

# 神光-Ⅲ原型装置预放钕玻璃高增益自激振荡的分析与抑制

卢振华 郝欣\* 唐军 邓青华 罗亦鸣 高松 丁磊

(中国工程物理研究院激光聚变研究中心, 四川 绵阳 621900)

**摘要** 在高功率激光装置的预放系统中,高增益放大单元提供超过  $10^6$  的增益倍数,极易形成自激振荡,降低光束放大倍数、破坏光学元件。基于高功率固体激光系统自激起振的主要判据,通过分析钕玻璃高增益系统损耗与增益的大小,研究了神光-Ⅲ原型装置高增益放大单元的自激振荡问题。分析了系统可能存在的自激振荡腔,指出系统可能存在3个起振的振荡腔。通过采取钕玻璃端面引入倾角、适当的光路调节、加隔离和电光开关等方法,在一定程度上抑制了自激振荡,进行了相应的实验验证,实验结果表明通过上述措施基本消除了自激光问题。

**关键词** 激光技术;自激振荡;高增益放大;高功率固体激光装置

中图分类号 TN248 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP48.091405

## Analysis and Control of Self-Excitation Oscillation in TIL of the SG-Ⅲ Facility

Lu Zhenhua Hao Xin Tang Jun Deng Qinghua Luo Yiming  
Gao Song Ding Lei

(Laser Fusion Research Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang, Sichuan 621900, China)

**Abstract** In the pre-amplifier of high power laser facilities, more than  $10^6$  gain is produced by the high gain amplifier, in which self-excitation oscillation would be easily formed. Based on the theory of self-excitation oscillation, the gain and loss in the system are analyzed, and the self-excitation problems in the high gain amplifiers of TIL of the SG-Ⅲ facility are studied. There self-excitation cavities would possibly exist in the system. Using the methods including tilting the ends of Nd: glasses, adjusting the beam, utilizing isolations and electro-optical switches, the self-excitation oscillation is controlled. These suppression methods are validated in experiments.

**Key words** laser technique; self-excitation oscillation; high gain amplifier; high power solid-state laser facility

**OCIS codes** 140.0140; 140.3580; 140.4480

## 1 引言

激光二极管(LD)抽运的钕玻璃高增益放大单元<sup>[1]</sup>是神光-Ⅲ原型装置预放系统的重要组成部分,通过3个钕玻璃棒放大的双通放大,来完成对前端光纤系统输出的能量为纳焦量级的弱光信号超过  $10^6$  倍的高增益放大,是原型装置的重要环节。但是高增益<sup>[2,3]</sup>可能使放大器产生自激振荡<sup>[4~6]</sup>,形成有害的振荡腔。这不仅会因自激振荡消耗介质中的反转粒子数而降低主光路光束的放大倍数,而且自激振荡光束会聚产生的高能量密度有可能对光学元件造成破坏性损伤。因此,分析与抑制前端高增益放大单元内有可能形成的自激振荡,是安全运行的关键之一。本文研究了神光-Ⅲ原型装置高增益放大单元的自激振荡问题,分析了系统可能存在的自激振荡腔,并通过适当的光路调节,加隔离和电光开关的方法,在一定程度上抑制了自激,进行了相应的实验验证。

收稿日期: 2011-02-27; 收到修改稿日期: 2011-03-23; 网络出版日期: 2011-07-25

基金项目: 国家自然科学基金(10735050)、中国工程物理研究院激光聚变研究中心和等离子体物理国家级重点实验室创新基金(20090604)资助课题。

作者简介: 卢振华(1971—),男,高级工程师,主要从事高功率固体激光器方面的研究。E-mail: luzhenhua336@126.com

\*通信联系人。E-mail: xinh19@126.com

## 2 装置光路结构

神光-III原型装置预放高增益系统由三套 LD 抽运的高增益放大单元模块(每套 LD 的抽运功率为 9 kW,总抽运功率为 27 kW)、光传输系统、光隔离系统及辅助系统组成,从前端光纤系统输出的能量为纳焦量级的弱光信号,经由预放高增益系统放大至毫焦量级。具体光路图如图 1 所示。

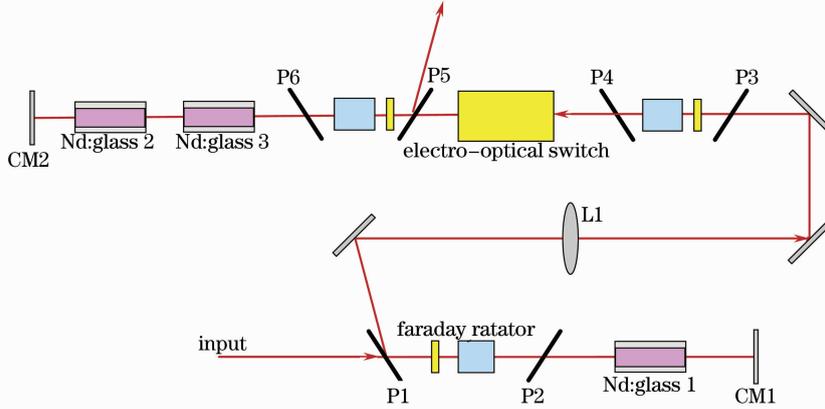


图 1 预放高增益系统光路示意图

Fig. 1 Schematic of high gain pre-amplifier system

从前端输出的激光脉冲穿过由偏振片 P1、45° 转子、法拉第旋光器及偏振片 P2 组成的隔离器后,到达棒状放大器 Nd:glass 1 被放大,经腔镜 CM1 反射再次进入 Nd:glass 1,双通放大之后,光束通过法拉第旋光器和 45° 转子,偏振态旋转 90°,被偏振片 P1 反射导入传输镜 L1。经过两级隔离器及一级电光开关,注入棒状放大器 Nd:glass 2 和 Nd:glass 3,被放大的光束经腔镜 CM2 反射返回 Nd:glass 2、Nd:glass 3,双通放大后经过法拉第旋光器和 45° 转子旋转偏振态,由偏振片 P5 导出。Nd:glass 1、Nd:glass 2 提供 50 倍增益放大, Nd:glass 3 提供 10 倍增益放大。

在高功率固体激光系统中,自激振荡起振的主要判据<sup>[7]</sup>有 2 个:1)光路是否形成回路;2)从能量角度看,平均而言,满足往返增益大于等于往返腔损耗,即必须满足

$$R \cdot R' \cdot G \geq 1,$$

式中  $R$  和  $R'$  表示谐振腔两个反射面的反射率, $G$  表示谐振腔的增益。基于上述两条判据,根据光路的排布,分析最容易起振的回路。

## 3 自激起振回路分析

经观察易发现,有如下几个可能起振的回路。第 1 个可能起振的回路是腔镜 CM1 与棒状放大器 Nd:glass 1 前表面构成的振荡腔,等效光路图如图 2 所示。

腔镜 CM1 反射率  $R_{CM} = 99.7\%$ ,棒状放大器 Nd:glass 1 端面镀有增透膜,剩余反射率  $R_{Nd} = 0.1\%$ ,棒状放大器双程的透射率为  $99.6\%$ ,代入(1)式可得

$$R_{CM} \cdot R_{Nd} \cdot G = 99.7\% \times 0.1\% \times 50^2 \times 0.996 = 2.48 > 1.$$

故腔镜 CM1 与棒状放大器 Nd:glass 1 前表面若能形成回路,就满足起振条件。因此,在实际加工过程中使玻璃端面略带一定倾角,这样端面 and 0° 反射腔镜就不容易形成回路了。

第 2 个与上述回路相似的起振回路,就是腔镜 CM2 与棒状放大器 Nd:glass 3 前表面构成的振荡腔,等

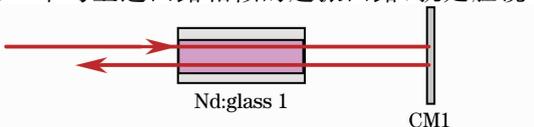


图 2 回路 1 示意图

Fig. 2 Schematic of the self-excitation cavity 1

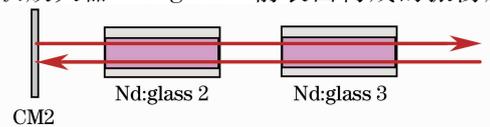


图 3 回路 2 示意图

Fig. 3 Schematic of the self-excitation cavity 2

等效光路图如图 3 所示。

腔镜反射率  $R_{CM}$ 、钕玻璃端面反射率  $R_{Nd}$  等参数不变,棒状放大器双程的透射率为 99.2%,Nd:glass 2, Nd:glass 3 增益分别为 50 倍和 10 倍,类似地可以得出

$$R_{CM} \cdot R_{Nd} \cdot G' = 99.7\% \times 0.1\% \times (50 \times 10)^2 \times 0.992 = 247 > 1.$$

故腔镜 CM2 与棒状放大器 Nd:glass 3 前表面若能形成回路,就满足起振条件。因此,使钕玻璃端面略带一定倾角,棒状放大器端面和  $0^\circ$  反射腔镜就不容易形成回路了。当然,对于此类回路,在光路调节过程中,在保证光束能够完整通过钕玻璃端面不卡光的前提下,将腔镜略带一定夹角、不完全垂直于光路放置,使光束不能沿原路返回,也能够避免振荡腔的形成。

第 3 个需要考虑的是腔镜 CM1 和腔镜 CM2 构成的谐振腔,这部分光路的等效光路图如图 4 所示。

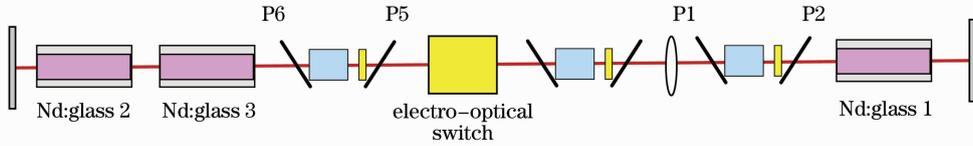


图 4 回路 3 示意图

Fig. 4 Schematic of the self-excitation cavity 3

在不考虑电光开关作用的情况下,法拉第旋光器、转子和偏振片组成的隔离器隔离比为 100:1,偏振片 P1, P2 与 P3, P4, P5, P6 的偏振方向相反,若该回路能够形成自激,光束往返 1 次被隔离 3 次,但由于该回路增益极高,仍有起振可能。由法拉第转子和偏振片组成的隔离器的透射率为 70%,电光开关的透射率为 90%,则有

$$R_{CM1} \cdot R_{CM2} \cdot G'' = 99.7\% \times 99.7\% \times (50 \times 50 \times 10)^2 \times [(70\%)^3 \times 90\%]^2 / 100^3 = 59.2 > 1.$$

通过上述计算可知,对于能够提供  $10^6$  以上增益倍数的高增益回路,法拉第旋光器等隔离器件具有一定的隔离比,并不能完全避免自激,因此还需要加入电光开关进一步隔离自激。该系统采用的 KTP 电光隔离器,其驱动源为 1.8 kV 高压脉冲源,脉宽为 10 ns,隔离比大于 1000:1。

根据光程计算,光束在该回路走完双程所需时间约为 15 ns,大于电光开关的开门时间,即在开关打开的时间内光无法走完回路,这样谐振腔就不存在了。

## 4 实验验证

对于第 3 个谐振腔,在电光开关未启用时,是很容易产生自激振荡的。图 5(a)就是在电光开关未加电时,在 CM2 腔镜后采到的自激的波形。而在加上电光开关后采到的波形显示,没有自激产生,如图 5(b)所示。

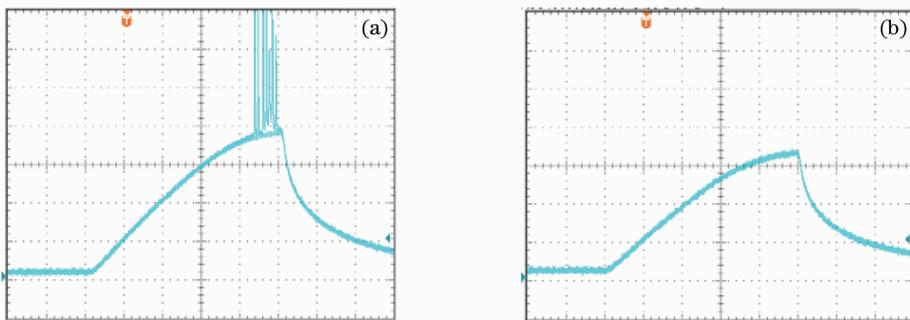


图 5 电光开关开启前后自激(a)与自激消除(b)对比图

Fig. 5 Comparison between the results with (a) and without (b) self-excitation by controlling the electro-optical switch

## 5 结论

通过分析神光-III 原型装置预放大高增益系统的基本构型,根据高功率固体激光系统自激起振的主要判据,对该系统可能产生自激振荡的回路进行了分析研究。通过采取钕玻璃端面引入倾角、适当的光路调节、加隔离和电光开关等方法,在一定程度上抑制了自激振荡,基本消除了自激光破坏的问题。

## 参 考 文 献

- 1 Deng Qinghua, Peng Hansheng, Gao Songxin *et al.*. Laser diode array pumped high-gain Nd:glass rod amplifier[J]. *Chinese J. Lasers*, 2009, **36**(1): 70~76  
邓青华, 彭翰生, 高松信 等. 激光二极管阵列抽运高增益钕玻璃棒状放大器[J]. 中国激光, 2009, **36**(1): 70~76
- 2 Luo Yiming, Li Mingzhong, Tang Jun *et al.*. Study on ring-LD side-pumping solid laser[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2002, **14**(3): 331~333  
罗亦鸣, 李明中, 唐 军 等. 大功率环形 LD 侧面泵浦 Nd<sup>3+</sup>:YLF 激光器特性[J]. 强激光与粒子束, 2002, **14**(3): 331~333
- 3 Luo Yiming, Li Mingzhong, Tang Jun *et al.*. Diode-pumped high-gain amplifier system[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2005, **17**(SO): 45~48  
罗亦鸣, 李明中, 唐 军 等. 用于 ICF 驱动器的全 LD 泵浦高增益放大器系统研究[J]. 强激光与粒子束, 2005, **17**(SO): 45~48
- 4 Liu Hongjie, Zhu Qihua, Jiang Dongbin *et al.*. Restraint of the self-excitation oscillation in the two-pass amplification[J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2000, **12**(s1): 179~181  
刘红婕, 朱启华, 蒋东宾 等. 双程放大实验中自激振荡的抑制[J]. 强激光与粒子束, 2000, **12**(s1): 179~181
- 5 Wang Fang, Zhu Qihua, Jiang Dongbin *et al.*. The analysis and control of self-excitation oscillation in multi-pass systems [J]. *Laser Journal*, 2005, **26**(3): 19~20  
王 方, 朱启华, 蒋东宾 等. 多程放大系统中自激振荡的分析和抑制[J]. 激光杂志, 2005, **26**(3): 19~20
- 6 Ding Lei, Zhao Runchang, Liang Yue *et al.*. Research of the techniques of restraining the self-oscillations in the preamplifier system of high power laser facility[J]. *Laser & Infrared*. 2007, **37**(4): 326~328  
丁 磊, 赵润昌, 梁 越 等. 高功率激光装置预放大系统自激振荡抑制技术研究[J]. 激光与红外, 2007, **37**(4): 326~328
- 7 Shi Shunxiang, Zhang Haixing, Liu Jinsong. Physical Optics and Applied Optics[M]. Xi'an: Xi'an University of Electronic Science and Technology Press, 2000. 25~41  
石顺祥, 张海兴, 刘劲松. 物理光学与应用光学[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000. 25~41