

文章编号: 0258-7025(2010)Supplement 1-0043-04

小体积小束散角灯抽运电光调 Q Nd:Ce:YAG 激光器

高 恒 彭 绪 金 陶 炜 杨 闯 童 勇

(西南技术物理研究所, 四川 成都 610041)

摘要 通过合理设计谐振腔参数,并采用内置扩束透镜组,获得了一种小体积高效率、液冷和电光调 Q 激光器。激光器电光转换效率为 1.4%,输出单脉冲能量大于 100 mJ。激光器腔长 250 mm,输出脉冲宽度为 10~15 ns,激光器 5 Hz 工作时激光远场束散角为 1.6 mrad, 20 Hz 为 1.8 mrad,光斑直径为 5 mm,能量稳定度小于 5%。

关键词 激光器;电光调 Q;扩束透镜组;远场发散角

中图分类号 TN248.1 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL201037s1.0043

Lamp-Pumped Electro-Optical Q-Switched Nd:Ce:YAG Laser with Small Size and Small Beam Divergence Angle

Gao Heng Peng Xujin Tao Wei Yang Chuang Tong Yong

(South West Institute of Technical Physics, Chengdu, Sichuan 610041, China)

Abstract A small-size, high-efficiency, liquid-cooled, electro-optic Q-switched laser is obtained, by using the expanded beam lens group with rational designed resonator parameters. The electro-optical conversion efficiency of laser is 1.4% and the output energy of single pulse is greater than 100 mJ. The cavity length is 250 mm with the laser pulse width of 10~15 ns. The beam divergence angle is 1.6 mrad when the laser works on 5 Hz, while 1.8 mrad working on 20 Hz. The output laser beam diameter is 5 mm and the energy fluctuation is less than 5%.

Key words lasers; electro-optic Q-switch; expanded beam lens group; far-field divergence angle

1 引 言

灯抽运液冷 YAG 激光器因其良好的稳定性,在各个方面有广泛的应用,尤其在军事方面应用于激光测距/照射器。在用于军用激光照射器的激光器设计中,激光器的脉宽、束散角、能量和能量稳定性等参数相互制约。合理地设计谐振腔参数,采用合理地抽运方式、合适的聚光腔尤为重要。本文通过对调 Q 激光器输出效率的分析,并合理地设计腔参数,完成了一种小体积、小束散角和灯抽运电光调 Q Nd:Ce:YAG 激光器。

2 设计方案及实验装置

2.1 激光器设计思路

激光器采用折返光路,减小了激光器整体的体

积。谐振腔采用凹凸非稳腔,在激光器振荡级与放大级之间放置扩束透镜组,激光器谐振腔长度为 250 mm。光路原理简图如图 1 所示。主要包括全反镜 M1,调 Q 晶体 C1,偏振片 M2,角镜 M3,转轴棱镜 M6,扩束负透镜 M5,输出镜 M4,振荡级晶体 C2,扩束正透镜 M7,氙灯 D,放大级晶体 C3 和输出窗口片 M8。

2.2 振荡级谐振腔设计

对激光测距仪而言,为了增大可测距离,必须提高发射功率,增大接收孔径和接收、发射光学系统的透射率,减小发射光束的束散角,提高接收灵敏度^[1]。

而对于激光器本身,只能提高发射功率,减小发射光束的束散角。且束散角 θ 对测距能力影响更

收稿日期: 2009-12-10; 收到修改稿日期: 2010-02-26

作者简介: 高 恒(1978—),男,硕士,工程师,主要从事固体激光器的研究与开发等方面的研究。

E-mail: gaoheng780716@163.com

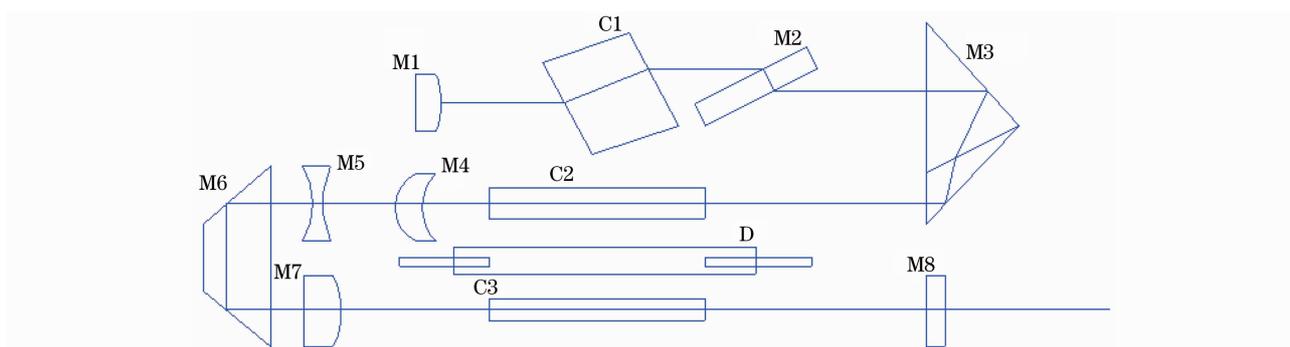


图 1 激光器原理图

Fig. 1 Schematic diagram of laser

大。因此,在测距/指示用的激光器设计时,应尽量减小束散角^[2]。

激光器谐振腔采用凹凸非稳腔,其本身能够实现准直输出,效率较高,激光在振荡级输出后,经过 M5, M7 组成的扩束系统扩束整形后通过放大级晶体,然后通过窗口片输出。凹凸非稳腔增大了激光晶体利用体积,扩束系统对输出激光束散角进一步压缩。该设计提高了激光器的效率,并减小了激光束散角。

3 影响灯抽运电光调 Q 激光器效率的因素

在脉冲调 Q 激光器的设计中,激光器的效率至关重要,影响因素主要有三方面,即激光器的抽运效率, Q 开关延迟时间和脉冲建立时间,调 Q 晶体的选取^[3]。

3.1 激光器抽运效率

影响抽运速率的主要因素有 Nd:YAG 晶体的效率、聚光腔效率和脉冲氙灯发射有用光谱效率。该激光器选用高效的 Nd:YAG 晶体,聚光腔则采用漫反射 MgO 石英腔,这种聚光腔抽运均匀,性能稳定,灯和棒能够方便地同时冷却。在脉冲氙灯的发射光谱与 Nd:YAG 的吸收光谱的匹配问题上,主要通过调整脉冲氙灯的放电波形,使抽运速率处于最佳状态。

3.2 Q 开关延迟时间和脉冲建立时间^[4]

激光晶体 Nd:YAG 上能级粒子平均寿命为 230~250 ns。图 2 为 Q 开关过程中,氙灯放电和 Q 开关触发信号之间的时间关系。上能级反转粒子数密度 n 随氙灯放电开始增加,在某一时刻达到最大值 n_0 ,此时为 t_0 ,如图 2(a), (b) 所示。由于非辐射跃迁和自发辐射跃迁的影响,在 t_0 以后 n 值将逐

渐下降。另外由于 Nd:YAG 晶体和调 Q 晶体消光比的影响, Q 开关不可能关得很严,在上能级反转粒子数密度聚积到足够大时,将会有微弱的激光振荡形成,从而消耗一定的上能级粒子。因此,需要在反转粒子数积累到一定程度时及时打开光 Q 开关,提高光子能量的利用率,得到最佳的动态输出效果,如图 2(c) 所示。

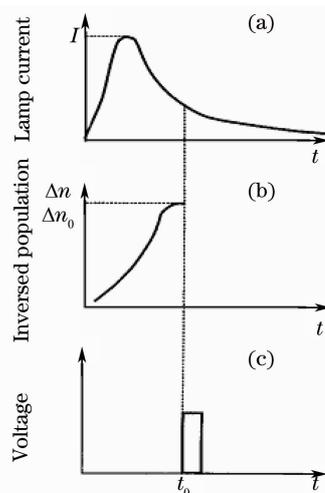


图 2 Q 开关过程中,氙灯放电与 Q 开关触发信号的时间关系

Fig. 2 Time relationship between discharge of xenon lamp and the starting pulse of Q-switch

图 3 为 Q 开关过程中 $\Delta n, V_{\text{crystal}}, \Phi, \delta$ 等的时间对应关系曲线,其中 Δn 为反转粒子数密度, V_{crystal} 为 Q 开关晶体高压, Φ 为腔内光子数密度, δ 为腔内损耗。Q 开关的开关时间 $\Delta t = t_s - t_0$ 。若 Δt 过长,腔内高损耗状态将会拖得很长,光子密度增长不够快,导致受激辐射不足,光子密度大大下降。因此在设计过程中,需要设定一个适当的开关时间 Δt , 以使光脉冲建立时间处于一个最佳值 t_0 , 提高光子能量的利用率。

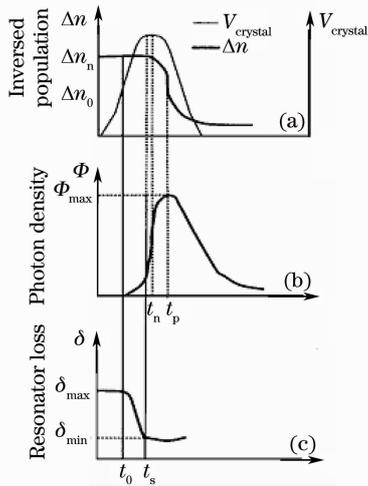


图 3 Q 开关过程中, 反转粒子数密度及 Q 开关晶体电压 (a), 腔内光子数密度 (b) 和损耗 (c) 的时间对应关系曲线
Fig. 3 Inversed population voltage on EO crystal (a), photon density (b) and resonator losses (c) as a function of time in Q-switched system

3.3 LiNbO₃ 电光 Q 开关参数的选择

激光器采用带偏振器的电光 (EO) 调 Q 激光器, 使用的电光晶体采用斜钽铌酸锂 (LiNbO₃) 晶体。根据谐振腔参数, 适当设计电光晶体的尺寸及电光晶体相对于光轴的角度、调 Q 高压的脉冲宽度和前沿等参数, 提高了电光 Q 开关的抗破坏阈值和动态转换效率, 激光器动静比达到 1.2。

4 腔外压缩设计

远场束散角为

$$\theta = \frac{2\lambda}{\pi\omega_0}, \quad (1)$$

式中 $\omega_0 = \sqrt{z_0\lambda/\pi}$, $z_0 = z \sqrt{(R/z) - 1}$, ω_0 为光

腰, R 为透镜曲率半径。

光束的远场束散角定义了一个给定光束直径最好的准直效果, 说明了光束的零束散角是不可能达到的, 因为零束散角对应着无穷大的光束直径。但是 (1) 式也表明了改善束散的可能性。

考虑一个已经准直的光束, 束散角为 θ , 光腰为 ω_0 , 如果光束直径增大, 远场束散角将会减小。这就是扩大光束的优点。

为了实现这一改善, 将对准振荡级输出激光进行扩束。设计采用伽利略扩束镜, 其包括一个输入的凹透镜和一个输出的凸透镜。输入镜将一个虚焦距光束传输到输出镜。一般的扩束镜都用该原理制造, 因为它简单、体积小。且尽可能设计为小的球面相差, 低的波前变形和消色差。它的局限性在于不能容纳空间滤波或者进行大倍率的扩束。

5 实验结果

实验中使用 EPM2000 能量计来测量输出激光的能量, 使用 TDS500MB 存储示波器测量脉冲宽度, 套孔法测量激光远场束散角。

5.1 常温及高温能量稳定性

激光器在充电电容为 30 μ F, 注入电压为 700 V, 重复频率为 20 Hz 时, 激光能量为 110 mJ, 电光效率为 1.4%。对激光器能量稳定性进行测试, 一个循环为 30 s, 每两个循环间隔 10 s。

在室温 (25 $^{\circ}$ C) 下工作 8 个循环的能量如图 4 所示。通过计算得知激光能量稳定性在 5% 以内 (所用能量计探头衰减系数为 6)。

在高温 (65 $^{\circ}$ C) 下工作 8 个循环的能量如图 5 所示。通过计算得知激光能量稳定性在 5% 以内。

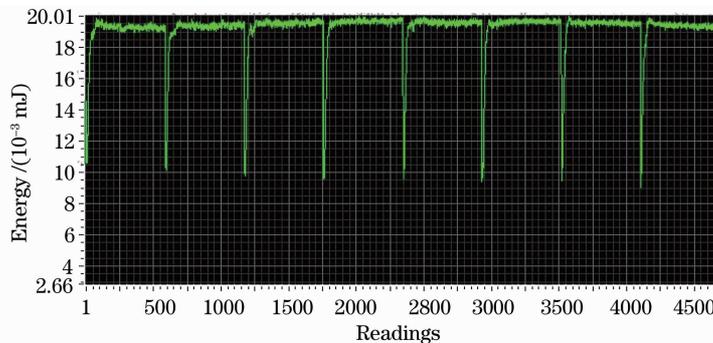


图 4 室温能量曲线

Fig. 4 Energy curve at room temperature

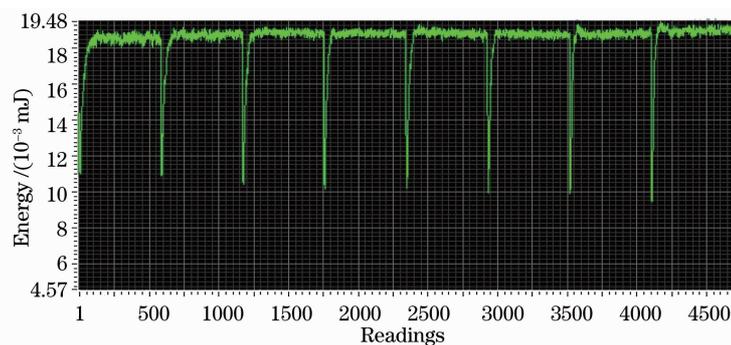


图 5 高温能量曲线

Fig. 5 Energy curve at high temperature

5.2 激光脉冲宽度和束散角测量

使用 TDS500MB 存储示波器测得激光器脉冲宽度为 10~15 ns。使用套孔法测得激光远场束散角在 5 Hz 时为 1.6 mrad, 20 Hz 时为 1.8 mrad。

6 结 论

采用凹凸腔设计的激光器有效地提高了激光器效率,减小了激光器远场束散角。当加入了扩束镜以后,激光束散角得到进一步的压缩。激光器电光转换效率为 1.4%,输出单脉冲能量大于 100 mJ。激光器腔长 250 mm,输出脉冲宽度为 10~15 ns,激光器 5 Hz 工作时激光远场束散角为 1.6 mrad, 20 Hz 时为 1.8 mrad,光斑直径为 5 mm,能量稳定度小于 5%,完全满足远距离激光测距/指示需求。

参 考 文 献

- 1 Tan Xianyu. Analyses of ranging equation and ranging performance for pulsed laser rangefinders [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 1998, **35**(3): 22~28
谭显裕. 脉冲激光测距仪测距方程和测距性能分析[J]. *激光与光电子学进展*, 1998, **35**(3): 22~28
- 2 Zhang Chengquan. Foreign Military Laser Equipment Instrumental Handbook [M]. Beijing: Weapons Industry Press, 1989
张承铨. 国外军用激光仪器手册 [M]. 北京: 兵器工业出版社, 1989
- 3 W. Koechner. Solid State Laser Engineering [M]. Beijing: Science Press, 2002
W. 克希耐尔. 固体激光工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002
- 4 Li Zhongjian, Hu Wenhua. A compact high-efficiency air-cooled Q-switched Nd:Ce:YAG laser [J]. *J. Optoelectronics • Lasers*, 2001, **12**(4): 382~384
李忠建, 胡文华. 高效风冷小型化电光调 Q-Nd:Ce:YAG 激光器 [J]. *光电子·激光*, 2001, **12**(4): 382~384