

文章编号 1004-924X(2006)05-0740-05

# 一种基于高斯光束的平凹激光腔对准方法

肖孟超<sup>1,2</sup>, 姜耀亮<sup>1</sup>, 檀慧明<sup>1</sup>, 钱龙生<sup>1</sup>

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022;  
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049)

**摘要:**给出了一种基于高斯光束的平凹激光腔对准方法。在高斯准直光束后加一透镜系统,恰当地调整准直高斯光束到某一种汇聚发散的状态。在这种状态下,可使由平凹腔凹面镜和平面镜反射回来的光斑直径大小相仿,解决了不加透镜系统时,两反射回来光斑直径相差很大,难于对准的问题,提高两光斑的对准精度。实验使用束腰为 0.6 mm 的氦氖光,其后加一优化好的透镜系统,在 889 mm 的距离下,对凹面镜曲率半径为 50 mm 的平凹腔进行对准。得到由凹面镜和平面镜反射回来的光斑直径分别为 4.8 mm 和 5.1 mm,平凹腔的角度对准精度达到了  $3.18'$ 。对准好的腔体在点亮 LD 后,均能出基模光斑。实验结果与理论分析相符,证明了该对准方法结构简单,执行方便。

**关键词:**高斯光束;光学对准;平凹腔

**中图分类号:**TH243 **文献标识码:**A

## An adjusting method of plane-concave laser resonator based on Gaussian beam

XIAO Meng-chao<sup>1,2</sup>, JIANG Yao-liang<sup>1</sup>, TAN Hui-ming<sup>1</sup>, QIAN Long-sheng<sup>1</sup>

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China*; 2. *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

**Abstract:** A adjusting method of optically plane-concave laser resonator based on Gaussian beam is presented when the pump source is absent. A parallel incidence Gaussian beam through a lens system is used to hit on the concave mirror and the plane mirror of the plane-concave resonator. The importing of the lens system is to improve the adjusting precision of the beams reflected from the concave and the plane mirror by causing one beam size similar to another, because it can not get similar beam size reflected when a parallel incidence Gaussian beam is directly hit on the concave and the plane mirrors of the resonator. In the experiment, a He-Ne laser with waist of 0.6 mm is utilized to adjusting a plane-concave resonator with a concave mirror in a radius of 50 mm at measuring distance of 889 mm. The beam sizes reflected from the concave mirror and the plane mirror are 48 mm and 5.1 mm, respectively. The angle adjusting precision of the plane-concave resonator is  $3.18'$ . TEM<sub>00</sub> mode can be obtained by pumping the resonator module that has been adjusted with a LD. The results show that the adjusting method is simple and flexible, and can be used to separate the laser resonator and the

pump source module.

**Key words:** Gauss beam; optical adjusting; plane-concave laser resonator

## 1 引言

与其它类型激光器相比,LD(激光二极管)泵浦的固体激光器因具有效率高、热效应小、器件结构紧凑、能获得高功率和高光束质量输出等优点<sup>[1]</sup>,其市场占有率逐年上升<sup>[2]</sup>,其应用涉及科学研究、工业、军事、医学及日常生活等多个领域<sup>[1-3]</sup>,成为国际激光技术发展的重要方向之一。固体激光技术在我国发展极为迅速,尤其在中小功率固体激光技术上,产业化道路已很成熟。

有关激光腔的对准,杨鸿鸣<sup>[4]</sup>提到的基于氦氖光的对准方法只适合平平腔。冯功和<sup>[5]</sup>提到的单片机控制自动调整系统虽适用于所有的直腔,但由于太过复杂,不适于推广。军用大功率防震激光器常用的定向棱镜法<sup>[6-8]</sup>只适用于横向泵浦系统。对于平凹腔的对准,虽然自准直望远镜,自准直显微镜能分别单独对准平—平镜、相同方向弯曲的凹—凹镜,但却不能对准平凹镜。不排除此两器件的组合能实现平凹腔的对准,但势必结构复杂,步骤繁多。此外,因为一般激光腔的平面镜和凹面镜口径小,只能接收并反射小部分对准光至自准直器件的视场中,不足以成清晰像。

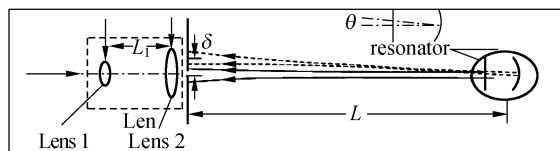
本文阐述了一种基于激光高斯光束的平凹激光腔对准方法。由于激光亮度高,不存在反射的对准光很弱的问题。通过在高斯准直光束后加一透镜系统来使从远处的平凹腔凹面镜反射回来的高斯光斑直径变小,达到与平凹腔平面镜反射回的高斯光斑相同的大小,提高了两光斑的对准精度。该方法结构简单,精度高,执行方便。通过该方法可在不点亮 LD 的情况下对准平凹激光腔,实现腔体模块与泵浦源模块分离。

## 2 对准原理

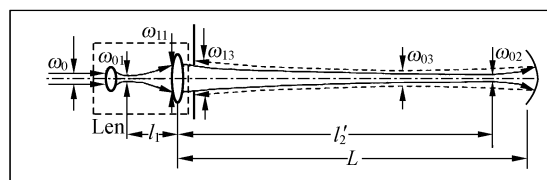
对准系统如图 1(a)所示,当分别被凹面镜和平面镜反射回来的高斯光斑中心重合时,平凹腔就对准了。设两光斑中心重合的最大目测误差为  $\delta$ ,那么平凹腔角度对准精度  $\theta$  为(设腔长相对于  $L$  可忽略):

$$\theta = \arctan \frac{\delta}{L}, \quad (1)$$

$L$  为接收屏到平凹腔的距离。由上式知:减小  $\delta$  和增大  $L$  都能提高角度对准精度。



(a)



(b)

图 1 对准装置

Fig. 1 Adjusting structure

## 3 理论分析

下面的分析以对准凹面镜曲率半径为 50 mm 的平凹腔为例,入射光束为准直后的激光高斯光束,波长为氦氖光的 632.8 nm。

当不加透镜系统时,高斯准直光束直接入射到凹面镜上,并在其焦点上汇聚。在保证  $L$  足够大的条件下,由凹面镜反射回来的接收屏上的高斯光斑将发散得很大,造成亮度低。而高斯准直光束经平面镜反射回的光斑不会发散,仍然为入射高斯准直光束直径大小。这样的一亮一暗、一小一大两个光斑对准时的目测误差  $\delta$  很大。

加透镜系统的作用在于,恰当地调整准直高斯光束到某一种汇聚发散的状态。在这种状态下,虽然由平面镜反射回来的光斑会稍微发散变大,但由凹面镜反射回来的光斑却能大幅减小变小。在一种较优的透镜系统选择下,调整两光斑到大小相仿,就能提高两光斑的目测对准精度  $\delta$ 。

减小凹面镜反射回来的光斑的直径将导致由平面镜反射回来的光斑直径变大,因此此问题必

须兼顾两头折中给出定论。下面仅以减小凹面镜反射回来的光斑直径的透镜系统设计为例,来给出透镜系统各参数应满足的某些条件。这些条件所反映的应是各参数变化的某种趋势。这些趋势的反方向就是使平面镜反射回来的光斑不至于很大的方向。

如图 1(b),当凹面镜反射后的束腰  $\omega_{03}$  比较大时,接收屏上由凹面镜反射回来的斑  $\omega_{13}$  才不会发散得很大。欲使  $\omega_{03}$  比较大,透镜 2 后的束腰  $\omega_{02}$  须在凹面镜焦点上。此时  $\omega_{03}$  与  $\omega_{02}$  的关系<sup>[9]</sup>为:

$$\omega_{03} = \frac{\lambda}{\pi\omega_{02}} f, \quad (2)$$

$f$  为凹面镜焦距 25 mm。 $\omega_{03}$  与  $\omega_{02}$  成反比趋势, $\omega_{02}$  越小时, $\omega_{03}$  才能越大。

$\omega_{02}$  与  $f_2$  (透镜 2 的焦距), $\omega_F$  (透镜 2 前焦面上入射光束的光斑半径)的关系式<sup>[10]</sup>为:

$$\omega_{02} = \frac{\lambda f_2}{\pi\omega_F}, \quad (3)$$

可知:增大  $\omega_F$ ,减小  $f_2$  有助于减小  $\omega_{02}$ 。

$l_2'$  与  $\omega_{01}$ ,  $l_2$ ,  $f_2$  的关系式<sup>[9]</sup>为:

$$l_2' = f_2 + \frac{(l_2 - f_2)f_2^2}{(l_2 - f_2)^2 + \left(\frac{\pi\omega_{01}^2}{\lambda}\right)^2}, \quad (4)$$

由以上两关系式作图 2 (设  $f_2$  为 300 mm),图 3 (设  $\omega_{01}$  为 0.01 mm)。由图 2 可看出,当  $l_2$  大于  $f_2$  乃至到一段范围内, $l_2'$  都能满足  $L$  比较大的要求。由于前面的分析要求  $\omega_F$  越大越好,所以  $l_2$  应取这段范围内较大的值,这样才能保证有足够的距离使光束半径从束腰  $l_2$  处到透镜 2 前焦面处发散到足够大。当然, $\omega_{01}$  越小越有助于这种发散,所以透镜 1 应是一短焦透镜。

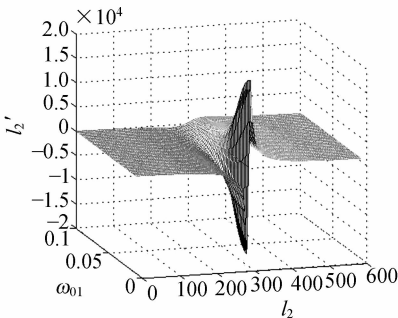


图 2  $l_2'$  与  $l_2$ ,  $\omega_{01}$  的关系图 (长度单位为 mm)

Fig. 2 Relation between  $l_2'$  and  $l_2$ ,  $\omega_{01}$  (unit: mm)

准直后的高斯光束经过短焦的透镜 1 后,才能聚成比较小的  $\omega_{01}$ 。由图 3 可看出, $f_2$  不应过小,否则  $l_2'$  不能满足比较大的要求。

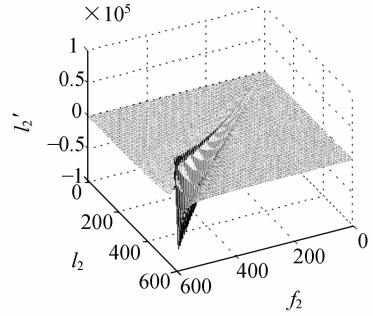


图 3  $l_2'$  与  $l_2$ ,  $f_2$  的关系图 (长度单位为 mm)

Fig. 3 Relation between  $l_2'$  and  $l_2$ ,  $f_2$  (unit: mm)

综合分析,使接收屏上由凹面镜反射回来的斑  $\omega_{13}$  减小的透镜系统各参数趋势为:透镜 1 为短焦透镜,透镜 2 焦距不应过短和过长,  $l_2$  应大于  $f_2$ ,但不能过大。 $\omega_{02}$  应在凹面镜的焦点上。

如果上面参数的执行能使  $\omega_{11}$  与  $\omega_{13}$  大小相仿,就能使由平面镜、凹面镜反射回来的高斯光斑相仿。因为平面镜的位置靠近透镜 2 后的束腰  $\omega_{02}$ ,致使由平面镜反射回来的光斑与  $\omega_{11}$  相当大小。

## 4 实验结果

在限定对准系统不致太长的情况下,根据已有器件条件,选取了一组实验用透镜系统参数。该组参数兼顾了由平面镜和凹面镜反射回的光斑大小,使它们大小相当。参数为:对准光为波长为 632.8 nm 的氦氖光,其束腰  $\omega_0 = 0.6$  mm。凹面镜曲率半径焦距为 25 mm,  $f_1 = 65.3$  mm,  $f_2 = 194.3$  mm,  $L_1 = 315$  mm,  $L = 889$  mm。所得由凹面镜反射回来的光斑直径为 4.8 mm,由平面镜反射回来的光斑直径为 5.1 mm。设两光斑对准的目测误差  $\delta$  为 0.8 mm,则由关系式(1)得平凹腔角度对准精度  $\theta = 3.18'$ 。为使读者对上面针对凹面镜的分析有数量上的认识,下面给出由光学软件计算得到的一些光束参数: $\omega_{01} = 0.022$  mm,  $\omega_{11} = 4.6$  mm,  $l_2 = 250.7$  mm,  $\omega_{02} = 0.075$  mm,  $l_2' = 864$  mm,  $\omega_{03} = 0.067$  mm。

平凹腔角度对准的偏差将导致腔模轴线的平移<sup>[11]</sup>。如图 4 所示, $R$  为凹面的圆心,当凹面镜

主轴偏离平面镜主轴  $3.18'$  即平凹腔的角度对准精度时,相当于腔内模轴线平行偏离了对准时模轴线  $0.02\text{ mm}$ 。这种程度的偏离对横模损耗的影响是微不足道的,完全可以通过使 LD 发光点偏离同样的距离来补偿。

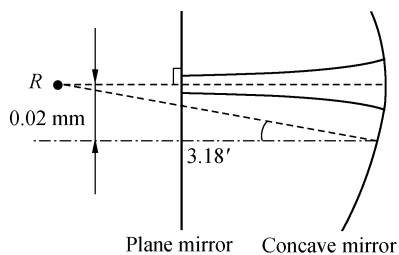


图4 凹面镜角度失调导致的腔模平移

Fig. 4 Movement of intercavity mode axis caused by tilting concave mirror

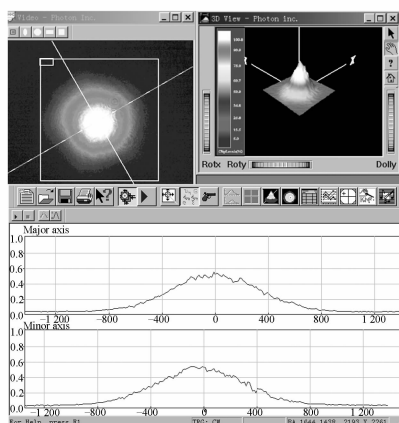


图5 光束轮廓仪记录的基模光斑图

Fig. 5 Picture of Gauss  $TEM_{00}$  mode read by beam profile instrument

实验用激光腔各元件参数为:  $2\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 0.7\text{ mm}$  规格、一面为腔镜、Nd 离子掺杂浓度为 2% 的 Nd:YVO<sub>4</sub>,  $2\text{ mm} \times 2\text{ mm} \times 5\text{ mm}$  规格的 KTP,  $R=50\text{ mm}$  的 532 nm 平凹输出镜。在前后 20 次对准的情况下,所得腔体模块均能在点亮 500 mW, 808 nm LD 后出基模光斑,成功率达到 100%。当经泵浦系统后的输入光功率为 420 mW 时,能出 74 mW 的 532 nm 绿光,光光转换效率为 17.6%。图 5 为用光束轮廓仪记录的基模光斑图、三维能量分布图和能量— $x, y$  轴图,光斑椭圆度为 1。

## 5 结 论

为实现激光器腔体模块与泵浦源模块的分离,在无泵浦源的情况下对准好平凹腔。本文给出了一种基于高斯光束的平凹激光腔对准方法。在高斯准直光束后加一透镜系统,使由平凹腔凹面镜和平面镜反射回来的光斑直径大小相仿,解决了不加透镜系统时,两反射回来光斑直径相差很大,难于对准的问题,提高了两光斑的对准精度。实验使用束腰为  $0.6\text{ mm}$  的氩氖光,其后加一优化好的透镜系统,在 889 mm 的距离下,对凹面镜曲率半径为 50 mm 的平凹腔进行对准,得到由凹面镜和平面镜反射回来的光斑直径分别为 4.8 mm 和 5.1 mm。平凹腔的角度对准精度达到了  $3.18'$ 。对准好的腔体在点亮 LD 后,均能出现基模光斑,实验结果与理论分析相符。实践证明该方法结构简单,执行方便。

## 参考文献:

- [1] 郑权,赵岭,钱龙生. 大功率二极管泵浦固体激光器的应用和发展[J]. 光学精密工程, 2004, 9(1): 6-9. ZHENG Q, ZHAO L, QIAN L SH. Application and development of high power diode-pumped solid-state laser[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2004, 9(1): 6-9. (in Chinese).
- [2] 施亚玲,严淑敏,杨光中,等. 二极管泵浦固体激光器的应用和发展[J]. 激光集锦, 1999, 9(3): 17-20. SHI Y L, YAN SH M, YANG G ZH, et al. Application and development of diode-pumped solid-state laser[J]. *Laser Focus World*, 1999, 9(3): 17-20. (in Chinese).
- [3] 竺子民,陈海清. LD 泵浦 Nd:YVO<sub>4</sub> 激光器的测距应用[J]. 仪器仪表学报, 1999, 20(4): 331-339. ZHU Z M, CHEN H Q. Distance measurement with laser of Nd:YVO<sub>4</sub> pumped by LD [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 1999, 20(4): 331-339. (in Chinese).
- [4] 杨鸿鸣,王荣. 怎样调节激光谐振腔[J]. 河南师范大学学报, 2001, 20(1): 66-67. YANG H M, WANG R. How to adjust laser resonator[J]. *Journal of Henan Normal University*, 2001, 20(1):

66-67. (in Chinese).

- [5] 冯功和,周茂华. 激光谐振腔的自动调整系统[J]. 电子技术应用,1997,2:32-34.  
FENG G H, ZHOU M H. Automatic adjusting system of laser resonator[J]. *Application of Electronic Technique*, 1997,2:32-34. (in Chinese)
- [6] 程勇,毛少卿,王志怀,等. 免调试固体激光器的研究[J]. 激光技术,1999,23(2):68-70.  
CHENG Y, MAO SH Q, WANG X B, *et al.* Avoidance adjust solid state laser[J]. *Laser Technology*, 1999,23(2):68-70. (in Chinese)
- [7] 卢常勇,王小兵,郭延龙,等. 基模运转的热稳定定向棱镜谐振腔设计[J]. 激光与红外,2005,35(4):237-240.  
LU C Y, WANG X B, GUO Y L, *et al.* Design of directional prism resonator operated in TEM<sub>00</sub> mode with thermal stability[J]. *Laser & Infrared*, 2005,35(4):237-240. (in Chinese)
- [8] 程勇,孙斌,王晓兵. 一种改善激光光束质量和稳定性的新途径[J]. 量子电子学报,1999,16(3):217-220.  
CHENG Y, SHUN B, WANG X B. Novel approach to improve laser beam quality and stability[J]. *Chinese Journal of Quantum Electronics*, 1999,16(3):217-220. (in Chinese)
- [9] 周炳琨,高以智. 激光原理(第4版)[M]. 北京:国防工业出版社,2000.  
ZHOU B K, GAO Y Z. *Laser elements(4<sup>th</sup> Edition)*[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2000. (in Chinese)
- [10] 陈钰清,王静环. 激光原理(第1版)[M]. 浙江:浙江大学出版社,2000.  
CHEN Y Q, WANG J H. *Laser elements(1<sup>st</sup> Edition)*[M]. Zhejiang: Zhejiang University Press, 2000. (in Chinese)
- [11] 克希耐尔. 固体激光工程(第5版)[M]. 北京:科学出版社,2002. 187.  
KOECHNER W. *Solid-state laser engineering(5<sup>th</sup> Edition)*[M]. Beijing: Science Press, 2002. 187. (in Chinese)

**作者简介:**肖孟超(1980—),男,江西人,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所在读博士研究生,研究方向为激光器的模块化及稳定性研究。E-mail:xiaomengchao@sohu.com