

用全息干涉计检验大块光学玻璃毛坯的均匀性

实时全息干涉计浸没液槽法检验大块未抛光的光学玻璃毛坯的均匀性达到很高精度。用所提出的全息方法检验了几块大尺寸厚平行平板玻璃的均匀性。

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是十分重要的。近来对大块具有高均匀性光学玻璃的要求愈来愈多。空间科学的迅速发展使这要求成为现实问题。以激光为光源的干涉法检查大块光学玻璃坯曾由Murty, Devany和我们小组建议并使用过, 这些方法主要包括利用迈克耳逊干涉仪或其修改型。这里研究的问题是高精度地比较大的未完工光学玻璃的折射率均匀性。

全息干涉技术近来已成为很多文章的主题, 它和传统干涉仪相比较的优点常被讨论, 现在在工业各研究领域有广泛应用。本报告提供实时(即一次曝光)全息干涉仪应用的结果。

实验方法

用来取得全息干涉的实验装置简图见图1。一个He-Ne激光提供单光束, 它分裂为两个光束, 其中一个参考光束, 经过三个棱镜 P_1, P_2, P_3 , 这三个棱镜是用来控制光程以便加强全息图平面的条纹反衬度。它被显微物镜 M_1 扩展, 再用准直镜 C 使其成为准直光束照明全息图平面 H 。另一光束用显微物镜 M_2 扩散来照明一个由光学玻璃平板做成的大型浸没槽‘I’。然后此光束又为大球面镜反射沿原光路返回达到分束器 B_2 , 在那里被反射去照明全息图平面 H 。放在全息图平面 H 的照相底片现在接受一个准直平面

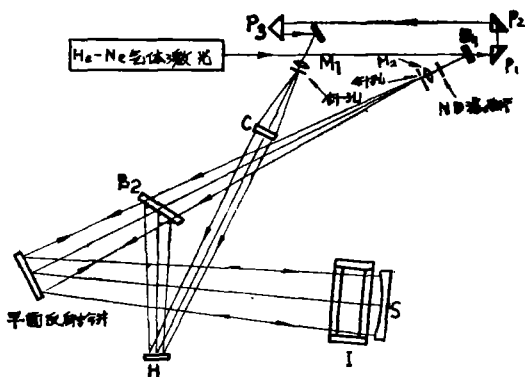


图1 实验布置示意图

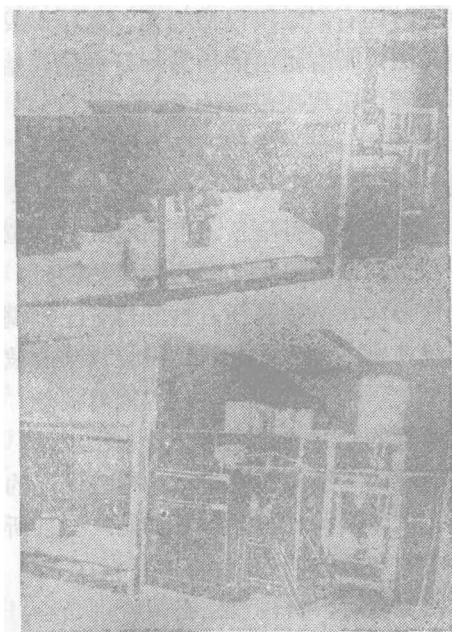


图2 实验装备(a)从左到右表示平面镜, 照片盒浸没槽。(b)浸没槽, 大型球面反射镜和清理仪器的近景

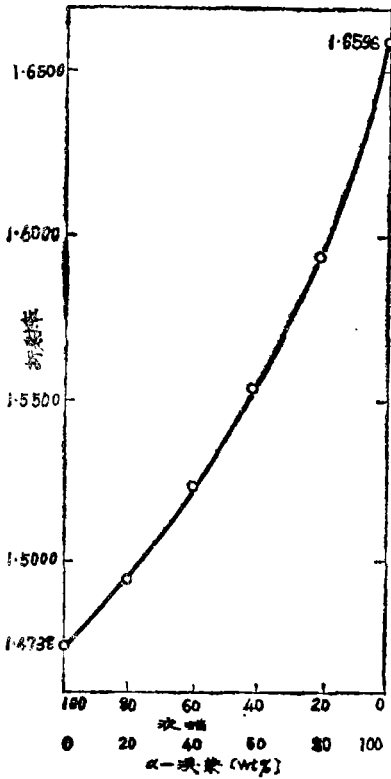


图3 在24℃温度下液态蜡和α-溴萘两者混合液的折射率作为重量百分比的函数

波，同时还有经过浸没槽的光。这样形成一个全息图，带有足够的信息恰好在同原始的一样位置上重现浸没槽的象。

在检验一个光学玻璃坯的均匀性时，先形成一个没有被检玻璃坯的浸没槽的全息图。经处理后，将全息图精确地放在H位置上。当全息图用原来的参考光束照明时，原始象恰好落在浸没槽还占据的位置上。调整这系统使全息图来的光波和浸没槽来的波在同一位置，一个单独亮条纹占据着视场。如果要检验的光学玻璃坯现在放进浸没槽，象内将出现的零级条纹就指示被检玻璃坯的均匀性。图2是为检验光学玻璃的均匀性所用组件实验布置的照相。

做实验时，对浸没法必须特别当心。只是粗加工的玻璃坯浸没在液体中，液体和玻璃有同一折射率 $n(\lambda, T)$ 。如果槽内满足条件 $n_{液}(\lambda, T) = n_{玻}(\lambda, T)$ 则在波长 λ 的光中看

不见玻璃坯表面效应。上述条件通常能实现，只要先适当选择一种折射率和玻璃毛坯相近似的液体。第二进行精确匹配或是通过控制温度 T ，或是通过选用波长 λ 刚好在玻璃色散曲线和液体色散曲线的共同点，或者将两办法结合起来。可是只要用激光做光源、光波长 λ 便不能任意选择，精确匹配只能由控制槽内温度来完成。寻找一种具有近似折射率的液体的第一个程序是适当地混合两种液体，即液态石蜡和α-溴萘，混合液体的折射率和两液重量百分比的关系在图3里表示。从图我们看见，可以获得在折射率1.474到1.660中间任何值的液体。如果要折射率超过1.660的液体，甲醇碘在24℃有折射率1.75也用作混进的液体。被检玻璃和混合液的折射率 n_g 和 n_l 的失配对于干涉条纹的影响可以从下面方程推算出来：

$$(n_g \sim n_l) \Delta t = m \lambda / 2$$

这里 $\Delta t = (t_{极大} - t_{极小})$ $t_{极大}$ 和 $t_{极小}$ 是光学玻璃板最大和最小的厚度， m 是产生的条纹数， λ 是所用光波长。从这方程我们可以求得 n_g 和 n_l 失配的边界条件。这方程还指示被检光学玻璃的表面平行性和平直度应加检查、才能保证它的折射率和液体匹配。精确匹配的第二道手续是进行控制液体温度 T 一般增

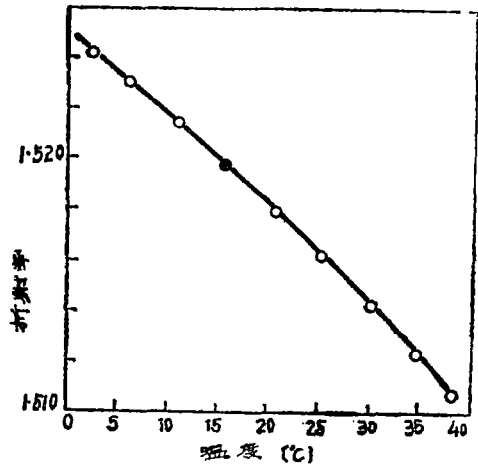


图4 具有混合比16:9液蜡和α-溴萘的混合液折射率作为温度函数表示

温一度，液体折射率下降数量级达 10^{-4} 。图



图5 干涉条纹图样：(a)为试验光学玻璃坯BK7的零级干涉条纹；(b)由被检玻璃坯在池内倾侧所引起的零级干涉条纹；(c)在玻璃坯BK7另一检验中由分束器倾斜引起的干涉条纹。

4 是一个例子，表示具有液蜡和 α -溴萘重量混合比16:9的混合液折射率作为温度函数的变化。

即使浸没液和被检光学玻璃折射率之间的失配引进的误差由上述过程被大部分消除，浸没槽特别是大型的液槽的液体中可以有化学的或热的不均匀性。这些很难去掉。为解决这问题，我们不去找液体中的平衡条件，而是用电动机将液混匀以获得一个稳态随机情况。这减少了液体中的化学或热的不均匀性带来的误差。在图2中可看到在浸没槽上方的电动机。对于大尺寸的被检毛坯应用此法时涉及获得完全稳态随机的情况问题，但这问题用适当选择搅拌方法可以解决。

最后特别要注意减少温度变化。置放本装置的房间是空气调节的。保持室温在 $24 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。浸没槽是由光学玻璃板制成的（厚度50—60毫米）。它除了透光面积外是用铝板、玻璃棉和木板遮盖的。

实验结果

用全息照相法对几块大尺寸厚平行平板玻璃进行均匀性的检验。图5(a)表示一个用图1装置所得典型结果。被检BK7玻璃坯的直径为15厘米，厚度为6.9厘米。图中给出零级干涉条纹，从此可以找出玻璃坯均匀

性的分布。沿着和条纹垂直方向最大的折射率差 Δn 可用公式 $n = m\lambda/2D$ 计算，这里 m 是条纹级数， λ 是所用光波长、 D 是被检坯的厚度。本例中求得的 Δn 为 1.4×10^{-5} 。从图5(a)，也明显的看到上述方向存在折射率的线性变化。可是试样上沿垂直于条纹方向折射率的变化不能直接从零级干涉条纹来推测。这里我们可以通过倾斜分束器 B_2 (图1)观察干涉条纹的移动来判断折射率是高或是低。要检查被检坯表面质量对干涉图的影响又倾斜被检坯(图5(a))取干涉图。结果的干涉图样在图5(b)中显示。该图表明实验中表面效应完全消失，而围绕中心部分两侧区域干涉条纹大为减少(见附录)。图5(c)是另一例子，这里检验了BK7光学玻璃坯，直径15厘米，厚度4厘米。在本例中轻微倾侧(图1)中的分束器 B_2 在背景产生干涉条纹，得到了指示被检玻璃坯均匀性的干涉条纹。从这里我们可以看到，在背景和光学玻璃坯的干涉条纹间没有偏差，证明被检玻璃坯的均匀性非常好。

折射率的最大差值是 $\pm 2 \times 10^{-6}$ 。这从图5(c)的干涉条纹求值计算得出的。

图6(a)表示出直径为27厘米，厚度4.4厘米的BK7光学玻璃坯的零级干涉条纹。图中的虚线表示试样尺寸。根据干涉条纹求得整个试样上的折射率最大差值为 14×10^{-5} 。图6(b)、(c)指示在试样的正面和背面的四个

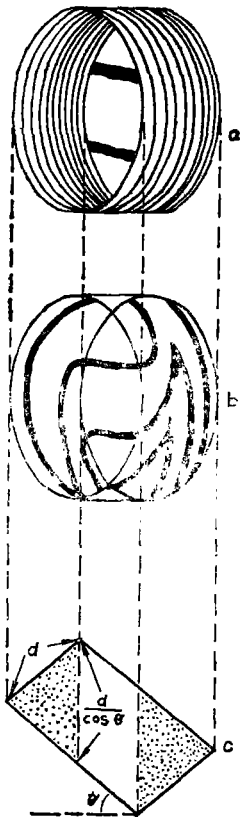


图 6 (a)被检BK7光学玻璃坯的零级干涉条纹；(b)在光学玻璃坯前平面四个位置用折射计测定的折射率值($\times 10^{-5}$)。(c)在光学玻璃坯后平面四个位置，用折射计测定的折射率值($\times 10^{-5}$)。(这些值是所测出从标准指标1.51633的偏差)。

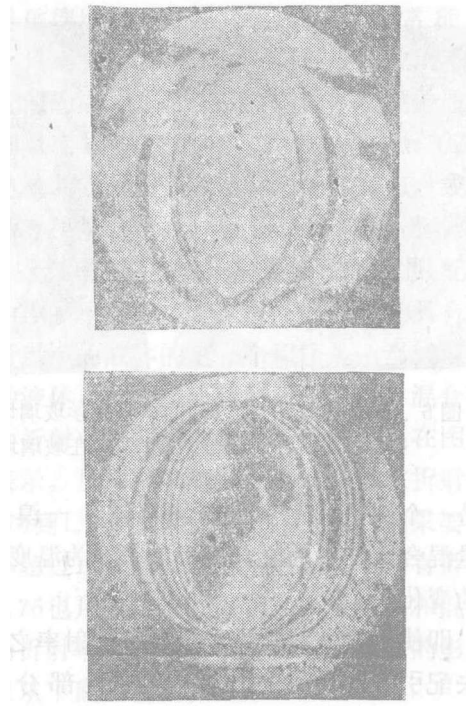


图 8 由于液体和被检光学坯折射率差异引起的干涉图样。在(b)内比(a)内的边区干涉条纹少

位置的折射率数值。这些数值用一个V块折射计测得的，几乎和根据图6(a)中干涉条纹求得值一致。可是从干涉条纹所得值是沿着截面方向的平均值。

从图6(b),(c)看出显然沿着试样的截面方向有比较大的折射率差。

当由折射率变化引起的干扰小于 $\lambda/2$ 时，用现在的全息照相干涉计量学检验均匀性变为不可能，因为干涉条纹的间隔是由 $\lambda/2$ 给定。在这种情况下折射率的变化可以由图1中分束器倾侧来考察，这产生试样上和背景的背景的平行干涉条纹。于是只要把这两区中干涉条纹相比较就行。

结 论

我们用所谈到的全息干涉装置检验了各种光学玻璃的均匀性，并研究了比较大的光学玻璃均匀性的各方面同玻璃生产过程的关

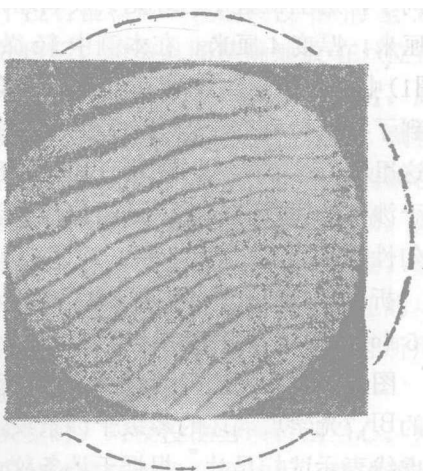


图 7 显示液体和被检坯折射率差异的干涉条纹发展图

系。用全息干涉加上浸没槽法检测光学玻璃均匀性的优点在于方法和设备简单,同时克服了传统干涉仪的固有困难。可是,在检验玻璃毛坯均匀性达到很高精度时由于化学或热的不均匀而引起的误差问题,并不因为采用了在液槽中搅拌液体的方法就不存在了。虽然这种方法的有效性已在本文中为实验所证明了。

附 录

当液体的折射率和被检光学坯不同时,很多干涉条纹在两旁区出现,如图7(a)所示。相应于这种情况的干涉条纹图样见图8(a)。可是图8(a)所示被检玻璃坯和图(5)中的不同。在折射率差逐步减少时两旁区出现的干涉条纹也减少,见图8(b)。

最后当折射率匹配很好时被检玻璃坯两旁区干涉条纹数大为减少如图7(b)所示。图5(b)给出实际的图样。

这种变化过程可以分析图7(c)来解释。

图7(c)指示从上面观察所见光学玻璃坯的厚度 d 。这情况被检坯倾斜一个角 Θ 。7图(c)的阴影区最大厚度差变为

$$t = (t_{\text{极大}} - t_{\text{极小}}) = (d / \cos \theta) > d.$$

由于被检玻璃坯的平行度和平度,这值和 Δt 比较是大的。所以可以作结论:被检玻璃坯的表面影响在干涉条纹数减少时(见图7(b))就消失(实际图样见图5(b))。

这技术可以应用到液体和被检玻璃坯折射率的匹配,将被检玻璃坯倾侧并观察在被检玻璃坯两旁所产生干涉条纹的变化。通过两液混合率来控制。这匹配的操作可以很精细地进行,从而能成功地使液体和被检光学玻璃毛坯折射率相匹配。当这样得到了折射率匹配之后,将被检玻璃坯转回到原始未倾侧的位置,它的光学均匀性便可用全息照相法检验了。

这种匹配折射率的方法在本实验中被广泛地应用着。

译自“Optics and Laser Technology”
Vol.3, No.1, 1971. P36—40,

(上接第59页)

Evaluation of large aberrations using a lateral shear interferometer having variable shear, Appl. opt. Vol.14, No.1, p.142, 1975.

43. 科学和工业测量中光学方法的会议报告
Conference report optical methods in scientific and industrial measurements, Optica Acta, Vol.22, No. 6, P. 553—556, 1975.