

# UR90 腔相干并束输出的实验研究<sup>\*</sup>

魏 青 吴铁强 魏在福 王润文

(中国科学院上海光机所 上海 201800)

**提要** 用多个 UR90 腔进行正向模耦合的方法来产生多束相干的激光,解决了反向模耦合中存在的失谐问题,可以大大提高系统的可靠性。并利用铜蒸气激光器实现了两台低放大倍率 ( $M = 1.21$ ) UR90 腔的相干并束输出,对输出光束的远场方向性进行了测量分析。结果表明,和以前单台 UR90 腔相比,此方法对 UR90 腔的模控能力和输出光束的光束质量并没有明显影响,是一种简单而有效的耦合方式。

**关键词** UR90 腔,耦合,相干并束

## 1 引 言

为了进一步提高高功率激光器输出功率,现在常用的办法是利用多台互相耦合的激光器来产生多束相干的输出激光,再通过一个公共发射望远镜使它们在远场相干叠加。理论上说, $N$  束相干的激光在远场相干叠加,其峰值强度则是单台激光器的  $N^2$  倍,而发散角仅是原来的  $1/N$ 。

$90^\circ$ 束转动环形非稳腔<sup>[1]</sup> (UR90 腔)是 80 年代提出的新型谐振腔,这种腔型具有许多优点:(1) 不同于传统非稳腔输出的环形光斑,UR90 腔的输出光束为矩形,因此不需要相位望远镜,很容易实现多台激光器的并束发射;(2) 在低放大倍率情况下仍具有很强的模控本领,容易保证激光器的单横模运转,并且最低阶模均匀的相位分布,可以获得近衍射极限光束质量的输出;(3) UR90 腔具有自平均动力学过程的能力<sup>[2]</sup>,使不均匀的激光增益分布得到很大改善,并且减小了因折射率变化引起的畸变,从而减小了对模场的扰动,此特性对高功率横流氧碘化学激光器和  $\text{CO}_2$  激光器特别有利。

从环形腔的耦合连接方式上分,激光器相互耦合的方法主要包括前向模耦合和反向模耦合两种,J. A. Benda 等<sup>[3]</sup>利用将反向模耦合到正向模的方法对 UR90 腔的耦合方式系统地进行了理论和实验研究。得到的结果表明,这一类型的耦合方式优点在于:即使一台或几台激光器无法正常工作,对其余的单元并无影响,系统还能继续工作,但是,它的致命缺陷在于输出激光的相干性严格受“锁定长度”的限制,而锁定长度一般仅有  $1/6$  或  $1/10$  波长,一旦两激光器的腔长之差超出了“锁定长度”,则被称为“失谐”,它们的输出光束将不再具有相干性,这一缺陷使得 UR90 腔的反向模耦合几乎无法应用于大功率激光器中。

<sup>\*</sup>本工作由国家 863-410-4 高技术项目支持完成。

本文提出将多个 UR90 腔进行正向模耦合的方法来产生多束相干的激光。从本质上说,多个激光单元的正向模耦合相当于将每一单台激光器的模场耦合锁定其他的激光单元,因此,这些输出光束必然相干,同时也达到了减小谐振腔光学元件的尺寸和单位面积所承受功率的目的。当然,这种耦合方式不存在“失谐”问题,各单元腔长的微小变化对相干性并不产生影响,这一特点大大提高了系统的可靠性。本文就两台正向模耦合的 UR90 腔的模控能力和输出光束的质量进行实验研究。

## 2 实验装置和结果

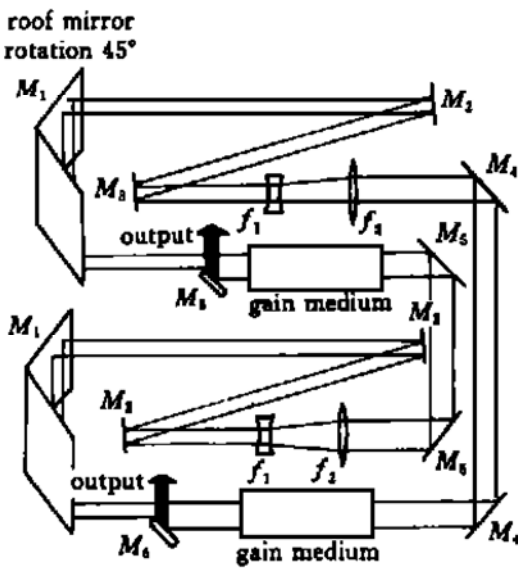


图 1 两 UR90 腔的正向模耦合实验装置的光路图

Fig. 1 Layout of two UR90 resonators coupled by forward-mode

图 1 是两 UR90 腔的正向模耦合实验装置的光路图,从图中可以看出,沿顺时针方向环行的正向模经屋脊镜  $M_1$  后将旋转  $90^\circ$  并向上平移,再由反射镜  $M_2, M_3$  使光束回到原平面,经过由  $f_1, f_2$  组成的扩束系统扩束后,利用反射镜  $M_4, M_4'$  将两 UR90 腔互相耦合起来,经过下面的增益介质放大后其中一部分被耦合镜  $M_6'$  输出,剩余部分再经过屋脊镜  $M_1'$  和平移系统  $M_2', M_3'$  以及  $f_1', f_2'$  组成的扩束系统再次旋转、平移和扩束后,由反射镜  $M_5, M_5'$  耦合至上面的增益介质放大,一部分被耦合镜  $M_6$  输出,其余部分被反馈回腔内。以上过程也可以看作是将整个系统相互锁定耦合同步振荡输出,所以,两束输出的激光一定是相干的。

分别取耦合镜  $M_6$  和  $M_6'$  所在位置为参考平面,假设上下两 UR90 腔的放大倍率为  $M$ ,耦合镜与光轴的距离为  $a$ ,根据 UR90 腔的基本特性可知,在两个参考平面正向模光斑尺寸表示式如图 2 (a) 所示。

实验采用铜蒸气作为激活介质,工作波长为 510.6 nm 和 578.2 nm,两套铜蒸气激光器的有效放电口径为 26 mm,激光器以准连续方式工作,脉冲重复频率为 7 kHz。为了保证两套铜

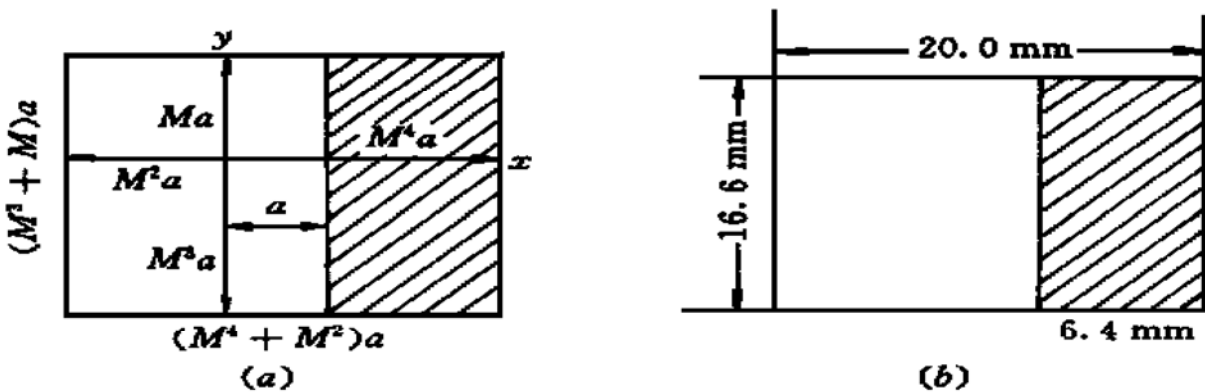


图 2 当  $M = 1.21, a = 5.56 \text{ mm}$  时位于耦合器处的正向模光斑尺寸,阴影部分代表输出光斑大小

Fig. 2 Cross section of beam at the scraper plane in the case  $M = 1.21$  and  $a = 5.56 \text{ mm}$ , the shadow area is output beam

蒸气激光器之间的有效耦合, 必须采用同步装置使得两放电脉冲同步并有一定的延时。实际选取参数  $M = 1.21$ ,  $a = 5.56 \text{ mm}$ , 即可计算出耦合镜外的正向模光斑尺寸如图 2 (b)。

首先仔细调整光路以保证系统的同轴性并保证输出耦合镜  $M_6$  和  $M_6'$  与光轴之间的距离为  $5.56 \text{ mm}$ , 然后打开铜蒸气激光器电源, 逐步提高放电电压直到激光器得到稳定的绿光输出, 调整同步装置以改变两放电管放电脉冲之间的延时, 能观察到两输出光斑有明显的强弱变化, 直到两输出光斑均达到最高强度时, 说明系统处于最佳耦合状态, 可以对其输出特性进行实际的测量分析, 进一步了解串接耦合 UR90 腔的模控能力和输出光束的质量。

图 1 中箭头所指方向距离输出耦合镜  $M_6$  和  $M_6'$  分别为  $0.5 \text{ m}$  和  $1.5 \text{ m}$  左右的位置, 拍摄到的正向模耦合 UR90 腔两正向模近场光斑如图 3 所示, 二者均为分布均匀的长方形实心光斑, 它们的实际尺寸与图 2 (b) 的阴影部分相同, 为方便观察起见, 两光斑之间留有一定的间隙, 而在实际应用时可以很容易地

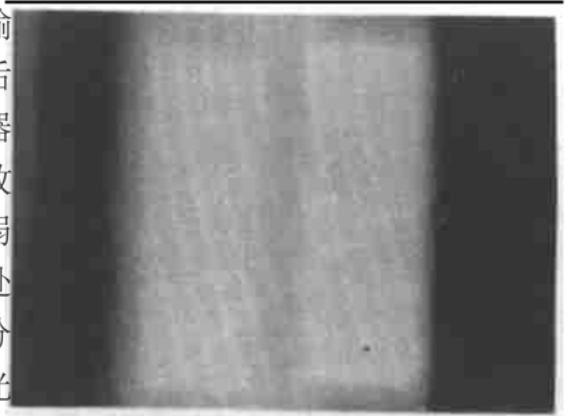


图 3 两正向模耦合 UR90 腔的正向模近场光斑图样

Fig.3 Near-field pattern of forward modes of two UR90 resonators coupled in series

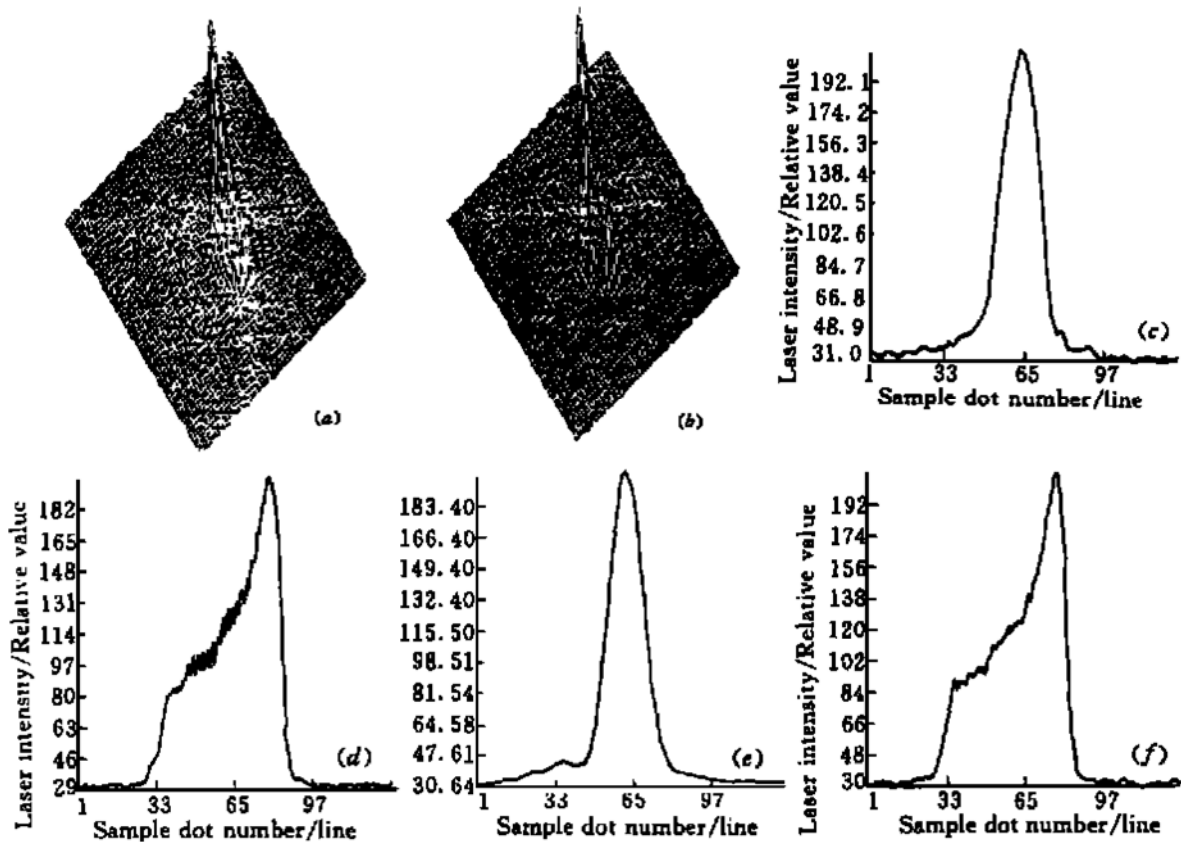


图 4 两正向模耦合 UR90 腔输出的远场强度分布

透镜焦距为  $330 \text{ mm}$ , 图中每格代表的实际距离为  $6.2 \mu\text{m}$ 。(a), (b) 分别为光斑 1, 2 的远场强度三维立体分布图; (c), (d) 分别为光斑 1 的远场强度  $x$  方向和  $y$  方向分布图; (e), (f) 分别为光斑 2 的远场强度  $x$  方向和  $y$  方向分布图

Fig.4 Far-field relative intensity distribution of forward modes of two UR90 resonators coupled in series

(a), (b) far-field 3D relation intensity distributions of output beam 1 and 2; (c), (d) far-field relative intensity distributions along the direction  $x$  and  $y$  of output beam 1; (e), (f) far-field relative intensity distributions along the direction  $x$  and  $y$  of output beam 2

将两长方形光斑并成一束,再用扩束望远镜发射出去。

用焦距为 330 mm 的透镜将输出光束聚焦,在焦点处用 CCD 探测并经过数据处理即可得到其远场的强度分布,结果见图 4 (a), (b)。

图 4 (c) ~ (f) 分别为两光斑在焦点处的  $x$  方向和  $y$  方向的强度分布,从图中可以看出,两光斑的强度分布极其相似,因此很容易将其并束和发射, $x$  方向的分布为规则的高斯分布,而在  $y$  方向则有较明显的衍射扩展,实际测得焦斑 1 的  $x$  方向和  $y$  方向的束宽分别为 0.134 mm 和 0.248 mm,对应的光束发散角是 0.433 mrad 和 0.751 mrad,相当于 2.79 和 10.01 倍的衍射极限,与以前的单台测量结果<sup>[4]</sup>基本吻合。这个结果说明两台 UR90 腔激光器的串接耦合对激光器的模控本领和光束质量并没有明显影响,是完全可行的。

### 3 结 论

本文提出的将多个 UR90 腔进行正向模耦合的方法,很容易地解决了反向模耦合中存在的“失谐”问题,大大提高了多个激光器互相耦合系统运行的可靠性。但是,由于各单元之间是直接耦合,任何一单元性能的降低将明显地影响其他所有单元,导致整个系统的性能下降,因此采用这种耦合方式时,对各耦合单元的稳定性要求较高,如果单台激光器功率能达到 10 千瓦,再利用两台激光器串接耦合并束,使其总输出功率接近或达到 20 千瓦,是较容易实现的。因此,将少量的激光器正向模耦合起来,以增加总输出功率,是一种简单而有效的方法。

### 参 考 文 献

- 1 A. H. Paxton, W. P. Latham, Jr. Unstable resonators with  $90^\circ$  beam rotation. *Appl. Opt.*, 1986, **25**:2939 ~ 2946
- 2 Wei Zaifu, Wang Runwen, Wang Zhijiang. Geometric property analysis of unstable ring resonators with  $90^\circ$  beam rotation. *Acta Optica Sinica* (光学学报), 1995, **15**(5):513 ~ 519 (in Chinese)
- 3 J. A. Benda, G. E. Palma, E. A. Sziklas *et al.*. Reverse-wave-coupled ring lasers. *IEEE J. Quantum Electron.*, 1994, **30**(9):2173 ~ 2184
- 4 Wei Zaifu, Wang Runwen, Tao Yongxiang *et al.*. Analysis of design and output properties of a unstable ring resonator with  $90^\circ$  beam rotation. *Chinese J. Lasers* (中国激光), 1997, **24**(1):1 ~ 8 (in Chinese)

## Experimental Research of UR90 Resonator with Combined Coherent Output

Wei Qing Wu Tieqiang Wei Zaifu Wang Runwen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

**Abstract** In this paper, a new method of obtaining multi-coherent-beams by UR90 resonators coupled with forward-mode was given, by which a problem was called “detune” existing in method of backward-mode was resolved, and the reliability of system was enhanced obviously. The far-field intensities and divergence angles of combined beam of two copper vapor lasers with UR90 resonators coupled at small magnification ( $M = 1.21$ ) were measured and analyzed experimentally. The results demonstrated that the mode-control ability and far-field intensity distributions of UR90 resonators coupled by forward-mode are still good.

**Key words**  $90^\circ$  beam rotation ring unstable (UR90) resonator, couple, coherent beam combine