

# 光学玻璃材料破坏测量\*

於海武 孟绍贤

(中国科学院上海光学精密机械研究所高功率激光物理实验室, 上海 201800)

**摘 要** 报道应用偏振光消光法测量光学玻璃材料在强光作用下激发的内部应力分布情况以及用诺曼斯基(Nomarski)偏振光干涉仪对微小破坏点的测量, 结果表明诺曼斯基干涉仪能比较好地分析其破坏进程。

**关键词** 偏振光消光法, 诺曼斯基偏振光干涉仪, 破坏。

## 1 引 言

光学元件材料的破坏是高功率固体激光领域中无法避免的问题, 国外各大研究室都投入了相当多的力量从事这方面的研究。但至今还没有给出一个完整的理论解释, 测量方法目前仍然停留在主观以及半定量的测量上。比如, 美国劳伦斯利弗莫尔实验室(LLNL)通过大量的实验积累起来的破坏数据库也仅仅是从概率统计角度而得到的, 反映了光学材料的多枪破坏阈值<sup>[1]</sup>。英国 Loughborough 大学从非破坏测量(NDT)的应用角度出发, 利用有机玻璃材料发展了一套马赫-陈德尔(Mach-Zehnder)干涉仪瞬态测量技术<sup>[2, 3]</sup>。本文介绍作者在破坏测量方面做的一些工作。

## 2 实验及测量结果

实验用的 Nd:YAG 激光器输出能量为 50 mJ 左右, 用性能稳定的色心晶体调 Q, 获得脉宽 20 ns 的光脉冲, 利用透镜聚焦, 峰值功率可达  $10^8 \text{ W/cm}^2 \sim 10^9 \text{ W/cm}^2$ 。采用了几种方法来测量玻璃材料内的应力分布及破坏情况。

### 2.1 偏振光消光法

实验装置如图 1 所示。实验目的是观察沿垂直于打靶光路材料的各向同性的变化, 从而判断材料在强光作用下的应力应变分布情况。

首先使起偏检偏镜相互垂直, 尽可能地完全消光, 打靶时由于应力存在, 玻璃原有的各向同性遭到破坏。如果打靶光不是很强, 没有在材料内部形成永久变形或破坏, 则只可能在光脉冲时间间隔内( $\sim 10^{-8} \text{ s}$ )有 He-Ne 光通过。由于时间短, 为提高曝光量, 采用了一个长焦距柱透镜。分别记录打靶时以及打靶后的 He-Ne 光通量, 则可以分析玻璃材料的破坏情况。

\* 本工作为 863 高技术资助课题。

收稿日期: 1995年9月18日; 收到修改稿日期: 1995年11月27日

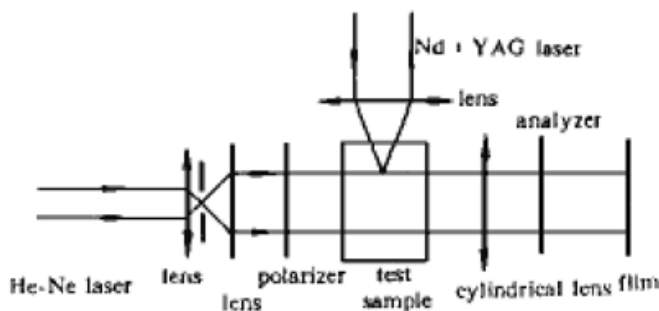


Fig. 1 Polarized light extinction recording the transmission of He-Ne laser light

实验结果和预先分析的基本一致。图 2(a) 对应的是打靶前 K8 玻璃材料的透光情况, 图 2(b) 对应的是打靶时拍下的照片, 由于两块偏振片做不到完全消光, 所以会漏出一部分本底光, 如图中的横线所示。图 3 对应的是有机玻璃材料打靶前, 打靶时及打靶后拍下的一组照片, 可以看出由于玻璃和有机玻璃各向同性的变化, 在焦点处形成一个向四周发散的应力分布。由于有机玻璃相对于 K8 玻璃吸收更多的打靶光, 所以有机玻璃的变化更为明显。另外, 还发现, 由于打靶光能量密度较弱, K8 玻璃在打靶结束后没有残留应力(应变)存在, 而有机玻璃在打靶结束后有残留应力(应变)存在, 见图 3(c)。但这时凭肉眼或显微镜还观察不到有机玻璃材料的破坏情况, 而用这种偏振光消光法已经能够判断材料的早期破坏。对 K8 玻璃的同一区域进行多次打靶, 可以得到类似的结论。

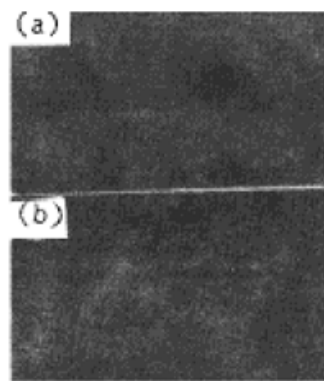


Fig. 2 Transmission of He-Ne laser light from K8 glass. (a) before shooting, (b) when shooting

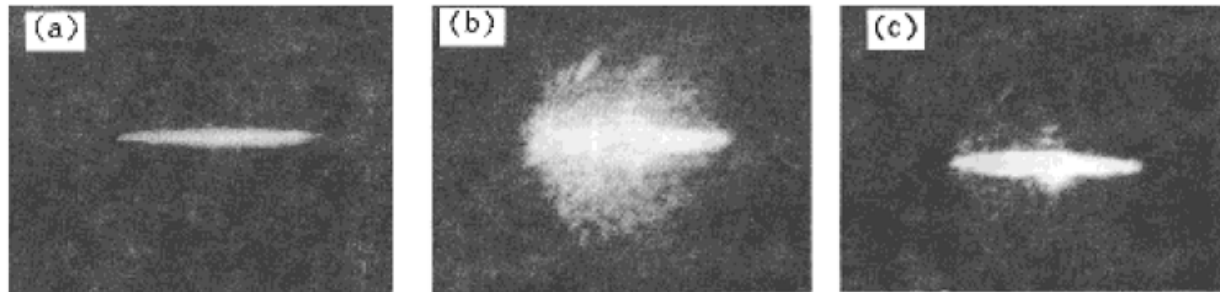


Fig. 3 Transmission of He-Ne laser light from perspex. (a) before shooting, (b) when shooting; (c) after shooting

## 2.2 诺曼斯基干涉测量法

要对光学玻璃材料的破坏情况做进一步的分析, 采用了诺曼斯基干涉仪测量。目前还没有见到用该方法研究材料破坏方面的文献。由于严格的等光程干涉, 诺曼斯基干涉仪非常适用于相干性很差的短脉冲光源干涉。由于脉冲光源的相干长度很短, 利用普通的迈克尔逊干涉仪或马赫-陈德尔干涉仪则很难调节两干涉臂长等光程。如文献[4]中为了拍摄在强光激发下的瞬态应力分布干涉图, 使用的是马赫-陈德尔干涉仪, 由于使用亚纳秒的染料激光做探测光源, 相干长度很短(脉宽 0.5 ns, 相干长度约  $10\ \mu\text{m}$ ), 为了调节两干涉臂等光程, 要用 He-Ne, 钠光灯和白光三种光源进行精细调节。而用诺曼斯基偏光干涉仪则可以方便地获得超短脉冲光源的干涉, 这在本实验中已得到证实。

实验装置如图 4 所示。诺曼斯基干涉仪主要是由两块渥拉斯顿(Wollaston)棱镜, 两块偏振片以及两个透镜组成。打靶光经扩束会聚后, 使焦点与诺曼斯基干涉仪两路光中的一路重合。图 5 是利用诺曼斯基干涉仪拍摄的几种典型的 K8 玻璃材料破坏及其进展情况。其中图 5(a, d)

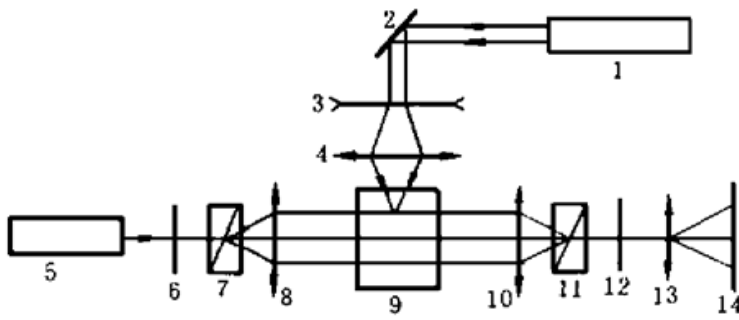


Fig. 4 Damage measurement with a Normarski polarized light interferometer

- 1. Nd·YAG laser, 2. Mirror, 3. Negative lens, 4. Positive lens, 5. He-Ne laser, 6. Polarizer, 7, 11. Wollaston prism, 8, 10. Lens, 9. Test sample, 12. Analyzer, 13. Objective, 14. Film

是破坏之前的照片, 由于打靶光能量密度较弱, 单次打靶后还观察不到条纹的变化, 对同一点多次打靶后发现条纹出现弯曲, 见图 5(b); 对该点继续打靶发现条纹弯曲更加厉害, 如图 5(c) 所示, 但这时凭肉眼还看不到玻璃材料的破坏, 因此可以认为这是材料内部残留的应力(应变)造成的条纹弯曲, 这应被认为是光学材料的早期破坏。另外一种破坏形式表现为多次打靶后材料体内出现炸裂状破坏, 破坏点的中心部位吸收光使得干涉图上对应的部位变得模糊, 而周围仍然是条纹的弯曲, 这时的破坏斑点凭肉眼已能看出, 如图 5(e, f, g) 所示。

出, 如图 5(e, f, g) 所示。

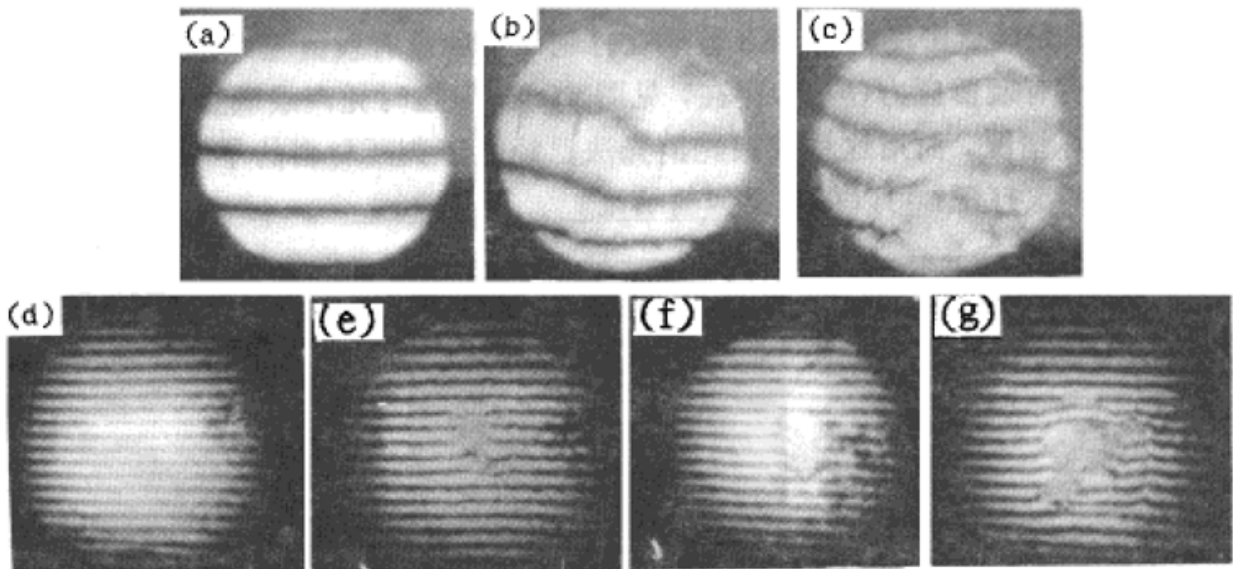


Fig. 5 Interferograms of the damage process in K8 glass by the Nomarski polarized interferometer. (a, d) before shooting, (b) after several shoots, (c) more shoots than that of (b); (e, f, g) represents the observable damage spots of K8 glass

诺曼斯基干涉仪的优点体现于相干性很差的短脉冲光源干涉。对图 4 的实验排布稍作改动, 即探测光源采用从打靶光分出一束经 KDP 倍频, 这样就可以对打靶时的瞬态情形进行记录。值得说明的是, 实验中使用的渥拉斯顿棱镜是用冰洲石做成的, 它的分束角大, 不同于用石英做成的(分束角很小)偏振光微分干涉仪。由于探测光相对于打靶光的延迟时间很短, 并且经过理论估算, 高频应力波在玻璃内的衰

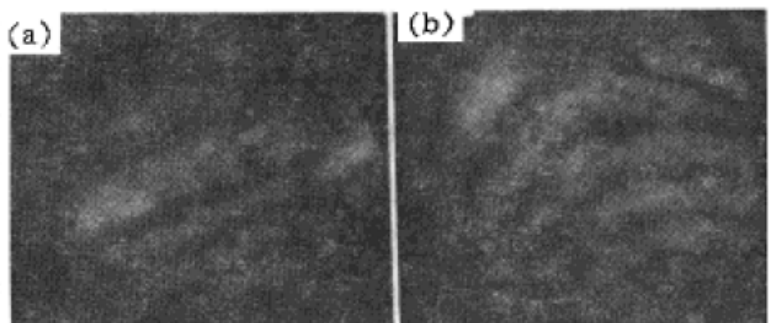


Fig. 6 Interferograms of the transient process in K8 glass. (a) without the shooting light beam; (b) when shooting

減距离比两干涉光分开的距离要小得多<sup>[5]</sup>, 所以, 即使延迟时间足够长, 打靶光激发的应力波也不会干扰参考光。因此, 用冰洲石材料做成的诺曼斯基干涉仪其干涉原理和马赫-陈德尔干涉仪是一样的。图 6(a) 是遮住打靶光时的瞬态干涉图, 图 6(b) 是打靶时的瞬态干涉图, 从图中可以看出应力波的前向传播造成条纹的弯曲。

**结 论** 本实验建立起来的诺曼斯基偏振光干涉仪能够对光学玻璃材料的破坏过程进行记录和分析, 特别是能对早期的破坏行为进行探测, 而且具有光路稳定性好, 结构简单紧凑等特点。

### 参 考 文 献

- [1] F. Rainer, *et al.*, Four-harmonic database of laser-damage testing. *Laser-Induced Damage in Optical Materials*, 1991: 116~ 127
- [2] D. C. Emmony, M. K. B. Suaidi, *et al.*, A high resolution dynamic photoelastic study of laser generated sound in polymer. *20th International Congress on High-Speed Photography and Photonics*, 1992, **1801**: 380~ 391
- [3] D. C. Emmony, B. Ward, Surface generated ultrasonic waves in solids by a Nd :YAG laser. *20th International Congress on High-Speed Photography and Photonics*, 1992, **1801**: 947~ 954
- [4] B. Ward, D. C. Emmony, The energies and pressures of acoustic transients associated with optical cavitation in water. *J. Mod. Opt.*, 1990, **37**(4): 803~ 811
- [5] Robert W. Boyd, *Nonlinear Optics*, Academic Press. Inc., 1992, 325~ 364

## Damage Measurements of Optical Glass Materials

Yu Haiwu Meng Shaoxian

(Shanghai Institute of Optics and Fine Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800)

(Received 18 September 1995; revised 27 November 1995)

**Abstract** The method of polarized light extinction and Nomarski polarized light interferometer were used to detect the stress profiles and small damage spots optical glass material. Experimental results show that the Nomarski interferometer can help us to analyze the damage process of optical materials fairly well.

**Key words** polarized extinction, Nomarski polarized interferometer, damage.