

文章编号:1001-5078(2007)01-0044-04

钕玻璃激光器热容方式运行的热透镜效应实验研究

衣学斌, 陈鸿鸣, 钟 鸣

(西南技术物理研究所, 四川 成都 610041)

摘 要:钕玻璃激光器采用双灯对称紧耦合非聚焦泵浦腔, 激光棒的冷却通道与闪光灯的水冷通道分开且相互独立。用重复频率 10Hz、脉冲宽度 250 μ s 的两盏闪光灯同时进行侧面对称抽运, 抽运功率 900W。激光器先后以热容方式及常规水冷方式运行 10s, 分别完整采集 100 个光脉冲的光斑图像, 并在其中分别依次等间隔取样 16 个光斑。通过对比分析光斑变化趋势, 热容方式运行的钕玻璃激光器的热透镜效应是负透镜效应, 明显有别于常规方式运行的正透镜效应。实验结果对进一步了解钕玻璃激光器热容工作方式运行的输出特性具有一定的参考价值。

关键词:钕玻璃激光器; 热容运行方式; 热透镜效应; 负透镜效应

中图分类号: TN248.1 **文献标识码:** A

Experimental Study of the Thermal Lens Effect of Nd:glass Laser in Heat Capacity Operation

YI Xue-bin, CHEN Hong-ming, ZHONG Ming

(Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: The designing construction of Nd:glass laser cavity is double flashlamp pumped, symmetrical, close coupling and unfocused. The cooling channels of Nd:glass rod are separated from water-cooling channels of flashlamp independently. Through 10s experiment, laser beam patterns have been measured at 10Hz repetition rate and 250 μ s pulse duration of two flashlamps for 900W pump power in heat capacity operation and general water-cooling operation successively. 16 facular pictures have been collected from total 100 facular pictures in same interval. The contrastive facular pictures show that the thermal lens effect of heat capacity operation is negative lens effect not same as convex effect of general water-cooling operation. The obtained result is favor of the deferent characteristic of Nd:glass laser in heat capacity operation.

Key words: Nd:glass laser; heat capacity operation; thermal lens effect; negative lens effect

1 引言

固体激光器以常规方式运行, 由于光泵浦和冷却造成的热效应会在激光介质中引起轴向热伸长和径向折射率梯度, 从而产生激光介质的热透镜效应, 而且钕玻璃热导率相对其他固体激光介质热导率偏低, 热透镜效应就更加显著。

固体激光器在常规冷却方式运行过程中, 激光介质表面的温度低于介质中心温度, 在激光发射过程中激光介质内部将形成热正透镜效应, 对激光器

输出功率和光束质量都有影响, 对于高功率、高能量的大型激光器影响更加明显。

热容运转激光技术为解决这一难题提供了一条重要途径。固体热容激光技术的概念早在 20 世纪 70 年代就有人提及, 1991 年在美国劳伦斯·利弗莫尔国家实验室 (LLNL) 曾讨论过, 1995 年,

作者简介: 衣学斌 (1980 -), 男, 硕士研究生, 现从事固体激光技术及其应用的研究工作。E-mail: yixuebin2000@163.com

收稿日期: 2006-05-19

WALTERS 等人发表了相关研究文章。技术采用激光激励过程与冷却过程分开的特殊运转模式,并且激励过程是在绝热条件下进行的,它工作于激光介质的热容限内,以间歇猝发脉冲串的方式有效地克服了固体激光器工作时的热效应限制,具有光束质量好、结构相对简单紧凑等优点^[1-2]。本文通过在同一台双灯对称抽运钕玻璃激光器上进行热容方式运行和常规方式运行的对比实验,验证了热容运行方式的热负透镜效应,对进一步了解热容运行方式的特点具有一定的参考意义。

2 实验

2.1 实验装置

实验采用双灯对称紧耦合非聚焦泵浦腔,激光棒的冷却通道与闪光灯的冷却通道分开且相互独立。整个实验过程中,闪光灯通过水冷却,而以热容方式运行时,激光棒在脉冲发射期间不冷却,通过空气绝热,激光脉冲发射结束后在空气中自然冷却,完成热容运行实验。在保持实验条件完全不变的情况下,仅将激光棒的冷却通道通入冷却水,进行常规水冷实验。泵浦腔结构如图 1 所示^[3]。

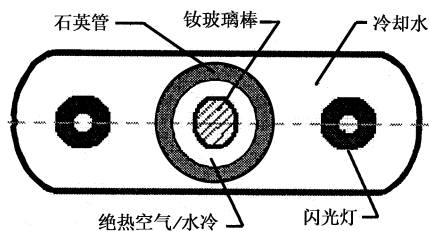


图 1 泵浦腔结构示意图

Fig. 1 schematic of pumping configuration

谐振腔采用平凹腔,后腔镜 M1 镀 1064nm 波段的高反膜,反射率大于 99.8%,曲率半径为 200cm,耦合输出镜 M2 镀 1064nm 波段部分反射膜,反射率为 91%,谐振腔长 30cm,实验装置如图 2 所示。钕玻璃棒尺寸为 $\phi 6\text{mm} \times 90\text{mm}$,型号 N31(上海光机所生产)^[4],激光棒两端镀有增透膜。避免光斑大于 CCD 接受屏版面,采用一面焦距为 50cm 聚焦透镜。

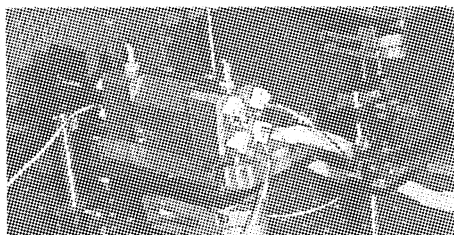


图 2 实验装置示意图

Fig. 2 experimental setup of the Xe-flashlamp pumped Nd:glass laser

闪光灯采用华北光电技术研究所生产的型号为

$3 \times 62\text{fs}$ 的脉冲氙灯。激光电源为北京某公司生产的 Mc30 型复路脉冲激光电源,电容为 $90\mu\text{F}$,脉宽为 $250\mu\text{s}$,实验时选用其中两路脉冲电源同时放电,以重频 10Hz 工作,选择放电电压 1000V,单次放电总能量为 90J,放电功率为 900W。光斑采集采用 LBA-PC 光束分析仪,可以记录每个脉冲的光斑图像及能量分布。光束分析仪的 CCD 接收屏置于焦距为 50cm 聚焦透镜的焦点外侧 3cm 处采集光斑,测量光路如图 3 所示。

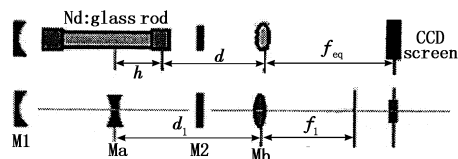


图 3 钕玻璃激光器热负透镜效应测量光路图

Fig. 3 beam path diagram of thermal negative lens effect measurement for Nd:glass laser

M1 - high reflective mirror; M2 - output mirror
Ma - thermal negative lens; Mb - focusing lens

2.2 实验现象

在抽运功率 900W、重复频率 10Hz 条件下,钕玻璃激光器先后以热容方式及常规水冷方式运行。在激光发射 10s 期间,通过光束分析仪分别采集两种运行方式的 100 个光脉冲的光斑图样,并从第 10 个光斑开始取样,每 5 个光斑为间隔,分别取样 16 幅光斑图像,按取样顺序分 4 组进行对比,如图 4 所示。

热容运行方式的光斑图片为上层灰色底面,常规水冷方式运行的光斑图片为下层红色底面,上下依次相互对应。虽然激光棒直径不大,但通过图 4 的对比,激光器热容方式运行有明显的热透镜效应出现,而在常规水冷运行方式下,热透镜效应不明显。

随机提取一光斑进行光束束散角分析。表 1 为提取的第 20s 的常温水冷和热容工作的光束束散角的对比分析。可以看出常温水冷工作下的束散角约是热容工作下的两倍。这是热容工作下热透镜效应的结果。

表 1 束散角特性对比分析

Tab. 1 correlation analysis of beam divergence

工作频率	10Hz	
	常规水冷工作	热容工作
具体光斑数	第 20 个光斑	第 20 个光斑
测量此光斑激光器工作时间/s	20	20
束散角	Divergence X 6.54mrad	Divergence X 3.72mrad
	Divergence Y 6.06mrad	Divergence Y 3.12mrad

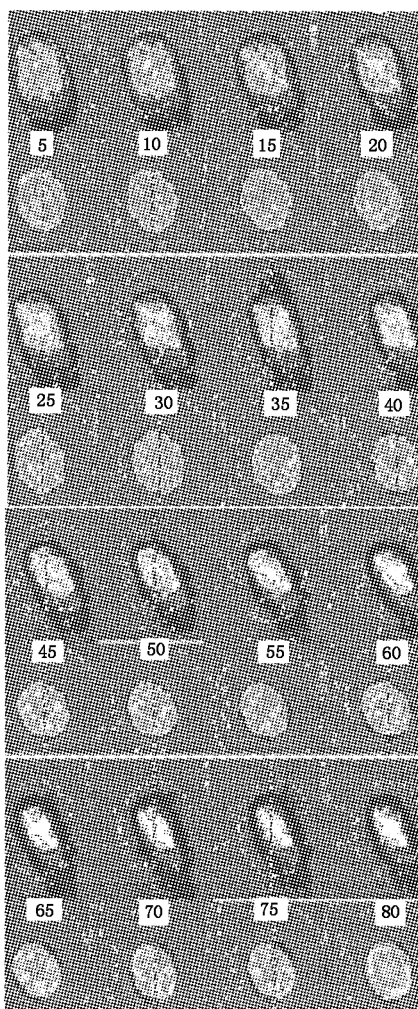


图4 光斑变化情况二维图

Fig. 4 planar mutative laser beam patterns

3 分析及讨论

热容固体激光器在发射激光阶段,热沉积在活性介质内。因为截面内吸收的能量按指数的形式变化,所以在表面处沉积了更多的能量,热流是从介质的表面到中心,这样表面的温度就比中心要高,介质表面轴向热伸长和径向折射率梯度大于介质中心,从而会产生激光介质的热负透镜效应^[6]。

结合以上理论分析,在实验过程中 CCD 接收屏的位置在聚焦透镜焦点外侧 3cm 处。钕玻璃激光器先以热容方式运行,在 10s 运行时间内,随着运行时间的增长,钕玻璃棒的热透镜效应就越显著,只有在负透镜效应的作用下原来 50cm 聚焦透镜的焦点才向 50cm 外侧移动,在 CCD 接收屏上采集的光斑会出现聚焦现象,通过图 4 可清楚地看到热容运行方式下其光斑大小的变化趋势是越来越小,输出能量越来越集中。随后激光器以常规水冷方式运行,由于激光棒直径较小,横截面温度分布差异不大,热

效应影响不显著,所以光斑大小基本没有变化。

根据理论公式^[7]:

$$\frac{1}{f_{eq}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_{th}} - \frac{d_1}{f_1} \times \frac{1}{f_{th}} \quad (1)$$

其中, $d_1 = d + h$; $h = 0.5 \times n_0$ ^[8]; ϕ_{eq} 为组合透镜焦距; ϕ_1 为聚焦透镜的焦距; ϕ_{th} 为热负透镜焦距; d_1 为热负透镜与聚焦透镜的距离; d 为钕玻璃棒前端面与聚焦透镜距离; h ^[8] 为钕玻璃棒后端面与热负透镜主平面距离; n_0 为激光介质折射率; 通过对以上实验参数具体测量,结合公式(1)对实验的热负透镜的焦距进行理论推算,热负透镜焦距随运行时间变化如图 5 所示。

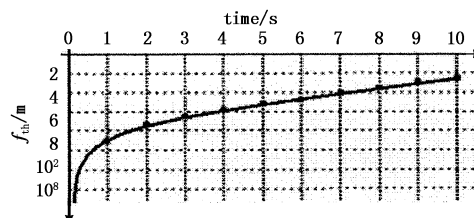


图5 热负透镜焦距随运行时间变化曲线图

Fig. 5 change of thermal negative lens focus

根据文献[4]对于由一个平面镜($R_1 = \infty$)和一个曲面镜构成的谐振腔有:

$$\omega_2^2 = \omega_0^2 = \frac{\lambda}{\pi} [L(R_1 - L)]^{1/2} \quad (2)$$

高斯光束基模的最大束散角由下式给出^[4]:

$$\theta = \lim_{Z \rightarrow \infty} \frac{2\theta(Z)}{Z} = \frac{2\lambda}{\pi\omega_0} = 1.27 \frac{\lambda}{2\omega_0} \quad (3)$$

由上式可知,在束腰处光斑尺寸 ω_0 越大,束散角就越小。热容工作下产生热负透镜效应,热负透镜 M_2 (见图 3) 导致式(2)中的 R_1 增大(见图 6),导致 ω_0 增大,从而热容工作下束散角比常规水冷工作下的小。

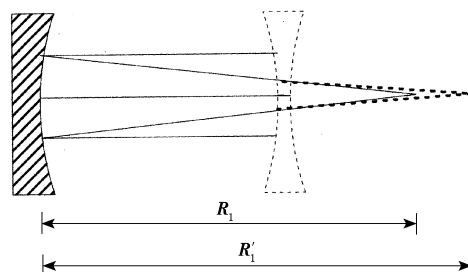


图6 热透镜作用效果

Fig. 6 the effect of thermal lens

4 结论

闪光灯抽运下的固体激光器不能采用气态和液态激光器的冷却方式,只能对介质表面进行冷却,从而在介质内部形成极高的温度梯度和热应力,产生

热正透镜效应。固体激光介质中钹玻璃热传导性相对较差,热效应的影响就更加显著。通过钹玻璃激光器以热容方式运行,验证了热容激光器的热负透镜效应,下一步工作将对固体激光器热负透镜焦距的具体测量方法进行研究。

参考文献:

- [1] ARKER A. World's most powerful solid-state laser[J]. S & T R,2002,(10):8-9.
- [2] ARKER A. Bright future for compact tactical laser weapons[J].2002,(4):11-21.
- [3] 杨臣华,梅遂生,林钧挺.激光与红外技术手册[M].北京:国防工业出版社,1990,308-311.
- [4] 孙文,江泽文,程国祥,等.固体激光工程[M].北京:科学出版社,2002,46-47.
- [5] C Brent Dane, Laurence Flath, Mark Rotter, et al. The design and operation of a 10kW solid-state heat-capacity laser [A]. Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO'97) [C]. May 22,1997,Baltimore,MD.
- [6] YAMAMOTO B,ROTTER M, MITCHELL S, et al. First light from battery powered solid-state heat-capacity laser for missile defense [J]. Laser Science & Technology, 2003,(4):1.
- [7] J S Uppal,J C Monga,D D Bhawalkar. Study of thermal effects in an Nd doped phosphate glass laser rod [J]. IEEE J. Quant. Elect. ,1986, QE-22(12):2259-2265.
- [8] T J Gleason,J S Kruger, R M Curnutt. Thermally induced focusing in a Nd:YAG laser rod at low input energies[J]. Appl. Opt. ,1973,12:2942-2946.
- [9] Jsbir S U, Jagdish C M, Dilip D B. Study of thermal effects in an Nd doped phosphate glass laser rod [J]. IEEE. J. Qant. Electron. ,1986,12:2259-2265.

全国第十一届红外加热暨红外医学 发展研讨会征文通知

由中国光学学会红外光电器件专业委员会、中国光学光电子行业协会红外分会、中国电子学会量子电子学与光电子学分会、中国光学学会锦州分会、云南省光学学会、中国机械工程学会工业炉分会、中国电工技术学会电热专业委员会、武汉国家红外产品质量监督检验中心联合主办,常州市万特光电技术有限公司承办,《红外技术》编辑部、《工业加热》编辑部、锦州海利斯石英工业灯制造有限公司、佛山思纬整水技术有限公司协办的全国第十一届红外加热暨红外医学发展研讨会定于2007年10月在常州市召开。

本届会议主要反映与交流近年来红外加热技术及红外医学领域的新成果和新进展。

一、应征论文范围

1. 红外加热技术在国民经济中的地位、作用及发展前景的综述、评论;
2. 红外加热元件、红外辐射涂料的新成果、新工艺及相关技术研究;
3. 红外与物质相互作用,红外加热理论与机理的研究;
4. 各种红外加热装置的优化设计与制造及应用实例剖析;
5. 红外加热测试技术、物质的红外光谱及相关技术的研究;
6. 红外加热在生物学和医学中的应用;
7. 红外医学新仪器、新材料、新技术、新成果及国内外发展动向;
8. 红外医学的临床理论研究,临床应用报告及相关的激光、微波、毫米波的研究与应用。

二、应征论文作者请在2007年8月30日前,将500~800字论文摘要寄到:大连理工大学物理与光电工程学院栾文彦教授收(邮政编码:116023),并请作者注明详细通信地址、工作单位及职务、职称和邮政编码。

三、经审稿录用的论文摘要集,将由《红外技术》编辑部编辑出版发行。

四、会议筹备组通信地址:锦州市13号信箱中国光学学会锦州分会,邮政编码:121000,联系人:王永钧,电话:0416-2650160,2135100,传真:0416-2135100。