

# 多镜腔激光器结构设计新方法

叶子青 荆宝全 黄志峰

**摘要：** 本文介绍一种新的腔结构设计方法。新的方法采用分离参量计算手段和其它方法比较，计算手续简单，应用范围增大。

## 一、引言

目前，许多激光器需采用多个非平面光学元件组成的谐振腔结构。多镜腔结构设计是十分繁琐的数字计算问题。人们曾用不同方法寻找比较简单的实用公式<sup>[1][2][3]</sup>，但是在实际工作中的激光器是多种多样的，这些方法就显出它们的局限性。我们根据几年来工作的经验和实际的需求，摸索出一套新的设计方法。仅借助于微计算器就可在几十分钟内完成多镜腔激光器基本结构的设计工作。

## 二、设计原理

人们常常希望激光器处于基模即 TEM<sub>00</sub> 状态运转，因此我们就从高斯光束传播特性入手，推出设计计算所用的基本公式。

众所周知，当一束高斯光束通过如图1所示的单薄透镜光学系统时，光束腰半径 $\omega_0$ 处的空间参量满足(1)式变换关系。我们不难发现，将(2)，(3)式代入(1)时，则公式(1)变得对称而简练，如(4)(5)式所示。

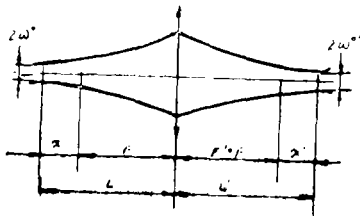


图1 高斯光束通过单透镜系统示意

$$L' = \frac{(L-F) \cdot F^2}{(L-F)^2 + \frac{\omega_0^4 \pi^2}{\lambda^2}} + F \quad (1)$$

$$\omega_0' = \omega_0 \cdot F \cdot \left[ (L-F)^2 + \frac{\omega_0^4 \pi^2}{\lambda^2} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$x = L - F \quad (3)$$

$$b = \omega_0^2 \pi / \lambda \quad (4)$$

$$x' = x F^2 / (x^2 + b^2) \quad (5)$$

$$b' = b F^2 / (x^2 + b^2) \quad (6)$$

如果从(4)和(5)式推出，我们发现：当一束高斯光束通过如图2所示的双透镜光学系统时，光束腰半径 $\omega_0$ 处的空间参量满足：

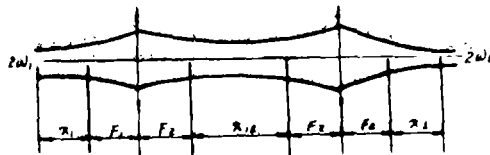


图2 高斯光束通过双透镜系统示意

$$x_1 = C_1 F_1^2 / x_{12} \quad (6)$$

$$x_2 = C_1 F_2^2 / x_{12} \quad (7)$$

$$b_1 = C_2 F_1^2 / x_{12} \quad (8)$$

$$b_2 = C_2 F_2^2 / x_{12} \quad (9)$$

上式中  $C_1$  和  $C_2$  是待定常数, 要根据实际情况来确定。当设计稳定腔结构时,  $C_1$  和  $C_2$  起码满足

$$\left. \begin{aligned} 0 < C_1 < 2 \\ 0 < C_2 \leq 1 \\ C_1 = 1 \pm (1 - C_2^2)^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

(4)~(10)这七个公式就是设计计算所需的基本公式。使用这些公式可计算任何类型多镜激光谐振腔基本结构的空参量。

具体设计时的基本步骤是: 将要设计的谐振腔等效为一环路, 并将腔内光路中非平面光学元件等效为透镜。然后将这些透镜按需要划分为若干个单、双透镜组单元并分别进行计算。最后再组合在一起, 给予判定是否属稳定腔结构, 即可完成谐振腔基本结构的设计工作。

在具体施行时, 应注意几点:

① 在划分透镜组单元时, 可按环路中非平面光学元件的分布形式来确定透镜组的分布。一般说来, 当透镜的焦距不大时, 相隔较远的二个透镜可定为一个双透镜组系统, 其余按单透镜计算。

② 在计算高斯光束通过单透镜系统的变换公式 (4) 和 (5) 时, 需先确定  $x$ 、 $x'$ 、 $F$ 、 $b$  和  $b'$  五个参量中的三个; 在计算高斯光束通过双透镜系统的变换公式 (6)~(10) 式时, 需先确定  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $F_1$ 、 $F_2$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $b_1$ 、 $b_2$  和  $x_{12}$  等几个参量中的四个。一般情况下, 先确定  $F$ 、 $x_{12}$  和  $b$  这类参量可使得计算会相对简单一些。

③ 当使用 (10) 式时, 要注意到公式中正负号的选择。尽管计算时采用符号“+”或“-”不会影响方程组 (6)~(10) 的解, 可在实际情况中只有一种符号满足稳定腔结构要求。根据我们的经验, 当  $F > 0$  时, 选择负号的把握性大一些。

腔型的判定可采用通用的光传播矩阵计算方法。这种方法比较可靠, 只是计算比较麻烦, 往往要借助于计算机来完成。我们在此再介绍一种比较简单的经验公式, 以供参考。

任何激光器在运转状态下, 激光和荧光总是并存的。荧光的传播基本满足几何光学的特性。我们给出的判据就是参考几何光学成像原理而成。这个方法不仅用来判定腔的稳定性, 而且还作为可见光波段激光器的调节依据。

其原理是: 选择谐振腔环路中某特殊点为原始物点。设从物点发出的荧光分别沿顺时针二个方向传播。若在顺时针方向光路中从原始物点到输出镜点有  $N$  个等效透镜, 根据几何光学中牛顿公式知:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= L_1 - F_1, \\ x_1' &= \frac{F_1^2}{x_1}, \quad x_2 = x_{12} - x_1', \\ &\dots\dots\dots \\ x_N' &= x_{N-1,N} - x_{N-1}, \\ x_N' &= \frac{F_N^2}{x_N}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

同理推知，在逆时方向光路中传播的荧光经  $M$  个透镜成像后的位置有

$$x_M' = \frac{F_M^2}{x_M} \quad (12)$$

我们的经验公式是

$$\left. \begin{aligned} x_N' &\geq x_{MN} \\ x_M' &\geq x_{MN} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

荧光传播满足 (13) 式时，腔为稳定腔型。值得注意的是：(13) 式是经验公式，理论未加仔细推导，因此只能供参考。

上述几段定性地说明了设计原理和应注意的几点，具体的使用方法在下节介绍。

### 三、染料激光器的设计

连续波染料激光器的工作特性要求激光通过增益区的截面很小，因此连续波染料激光器是典型的多镜腔激光器。在此根据我们的工作实例介绍设计方法。

环型染料激光器的设计：该种激光器的基本结构如图 3 所示，设计的前提条件是腔环长约 1.5m，增益介质处光腰半径约  $13\mu\text{m}$ 。我们选择  $R_{M1} = R_{M2} = 60\text{mm}$ ， $R_{M3} = 212\text{mm}$ 。将腔从增益介质  $J$  处到  $M_2$  镜至  $M_3$  镜之间某点分为二个单元。根据 (8) 和 (9) 式知

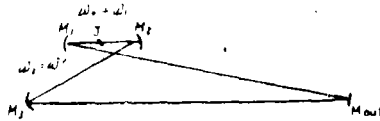


图 3 连续波环型染料激光器示意。

$M_1(R60), M_2(R60), M_3(R212) M_{out}(R\infty)$

$$\left. \begin{aligned} b_2/b_1 &= F_2^2/F_1^2 = 12.484 \\ b_1 &= 0.885 \\ b_2 &= 11.049 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

代入 (4) 和 (5) 式后求得

$$\left. \begin{aligned} x &= 8.444 \\ x' &= 105.423 \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

用腔环长减去单透镜单元长度后再代入 (10) 式比较，知：

$$\left. \begin{aligned} x_{12} &= 1016.949 \\ c_2 &= 1 \\ c_1 &= 1 \\ x_1 &= b_1 = 0.885 \\ x_2 &= b_2 = 11.049 \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

综合 (14) - (16) 式，可得激光器基本结构参量

$$JM_1 = 30.885$$

$$JM_2 = 38.444$$

$$M_2M_3 = 252.471$$

$$M_1M_3 = 1152.949$$

$$L_R = 1474.749$$

$$\omega_0 = 13\mu m$$

$$\omega_1 = 45.6\mu m$$

将数据代入光传播矩阵, 得到

$$(\alpha + d) = 0.206$$

满足稳定腔要求。再应用牛顿公式, 算得从喷流 $J$ 处经 $M_1$ 镜成像距离为

$$x'_{J,M_1} = 1016.949$$

从喷流 $J$ 经 $M_2$ 和 $M_3$ 镜成像后距离可见数据满足 (13) 式。

$$x'_{J,M_2,M_3} = 1136.078$$

这个例子所采用的参量和我单位生产的 801 型激光器近似, 计算结果与实际情况相符, 由此证明设计方法是可行的。

碰撞脉冲锁模激光器: 设计前提是腔环长约 3.6m, 增益介质 $J_1$ 处光腰半径约 $13\mu m$ , 吸收介质 $J_2$ 处光腰半径约 $6.5\mu m$ , 基本结构如图 4 所示。根据对腔内设二个光腰的要求, 选择 $M_1$ 和 $M_4$ 镜的 $R = 100mm$ ,  $M_2$ 和 $M_3$ 镜的 $R = 50mm$ , 其它腔镜 $R \rightarrow \infty$ 。根据光学要求, 二

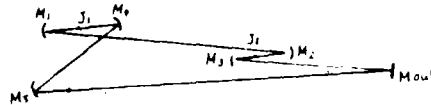


图 4 脉冲碰撞锁模激光器示意

$$M_1M_4(R100), M_2M_3(R50)M_3M_1(R\infty), M_4M_2(R\infty)$$

段 $J_1J_2$ 之比为 1:3, 故知 $x_{12}$ 为 750mm,  $x_{34}$ 为 2550mm。将 $J_1M_1M_2J_2$ 划为一双透镜系统单元, 将 $J_1M_4M_3J_2$ 划为另一双透镜系统单元。由于 $b, F, x_{ij}$ 均已知, 因此可确定计算顺序

$$C_2 = b_1 x_{12} / F_1^2$$

$$C_1 = 1 - \sqrt{1 - C_2^2}$$

$$x_1 = C_1 \frac{F_1^2}{x_{12}}$$

$$x_2 = C_1 \frac{F_2^2}{x_{12}}$$

代入已知参量, 可求得

$$J_1M_1 = 50.1196 \text{ (mm)}$$

$$J_1M_4 = 50.5596 \text{ (mm)}$$

$$J_2M_2 = 25.0299 \text{ (mm)}$$

$$J_2M_3 = 25.1396 \text{ (mm)}$$

使用我们给出的判据公式可知: 当选择增益介质 $J_1$ 处为原始物点时,  $J_1$ 通过 $M_4$ 镜成像点距 $M_4$ 镜为 4467.47mm,  $J_1$ 通过 $M_2, M_3$ 二镜成像点距 $M_3$ 镜为 3117.009mm。使用矩阵判据可知

$$(\alpha + d) = 0.337。二个判据都得到满足。$$

请注意我们在此只取 $C_1 = 1 - (1 - C_2^2)^{1/2}$ ，原因是若取正号时，二个判据都未能满足。我们的实验也证明这一结论。

## 四、结 论

原始的光学传播矩阵方法之不足在于计算繁琐和不能求腔内激光光束面积的参量。光学元件成像方法<sup>[1]</sup>之不足在于设计环型腔时很困难且计算并不简练。张光寅先生给出的方法<sup>[3]</sup>和我们提出的方法相似，但其公式中 $C_1$ 和 $C_2$ 为确定常数就给设计加以局限。我们提出的方法弥补了上述方法的不足，从设计实例可看出，计算简单，使用也方便。

本文得到王乃弘同志指导，得到洪喜财，刘国军等同志的帮助，在此表示感谢。

### 参 考 文 献

- [ 1 ] 激光物理学编写组：《激光物理学》，上海人民出版社，1975年，P64。
- [ 2 ] Herwic. W. Kogelnik. et. al., IEEE. J. QE., QE-8. NO. 8 1972, P373.
- [ 3 ] 张光寅：光学学报，1. No3. 1981, P203。

## A New Design for Laser Cavity Structure with Multi-Reflector

Ye Ziqing Jing Baoquan Huang Zhifeng

### Abstract

In this paper, a new method for designing laser cavity structure is presented. In this method parameters are separated for the calculation. The calculation procedure is simpler and range of application is wider than other methods.