

文章编号: 1006-1088(2003)05-0021-03

双棒串接 Nd:YAG 激光器输出功率特性研究

常春耘

(华东船舶工业学院 电子与信息系, 江苏 镇江 212003)

摘 要: 根据激光谐振腔理论, 详细分析了双棒串接平—平谐振腔的动态稳定性。在此基础上, 以最佳输出功率曲线为目标, 选择了一组腔参数。实验结果表明, 该激光器在较宽的泵浦功率范围内, 其输出功率与输入呈现良好的线性关系, 获得了 632 W 的输出功率。

关键词: Nd:YAG 激光器; 动态稳定性; 输出功率

中图分类号: TN248.13

文献标识码: A

Study on the Output Power Characteristic of Two-rod Nd:YAG Laser

CHANG Chun-yun

(Dept. of Electronics and Information, East China Shipbuilding Institute, Zhenjiang Jiangsu 212003, China)

Abstract: By using the theory of resonator, this paper analyzes the dynamic stability of a two-rods Nd:YAG laser system in detail. On this foundation, a set of parameters of the resonator is selected regarding the best output power curve as the target. Experimental results show that the laser has a large pump power zone, its output and input present a good linear relation, and the output power of 632W can be attained.

Key words: Nd:YAG laser; dynamic stability; output power

发展工业应用的高功率固体激光器是目前研究的热点之一, 除了要求大尺寸优质的 Nd:YAG 晶体之外, 采用多棒串接是提高 Nd:YAG 激光器输出功率的主要方法^[1,2]。光泵 Nd:YAG 激光器的热效应会在 YAG 棒中引起轴向热伸长和径向折射率梯度, 从而产生激光介质的热透镜效应^[3,4], 这类激光器的输出功率密切依赖于热作用。这对于激光器的实际应用十分不利。多棒串接的 Nd:YAG 激光器在泵浦的全部范围内会出现多个稳区和非稳区, 因而其输出功率曲线通常会有多峰结构, 对于许多实际应用则希望激光器在输入功率允许的宽范围内, 其输出功率随泵浦功率的提高而稳定地增加。本文以此为出发点, 运用激光谐振腔的矩阵理论详细分析了双棒串接平—平谐振腔的动态稳定性, 根据在泵浦功率允许的范围内激光器运行于动力学稳定区内的要求, 设计了一组腔参数并进行了实验。结果表明输出功率曲线几乎呈现为一条直线, 获得了 632 W 的输出功率。

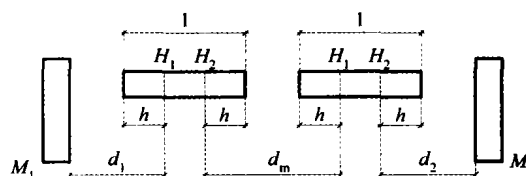


图 1 双棒串接的谐振腔结构图

Fig. 1 Resonator with two-rods inside

1 理论分析

图 1 为 2 根 Nd:YAG 棒串接的平行平面谐振腔的结构示意图。M₁、M₂ 分别为谐振腔的反射镜和

收稿日期: 2003-06-18

作者简介: 常春耘(1968-), 女, 江苏扬州人, 华东船舶工业学院工程师。

输出镜。YAG 棒的长度为 l ; H_1 、 H_2 为厚透镜的两个主面,其到棒端面的距离为 h 。 d_1 、 d_2 分别为厚透镜主面到反射镜和输出镜的距离, d_m 为 2 根 YAG 棒主面之间的距离。热焦距 f 的倒数记为 x (屈光度, m^{-1}), x 和 h 可表示为:

$$x = 4nl/b^2, h = l/2n \quad (1)$$

式中, n 为棒的折射率, l 为棒长度, b 为热效应系数。对于通常的灯泵 Nd:YAG 激光器,有经验公式^[5]:

$$x = 0.63P_{in}^\alpha \quad (2)$$

式中, $\alpha = 1 \sim 1.15$, 视冷却条件取值,本文取 $\alpha = 1.15$, P_{in} 是泵灯电功率(kW)。假设所用的 2 根 Nd:YAG 棒的屈光度相等, $X_1 = X_2 = X$, 从 M_1 到 M_2 腔内介质的单程传输矩阵为:

$$M = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & d_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d_m \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & d_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -xd_2 + (1-xd_2)(1-xd_m) & d_1(1-xd_2) + d_2(1-xd_1) + d_m(1-xd_1)(1-xd_2) \\ -(2x-x^2d_m) & -xd_1 + (1-xd_1)(1-xd_m) \end{bmatrix} \quad (3)$$

则谐振腔的 G 参数为:

$$\begin{aligned} G_1 &= a = -d_2x = (1-d_2x)(1-d_mx) \\ G_2 &= b = -d_1x + (1-d_1x)(1-d_mx) \end{aligned} \quad (4)$$

由于 x 随着泵浦功率的变化而变化,激光腔的工作点在 G_1G_2 平面上将不再是一个固定点。通常, (3) 式所表示的参数方程在 G_1G_2 平面上为一抛物线,即工作点将在 G_1G_2 平面沿抛物线运动,取 $d_1 = 20$ cm, $d_2 = 12$ cm, $d_m = 60$ cm,其谐振腔的 G 参数动态工作曲线如图 2 中的曲线 a 所示。激光腔的稳定条件为 $0 < G_1G_2 < 1$, 一般情况下抛物线和双曲线 $G_1G_2 = 1$ 及两个坐标轴各有 4 个交点,如图 2 所示。谐振腔的工作点经过 4 个稳区和 4 个非稳区。当谐振腔由稳定区进入非稳区时,随着泵浦功率的增加,会出现输出功率下降的现象。为获得适合的腔参数,取对称谐振腔结构,即 $d_1 = d_2 = d$, 此时 $G_1 = G_2 = -dx + (1-dx)(1-d_mx)$ 。

激光腔的动态工作曲线如图 3 所示为过原点的一条直线,随着泵浦功率的增加即 x 的增加,谐振腔

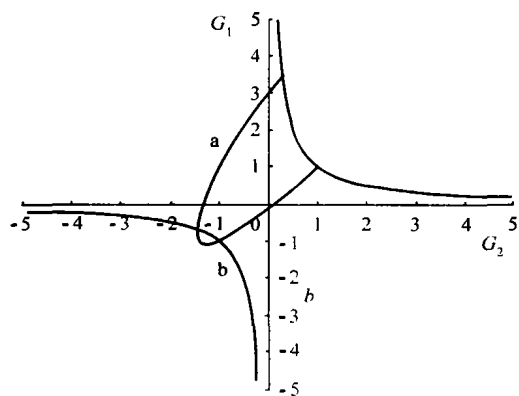


图 2 非对称谐振腔的动态工作曲线

Fig. 2 G-diagram of asymmetric resonator

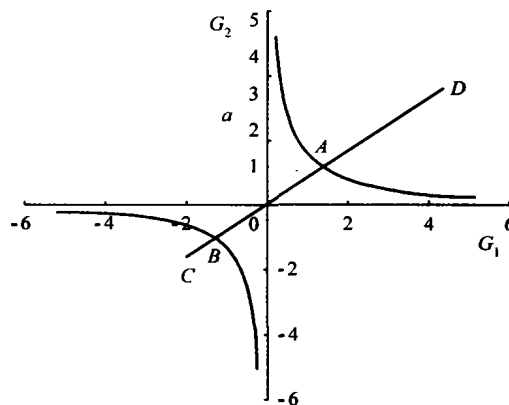


图 3 对称谐振腔的动态工作曲线

Fig. 3 G-diagram symmetric resonator

工作点以 $A(1,1)$ 为起点,依次经过原点 $O(0,0)$ 、 $B(-1,-1)$ 到达 C 点后折返,再依次经过 B 、 O 、 A 和 D 。其中 AB 段为稳区,其余为非稳区。

同时考虑实用激光器的腔长和腔镜的失调灵敏度,取 $d = 10$ cm, A 、 O 、 B 对应的 x 值分别为:

$$\begin{aligned} A: x_1 &= 0, x_2 = \frac{2}{d_m} + 5, \\ O: x_1 &= \frac{0.2 + d_m - \sqrt{0.2^2 + d_m^2}}{0.2d_m}, x_2 = \frac{0.2 + d_m + \sqrt{0.2^2 + d_m^2}}{0.2d_m}, \end{aligned}$$

$$B: x_1 = \frac{0.2 + d_m - |0.2 + d_m|}{0.2d_m}, x_2 = \frac{0.2 + d_m + |0.2 - d_m|}{0.2d_m}$$

该激光器在整个泵浦范围内工作在由 $A \rightarrow B$ 的稳区内, 由 $B \rightarrow A$ 的稳区要经过非稳区, 故稳区范围为 $(0, \frac{0.2 + d_m - |0.2 - d_m|}{0.2d_m})$ 。图 4 为激光腔的稳区范围随 d_m 的变化关系, 因该激光器最大允许的泵浦功率为 10 kW, 由(1)式可知, 在泵浦范围内最大的屈光度为 7.1 m^{-1} , 由图 4 可知 d_m 小于 0.25 m 时激光器在整个泵浦范围内都运行在稳区内。

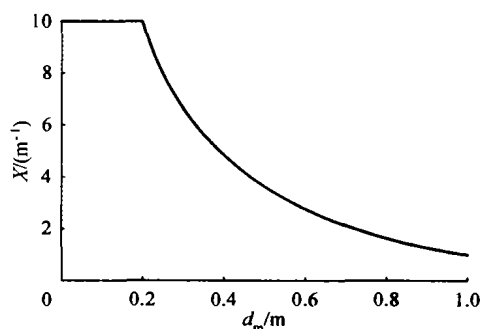
图 4 激光腔的稳区范围随 d_m 的变化关系

Fig. 4 The relationship between resonator's stable range and d_m

2 实验结果与讨论

实验中, 聚光腔为椭圆镀银聚光腔, 电源为串联负反馈稳流电源, 冷却条件采用一次水冷方式, 实验测得激光器有效振荡时的阈值为 2.2 kW, 激光棒的尺寸为 $\varnothing 8 \times 110 \text{ mm}$, 谐振腔为平行平面腔, 输出镜透过率为 40%。取 $d_1 = d_2 = 10 \text{ cm}$, $d_m = 25 \text{ cm}$, 图 5 给出了双棒串接连续泵浦 Nd:YAG 激光器的输出功率曲线。由于激光器在整个泵浦范围内一直运行在稳定区内, 随着泵浦功率的增加, 激光器输出功率基本呈线性增加, 但泵浦功率在阈值附近曲线有一小弯曲, 这是因为整个稳区有两个非稳区连接而成, 中间有一个临界点 O 点, O 点附近尽管是稳区, 但其 $G_1 G_2$ 的值接近 0, 谐振腔有一定的衍射损耗, 而该激光腔 O 点所对应的单棒泵浦功率为 2.5 kW 正好在阈值附近, 故输出功率曲线在阈值附近有一小弯曲。在单棒泵浦为 10 kW 时, 得到的最大输出功率为 623 W。

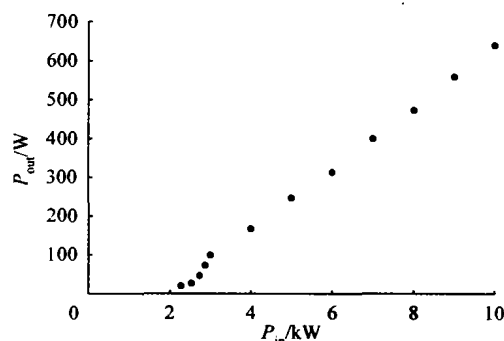


图 5 双棒串接的输出功率曲线

Fig. 5 Output power of the two-rods laser system

3 结 论

Nd:YAG 激光器应用非常广泛。在实际应用中, 既希望激光器有较高的输出功率, 又希望激光器在泵浦功率的宽范围内均能有效运行, 即输出功率随输入功率稳定增加。本文的结果对此很有参考价值。

参考文献:

- [1] 杨盛宜, 李 港, 陈 莹. 双棒串接单级与双级的 Nd:YAG 激光器的分析[J]. 应用激光, 1997, 17(4): 161.
- [2] 杨盛宜, 王振家, 侯延冰, 等. 三棒 Nd:YAG 激光谐振腔的分析[J]. 应用激光, 1999, 20(4): 50.
- [3] SILVESTRI S, LAPORTA P, MAGNI V. Novel Stability diagrams for continuous-wave solid-state laser resonators [J]. Opt. Lett., 1986, 11(8): 513.
- [4] SILVESTRI S, LAPROTA P, MAGNI V. The role of the roof position in single-mode solid-state laser resonators: optimization of a CW mode-locked Nd:YAG laser [J]. Optics Communication, 1986, 57(5): 339.
- [5] 曹 清, 罗治江, 张为俊, 等. 动态热不敏感谐振腔分析[J]. 物理学报, 1993, 42(9): 1452.

(责任编辑: 陈 辉)