

# 用于大尺寸光学玻璃光学 均匀性检测的干涉仪

侯慧英

(中国科学院长春光学精密机械研究所 长春 130022)

**摘要** 探讨了大尺寸高质量光学玻璃均匀性的几种检测方法。重点讨论了本所研制的刀口干涉仪。其优点是结构简单、装调容易、使用方便、便于判读、可目视和拍照或摄像及计算机分析处理数据,可把阴影法的高灵敏度和干涉法的高精度相结合,而且被检测的光学玻璃尺寸不受限制。

**关键词** 大尺寸光学玻璃 均匀性检测 干涉仪

## 1 引言

众所周知,光学仪器分辨率的高低,在很大程度上取决于所用光学材料的均匀程度。光学均匀性的定量测定在大部分光学研究领域和各种光学仪器的设计中都是十分重要的。近年来,对大尺寸高均匀度玻璃的要求越来越多,空间光学的迅速发展,使这一要求成为现实问题。如卫星用CCD像机,其检测装置中的平行光管、干涉仪等主要光学件,直径都在400mm以上,最大毛坯直径已达 $\varnothing 720\text{mm}$ ,并要求其折射率不均匀性 $\Delta n$ 不大于 $2 \times 10^{-6}$ 。口径之大,精度之高是前所未有的。国内已有的玻璃检测方法都无法满足这一要求。因此,探讨和建立新的定量测定方法势在必行。

## 2 大尺寸光学玻璃光学均匀性检测干涉仪

从理论上,国内外高精度确定光程差普遍采用的方法,只有干涉法。我们要探讨的是能够实现大尺寸初加工玻璃毛坯的光学均匀性的检测方法。

## 2.1 斐佐干涉仪

斐佐干涉仪常用于检验平板玻璃和平面的表面面形。由于大的平面标准样板制备困难, 通常口径只做到  $\varnothing 150\text{mm}$ <sup>[1]</sup>。国外  $\varnothing 750\text{mm}$  直径的斐佐干涉仪早已被研制出<sup>[2]</sup>。已研制出的各种型号的斐佐干涉仪通常为立式的, 更适合于光学零件的成品检验。这时, 标准平面可采用水油、水银等, 既可解决标准平面镜加工的困难, 又可做成很大尺寸。这种情况要解决的问题是震动、灰尘颗粒、蒸发、温度差、静电电荷、磁场、被检平板的重力变形和温度变化的干扰。

检验玻璃毛坯的光学均匀性, 样品尺寸大, 工作面只能细磨, 采用贴置玻璃的办法。这时重力的影响将是不可忽略的, 工作也不方便。

长春光机所研制了多种形式的斐佐干涉仪, 其中口径最大的为立式的, 液面作标准面的, 直径达 200mm。上海光机所生产的激光平面干涉仪口径达 140mm。

## 2.2 多光束球面干涉仪<sup>[2]</sup>

多光束干涉仪是由陶兰斯库检验平面时发展并做出了突出的贡献。干涉条纹的锐度由多光束装置产生。

多光束球面干涉仪是斐佐平面干涉仪的发展。可用于无接触检验, 球面曲率半径大于 130mm, 口径半径比小于 1-2.5 的镀铝凹面反射镜加辅助的标准球面或平面镜后可以检验平面, 凹凸非球面二次曲面反射镜、玻璃的均匀性、各种望远物镜、光学系统的质量及安装变形等。测出被检件或系统对于氦-氖气体激光波长所对应的波面变形误差, 确定镜面的局部误差及系统会聚球面波的质量。

长春光机所在七十年代就已研制出多光束激光球面干涉仪的干涉头, 在实际使用中证明了该仪器有很广泛的应用价值。

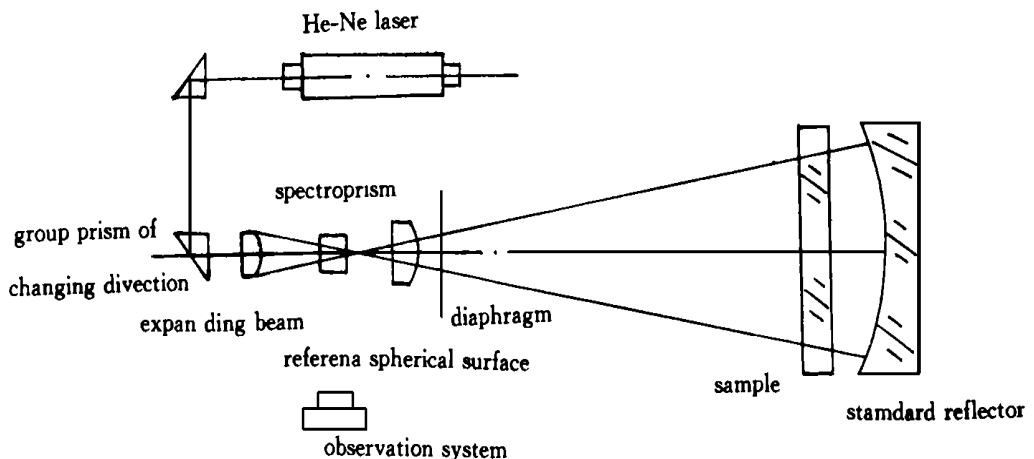


Fig 1 Multi-beam laser spherical surface interferometer

实践证明, 多光束球面干涉仪的最大缺点是小的标准球面镜的加工和装调困难, 这给该仪器的推广使用造成了一定的障碍。而采用多光束比采用双光束正弦分布的技术更容易获得高精度, 并易于实现光电探测。

## 2.3 波前剪切干涉仪

这种干涉仪是将被检波前重迭在它自己的剪切像上产生的干涉。波前剪切的方法有横向

的、旋转的、反转的和径向的。由于被检波面和自己的剪切面干涉,不用参考基准面,这就避免了斐佐干涉仪、多光束球面干涉仪中,由于参考基准面的精度决定干涉仪的精度。另外,产生干涉的两个波光程相同,因此对空气的抖动和震动的影响不敏感,对光源的要求不高,干涉仪结构简单。缺点是对干涉图的定量判读较麻烦。如果采用计算机进行数据处理,问题将会得以解决。这种仪器适合于大口径光学玻璃均匀性的检验,其原理如图 2 所示。

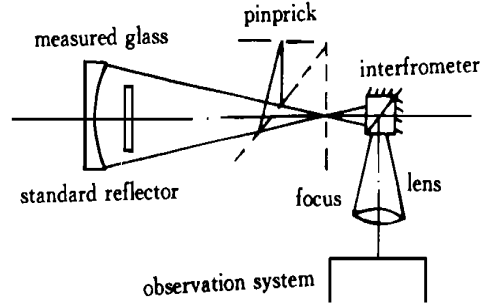


Fig 2 Wave advance clip cut interferometer

在使用这种仪器的实践中我们发现,不仅其判读繁琐,而其作为干涉仪的棱镜极易开胶,严重地影响观测条纹的精度。因此,该仪器对其使用和存放的环境条件的要求是不容忽视的。尤其对湿度温度变化有一定要求,这也在一定程度上限制了它的使用范围。

### 2.4 等距干涉仪<sup>[2]</sup>

这种仪器在国外是多年来较为经常使用的仪器之一,因为它使用起来方便灵活。

该仪器由美国的佩肯 爱尔曼公司根据布洛的设计原理进行研制的,它是一种径向剪切干涉仪。其基本原理示于图 3 中。

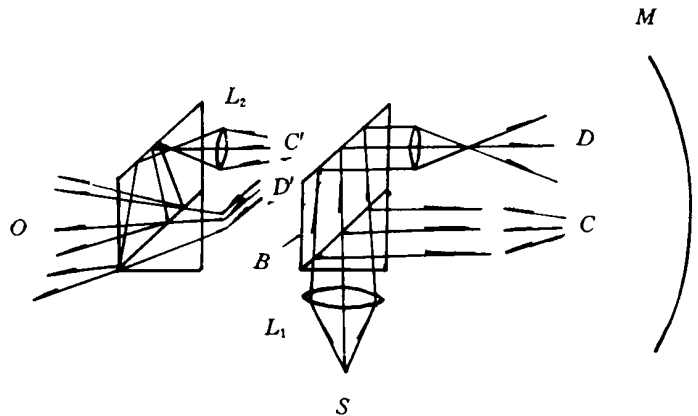


Fig 3 Praber equal path interferometer

图中B 为分光镜组,由两块棱镜构成, $L_1$  为透镜,使输出光在被检物体中央处聚焦; $L_2$  透镜提供了一个准确的焦点照明了被检件的宽口;C 为会聚光束,通过透镜 $L_2$  折回;

D 为发散光束,通过对应边折回,使两束相等的发散光在O 处干涉;S 为光源;M 为被检物体。

这种干涉仪可检球面反射镜、抛物面反射镜的面形,可检透明的平板等光程情况等。在图中的M 处,如果放置一面形极好的球面反射镜,则可在其前方的光路中,放置初加工的平行平板玻璃,采用抛光好的贴置玻璃及相应的折射液体,则可对该光学玻璃毛坯在初加工的情况下检测光学均匀性。仪器的精度取决于球面反射镜的面形、一对贴置玻璃的等光程程度的综合结果。

### 2.5 刀口干涉仪

长春光机所研制的刀口干涉仪是采用布拉贝尔等光程干涉仪原理。它可用于检验大口径凹面反射镜的面形、平行平板的等光程。除具有上面等距干涉仪的性能外,在其光学系统前面放置一刀刃,又可同时作为刀口仪,采用刀口阴影法进行光学检测。

在检验光学玻璃光学均匀性时,采用镀铝的球面反射镜作主反射镜,将被检玻璃两工作面细磨,用贴置玻璃和折射液,观测透射光在经过被检件后的光程差,其原理如图 4 所示。

由图可见,光源为 0.1mV 的氦-氖激光光源,经过扩孔透镜后,进入棱镜组,该扩孔透镜还起到等距干涉仪的  $L_1$  作用,在等距干涉仪  $L_2$  的位置,放置一半球形透镜,以保证其足够大的发散角。由狭缝(或星点)和半球镜发出的两束光,经过球面反射镜返回后,位置互换,最后在目镜处干涉。由摄像机拍得干涉条纹,输入微型计算机,从监视器观测干涉条纹,结果存入微机或打印干涉图形。

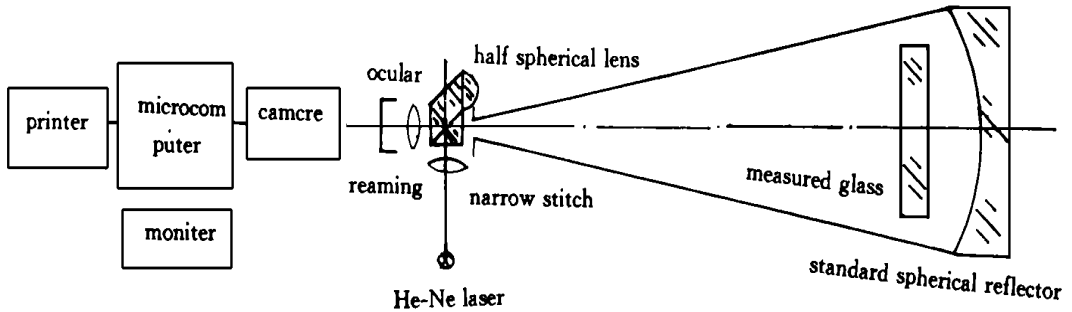


Fig. 4 Principle of measuring glass homogeneity with the knife interferometer

光线两次通过被检件,其精度比单光程干涉提高一倍。又由于其可检口径取决于所用主反射镜的口径,因此,可检任意口径的玻璃。这也是其它方法所不能做到的。所以,该方法更适用于大口径。

我们知道,通过玻璃的光程,由下式给出:

$$s = 2nd$$

式中  $n$  为玻璃折射率,精确到小数点后四位,  $d$  为被检件的厚度。由于折射率的局部不均匀,及厚度的不同,即面形误差引起的光程差为:

$$\Delta s = 2(\Delta n \cdot d + n \cdot \Delta d + \Delta n \cdot \Delta d)$$

而折射率的不均匀性  $\Delta n$  通常小于  $10^{-4}$ ,  $\Delta d$  通常在波长数量级,因此  $\Delta n \cdot \Delta d$  一项可忽略。即

$$\Delta s = 2(\Delta n \cdot d + n \cdot \Delta d)$$

则折射率的不均匀性由干涉条纹的弯曲及面形误差表示:

$$\Delta n = \frac{\Delta s}{2d} - \frac{\Delta d}{d} \cdot n$$

程差  $\Delta s$  由干涉条纹的局部弯曲和所用波长表示:

$$\Delta s = \Delta W \cdot \lambda$$

$$\Delta n = \frac{\Delta W \cdot \lambda}{2d} - \frac{\Delta d}{d} \cdot n$$

实际测量中,  $\Delta d/d$  一项,靠面形的加工来解决,使面形变化引起的误差消除到最小,以至于不影响最终的测量结果。这样

$$\Delta n = \frac{\Delta W \cdot \lambda}{2d}$$

只要测得样品厚度  $d$ , 所用波长  $\lambda$  干涉条纹弯曲  $\Delta W$ , 则  $\Delta n$  可知,用刀口干涉仪检验光学均匀性,对被检玻璃提出如下要求:

- (1) 两通光面细磨, 平行度 1 ;
- (2) 两通光面平面度  $N$  不大于  $0.5\lambda$ ,  $\Delta N$  不大于  $0.2\lambda$ ;
- (3) 基面与通光面垂直, 垂直度  $90^\circ \pm 10^\circ$  ;
- (4) 液体与被检件折射率差不大于  $\pm 1 \times 10^{-4}$  。

Table 1 Testing data of optical homogeneity

trade mark	order number	standards (mm)	interference stripe distortion	index of refraction inhomogeneity ( $\times 10^{-6}$ )
K9	192	$\Phi 520 \times 67.20$	$\lambda/4$	1.2
K9	189- 1	$\Phi 520 \times 51.72$	$\lambda/3$	2.0
K9	BL 93- 11- 180	$\Phi 565 \times 99.12$	$\lambda/2$	1.6
K9	BL 93- 11- 182	$\Phi 565 \times 99.02$	$\lambda/2$	1.7
K9	BL 93- 14- 14	$\Phi 725 \times 131.10$	$\frac{4}{5} \lambda$	1.9

为保证测试结果的准确可靠, 仪器须放置在温度波动每 24 小时不高于  $\pm 0.5^\circ$  的恒温室内, 整台机器均放置在防震度为 4Hz 的空气弹簧基座上。对于玻璃均匀性的检测, 主反射镜、贴置玻璃, 在未放入待检玻璃时的总光程差不大于  $\lambda/10$ , 这时  $\Delta n$  的测量精度, 对于大尺寸足够厚的玻璃, 可实现  $10^{-7}$  数量级的精度。

### 3 结 论

综上所述, 上面五种干涉仪均可用于大尺寸玻璃毛坯光学均匀性的检测, 与其它四种方法比较, 刀口干涉仪更具有其优越性: 结构简单, 便于设计加工装调; 使用方便, 很容易调整干涉条纹; 便于判读, 可目视、拍照、摄像等; 精度仅取决于主反射镜, 不用特殊加工参考光束的光学元件; 检测口径不受限制, 只取决于主反射镜的口径; 必要时可用其刀口阴影法配合干涉条纹观测, 利用阴影法的高灵敏度和干涉法的高精度进行检测。如果采用计算机进行数据处理, 测试结果更客观。将会使该方法向前推进一步, 这将是我们要探讨解决的新问题。

#### 参 考 文 献

- 1 V rabel Joseph, Brown Earle B. The practice of interferometry. Optics and Laser Technology, 1992, 4(1): 28~ 41
- 2 Briers J D. Interferometric testing of optical systems and components a review Optical Engineering, 1975, 4(2): 124~ 129

## Test and Measurement Interferometer for Homogeneity of the Large Size and High Quality Optical Glass

HOU Hui-Ying

*(Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022)*

### Abstract

In this paper the various methods of test and measurement for the homogeneity of the large size and high quality optical glass are studied. The knife-edge interferometer is emphatically discussed, whose advantages are simple structure, easy to assemble and to calibrate, convenient to use, easy to judge and to read, and the data can be analyzed and processed by following methods such as the vision, the photography, and the pickup camera as well as the computer, and the high sensitivity of the shadow method and the high precision of interference method can be combined, and the optical glass size tested and measured is not limited.

**Key words:** Large-size optical glass, Homogeneity measurement, Interferometer

侯慧英 女, 1953 年出生, 1977 年毕业于光机学院材料专业。一直从事光学材料测试工作。