

90°束转动环形非稳腔设计与输出特性分析*

魏在福 王润文 陶永祥 陈林 王桂英 王之江

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 讨论了UR90(Unstable ring resonator with 90° beam rotation)环形非稳腔参量设计方法,给出了腔的同轴调整的有效方法,当系统的放大率 M 为1.21与1.3时,在铜蒸气激光器上获得了良好的输出远场强度分布,通过一注入系统成功地抑制了UR90腔的反向模,并保持其偏振态不变。

关键词 UR90 环形非稳腔,铜蒸气激光器,远场分布,反向模抑制

1 引言

经理论分析证实UR90环形非稳腔具有实心光斑输出、良好的模控能力、对非均匀工作介质的空间平均效应以及小的失调灵敏度等特点^[1~3],它是一种新型的特殊行波腔,其输出光斑的大小和形状只决定于腔的放大率 M ,即使在放大率较小的情况下,UR90环形非稳腔也可以获得光束质量良好的实心光斑输出^[4],且同时具有很高的 Q 值,因此它是具有低增益、大体积激活介质的高功率激光器的理想腔型。

为了直观地考查UR90环形非稳腔的实际选模效果,本文报道采用大口径铜蒸气激光器实际研究分析了在小放大率情况下UR90环形非稳腔的输出特性,并根据不同的参数要求设计了两套UR90环形非稳腔系统来观察各参量之间的物理关系,测量分析其输出激光的场分布。由于UR90环形非稳腔正向模与反向模并存,因此,合理地抑制或有效地利用反向模将是成功应用此腔的关键,本实验成功地将反向模耦合到正向模中去,且不改变其偏振特性。此模拟实验结果将对以后UR90环形非稳腔更深入的相位锁定技术研究提供有力的数据保证。

2 UR90 环形非稳腔的参量设计

在实际激光器的腔系统设计过程中,应首先根据激光增益介质的形状与体积大小来确定腔参数值,使所设计出的腔系统不仅具有良好的选模效果,而且尽可能使腔内光束充满增益空间以提高激活介质利用率。

设UR90环形非稳腔扩束望远镜的放大率为 M ,光轴与耦合镜刀口的距离为 a ,则根据UR90环形非稳腔的几何特性^[5]可知,耦合镜处的光斑尺寸如图1所示,从图中可以看出,光束截面宽为 $(M^4 + M^2)a$,高为 $(M^3 + M)a$,输出部分的光束截面积为 $(M^4 - 1)(M^3 + M)a^2$,从而

* 国家高技术 863—410 基金资助项目。

收稿日期: 1996—01—15

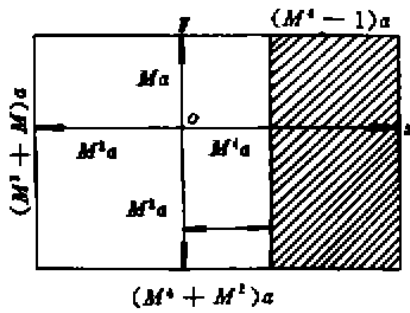


图1 耦合面处正向模光束的几何图形

Fig. 1 Forward mode beam geometry at the scraper plane

腔的输出耦合比为 $1 - 1/M^2$, 其值大小可直接反映出腔的有效几何损耗的高低, 腔的反馈比为 $1/M^2$, 由此可见, 随着放大率 M 的增大 UR90 环形非稳腔几何模损耗将增加, 这与由腔的衍射理论所得出的结论一致^[2], 因此, 选择适当的腔系统的放大率将非常重要。腔系统的放大率可根据实际激光器的增益系数的高低来确定, 对于具有高增益激活介质的激光器可选择大的腔放大倍率, 对于具有低增益激活介质的激光器可选取相对较小的腔放大倍率, 以保证腔系统有一个较合适的模损耗。根据这一原则一旦选定腔的放大率, 就可以由激光器增益介质体积的大小来确定光轴与耦合镜刀口的距离 a , 对圆形增益区由正向模光斑的几何关系可得

$$a \leq \frac{D}{(M^2 + M)\sqrt{M^2 + 1}} \quad (1)$$

其中, D 为激光增益介质的口径大小。当参量 M, a 的取值确立后, UR90 环形非稳腔的光斑大小和形状就被唯一地确定下来。

由腔的衍射理论知道, 因腔内光学元件边缘衍射效应的作用造成光束中心与边界处的相位差^[6], 所以用于表述平行光束衍射特性的菲涅耳数不再有效, 此时等价菲涅耳数 N_{eq} 将是表征非稳腔衍射特性和模控能力的重要参量之一, 原因由于非稳腔的横模结构及本征值是由腔的放大率和等价菲涅耳数两参量决定的。在 UR90 环形非稳腔中, 其最低阶模的本征值将随等价菲涅耳数 N_{eq} 作准周期性地变化, 且当等价菲涅耳数取值 $N_{eq} = n + 0.9$ (n 为整数) 时模损耗最大^[7,8], N_{eq} 的取值正处于模式交叉点, 此时最低阶模与其它模的损耗间隔最小, 从而腔的模式分辨能力最差, 因此, 在设计 UR90 环形非稳腔的过程中应尽量避免等价菲涅耳数在此取值, 使选择出的等价菲涅耳数位于半周期附近处为好, 即 $N_{eq} = n + 0.4$, 此时最低阶模的衍射损耗最小, 模间隔也最大, 因此, 所设计出的 UR90 腔有强的模式分辨能力。UR90 环形非稳腔的等价菲涅耳数为^[2]

$$N_{eq} = \frac{(M^2 - 1)a^2}{2\lambda(M^2 L_A + M L_B + L_C)} \quad (2)$$

其中, L_A 为耦合镜与凹透镜(或凸面反射镜)间的距离; L_B 为扩束望远镜系统的间距; L_C 为凸透镜(或凹面反射镜)与耦合镜间的距离; λ 为激光波长。通过前面的讨论知道, UR90 腔系统的放大率 M 及光轴与耦合镜刀口间的距离 a 已给出, 扩束望远镜间距 L_B 作为已知参量, 那么, 由(2)式可以看出, 只需改变参量 L_A, L_C 的大小就可以选择出设计 UR90 环形非稳腔所要求的最佳等价菲涅耳数 N_{eq} 。正向模光束在 UR90 腔内环行一周, 等价薄透镜序列传输距离为^[2]

$$L_{eq} = \frac{(M^2 + 1)(M^2 L_A + M L_B + L_C)}{M^2} \quad (3)$$

3 UR90 环形非稳腔实验装置及同轴调整

UR90 环形非稳腔的脊形镜与 U 形镜组成了腔的环状结构, 其中脊形镜相对水平放置的 U 形镜旋转了 45° , 当光束在腔内环行一周后使光场转动 90° , 所以腔内光束的传输旋转变换不是在一个平面上完成的, 因此, UR90 环形非稳腔一般采用离轴的凹凸球面反射镜组成的正

支虚共焦扩束望远镜系统^[9],这样就不可避免地产生系统的球面波像差、像散、及彗差,最终导致腔内光场发生畸变^[10]。为了减小系统波像差对输出光束的影响,对高功率激光器(如氧碘化学激光器、横流 CO₂ 激光器)的扩束系统可采用柱面反射镜替代球面反射镜来消除系统的像散与彗差^[11];对较低功率的激光器,可采用两平面镜组成的光束平移系统来实现光束在望远镜中同轴放大,从而达到减小系统像散与彗差的目的。

根据高功率低增益激光器的特点,所设计出的 UR90 环形非稳腔应采用较小放大率的扩束望远系统^[9];为了避免 UR90 腔直接在高功率激光器上应用考查所带来的额外开支,我们设计出了扩束系统的放大率分别为 $M = 1.21$ 与 1.3 的两套实验装置来模拟 UR90 环形非稳腔的实际选模效果,模拟实验采用铜蒸气激光器作为激活介质源,激光器放电管口径为 $\phi 35$, 激活介质长度为 40 cm, 输出激光波长为 $\lambda = 510.6 \text{ nm}$ 与 578.2 nm , 激光脉冲的重复频率为 7 kHz, 由于铜蒸气激光器的增益较高,将激光窗口镀增透膜且以 5° 倾斜角放置,用来防止激光器两窗口之间的寄生振荡。

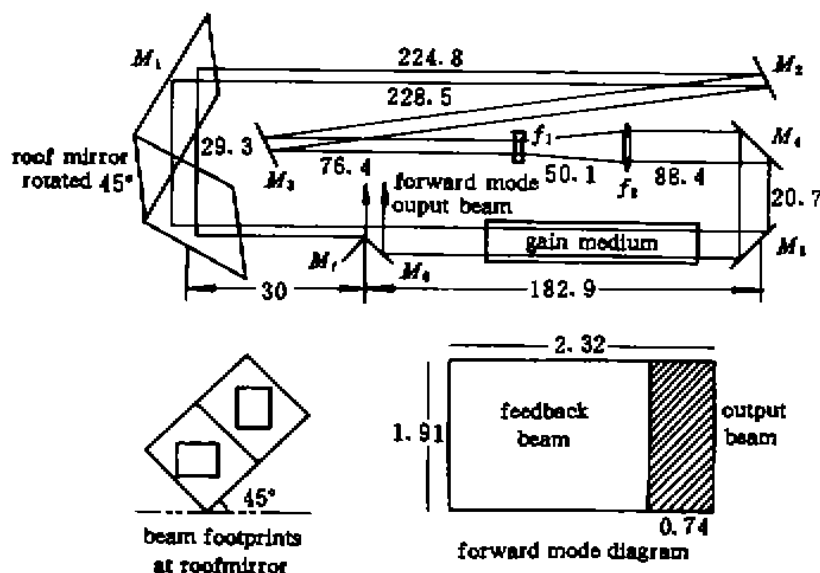


图 2 低放大率 $M = 1.21$ UR90 腔装置图,等价菲涅耳数 $N_{eq} = 1.48$,光轴与耦合镜边缘的距离 $a = 0.63$ cm(长度单位:cm)

Fig. 2 Layout of a UR90 resonator for the low-magnification case $M = 1.21$ with the equivalent Fresnel number $N_{eq} = 1.48$ and the distance from the optical axis to the edge of the scraper mirror is $a = 0.63$ (length in units of cm)

模拟实验装置及耦合面处正向模光斑尺寸如图 2 所示,其中脊形镜 M_1 相对水平放置由平面镜 M_4, M_5 组成的 U 形镜旋转 45° ,平面镜 M_2, M_3 构成光束的平移装置,凹透镜 f_1 与凸透镜 f_2 虚共焦组成同轴扩束望远镜, M_6 为正向模耦合镜, M_7 为反向模耦合镜。由此可见,沿顺时针方向环行的正向模光束经脊形镜 M_1 作用后将旋转 90° ,使光束离开平面 M_3, M_4, M_5, M_6 向上平移 20 cm,光束平行传输到 M_2 后,通过调整平面镜 M_2, M_3 使光束回到原平面并与扩束系统同轴,这样正向模光束经系统的旋转、平移、同轴扩束、介质放大后才能完成一周环行而到达耦合镜 M_6 ,其中一部分光束被耦合出腔外,剩余部分光束将被反馈到腔内。根据像差理论知道,理想同轴系统不存在像散与彗差,由于正、负透镜的球差符号相反,因此,通过设计可消除扩束系统的球差,腔内所用光学元件设计精度要求小于 $\lambda/10$ 。此 UR90 环形腔扩束望远系统两透镜的焦

距分别为 $f_1 = -2375.4 \text{ mm}$ 与 $f_2 = 2882.9 \text{ mm}$, 因而系统的放大率为 $M = f_1/f_2 = -1.21$, 光轴与耦合镜刀口的距离为 $a = 0.63 \text{ cm}$, 环形腔其它参量分别由图 2 算得 $L_A = 589 \text{ cm}$, $L_B = 50.1 \text{ cm}$, $L_C = 292.2 \text{ cm}$, 等价菲涅耳数为 $N_{eq} = 1.48$, 腔的输出耦合比为 31.7%。

为了定量观察比较 UR90 环形非稳腔各参量之间的物理关系, 采用相同的腔结构形式, 只改变其设计参数取值, 选取此扩束望远系统两透镜的焦距为 $f_1 = -2375.4 \text{ mm}$ 与 $f_2 = 3075.1 \text{ mm}$, 因而系统的放大率为 $M = f_1/f_2 = -1.3$, 光轴与耦合镜刀口的距离为 $a = 0.50 \text{ cm}$, 模拟实验装置及耦合面处正向模光斑尺寸如图 3 所示, 由图 3 可算得其它参量分别为 $L_A = 589 \text{ cm}$, $L_B = 69.3 \text{ cm}$, $L_C = 273 \text{ cm}$, 等价菲涅耳数为 $N_{eq} = 1.25$, 腔的输出耦合比为 40.8%。

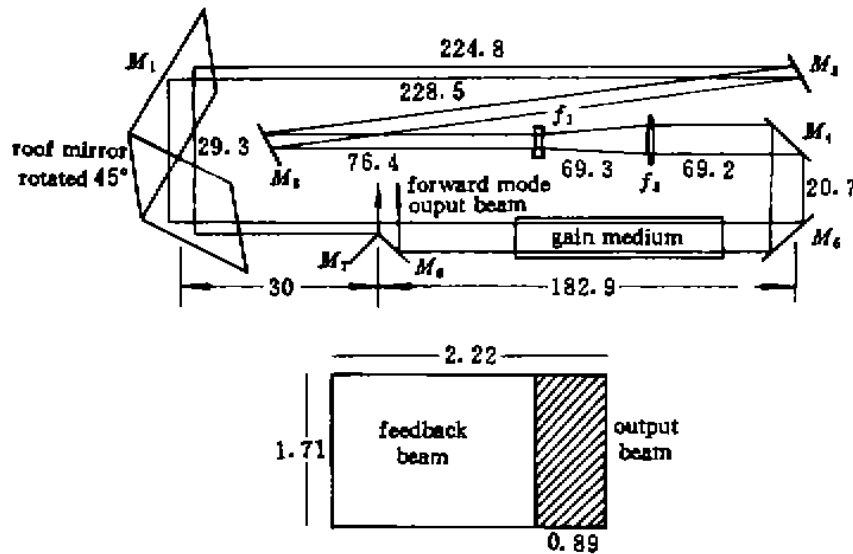


图 3 放大率 $M = 1.3$ UR90 腔装置图, 等价菲涅耳数 $N_{eq} = 1.25$, 光轴与耦合镜边缘的距离 $a = 0.50 \text{ cm}$
Fig. 3 Layout of the UR90 resonator for the magnification $M = 1.3$ with the equivalent Fresnel number $N_{eq} = 1.25$ and the distance from the optical axis to the edge of the scraper mirror is $a = 0.50$ (length units: cm)

由于 UR90 环形非稳腔具有非对称性结构特点, 加之系统对腔内光束的旋转、平移、扩束的作用, 这无疑将给 UR90 环形非稳腔的同轴调整造成诸多不便, 为此, 针对 UR90 腔我们设计出了一套行之有效的同轴调整方法。首先, 要根据激光介质的所在位置确定出光束的高度, 将一 He-Ne 激光束准直后使之与环形腔光轴方向保持垂直, 并根据迈克尔逊干涉仪原理在耦合镜 M_6 与增益介质之间加一分束装置, 根据图 1 正向模光斑的几何关系, 在准直的 He-Ne 激光束之后加一 $2.32 \times 1.91 \text{ cm}^2$ 的方形光阑, 当从光阑出射的方形光束通过分束系统后被分为相向传播的两束激光, 使其中一部分沿逆时针方向传播的方形光束无阻挡地穿过增益介质, 并同时增益介质的两端加上同样大小的光阑, 而另一部分沿顺时针方向传播的方形光束经耦合镜后落在脊形镜上, 由图 2 知, 光束截面被耦合输出的部分为 $1.91 \times 0.74 \text{ cm}^2$ 。其次, 在 He-Ne 激光的准直系统之后再加一挡光板, 且只在方形光斑的几何光轴位置打一 3 mm 的小孔, 这样由准直系统出射的细光束经分束系统耦合到腔内后将作为 UR90 环形非稳腔光轴的基准。第三步, 通过调整脊形镜 M_1 使沿顺时针方向传播的光轴细光束平行传输到 M_2 , 通过调整平面镜 M_4 与 M_6 可使沿逆时针方向传播的光轴细光束平行传输到 M_3 , 使光束在 U 形镜、平面镜 M_3 及增益介质上的落点构成一水平面, 再通过调整平移系统的 M_2, M_3 镜使以上两方向的细光束完全重合, 用 3 mm 的小孔检验系统的同轴性, 通过微调使细光束在腔内环行 2.5 周后

仍然与光轴重合,因此,UR90 环形非稳腔的光轴得以确定。第四步,在平面镜 M_3 与 M_4 之间合适位置插入扩束系统的两透镜 f_1, f_2 ,使光轴细光束垂直通过两透镜中心,并再用小孔检查腔系统的同轴性。最后,去掉准直系统后的挡光板,使方形光束沿正向模光束的传播方向环行,当经过两次的腔内环行后的方形光斑还完全重合且无阻挡地通过介质光阑时,表明 UR90 环形非稳腔处于较好的工作状态。采用以上同轴调整方法可使 UR90 环形非稳腔系统的波像差减小到最低程度,此项同轴调整技术的精度约为 0.13 mrad。

4 UR90 环形非稳腔输出特性

UR90 环形非稳腔的模拟实验装置的同轴调整完成后,就可以对其输出特性进行实际的测量分析;由于 UR90 环形非稳腔的耦合输出为实心方形光束,根据夫琅和费衍射理论,UR90 环形非稳腔输出光束的衍射极限为(全角)

$$\theta_r = \frac{2\lambda}{(M^2 - 1)a} \quad (4a)$$

$$\theta_l = \frac{2\lambda}{(M^2 + M)a} \quad (4b)$$

其中,波长 $\lambda = 510.6 \text{ nm}$ 。UR90 环形非稳腔输出正向模光束经过焦距为 f 的正透镜聚焦后,在其焦点位置用 CCD 数据采集处理系统得到腔的正向模输出光束的远场能量分布,在其分布相对强度的 80% 处确定出其束径大小 r ,从而算得输出光束的远场发散角 r/f 。

根据模拟实验装置图 2,UR90 环形非稳腔输出正向模与反向模的近场光斑图样如图 4 所示,由图中可看到反向模光斑为一细长条状,正向模近场为分布均匀的实心方形光斑,由于铜蒸气激光器所产生的超辐射在方形正向模光斑的周围出现了较强的背景光。用焦距为 $f = 3.28 \text{ m}$ 的透镜对正向模光束聚焦,其远场图样及经数据处理后所得模场相对强度分布结果如图 5 所示,从图中可以看出,实验所得正向模输出光束的远场为规则的高斯形分布,从其对应的等值线可清楚地看出呈“卵形”分布,这与理论模拟所得结果一致^[10],这说明腔系统设计参

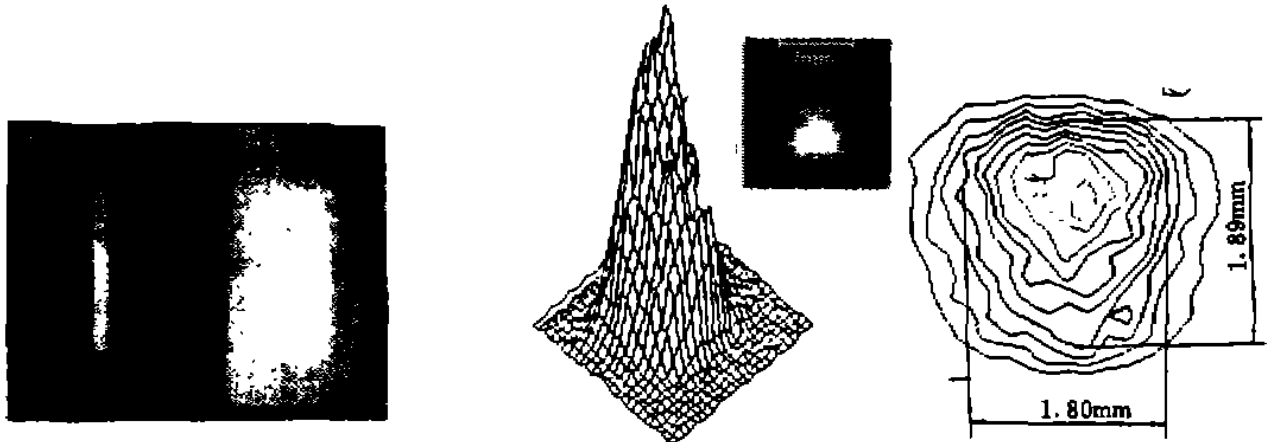


图 4 UR90 腔正向和反向模的近场图样, $M = 1.21$, $N_{eq} = 1.48$

Fig. 4 Near-field pattern of the forward and reverse modes of the UR90 resonator with $M = 1.21$ and $N_{eq} = 1.48$

图 5 UR90 腔正向模远场相对强度分布, $M = 1.21$, $N_{eq} = 1.48$, 输出光束聚焦镜的焦距 $f = 3.28 \text{ m}$

Fig. 5 Far-field relative intensity distribution of the forward mode of the UR90 resonator with $M = 1.21$ and $N_{eq} = 1.48$, and the focal length of the output beam focusing lens $f = 3.28 \text{ m}$

量选择合理且同轴调整精度较高,未造成系统过大的波像差对光场分布的影响。在模场相对强度 80% 处确定其 x 方向与 y 方向上的束宽为 1.89×1.80 (mm), 由此可得正向模输出光束的远场发散角分别为 0.576 mrad 与 0.549 mrad, 由(4)式可得此腔的衍射极限为 0.138 mrad 与 0.054 mrad, 因此, 测得输出光束的方向性分别为 4.2 倍 (x 方向) 的衍射极限与 10.2 倍 (y 方向) 的衍射极限。若系统放大率取 $M = 1.3$, 采用图 3 设计方案进行模拟实验, UR90 环形非稳腔输出正向模与反向模的近场光斑图样如图 6 所示, 用焦距为 $f = 3.15$ m 的透镜对正向模光束聚焦后作以上同样的处理, 其远场图样及经数据处理后所得模场相对强度分布结果如图 7 所示, 在模场相对强度 80% 处确定其 x 与 y 方向上的束宽为 1.46×1.38 (mm), 由此可得正向模输出光束的远场发散角分别为 0.463 mrad 与 0.438 mrad, 算得此腔的衍射极限为 0.114 mrad 与 0.0597 mrad, 因此, 测得输出光束的方向性分别为 4.1 倍 (x 方向) 的衍射极限与 7.3 倍 (y 方向) 的衍射极限。由此看出, 当系统的放大率 M 由 1.21 增大到 1.3 时, 输出光束的品质在垂直于耦合镜刀口方向上 (x 方向) 变化不大, 而在平行于耦合镜刀口方向上 (y 方向) 有较大的改善, 因此, 输出光束的平均质量得以提高。



图 6 UR90 腔正向和反向模的近场图样, $M = 1.3$, $N_{eq} = 1.25$

Fig. 6 Near-field pattern of the forward and reverse modes of the UR90 resonator with $M = 1.3$ and $N_{eq} = 1.25$

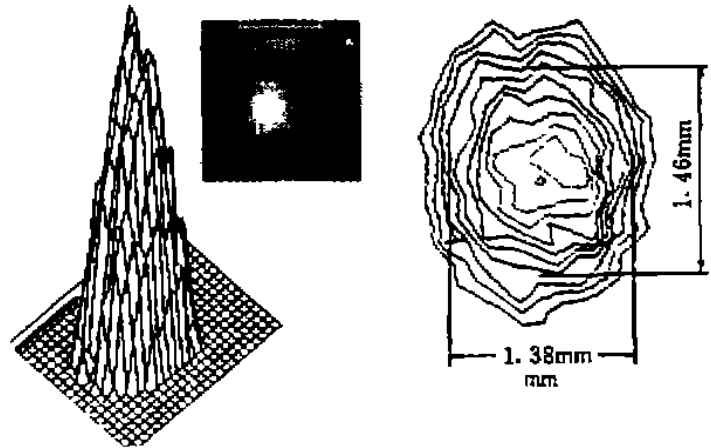


图 7 UR90 腔正向模远场相对强度分布, $M = 1.3$, $N_{eq} = 1.25$, 输出光束聚焦镜的焦距 $f = 3.15$ m

Fig. 7 Far-field relative intensity distribution of the forward mode of the UR90 resonator with $M = 1.3$ and $N_{eq} = 1.25$, and the focal length of the output beam focusing lens $f = 3.15$ m

由于铜蒸气激光器具有高增益特点, 因此, 为了获得近衍射极限的输出光束, 传统非稳腔系统放大率 M 一般选取几十甚至上百^[12], 根据文献[13]报道的实验结果, 当传统非稳腔放大率 $M = 20$ 时, 所得输出光束的方向性为 10 倍的衍射极限; 相比之下可以看出, 在低放大率的情况下 UR90 环形非稳腔仍然具有很强的模控能力, 并克服了传统非稳腔中央暗斑输出及低增益介质不能应用的缺陷。

5 UR90 环形非稳腔反向模的注入抑制

束转腔不仅使光场产生旋转同样也将转动腔模的偏振矢量, 腔模在反射面上的损耗与相移决定于它的线偏振态, 束转腔一般具有椭圆偏振模式^[14], 如果偏振引起的模损耗小于耦合

输出损耗,而且由偏振产生的相移远小于 $\pi/2$,那么 UR90 腔模近似为圆偏振态^[16],为满足此条件应尽量以小角度入射扩束望远系统来减小因偏振产生的损耗与相移,本实验扩束系统的入射角为 5° ,由于圆偏振可分为左旋与右旋两种偏振状态,因此,奇数次的镜面反射会改变圆偏振态的旋转方向。

为了有效地抑制 UR90 腔的反向模,在不改变偏振态的情况下将反向模注入耦合到正向模中去,以达到抑制反向模的目的,反向模注入抑制系统如图 8 所示,在实验装置图 3 的基础上加一 90° 棱镜与反向模抑制镜 RSM,使其与耦合镜处于同一平面内,从图中看出,反向模光束经过偶数次(6次)反射后被耦合到正向模中去,此系统保持了光束原来的偏振状态。所加反向模抑制镜 RSM 的曲率半径为^[2]

$$R_R = \frac{M^2 L_A + M L_B + L_C}{M^2 - 1} \quad (5)$$

通过调整反向模抑制镜 RSM 与棱镜使输出的反向模部分光束原路返回叠加到正向模,根据图 3 给出的实验参数,由(5)式算得反向模抑制镜 RSM 反射面的曲率半径为 $R_R = 20 \text{ m}$,从而,叠加后的输出光束用焦距为 $f = 3.15 \text{ m}$ 的透镜聚焦,远场图样及经数据处理后所得模场相对强度分布结

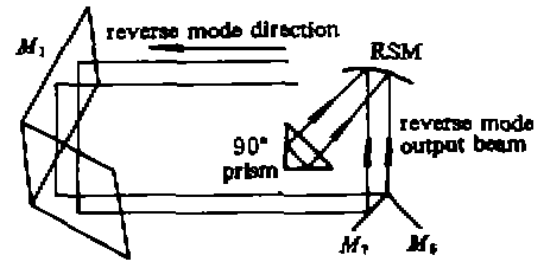


图 8 利用反向模抑制镜将反向模注入到正向模的装置图

Fig. 8 Layout of injecting the reverse mode into the forward direction with a reverse mode suppressing mirror RSM

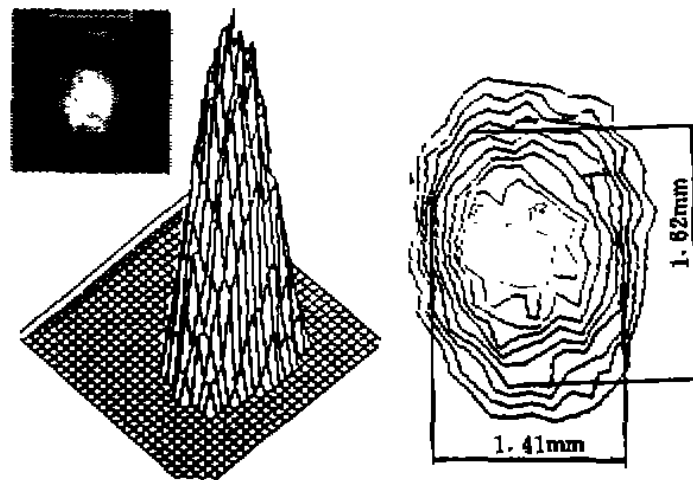


图 9 将反向模注入到正向模时 UR90 腔输出光束的远场相对强度分布。 $M = 1.3$, $N_{sq} = 1.25$

Fig. 9 Far-field relative intensity distribution of the output beam of the UR90 resonator by injecting the reverse mode into the forward direction with $M = 1.3$ and $N_{sq} = 1.25$

果如图 9 所示,在模场相对强度 80% 处确定其 x 与 y 方向上的束宽为 $1.62 \times 1.41 \text{ (mm)}$,由此可得输出光束的远场发散角分别为 0.514 mrad 与 0.448 mrad ,因此,输出光束的方向性分别为 4.5 倍 (x 方向) 的衍射极限与 7.5 倍 (y 方向) 的衍射极限,由此可以看出,反向模的注入抑制利用对输出光束的方向性影响不大,这为进一步的实现光束的位相锁定输出提供了有力的实验依据。

致谢 在此特别感谢黄日成工程师为本实验提供了优良的光学薄膜;同时感谢徐军、丁志华、李国强、张需明同学及丘悦等同事的大力帮助。

参 考 文 献

- 1 A. H. Paxton, W. P. Latham. Unstable resonators with 90° beam rotation. *Appl. Opt.*, 1986, 25(17): 2939~2946
- 2 魏在福,王润文,王之江. 90° 束转动环形非稳腔模场数值分析. *光学学报*, 1995, 15(6): 696~702
- 3 魏在福,王润文,王之江. 90° 束旋转环形非稳腔几何特性分析. *光学学报*, 1995, 15(5): 513~519
- 4 S. Holswade, R. Riviere, C. A. Huguley *et al.*. Experimental evaluation of an unstable ring resonator with 90° beam rotation; HIQ experimental results. *Appl. Opt.*, 1988, 27(21): 4396~4406
- 5 P. K. Kennedy, K. C. Sun. Geometric modes of an unstable ring resonator with 90° beam rotation. *Proc. SPIE*, 1990, 1224: 163~171
- 6 Yu. A. Anan'ev, V. E. Sherstobitov. Influence of edge effects on the properties of unstable resonators. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1971, 1(2): 263~267
- 7 R. W. Jones, J. F. Perkins. Transverse mode properties of beam-rotated unstable resonators for free electron laser. *ATAA J.*, 1988, 21(8): 897~900
- 8 P. Horwitz. Asymptotic theory of unstable resonator modes. *J. Opt. Soc. Am.*, 1973, 63(12): 1528~1543
- 9 W. P. Latham, A. H. Paxton, G. C. Dente. Laser with 90° -degree beam rotation. *Proc. SPIE*, 1990, 1224: 265~282
- 10 魏在福,王润文,王之江. 90° 束转动环形非稳腔场畸变数值模拟. *中国激光*, 1995, A22(12): 881~890
- 11 A. E. Attard. Matrix optical analysis of shew rays in mixed systems of spherical and orthogonal cylindrical lenses. *Appl. Opt.*, 1984, 23(16): 2706~2709
- 12 D. W. Coutts. Time resolved beam divergence from a copper vapor laser with unstable resonator. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1995, QE-31(2): 330~342
- 13 梁培辉,任虹,陈徐宗等. 铜蒸气激光振荡器与放大器输出光束的远场分布. *中国激光*, 1990, 17(12): 53~56
- 14 Yu. A. Anan'ev, V. I. Kuprenyuk, V. E. Sherstobitov. Properties of unstable resonators with field rotation. I. Theoretical principles. *Sov. J. Quant. Electr.*, 1979, 9(9): 1105~1110
- 15 A. H. Paxton. Unstable ring resonator with an intracavity prism beam expander. *IEEE J. Quant. Electr.*, 1987, QE-23(2): 241~244

Analysis of Design and Output Properties of a Unstable Ring Resonator with 90° Beam Rotation

Wei Zaifu Wang Runwen Tao Yongxiang

Chen Lin Wang Guiying Wang Zhijiang

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

Abstract A design method of system parameters of unstable ring resonators with 90° beam rotation is discussed in this paper, and an effective method of allgment of the resonator is also given. Good output far-field intensity distributions of the UR90 resonator with the magnification $M = 1.21$ and 1.3 are observed in the copper vapor laser. The reverse mode is successfully suppressed on the UR90 resonator while the polarization state of the reverse mode remains by a reinjection system.

Key words UR90 resonator, copper vapor laser, far-field distribution, reverse mode suppression