

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0129-03

灯抽运 Nd:YAG 单程行波激光放大器研究

曹三松 张向阳 黄燕琳 李光荣 苏心智

(西南技术物理研究所, 成都 610041)

摘要 从理论和实验两个方面对灯抽运 Nd:YAG 单程行波激光放大器进行了研究,介绍了这种激光放大器的设计方法,并给出了所设计的 Nd:YAG 激光振荡-放大系统的实验结果。

关键词 Nd:YAG 激光器, 单程行波放大, 灯抽运

中图分类号 TN248.1⁺3 文献标识码 A

Study on Flashlamp-Pumped Nd:YAG Single-pass Laser Amplifiers

CAO San-song ZHANG Xiang-yang HUANG Yan-lin LI Guang-rong SU Xin-zhi

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041)

Abstract The output of flashlamp-pumped Nd:YAG single-pass laser amplifiers has been studied in theory and experiment. Design criteria are outlined. The results obtained with an oscillator/amplifier Nd:YAG laser system are presented.

Key words Nd:YAG lasers, single-pass laser amplifier, flashlamp-pumped

1 引言

近年来,高平均功率长脉冲 Nd:YAG 激光器技术取得了显著的进展^[1],千瓦级的 Nd:YAG 激光系统已进入商业市场,取得很多工业应用成果。然而调 Q 脉冲高平均功率 Nd:YAG 激光器的研究报道较少,实际上这种重复频率脉冲运转的高峰值功率固体激光器在工业和军事等领域具有较多的应用需求,因此研究高平均功率 Q 开关窄脉冲固体激光器及技术具有重要的意义。从目前激光材料研究的现状来看,适合高平均功率 Q 开关窄脉冲激光运转的固体激光材料仍然很少,通常只能选择 Nd:YAG 晶体作为激光工作物质。由于 Nd:YAG 激光材料的亚稳态能级粒子寿命较短,贮能不高,单级器件难以实现高平均功率窄脉冲激光输出,为此人们采用激光放大技术来提高 Q 开关 Nd:YAG 激光器的输出平均功率。对振荡-放大结构形式的 Q 开关 Nd:YAG 激光器,国内外的一些学者曾作过研究^[2~5],我们在此基础上,对灯抽运 Q 开关 Nd:YAG 激光单程行波放大器进行了研究,目的是使 Nd:YAG 固体激光器产生高平均功率调 Q 脉冲激光输出,以满足应用的需求。

2 理论研究

单程行波激光放大是一种非反馈激光放大,入射信号光在处于粒子数反转的激光放大介质中随作用距离的增大而不断地被放大。虽然 Nd:YAG 晶体是一个四能级系统,由于信号光为调 Q 激光脉冲,故可略去下能级向基态的跃迁,将问题简化为二能级模型,则行波放大得到的激光脉冲能量 $E(x)$ 建立的微分方程为可表示为^[6]

$$\frac{dE(x)}{dx} = E_x \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{E(x)}{E_s}\right] \right\} - \alpha E(x) \quad (1)$$

式中 E_x 为放大激光介质的贮能密度, E_s 为饱和能量密度, α 是激光放大介质单位长度的损耗系数(包括衍射、散射和吸收损耗)。采用集中损耗的近似方法求解微分方程(1),可得出单程行波激光放大器激光输出能量密度的表达式

$$E_{out} = E_s \exp(-\alpha L) \times$$

$$\ln \left\{ 1 + \left[\exp\left(\frac{E_{in}}{E_s}\right) - 1 \right] \exp\left(\frac{E_x L}{E_s}\right) \right\} \quad (2)$$

式中 E_{in} 是注入放大器的信号激光能量密度 (J/cm^2), L 是激光放大介质的长度。对激光放大器输出能量公式(2)进行分析可知:当放大激光介质确定以后, α 、 L 、 E_s 已知,在一定的信号能量注入

下,激光放大器输出能量的大小取决于放大介质中反转粒子数的贮能 E_s 的大小。因此求出激光放大器贮能,就能根据公式(2) 得出不同工作条件下激光放大器的性能,即总输出能量与抽运能量的关系。

在固体激光放大器中,是通过光抽运获得反转贮能,因此激光放大器中的贮能效率 η_s 为

$$\eta_s = \frac{E_s V}{E_p} \quad (3)$$

式中 V 是激光放大介质体积, E_p 为激光放大器的抽运能量。引入激光介质的小信号增益系数 g_0 可将贮能密度 E_s 表示为^[7]

$$E_s = g_0 E_s \quad (4)$$

由(3)式和(4)式,我们可以将小信号增益系数 g_0 解析表达如下

$$g_0 = KE_p/L \quad (5)$$

式中 K 可称为抽运系数。Nd:YAG激光放大器的抽运系数 K 与Nd:YAG晶体性能、抽运光脉宽和聚光腔的光耦合效率有关,抽运系数 K 参数可以通过阈值法由以下公式求出

$$K = \frac{2\alpha L - \ln R}{2E_{th}} \quad (6)$$

式中 R 为谐振腔输出镜反射率, E_{th} 为对应的激光阈值时的抽运能量。

将(4)式和(5)式代入(2)式,我们就从理论上得出Nd:YAG激光放大器的输出能量密度与放大级抽运能量 E_p 关系式。因此设计加工完成激光放大器后,得出它的抽运 K 参数,我们就可以从理论上预测在一定的信号注入能量下,这个激光放大器在某一个抽运能量下的输出能量。这就是说,根据实际要求激光系统的总输出能量,确定Nd:YAG激光放大器的配置(级数),合理分配各级电源的抽运能量,求得最佳的组合提取最大的能量,实现高平均功率输出。

3 实验结果

实验装置如图1所示,它由电光Q开关Nd:YAG激光振荡器和三级Nd:YAG激光放大器和测量仪器等部分组成。

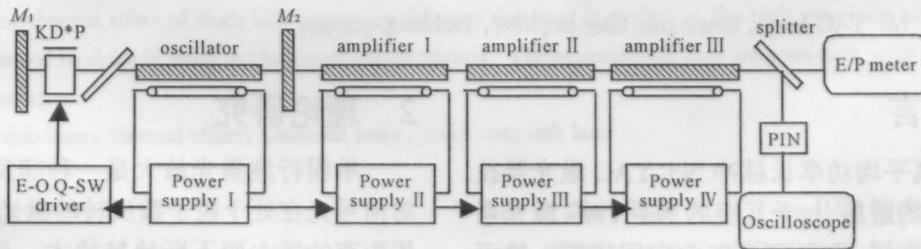


图1 实验装置示意图

Fig.1 Experimental set-up

在实验中,分别测量了这三级Nd:YAG激光放大器的抽运系数 K 和损耗系数 α ,结果如表1所示。

表1 Nd:YAG激光放大器的参数测量结果

Table 1 Measuring results of parameters for Nd:YAG laser amplifiers

Nd:YAG amplifier	Dimension /mm	Pumping coefficient K / J^{-1}	Loss coefficient α / cm^{-1}
I	$8 \times 16 \times 100$	5.7×10^{-2}	7.6×10^{-3}
II	$8 \times 16 \times 114$	6.8×10^{-2}	4.3×10^{-3}
III	$8 \times 16 \times 120$	6.8×10^{-2}	4.2×10^{-3}

当Nd:YAG振荡器提供的信号激光能量为566.6 mJ,激光脉宽7.8 ns,脉冲重复频率1 Hz时,由上述三级Nd:YAG放大器放大后总的激光输出能量与放大级的抽运能量关系由图2给出,图中同时给出了根据表1实测数据由公式(2)计算得出的理论值。该图说明实验结果与理论模型吻合较好。

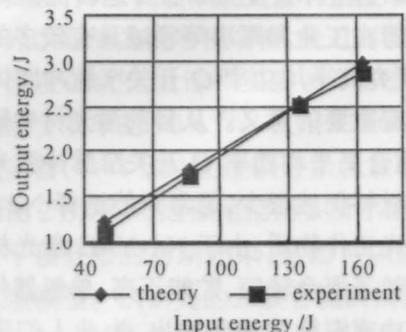


图2 Nd:YAG激光放大器的输出能量与放大级的抽运能量的关系

Fig.2 Energy extraction from Nd:YAG amplifier with pump energy

在脉冲重复频率50Hz下,一级振荡、三级放大Nd:YAG激光器Q开关激光脉冲输出平均功率与输入平均功率的关系如图3所示。当注入总平均功率为9 kW时,激光器输出平均功率达到121.5 W。

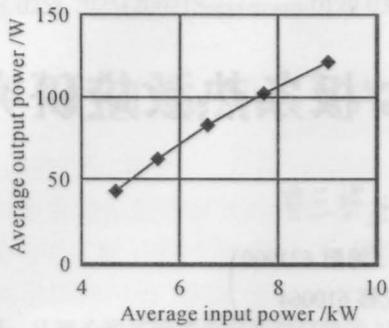


图3 激光器输出平均功率与输入平均功率的关系

Fig.3 Average output power of the laser system as a function of the average input power

采用快速光电二极管和 Tek 示波器测量的激光脉冲波形如图 4 所示,脉冲宽度为 7.9 ns。

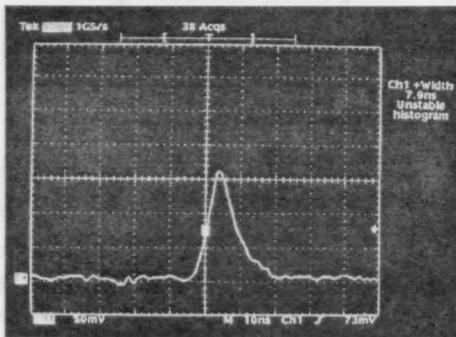


图4 激光脉冲波形

Fig.4 Temporal profile of pulses

4 结 论

我们从理论和实验两个方面研究了灯抽运

Nd:YAG 单程行波激光放大器,得出了单程行波 Nd:YAG 激光放大器输出能量与抽运能量的关系式,所得到的理论分析结果经实验证明可以用于单程行波激光放大器的优化设计。我们采用三级 Nd:YAG 单程行波放大器结构,获得平均功率 121.5 W (脉冲重复频率 50 Hz,脉宽 7.9 ns)的调 Q 激光脉冲输出,激光脉冲峰值功率大于 300 MW,总效率 1.3%。

参 考 文 献

- 1 M. Seguchi, K. Kuba. 1.4 kW Nd:YAG slab laser with a diffusive closed coupled pump cavity. *Opt. Lett.*, 1995, 20(3):300~301
- 2 E. E. Fill, K. G. V. Finckenstein. A comparison of the performance of different laser amplifier media. *IEEE J. Quant. Electron.*, 1972, QE-8:24~26
- 3 Hou Zhixiong, Zhu Xiuzhang. Theoretical and experimental study on YAG pulse laser amplifiers. *Laser & Infrared* (激光与红外), 1980, (2):14~17 (in Chinese)
- 4 Gao Zhujie. The study on mode-selected YAG laser amplifiers. *Laser Technology* (兵器激光), 1983, (4):18~21 (in Chinese)
- 5 Zhang Liming, Bao Chengfang, Qiu Wenfa. High brightness, repetitive Nd:YAG laser. *Chinese J. Quant. Electron.* (量子电子学报), 1986, (2):112~115 (in Chinese)
- 6 P. V. Avizonis, R. L. Grotbeck. Experimental and theoretical ruby laser amplifier dynamics. *J. Appl. Phys.*, 1966, 37:687~693
- 7 W. Koechner. *Solid-State Laser Engineering*. 2rd, New York: Springer Series Optical Sciences, Springer, 1988. 1~167