

大块光学玻璃均匀性测试

许 卫 刚

(湖北五一〇八厂)

摘要: 本文从实际测试出发, 讨论了测量光学玻璃均匀性的全息干涉法、星点衍射法、剪切干涉法及斐索干涉法。并对一批大尺寸光学玻璃进行了均匀性定类。

一、引 言

光学玻璃的折射率均匀性是玻璃质量的重要指标之一, 但对大尺寸玻璃, 要达到很高的均匀性及应力质量指标是比较困难的, 并且测试过程也比较复杂。我厂为某军工项目研制了一批大尺寸的光学玻璃, 本文是对这批玻璃进行均匀性测试的总结, 并试图探讨一下适合工厂测试光学玻璃均匀性的方法。

二、全息干涉法

全息干涉法的特点是能同时进行面形差 Δh 和折射率不均匀 Δn 的测试。它的原理是利用全息技术, 在同一干板上多次曝光, 贮存试样反射光和透射光的信息, 在参考光中再现后, 就得到了试样反射干涉条纹和透射干涉条纹的叠加干涉图。因为有两组干涉条纹, 所以可以列出两个方程, 同时求得 Δn 和 Δh 。

本文用JQY—300激光全息干涉仪对五块光学玻璃进行了均匀性测试。图1是它们的组合干涉图, 有关参数列入表1。

表1 全息法试样参数及测试结果

编 号	牌 号	尺 寸	$n_{6328\text{\AA}}$	Δn
1 [#]	K ₀	$\phi 230 \times 50$	1.5147	1.12×10^{-6}
2 [#]	BaK ₆	$\phi 300 \times 57.7$	1.5704	1.69×10^{-6}
3 [#]	BaK ₃	$\phi 288 \times 43.6$	1.5704	1.94×10^{-6}
4 [#]	ZBaF ₂	$\phi 267 \times 41.8$	1.6369	1.54×10^{-6}
5 [#]	TF ₃	$\phi 265 \times 74.2$	1.6095	1.77×10^{-6}

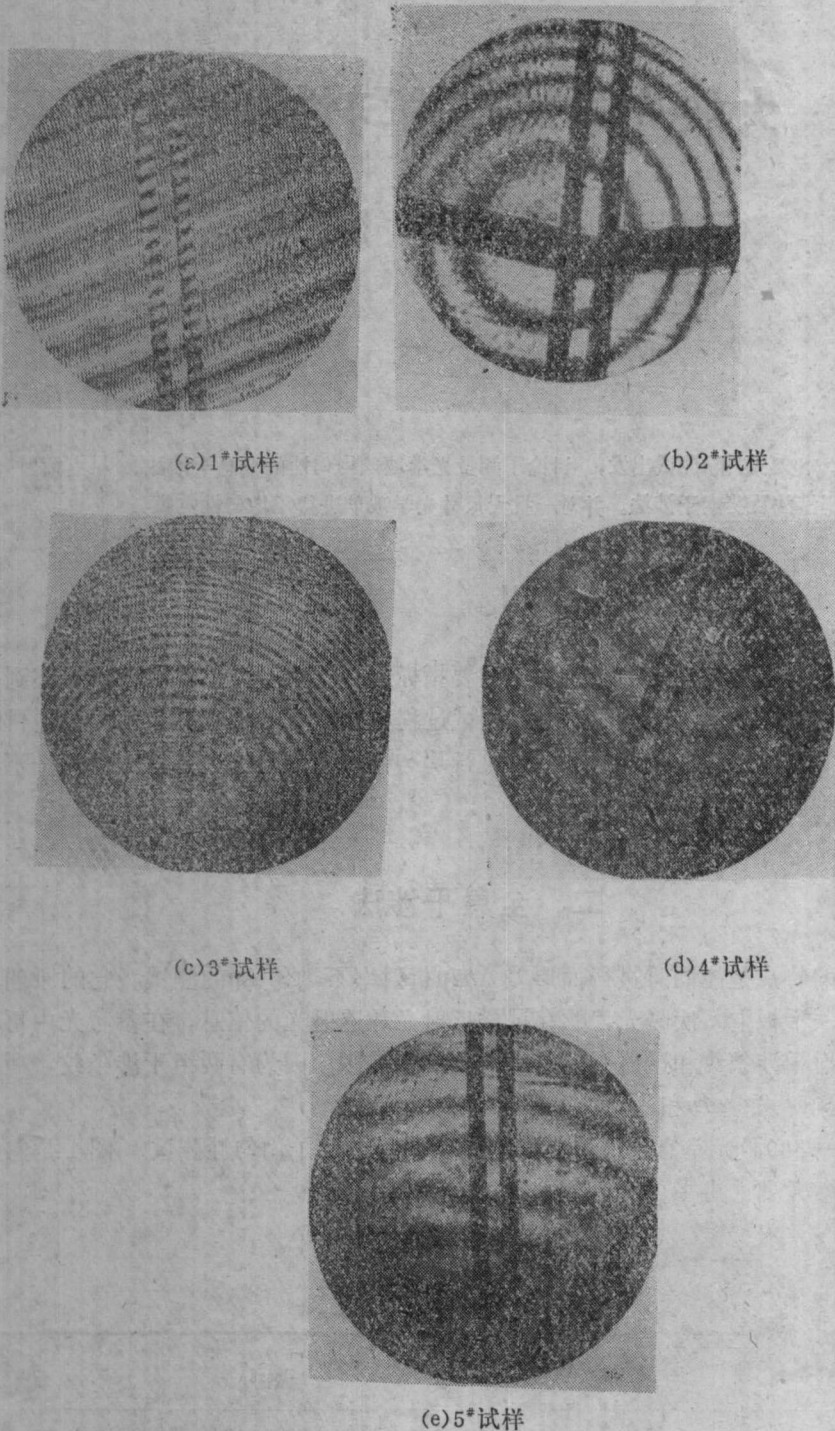
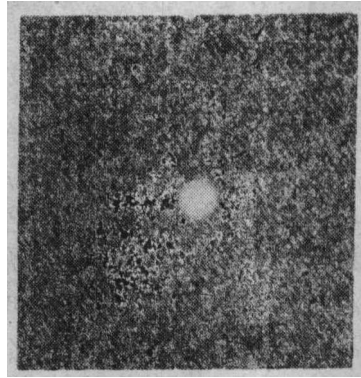


图1 全息法组合干涉图

由于全息法能同时测量 Δh ，对试样的加工要求来说，比其它干涉法要低得多，但由于要观察试样前后表面的等厚干涉条纹，除了面形要达到一至二个光圈外，对其平行差的要求是比较苛刻的。考虑到全息干板及人眼的分辨率，方便最后的条纹判读，对 $\phi 300\text{mm}$ 口径试样来说，平行差要求在 $4''$ 左右，否则严重影响测量精度。另外，如果试样形成环状条纹（如3*试样），在全息干涉仪上进行测试就比较困难。

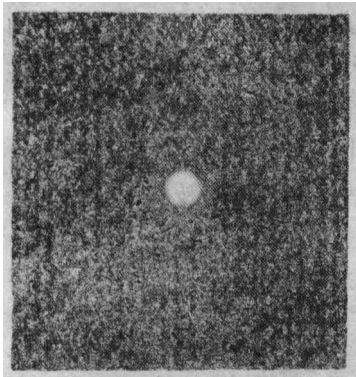
三、星点衍射法

为了验证全息干涉法的结果，我们又在—对3米平行光管上进行了定性的星点衍射检验，因为受平行光管本身质量限制，我们只能在 $\phi 200\text{mm}$ 口径之内进行星点图的观察。光源是He—Ne激光，利用 $40\times$ 的显微物镜放大星点。图2(a)是没放试样时的星点衍射图，必须注意其图案也并非理想的艾里斑，这样对实测时的图案必然产生影响。图2(b)、(c)、(d)、

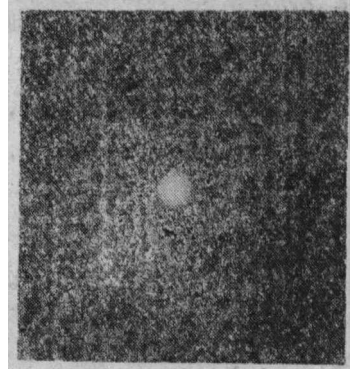


(a) —对三米平行光管空测星点衍射图

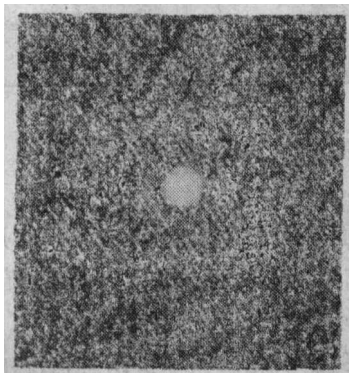
星点孔直径： $\phi 0.005$ ，衍射孔径： $\phi 200$ ；光源：激光



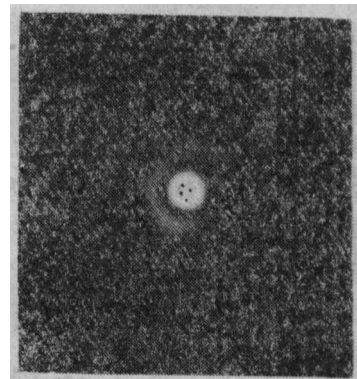
(b) 2* 试样



(c) 3* 试样



(d) 4* 试样



(e) 5* 试样

图2 星点衍射图

(e)是四块玻璃的星点衍射图, 有关参数见表1。同空测时一样, 第二衍射环都在 $\pm 45^\circ$ 方向上有相同的缺陷, 因为这是仪器本身存在的缺陷。另外, 实测时的星点衍射图还包含面形的影响, 但仅仅是局部误差, 因为整体面形仅使波面离焦。最差的5*试样是因为局部面形太差, 从它的全息干涉图中可明显看出。

在 $\phi 200\text{mm}$ 口径内, 与全息干涉法比较, 两者的结果基本一致。 Δn 最大的3*试样, 其星点衍射图比较差。5*试样若排除面形局部误差的影响, 相信其星点衍射图是会得到改善的。

四、剪切干涉法

星点衍射法的特点是方便、直观、但不定量、口径小; 全息干涉法的特点正好相反。能否使两者统一起来, 即在星点衍射法的基础上进行定量测试。众所周知, 星点衍射法是定性观察通过试样的畸变波面所引起的艾里斑变化来实现均匀性测试的。如果能把这一畸变波面进行定量计量, 是不难实现折射率差的计算。显然, 会聚光的横向剪切干涉是实现这种定量计算的有效手段。基于这一想法, 本文进行了这方面的一些实验。

如图3, 整个装置和星点法基本相同。剪切原件由两个梯形棱镜和两个同心透镜胶合而成。分光面 F 和反射面 M_1 、 M_2 成一个角度, 以便形成两束不完全重合的波面 W_1 和 W_2 , 波面 W_1 、 W_2 和原始波面 W 完全相同, 在它们的重合区域则发生干涉现象。

本文是用夹板玻璃来排除面形影响的。夹板玻璃的口径为 $\phi 230\text{mm}$ 。图4(a)及(b)、(c)、(d)分别是一对夹板玻璃及用其进行贴置的三块试样的横向剪切干涉图。注意到每张干涉图下方都有大约 0.5λ 的局部畸变, 显然这一缺陷来自夹板玻璃, 在它的全息干涉图(见图1(a))中也明显可见。进一步分析, 是内部条纹引起的。

用Saunaers法对剪切干涉图进行了波差计算, 结果及有关参数列入表2。

表2 剪切法(用夹板玻璃)测试结果

编 号	牌 号	尺 寸	最大波差	Δn
3*	BaK ₈	$\phi 230 \times 43.6$	0.06λ	0.87×10^{-6}
4*	ZBaF ₂	$\phi 230 \times 41.8$	0.05λ	0.76×10^{-6}
5*	TF ₃	$\phi 230 \times 74.2$	0.22λ	1.88×10^{-6}

本方法的实际测试精度可以认为是夹板玻璃引起的波面畸变所对应的折射率差。对图4(a)进行波差计算, 结果为 0.04λ , $\Delta n \approx 5 \times 10^{-7}$ 。

对面形光圈数很多但平行差较好, 或平行差很大但面形较好的抛光试样, 不用夹板玻璃也能进行 Δn 的测试。对前一种情况, 面形只引起波面离焦, 而波面离焦是不影响剪切条纹变化的, 只有折射率不均匀才引起波面畸变。从而使剪切条纹变形。对后一种情况, 平行差只使焦点横向位移。剪切条纹的变化也只有折射率不均匀才引起。当然这两种情况下的试样的局部误差应是较好的。本文对具有这两种极端情况下的试样也进行了测试。图5为它们的剪切干涉图, 有关参数列入表3。

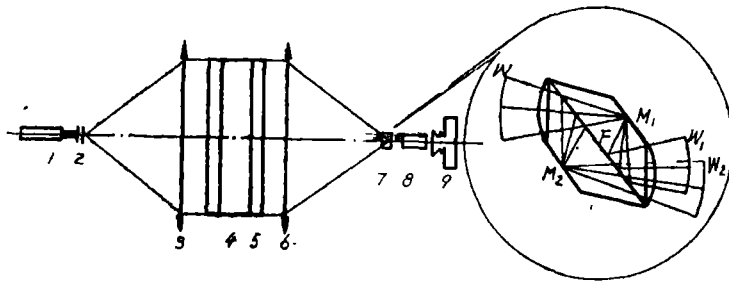
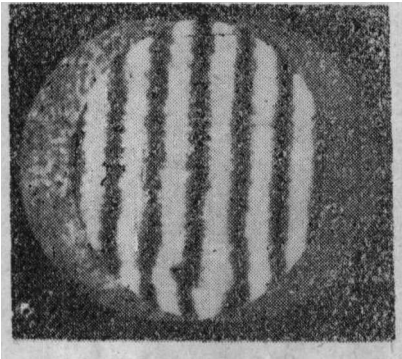
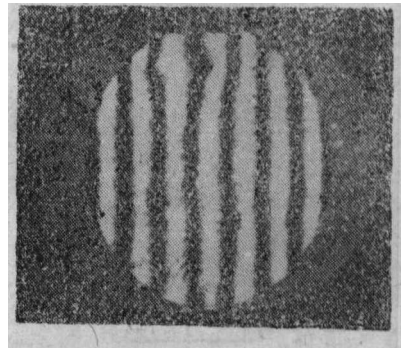


图3 横向剪切法测光学玻璃均匀性光路图

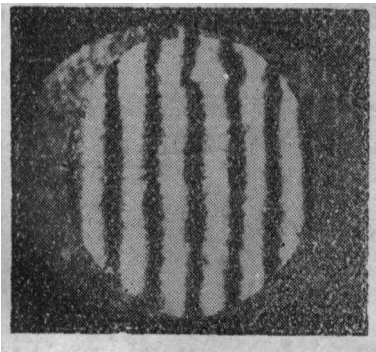
1—激光光源；2—扩束系统；3,6—物镜， $F = 3000$ ， $D = 300$ ；4—试样；
5—夹板玻璃， $\phi 230$ ；6—剪切元件；7—观察显微镜；9—照相机



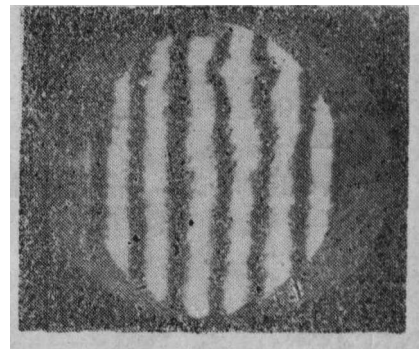
(a) 夹板玻璃(5)的剪切干涉图



(b) 3*试样



(c) 4*试样

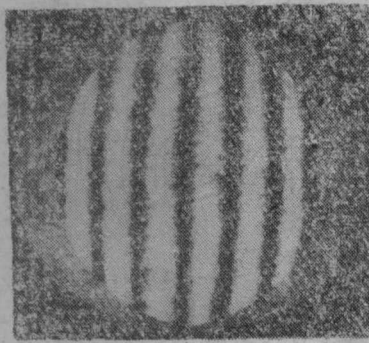


(d) 5*试样

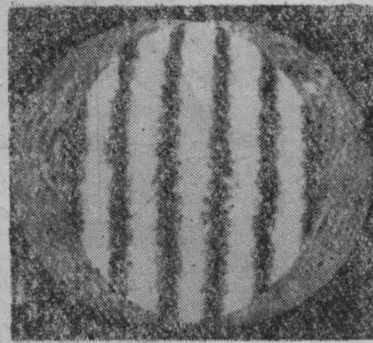
图4 剪切干涉图

表3 剪切法（抛光试样）测试结果

编号	牌号	尺寸	面形	平行差	最大波差	Δn
2*	BaK ₃	$\phi 300 \times 57.7$	$N_1 = N_2 = -8$	2''	0.14λ	1.54×10^{-6}
6*	K ₉	$\phi 230 \times 25$	$N_1 = N_2 = \pm 1/10$	2'	0.04λ	1.01×10^{-6}

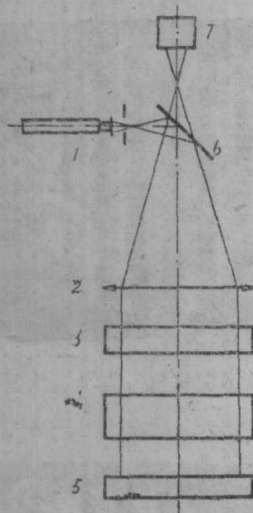


(a) 2* 试样



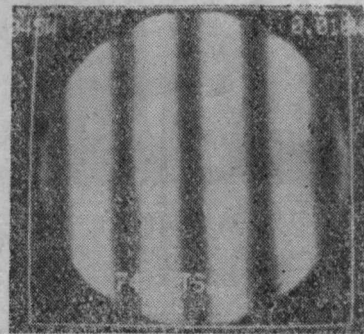
(b) 6* 试样

图5 抛光试样的剪切干涉图



(a) 斐索干涉仪光路图

1—光源系统；2—准直物镜；3—透射平晶(TF)；4—试样；5—反射平晶(RF)；6—分光镜；7—接收系统



(b) Mark III 十二英寸斐索型干涉仪本底干涉条纹图

图6 斐索干涉仪

五、斐索干涉法

1. 透射干涉法

图6(a)为斐索干涉仪的光路图。分别被TF和RF反射的光线形成等距直条纹。如在TF和RF之间放入试样，则干涉条纹会发生弯曲，弯曲的程度取决于试样均匀性的优劣。适合这种方法测试的试样或者是面形很好，或者用夹板玻璃贴置试样，同时，仪器本身的元件也应是相当精密的。

本文用美国 ZYGO 公司的Mark III 12 in斐索型干涉仪用上述方法对三块玻璃进行了测试。图6(b)为该仪器的本底干涉条纹图，位相测试技术结果表明波面畸变小于 $1/20\lambda$ ，它表

征了干涉仪本身的综合精度。图7分别是三块试样的透射条纹图，它们的波面弯曲由仪器自动给出，对应的折射率最大差值及有关参数见表4。

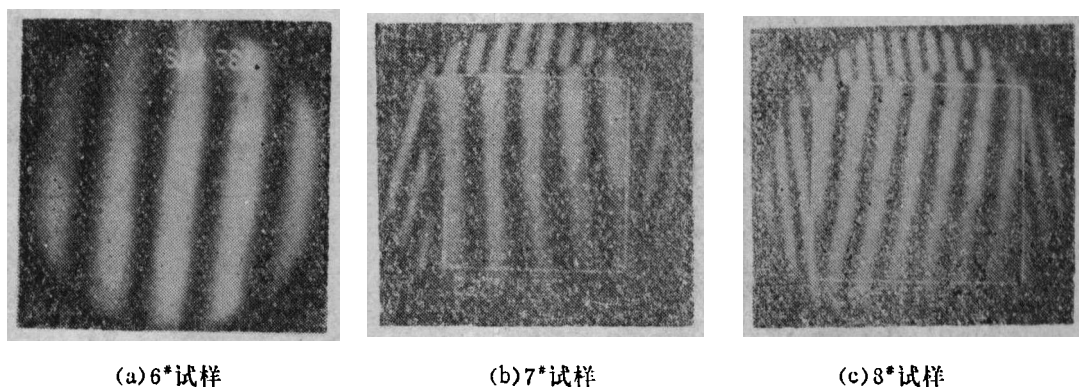


图7 透射条纹图

表4 透射法试样参数及测试结果

编号	牌号	尺寸	面形	最大波差	Δn
6*	K ₀	$\phi 230 \times 25$	$N_1 = N_2 = \pm 1/10$	0.086λ	1.09×10^{-6}
7*	K ₀	$100^2 \times 20$	$N_1 = N_2 = \pm 1/10$	0.072λ	1.14×10^{-6}
8*	K ₀	$100^2 \times 20$	$N_1 = N_2 = \pm 1/10$	0.127λ	2.01×10^{-6}

2. 组合干涉法

反射条纹及透射条纹的组合干涉图能同时计算 Δn 和 Δh 。因此，在对试样加工要求不高的情况下，可对均匀性精密测试，但目前获得组合干涉图的方法中只有全息法得到了实际应用。然而，这种方法测试过程比较复杂，结果也不够直观，特别是在获得组合干涉图的几次曝光，试样来回移出光路的过程中，难免不使仪器光学元件发生位移，从而影响测试精度。

本文在 Mark III 干涉仪上也成功地获得了试样的组合干涉图。方法是首先将试样调整到垂直光路位置，出现反射干涉条纹，然后将 TF 和 RF 分别调整垂直光路，直到 TF 和 RF 绝对平行，即 TF 和 RF 反射光束形成的干涉条纹宽度增大到超过被检试样的口径，这时就出现试样的透射干涉条纹，在视场中显示的却是上述两组条纹的组合干涉图及一些附加条纹，微调试样可消除附加条纹。

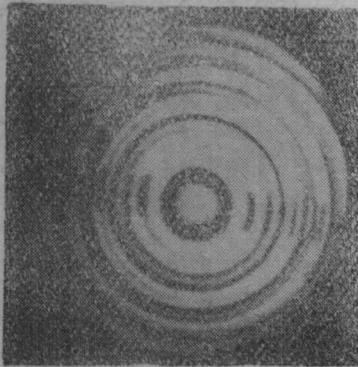
与全息法的组合干涉图相比，本方法有以下优点：(1)一次曝光、快速、直观；(2)干涉条纹对比度好，透射条纹中心容易判定；(3)照片的获取是在瞬间完成的、震动、气流、仪器元件位移等影响可减少到最小限度；(4)对试样的加工要求相同，但对仪器本身的元件有很高的要求。

与上述的透射干涉法相比，特点是：(1)试样加工要求大大降低；(2)精度高；(3)能同时测量 Δh 。但最后的计算要麻烦一些。

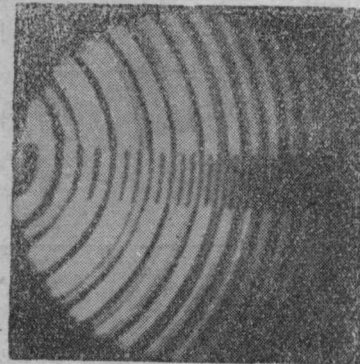
对五块玻璃进行了测试，图8分别是它们的组合干涉图。其中2*和3*试样因反射条纹太密而分成两个区域进行测试，然后综合评定。有关参数见表5。

表5 裴索组合法试样参数及测试结果

编号	牌号	尺寸		$n_{63328\text{\AA}}$	Δn
2 [#]	BaK ₃	$\phi 326 \times 57.7$	$\phi 180 \times 57.7$	1.5704	1.60×10^{-6}
			$\phi 150 \times 57.7$		
3 [#]	BaK ₃	$\phi 288 \times 43.6$	$\phi 200 \times 43.6$	1.5704	0.97×10^{-6}
			$\phi 100 \times 43.6$		
4 [#]	ZBaF ₂	$\phi 267 \times 41.8$		1.6369	0.72×10^{-6}
5 [#]	TF ₃	$\phi 265 \times 74.2$		1.6095	2.07×10^{-6}
9 [#]	K ₉	$100^2 \times 20$		1.5147	1.86×10^{-6}

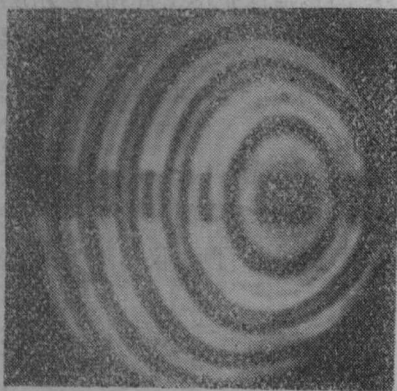


$\phi 180$ (左)

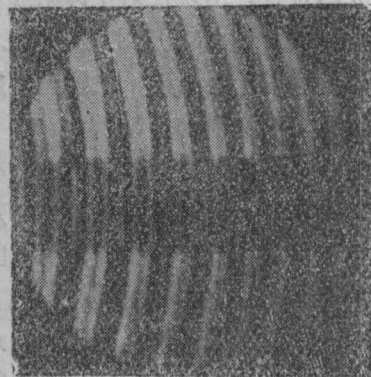


$\phi 150$ (右)

(a) 2[#] 试样

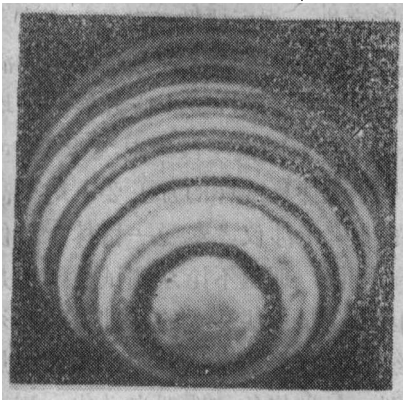


$\phi 200$ (左)

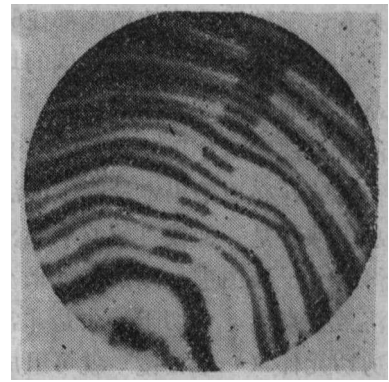


$\phi 100$ (右)

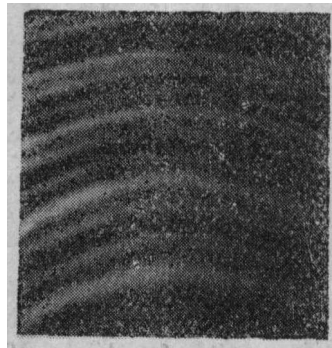
(b) 3[#] 试样



(c) 4* 试样



(d) 5* 试样



(e) 9* 试样

图8 斐索法组合干涉图

六、讨 论

将四种方法的测试结果列入表6进行比较。我们发现，对同一试样的测试结果基本相同，剪切法与斐索法更为接近。对大尺寸玻璃来说，与全息法稍有差别，我们分析主要原因是全息法测试中试样移出光路引起光学元件位移及曝光过程中气流、温度变化带来的影响。

表6 四种方法测试结果的比较

编 号	全 息 法	剪 切 法	斐 索 法	星 点 法
1*	1.12×10^{-6}	0.51×10^{-6}		
2*	1.69×10^{-6}	1.54×10^{-6}	1.60×10^{-6}	1 类
3*	1.94×10^{-6}	0.89×10^{-6}	0.97×10^{-6}	1 类
4*	1.54×10^{-6}	0.76×10^{-6}	0.72×10^{-6}	1 类
5*	1.77×10^{-6}	1.88×10^{-6}	2.07×10^{-6}	1 类
6*		1.01×10^{-6}	1.09×10^{-6}	

从各个装置的复杂程度来看，星点法和剪切法较简单，全息法和斐索法较复杂，而斐索法对仪器元件要求最高。从操作简易程度来看，全息法较复杂，星点法较简单，从测试精度

来看,三种干涉法的精度都在 6×10^{-7} 之内,星点法只能定性,相应要低一些。

目前,工厂对光学玻璃的均匀性测试还主要采用鉴别率法,显然这种方法已不能满足日益发展的光学玻璃测试需要了。通过几年的测试工作,我认为在工厂至少应开展两种均匀性测试方法。对小于150mm口径的大批玻璃,应以星点法为主要测试手段。对大于150mm口径的试样必须采用定量的干涉法。干涉法中,对仪器本身元件及试样的加工要求均不高的全息干涉法是一种较有效的手段。但最好能使用高质量的斐索干涉仪或泰曼—格林干涉仪来获得组合干涉图进行测试。如果不具备这几种大口径的干涉仪,那么不论从测试技术还是从经济效益来看,剪切干涉法是非常适合在工厂发展的。因为在星点法装置的基础上,只须加上剪切元件(一个棱镜)就可组成一套剪切装置。对熟练的操作人员来说,观察焦前,焦点,焦后处的剪切条纹变形及对称性,即可判断均匀性类别。如果将条纹处理自动化,测试速度将大大提高。

参 考 文 献

- [1] 李锡善等,硅酸盐学报,1978,6,3,149—165.
- [2] 华东工学院,《光学测量》,1982.
- [3] 山深闻,《横向剪切干涉仪》,1981.
- [4] 陈进榜,《棱镜透镜干涉仪》,1982.

Measurement of Homogeneity for Large Size Optical Glasses

Xu Weigang

Abstract

In this paper, based on practice methods of measuring the homogeneity of optical glasses—holographical interferometry, star-point, shearing interferometry, Fizeau interferometry—are discussed. classification of the homogeneity of large size optical glasses are showed.