

全息法测试光泵动态畸变及计算*

陈建文 肖体乔 朱佩平 王润文

(中国科学院上海光机所, 上海 201800)

提要 以脉冲多模红宝石激光器作光源,用全息干涉法测试了 $\phi 50 \times 500$ mm的钕玻璃棒的动态畸变,给出了光泵过程中动态畸变的照片。求出了折射率方程,并计算了方程中的诸系数,对畸变的补偿问题作了分析。

关键词 全息术,热畸变

1 引言

固体激光工作物质,在强光泵作用下会发生畸变,不仅致使谐振腔的本征频率发生变化,降低了腔的 Q 值,并使输出激光束的发散角增大,从而降低了激光束的输出亮度。

动态畸变的测试和观察,已取得了许多有意义的结果。已有许多报道^[1~3],多半是介绍由于热传导所引起的稳态热畸变,也有文章介绍光辐射所导致的畸变,但限于小口径的工作物质。

本文应用全息照相的方法,测试了 $\phi 50 \times 500$ mm的钕玻璃棒的动态畸变,研究了温度场分布对畸变的影响,据实验测得沿径向方向发散角变化曲线,按一级近似求得了径向折射率方程,再用光线轨迹方程,用追迹法,拟合折射率方程中的诸系数。最后计算了具有折射率负温度系数高吸收介质样品的热畸变,以观察与钕玻璃棒的畸变补偿效果。

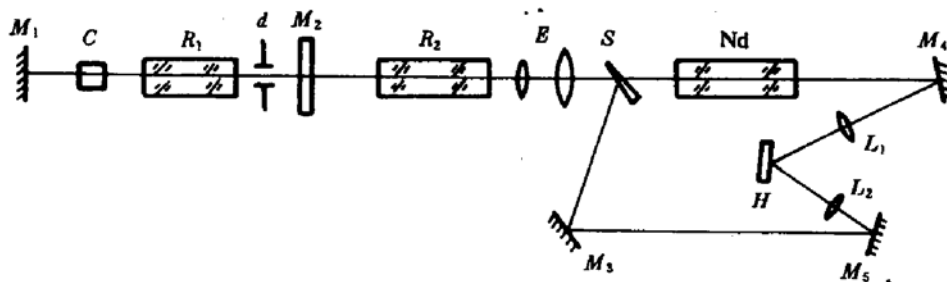


Fig. 1 Schematic of holographic interferometer

M_1 — 694.3 nm reflecting mirror; M_2 — 694.3 nm semi-reflecting mirror; C — Dye; d — Diaphragm $\phi 4$; R_1 — $\phi 6 \times 120$ ruby rod; R_2 — $\phi 12 \times 120$ ruby rod; E — $12 \times$ telescope; S — wedge; M_3, M_4, M_5 — reflector; Nd — $\phi 50 \times 500$ Nd³⁺ glass rod for measurement; L_1, L_2 — lens; $f = 70$ cm; H — Holographic plate

* 国家自然科学基金资助项目。

收稿日期: 1993年4月1日, 收到修改稿日期: 1993年6月2日

2 实验方法和结果

采用脉冲全息干涉仪,以两次曝光法,用触发器延时,取样光泵过程中不同时刻的畸变波面,这种畸变是由下面所分析的三种因素导致的:1)由温度梯度所导致的折射率变化;2)由热应力导致的介质折射率变化;3)激发态铈离子数不均匀分布引起的折射率变化。实验装置如图 1 所示。玻璃棒掺铈浓度为 1.2%,输入光泵密度为 200 J/cm^3 ,聚光器长度为 400 mm,照明器结构如图 2 所示。所获得不同时刻的畸变波面见图 3。从图 3 可以绘得不同时刻铈玻璃棒的光程变化曲线,见图 4。当光泵密度降低为 130 J/cm^3 时,畸变显著减小,如图 5 所示。

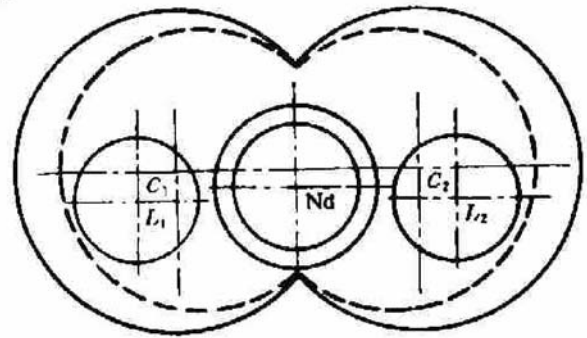


Fig. 2 Schematic of the structure of the illuminating device

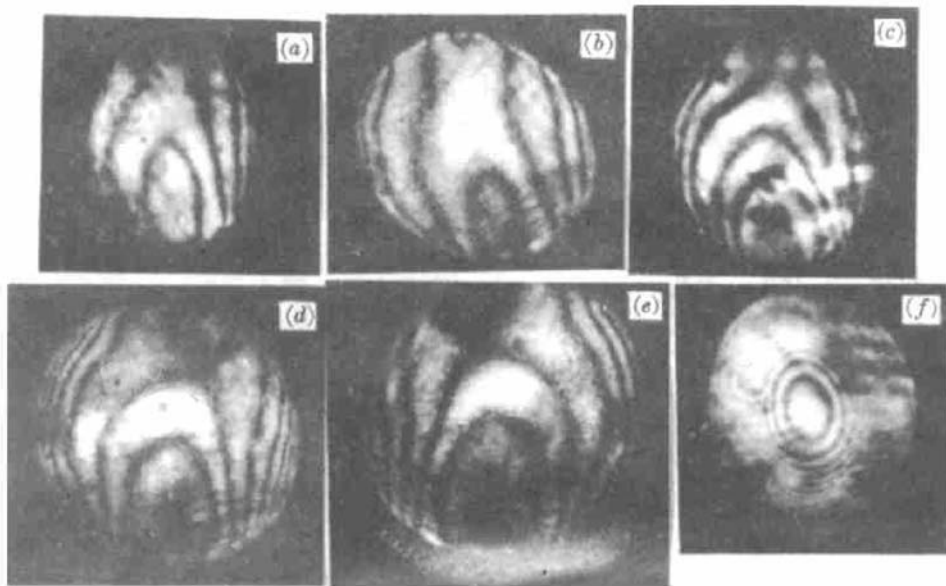


Fig. 3 The distorted wave-front at different time with the density of pumping light being 200 J/cm^3 . Starting at $t = 0$, pumping time is 10 ms, the structure of illuminating device is shown in Fig. 2 (a) $t = 3\text{ms}$; (b) $t = 5\text{ms}$; (c) $t = 9\text{ms}$; (d) $t = 13\text{ms}$; (e) $t = 120\text{ms}$; (f) $t = 75\text{ms}$

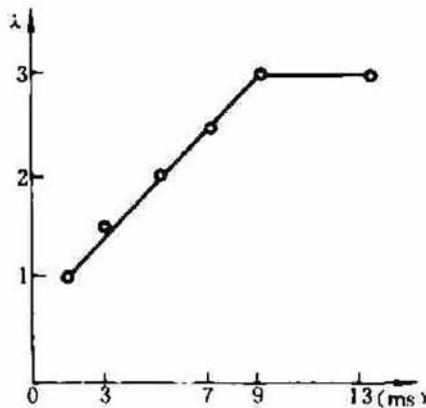


Fig. 4 Curve of the path varied with time



Fig. 5 The distortion at the 9th ms with the density of pumping light being 130 J/cm^3 . The structure of illuminating device is shown in the Fig. 2

当照明器的位置变化如图 6 结构时,干涉图形的形状发生了显著变化,但条纹数不变,如图 7 所示。将灯的位置远离工作物质而移向聚光器(图 6 中虚线),使棒的照明较前均匀,即降低径向温度梯度,则干涉条纹数显著减少,见图 8。从图 7 可得径向光程变化、发散角变化曲线(图 10、图 11)。

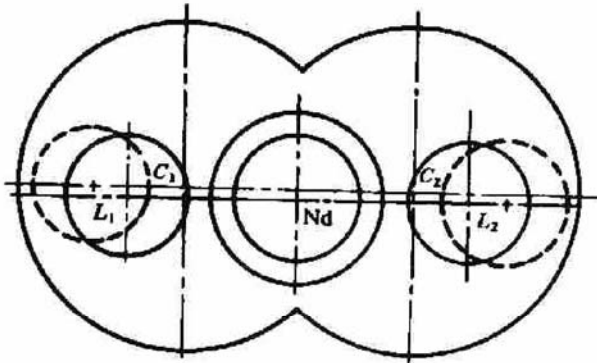


Fig. 6 Schematic of the structure of the illuminating device

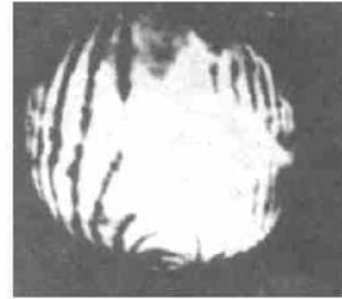


Fig. 7 The distortion at the 9th ms with the density of pumping light being 200 J/cm^3 . The structure of illuminating device is shown in Fig. 6



Fig. 8 The distortion at the 9th ms with the density of pumping light being 200 J/cm^3 . The structure of illuminating device is shown in Fig. 6, the dashed line indicates the position of lamp



Fig. 9 The distortion at the 9th ms with the density of pumping light being 200 J/cm^3 . The structure of illuminating device is shown with the dashed line in Fig. 2, i. e. the small condenser tube

从上述实验结果可以看到: 1) 在光泵过程中,光程变化与时间成线性关系,在光泵结束后一段时间内,热传导作用开始以前,光程变化饱和; 2) 在光泵过程中,畸变波面是轴对称的不规则球面。波面形状与灯的位置、棒的位置、聚光筒尺寸有关。甚至当水套中水未注满,或有气泡时,则在气泡处光照不均匀,产生较为严重的畸变,如图 9 中底部形状条纹。而光泵结束后热传导所产生的畸变是规则曲面。因此光辐射所致畸变与热传导所致畸变的波面截然不同; 3) 灯的位置对畸变量影响较大,当灯远离棒时,光泵变得较均匀,畸变降低(见图 8),由七根条纹变成三根条纹,条纹间距也发生变化。中心部分即畸变较小部分由 $\phi 20$ 扩展为 $\phi 32 \text{ mm}$,边缘部分发散角由 0.75 mrad 降为 0.46 mrad 。

3 折射率方程及其系数的确定

图 11 是表示光泵密度为 200 J/cm^3 时,光致畸变引起的发散角 $\theta(r)$ 和半径 r 的关系曲线。据公式

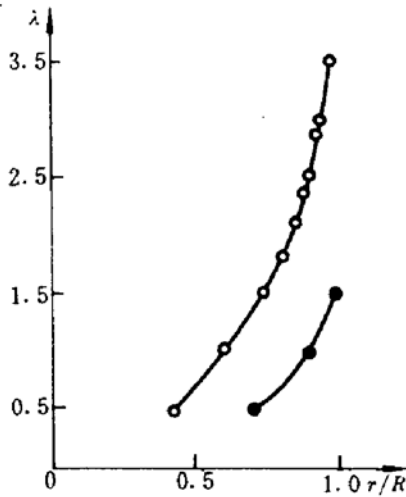


Fig. 10 Curves of the path varied in radial direction. Hollow circles indicate that the lamp is near rod, and the solid circles indicate that the lamp is near condenser tube

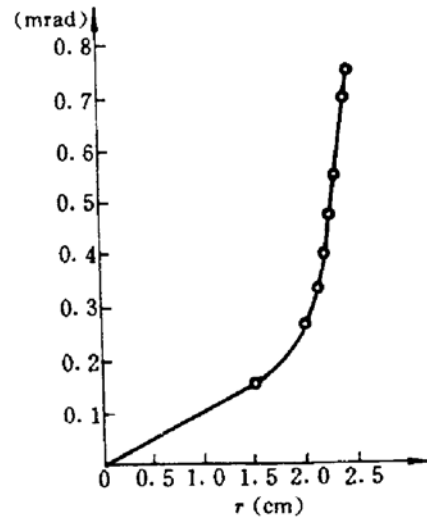


Fig. 11 Curve of the divergent angle in radial direction with radius r with the density of the pumping light being 200 J/cm^2

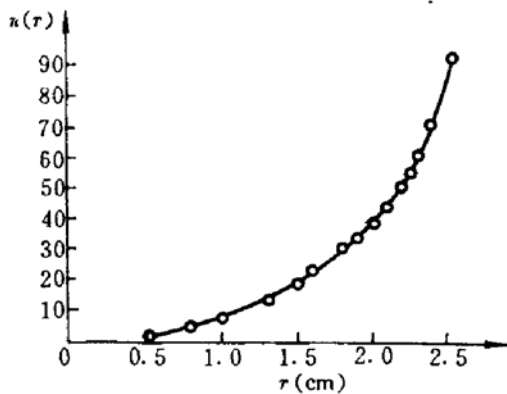


Fig. 12 Curve of the refraction varied with radius r

$$\theta(r) = l_0 \frac{dn}{dr}$$

$$dn = \theta(r) dr / l_0$$

$$\int_{n_0}^{n(r)} dn = \int_0^R \theta(r) dr / l_0$$

(1)

$$n(r) - n_0 = (l/l_0) \int_0^R \theta(r) dr \quad (2)$$

式中, $n(r)$ 为折射率径向分布, n_0 为折射率, l_0 为介质长度。据此公式可将 $\theta(r) - r$ 分布变换成 $n(r) - r$ 分布。绘得的曲线如图 12 所示。图 12 曲线可用一个函数来逼近, 由于该曲线是轴对称的, 所以此函数形式为

$$n(r) = \sum_{n=1}^m C_n r^{2n} \quad (3)$$

因此, 问题最终归结为求解上式中的系数 C_n , 我们用严格选大元法, 求得诸系数为

$$c_1 = 4.95 \times 10^{-7}, \quad c_2 = 4.65 \times 10^{-7}, \quad c_3 = -1.49 \times 10^{-7}, \quad c_4 = 1.6 \times 10^{-8}$$

$$\therefore n(r) = n_0 + c_1 r^2 + c_2 r^4 + c_3 r^6 + c_4 r^8 \quad (4)$$

要说明的是: 这些系数是一级近似求得的, 为此要进行修正, 将方程(4)代入光线轨迹方程

$$\frac{dr}{dZ} = \sqrt{-\frac{1}{2 \ln[c_0 n(r)]} - 1} \quad (5)$$

又可算出方向角 $\theta(r) \sim r$ 曲线。显然所得曲线与实验不符, 重新多次修正系数 C_n , 直到与实验曲线基本符合为止, 最终得

$$c_1 = 8.5 \times 10^{-8}, \quad c_2 = 2.0 \times 10^{-8}, \quad c_3 = -1.5 \times 10^{-8}, \quad c_4 = 1.5 \times 10^{-9}$$

由此获得准确的折射率方程

$$n(r) = n_0 + 8.5 \times 10^{-8}r^2 + 4.65 \times 10^{-8}r^4 - 1.5 \times 10^{-8}r^6 + 1.5 \times 10^{-9}r^8$$

从此方程可以看出：1) 光泵所引起的畸变其折射率方程远偏离稳态热畸变的折射率方程 $n = n_0 - cr^2$ ，因此，用一块透镜很难进行校正，若寻找适当的物质，例如重水，其折射率温度系数为负，与玻璃反号，用它的热形变与玻璃相补偿。计算结果如图 13 所示；2) 球面波在形变介质中传播时，当初始入射角大于 20 mrad 时，出射角与平面波入射相比，降低约 40%。这与一些实验结果是相吻合的，如图 14 所示。

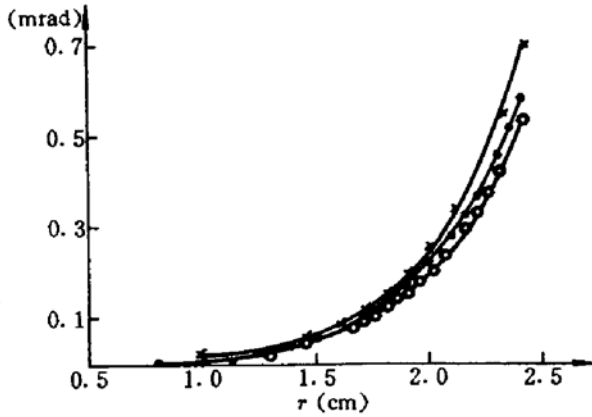


Fig. 13 Curves of the dynamic distortion of compensation glass rod with negative temperature coefficient of refraction. The curve above corresponding to rod length $l = 50$ cm, and the curve in the middle corresponding to rod length $l = 5$ cm with the parameter increased by a factor of 11, and the curve below corresponding to rod length $l = 5$ cm with the parameter increased by a factor of 10

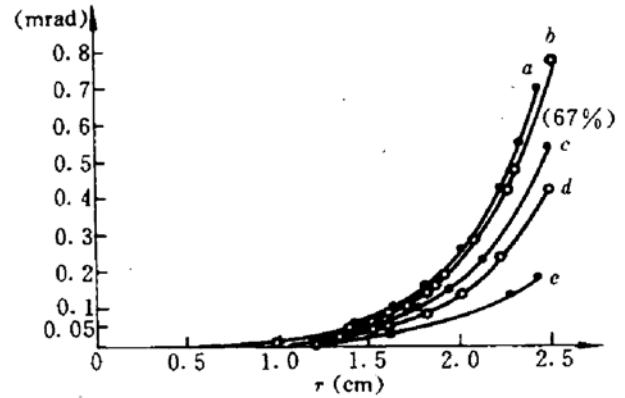


Fig. 14 Curves of the divergent angle caused by the propagation in deformed medium with different primary incident angles
a - 10°; b - 10'; d - 1'; e - 0.2'

参 考 文 献

- 1 黄国松, 周 峰等. 物理学报, 1990, 39(3):367
- 2 T. J. Kane et al. . *IEEE Quant. Electr.*, 1980, QE-21:1105
- 3 J. M. Eggleston et al. . *IEEE J. Quant. Electr.*, 1986, QE-20:289

Measurement of Pumped-dynamic-distortion by Means of Holography and Calculation

Chen Jianwen Xiao Tiqiao Zhu Peiping Wang Renwen

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica, Shanghai 201800)

Abstract The dynamic distortion of Nd^{3+} -glass rod of $\phi 50 \times 500$ mm was measured by holographic method using a pulsed-multi-mode ruby laser as light sources. The patterns of dynamic distortion during pumping were given in this paper. The refractive index equations were derived, all parameters of equation were calculated, and the compensation for distortion was analysed.

Key words holography, dynamic distortion