

文章编号:1001-5078(2006)12-01130-03

## 电光 Q 调制序列脉冲 Nd:YAG 激光器研究

郭嘉亮, 夏云, 李建章, 刘朗  
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

**摘要:**在一次氙灯矩形波放电光泵浦期间, 利用电光调制技术, 输出一个序列高频、窄脉宽 ( $\sim 10\text{ns}$ )、高峰值功率 ( $> 10\text{MW}$ ) 的脉冲激光, 激光输出能量、序列脉冲个数和周期  $T$  可根据需要而调整确定。

**关键词:**电光 Q 调制技术; 脉宽可调; 矩形放电波

**中图分类号:**TN248.1<sup>+</sup>3 **文献标识码:**A

Study on Pulse-series of Electro-optical  
Q-switched Nd:YAG LaserGUO Jia-liang, XIA Yun, LI Jian-zhang, LIU Lang  
(North China Research Institute of Electro-Optics, Beijing 100015, China)

**Abstract:** During the rectangular electric discharge impulse pumped by the lamp, we can output a series of huge pulse laser with high frequency, narrow pulse length and high peak power by using electro-optical Q-switched technology. The output energy and periodic time can be adjusted by the pulse interval time and so on.

**Key words:** electro-optical Q-switched technology; pulse-width modulation; rectangular electric discharge impulse

## 1 引言

近年来大能量、高峰值功率固体激光技术在国民经济和国防上都得到了广泛的应用。通常获得大能量、高峰值功率激光的主要技术途径是由振荡级输出的 Q 激光经多级放大器放大或多通放大实现。但是随着放大级数或多通次数的增加, 使得光学系统和电子学系统庞大复杂, 对光学器件抗破坏阈值要求苛刻, 甚至在极限状态下运行, 就会带来系统庞大、光学元件破坏、不能可靠运行等问题, 很难满足实际工作要求。我们提出采用主动电光 Q 调制序列脉冲技术的方案, 它是一种新型的、实用的 Q 调制技术, 与传统的小能量、高重频声光调制技术、被动序列脉冲调制技术等不同, 只要将传统的电光调 Q 单脉冲 Nd:YAG 激光器中的 LC 单网络氙灯放电改为  $L_i C_i$  多网络矩形波氙灯放电, 或者更进一步改用脉宽可调的矩形波氙灯放电的截波电源。这样, 在不增加额外设备的情况下, 就可以在在一次氙灯放电光泵浦期间, 利用电光序列脉冲 Q 调制技术, 输出一个籽脉冲数量、频率可控的序列高频脉冲激光。一次氙灯放电输出激光总能量, 可比单电光调 Q 脉冲激光器输出激光能量大数倍, 而且各籽脉冲仍具有传统电光调 Q 单脉冲激光的窄脉宽、高峰值功率

的特性。这种高频率序列脉冲激光对一些实际应用是一种很好的技术方案。

目前, 实用的多脉冲 Q 调制多为被动调 Q, 或连续声光调 Q 技术, 鲜见报道主动电光调 Q 的多脉冲 Q 调制技术。据报道, 美国超远程激光测距系统中应用了双脉冲 Q 调制技术<sup>[1]</sup>。

## 2 激光器设计思想和工作原理

## 2.1 工作原理

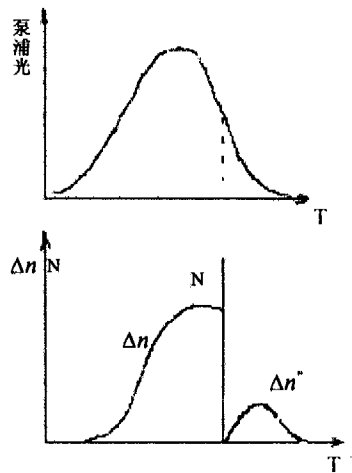
图 1(a) 为电光调 Q 单脉冲 Nd:YAG 激光器工作示意图, 其上部为灯泵光波形、下部为反转粒子数  $\Delta n$  和激光  $N$  随时间变化示意图。Nd:YAG 属于典型四能级系统, 但是在调 Q 运转中, 由于粒子在激光下能级的寿命为  $30\text{ns}$  左右<sup>[2]</sup>, 而传统的调 Q 激光器, 激光输出脉宽为  $10\text{ns}$  量级, 在这么短的时间内激光上能级受激跃迁到下能级的粒子数不能及时抽空, 而逐渐阻塞激光发射。仅有部分转换粒子数  $\Delta n'$  转换为激光, 剩余的反转粒子数  $\Delta n''$  ( $\Delta n'' = \Delta n - \Delta n'$ ) 将以自发辐射形式损耗掉。由图 1(a) 还可

**基金项目:** 固体激光技术重点实验室基金项目 (51438080104DZ2104)。

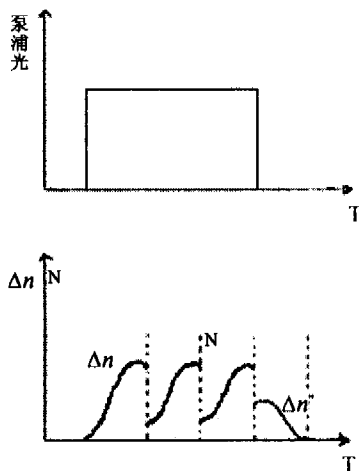
**作者简介:** 郭嘉亮 (1980 -), 男, 助理工程师, 2003 年毕业于河北大学应用物理系, 从事中小功率脉冲激光技术研究。

**收稿日期:** 2006-08-17

以看出, Q 激光输出之后未截止的氙灯泵浦光无法利用都将白白损耗掉, 氙灯后沿泵浦的反转粒子数对 Q 激光脉冲输出无贡献。因此, 单脉冲调 Q 运转方式, 总的能量提取效率不高。



(a) 电光调 Q 单脉冲工作示意图



(b) 电光 Q 调制序列脉冲工作示意图

图1 电光 Q 调制 Nd:YAG 激光器工作示意图

为了充分利用反转粒子数  $\Delta n$  和泵浦光, 我们改用脉宽可调的矩形波氙灯放电的截波型电源, 在矩形波氙灯放电光泵浦期间, 使用高频调 Q 模块进行 Q 调制, 如图 1(b) 所示。这样, 在矩形波氙灯放电的光泵浦期间进行 Q 调制, 当第一个 Q 脉冲输出后, 剩余反转粒子数  $\Delta n'$  将对第二个调 Q 脉冲有贡献, 第二个 Q 脉冲输出后, 其剩余反转粒子数  $\Delta n''$  将对第三个 Q 脉冲有贡献, ...。即每一个脉冲输出后, 剩余反转粒子数  $\Delta n'$  将对下一个激光脉冲有贡献, 直至最后一个, 其行为与单脉冲调 Q 相同。因此可以推知, 在一次氙灯泵浦期间内, 序列脉冲 Q 调制方式运转比单脉冲调 Q 方式运转的电光转换效率要高。这一点, 对于对能源严格控制的军事应用是一个优点。另外, 适当调整矩形波放电脉宽与高频 Q 调制匹配, 泵浦光也可以获得充分利用。

### 2.2 谐振腔的设计

为获得大能量输出, 要求有足够的模体积, 因此

采用非稳谐振腔的工作机制, 使用渐变反射膜可以减小输出光束的近场波动, 增加远场光束的中心亮度, 改善输出光束的近场和远场特性。

考虑到兼顾光束质量和提取效率的需要, 选用超高斯线型反射率分布的变反射镜, 其反射率线形为:

$$R(r) = R_0 \exp[-2(r/\sigma)^n]$$

式中,  $R_0$  为中心反射率;  $r$  为极坐标半径;  $\sigma$  为镜面的膜斑尺寸或反射率降到峰值的  $1/e^2$  时的径向距离;  $n$  为超高斯阶数。通过调节  $R_0$ 、 $\sigma$  就能够优化输出能量, 同时可以维持光滑的输出光束。这种谐振腔的特点是效率高、对扰动的灵敏度低、结构紧凑。

为了获得高倍放大而不破坏光学元件, 希望输出光斑的横向分布为平顶。这样既可防破坏又可获得均匀光束。能量集中, 可获得更高非线性效率<sup>[3]</sup>。

中心反射率  $R_0$  选取与器件工作方式有关。对 Q 开关激光器, 则与泵浦特性有关;  $R_0$  的选取应考虑增益的高低,  $R_0$  太小阈值高, 热效应明显, 光束质量将下降; 若  $R_0$  太大, 则阈值虽低而耦合输出变小, 腔内功率密度则变大, 易损伤元件。最后定的参数为  $R_0 = 35\%$ ,  $\omega_m = 5.0\text{mm}$ 。其全反镜为凹面镜  $R = 7.0\text{m}$ , 腔长为  $L = 400\text{mm}$ , YAG 为  $\Phi 6 \times 100\text{mm}$ 。

## 3 实验装置与实验结果

### 3.1 实验装置

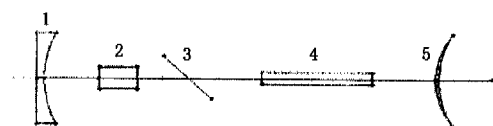


图2 激光实验装置光路图

该激光器由激光头、激光电源高频 Q 调制器及冷却系统构成, 激光器实验装置光路见图 2。其中 1 为全反镜、2 为 Q 开关、3 为偏振片、4 为 Nd:YAG 激光晶体、5 为输出镜。谐振腔腔长为 400mm。

### 3.2 实验结果

为了便于比较, 先简单介绍电光调 Q 单脉冲 Nd:YAG 激光器。

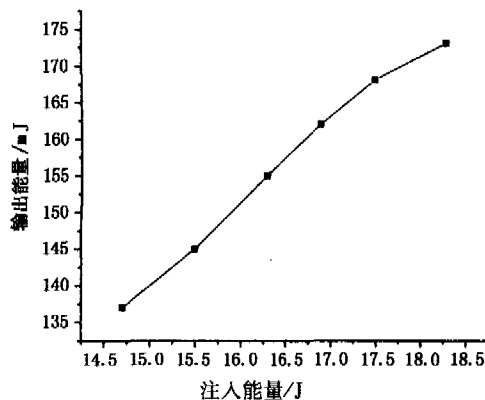
#### 3.2.1 电光调 Q 单脉冲 Nd:YAG 激光器

用原有 LC 单网络放电电源, 储能电容  $C = 60\mu\text{F}$ 。在 20Hz 条件运转下, 测泵浦光波形与泵浦光脉宽 ( $\tau = 180\mu\text{s}$ ), 通过调电压  $V$  以确定输入能量  $E = \frac{1}{2}cV^2$ , 并测出相应的输出激光能量  $E_{\text{出}}$ 、激光波

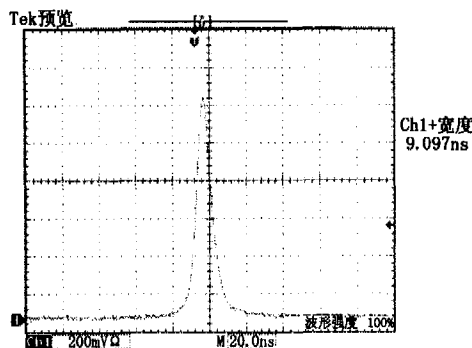
形、激光脉宽  $\tau$  与电光转换效率  $\eta = \frac{E_{\text{出}}}{E_{\text{入}}}$ 。测试数据如图 3(a)、(b) 所示, 计算电光调 Q 单脉冲激光器的电光转换效率为 0.95%, 效率较低。

#### 3.2.2 电光 Q 调制序列脉冲 Nd:YAG 激光器

(1) 电光 Q 调制序列脉冲 Nd:YAG 激光器的关键技术是:

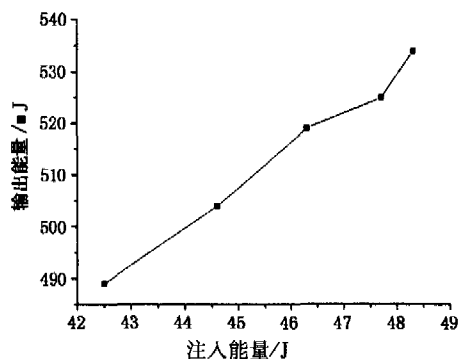


(a) 电光转换效率变化图

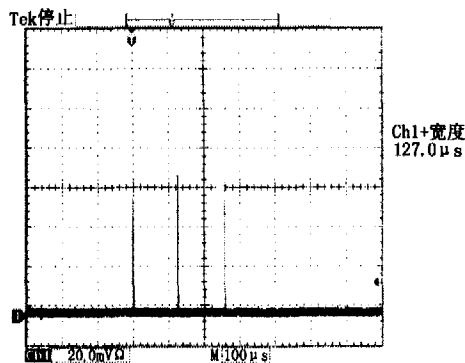


(b) 脉冲波形

图 3 单脉冲输出



(a) 电光转换效率变化图



(b) 三脉冲间隔时间图

图 4 Q 调制序列脉冲激光输出

i) 矩形波氙灯放电斩波型电源的光泵浦脉宽  $\tau_L$  和氙灯放电峰值功率  $P_m$  都可以进行调整;

ii) 高频 Q 调制发生器输出序列晶压频率  $\gamma$  可调; 特别是每个籽脉冲晶压幅度  $V_{A\lambda}$ , 波形前后沿要

陡, 脉冲宽度可调, 并能使其快速开门调 Q, Q 脉冲之后迅速关门;

iii) 在这种情况下, 才可以调整  $\tau_L$ 、 $P_m$  和序列晶压频率  $\gamma$ , 获得满足要求的脉冲串激光。

(2) 采用脉宽  $\tau_L$  可调的矩形波氙灯放电的截波型电源。每次放电能量  $E_\lambda = \frac{I_i V_i}{F}$ , 式中,  $I_i$ 、 $V_i$  分别为截波电源输入的电流和电压,  $F$  为氙灯放电工作频率。在 20Hz 工作条件下的频率和延时, 在  $E_\lambda$  和  $\tau_L$  确定后, 通过适当的调整高频 Q 调制器  $\tau_L$ ,  $\Delta t$  获得稳定的三个激光脉冲, 此时激光器工作在稳定状态。激光脉冲串间隔  $\Delta t = 127\mu s$ 、脉宽  $\tau_L = 560\mu s$ , 此时计算电光转换效率为 1.13%, 如图 4 (a)、(b) 所示。

#### 4 讨论

现进行实验的斩波电源放电脉宽  $\tau_L$  为大于  $500\mu s$ , 如继续改善矩形波放电光泵浦电源和高频 Q 调制器的性能, 有望获得更好的结果。而对于热退偏问题的解决, 还需要进一步进行研究。实际上热效应是一个慢过程, 热退偏随着输入电功率的增大而增大; 在输入功率相同的情况下, 放电脉宽  $\tau_L$  越宽, 热退偏也越大。因此, 提高放电峰值功率  $P_m$  减小  $\tau_L$ , 缩小激光序列脉冲间隔还能减小热退偏的影响。可以说, 输入功率在中小功率以下, 热退偏对激光输出能量和模式影响都不大。所以在  $E_\lambda$  和  $\tau_L$  确定后, 通过调整放电脉宽  $\tau_L$  或者序列脉冲之间的间隔时间  $\Delta t$ , 适当地调整高频模块获得稳定的三个激光脉冲, 可以解决输出激光脉冲的峰值功率涨落过大问题。

在大功率激光系统中应用多脉冲 Q 调制技术, 一次氙灯放电输出激光总能量, 可比传统电光调 Q 脉冲激光器输出激光能量大数倍, 而且高重频脉冲串与物质作用比单脉冲相同数量  $n$  多次重复作用强很多, 各籽脉冲仍具有传统调 Q 单脉冲激光的窄脉宽、高功率的特性。我们可以很方便地通过改变放电脉宽  $\tau_L$  与 Q 调制周期  $T$ , 来调整激光输出能量和激光输出序列脉冲的脉冲数及频率以满足各种不同的需求。例如: 用在光电对抗的编码激光系统中, 可对氙灯放电重频和 Q 调制频率进行双编码, 提高编码的复杂程度, 也提高了抗干扰能力和保密性; 用于对导弹导引的激光照射和导引系统, 若对编码器和接收系统改进, 也可提高抗干扰性和保密性。因此这种高频 Q 调制序列脉冲激光将有十分广阔的应用前景。

#### 参考文献:

- [1] 王永仲. 现代军用光学技术[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [2] W 克西耐尔. 固体激光工程[M]. 孙文, 等译. 北京: 科学出版社, 2002.
- [3] 吕百达. 激光光学[M]. 成都: 四川大学出版社, 1992.