

文章编号: 0258-7025(2004)01-0005-04

激光二极管列阵抽运的高稳定 Nd:YLF 环形激光器

韦 辉¹, 许世忠¹, 马忠林¹, 张生佳¹, 沈 磊¹, 曾文章², 陈绍和¹

(¹ 中国科学院上海光学精密机械研究所, 上海 201800; ² 泉州师范学院物理系, 福建 泉州 362000)

摘要 成功研制了一台激光二极管列阵(LDA)抽运的高稳定 Nd:YLF 环形激光器。用输出激光强度负反馈控制谐振腔的增益,建立了准连续的 $\sim 100 \mu\text{s}$ 宽预激光状态,然后在此预激光基础上调 Q。由于预激光模式与谐振腔固有模式一致并且具有一定强度,调 Q 脉冲的建立时间和幅度都很稳定。实验结果为:输出调 Q 脉冲强度起伏不超过 4.3%,时间抖动小于 $\pm 4 \text{ ns}$ 。

关键词 激光技术;环形激光器;负反馈;预激光;精密同步;激光二极管列阵

中图分类号 TN 248.1 文献标识码 A

LDA Pumped Highly Stable Nd:YLF Ring Laser

WEI Hui¹, XU Shi-zhong¹, MA Zhong-lin¹,

ZHANG Sheng-jia¹, SHEN Lei¹, ZENG Wen-zhang², CHEN Shao-he¹

(¹ Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)
(² Department of Physics, Quanzhou Teacher's College, Quanzhou, Fujian, 362000, China)

Abstract A LDA pumped highly stable Nd:YLF ring laser is developed. With an output laser intensity induced negative feedback control of resonator gain, a quasi-continuous pre-lase with duration of $\sim 100 \mu\text{s}$ is established, then Q-switch during this pre-lase. Because the pre-lase mode is well matched to the resonator eigenmode and with certain intensity, the build up time and intensity of Q-switched pulse are very stable. Experimental results show that intensity instability of output Q-switched pulse doesn't exceed 4.3%, and time jitter doesn't exceed $\pm 4 \text{ ns}$.

Key words laser technique; ring laser; negative feedback; pre-lase; synchronization; laser diode array

1 引 言

高稳定的单频调 Q 激光器有着极其广泛的应用,例如:激光系统中的高质量主振荡器、相干激光雷达、激光测距、微机械激光加工技术,以及众多的非线性应用等。在激光脉冲整形及能量放大系统中,还要求调 Q 脉冲具有精密时间同步的能力。这些系统要求多台激光器之间,以及主振荡器、脉冲整形器、能量放大级之间必须保持精密时间同步,因为时间漂移会严重导致输出激光脉冲波形畸变及强度起伏。

通常的被动调 Q 固体激光器,其调 Q 脉冲的时

间抖动为微秒量级。R. Beach 等^[1]的被动调 Q Nd³⁺:YLF 振荡器时间抖动为 $\pm 2 \mu\text{s}$, Robert S. Afzal 等^[2]的被动调 Q Nd:YAG 激光器时间抖动最大也达到了 $2 \mu\text{s}$ 。而通常的主动调 Q 固体激光器,其调 Q 脉冲的时间抖动则可以与激光脉冲宽度本身相比拟甚至更大^[3,4],输出激光在两个正交偏振方向上的强度比也不是固定的^[5],这样的激光器远远无法满足精密同步激光系统的要求。为了提高调 Q 激光器的稳定性,预激光(pre-lase)技术已经被应用到激光器中。G. T. Maker 等^[4]和 W. A. Clarkson 等^[6]用的是弛豫振荡自由衰减后形成的预激光,而 C. Bollig 等^[3]则采用动态调节腔内损耗所形成的

收稿日期:2002-06-28; 收到修改稿日期:2002-10-24

作者简介:韦辉(1974—),男,壮族,广西桂林人,现为中国科学院上海光学精密机械研究所博士生,主要从事激光脉冲整形和 LD 抽运固体激光器的研究。E-mail:weihuish@21cn.com

预激光,他们使用的调 Q 元件均为声光开关。

本文提出了一种普克尔盒电光调 Q 的预激光方案:用输出激光强度负反馈控制谐振腔的增益,建立一个准连续的预激光状态。然后在预激光的基础上调 Q,获得了时间和强度都很稳定的调 Q 脉冲。

2 基本原理

通常固体激光器采用的调 Q 方式有两种:1) 饱和吸收晶体被动调 Q;2) 电光开关或声光开关主动调 Q。这两种方法产生的调 Q 脉冲,其时间抖动较大(被动调 Q 为 $\sim \mu\text{s}$ 量级,主动调 Q 为 $\sim 100 \text{ ns}$ 量级),无法满足精密同步的要求。

采用饱和吸收晶体被动调 Q 的固体激光器中,调 Q 晶体的饱和吸收阈值是固定的,当谐振腔内的光功率密度达到该特定水平时晶体变得透明,巨脉冲便开始迅速建立起来。但是由于抽运源的不稳定,每次达到晶体饱和吸收阈值所需的时间是不同的:如果抽运瞬时偏高,则晶体提前达到饱和吸收状态。即巨脉冲开始建立的时刻是不确定的,其变化范围为 $\sim \mu\text{s}$ 量级(相对于抽运开始的时刻而言)。也就是说,抽运源的能量起伏转化为调 Q 脉冲建立时间的漂移。实验中发现,对于脉冲氙灯或激光二极管阵列抽运的被动调 Q Nd:YLF 固体激光器,其输出调 Q 脉冲的时间抖动均为 $10 \sim 20 \mu\text{s}$ 。

另一方面,通常用电光开关或声光开关主动调 Q 的固体激光器中,由于调 Q 之前谐振腔处于完全关闭状态,调 Q 瞬间谐振腔内不存在激光振荡。Q 开关打开后,调 Q 脉冲才开始由自发辐射噪声逐渐建立起来。自发辐射噪声本身非常弱,而且模式与谐振腔的固有模式不一致,它通常包含多个很接近的模式。此时反转粒子数很大,这些模式都可能满足增益大于损耗的振荡条件,于是在调 Q 过程中出现模式竞争,导致巨脉冲的建立时间变化很大,其时间抖动可以达到 $\sim 100 \text{ ns}$ 量级,也不能满足精密同步的要求。

为了解决时间精密同步的问题,我们设想:先建立一个准连续的、强度比自发辐射噪声高很多的预激光状态,然后在此预激光的基础上调 Q。由于预激光比自发辐射噪声强得多,而且其模式与谐振腔的固有模式相匹配,在低增益条件下有利于抑制其他模式的振荡,有效地消除了调 Q 过程中的模式竞争。所以调 Q 脉冲的建立过程非常稳定,最终调 Q 脉冲的时间抖动和强度起伏也很小。这种高稳定的

固体激光器可用于需要精密同步的脉冲整形及放大系统中。

3 实验装置

我们研制的高稳定 Nd:YLF 环形激光器实验装置如图 1,其基本结构是一台 LDA 抽运的 Nd:YLF 环形激光器。抽运峰值功率为 2 kW ,抽运波长 797 nm ,抽运时间 $520 \mu\text{s}$,采用侧面抽运方式。环形激光器输出激光波长为 1053 nm ,重复工作频率 1 Hz 。TFP 为薄膜偏振镜,M. S. 为模式选择器。法拉第转子与波片的作用是使正反两个方向的激光振荡具有不同的损耗,从而最终导致激光形成单向运转。谐振腔内采用了两个普克尔盒,第一个普克尔盒 PC_1 用于调 Q,第二个普克尔盒 PC_2 用来动态地控制谐振腔的损耗。

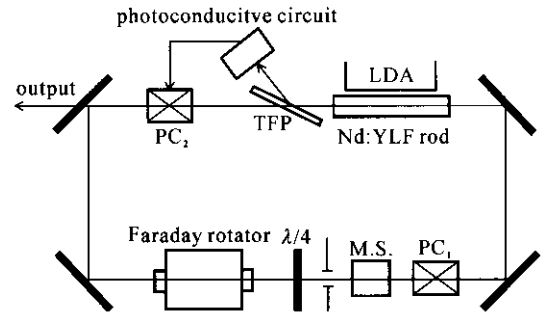


图 1 高稳定环形激光器示意图

Fig. 1 Schematic of the highly stable ring laser

准连续预激光的获得是通过光强负反馈技术。激光在环形谐振腔内单向运转,通过薄膜偏振镜 TFP 时,一小部分激光能量被 TFP 反射到腔外,照射到光电导开关上。光电导开关输出一个正比于激光强度的高压信号,施加到普克尔盒 PC_2 上,使激光脉冲通过 PC_2 后偏振面发生旋转,下一次不能全部通过 TFP,相当于在谐振腔内引入了一个可控制的动态损耗。光路配置使得谐振腔的增益与激光强度成负反馈关系:激光越强,光电导开关输出的高压信号越大,激光偏振面旋转越厉害,经过 TFP 时损耗越大,于是腔的增益越低。光强负反馈机制的存在,使原来弛豫振荡的脉冲序列转化为一个较平坦、准连续的预激光。然后在预激光的中部打开普克尔盒 PC_1 ,激光器调 Q,巨脉冲稳定地建立起来。

4 实验结果

首先,在第一个普克尔盒 PC_1 上施加一个静态

电压(~ 2 kV), 引入一个固定的直流损耗。提高抽运直到有激光输出, 这时激光器工作在略高于阈值状态, 腔内有一定强度的激光输出, 其波形如图 2, 为典型的弛豫振荡。然后打开光电导负反馈线路, 由 PC_2 引入一个随光强变化的动态损耗, 使谐振腔的增益跟激光强度呈反比变化: 激光越强, 增益越低。于是原来弛豫振荡的分立尖峰序列被压低、展宽成为一个比较平坦的区域(如图 3), 这就是预激光状态。将调 Q 时刻选在预激光的中间位置附近, 因此调 Q 时图 3 预激光后面的尖峰序列实际上是不存在的。预激光的特点是: 比自发辐射噪声强许多; 而且其模式与谐振腔的固有模式相匹配。因为此时谐振腔增益较低, 只有最接近增益曲线峰值的模式才可能形成振荡, 从而抑制了其他模式的产生。

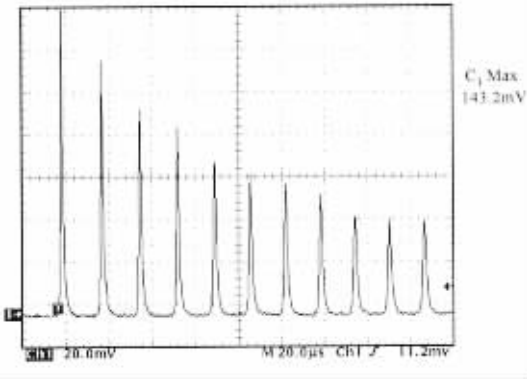


图 2 高于阈值时的弛豫振荡

Fig. 2 Relaxation oscillation with above threshold

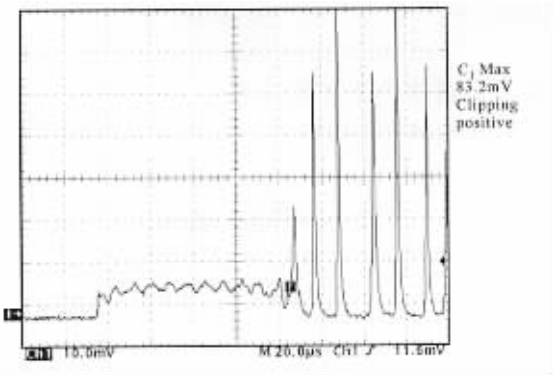


图 3 预激光波形(未调 Q)

Fig. 3 Waveform of pre-lase (non-Q-switched)

然后在预激光的中间位置附近打开普克尔盒 PC_1 , 对激光器调 Q, 图 4 为输出调 Q 脉冲波形连续 50 次的叠加。需要指出的是, 图 4 中示波器设置为外触发方式, 触发信号来自打开 Q 开关的同步信号, 而该同步信号相对整个激光器系统的延时是固定不变的。因此图 4 中波形的横向移动代表了调 Q

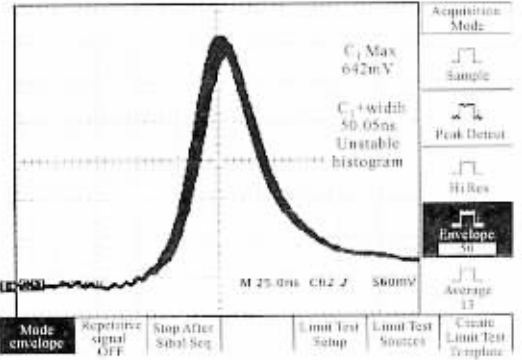


图 4 调 Q 脉冲连续 50 次叠加波形

Fig. 4 Superposition of Q-switched pulses (50 times)

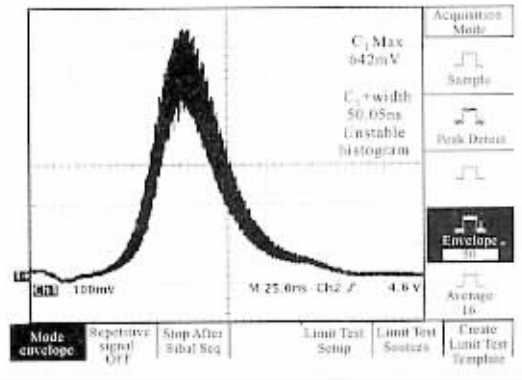


图 5 调 Q 脉冲连续 50 次叠加波形(电光调 Q)

Fig. 5 Superposition of Q-switched pulses (electrooptical Q-switched)

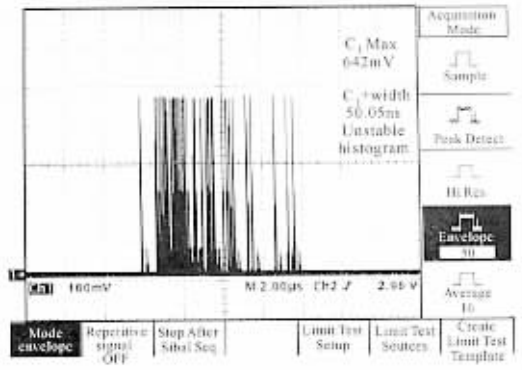


图 6 调 Q 脉冲连续 50 次叠加波形(晶体调 Q)

Fig. 6 Superposition of Q-switched pulses (crystal Q-switched)

脉冲相对于整个系统的时间抖动。图 4 的结果显示: 相对于整个系统而言, 输出调 Q 脉冲建立时间的漂移小于 ± 4 ns; 强度起伏不超过 4.3%。

环形激光器的所有参数确定后, 打开 Q 开关的时刻也就固定下来了。然而由于抽运光源的不稳定, 形成预激光的起始时刻会发生随机漂移, 其变化范围为 ~ 10 μ s 量级。但是预激光状态的持续时间

很长, 约在 $100 \mu\text{s}$ 量级(图 3)。所以只要最初将调 Q 时刻选在预激光的中间位置附近, 虽然以后预激光会发生随机漂移($\sim 10 \mu\text{s}$), 但是调 Q 时刻始终保持在预激光范围之内, 充分保证了调 Q 脉冲确实是在预激光的基础上建立起来的, 能够获得良好的幅度和时间稳定性。

作为对比, 考察了无负反馈预激光条件下电光开关主动调 Q 和晶体被动调 Q 的输出稳定性, 对照实验采用了相同结构形式的抽运头和谐振腔。图 5 为电光开关主动调 Q 输出脉冲波形连续 50 次叠加, 可以看出强度起伏高达 $\pm 20\%$, 时间抖动为 $\pm 6 \text{ ns}$, 而且强度的周期性调制很严重。图 6 为晶体被动调 Q 输出脉冲波形连续 50 次叠加, 虽然强度比较稳定, 但是时间抖动高达 $\pm 4 \mu\text{s}$ 。比较图 4~6 可以发现: 采用负反馈预激光稳幅的激光器, 其强度和稳定性均得到了极大的提高。

实验中发现, 图 4 所示的稳定状态可以持续接近 1 h; 超过这个时间范围, 输出强度开始缓慢地变化。我们认为这是由于抽运源(半导体激光器)冷却不充分所致; 当工作温度发生微小变化后, 其发射波长随着漂移, 从而影响了谐振腔的增益。

5 结 论

成功研制了一台 LDA 抽运的高稳定 Nd:YLF

环形激光器。通过激光强度负反馈控制谐振腔增益的方式, 建立了一个平坦的、准连续的预激光状态, 然后在预激光的基础上调 Q。预激光的存在使调 Q 过程非常稳定, 最终调 Q 脉冲的建立时间和幅度也很稳定: 建立时间抖动小于 $\pm 4 \text{ ns}$; 强度起伏不超过 4.3% 。这种精密同步的激光器有利于实现多台激光器之间, 以及主振荡器、脉冲整形器、能量放大级之间的精密同步。

参 考 文 献

- 1 R. Beach, J. Davin, S. Mitchell *et al.*. Passively Q-switched transverse-diode-pumped Nd³⁺:YLF laser oscillator [J]. *Opt. Lett.*, 1992, **17**(2):124~126
- 2 Robert S. Afzal, Anthony W. Yu *et al.*. Single-mode high-peak-power passively Q-switched diode-pumped Nd:YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1997, **22**(17):1314~1316
- 3 C. Bollig, W. A. Clarkson, D. C. Hanna. Stable high-repetition-rate single-frequency Q-switched operation by feedback suppression of relaxation oscillation [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(12):1383~1385
- 4 G. T. Maker, A. I. Ferguson. Single-frequency Q-switched operation of a diode-laser-pumped Nd:YAG laser [J]. *Opt. Lett.*, 1988, **13**(6):461~463
- 5 Christopher Lowrie, Aaron Zygmunt, Amy Crout *et al.*. Polarization control of a Q-switched, diode-pumped Nd:YAG laser [J]. *Appl. Opt.*, 1995, **34**(21):4256~4260
- 6 W. A. Clarkson, D. C. Hanna. Acousto-optically induced unidirectional single mode operation of a Q-switched miniature Nd:YAG ring laser [J]. *Opt. Comm.*, 1991, **81**(6):375~378