

射频板条 CO₂ 激光器输出光束的光学变换

高允贵 朱永祥 丁义国 胡 浩 顾鸿璋 张龙华

(江苏新潮科技集团国家级技术中心激光技术研发部, 江苏 江阴 214429)

摘要 射频激励板条 CO₂ 激光器输出激光近场光斑近似为一条线, 远场光斑为 O 形图样。在垂直于光束传输方向的平面内, 光束在一个方向发散很大, 无法用于激光加工。根据激光器不同的激光功率级别及光束尺寸, 分别采用了圆柱面镜、滤波光阑、扩束望远镜等不同组合的方法, 将 200 W 激光器输出光束变换成远场光束为 $\Phi 6$ 、近似 TEM₀₀ 模的圆形光束, 500 W 激光器远场光束为 $\Phi 10$ 的低阶模的圆形光束。成功用于激光切割。

关键词 激光器; 圆形光束; 光学变换; 发散

中图分类号 TN248 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS200828s1.0098

Optical Transform of Output Laser Beam of RF Excited Slab CO₂ Laser

Gao Yungui Zhu Yongxiang Ding Yiguo Hu Hao Gu Hongzhang Zhang Longhua

(Laser Technical Research and Development Department of National Technology Center of Jiangsu Xinchao Science and Technology Group Co. Ltd., Jiangyin, Jiangsu 214429, China)

Abstract For a radio-frequency (RF) excited slab CO₂ laser the far-field spot is 0 form, the near-field profile is near a line form. The laser beam is more divergent in a certain direction on a plane perpendicular to the transmission direction, and cannot be used in laser material processing. According to the laser power and laser beam dimension, the near TEM₀₀ mode with 6 mm diameter of a circular laser beam is got in a 200 W laser as well as the low order mode with 10 mm diameter of a circular laser beam in a 500 W laser, using defferent combination of circular cylindrical mirrors, diaphragm and beam-expanding telescope. The laser can be used in laser material processing.

Key words lasers; circular laser beam; optical transformation; divergence

1 引 言

目前, 国内外对于射频激励板条 CO₂ 激光器的研究很多^[1~16], 而涉及到该激光器光学变换的文章仅见到文献[1]。至今国内尚未见对这一重要专题的报道。本文将叙述在这一方面研究的结果。

传统 CO₂ 激光器, 如玻璃放电管 CO₂ 激光器, 慢流 CO₂ 激光器、快轴流 CO₂ 激光器, 它们输出的光束均是圆形对称的基模或多模光束, 无需处理, 很容易在聚焦后用于激光材料加工。射频板条 CO₂ 激光器输出远场是发散很大的 O 光束^[9], 无法直接用于激光加工。

在 CO₂ 激光器发展的进程中, 为了取消横流、快速轴流 CO₂ 激光器庞大的循环风机, 同时保持大的激光输出功率, 激光器气体介质的冷却方式又由气体的对流冷却演化到热传导冷却。在板条激光器

中, 承载激光等离子体的空间是由两块平行安置的平面金属电极构成, 电极之内通水冷却。为了缩短气体介质热传导的路径, 两个金属电极之间的距离为 1~3 mm。而其宽度方向可达 50~100 mm。射频电源接到一个放电电极上, 另一个电极接地。电极之间充填一定工作气压的激光混合气体, 射频激励气体辉光放电, 从而形成激光等离子体。放电产生的废热传导到电极, 由冷却水带走。电极表面经光学加工, 使激光交替反射向前传输。它的光学谐振腔是由两只圆柱面镜构成的半虚共焦混合谐振腔, 其特征是沿电极平面方向为非稳腔, 而与之正交的方向为波导稳定腔, 产生的激光束经过激光器上的全透平面镜输出。

由于以上的结构, 激光器的散热效率大大提高, 而单位体积激光介质所能支取的激光功率也大大增

加,从而可以在工业加工中与传统的快轴流激光器匹敌。也正是由于这些结构特点,激光器近场输出光斑在平行于电极平面的方向近似为粗细不均的直线。而在远场,由波导光学,光束在垂直于电极平面的方向将发散很大,远场光斑成 O 形状。众所周知,这样的光束聚焦成极细的光点用来激光切割材料是不可能的,因而就产生了将其变换成圆形光束的问题。以下将分别介绍研制的 200 W 级及 500 W 级两种激光器输出光束的变换结果。

2 200 W 射频板条激光器的光学变换

研制的输出平均激光功率为 200 W 的射频板条 CO₂ 激光器光学结构示意图如图 1 所示。图中凹圆柱面全反镜 1 和凸圆柱面全反镜 2 构成了一个半虚共焦混合谐振腔, $R_1 = 4434 \text{ mm}$, $R_2 = -3726 \text{ mm}$ 等效菲涅耳数取为 42.9,镜 3 为对 $10.6 \mu\text{m}$ 激光全透平面镜,镜 4 为全反平面镜,镜 5 为全反凹圆柱面全反镜, $R = 720 \text{ mm}$,6 为放电电极,7 为光阑。激光器输出的近场光束如图 2。图示照片为近场的激光束在有机玻璃上烧蚀出的光斑。由激光器输出的光束经与光束前进方向成 45° 角放置的平面全反镜反射到凹圆柱面镜 5,镜 5 与光束成 45° 角放置,柱面的母线平行于电极的平面。光束经过镜 5 在垂直于电极平面的方向上会聚后,经过 $\Phi 6$ 孔径的光阑射出,光阑滤去光束的旁瓣,获得了圆对称的中心能量密度非常高的远场光束,模式为近似的 TEM₀₀。无光阑时,光束经过镜 5 后,距激光器 1.5 米处烧蚀在有机玻璃上的光斑为图 3。安置光阑后,激光束穿过光阑在远离 1.5 m 的有机玻璃上烧蚀的光斑为图 4。比较图 4 与图 3 可见,安置光阑后,光束的形

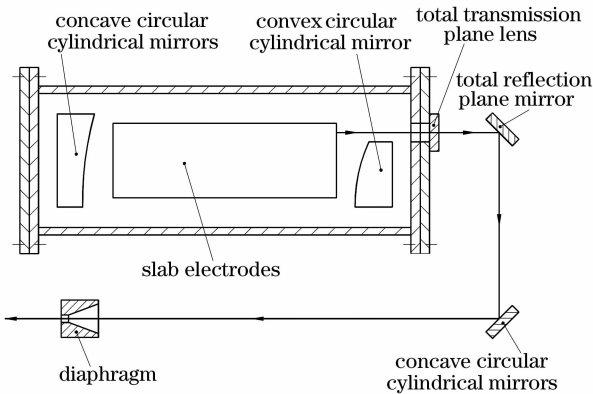


图 1 200 W 射频板条 CO₂ 激光器光学结构示意图

Fig. 1 Optic structure diagram of radio frequency excited slab CO₂ laser with 200 W output power

状更加完美。这个激光器的射频载波在 100 MHz,调制频率最高到 100 kHz。



图 2 200 W 激光器的激光束在输出窗 20 mm 处的有机玻璃上烧蚀的图样

Fig. 2 Laser profile burned on an acrylic glass located 20 mm away from the 200 W laser

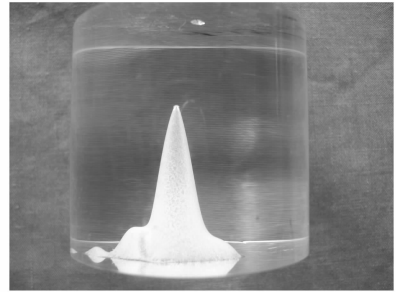


图 3 经过凹圆柱面镜反射后激光束在距激光器 1500 mm 处有机玻璃上烧蚀的图样

Fig. 3 Laser profile burned on an acrylic glass located 1500 mm away from the 200 W laser after being reflected by a concave circular cylindrical mirror

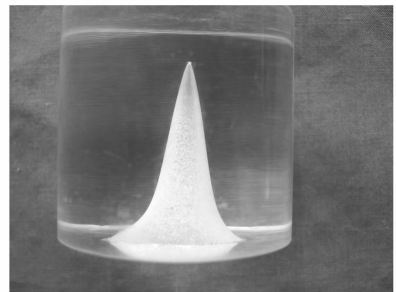


图 4 激光束穿过光阑后在远离 200 W 激光器 1.5 m 处有机玻璃上烧蚀的图样

Fig. 4 Laser profile burned on an acrylic glass located 1.5 m away from the 200 W laser after passing the diaphragm

3 500 W 射频板条激光器输出光束的光学变换

平均激光功率 500 W 射频板条激光器光学结构示意图如图 5,它的近场输出光束在有机玻璃上

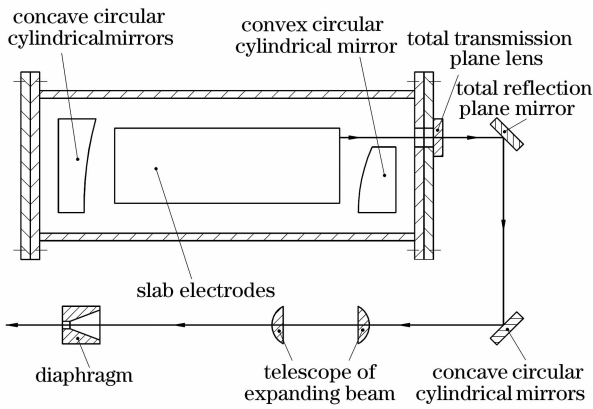


图 5 500 W 射频板条 CO₂ 激光器光学结构示意图
 Fig. 5 Optic structure diagram of RF excited slab CO₂ laser with 500 W laser output power

烧蚀的图形如图 6 所示,是一个高 1.2×13.2 矩形光束。图 2 中 200 W 激光器近场输出光束的图形是 4.5×7.6 的矩形。比较这两个近场输出的横向尺寸,500 W 的激光束近场横向尺寸几乎是 200 W 光束横向尺寸的一倍,纵向尺寸仅是 200 W 的 27%,因而这给矩形光束变换成圆形光束的处理带来了难度,也就是说仍然简单重复 200 W 的变换方



图 6 激光束在距 500 W 激光器输出窗 20 mm 处
 在有机玻璃上烧蚀的图样
 Fig. 6 Laser profile burned on an acrylic glass located 20 mm away from the 500 W laser

式 500 W 激光器将不会获得圆形光束的输出。为此,在图 5 中圆柱面镜 5 之后,增加一组共焦的扩束望远镜,使用两个平凸圆柱面的全透镜,其半径比为 2:1,其柱面的母线垂直于电极平面,从而使由镜 5 出射的光束在平行电极平面的方向上扩束,光束发散减小,而与之垂直的方向上光束发散度不变,由扩束望远镜出射的光束再经孔径为 $\phi 10$ 的光阑滤去旁瓣,获得外径为 $\phi 10$ 、低阶模的圆形光束。它在远离激光器 1.5 m 处,在有机玻璃上烧蚀的光斑示于图 7。

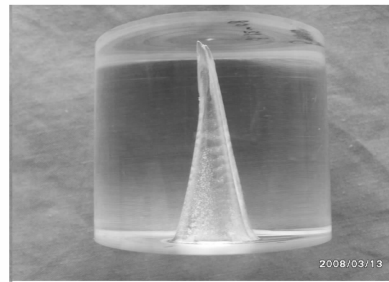
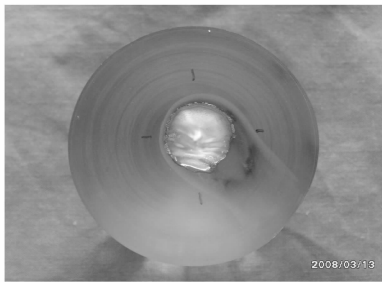


图 7 激光束穿过光阑在远离 500 W 激光器 1.5 m 处在有机玻璃上烧蚀图样

Fig. 7 Laser profile burned on an acrylic glass located 1.5 m away from the 500 W laser after passing the diaphragm

为便于比较,将光束在未安装扩束望远镜和光阑时在远离激光器 1.5 m 处的有机玻璃上烧蚀的

光斑如图 8,而将光束在安置了扩束望远镜而未安置光阑在远离激光器 1.5 m 的有机玻璃上烧蚀的

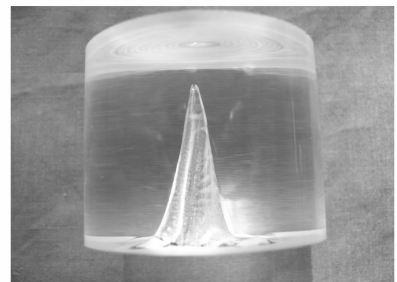
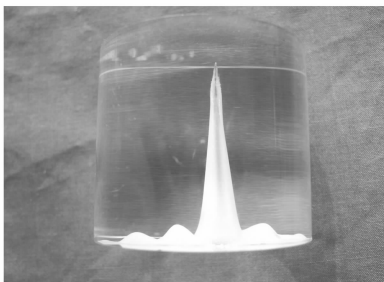


图 8 500 W 激光器的激光束经圆柱面镜反射后在远离器件 1.5 m 处的有机玻璃上烧蚀的图样

图 9 500 W 激光器的激光束在经过扩束望远镜后在远离激光器 1.5 m 处烧蚀的图样

Fig. 8 Laser profile burned on an acrylic glass located 1.5 m away from the 500 W laser after being reflected by a concave circular cylindrical mirror

Fig. 9 Laser profile burned on an acrylic glass located 1.5 m away from the 500 W laser after passing a beam-expanding telescope

光斑如图 9, 比较图 9、图 8、图 7, 可见, 该光束变换结构的设计是合理的。

500 W 板条激光器光学谐振腔的等效菲涅尔数为 70, 凹圆柱面镜 5 的半径为 800, 激光器的射频载波及调制频率均与 200 W 相同。

4 结 论

采用圆柱面镜, 滤波光阑及凸圆柱面透镜的扩束望远镜分别对平均激光功率为 200 W 及 500 W 两种射频激励板条 CO₂ 激光器的输出光束进行了光学变换, 在远离激光器 1.5 m 处, 分别获得了 $\Phi 6$ 和 $\Phi 10$ 的圆形对称光斑。将脉冲 200 W 激光器与数控机床相连, 切割 18 mm 厚的木模板, 缝宽为 0.7 mm 时, 其速度达到了 350 mm/min, 已达到并超过国外同类激光器的加工速度。

参 考 文 献

- 1 R. Nowack, H. Opower, U. Schaefer *et al.*. High power CO₂ waveguide laser of 1 kW category[C]. *Proc. SPIE*, 1990, **1276**: 18~28
- 2 C. Lücking, K. Fakler, U. Berkermann *et al.*. Measurement of the impedance of RF excited CO₂ slab lasers and discharge chambers[C]. *Proc. SPIE*, 1997, **3092**: 247~249
- 3 U. Berkermann, A. Liffers, R. Hannemann *et al.*. Investigation of RF excited CO₂ slab laser dischargers by measuring N₂ emission bands with high spatial resolution[C]. *Proc. SPIE*, 1997, **3092**: 243~246
- 4 A. D. Colley, H. J. Baker, D. R. Hall. Planar waveguide, 1 kW CW, carbon dioxide laser excited by a single transverse RF discharge[J]. *Appl. Phys. Lett.*, 1992, **61**(2): 136~138
- 5 A. I. Dutov, A. A. Kuleshov, N. A. Novoselov *et al.*. Pulsed-repetitively slab waveguide RF-excited CO₂ laser [C]. *Proc. SPIE*, 1997, **3092**: 260~264
- 6 A. I. Dutov, V. N. Ivanova, V. E. Semenov *et al.*. Computer simulation of RF-excited diffusion cooled slab CO₂ laser [C]. *Proc. SPIE*, 1996, **2713**: 59~66
- 7 Bartosz Wasilewski, Krzysztof M Abramski, Alan D. Colley *et al.*. Modelling of one-dimensional cavities for large-area gain media[C]. *Proc. SPIE*, 1997, **3092**: 325~328
- 8 Gao Yungui, Mu Wenzhi, Li Xiangyang *et al.*. Pulse operation investigation of a RF excited slab CO₂ laser[C]. *Chinese Optical Society 2006 Year*, 2006. 199
- 高允贵, 牟文智, 李向阳 等. 射频板条 CO₂ 激光器脉冲运用的研究[C]. 中国光学学会 2006 年学术大会论文摘要集, 2006. 199
- 9 Gao Yungui, Li Xiangyang, Qin Liyong *et al.*. Far filed symmetrical laser beam of RF excited slab CO₂ laser was got[J]. *Chin. J. Lasers*, 2002, **A29**(1): 95
- 高允贵, 李向阳, 秦立勇 等. 射频板条 CO₂ 激光器获得远场对称光束[J]. *中国激光*, 2002, **A29**(1): 95
- 10 Gao Yungui, Li Xiangyang, Zhu Yongxiang *et al.*. Energy distribution of far field laser beam for a hybrid stable-unstable waveguide resonant cavity[J]. *Laser Technology Application*, 2003, (9,10): 40~43
- 高允贵, 李向阳, 朱永祥 等. 混合波导非稳定腔远场光束的能量分布[J]. *激光产品世界*, 2003, (9,10): 40~43
- 11 Gao Yungui, Wu Chunlei, Jiang Yunyun *et al.*. Numerical studies of discharge characteristics of a RF excited slab CO₂ laser [J]. *Chin. J. Quant. Electron.*, 1999, **16**(4): 329~337
- 高允贵, 吴春雷, 姜云云 等. 射频板条 CO₂ 激光器放电特性的数值研究[J]. *量子电子学报*, 1999, **16**(4): 329~337
- 12 Su Hongxin, Gao Yungui. Theoretics study on the waveguide coupling-loss of RF-excited slab CO₂ lasers[J]. *Chin. J. Quant. Electron.*, 2000, **17**(3): 226~230
- 苏红新, 高允贵. 射频板条 CO₂ 激光器波导耦合损耗的理论研究[J]. *量子电子学报*, 2000, **17**(3): 226~230
- 13 Su Hongxin, Gao Yungui. Study of parallel connection resonant technique of RF excited slab CO₂ laser [J]. *Chin. J. Quant. Electron.*, 1998, **15**(5): 465~469
- 苏红新, 高允贵. 射频板条 CO₂ 激光器并联谐振技术的研究 [J]. *量子电子学报*, 1998, **15**(5): 465~469
- 14 Xin Jianguo, Fang Gaozhan, Peng Xueyun *et al.*. RF excited diffusively cooled packed slab waveguide kilowatt CO₂ laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, **16**(6): 877~880
- 辛建国, 方高瞻 彭雪云. 射频激励扩散型冷却层叠式板条波导千瓦 CO₂ 激光器 [J]. *光学学报*, 1996, **16**(6): 877~880
- 15 Zhou Shuangquan, Wang Zhiyong, Xin Jianguo. RF excited packed waveguide CO₂ laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 1996, **16**(2): 240~243
- 周双全, 王智勇 辛建国. 射频激励层叠式波导 CO₂ 激光器 [J]. *光学学报*, 1996, **16**(2): 240~243
- 16 Xin Jianguo, Zhang Wang, Jiang Wentao. RF excited diffusively cooled kilowatts carbon monoxide slab waveguide laser [J]. *Acta Optica Sinica*, 2000, **20**(15): 714~716
- 辛建国, 张 旺, 焦文涛. 射频激励扩散型冷却板条波导千瓦 CO 激光器 [J]. *光学学报*, 2000, **20**(15): 714~716