

激光球面多光束干涉仪

裴 庆 魁

一 概 述

本仪器是用氩—氦气体激光管做光源来检验会聚光波偏离球面波形的程度的多光束干涉仪器。

本仪器的具体结构可用来无接触地检验球面曲率半径大于130mm、口径半径比小于1:2.5的镀铝凹球面反射镜；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、各种望远镜、光学系统的质量及安装变形等。从而测出被检验镜面或系统对于氩—氦气体激光波长（6328埃）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。

检验结果以干涉条纹形式给出，可用肉眼直接观察，或把条纹图象投射到毛玻璃屏上观察测量；也可以照相记录干涉条纹形状定量测量。由于是多光束干涉，条纹成黑细线状、清晰、对比度好，条纹间距可以调的很宽；如果标准面质量优于 $\lambda/50$ ，我们就可以检验镜面质量达 $\lambda/50$ 的精度。

此法与星点法、阴影法相比较最大的优点是直观定量、易掌握；与哈特曼法相比较，操作简单，不需要任何计算就可以直接给出镜面质量情况。

二 仪器工作原理

图1、图2示出了仪器的光路及外形结构。氩—氦激光器发出的6328埃波长的单色光经转向棱镜2、3反射到聚光镜4之后发

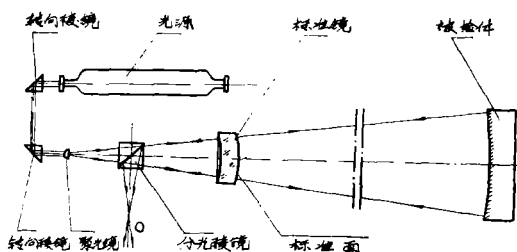


图1 光路图

- 1—光源 2、3—转向源棱镜 4—聚光镜
5—分束棱镜 6—标准镜 7—被检件

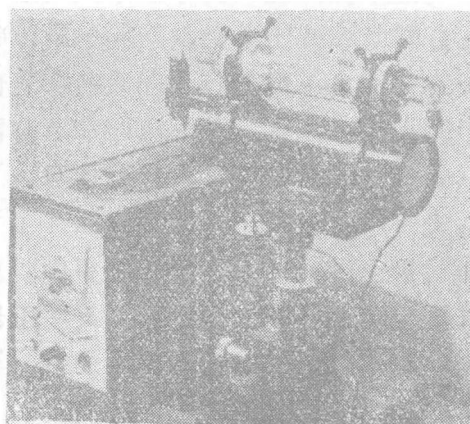


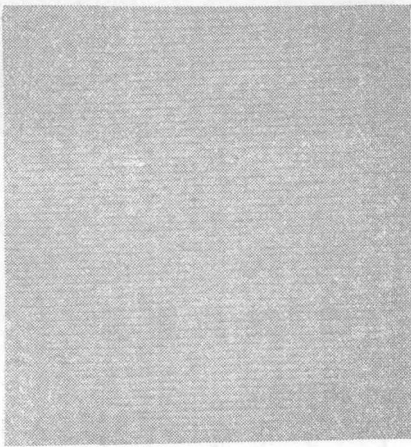
图2 仪器外形

散，经对6328埃半反半透的分束棱镜5，射到标准镜6上（其内表面为齐明面，外表面为同心的标准面。标准面镀膜，对6328埃反射75%、透过25%），一部分光线由标准镜6的标准面反回，经棱镜5反射到0点，另一部分光线由标准面的法线方向射出，当此射出光线与被检镜面的法线方向一致时（即标准面与被检镜面同心时），光线就由被检镜反回，由于标准面镀75%的反光膜，光线就在标准面与被检镜面之间来回反射，形成了多

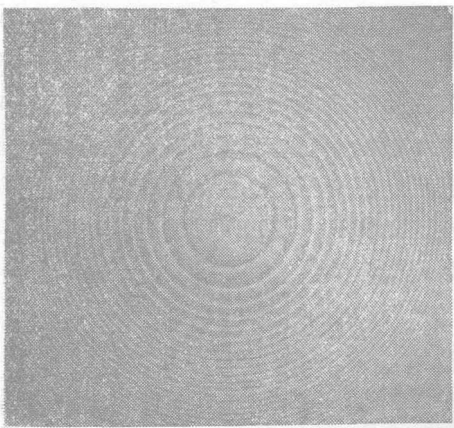
光束干涉场；而经 6 的标准面依次透过反回的诸光束，经棱镜 5 回到 0 点，从而在 0 点看到被检镜面与标准面而产生的多光束干涉条纹。

三 仪器的使用调正

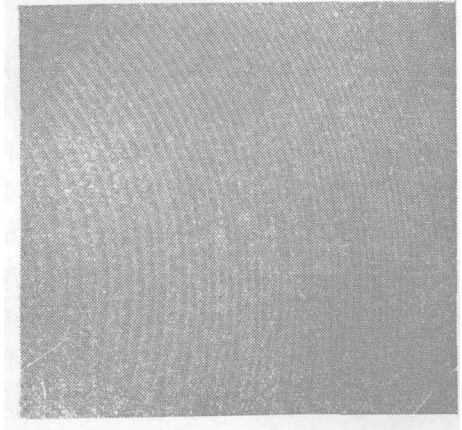
以检验凹球面反射镜为例。为了检验其局部误差，必须将被测件的球心调正到和标准面的球心严格重合；当两个球心在垂直于光轴的同一个平面上，但不重合，此时干涉图形是很细的直条纹，如图 3(a) 所示；当两个球心都在光轴上，但前后不重合，此时干涉条纹呈许多同心圆，前后相差的距离越大同心圆越密越多，如图 3(b) 所示；当两个球心在轴向和横向均不重合，此时干涉条纹呈弯曲状，如图 3(c) 所示。



(a)



(b)



(c)

图 3

具体调正步骤如下：

(1) 先将仪器光轴与被检面中心及镜面自准象中心点大致置于等高位置，并使仪器标准面顶点到被检面顶点间距离等于 $R - 130\text{ mm}$ 左右 (R 为被检面曲率半径，单位 mm)。

(2) 接通激光电源，使激光管在 6 mm 左右正常工作。按图 4 位置调正被检镜反回的自准象 a' 使与仪器光轴等高，同时保证 $R - 130\text{ mm}$ 尺寸。

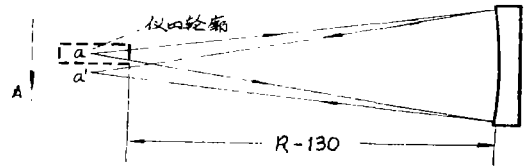


图 4

(3) 沿 A 方向移动仪器，并适当的微量转动仪器，使从仪器发出的光束经被检镜又按原路自准反回，并经分束棱镜 5 反射聚焦在 0 点附近。由于光束在被检镜面和标准面之间多次反射、透过，在 0 点处就可以观察到许多的点象串（称光串）。调正仪器前后手轮使可动光串之间距变小，微动上下（左右）手轮，使可动光串象上下（左右）与仪器本征点象串成一串，这时就可在 0 点处看到被检镜与标准面产生的多光束干涉图形，图 3

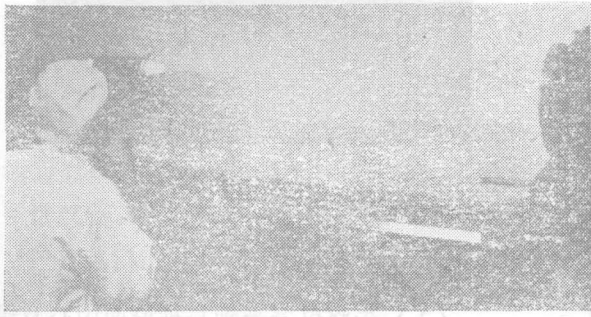
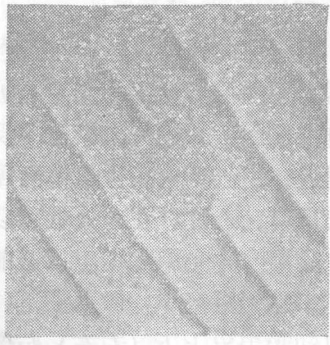


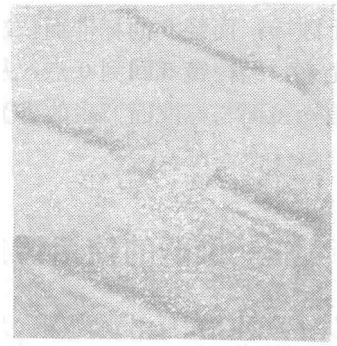
图5 调整动作图

所示的干涉图的一种情况。调正动作图可参看图5。

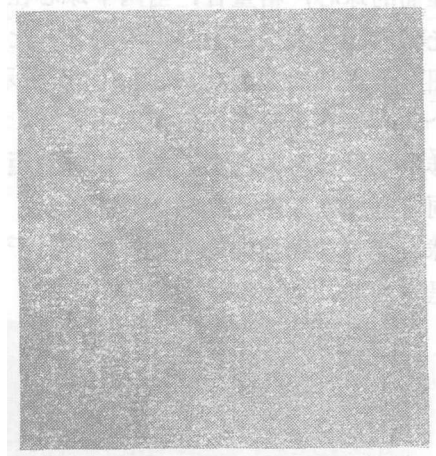
根据图3所示的干涉条纹形式，调正前后、上下、左右微动手轮，使干涉条纹尽可能的变直变少，一般条纹数取3条、5条、7条均可，但要使其中一条通过中心，此条反应正个面形质量。如图6所示。



(a)



(b)



(c)

图6 镜面变形误差小于 $\lambda/20$ 的干涉条纹图形

四 定量测量

(1) 定量依据

由干涉原理可知，每相邻两干涉条纹之间的间距代表 $1/2$ 波长的光程差，对于氦-氖光源，相当于 0.3164 微米，即两个条纹间相应波面隙的厚度差为 0.3164 微米。以此可定量表示被检镜面的质量，即干涉条纹的局部不直度是两个干涉条纹间距的多少分之一来衡量。如图7，假设 $\frac{\Delta a}{a} = \frac{1}{5}$ ，那么此镜面的最大局部差就是：

$$\frac{\Delta a}{a} \times \frac{\lambda}{2} = \frac{1}{5} \times \frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{10}$$

根据这一道理，我们定量出图6的被检镜面的最大局部误差小于 $\lambda/20$ 。

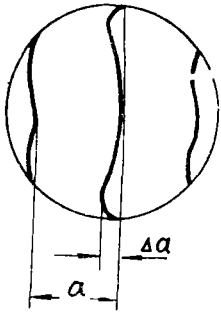


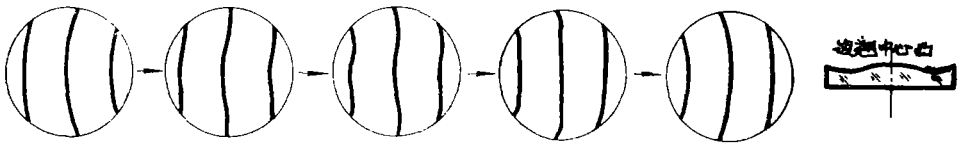
图 7

(2) 局部误差的辨认

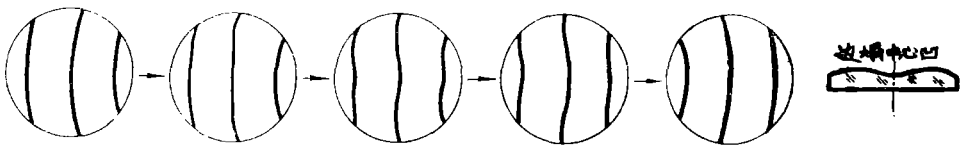
对于有局部差或带区差（局部差的一种的球面，我们只能把条纹的某一部分调直，而其余部分相对这个部分的曲率面形便形成了局部差；对于带区差及地区差严重的镜面，在定量测量时还存在着最近比较球面的问题，因此需要适当的使仪器前后调焦，找到局部差最小值，这一点定量测量时需要特

别注意。

最常见的局部差是边翘、中心凸或边塌中心凹；为了区别两者条纹的变化情况，我们以标准面球心和被测面球心逐渐分开（即标准面与被检镜之间距离逐渐增大）的变化情况来决定。对于凹面反射镜成图 8 的变化形式。从图 8 所示可知：判断局部误差和条纹弯曲的取向无关，只和条纹弯曲变化的次序有关，实质上是不同带区的曲率中心依什么次序通过标准面球心的问题，即标准面与被检镜面各带区产生的干涉条纹以什么次序变直的问题；如图 8 (a) 所示，对于边塌中心凹的镜面而言，当标准面与被检镜间距逐渐增大时，中心部分干涉条纹先变直、随之 0.7 带、最后是边缘带；而图 8 (b) 所示，对于边翘中心凸的镜面，各带区干涉条纹变直的次序与 (a) 相反。了解这一道理后就可对任意形状的局部误差进行分析判断。



(a) 边塌中心凹的条纹变化情况



(b) 边翘中心凸的条纹变化情况

图 8

局部误差也往往采用“样板法”来分析，这时把干涉仪作为一个标准样板来看，只要沿轴向使标准面与被检镜靠近的方向轻轻按一下仪器，而注意条纹的走向即可判断凹、凸情况，原则如下：向曲率中心收缩处即为凹处，反之，即为凸处，如图 9 所示。掌握此法就提高了分析判断的速度及灵活性。

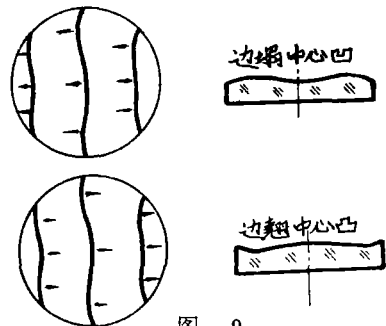


图 9

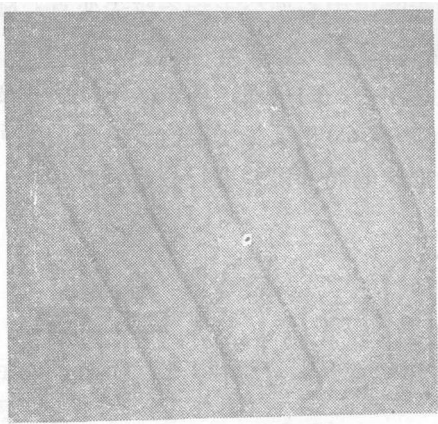
(3) 各种象差引起的波面差在干涉仪中的表现;

本干涉仪反应的是实际波面与理想球面波的等厚干涉条纹;用自准法检验凹球面反射镜或藉助镜检定其它二次曲面、光学系统会聚球面波的波面变形都是可行的。只是在加辅助镜检验时,所得波面差是被检镜或系统实际波面差的2倍。

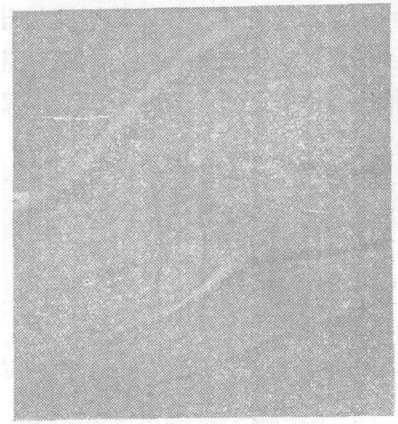
纵向球差:对于理想的会聚球面波,干涉条纹成直线状。对于有波面变形的会聚球面波,干涉条纹就调不直(发生局部弯曲,参看图8、9),我们只能调到使条纹上对称

的某二部分平行于该方向的直径,这时表示仪器的标准面球心是在这部分法线截点上;因此,若要测量纵向球差,就需要把相应的法线截距差测出。图10示出了球面反对镜及物镜干涉条纹图形。

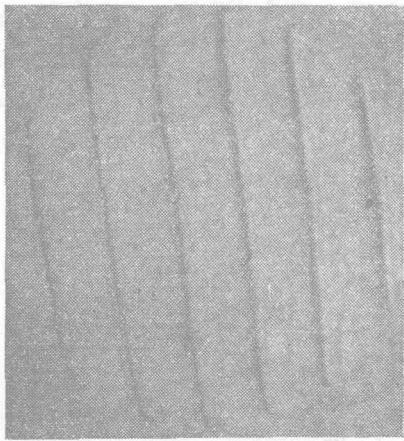
通常在阴影法检验中,沿刀口移动方向精度最高,而刀口方向精度为 D 。而干涉仪检验的各向精度是相同的,因此,我们可以使干涉条纹取不同方向进行检验,就比阴影法灵敏方便;当被检件存在象散时,条纹宽度不相等,呈掌形,图11(a)示出了不同安装变形情况下的象散图形。图11(b)示出了焦距 640 mm 光管物镜具有轴外象散在焦散线上各位置的干涉图形;如欲测量象散值的大小,只需测出两个焦散线所在的位置差。



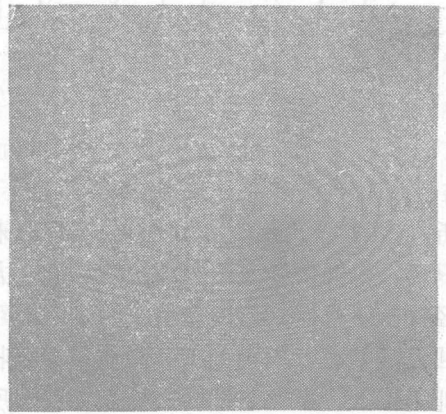
(a) 口径 185 mm 、半径 1000 mm 球面反射镜干涉图形



(a)

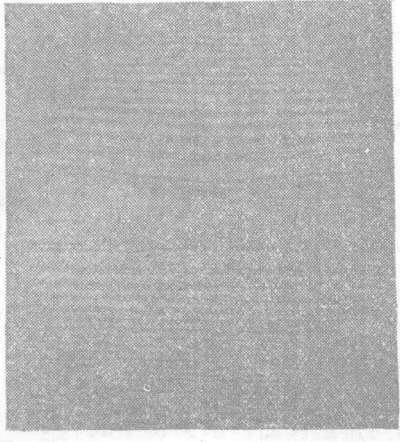


(b) $0.2\ \mu\text{m}$ 干涉测图仪物镜对 6328 \AA 波长干涉图形

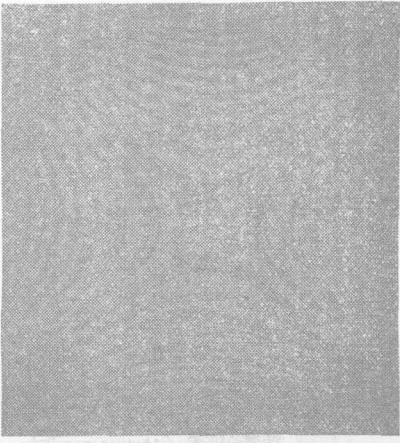


(b)1 焦散线外

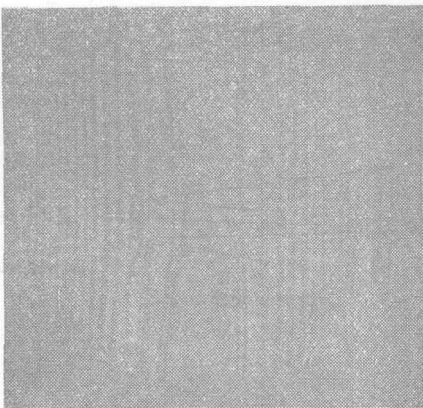
图 10



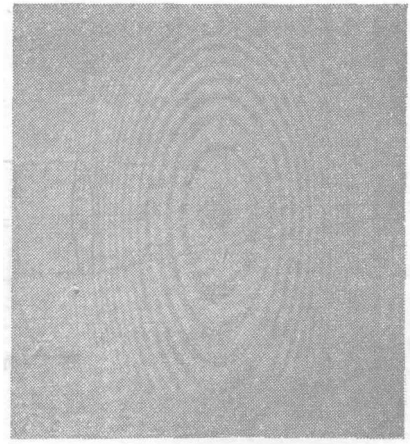
(b)2 一个焦散线上



(b)3 三个焦散线间



(b)4 一个焦散线上



(b)5 焦散线外

图 11

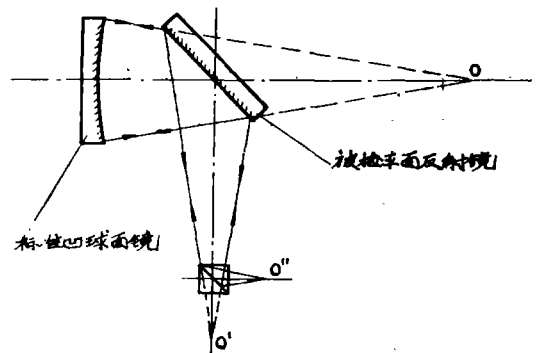
通常光学系统的质量评价是以瑞利极限为准则的，利用本仪器可凭干涉图形直接评定各种光学系统。

最后应该着重指出，由于本仪器是干涉仪，再加上工作距离大，仪器要在严格避免外界振动、冲击、干扰影响下的稳定地基上以及严格避免周围空气抖动的情况下工作。实践使我们体会到，往往周围的振动超过 0.1 微米，致使干涉条纹辨认不清，周围空气的抖动所造成的影响有时要比镜面本身的误差大得多。

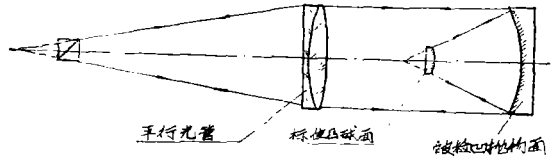
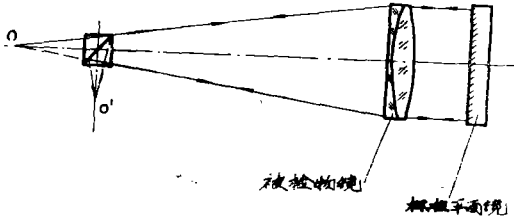
附 录

各种镜面（系统）检验方法布置图：（分束棱镜代表激光干涉仪）。

(1) 平面镜检验：

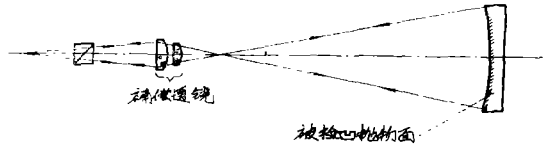


(2) 物镜检验:



平行光管法检验凹抛物面镜

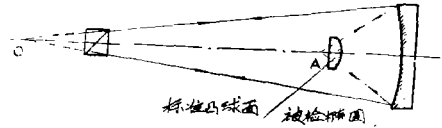
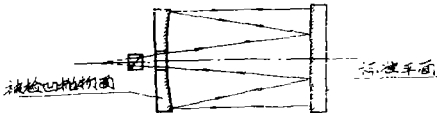
(3) 凹抛物面镜的检验:



补偿法检验凹抛物面镜

(4) 椭圆面镜检验

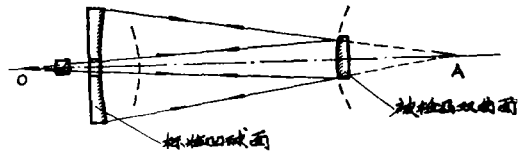
平面镜自准 检验凹抛物面镜



椭圆面镜检验 (O、A 为椭圆面两共轭点)

(5) 双曲面镜检验:

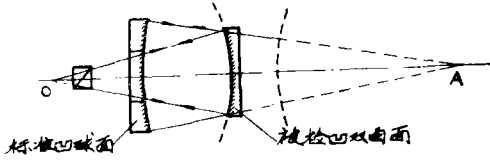
平面镜自准法检验凹抛物面镜



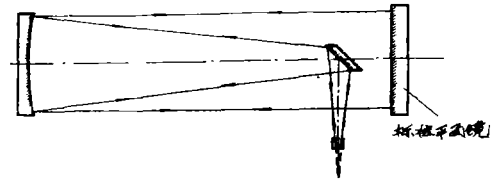
凸双曲面镜检验 (O、A 为双曲面共轭点, A 同时为球面镜球心)

平面镜自准法检验凹抛物面镜

(7) 光学系统检验:

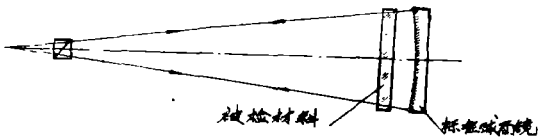


凹双曲面镜检验 (O、A 为双曲面两共轭点, A 同时为球面镜)



牛顿式光学系统检验

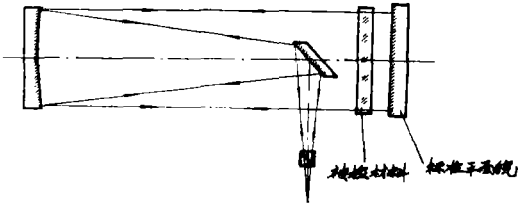
(6) 光学材料均匀性的检验:



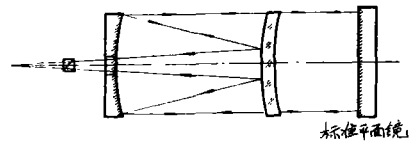
长口标准球面镜法



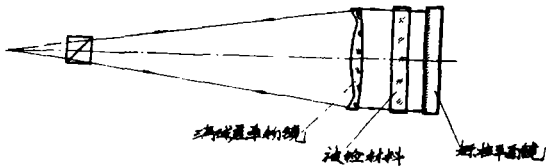
卡式系统检验



反射平行光管法



为克斯托夫式系统检验



消球差单透镜法