

# 中国激光

## 千瓦级单模激光传输超越百米

高光束质量、高功率激光的长距离柔性传输在大范围激光加工、航空点火、国防安全等领域具有广阔的应用前景,实际传输过程中的非线性效应和光束质量退化等限制了可传输的激光功率和到达目标处的光束质量。

目前,高光束质量、高功率激光的长距离传输主要通过大芯径弱耦合光纤和微结构光纤两种方案实现。2019年,斯图加特大学在  $60\ \mu\text{m}$  芯径光纤中实现了千

瓦百米传输,最高功率下光束的质量因子  $M^2$  为 1.32。2022年,南安普敦大学报道了基于反谐振光纤的千瓦千米传输,  $M^2$  小于 1.1,验证了此类光纤在超长距离传输方面的优势。最近,本课题组综合应用模式匹配技术和锥形传能光纤方案,将全光纤化千瓦级单模激光的传输长度提升至百米以上。

高功率激光长距离传输及测试系统如图 1(a) 所

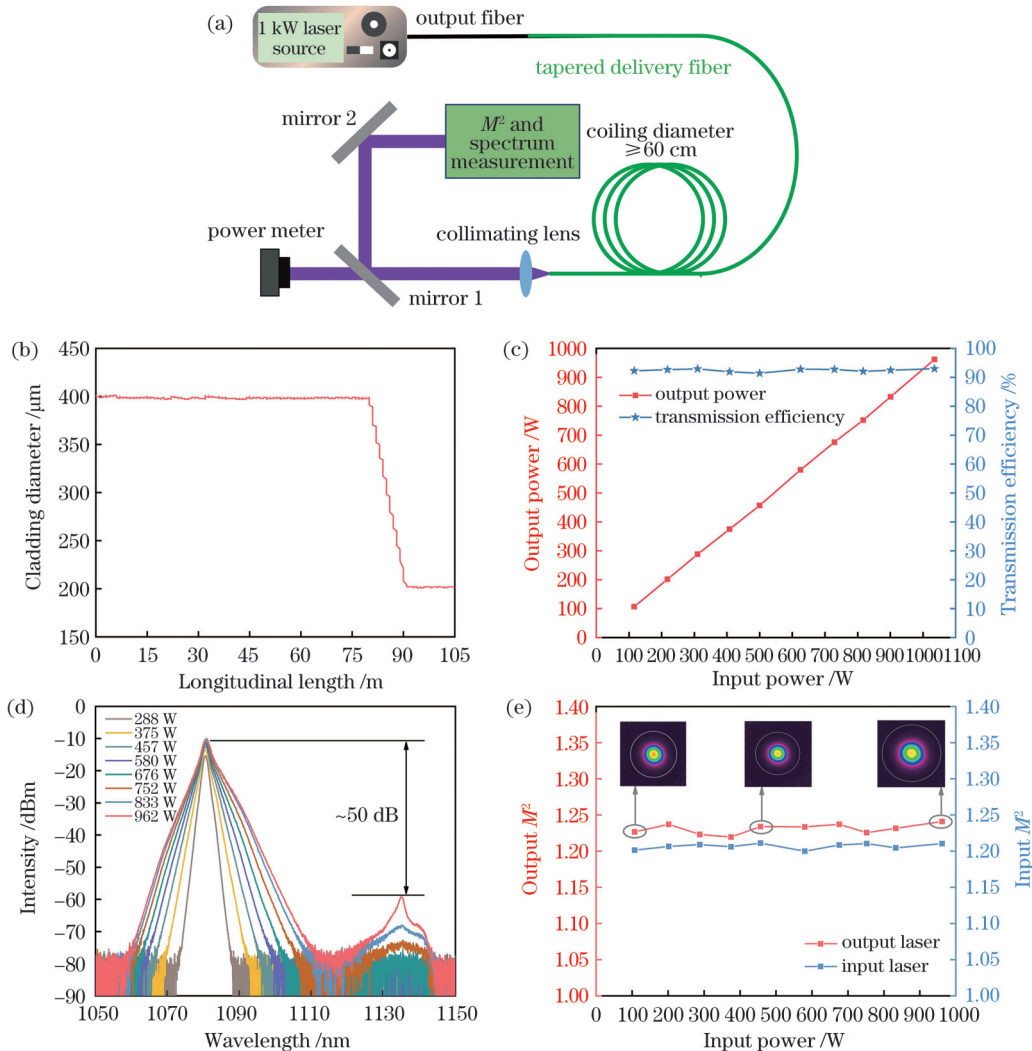


图 1 高功率激光传输系统结构示意图及典型结果。(a)高功率激光传输及测试系统架构;(b)锥形光纤的纵向尺寸变化;(c)功率和效率;(d)不同功率下的输出光谱;(e)不同功率下的输入和输出激光的光束质量

Fig. 1 Experimental setup schematic diagram and representative results of the high-power laser delivery system. (a) Schematic diagram of the high-power laser delivery system and the test architecture; (b) cladding profile of tapered fiber along the longitudinal direction; (c) power and efficiency; (d) output spectra at different output powers; (e) beam quality of input and output laser at different powers

示。采用最高功率约为 1 kW 的商用单模光纤激光光源, 配备 20/250  $\mu\text{m}$  输出光纤, 其数值孔径约为 0.062。锥形光纤小芯径和大芯径端尺寸分别为 24/200  $\mu\text{m}$  和 48/400  $\mu\text{m}$ , 数值孔径约为 0.06, 总长 105 m, 其中小芯径端、锥区和大芯径端的长度分别为 15、10、80 m, 光纤纵向尺寸分布情况如图 1(b) 所示。光束从锥形光纤小芯径端注入, 采用模式分解技术量化 20/250  $\mu\text{m}$  光纤和小芯径端熔点处的模式激发情况, 在恒定的放电功率下步进改变放电时间, 确定最优熔接参数并以该参数进行熔接。结果表明, 最优熔接参数下, 相对于基模含量, 熔点处激发的高阶模含量低于 -25 dB。光纤以不小于 60 cm 的直径松散盘绕, 较大的盘绕直径可以避免弯曲对光束质量的影响。

当最高注入功率为 1035 W 时, 输出功率为 962 W,

如图 1(c) 所示, 系统的总传输效率大于 92%。得益于锥形光纤的大模场面积, 系统在超过百米的传输长度下仍具有较好的非线性抑制效果。在最高输出功率下, 光谱中可见较弱的拉曼成分(如图 1(d) 所示), 拉曼抑制比约为 50 dB。系统输入和输出激光的  $M^2$  如图 1(e) 所示。可见, 在整个功率范围内, 输入和输出激光的  $M^2$  分别约为 1.20 和 1.23, 输出激光的  $M^2$  相对于输入激光来说几乎没有退化。本课题组通过最优化匹配熔接和锥形光纤相结合的技术方案, 初步实现了高功率激光长距离传输的模式控制关键技术。下一步, 拟继续增大锥形传能光纤小芯径端和大芯径端的尺寸, 综合应用最优化熔接、模式匹配技术进行有效模式控制, 以实现更高功率或更长距离的高光束质量、高功率激光传输。

陈潇<sup>1</sup>, 黄善旻<sup>1</sup>, 黄良金<sup>1,2,3\*</sup>, 曹家宁<sup>1</sup>, 闫志平<sup>1,3</sup>, 潘志勇<sup>1,3\*\*</sup>, 周朴<sup>1\*\*\*</sup>, 姜宗福<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国防科技大学前沿交叉学科学院, 湖南 长沙 410073;

<sup>2</sup>国防科技大学南湖之光实验室, 湖南 长沙 410073;

<sup>3</sup>国防科技大学高能激光技术湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410073

收稿日期: 2024-01-10; 修回日期: 2024-01-28; 录用日期: 2024-02-06; 网络首发日期: 2024-02-25

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFB3606000)、国家自然科学基金(12174445, 62061136013)

通信作者: \*hlj203@nudt.edu.cn; \*\*panzy168@163.com; \*\*\*zhoupu203@163.com