

# UR90环形非稳腔输出模式特性的数值分析\*

高惠德 董蕴华 李琦 马祖光

(哈尔滨工业大学光电子技术研究所, 哈尔滨 150001)

**摘 要** 将UR90环形非稳腔引入氧碘化学激光器, 对其输出模式进行了数值模拟计算, 模拟包括了化学动力学、介质横向流动和物理光学等因素; 得到与放大率  $M$  和光轴离截取镜距离  $a$  等参数相关的近场光强、位相及远场光强分布曲线。

**关键词** UR90环形非稳腔, 输出模式, 数值分析。

## 1 引 言

随着大能量高功率激光器件的发展, 常规非稳腔已不能很好地满足人们对激光器光束质量的要求; 在如氧碘化学激光器这样的具有低增益的激光介质, 且其模式的强度分布不均匀的横流气体激光器中, 90度光束转动环形非稳腔 (即UR90环形非稳腔) 从根本上解决了环形输出的常规非稳腔无法克服的困难<sup>[1, 2]</sup>。在腔的放大率接近于1的情况下, 仍能耦合输出高质量的激光束, 且UR90环形非稳腔由腔镜倾斜造成的影响比常规非稳腔小<sup>[3]</sup>。

本文将UR90环形非稳腔引入氧碘化学激光器, 并对其输出特性进行理论模拟计算, 以验证UR90环形非稳腔对提高光束质量大有益处。

## 2 UR90环形非稳腔的构型

图1所示的UR90环形非稳腔为本文模拟计算中选择的腔型, 构成环形腔的屋脊镜  $M_1$  与  $M_2$  互成45°角, 组成光束传输一周后顺时针旋转90°的旋转系统; 凸面镜  $M_3$  与凹面镜  $M_4$

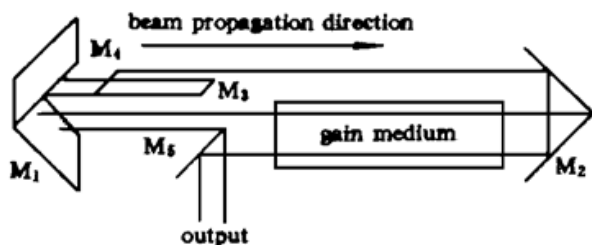


Fig. 1 Schematic of UR90 ( $M_1, M_2$ : Roof mirror;  $M_3, M_4$ : Convex, Concave mirror;  $M_5$ : Scaper)

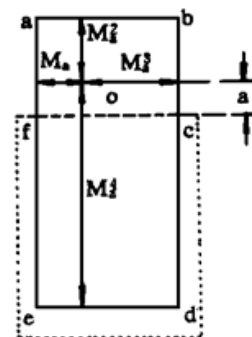


Fig. 2 Cross section of the beam at scaper plane (Dashed lines: Outline of the scaper; O: Optical axis)

\* 本项目获得国家863激光技术基金资助。

组成放大  $M$  倍的扩束望远镜系统; 截取镜  $M_5$  (图2) 耦合输出光束的  $fcde$  部分, 光束的剩余部分  $abcf$  反馈入腔, 继续循环。

在谐振腔的设计中, 主要考虑到能量的提取和光束质量这两个问题, 依此建立了 UR90 环形非稳腔的物理光学、化学动力学和简化的湍流扩散混合段相耦合的理论模型。

### 3 UR90环形非稳腔输出特性的数值计算

由于具有圆偏振特性的 UR90 环形非稳腔环行两周达到自洽<sup>[4]</sup>, 因此可以等价如图3所示的结构。在此结构中认为谐振腔辐射场为线偏振单频场, 每块增益介质沿激光激射方向划分为  $K$  个薄层, 利用薄层增益法可得到在激波导致的密度涨落为  $\Delta\rho/\rho$  时, 第  $K$  个面上的

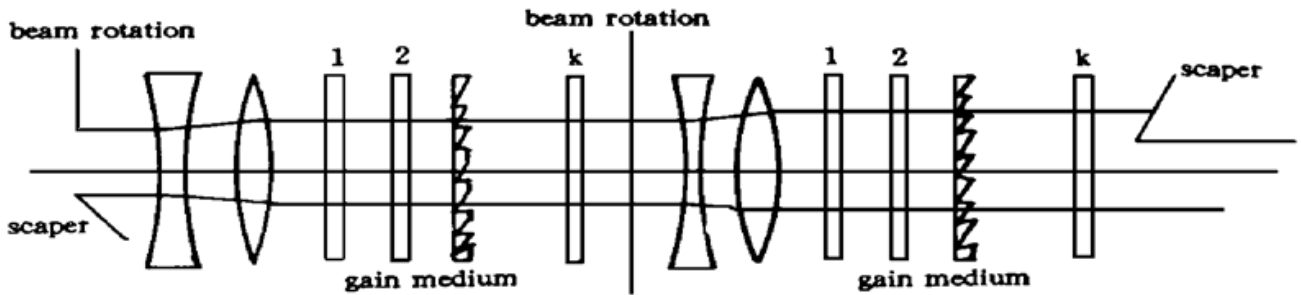


Fig. 3 Unfold an untwisted resonator-two passes (with gain medium)

增益分布为<sup>[5]</sup>:

$$g_k(x, y) = \exp \left[ \frac{1}{2} g(x, y) - j \frac{2\pi}{\lambda} (n_0 - 1) \frac{\Delta\rho}{\rho_0} \right]_k \Delta z \quad (1)$$

式中小信号增益  $g(x, y)$  由化学动力学方程组和辐射场光强求得。

谐振腔内辐射场复振幅  $U(x, y, z)$  满足亥姆霍兹方程:

$$(\nabla^2 + k^2 n^2) U(x, y, z) = 0 \quad (2)$$

这里  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $n$  为复折射率。

应用格林函数法可将(2)式转化为积分方程, 按 Rensch 的计算可以得到<sup>[6]</sup>:

$$U(x, y, z + \Delta z) = u(x, y, z + \Delta z) \exp \left[ \frac{1}{2} g(x, y) - j \frac{2\pi\Delta\rho}{\lambda\rho_0} \right] \Delta Z + O(\epsilon \Delta z^2/l) \quad (3)$$

式中  $u(x, y, z + \Delta z)$  是  $U(x, y, z)$  在一段距离  $\Delta z$  的自由空间中传播的电磁场,  $O$  表示截断误差,  $\epsilon = n^2 - 1$ ,  $l$  为  $z$  方向场振幅和相位变化的最小特征距离。

利用差分方程求解(2)式, 并结合(3)式, 计算得到  $l$  段至  $K$  段的复场, 储存于计算机中, 然后经  $M$  倍放大, 继续如上进行计算, 直至截取镜为止。

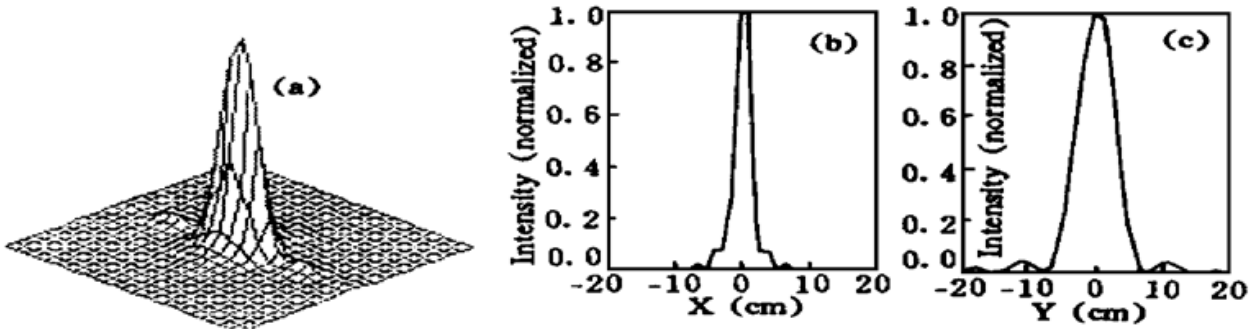
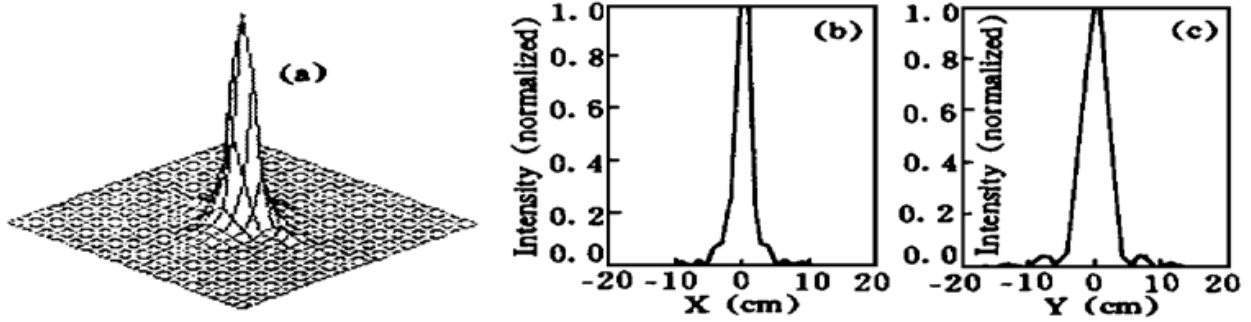
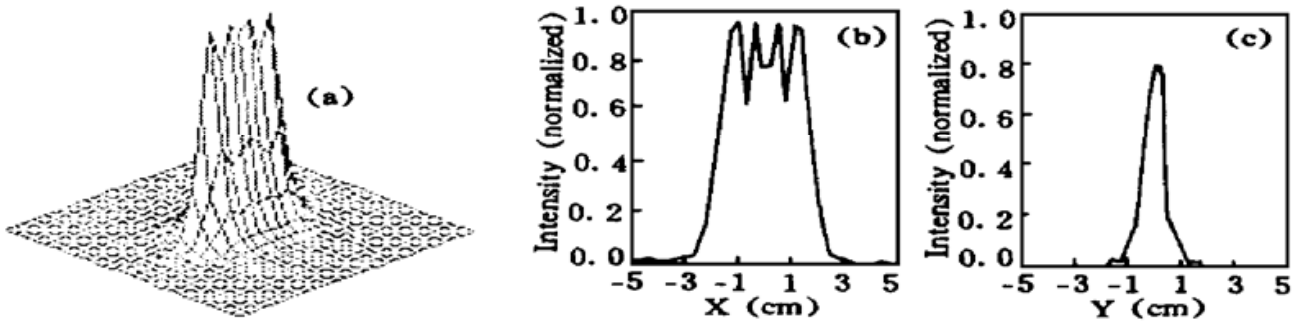
近场分布求出以后, 利用克希霍夫公式即可求得远场任意一点的场强分布。

### 4 计算数据及分析

利用所编程序得到了与腔放大率  $M$  和光轴离截取镜的距离  $a$  等参数相关的输出特性数据。

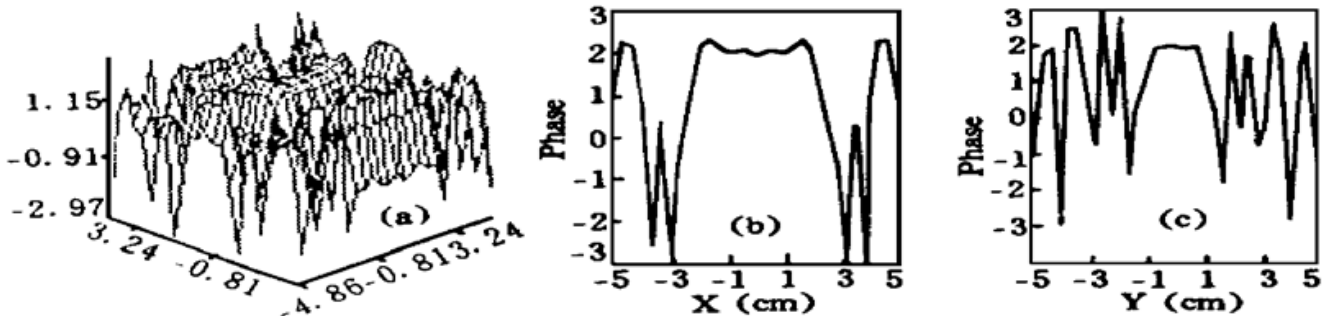
大量的计算结构表明:

1) 近场光强分布显然与常规非稳腔不同, 如图6所示, 其输出光束形状呈实心矩形。这导致了垂直及平行截取镜刀口方向的远场光强分布第一零点的位置相差较大, 如图4, 图5所示, 当  $M = 1.2$ ,  $a = 1.366$  时, 两方向发散角比近似为  $2 \cdot 1$ , 如图 4(b)、图 4(c) 所示。

Fig. 4 Far-field intensity of UR90 with  $M = 1.2$ Fig. 5 Far-field intensity of UR90 with  $M = 1.3$ Fig. 6 Near-field intensity of UR90 with  $M = 1.2$ 

2) 当增益区域大小确定后, 且  $a$  与  $M$  的取值使光束尽可能充满增益区时, 随着  $M$  的增大, 光束质量有所提高, 这一点可由图 4 和图 5 的对比中看出。

3) 近场相位对远场强度分布有较大影响, 而近场强度分布对远场强度分布影响不太大。这表明由于腔内介质超音速流动产生的激波对辐射场的作用主要是对相位的影响。在  $M$  的取值由 1.1 至 1.5 范围内进行的大量模拟计算中,  $M = 1.2$  最符合实际情况, 这里给出了  $M = 1.2$  时的近场光强和相位的分布图, 如图 6、图 7 所示。

Fig. 7 Near-field phase of UR90 with  $M = 1.2$ 

通过分析可以看出, 由于 UR90 环形非稳腔具有输出实心矩形光斑及空间自平均效应等特点, 在单程增益较小的激光介质中可以得到较好的光束质量, 在兼顾输出功率的提取时,  $M$  的最佳取值范围为 1.15 ~ 1.30,  $a$  的取值以能使光束尽可能充满整个增益区为最佳。

## 参 考 文 献

- [1] S. Holswade, R. Riviere *et al.*, Experimental evaluation of an unstable ring resonator with  $90^\circ$  beam rotation; HiQ experimental results. *Appl. Opt.*, 1988, **27**(21): 4396~ 4406
- [2] W. P. Latham, Jr., A. H. Paxton *et al.*, Laser with  $90^\circ$ -degree beam rotation. *Proc. SPIE*, 1990, **1224**: 265~ 282
- [3] A. H. Paxton, W. P. Latham, Jr., Ray matrix method for the analysis of optical resonators with image rotation. *Proc. SPIE*, 1985, **554**: 159~ 163
- [4] A. H. Paxton, W. P. Latham, Jr., Unstable resonators with  $90^\circ$  beam rotation. *Appl. Opt.*, 1986, **25**(17): 2939~ 2946
- [5] A. E. Siegman, Mode calculations in unstable resonators with flowing saturation gain: 1. Hermite-Gaussian expansion. *Appl. Opt.*, 1974, **13**(12): 2775~ 2791
- [6] D. B. Rensch, Three-dimensional unstable resonator calculations with laser medium. *Appl. Opt.*, 1974, **13**(11): 2546~ 2561

## Numerical Analysis of Output Mode of UR90 Unstable Ring Resonator

Gao Huide    Dong Yunhua    Li Qi    Ma Zuguang

(*Institute of Opto-Electronic, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001*)

(Received 20 January 1996; revised 15 April 1996)

**Abstract** In this paper, output modes of the UR90 ( $90^\circ$  beam rotation) unstable ring resonator used chemical oxygen-iodine laser are obtained by numerical simulation calculation. The simulation included chemical kinetics, transverse gas flow and physical optics in the resonator. Distribution curves of near-field intensity and phase and far-field intensity are presented with the magnification  $M$  and the distance  $a$  from the optical axis to the edge of scaper.

**Key words** UR90 unstable ring resonator, output mode, numerical analysis.