

# 双棒串接声光调Q Nd: YAG 激光谐振腔的分析计算<sup>†</sup>

陈莹 杨盛谊

(北京市激光技术实验室, 北京, 100022)

**摘要** 对两个 YAG 棒串接加两个声光器件的平平对称激光谐振腔, 计算了稳定区, 基模束腰半径和棒的主平面位置的光斑半径及模体积, 找出了腔内光束参数随腔长的变化规律, 并给出了腔长的参考范围.

**关键词** 双棒串接, 声光调 Q, 谐振腔

**分类号** TN23.23, TN23.34

目前国内的 Nd: YAG 激光雕刻机的声光调 Q Nd: YAG 激光器是采用单棒加一个声光器件来实现的, 激光的平均功率一般为 30~50 W, 功率小势必影响雕刻速度, 限制了材料的范围. 本文研究用两支 YAG 棒串接, 加两个声光器件的方法, 以提高声光调 Q YAG 激光器的功率.

## 1 谐振腔稳定区的分析

双棒串接加两个声光器件, 采用的是平平对称谐振腔结构(如图 1).

YAG 棒用两支氩灯泵浦, 两支棒均采用  $\phi 6 \times 120$  mm. 由于是平平对称腔, 束腰位置就位于  $M_1, M_2$  镜面上和棒 1, 2 之间的中心, 两个声光器件分别置于  $M_1$  和  $M_2$  平面镜附近. 为此, 应求出谐振腔在稳定区范围之内, 束腰处光斑半径及棒的主平面位置的光斑半径, 以确定相应的腔长.

加入声光器件只是对腔的光程长度有所改变, 腔的稳定区的计算与不加声光器件的方法是一样的, 下面来进行分析.

由于棒的热透镜效应, YAG 棒等效于屈光度为  $D$  的厚透镜<sup>[1]</sup>(见图 2).

屈光度  $D = 1 / f$ ,  $f$  为棒 1, 2 的热透镜焦距, 图 2 中的虚线处为棒等效于厚透镜的主平面位置, 距离棒端面  $h = l_{\text{rod}} / 2n$ ,  $l_{\text{rod}}$  为 YAG 棒的长度,  $n$  为棒的折射率,  $d_{1,2}$  分别是镜  $M_{1,2}$  到相邻棒的主平面的距离,  $d_m$  为两棒主面间距.

图 2 中, 以  $M_1$  为参考面, 其光线单程传输矩阵的积为

收稿日期: 1997-03-07

<sup>†</sup> 北京市科技新星计划资助项目

$$M = \begin{vmatrix} a' & b' \\ c' & d' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & d_2 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -D & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & d_m \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ -D & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & d_1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$$



图1 双棒 双器件的谐振腔示意图

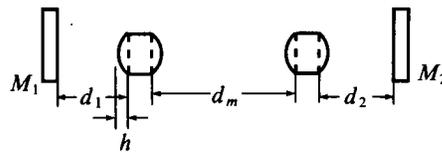


图2 双棒等效于厚透镜的谐振腔示意图

由于是对称腔有

$$d_1 = d_2 = d \quad d_m = 2d$$

所以

$$M = \begin{vmatrix} a' & b' \\ c' & d' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 - 4dD + 2d^2D^2 & 4d - 6d^2D + 2d^3D^2 \\ -2D + 2dD^2 & 1 - 4dD + 2d^2D^2 \end{vmatrix} \quad (1)$$

谐振腔的  $g$  参数为

$$g_1 = g_2 = a' = 1 - 4dD + 2d^2D^2 \quad (2)$$

由

$$0 < g_1 g_2 < 1$$

得到有效稳定区范围

$$0 < d < 2 / D = 2f$$

若声光器件晶体的长度为  $l_{A.O}$ ，折射率为  $n_{A.O}$ ，则  $M_1$  至棒1主面位置的几何长度  $d'$

$$d' = d - (n_{A.O} - 1)l_{A.O} \quad (3)$$

则稳定区

$$0 < d' < 2f - (n_{A.O} - 1)l_{A.O}$$

依据热透镜效应，实际棒的屈光度与泵浦功率、水冷却、棒的材料参数等因素有关，用经扩束的 He - Ne 激光测量了在不同泵浦功率下棒的热焦距参数(见表 1)。

表1 热透镜焦距  $f$  随泵浦功率  $P_m$  的变化

|          |     |     |     |     |     |     |     |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Pin / kW | 3.7 | 4.4 | 5.1 | 5.7 | 6.3 | 7.0 | 7.8 |
| f / mm   | 450 | 370 | 300 | 260 | 210 | 180 | 170 |

泵浦功率在 3.7~7.8 kW，对应氩灯工作电流为 12~24 A，相应有不同的热透镜焦距，但是稳定区的选择只能针对某一  $f$  值而定，而谐振腔的参数计算规律，对于任一  $f$  值是一样的，取  $f = 200$  mm 作为参考值， $l_{A.O} = 50$  mm， $n_{A.O} = 1.5$ ，所以有效稳定区范围  $0 < d < 400$ ，而几何稳定区范围  $0 < d' < 375$ 。

## 2 谐振腔内的光束参数计算

### 2.1 基模束腰半径

在图 2 中, 设  $M_1$  处的基模束腰半径为  $\omega_{01}$ , 将图 2 中的谐振腔等效于一空腔<sup>[1]</sup>, 单程矩阵为

$$M = \begin{vmatrix} g_1^* & L^* \\ \frac{g_1^* g_2^* - 1}{L^*} & g_2^* \end{vmatrix} \quad (4)$$

比较 (1) 式、(4) 式得到等效谐振腔的参数

$$\begin{aligned} g_1^* &= g_2^* = 1 - 4dD + 2d^2D^2 \\ L^* &= 4d - 6d^2D + 2d^3D^2 \end{aligned} \quad (5)$$

$M_1$  处的基模束腰半径  $\omega_{01}$  表示为

$$\omega_{01}^2 = \frac{\lambda}{\pi} \frac{L^*}{\sqrt{1 - g_1^* g_2^*}} = \frac{\lambda}{\pi} \frac{4d - 6d^2D + 2d^3D^2}{\sqrt{1 - (1 - 4dD + 2d^2D^2)^2}} \quad (6)$$

(6) 式可以简化为

$$\omega_{01}^2 = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{2d / D - d^2} \quad (7)$$

在稳定区  $0 < d < 400$  内,  $d$  取不同值计算  $\omega_{01}$ , 限于聚光腔外型尺寸 (长为 270 mm),  $d$  取太小无意义, 所以  $d_{\min} = 100$  mm, 见表 2.  $d = f$  时  $\omega_{01}$  有最大值, 在  $d < f$ ,  $d > f$  时, 对应  $\omega_{01}$  的值相等.

表2 腔内基模束腰半径随腔长  $d$  值的变化

| $d / \text{mm}$           | 350   | 300   | 250   | 200   | 150   | 100   |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\omega_{01} / \text{mm}$ | 0.211 | 0.242 | 0.256 | 0.260 | 0.256 | 0.242 |

### 2.2 棒上基模光斑半径及模体积

图 2 中棒长  $l_{\text{rod}} = 120$  mm, 则主面位置  $h = l_{\text{rod}} / 2n = 33$  mm,  $\lambda = \lambda_0 / n$ ,  $n = 1.82$ , 棒的主平面上基模光斑半径  $\omega_{0L}$ <sup>[2]</sup> 化简为

$$\omega_{0L}^2 = \omega_{01}^2 \left[ 1 + \left( \frac{\lambda d}{\pi \omega_{01}^2} \right)^2 \right] \quad (8)$$

在稳定区内取不同  $d$  值, 由表 2 的计算结果求得相应主平面上的基模光斑半径  $\omega_{0L}$ , 见表 3.

同样, 棒端面上的基模光斑半径  $\omega$  可由下式求出

$$\omega^2 = \omega_{01}^2 \left[ 1 + \left( \frac{\lambda(d-h)}{\pi \omega_{01}^2} \right)^2 \right] \quad (9)$$

取不同  $d$  值, 求出相应的  $\omega$  (见表 3).

这样棒上基模光束的模体积  $V^{[3]}$

$$V \approx 2 \times \frac{1}{2} h \pi (\omega^2 + \omega_{0L}^2) + \omega_{0L}^2 \pi (l_{\text{rod}} - 2h) \quad (10)$$

表3 腔内棒的主平面、棒端面的基模光斑半径及模体积随腔长  $d$  值的变化

| $d/\text{mm}$           | 350    | 300    | 250    | 200    | 150    | 100    |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $\omega_{01}/\text{mm}$ | 0.211  | 0.242  | 0.256  | 0.260  | 0.256  | 0.242  |
| $\omega_{0L}/\text{mm}$ | 0.373  | 0.334  | 0.313  | 0.296  | 0.278  | 0.253  |
| $\omega/\text{mm}$      | 0.349  | 0.317  | 0.300  | 0.286  | 0.269  | 0.247  |
| $V/\text{mm}^3$         | 50.628 | 40.887 | 36.089 | 32.140 | 28.610 | 23.087 |

由表 3 看出, 随着  $d$  的增加, 模体积  $V$  也大的多.

### 3 讨论

从表 2 及表 3 的计算数据得出, 当  $0 < d < f$  时, 随着  $d$  值的增大, 腔镜面上的光斑半径也增大, 而当  $f < d < 2f$  时则相反. 在  $0 < d < 2f$  范围内, 棒上的基模光斑半径和模体积随着  $d$  的增大而增大. 在激光谐振腔长的选择上, 我们要考虑以下因素: 在稳定区范围内, 棒上的光斑半径要大, 即模体积大, 能充分利用棒的有效尺寸, 以提高激光功率;  $M_{1,2}$  腔镜位置的光束应有一定大小, 使得放置声光器件时, 既要充满声场的宽度, 又不能太小, 而造成器件处光斑的功率密度太大, 使衍射效率降低. 所以, 声光调 Q YAG 激光器在某个固定的工作电流和相应的棒的热透镜焦距值  $f$  条件下, 就可根据以上的计算分析来确定腔长的取值. 若棒尺寸为  $6 \times 120 \text{ mm}$ , 热透镜焦  $f = 200 \text{ mm}$ , 主平面距棒的端面距离  $h = 33 \text{ mm}$ , 声光器件晶体长度  $l_{\text{rod}} = 50$ , 则双棒串接加两个声光器件的激光谐振腔的  $d$  可取  $f \leq d < 2f$ , 几何腔长参考范围可取大于  $858 \text{ mm}$  小于  $1485 \text{ mm}$ .

致谢: 本文得到了实验室主任王伟祥教授的精心指导, 在此表示感谢!

#### 参 考 文 献

- 1 Driedger K P. Multirod Resonators for High-Power Solid-State Lasers with Improved Beam Quality. IEEE Journal of Quantum Electronics, 1988, 24(4): 665~673
- 2 Kortz H P. Stability and Beam Divergence of Multimode Lasers with Internal Variable Lenses. Applied Optics, 1981, 20(23): 4124~4134
- 3 杨盛谊. 双棒串接单级与双级 Nd:YAG 激光器的分析. 应用光学, 1997, 17(4): 161~163

# **Analysis and Calculation of Two-rod Nd: YAG-Q-switch-laser Resonator**

Chen Ying Yang Shengyi

( Beijing Laboratory of Laser Technology, Beijing Polytechnic University, 100022 )

**Abstract** The stable operation region is calculated for a symmetric plane-plane resonators with two rods and two acoustooptical devices connected in series. While the fundamental mode waist radius and the spot size in the principal planes of the rods are also presented. In addition, the parameters of the beam versus the various lengths of the resonator, and the range of the resonator length are given.

**Keywords** two-rod, Q-switch, resonator