

光 信 息 检 测 技 术 实 验 讲 义

2015.10

实验 1 几何象差的现象及规律

一、实验目的

掌握各种几何象差产生的条件及其基本规律，观察各种象差现象。

实际测量显微系统的线视场、放大倍率及数值孔径的大小。

二、实验仪器设备

焦距仪、待观测望远镜、被观测物镜、简易光具座及相应附件等。



三、测量原理

(一)显微镜线视场的检测

四、实验原理

光学系统所成实际象与理想像的差异称为像差，只有在近轴区且以单色光所成像之像才是完善的（此时视场趋近于 0，孔径趋近于 0）。但实际的光学系统均需对有一定大小的物体以一定的宽光束进行成像，故此时的像已不具备理想成像的条件及特性，即像并不完善。可见，象差是由球面本身的特性所

决定的，即使透镜的折射率非常均匀，球面加工的非常完美，像差仍会存在。

几何像差主要有七种：球差、彗差、像散、场曲、畸变、位置色差及倍率色差。前五种为单色像差，后二种为色差。

1、球差

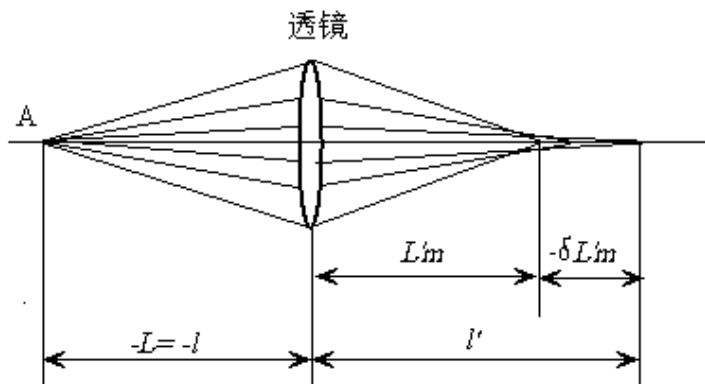


图 4—1

球差是轴上点像差，它随着孔径的变化而变化。如图 4—1 所示，如果系统中存在球差则将影响成像的清晰程度，使像模糊。

2、彗差

彗差是轴外像差之一，它体现的是轴外物点发出的宽光束经系统成像后的失对称情况，彗差既与孔径相关又与视场相关。若系统存在较大彗差，则将导致轴外像点成为彗星状的弥散斑，影响轴外像点的清晰程度。如图 4—2 所示：

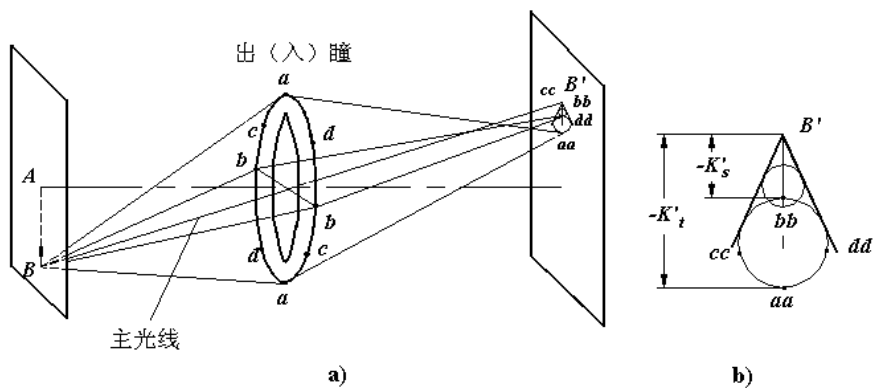


图 4-2

3、像散

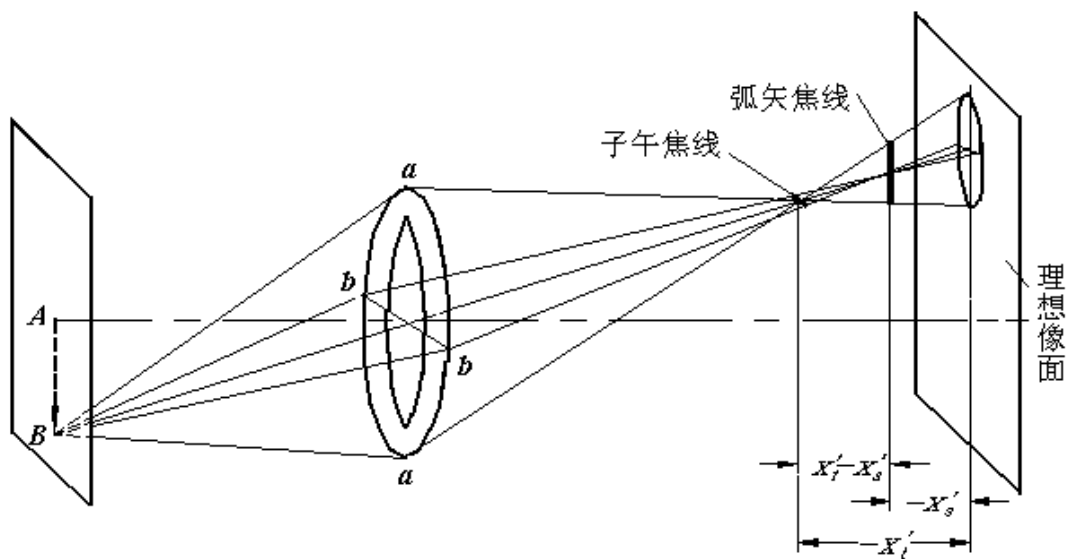


图 4-3

像散用偏离光轴较大的物点发出的邻近主光线的细光束经光学系统后，其子午焦线与弧矢焦线间的轴向距离表示：

$$x'_{ts} = x'_t - x'_s$$

式中， x'_t, x'_s 分别表示子午焦线至理想像面的距离及弧矢焦线至理想像面的距离，如图 4-3 所示：

当系统存在像散时，不同的像面位置会得到不同形状的物

点像。若光学系统对直线成像，由于像散的存在其成像质量与直线的方向有关。例如，若直线在子午面内其子午像是弥散的，而弧矢像是清晰的；若直线在弧矢面内，其弧矢像是弥散的而子午像是清晰的；若直线既不在子午面内也不在弧矢面内，则其子午像和弧矢像均不清晰，故而影响轴外像点的成像清晰度。

不仅细光束有像散，宽光束一样有像散。

4、场曲

使垂直光轴的物平面成曲面像的象差称为场曲。如图 4—4 所示：

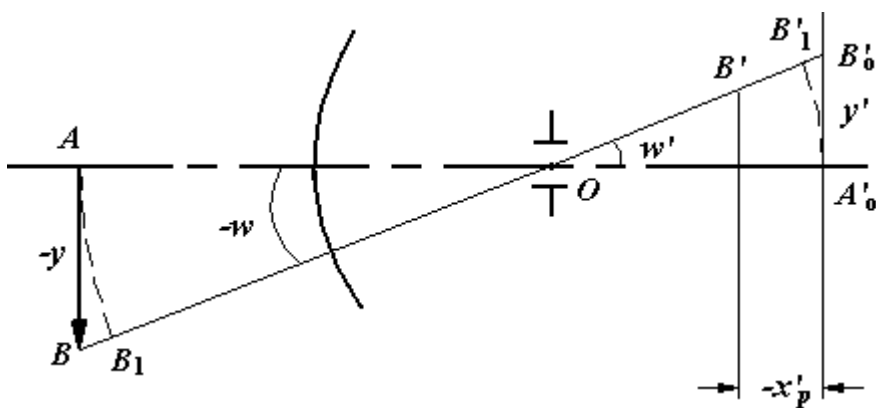


图 4—4

子午细光束的交点沿光轴方向到高斯像面的距离称为细光束的子午场曲；弧矢细光束的交点沿光轴方向到高斯像面的距离称为细光束的弧矢场曲。而且即使像散消失了（即子午像面与弧矢像面相重合），则场曲依旧存在（像面是弯曲的）。

场曲是视场的函数，随着视场的变化而变化。当系统存在较大场曲时，就不能使一个较大平面同时成清晰像，若对边缘调焦清晰了，则中心就模糊，反之亦然。

5、畸变

畸变描述的是主光线像差，不同视场的主光线通过光学系统后与高斯像面的交点高度并不等于理想像高，其差别就是系统的畸变，如图 4-5 所示：

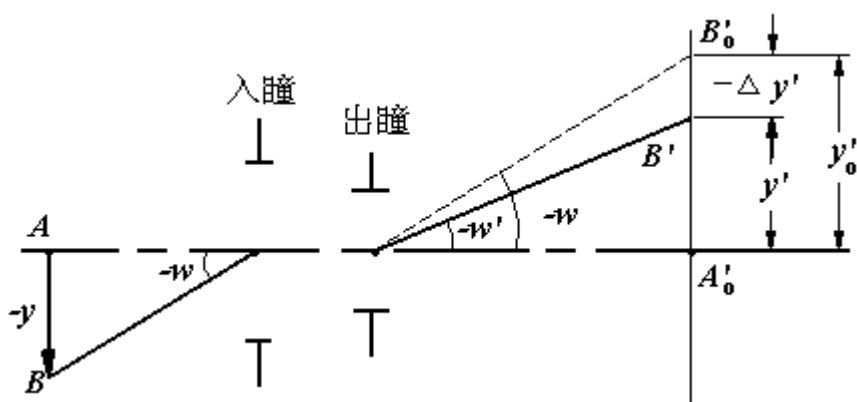


图 4-5

畸变仅是视场的函数，不同的视场的实际垂轴放大倍率不同，畸变也不同。由于畸变是垂轴像差，它只改变轴外物点在理想像面上的成像位置，使像的形状产生失真但不影响像的清晰度。

6、位置色差

轴上点两种色光成像位置的差异称为位置色差。如图 4-6 所示：

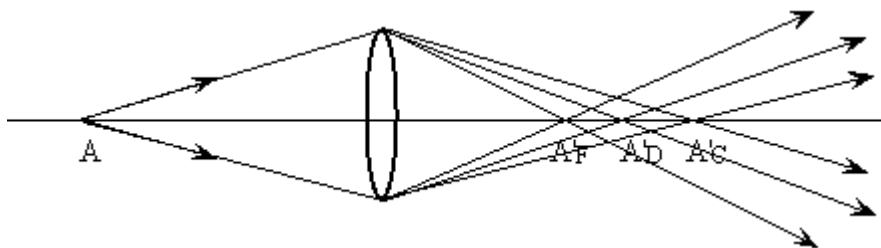


图 4-6

位置色差是轴上点像差，在近轴区就已产生，对目视仪器

而言常对 C 光及 F 光校正位置色差。由于同一孔径的光线经光学系统后与光轴有不同的交点,不同孔径不同色光的光线也与光轴的交点不相同,故而在任何像面位置物点的像都是一个彩色的散斑。

7、倍率色差

所谓倍率色差是指轴外物点发出的两种色光的主光线在消单色像差的高斯象面交点高度之差。当系统存在较大的倍率色差时,物体会呈现彩色的边缘,影响成像清晰度。

五、实验装置及步骤

本次实验所采用的装置为焦距仪(光具座)及附件等。原理如图 4-7 所示:

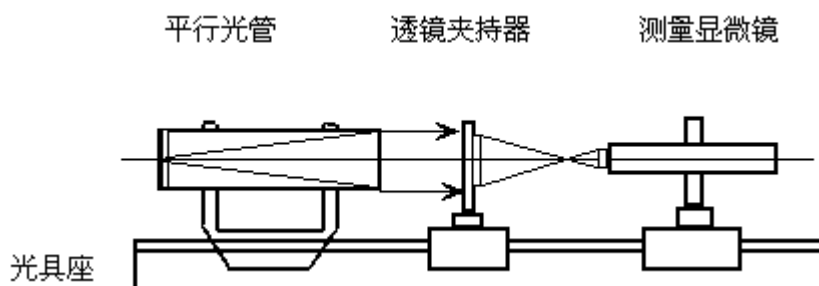


图 4-7

其实验步骤如下:

- 1、首先将已知刻线对的彼罗板放置于平行光管的物镜焦平面上,将待观测物镜放置于透镜夹持器中,并调整透镜、平行光管及测量显微镜三者光轴共轴、等高。
- 2、调整观测显微镜直至在视场中看到清晰的彼罗板的像。
- 3、取下彼罗板,放上星点板,此时在视场中可以见到星点的像。
- 4、由于衍射及待测物镜的像差的影响,星点的像不是一

个点像而是一个具有一定大小的弥散斑，该弥散斑的大小、形状直接体现了像差的种类及大小。通过观察星点的像就能够充分了解不同种类的像差对系统产生的不良影响及其特性。将星点的像调整到视场中心，直到通过沿轴前后移动显微镜能够看到星点的衍射环同心的扩张并达到尽可能圆，这表明星点像已位于待观测透镜的光轴之上。

5、沿轴前后移动显微镜观测星点像的变化及其规律，以观察球差及位置色差；微摆动物镜夹持器以观察轴外像差如彗差、象散的星点图及特性。

6、观察已准备好的望远镜，以了解畸变、场曲及倍率色差的特性及规律。

六、思考

- 1、正、负透镜及双胶合透镜产生的球差各有什么特点？
- 2、透镜应怎样调才能观察到彗差现象？
- 3、在该实验装置中，哪个面是子午面，哪个面是弧矢面？
- 4、什么是畸变，常见的畸变有哪两种形式？画图说明。
- 5、常见的用以消除场曲的方法有哪些？
- 6、什么是消色差系统？

实验 2 色度学实验

一、实验目的

掌握、了解各种样品的主波长测量的方法。WGS-9 型色度实验系统

二、实验装置设备

WGS-9 型色度实验系统



三、实验原理

在理论上为了定量的表示颜色，通常采用平面直角色度坐标来加以表示：

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

其中 X , Y , Z 为三刺激值，所有的光谱色在色坐标上为一马蹄形曲线，该图称为 CIE1931 色坐标，在图中红 (R)、绿 (G)、蓝 (B) 三基色坐标点为顶点，围成的三角形内的所有颜色均可以由三基色按一定的量匹配生成。

任一颜色 $M(x, y)$ 的色调是由其照明光源坐标点 (如 A 光源) 到 M 点连线并延长与光谱轨迹相交于 N 点， N 点的光

谱色的色调，即为颜色 M 的主波长（或补色波长），如图 9—1 所示，则 M 的饱和纯度为：

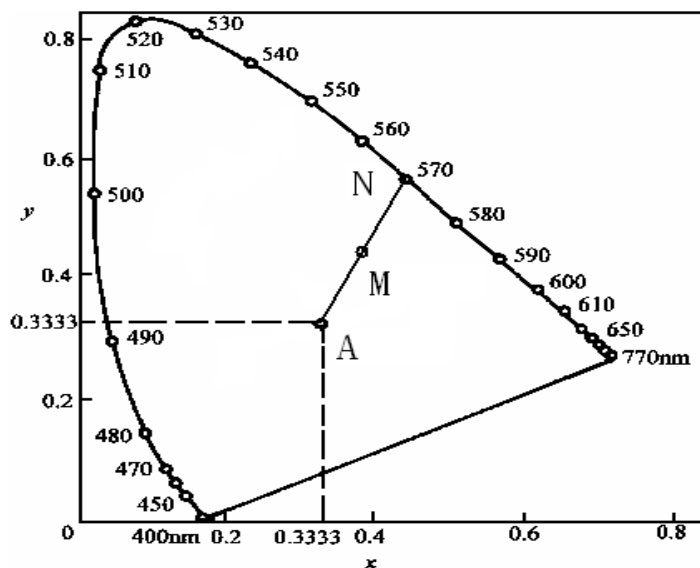
$$P = \frac{AM}{AN} = \frac{x_m - x_A}{x_n - x_A}$$

M 的色度纯度为：

$$M = \frac{AM}{MN} = \frac{x_m - x_A}{x_n - x_m}$$

为测量某光源（发光体）的色坐标，必须先测量其光谱组成的功率分布 $s(\lambda)$ ，然后再查表找出各光谱的三刺激值，则光源的三刺激值为，

$$\begin{aligned} X &= K \sum_{\lambda} s(\lambda) \bar{x}(\lambda) \Delta\lambda \\ Y &= K \sum_{\lambda} s(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta\lambda \\ Z &= K \sum_{\lambda} s(\lambda) \bar{z}(\lambda) \Delta\lambda \end{aligned}$$



CIE1931 色品图

图 9—1

上式中， K 为调整因数，它是将发光体的 Y 值调整为 100 时得到的值，

$$K = \frac{100}{\sum_{\lambda} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) \Delta \lambda}$$

则色坐标为：

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

为测量某透射或反射样品的色坐标，必须先测量其样品的透射或反射曲线 $T(\lambda)$ ，然后再查表找出各光谱的三刺激值 $\bar{x}(\lambda)$ 、 $\bar{y}(\lambda)$ 、 $\bar{z}(\lambda)$ 及参考光的功率分布 $s(\lambda)$ ，则，

$$\begin{aligned} X &= \sum_{\lambda} s(\lambda) T(\lambda) \bar{x}(\lambda) \\ Y &= \sum_{\lambda} s(\lambda) T(\lambda) \bar{y}(\lambda) \\ Z &= \sum_{\lambda} s(\lambda) T(\lambda) \bar{z}(\lambda) \end{aligned}$$

该样品的色坐标为：

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad y = \frac{Y}{X + Y + Z} \quad z = \frac{Z}{X + Y + Z}$$

四、实验步骤

- 1、首先确认各条信号线及电源线连接好后，按下电控箱上的电源按钮，仪器正式启动。
- 2、透过率及发光体测量，系统光路如图 9—2 所示：

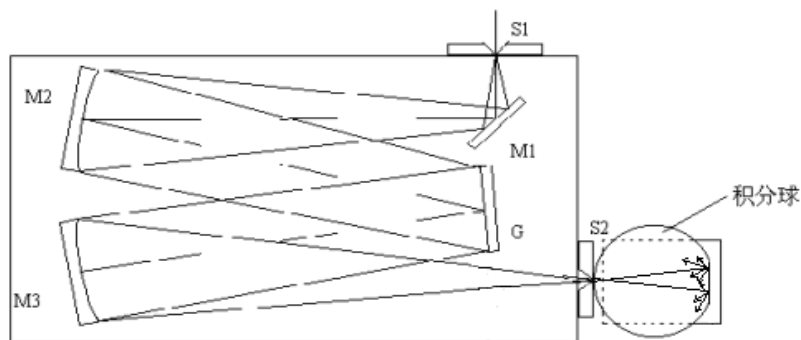


图 9-2

图中，M1 为反射镜；M2 为准光镜；M3 为物镜；G 为平面衍射光栅；S1 为入射狭缝；S2 为出缝 2。

如果当前接收器不是放在出缝 1 端，请关闭电源，把接收器移到出缝 1 端，并把转镜打到出缝 1 端。当放置样品时，打开样品池盖，把有液体样品的比色皿放入液体样品池或把固体样品直接插在固体样品架上，然后开机测量（当测量透过率时，要先放空白样品做透过基线）。

1、反射测量

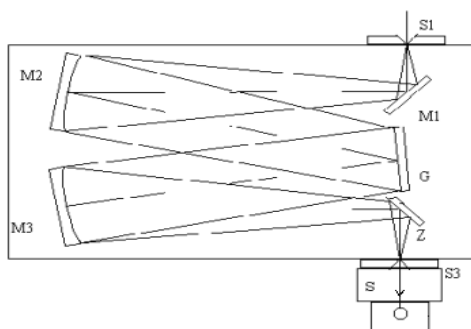


图 9-3

如果当前接收器不是放在出缝 2 端，请关闭电源，把接收器移到出缝 2 端，并把转镜打到出缝 2 端。当放置样品时，拉开样品压板，把样品放在积分球的

图中，M1 为反射镜；M2 为准光镜；M3 为物镜；G 为平面衍射光栅；Z 为转镜；S1 为入射狭缝；S2 为出缝 2；S3 为出缝 1；S 为样品池。

样品反射口处，并压上压板，然后开机测量（当测量反射率前，要先放标准白板做反射基线），光路如图 9—3 所示。

4、关机

先检索波长到 400nm 处，使机械系统受力最小，然后关闭应用软件，最后按下电控箱上的电源按钮关闭仪器电源。

五、思考题

- 1、测量反射样品和测量透射样品时有何不同？
- 2、明度、色调、彩度三个概念有何不同？

实验3 激光光学系统

一、实验目的

1. 了解激光器的种类
2. 掌握激光器的发光原理

二、实验内容

掌握实验步骤，观察各种激光器产生的光斑现象。

三、实验仪器设备

CO₂激光器、半导体泵浦激光器、Ar⁺激光器、He-Ne 激光器、Nd:YAG 激光器、导轨、小孔光阑、调节架、针孔 (25 μ)、显微物镜、透镜及夹持器

四、实验原理

具有代表性的典型激光器主要有气体激光器、固体激光器、半导体激光器、染料激光器等。气体激光器是以气体或蒸气作为工作物质的激光器。它是利用气体原子、分子或离子的分离能级进行工作的。气体激光器常用的泵浦方法是电激励，即令足够大的电流通过气体介质来完成泵浦的。由于气体的光学均匀性较好，较之固体激光器和半导体激光器其输出光束的质量(如单色性、相干性等)也较好。气体激光器中又包括由原子激光器、离子激光器和分子激光器。原子激光器是利用气体或蒸气形式下的中性原子作为工作物质，常见的有 He-Ne 激光器；离子激光器是利用气体离子激发态之间的跃迁来产生激光的一种气体激光器，常见的有 Ar⁺激光器；分子激光器是利用未电离的气体份子作为工作物质的一种气体激光器，如：CO₂ 激光器。

固体激光器的基本组成包括工作物质、泵浦系统、谐振腔、

冷却与滤光系统四部分。其中，工作物质是激光器的核心，固体工作物质是把金属离子掺入基质而形成的，发光粒子就是工作物质中的金属离子(称为激活离子)，工作物质的物理、化学性能主要决定于基质材料，而它的光谱特性则主要由激活离子的能级结构所决定。常见的有掺钕钇铝石榴石($\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$)激光器，这是在基质 $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ (YAG)中掺入钕离子(Nd^{3+})，部分取代YAG中的钇离子(Y^{3+})而成为 $\text{Nd}^{3+}:\text{YAG}$ 。另外还有半导体激光泵浦激光器也属于固体激光器。

半导体激光器是以半导体材料作为激光工作物质的激光器，它具有超小型、高效率、结构简单、价格便宜以及可以高速工作等一系列优点。

每一种激光器的发光机理各不相同，具体问题可具体分析。

五、实验步骤

1. 观察激光光斑：

I) 接通电源；

II) 打开激光器开关，将其发出的光束投射到墙上或是接收屏上，观察光斑现象，对功率较大的激光器及非可见光波段的激光光束可用功率计进行接收（切勿将光束直接射向人体，尤其是眼部）。

2. 准直扩束光斑：

I) 将半导体激光器放在导轨上，打开激光器开关，使激光器发出光束；

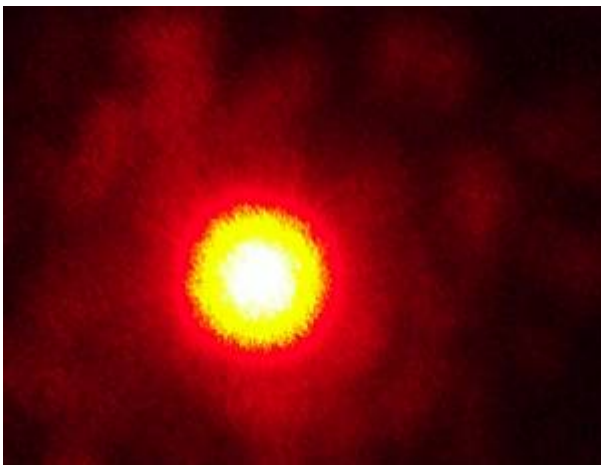
II) 用小孔光阑作为基准调节激光器的上下、左右位置，使光束平行于导轨；

III)将显微物镜和针孔放在调节架上,调节架放于导轨上,并对其进行调整,使激光光束经过显微物镜后聚焦于针孔位置处;

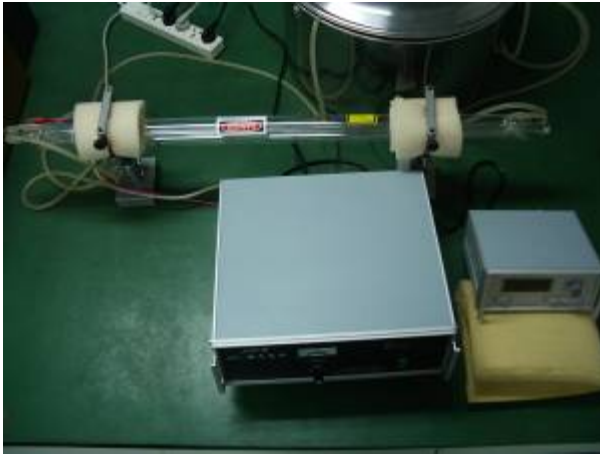
IV)将透镜及夹持器放在导轨上,前后调节其位置,使针孔刚好位于透镜的焦点位置处,此时光束经透镜后出射的即为平行光束,观察其光斑现象。

六、实验结果展示

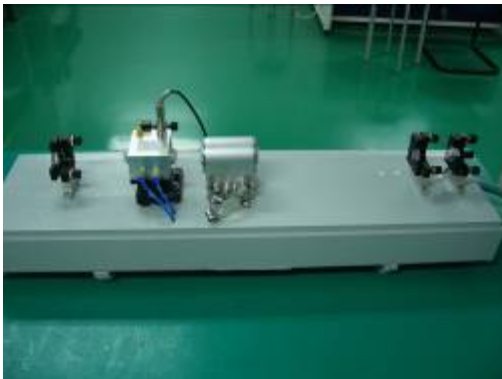
1) He-Ne 激光器 (波长为 632.8nm) 及其光斑现象:



2) CO₂激光器（波长为 10.6 μm）:



3) Nd:YAG 激光器（波长为 1.06 μm）及其光斑现象:



5) 准直扩束系统及其光斑现象:

