

中国激光

空芯光纤端帽实现千瓦级连续激光高效稳定耦合

空芯光纤具有中空的结构,可以填充各种气体,同时作为波导结构,可以将光束束在 $10\sim 100\ \mu\text{m}$ 量级的空芯中,为激光与气体的相互作用提供了非常理想的环境。相对传统的气体腔,空芯光纤极大增强了光与气体的相互作用强度,这催生了一种新型的激光器——光纤气体激光器,近年来得到了国内外广泛的关注。此外,空芯光纤可以将超过 99% 的激光能量限制在纤芯的空心区域内,激光在该区域内的传输近似于自由空间传输,大大提高了损伤阈值并极大降低了非线性效应。相比于实芯光纤,理论上空芯光纤在高功率激光传输方面具有更大的潜力。不管是光纤气体激光器还是高功率激光传输应用,空芯光纤的高功率激光高效稳定耦合是必须解决的关键问题。

国防科技大学高能激光技术研究所基于光纤端帽制备工艺,将反共振空芯光纤输入端与石英端帽相熔接,成功制备了高性能的空芯光纤端帽,实现了千瓦级连续激光的高效稳定耦合和传输。实验结构如图 1 所示,测试光源为一台千瓦级的 1080 nm 单模光纤激光振荡器,利用空间耦合的方式将激光耦合进熔接了石英端帽的空芯光纤纤芯中。如图 1 所示,空芯光纤为冰淇淋型反共振空芯光纤,由英国巴斯大学提供,纤芯直径约为 $46\ \mu\text{m}$ 。利用大芯径光纤熔接机将空芯光纤与端帽进行熔接,熔接过程中

严格控制电极强度,减小高温对空芯光纤包层结构的破坏。空芯光纤端帽与光纤前端被固定于水冷板上,裸纤部分涂抹匹配膏以滤除包层光,包层与涂覆层交界处(图 1 中叉号位置)较易发热,在涂覆层前端涂抹 AB 胶以达到更好的制冷效果。图 2 为实验结果。从图 2(a)可以看到,当激光振荡器输出功率为 1167 W 时,空芯光纤输出端测得的最高功率为 1021 W,总传输效率达到了 87.5%,考虑到空间耦合光路的传输损耗和空芯光纤端帽内部的端面菲涅耳反射,实际耦合效率接近 95%。在最高功率下,测得的空芯光纤输出端的激光光束质量(M^2)约为 1.20,激光光束质量得到很好的保持。为了确保系统安全,我们在传输功率为 915 W 时测量了系统的稳定性,持续时间为 1 h,结果如图 2(b)所示。测试光源的输出功率随着水冷机的周期性工作呈现周期性变化,传输功率的变化规律与光源功率的变化规律一致,功率平均值稳定在 915 W 附近,波动为 $\pm 0.5\%$,说明基于空芯光纤端帽的耦合方式具有非常好的稳定性。

实验中,空芯光纤没有观察到明显的发热现象。进一步增加激光功率时,出现了耦合效率下降的现象,具体原因有待进一步分析。本项工作对于高功率光纤气体激光器的发展具有十分重要的意义,同时为基于空芯光纤的高功率激光传输提供了参考。

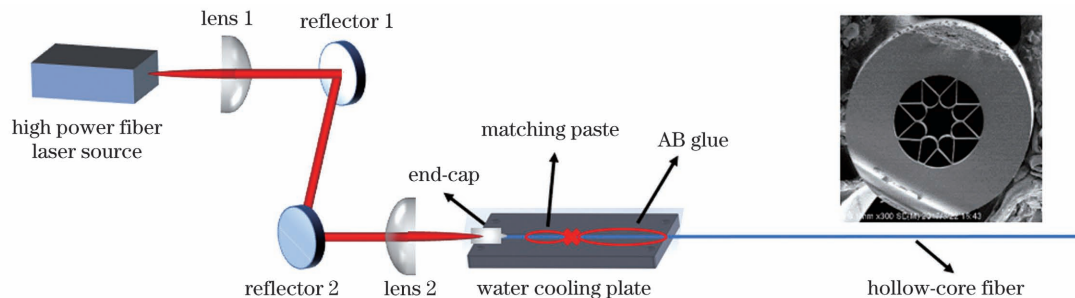


图 1 基于空芯光纤端帽的千瓦级连续激光高效稳定耦合实验示意图

Fig. 1 Schematic of high efficiency and stable coupling experiment of kW-level continuous laser based on hollow-core fiber end-cap

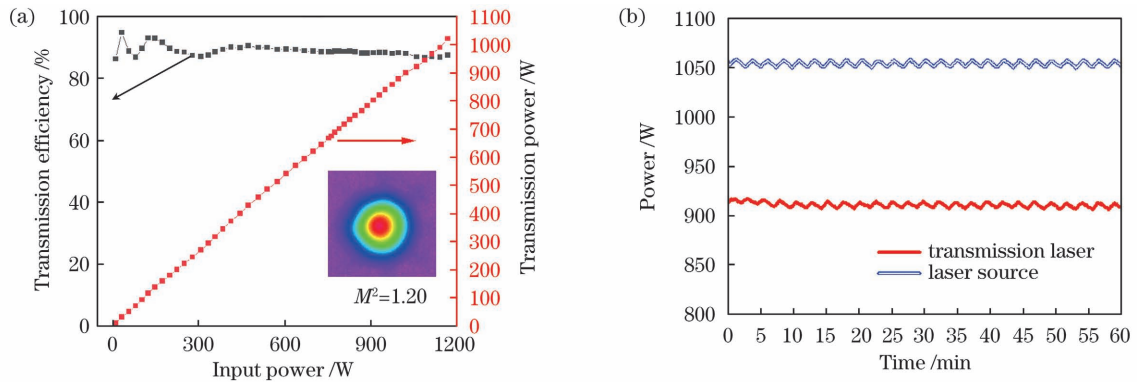


图 2 实验结果。(a)传输功率与传输效率;(b)光源和传输激光的功率稳定性

Fig. 2 Experimental results. (a) Transmission power and transmission efficiency; (b) power stabilities of laser source and transmission laser

崔宇龙^{1,2}, 黄威^{1,2}, 周智越^{1,2}, 李昊^{1,2}, 王蒙^{1,2}, 陈子伦^{1,2}, 王泽锋^{1,2*}

¹国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073;

²脉冲功率激光技术国家重点实验室, 湖南 长沙 410073

通信作者: *zefengwang_nudt@163.com

收稿日期: 2021-11-08; 修回日期: 2021-12-09; 录用日期: 2021-12-16