

文章编号: 0258-7025(2001)10-0870-03

# 采用振荡-放大结构的声光调 $Q$ Nd:YAG 激光器及光纤传输聚焦系统\*

陈 莹 曾祥江 王立新 王伟祥

(北京工业大学激光工程研究院 北京 100022)

**提要** 研究了一种氪灯抽运的双 Nd:YAG 棒和声光调制器构成一级振荡加一级放大的声光调  $Q$  Nd:YAG 激光器。动态激光平均输出功率最大达到 169 W,在重复频率 1 kHz 时,测得脉宽 70 ns,峰值功率达到 594 kW。用芯径 0.6 mm 的全石英光纤传输激光,并设计了一套聚焦光学系统,实现了大幅面的激光雕刻工作。

**关键词** 声光调  $Q$ , Nd:YAG 振荡-放大, 光纤

**中图分类号** TN 248.1+3 **文献标识码** A

## AO $Q$ -switched Nd:YAG Laser with One Oscillator-amplifier and Its Laser Transmission System

CHEN Ying ZEN Xiang-jiang WANG Li-xin WANG Wei-xiang

(College of Laser Engineering, Beijing Polytechnic University, Beijing 100022)

**Abstract** In this paper, a kind of AO  $Q$ -switched Nd:YAG laser with one oscillator and one amplifier is studied. The oscillator and the amplifier are composed of two-Nd:YAG rod pumped by Krypton lamp and one AO modulator. The maximum average output power is 169 W. Under the condition of repetition rate 1 kHz, the pulse width is 70 ns, and the maximum peak power is 594 kW. The laser beam is delivered by an all silica fiber with diameter of 0.6 mm and focused by a group of lenses with new designed. A large scale laser deep engraving is realized.

**Key words** AO  $Q$ -switched, Nd:YAG, oscillator-amplifier, fiber

### 1 引 言

用声光调  $Q$  Nd:YAG 激光器实现的激光打标、雕刻,目前在国内已得到了较广泛的应用,取得了较好的应用效果。但是国内普遍存在的激光功率较低问题,又限制了它的应用范围。作者在研究了谐振腔内用双 YAG 棒串接,由两个小功率电源驱动的声光器件作为调  $Q$  器件<sup>[1]</sup>,得到了 110 W 激光平均功率输出的基础上,又研究了一种由双棒和一个较大功率驱动的声光调制器构成的一级振荡加一级放大,使激光器功率又有了很大的提高,并且设计了一套光纤传输聚焦系统,成功实现了光纤传输大功率激光和雕刻工作。

### 2 谐振腔型结构的比较

声光调制器及驱动电源是声光调  $Q$  Nd:YAG 激光器中的重要器件,目前国内对该种器件的研究也取得了较大的进展。本文中所用的驱动电源电子驱动功率 80 W,中心频率 27 MHz,调制器损耗调制  $> 40\%$ ,重复频率 0.1 ~ 22 kHz 可调。

对于双棒和一个声光器件,我们研究了两种谐振腔形式。第一种如图 1 所示,棒 1,2 尺寸均为  $\phi 6 \text{ mm} \times 125 \text{ mm}$ ,单个激光电源最大输入电功率为 10 kW。多棒串接以对称腔为最佳状态<sup>[2]</sup>,由于棒的热效应导致折射率的改变,腔的中心及两腔镜位置为光束束腰位置,声光调制器放在腔的中心处,输出镜对  $1.06 \mu\text{m}$  的透过率为 30%,在不同腔长  $L$  下得到在  $L = 1000 \text{ mm}$  时动态平均功率有最大值。经快速响应二极管及 100 MHz 日本 Tektronix 示波器测量,测试结果见表 1。

\* 北京市科委科技新星计划资助项目。

收稿日期 2000-07-10;收到修改稿日期 2000-09-28

表中,  $f$  为重复频率,  $P_{in}$  为总注入电功率,  $\Delta t$  为激光脉冲宽,  $P_{out}$  为激光最大动态平均功率,  $P_p$  为激光峰值功率。在激光动态输出功率达到 169 W 时, 在相同条件下静态时的激光输出功率为 188 W, AO 插入损耗约为 10%。

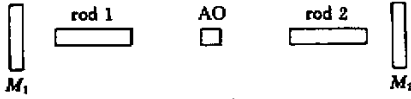


图 1 双棒加一个声光器件腔型图

Fig. 1 Schematic diagram of two-rod and one-AO resonator

表 1 测试结果

Table 1 Results of measurement

$f$ / kHz	$P_{in}$ / kW	$\Delta t$ / ns	$P_{out}$ / W	$P_p$ / kW
22	15	380	169	20.2
1	15	190	33.8	177

在声光调 Q Nd:YAG 激光器中, 除了平均功率外, 重复频率及峰值功率也是重要的指标, 由于上述腔型中激光输出的脉宽较大, 限制了激光峰值功率的提高。

图 2 中采用了一种振荡-放大结构, 可由振荡器决定其脉冲宽度、光束发散角等模参数, 而由放大器决定其脉冲的能量或功率, 这样就可使振荡器运转在较低能量水平以缩小光束的脉宽。

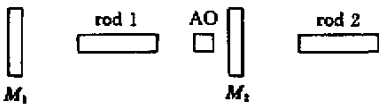


图 2 振荡加放大腔型结构图

Fig. 2 Schematic diagram of oscillator and amplifier

图 2 中各光学元件的参数和图 1 相同, 取振荡器腔长 500 mm, 将另一个 YAG 棒作为放大器置于振荡器输出镜之外, 由于 YAG 棒两端面镀有对  $1.06 \mu\text{m}$  的增透膜, 所以可以不考虑级间光束反馈的影响, 但应考虑振荡级和放大级的光束孔径的匹配问题。用套孔法测量, 在注入功率为  $P = 8.7 \text{ kW}$ ,  $f = 22 \text{ kHz}$  时, 振荡级后的光束发散全角约为  $7 \text{ mrad}$ , 在距离输出镜 200 mm 处的光斑大约为  $4.5 \text{ mm}$ , 所以将放大级中 YAG 棒的一端放在至输出镜 200 mm 左右, 都能得到较好的光束孔径匹配。在放大级后的测量数据见表 2 (此时振荡级中的两只灯注入电功率最大为  $8.6 \text{ kW}$ , 放大级中

为  $9.1 \text{ kW}$ )。

表 2 测试结果

Table 2 Results of measurement

$f$ / kHz	$P_{in}$ / kW	$\Delta t$ / ns	$P_{out}$ / W	$P_p$ / kW
22	17.7	350	169	21.9
1	17.7	70 (see Fig. 3)	41.6	594

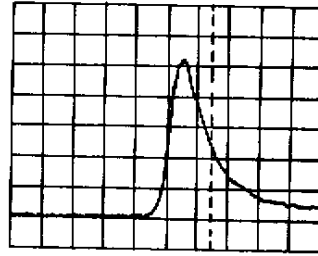


图 3 重复频率 1 kHz 时的激光脉冲波形

Fig. 3 Waveform of the laser pulse in  $f = 1 \text{ kHz}$

### 3 激光的传输、聚焦系统

激光传输系统采用图 4 所示的光学结构, 用一扩束比为  $3 \times$  的扩束镜对发散光束进行准直, 压缩激光发散角, 用焦长 40 mm 的透镜会聚光束至光纤端面, 在整个光路调整过程中, 要严格将 He-Ne 指示光和 YAG 激光同光路。

在材料加工过程中, 激光束无论是由反射镜组传输再聚焦或是由光纤传输再聚焦, 总是希望能够增大聚焦点上的功率密度, 而光纤传输的不利方面是其整体的能量损耗以及光束从光纤的出射端的发散角较大。一般来说, 光纤出射端的发散角比入射端的更大一些, 这样给聚焦镜的设计增加了难度。在过去的文献 [3] 中, 一个典型的光纤聚焦系统如图 5(a) 所示,  $d_f$  为光纤芯径,  $d_s$  为聚焦点大小。

根据关系式:  $d_s = d_f \times f_2 / f_1$ , 只有减小  $f_2 / f_1$  的比例, 才得到比芯径  $d_f$  更加小的聚焦点。实际上由于透镜的数值孔径的限制, 若想加大  $f_1$ , 并减少  $f_2$ , 只会造成部分激光功率的损耗, 而要保证输出透镜和工件的安全距离  $f_2$  将不可能太小。图 5(a) 中的结构是不可能满足实际加工需要的。为此图 5(b) 中的光学系统将能够弥补以上不足。

在  $f_1, f_2$  透镜的基础上, 光路中增加了透镜焦距为  $f_3, f_4$  的伽里略望远镜, 避开开普勒望远镜中形成焦点将因功率密度太高而击穿空气, 使光能量损耗过大, 有

关系式 :

$$d_s = d_f \times \frac{f_2}{f_1} \times \frac{1}{f_4/f_3}$$

若  $f_4/f_3 > 1$  将使  $d_s < d_f$  成为可能。实际上 , 光纤芯径

$d_f = 0.6 \text{ mm}$  ,  $f_1 = 40 \text{ mm}$  ,  $f_2 = 30 \text{ mm}$  ,  $f_4/f_3 = 2 \times$  , 可得聚焦点  $d_s = 0.25 \text{ mm}$ 。经测量总激光传输效率为 86.9%。

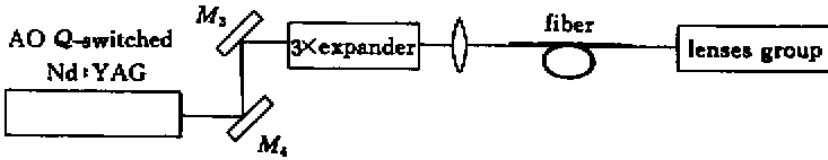


图 4 激光光束传输系统

Fig.4 System of laser beam transmission

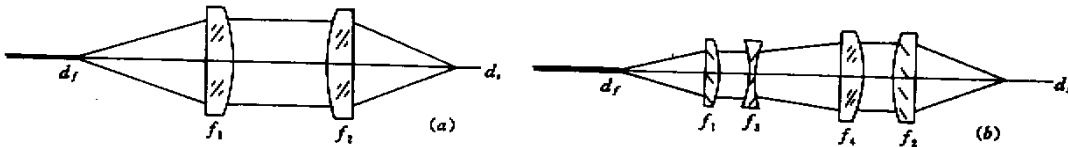


图 5 透镜组

Fig.5 Lenses group

## 4 结 论

由一振荡-放大结构构成的双棒和一个声光器件的调 Q Nd:YAG 激光器 , 动态激光平均功率达到了 169 W , 在重复频率  $f = 1 \text{ kHz}$  时 , 脉宽 70 ns , 峰值功率达到 594 kW , 用芯径 0.6 mm 的石英光纤传输激光 , 并设计了一聚焦光学系统 , 达到了减少聚焦点的目的。由幅面 1230 mm × 1025 mm 的二维传动机构带动光笔 , 实现了大幅面的激光深雕。

## 参 考 文 献

- 1 Chen Ying , Wang Lixin , Zeng Xiangjiang *et al.* . Research of the Q-switched Nd : YAG laser with two-YAG rods and two-AO Q-switches. *Chinese J. Lasers* ( 中国激光 ) , 2000 , **A27** ( 9 ) : 782 ~ 784 ( in Chinese )
- 2 K. P. Driedger , R. M. Iffländer , H. Weber. Multirod resonators for high-power solid-state lasers with improved beam quality. *IEEE J. Quantum Electron.* , 1988 , **24** ( 4 ) : 665 ~ 674
- 3 Chen Ying. Laser engraving by optical fiber transmission. *Appl. Opt.* ( 应用光学 ) , 1996 , **17** ( 3 ) : 23 ~ 25 ( in Chinese )