

# 用计算机全息照相的方法测定 非球面透镜的形状

## 前 言

照相机、望远镜以及眼镜所用的透镜，一直是用各种半径的球面和平面组成的，叫作球面透镜。经过长期的探索，确立了一套透镜的制作方法。目前可以做出相当高精度的球面透镜（可达光波长的几分之一）。但是，无论怎样提高制作精度，单个球面透镜肯定存在着像差。

因此，要制成具有更高性能的透镜，就必须配置多片的透镜和反射镜，用来补偿像差。而且，球面透镜组合时，也要受到其光学特性的限制，很难向特殊用途（宽银幕镜头用透镜、散光眼镜透镜等）方面发展。所以很早就有人根据特殊用途提出使用任意形状的曲面透镜，断定这种曲面透镜是很有价值的。但是，由于制用高精度任意形状的曲面相当困难，直到现在仍未能确定高精度任意形状曲面的制作方法以及检查法和加工法。这些曲面统称为非球面，具有非球面形状的透镜就叫做非球面透镜。

球面透镜和平面镜等表面形状的精密测定就象测定牛顿条纹那样，可以采取把原件作为比较标准，用光学的手段测定像差的方法。对于平面和球面来说，由于有较理想的原件，可以进行高精度的测定。

但是，对于非球面来说，则因为不能制作精确的原件，所以用光学的手段测定表面形状是很难的。以前曾有过种种试验，不过都没有得出令人满意的结果。鉴于目前这种局面，利用计算机全息照相的方法来测定非球面透镜的形状，很有实用价值。这种非球面检查方法就是把光衍射后生成的图像作为样板，来测定非球面的精度。

## 1. 测定原理

### 1.1 全息照相术

在说明测定原理之前，先就全息照相术做几点说明。如图(A)所示，把从物体O射来的物体光和参考光R同时在照相干板H上曝光。显示在干板上的图像就叫做全息图像。

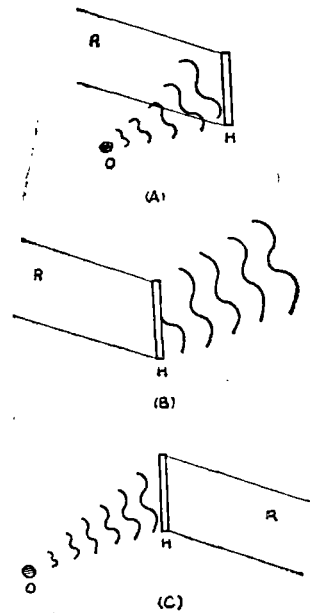


图1 全息图原理

即全息图像是把两个光束衍射的干涉条纹记录在干板上的图像。如图1(B)所示，在这张全息图上，只用参考光照明，就会再现如同物体存在着那样的物体光，因此把目光集中到有这种物体光的地方，便会看到好像那里存在着物体似的。反过来说，果如让从物体射O来的光束照在全息图上(如图1(C)所示)，那么就好像参考光线还在那里一样，把

光折射回来。这些技术就叫做全息照相术。在实际的实验中，还存在着光源的可干涉性和位置的再现性等不好办的问题。然而基本原理就这样简单。在这篇文章里介绍的透镜表面形状的测定方法，就是根据图 1 (C) 的原理进行的。

### 1.2 测定原理

如图 2 A 所示，光线通过精确加工的透镜之后，便产生了如 a 所示的波面（像差）。把这种光线和从斜面射来的平面波（平行光线）同时在干板上感光，制成全息图。

象图 2 那样放置这张全息图，用通过透镜的光来照明。根据图 1 (C) 的原理，就能够再产生和参考光一样的平面波。这样全息图就变成了补偿透镜的波面像差的滤波器。如果象图 2 (B) 那样，是在加工面上有着用

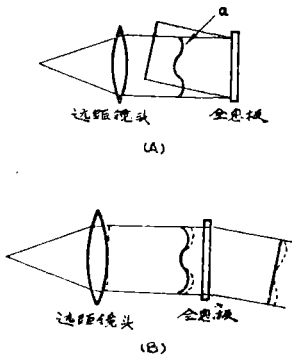


图 2 测定原理

虚线标出那样误差的透镜，那么通过透镜后的光波面就会带有虚线表示出来的误差。这张全息图并不修正误差，而只是根据误差量，在平面波上再产生一个偏移波面。

测定这个光波面产生的偏移量，便可以求出透镜形状的误差。偏移测定很简单，用干涉法就可以了。

如果在这里不用干板全息图，而是通过透镜设计值的计算，制成全息图的话，当然也是能够精确测定透镜制作误差的。

## 2. 计算机全息图

### 2.1 计算机全息图的种类

利用计算机制成的全息图像，可以认为有两种类型，干涉条纹型和雷曼型。

干涉条纹型是利用计算机计算出物体光和参考光在全息图像面上形成的细干涉条纹，采用 x-y 描绘器仔细地一条一条画出的

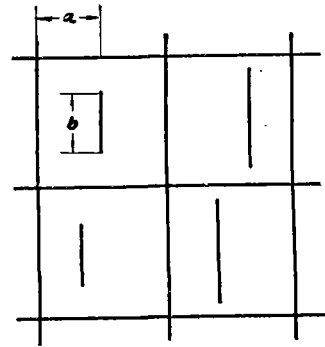


图 3 雷曼型全息图

方式。根据这个原理，用计算机记录了放在干板上感光而成的全息图和原图。和透镜表面形状的测定一样，当物体光的波面在连续平滑变化时最适宜。

雷曼型适合于文字等复杂物体全息图。可借助于各种方法来节省计算时间。这时，把全息图像面分成网络，在各个网络上留下狭缝。假设以（图 3）各网络的中心为

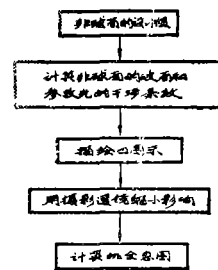


图 4 计算机全息图的编制程序

代表点，把到达代表点的物体光当作向狭缝的横向移动，把强度作为狭缝的长度表示出来。为了尽量缩小量子化的误差，我们研究了把狭缝向等相位线方向倾斜式的全息图像，根据需要用于透镜的表面形状。无论如何，这种方法由于相位的零点超过 $360^\circ$ ，狭

缝的位置明显变动,故再生图像的连续性将变坏。这对利用再生像进行的形状精密测定是不利的。所以在透镜形状的测定方面,干涉条纹型是令人满意的。

## 2.2 计算机全息图像的编制程序

干涉条纹型的计算机全息图像的编制程序可以依照图4那样进行。首先从给定的计算数值里计算出通过透镜的光波面形状(波面像差),接着计算由这条光线和参考光线在全息图像面上形成的干涉条纹,用高精度的描绘器 x-y 画出这些干涉条纹。图5是用计

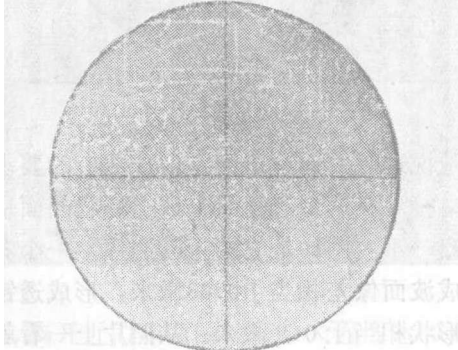


图5 干涉条纹全息图原图

算机画出的干涉条纹型全息图例。这个图是根据描绘器的精度和分辨率,先按10倍画出,再用精密的微缩镜头缩小。缩小透镜可以使用超微Nikon镜头,在精心加工的玻璃基板上涂着的负片型光致抗蚀剂上面刻条纹,然后让光通过有条纹的地方,其余部位用镀铬膜遮光制成全息图。图6是制作好的计算

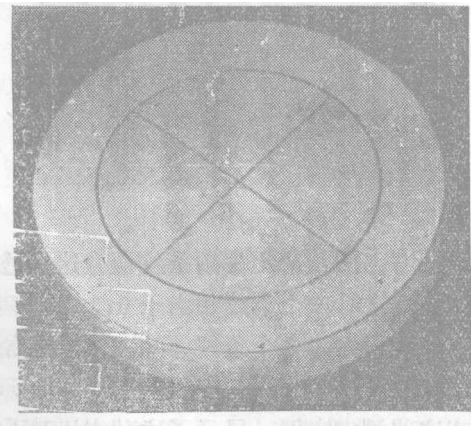


图6 制成的计算机全息图

机全息图干板。在全息照相板上加入了校准用十字线,这样制作的全息照相板一次衍射光的衍射效率在百分之几以上。在透镜表面形状的测定上具有很高的清晰度。雷曼型全息图的编制只是在计算方法上有些不同,其他程序完全一样。

## 3. 测定装置

镜头形状的测定如前面所讲可以用干涉法进行。这里介绍的是利用玛赫-珍得形干涉仪的方法。图7是它的光学系统。

经过准直镜后平行的光束,由分光器分成两束光。一束光线通过被检验的透镜后被全息图衍射,和另一束平行光进行干涉。用投

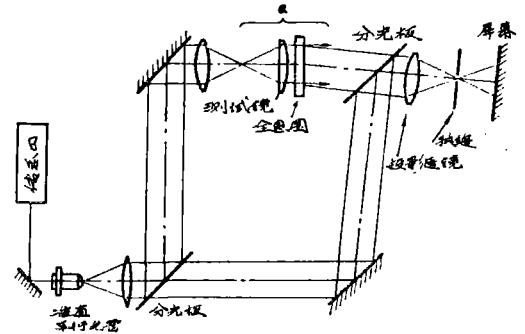
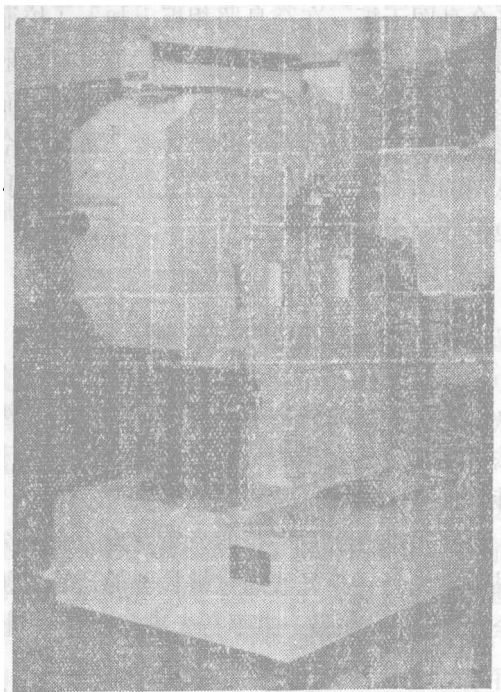


图7 光学系统

影物镜焦面上的狭缝来抽取被全息图衍射的各级衍射光中必要的衍射光。图7a的部分和图2(B)是同样结构。这个光学系统采取了用全息图补偿受检查的透镜的像差,以干涉条纹的直线产生的偏移来测定透镜表面形状的形式。照片1是使用的全息照相干涉仪。玛赫-珍得被直立式组成而采用目镜观察的形式。全息图的安置虽然有些费事,一旦成形,就可以方便地一个接一个地测定透镜形状。

## 4. 测定例子

为了表示这种测定方法的用途,先说一



照片1 全息照相术干涉仪

下测定球面透镜的例子。被测定的透镜是制作精度非常高的球面透镜。

这个透镜的中心厚度为5毫米，第1面为半径205.65毫米的球面，第2面为直径50毫米的平面，对于6328埃的光具有13个波长左右的像差。图8是经过这个透镜的全息图

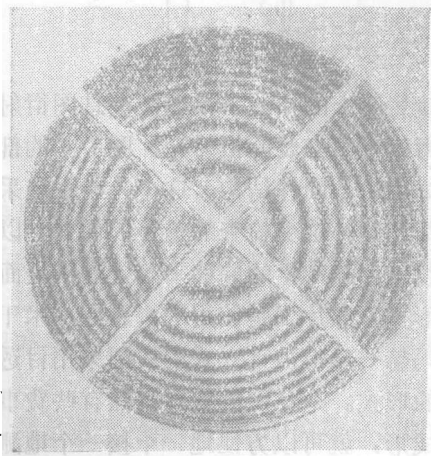


图8

0级衍射光和参考平行光形成的干涉条纹。这个干涉条纹同只用这种干涉仪而没有全息图时得到的干涉条纹是一样的。由于透镜的误差、干涉条纹大量出现同心圆的环形。图

9是全息图1级衍射光和参考平行光形成的干涉条纹。由于全息图的效果，补偿了被检查的透镜的像差，干涉条纹变成了直线。也

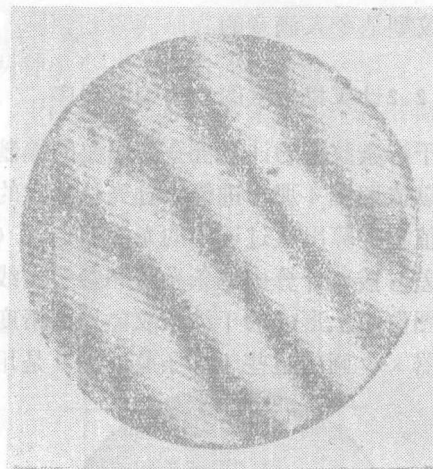


图9

就是说这时的透镜达到了设计数值的要求。

接着在这个透镜面上放上环状凹面后再观察一下。图10是它的干涉照片。一个条纹形成波面像差相当于0.63微米，形成透镜表面形状相当于0.9微米。从照片上一看就可以分出来。球面上产生的凹面深度通过测定直线产生的偏移得知大约为1条纹，即0.9



图10

微米左右。图11是用牛顿条纹检查这个透镜的照片。这时一个条纹相当于0.3微米，球面上的凹面约为3个条纹，即0.9微米左右，和图10的结果相同。

这些测定实例，显示了这种方法对于透

镜表面形状的测定效果很好。

测定球面透镜时，因为有理想的原件，用这种方法收益不大。用于不能制作完善原件的非球面透镜的光学手段的测定，将发挥极大的威力。

下面介绍非球面透镜的测定实例。

图12是叫做倒像镜的眼底检查用非球面透镜的测定照片。这个透镜的形状是回转双

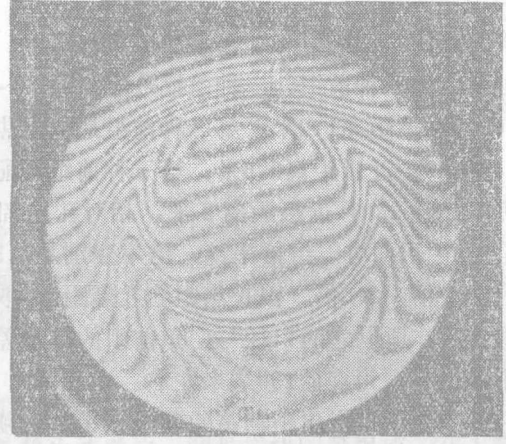


图11

曲面，离开近似球面的偏移最大程度达300微米左右。除边缘部份外，整个形状的误差在1—2个条纹以内(1—2微米左右)。从干涉条纹的形状来看，在环形状上还有低于设计数

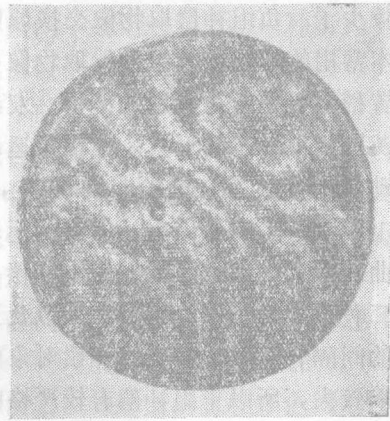


图12

值的的地方。其量为0.5微米左右。边缘地方有些塌边。约为1—2微米左右。对于离开球面这么大偏移的透镜来说，只有这么点误差，显示了透镜做的非常好。图13是边缘地方塌边10微米左右的例子。从这张照片上可以看

出、这个透镜要是不做减少中央部的补偿加工的话就更好了。

## 5. 问题部分：

这样一来，计算机全息图的技术，当然可以简化迄今为止令人头痛的非球状误差的测定，一看就能进行定量。而且这种应用十分有助于大量生产非球面透镜。

以上，就利用计算机全息图测定非球面透镜形状论述了其原理和测定方法。最后对必须要解决的问题部份谈谈看法。

这是测定的精度带来直接影响的两个问题。

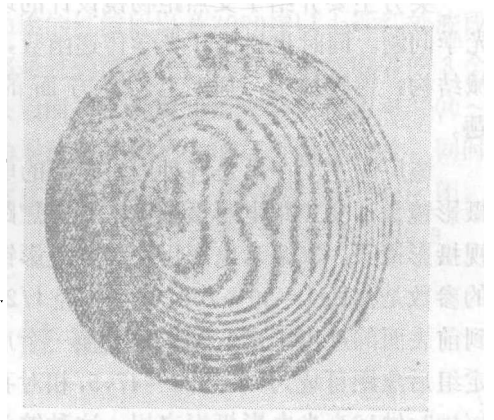


图13

- 1) 全息图制作上的误差。
- 2) 光学系统定位上的误差。

需要研究的第1个问题是描绘器的精度和感光材料在显影处理中的变形以及缩小倍率的误差等，这些正好相当于原件的制作误差。

关于这一点，由于使用了超微Nikon镜头来做缩小比例用的透镜，并且可以使用高度发达的计算机及其辅助设备，已经能够制成令人满意的全息图。

关于第2个问题。因为要有被精确地调整的光学系统才能计算和制成全息图，所以在测定的时候，即便有一点全息图位置的误差，就不能进行精密的测定。所以精细的调

(下转第58页)

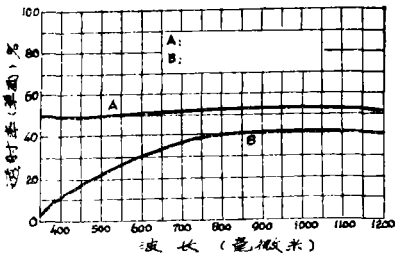


图2) 不同吸收特性的吸收材料半透明膜层。曲线A: 中性密度滤光片。  
曲线B: 太阳眼镜膜层。

太阳眼镜膜层所需的透射率特性用氧化物和叫做金属陶瓷 (cermets) 的金属电介质混合物来实现。制造能再现光学特性的氧化物膜层里很困难的, 因为在蒸发期间分解

所引起的结构小变化就会极大影响沉淀膜层透射率特性。Cr—SiO金属陶瓷现在用于微电子领域里做为电阻的膜层材料, 10年来已做为太阳眼镜膜层。它们是最硬而耐久的, 并且具有理想的光学特性, 用闪击蒸发作为制备技术是很容易实现其再现性的。这种蒸发技术也适用于其它光学应用的金属陶瓷膜层的制备。

译自“The Journal of vacuum science and technology.”  
Vol.4, No2,  
March/April 1967.

(苏祿译、卢寿桐校)

(上接第63页)

节理所当然十分重要。反过来说, 调节部份要是过于复杂的话, 测定就不能简单化了。但是用专用测定装置可以简化操作规程, 所以可以在加工过程中一边测定透镜, 一边进行校正加工。

结尾:

利用计算机进行非球面测定的技术, 给非球面加工技术带来了巨大的贡献。能够在非球面透镜加工工艺过程中简单而又高精度

地测定透镜形状的技术, 意味着提高加工技术将能够制作高精度的镜头。而且当非球面透镜被应用到所有光学系统之后, 它的光学方面的性能将飞跃地发展, 光学技术将更上一层楼。

译自“Nikon Technical Journal”.  
No9, 1975, P34.

(马元龙译, 王历、韩昌元校)