

# 高功率 Nd 玻璃放大器的动态热畸变及热象差恢复时间的测量

余文炎 郑玉霞 李小萍\* 喻皓淳\*

(中国科学院上海光机所)

**提要:** 用同轴全息法对不同规格的 Nd 玻璃放大器的光泵热畸变进行了测量, 对畸变工作介质的恢复过程进行了观察, 为合理选择放大器的设计参数和最佳的运转周期提供依据。

## Measurement of thermal distortion and thermal aberration reproduction time of high-power laser rod amplifiers

*Yu Wenyan, Zheng Yuxia, Li Xiaoping, Yu Haochun*

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

**Abstract:** This paper reports the measurement result on the pumping thermal distortion of Nd glass rod amplifiers of different sizes with holographic interference method. The distortion of active medium reproduction process has been observed. It provides the evidence for selecting operation cycle of the laser system and design parameters.

### 一、引言

Nd 玻璃激光放大器在工作过程中, 由于光泵和激光的共同作用, 在激光介质内部形成了不均匀的温度分布, 导致介质出现不规则热变形和改变折射率, 使透射光束的波面发生畸变。因此, 经过放大器的光束亮度的提高不象功率增长那么快, 在严重的情况下, 透过激光放大器的激光束亮度反而会下降。本文讨论的热畸变是整个动态畸变的线性部分, 不包括工作物质在强光作用下的非线性效应引起的小尺寸自聚焦。

### 二、测量方法

我们采用文献[1]报导的测量方法, 即同轴全息方法, 将瞬态的激光波面的全息图记录下来, 再用连续激光束再现, 可得到激光束的象点和瞬态激光波面的半径, 实验内容包括在光泵期间及光泵以后的若干时间内热象差的形态及其恢复时间等。基于不同的数据处理, 这种方法既可以理解为同轴全息, 也可以理解为具有二维信息的径向剪切干涉仪。

收稿日期: 1982年12月20日。

\* 长春光机学院学生。

当我们研究热象差对方向性的影响及测量激光波面的总体曲率半径变化时采用全息再现法;而测量波面局部畸变时,则采用干涉方法进行数据处理。根据文献[1]:

① 在一个三平板环路干涉仪中放置放大率为  $M$  的望远镜,以正向透过望远镜的扩孔光束为参考波,与反向的缩孔波相干取得全息干涉图  $P$ ,以连续 He-Ne 激光束照射后,在距  $P$  为  $R_0$  处得到原光束的象点  $O$ (图 1),测出  $R_0$  后可求出原激光波面的半径:

$$R = M^2(1 - M^{-4})\lambda_0 R_0 / \lambda_1 \quad (1)$$

其中  $\lambda_0$  和  $\lambda_1$  分别为再现时使用的激光波长和被测激光波长,  $M$  为放置在干涉仪中望远镜的放大率。根据文献[1]:

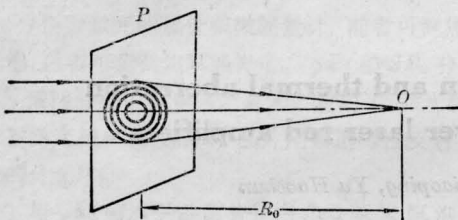


图 1

### ② 用干涉法进行波面复原

由于我们所拍摄的全息干涉图是以扩束波为参考,对缩束波进行测量的,因此,也可以理解为径向剪切干涉的结果。

如图 2 所示,  $A$  为平面波,  $B$  为扩孔后的参考波面,  $C$  为缩孔后的被测波面。根据拉格朗日-亥姆霍兹不变式推出:

$$R_1 = RM^{-2} \quad (2)$$

$$R_2 = RM^2 \quad (3)$$

$R$  为原被测波面半径。在半径为  $r$  处缩孔波、扩孔波与平面波的波差分别为:

$$\Delta_1 = \frac{r^2}{2R_1} \quad (4)$$

$$\Delta_2 = \frac{r^2}{2R_2} \quad (5)$$

所以:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta_2} = \frac{r^2/2R_1}{r^2/2R_2} = \frac{R_2}{R_1} = M^4 \quad (6)$$

缩孔波与扩孔波的波差:

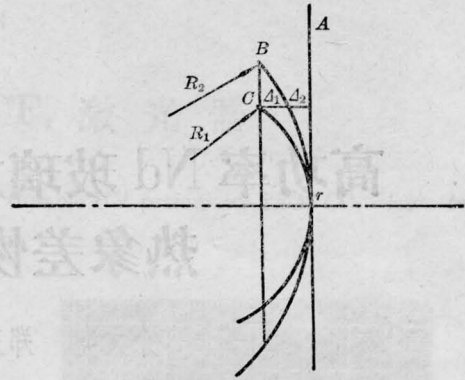


图 2

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = (1 - M^{-4})r^2/2R_1 \quad (7)$$

$$\text{则 } d\Delta = (1 - M^{-4})r/R_1 \cdot dr \quad (8)$$

当  $dr$  为一个环间隔时,  $d\Delta$  为  $1\lambda$  ( $dr$  为环间隔)。由(2)和(8)式得:

$$R = M^2(1 - M^{-4})r/\lambda \cdot dr \quad (9)$$

根据表达式(9),便可以从二维干涉图中复原出激光波面和形态,精度在 10% 以内,并能反映出激光波面的局部畸变。

## 三、实验排布及测量结果

### 1. 棒状放大器动态热畸变的测量

采用如图 3 所示的排布系统,其中 1 为光电调 Q 钎玻璃振荡器,2 为扩孔望远镜,扩孔倍率为 3。3 为被测放大器,它的外形如图 4。工作物质为  $\phi 40 \times 350$  毫米的磷酸盐 Nd 玻璃,浓度为 0.6% wt。用六灯椭圆半成象照明,经测量其径向增益不均匀性在 7.2% 以内。4 是三平板环路全息干涉仪,望远镜的放大率  $M^2 = 11.24$ 。5 为照象机。用哈特曼网格法或平板剪切干涉仪测量的结果表明,在实验误差范围内,看不到放大器引起的波面半径的变化。

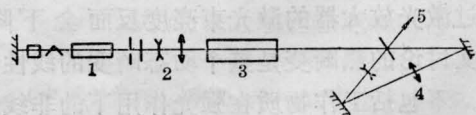


图 3

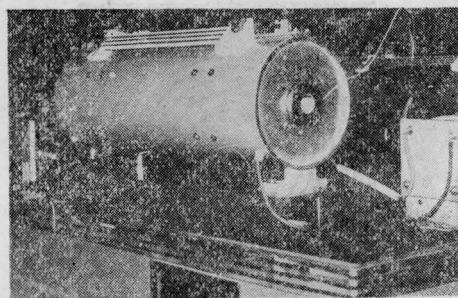


图 4

由电光调 Q 振荡器输出的一束脉宽约为 30 毫微秒的激光束, 经过望远镜扩孔后, 得到一束口径为 30 毫米质量较好的激光束, 作为探测光束。

从放大器光泵和不光泵拍得的一系列全息图再现后得到一组典型数据(见表 1)。

表 1

	$R_0$ (米)	$R$ (米)
放大器不光泵	4.40	29.24
放大器光泵	4.60	30.57

从多次实验结果看来, 这一棒状放大器是使一束原来发散的光束波面半径变大, 即相当一个正透镜, 其等效焦距  $f=642.8$  米。这说明我们目前使用的放大器, 虽然用其它方法探测不到发生热畸变, 但在用全息再现法时则可以发现它仍然存在一定的光泵热畸变, 引起的总体波面改变为  $0.3\lambda$ 。为了观察聚光器失调对光泵热畸变的影响, 我们有意将聚光器一边稍拉开, 测得的  $R_0=5.10$  米, 并推算出  $f=183.47$  米, 此时引起的波面畸变达到  $1\lambda$  以上。这说明聚光器的设计和调整对光束质量的影响是很大的。

2. 棒状放大器热象差形态的观察及其恢复时间的测定。

实验的光学排布如图 5 所示。其中的 1 是 He-Ne 激光器; 2 是放大率为 3 的扩孔望远镜; 3 为已知光焦度的透镜; 4 是被测放大器; 5 是三平板环路全息干涉仪, 望远镜的放大率  $M^2=11.24$ 。6 为照象机。由连续的

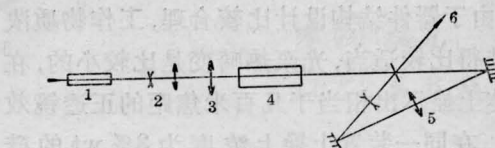


图 5

He-Ne 激光器输出的激光, 经扩孔望远镜得到一束质量较好的平行光束, 通过已知光焦度的透镜后, 变成一束较理想的球面波, 作为探测光束。对不同的工作物质、不同浓度、不同通光口径、不同冷却方式的放大器, 测量其热象差形态及其恢复时间。图 6 表示在光泵作用之后, 工作物质的“热光焦度”  $\Phi$  及等效透镜的焦距  $f$  随时间的变化过程。曲线的编号如表 2 所示。

由曲线 (1) 与 (2) 看出, 对于  $\phi 40 \times 350$  毫米浓度为 0.6% 的磷酸盐 Nd 玻璃放大

表 2

No.	工作物质	尺寸(毫米)	浓度(wt)	冷却方式
1	磷玻璃	$\phi 40 \times 350$	0.6%	流动水冷
2	磷玻璃	$\phi 40 \times 350$	0.6%	无
3	硅玻璃	$\phi 40 \times 350$	3%	流动水冷
4	硅玻璃	$\phi 40 \times 350$	3%	无
5	硅玻璃	$\phi 70 \times 500$	2%	流动水冷
6	硅玻璃	$\phi 70 \times 500$	2%	无

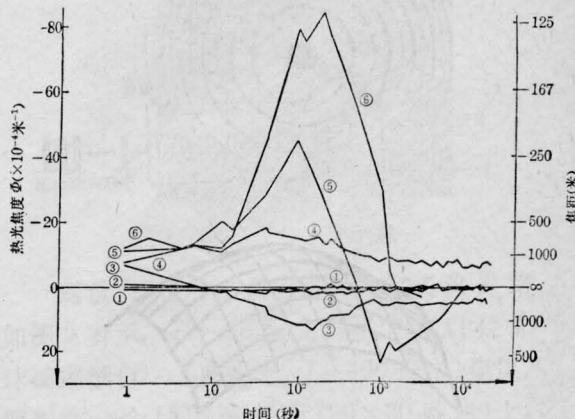


图 6

器,由于器件结构设计比较合理,工作物质浓度选得比较适当,光泵热畸变是比较小的,在总体上显示出相当于几百米焦距的正透镜效应。在同一装置上换上浓度为3% wt的硅酸盐Nd玻璃时光泵后的初期,工作物质显示出负透镜效应。当工作物质有流动水冷却时,工作物质在光泵一段时间以后显示出正透镜效应,并逐渐趋于温度平衡。这个过程如曲线(3)所示;而同一工作物质在没有流动水冷的情况下,棒边缘的温度始终高于中心,工作物质一直显示出负透镜效应。随着冷却与均匀化,逐渐趋于温度平衡,但较之有流动水冷的情况,冷却速度明显变慢,如曲线(4)所示。曲线(5)所表示的过程与曲线(3)相似,曲线(6)所表现的过程与曲线(4)相似。由这些曲线我们可以看出,随着工作物质口径增大,浓度增高,光泵热畸变也增大。有流动水冷的热畸变比没有流动水冷时小。工作物质浓度过高,工作物质在总体上显示出负透镜效应;浓度偏低,在总体上显示出正透镜效应。

为了显示波面局部波差,我们用干涉法处理了在放大器光泵后一些典型时刻所得到的干涉图,这样便可以直观地反映出波面畸变的状态及变化过程。图7是探测光束的干涉图及其对应的波面(经过扩孔以后的连续

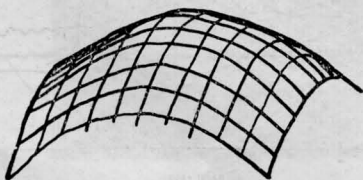
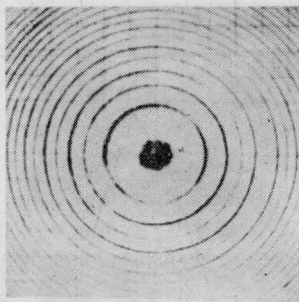


图 7

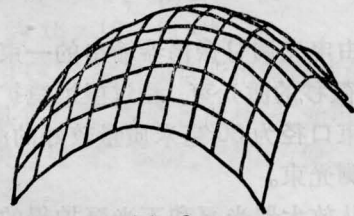
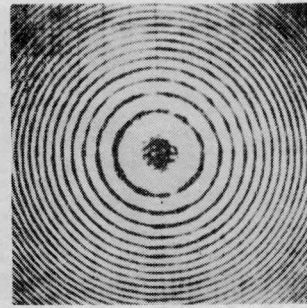
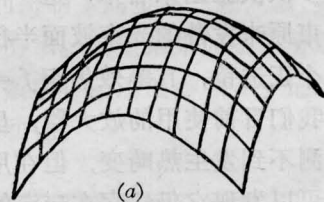
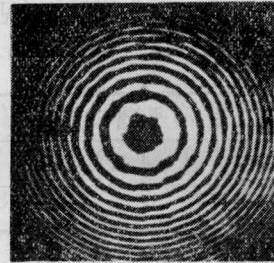
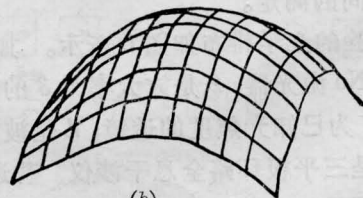
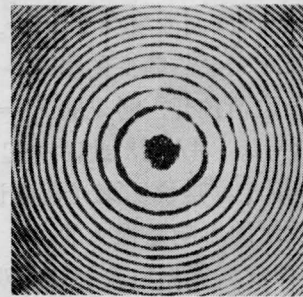


图 8



(a)



(b)

图 9

He-Ne 激光束)。图 8 为探测光束通过  $\phi 40 \times 350$  毫米磷酸盐 Nd 玻璃放大器 (不光泵) 时拍得的干涉图及其波面 (工作物质的浓度 0.6% wt)。从图看来, 磷玻璃棒的静态光学质量是好的。图 9(a) 是探测光束通过上述  $\phi 40 \times 350$  毫米磷酸盐 Nd 玻璃放大器, 在光泵后 20 秒, 有流动水冷却的情况下拍得的干涉图及其波面。6 分钟时拍得的干涉图及其波面如图 9(b) 所示。对于这种放大器, 在光泵不同时刻波面的局部波差很小, 只是在总体上所显示出的透镜效应的焦距有些变化。

图 10 是探测光束通过  $\phi 70 \times 500$  毫米硅酸盐 Nd 玻璃放大器不光泵时拍得的干涉图及其波面 (工作物质浓度为 2% wt)。虽然有一些畸变, 但畸变量不大于  $0.1\lambda$ , 对方向性的影响仍在衍射极限之内。

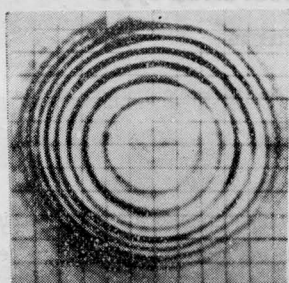
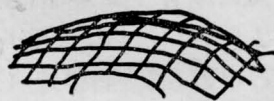
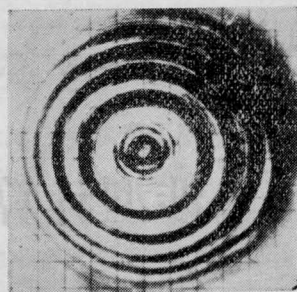


图 10

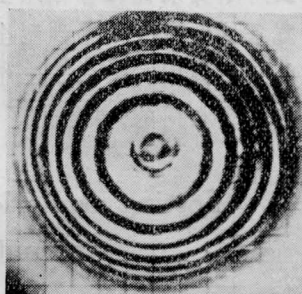
图 11(a) 和 (b) 是该放大器在光泵后 2 分钟和 180 分钟时的状态 (有流动水冷却)。

对于  $\phi 70 \times 500$  毫米的硅酸盐 Nd 玻璃放大器, 由于工作物质的口径大, 浓度高, 在光泵以后的一段时间, 波面的局部波差是比较大的。但在 180 分钟时, 基本上恢复到光泵前的形态, 只是还有一定的透镜效应。

图 12 是探测光束通过上述  $\phi 70 \times 500$  毫米的硅酸盐 Nd 玻璃放大器, 在无流动水冷却时, 光泵后 20 秒钟时拍得的干涉图及其波面, 波面的局部波差比该放大器有流动水冷却时来得大。



(a)



(b)

图 11

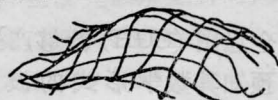
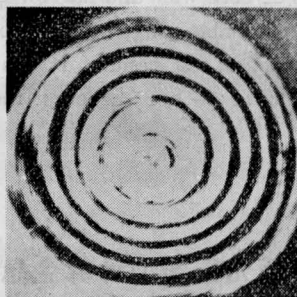


图 12

作者对王桂英、范滇元、唐贤忠等同志在实验中给予的协助表示感谢。

### 参 考 文 献

[1] 余文炎, 王桂英; 《光学学报》, 1982, 2, No. 4, 349.