

## 从横模结构确定最佳耦合孔径

陈万湘 崔森\*

(河北大学物理系, 保定, 071002)

**摘要:** 本文分析了激光的横模结构以及在小孔耦合输出情况下的损耗特征, 提出了确定激光谐振腔最佳耦合孔径的简便方法, 实验证明效果良好。

**关键词:** 横模, 谐振腔, 孔径

## Determination of the optimum aperture from TM structure

Chen Wanxiang, Cui Miao

(Department of Physics, Hebei University, Baoding)

**Abstract:** TM structure of laser and its loss characteristics for small aperture coupling output are analysed, an easy way to determine the optimum coupling aperture of laser resonant cavity is put forward, and the experimental results are very fine.

**Key words:** transverse modes, resonators, aperture

## 一、输出孔径的范围

圆形共焦腔的自再现模可用拉盖尔-高斯函数来描述:

$$E_{mn}(r, \varphi) = C_{mn} \left( \sqrt{2} \frac{r}{w_{os}} \right)^m L_n^m \left( 2 \frac{r^2}{w_{os}^2} \right) e^{-\frac{r^2}{w_{os}^2}} e^{-im\varphi}$$

式中  $(r, \varphi)$  为镜面的极坐标;  $C_{mn}$  为归一化常数;  $w_{os} = \sqrt{\frac{L\lambda}{\pi}}$ ,  $L=2f$ ,  $f$  为镜的焦距;  $L_n^m(\xi)$

为缔合拉盖尔多项式。由模函数可给出几种简化的强度分布花样, 如图 1 所示。

激光器要获得最大功率输出, 输出反射镜应该满足最佳透过率, 这对于输出什么样的模式, 一般关系不大。但对于带有小孔的输出反射镜, 小孔对于不同的横模损耗是不同的。例如  $TEM_{00}$  模, 即使小孔很小, 它都会受到很大的损耗, 而对于较高阶次的横模, 如  $TEM_{10}$ 、 $TEM_{20}$  等模, 由于场分布的原因则影响很小。因而此种情况下  $TEM_{00}$  模便不容易振荡。从图 1 的横模强度花样也能推断出: 在反射镜面的中心开一小孔,

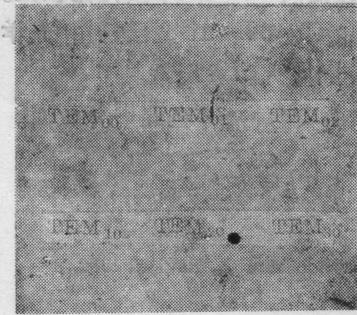


图 1 横模强度花样

损耗最大的是  $TEM_{00}$ 、 $TEM_{01}$ 、 $TEM_{02}$ 、 $TEM_{03}$  等模, 因这类横模的强度最大点在镜中心; 而

收稿日期: 1989年5月18日。

\* 85级光学专业毕业生。

TEM<sub>10</sub>、TEM<sub>20</sub>、TEM<sub>30</sub>等横模强度的最大点不在镜中心,因而这类横模对小孔就不那么敏感。这就为我们在镜中心开孔控制TEM<sub>10</sub>、TEM<sub>20</sub>等模的透射比创造了方便的条件。

TEM<sub>mn</sub>模随着 $m$ 、 $n$ 的增加,模的光斑尺寸也将增大。计算给出了几个横模的光斑尺寸,如表1。

表 1

横模阶次	TEM <sub>00</sub>	TEM <sub>10</sub>	TEM <sub>20</sub>	TEM <sub>01</sub>	TEM <sub>11</sub>	TEM <sub>21</sub>
$w_{mns}$	$w_{os}$	$1.50 w_{os}$	$1.77 w_{os}$	$1.92 w_{os}$	$2.21 w_{os}$	$2.38 w_{os}$

当放电管的管径较大时,可能允许有较多的横模振荡,而由于管壁对激发态粒子的消激发作用的存在,实际上增益较大的是几个低阶次模(对CO<sub>2</sub>激光器),如TEM<sub>10</sub>模,光斑半径为 $1.5 w_{os}$ ,光强最大点在 $1.5 w_{os}/2$ 处。若开孔半径为此值,则TEM<sub>10</sub>模光强几乎有一半透射出来,CO<sub>2</sub>激光器是一种高增益的激光器,对于放电长度为1m多的封离式CO<sub>2</sub>激光器,透射率约为60%。显然上述开孔的取值偏低,因而孔径还应大些,以便提高透射率,增大激光输出功率。当孔半径取为 $1.5 w_{os}$ 时,对于TEM<sub>10</sub>模光强透射率将大于95%,这个孔径又显得太大了。从上述分析,可进一步推断出:对于TEM<sub>10</sub>模,合适的输出孔半径在 $1.5 w_{os}/2 \sim 1.5 w_{os}$ 之间。同理,可推断出对于TEM<sub>20</sub>模合适的输出孔半径在 $1.77 w_{os}/2 \sim 1.77 w_{os}$ 之间。

## 二、实验确定最佳孔径的规律

首先对腔长为6.07m,反射镜的曲率半径 $R_1=R_2=10$ m,放电管的内直径为38mm的CO<sub>2</sub>激光器进行实验。气体混合比为CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He=1:1.5:10,总气压为7.5Torr,输出反射镜的中心开孔直径分别为5.5、7.8、10.0、10.2和12.5(mm)。输出功率与放电电流的关系曲线如图2所示。

从上图曲线可看出,每种输出孔径,都对应有最大输出功率值,由此可见输出功率与反射镜开孔大小有关,而且存在最佳孔径。根据理论分析所给出的孔径范围,对腔长为6.07m的CO<sub>2</sub>激光器输出孔径范围进行计算,TEM<sub>00</sub>模在镜面上的光斑半径 $w_{os}=4.7$ mm,对TEM<sub>10</sub>模输出孔直径应取的范围为7.1~14.1mm。

与实验所用孔径进行比较,实验中的最佳孔径(10.2mm)落在理论值的范围之内。假如我们取最佳孔半径为 $1.5 w_{os} \times 3/4 \times 2$ ,其值为10.6mm,它与实验值极为接近。

运用上述假设对腔长为2.8m,反射镜曲率半径 $R_1=R_2=4$ m,放电管内直径为28mm的CO<sub>2</sub>激光器进行实验,计算的最佳输出孔直径为7.1mm,实际使用的孔直径为7.0mm,得到的最大输出功率为180W。

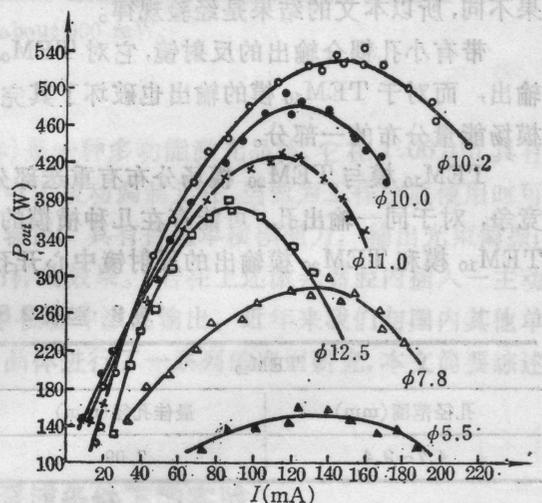


图 2 腔长6.07m不同孔径时的输出功率曲线

对腔长为 1.46 m, 反射镜曲率半径  $R_1 = R_2 = 1.6$  m, 放电管内径为 15 mm 的  $\text{CO}_2$  激光器进行实验, 计算的最佳输出孔径为 5.1 mm, 实际使用的输出孔径是 5.5 mm 的反射镜, 得到的最大输出功率为 71 W。

三台  $\text{CO}_2$  激光器的实验数据见表 2。

表 2

腔长 (m)	腔镜曲率半径 (m)	放电管直径 (mm)	$w_{0s}$ (mm)	输出孔径范围 (mm)	最佳孔径计算值 (mm)	实际使用孔径值 (mm)	最大输出功率 (W)
6.07	10	38	4.7	7.1~14.1	10.57	10.2	512
2.8	4	28	3.15	4.7~9.4	7.09	7.0	180
1.5	1.6	15	2.25	3.4~6.8	5.06	5.5	71

### 三、结果及讨论

从表 2 可看出激光器腔长在 1.5 m 至 6.07 m, 考虑有效长度后可知平均每米放电输出功率在 51 至 88 W, 而有关资料表明: 对于放电长度 2 至 10 m 的  $\text{CO}_2$  激光器, 每米放电长度平均输出功率为 50 至 100 W。比较输出功率, 确定  $\text{TEM}_{10}$  模最佳输出孔直径为  $1.5w_{0s} \times \frac{3}{4} \times 2 = 2.25w_{0s}$ , 符合最佳孔径状态。实验证明, 从模场分布特征来确定最佳输出孔径的方法是可行的。但由于反射镜中心有小孔时,  $\text{TEM}_{00}$ 、 $\text{TEM}_{10}$ ……等模的场分布与准几何近似下的结果不同, 所以本文的结果是经验规律。

带有小孔耦合输出的反射镜, 它对  $\text{TEM}_{00}$  模损耗很大, 在小孔较大时不能获得  $\text{TEM}_{00}$  模输出, 而对于  $\text{TEM}_{10}$  模的输出也破坏了其完整性。实验中获得激光功率实际只是  $\text{TEM}_{10}$  模场能量分布的一部分。

$\text{TEM}_{10}$  模与  $\text{TEM}_{20}$  模场分布有重叠部分, 因而对处于激发态粒子的受激辐射存在空间竞争, 对于同一输出孔, 可能存在几种横模的输出。表 3 给出了腔长为 2.8 m 的  $\text{CO}_2$  激光器  $\text{TEM}_{10}$  模和  $\text{TEM}_{20}$  模输出的反射镜中心开孔范围和最佳孔径。

表 3 腔长 2.8 m,  $R_1 = R_2 = 4$  m

$\text{TEM}_{10}$		$\text{TEM}_{20}$	
孔径范围 (mm)	最佳孔径 (mm)	孔径范围 (mm)	最佳孔径 (mm)
4.7~9.4	7.09	5.6~11.2	9.9

从表 3 可以看出, 假如孔径为 9 mm 时, 对于  $\text{TEM}_{10}$  模透过率几乎接近 100%, 而对于  $\text{TEM}_{20}$  模则接近最佳透过孔径。故可判断出: 当孔径对于  $\text{TEM}_{10}$  模为最佳时,  $\text{TEM}_{20}$  模的振荡占劣势, 激光输出功率成分则以  $\text{TEM}_{10}$  模为主。

计算  $w_{0s}$  的公式和场分布, 是反射镜半径无穷大时(准几何光学近似)共焦腔的结果, 而实验时所用的谐振腔都不是共焦腔, 经计算, 此种情况下光斑半径与共焦腔公式计算得的半径值相差很小, 因而在本文研究的精度内可以忽略。