

Fabrication and Fusion of Optical Fiber End Caps

Jianguo Wang

The 46th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Tianjin, 300220, China

Abstract

This paper mainly describes the fiber end cap made of LZM-100 type CO₂ laser fusion energy transfer fiber and quartz end cap using advanced power feedback control technology and stabilization technology, and the fiber end cap is applied to the 8000W single mode continuous Fiber laser, the laser uses a resonator cavity mode output, the center wavelength of the fiber end cap output laser is 1080nm, the maximum output laser power is 822W, the output spot diameter is 2-3mm, and the laser beam beta factor is 1.3, which is close to quasi-single Modulo output. The light-to-light conversion rate is 78.5%. After 4 hours of laser full power and stable output, the average output power fluctuation range of the experimental data is less than 1%. This marks another major step forward in the development of the core components of our laser.

Keywords

CO₂ laser; end cap; laser; stable output; laser B factor

光纤端帽的制作及熔接

王建国

中国电子科技集团公司第四十六研究所, 中国·天津 300220

摘要

论文主要讲述了采用先进功率反馈控制技术和稳定技术的 LZM-100 型 CO₂ 激光熔接传能光纤和石英端帽制作的光纤端帽, 并且将该光纤端帽应用于我所研制的 8000W 单模连续光纤激光器, 该激光器采用的是谐振腔振方式输出, 光纤端帽输出激光的中心波长为 1080nm, 最高输出激光功率为 822W, 输出光斑直径为 2-3mm, 激光束 β 因子为 1.3, 接近准单模输出。光-光转换率 78.5%, 经历 4 个小时激光满功率而且稳定的输出, 得出实验数据平均输出功率波动范围小于 1%。这标志着我所在激光器核心元器件研制方面又迈进了一大步。

关键词

CO₂ 激光; 端帽; 激光器; 稳定输出; 激光 B 因子

1 引言

光纤激光器由于其高转换效率、高光束质量、结构紧凑、散热装置简单及维修方便等优点, 近年来成为全球研究的热点, 在工业加工、材料处理以及国防安全等领域有着广泛的应用^[1]。由于光纤芯的尺寸较小, 随着激光输出功率的逐渐加强提高, 光纤出射端面功率的密度也会随着越来越高。在功率密度很高的状态下, 端面上任何细小的污染和加工上的缺陷都可能会引起光纤输出端面的损伤, 而且端面反射回来的激光也会给激光器的正常运行带来致命的干扰。解决这一问题的主要方法实在光纤端面上熔接可承载高功率的光纤端帽^[2, 3]。

端帽的制作采用的是通过熔接的方法, 来让光纤和端帽材料均匀而完整的紧密结合在一起。CO₂ 激光输出波长为 10.6 μ m, 充分的利用了光纤对激光的良好吸收特性来对光纤

进行熔接。同时 CO₂ 激光也是一种高清洁度的热源, 它不仅能够保证熔点周围没有任何的附着污染物, 而且同时还能保证在激光大功率传输条件下, 不会因为熔点温度过高而造成光纤的烧毁毁坏。

论文采用的是先进功率反馈控制技术和稳定技术的 LZM-100 型 CO₂ 激光熔接传能光纤和由纯石英制作的石英端帽, 通过大量的实验验证了使用激光器熔接的激光端帽可以承受 822W 连续激光输出, 并且可达到长时间稳定的工作没有任何的损伤, 光纤端帽的加入使用也并没有对激光器系统的转换效率和光束质量等性能造成什么影响。

2 光纤端帽的结构

石英端帽是由纯石英构成的, 它的端面直径是远远大于光纤的直径, 当激光从传能光纤进入到石英端帽后, 因为激

光失去了光纤芯的波导束缚所以会在端帽中发散，进而它可以有效地降低传能光纤端面的功率密度，也有效地避免了端面损伤的情况发生。如下图1是光纤端帽的结构图，充分考虑到石英端帽会有散热夹持问题，入射端笔者把它设计成了圆柱体形状并做仔细打磨做抛光处理，并且为了减少射出端面的反射损耗，也在其面上镀上了增透膜。

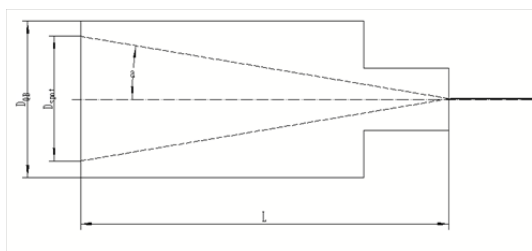


图1 光纤端帽的结构图

如上面图1所示，光纤的数值孔径为NA，n是光纤的纤芯折射率，可以计算出激光在传能光纤中传输时，满足全反射条件的最大传输角 α 。由于端帽与传能光纤的折射率相同，所以激光在端帽中传输的角度为 α ，由几何关系可知激光光斑输出直径为Dspot

$$\tan\alpha = NA/n \quad (1)$$

$$D_{spot} = D_{core} + 2 \times L \times \tan\alpha \quad (2)$$

$$n = 1.4439, NA = 0.06, D_{core} = 0.02\text{mm}, L = 20\text{mm},$$

$$D_{spot} = 2.4\text{mm}, D_{QB} = 8\text{mm}.$$

3 实验方案

光纤端帽是大功率传能光纤的重要组成部分之一，目前被广泛应用于高功率光纤激光器的系统中。高功率单模连续光纤激光器的系统结构如下图2所示。

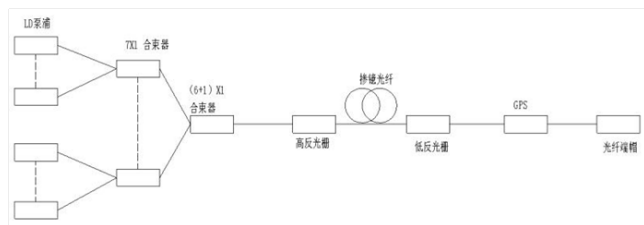


图2 高功率单模连续光纤激光器系统结构图

高功率单模连续光纤激光器系统采用的是谐振腔振荡的输出方式。泵浦源一共为5组，每组有3支国产的泵浦LD，共计有15支国产泵浦LD。每支泵浦LD的输出功率均为70W，输出105/125um，中心波长为915nm。泵浦光合束采用得是两级合束的方式。一级泵浦合束是采用了4支4x1的合束器，它

的单臂承受的功率为80W。二级合束器是采用了(6+1)x1的合束器，它的单臂承受功率为300W，输出尾纤为20/400um尾纤，最大可以承受2000W泵浦光功率。该激光器谐振腔是由纤芯、包层直径为20um的增益光纤、包层直径为400um的增益光纤和一对光纤光栅所组成的。高反光栅的中心波长为1080.8nm，高反光栅的反射率99.7%。3dB带宽为0.8nm。输出耦合光栅的中心波长为1080.04nm，输出耦合光栅的反射率为9.4%，3dB带宽为1.3nm。益光纤承用是50米长的Nufem LMA-YDF-20400光纤，该光纤在泵浦光915nm处的吸收系数为0.4dB/m。谐振腔根荡输出光中包含包层光成分。在低反光纤尾纤上采用自制的包层光剥除器(CPS)将腔内残存的泵浦光剥除干净。并且为防止反馈光，笔者利用LZM-100型的CO₂激光端帽熔接在光纤上，并且将该光纤端帽封装在相应的水冷装置给构中(实验证明这样做了有效的防止了反馈光)。

3.1 端帽对激光光谱和斜率效率的影响

通过实验观察，当输出的功率达到了822W时，高功率单模连续光纤激光器系统是可以长时间稳定运行而且在端面没有造成任何损伤。为了进一步的探究端帽的加入对输出的激光光谱是否会有影响，笔者利用光谱仪对输出的激光进行了测量。下图3就是光谱仪测出的自制的纤维端帽输出的激光光谱图，测试结果显示激光的中心波长为1080.409nm，线宽是0.812nm，在95-1200nm范围内没有其他波长的激光输出，也满足了光纤光栅对输出波长的要求，这就说明光纤端帽的加入并没有对输出激光的光谱造成任何的影响。

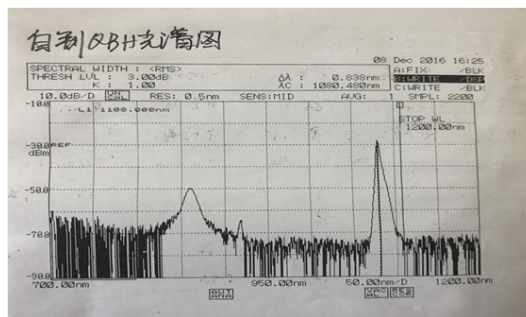


图3 光纤端帽输出的激光光谱图

同时为了探究光纤端帽的加入对激光器系统转换效率是否有影响，笔者先是测量了熔接有光纤端帽的光纤的输出激光功率，然后测量了没有熔接光纤端帽的光纤的输出激光功率。在实验中考虑到安全问题，对比实验中并没有将5组泵源全部都打开，只是开启了其中的一组，使得其输出的功率

达到 160W 左右。如下图 4 所示, 在相同的泵浦功率下, 有熔接光纤的端帽激光器系统和没有熔接光纤端帽的激光器系统的激光输出功率是有所不同。实验发现熔接有光纤端帽的其输出激光的斜率效率为 81.5%, 而斜 8 度端面直接输出激光的斜率效率约为 80.5%。通过分析可知, 这是因为光纤端面与空气直接接触的时候, 它会造成一部分输出激光因为菲涅尔反射直接从端面反射回来, 从而降低了输出的效率。光纤端帽的输出端镀有高透膜, 且高透膜的透过率高达 99.8%, 能够有效的减少因为菲涅尔反射直接从端面反射回来的情况, 所以熔接有光纤端帽的光纤输出的功率会更大些, 因此熔接有光纤端帽的光纤的输出效率也更高。

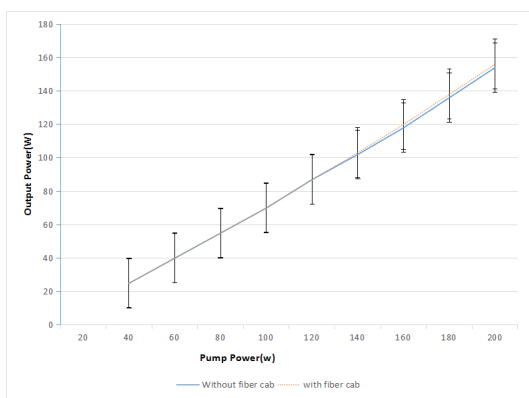


图 4 端帽输出功率与端面输出功率对比图

3.2 光纤端帽对激光 β 因子和激光功率稳定性的影响

激光 β 因子是被大家公认的光纤激光器性能的一个重要评定参数, 咱为了测试光纤端帽的加入是否会对输出的激光 β 因子造成影响, 本次试验采用了光束质量测试系统来测试了光纤端帽输出激光的 β 因子。下图 5 为输出激光 β 因子图, 分别为近场光斑与远场光斑的测试图, 其数值为 1.3, 属于准单模高功率连续光纤激光器。实验结果表明, 光纤端帽的加入对激光 β 因子没有造成明显的影响。

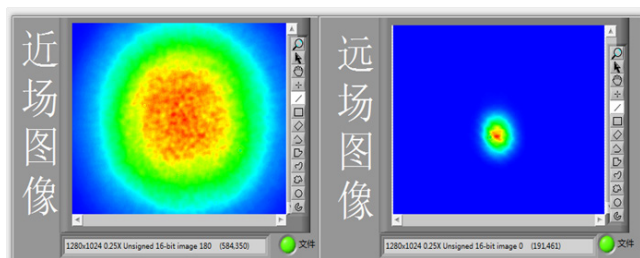


图 5 输出激光 B 因子图分别为近场图像和远场图像

为研究光纤端帽对激光器系统输出功率稳定性是否具有影响, 让该实验平台系统 4 个小时连续工作, 在经历 4 个小时的工作后发现没有明显的光功率下降现象, 激光器的输出功率波动范围也小于 1%, 后期检验测试又经过 32 小时的满功率连续激光输出, 且得出实验结果为波动范围没有发生变化。如下图 6 所示, 显示光端帽输出功率随时间的变化情况。

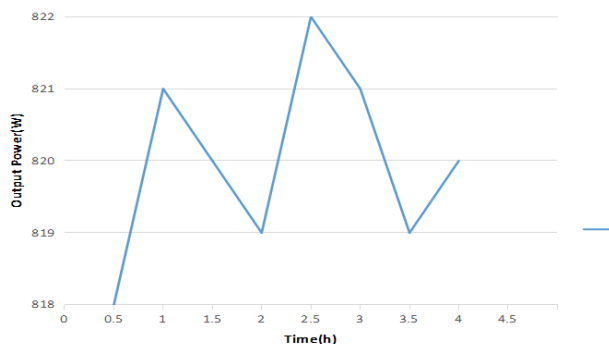


图 6 光纤端帽输出激光功率随时间变化情况

4 结语

通过以上实验得到的结果表明, 利用具有功率反馈技术的 LZM-100CO₂ 激光器熔接机完成了传能光纤与石英端帽的熔接, 熔接有光纤端帽的高功率单模连续光纤激光器系统成功实现了 822W 激光的稳定传输, 同时验证了传能光纤熔接石英端帽制成的光纤端帽不仅可以保证高功率激光传输过程中的可靠性与稳定性, 而且不会对系统效率与光束质量造成影响。这也标志着我所在激光器核心器件方面又迈出新的第一步。

参考文献

- [1] LiP X, Zhu C, Zou S z. Theoretical and experimental investigation of thermal flecks in a high powerYb³⁺-doped double-clad fiber laser[J].Opt. Laser Technol, 2007, 40(2):360-364.
- [2] Boehme S, Beckert E, Eberhardt R, et al.Laser splicing of end caps: Process requirements in high powerlaser application [C]. Proc of SPIE. 2009:720205.
- [3] Boehme S, Beckert E, Eberhardt R,et al.End cap splicing of photonic crystal fibers with outstandingquality for high power applications [C]. Proc of SPIE. 2012:824460.