

高功率高光束质量环形凹面镜激光谐振腔

激光光学

秦应雄 唐霞辉 朱 晓 李正佳 肖 瑜 柳 娟 彭 浩 邓前松

(华中科技大学光电学院武汉光电国家实验室, 湖北 武汉 430074)

激光谐振腔是激光系统的核心部件,常用球面镜激光谐振腔难以在短增益介质下同时获得高功率和高光束质量的激光输出。为此,我们提出了如图 1 所示的环形凹面反射镜激光谐振腔,该谐振腔由一个环形凹面反射镜和一个平面输出镜组成。对环形凹面镜曲率半径为 15 m,腔长为 3 m,光阑半径为 16 mm(以 10.6 μm 的 CO_2 激光波长来计算,菲涅耳系数为 8.05)的一个环形凹面镜激光谐振腔进行数值模拟,其优先输出模式为等相位的环形分布的准基模,从图 2 中可见,输出光束近场为等相位的环形分布,远场(聚焦处)为中央亮斑分布。该腔输出光束 M^2 因子的理论值为 1.50,接近于菲涅耳系数为 2.01 的平凹稳定腔的输出光束 M^2 因子理论值,环形凹面镜激光谐振腔的模体积为平凹稳定腔模体积的 4 倍^[1]。

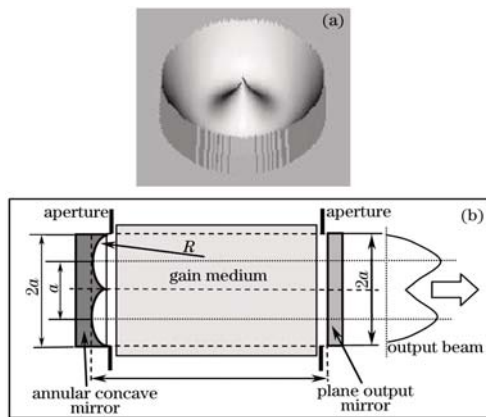


图 1 环形凹面反射镜激光谐振腔结构示意图。(a)环形凹面反射镜,(b)环形凹面镜激光谐振腔

系统数值模拟发现,该类谐振腔不同于传统的球面镜稳定腔,在较宽的菲涅耳系数范围和较宽的曲率半径范围条件下,仍可获得高光束质量的激光输出。当环形凹面镜的曲率半径为 15 m 时,菲涅耳系数在 6.2~12.6 内,谐振腔输出光束的 M^2 因子为 1.3~1.9,谐振腔的往返衍射损耗接近或小于 1.0%;当谐振腔的菲涅耳系数为 7.07 时,环形凹面镜曲率半径在 6~30 m 内,谐振腔输出光束的 M^2 因子为 1.60~1.24,谐振腔的往返衍射损耗接近或小于 1.0%^[2]。

在高功率横流 CO_2 激光器上进行了菲涅耳系数均为

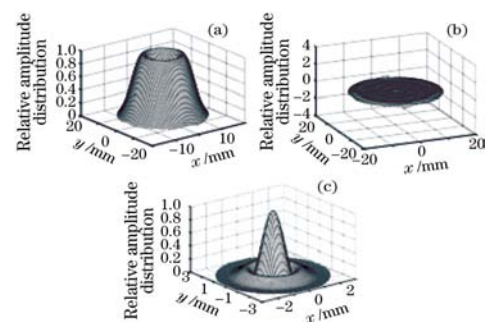


图 2 输出光束的振幅和相位分布。(a)近场振幅分布,(b)近场相位分布,(c)远场振幅分布

8.05 的平凹稳定腔和环形凹面镜激光谐振腔对比实验,在相同的 7 A 放电电流下,平凹稳定腔输出光束的功率为 3.3 kW, M^2 因子约为 7.5,环形凹面镜激光谐振腔输出光束的功率为 3.2 kW, M^2 因子约为 1.9。研究表明,该谐振腔在不牺牲输出功率的情况下,大大提高了输出光束的光束质量^[1]。对菲涅耳系数均为 17.25 的环形凹面镜激光谐振腔、平凹稳定腔和平平临界腔进行输出光束特性分析。在 5 A 的放电电流下,环形凹面镜激光谐振腔输出功率为 1.82 kW 的环形分布光束,当焊接速度为 1 m/min 时,焊接 316L 不锈钢的熔深超过 2.4 mm;平凹稳定腔输出功率为 1.86 kW 的 TEM_{00} 模,平平临界腔输出功率为 1.00 kW 的近似 TEM_{00} 模,这两种光束都无法用于激光深穿透焊接^[3]。

该谐振腔结构简单,镜片加工方便,很容易对现有激光谐振腔进行改造,而且大光束半径和环形光强分布的输出光束可大大降低谐振腔镜片和外光路镜片的热畸变,很方便应用于大增益区(大菲涅耳系数)的横流 CO_2 激光器、轴快流 CO_2 激光器和固体 YAG 激光器。

基金项目:国家自然科学基金(60808005)资助课题和国家科技支撑计划(2007BAF11B0)资助课题。

通信作者:唐霞辉,E-mail: txh1116@hust.edu.cn

参考文献

- 1 Y. Qin et al.. *Opt. Lett.*, 2009, **34**(7): 1120~1122
- 2 Y. Qin et al.. *J. MOD. OPTIC.*, 2009, **56**(16): 1804~1811
- 3 Y. Qin et al.. *Opt. Eng.*, 2009, **48**(10): 104202