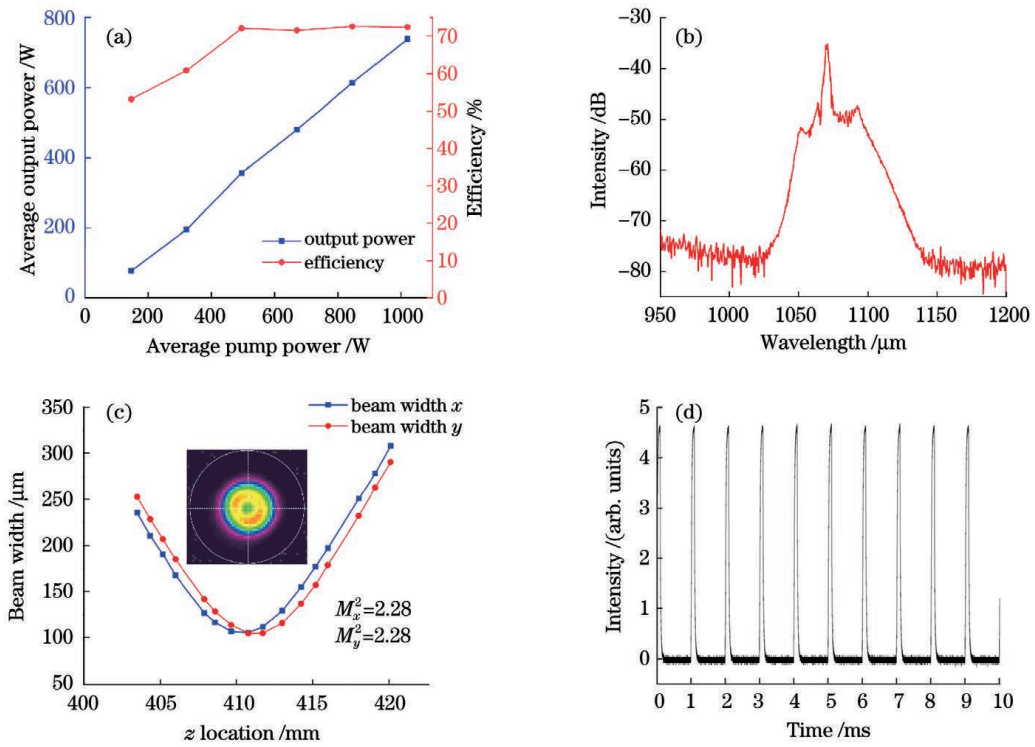


图 2 QCW 激光器输出结果。(a)输出功率和光光转换效率;最高输出功率时的(b)光谱、(c)光束质量和(d)脉冲形态  
 Fig. 2 Output results of QCW laser. (a) Output power and optical-to-optical efficiency; (b) output spectrum, (c) beam quality, and (d) time domain characteristics of laser at maximum power

张汉伟, 洪哲健, 奚小明, 杨保来, 王鹏, 王小林\*, 许晓军\*\*

国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073

通信作者: \*chinaphotonics@163.com; \*\*xuxj@21cn.com

收稿日期: 2021-06-09; 修回日期: 2021-06-30; 录用日期: 2021-07-06