

应用光学实验

第一部分 基础型实验

实验1 光组的成像特性

一、实验目的

1. 验证物像位置关系，深入了解透镜成像特性。
2. 掌握望远镜、显微镜、复合透镜的组合方法。
3. 观察光线在棱镜中传播的情况，并了解各种棱镜的成像特性，熟悉各种棱镜的结构。

二、实验仪器设备

1. 六只正透镜、二只负透镜、光具座、一只平行光管、平面反射镜、投影屏。
2. 指标、透镜架、透镜、成像屏、光具座、照明系统。
3. 在平行光管物镜的物方焦平面上置一块带指标的分划板，分划板通过物镜成像于无穷远，即可在实验室条件下提供“无穷远物体”。

三、实验原理及要求

1. 实验原理：

l 和 l' 分别表示物像距， f' 为光组的焦距，则当光组处于空气中时，有：

$$\frac{1}{l'} - \frac{1}{l} = \frac{1}{f'}$$

可知，对于具有一定焦距的光组，其像的位置随物体位置的变化而变化，而其相应的横向放大率可表示如下：

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{l'}{l}$$



2. 实验要求

取一正透镜使物体（指标）位于

- ① $-\infty \sim 2f$ ② $2f \sim f$ ③ $f \sim 0$ ④ $0 \sim \infty$;

取一负透镜使物体位于

- ① $-\infty \sim 0$ ② $0 \sim f$ ③ $f \sim 2f$ ④ $2f \sim \infty$,

分别记录物体经透镜所成像的大小、正倒及位置。

①组合 4 倍的开普勒望远镜，目镜焦距 50mm。

②组合 4 倍的伽利略望远镜，目镜焦距-50mm。

③组合一显微镜，放大倍率为 15 倍，目镜焦距为 50mm，物镜的共轭距为 180mm。

④有限焦距物镜与望远镜的组合（开普勒望远镜）。

⑤二块正、负透镜在间距不变的条件下交换它们的前后位置，分别构成二组组合物镜（ $f'_{\text{正}} = 150\text{mm}$, $f'_{\text{负}} = -100\text{mm}$ ）。

⑥观察二个正透镜的组合焦距随间隔的变化规律。



四. 实验任务

1. 用一块焦距为 200mm 的正透镜，放在十字物体前，取一块平面反射镜置于透镜前，这时在十字物体旁有一反射像，然后改变透镜和物体之间距离直至反射像清晰，并且物像大小相等，这说明物体已位于透镜的焦平面上，射出平行光，这就在实验室条件下提供了“无穷远物体”，这种方法叫自准直法。
2. 组合 4 倍的开普勒望远镜，先计算出当 $f'_e = 50\text{mm}$ 时物镜的焦距，然后用自准直法使物镜的像方焦点和目镜的物方焦点相重合，即为开氏望远镜。
3. 有限焦距物镜与望远镜的组合（开普勒望远镜），在以上组成的开普勒望远镜系统前、后放一块已知焦距的透镜，然后分析放在前后位置的不同情况。
4. 组合 4 倍的伽利略望远镜，先计算出当 $f'_e = -50\text{mm}$ 时物镜的焦距，用一任何焦距的正透镜放在平行光管前，先在光屏上成一清晰的像，然后将组合的伽利略望远镜系统放在平行光管和透镜之间，并改变系统之间距，直至在光屏上又出现清晰像，此时即为伽利略望远镜。
5. 分离正、负透镜的组合。计算一下 $f' = 150\text{mm}$ 和 $f' = -100\text{mm}$ 的两块透镜，在相距多少间距时组合的焦距为正，才能成实像，或用实验方法改变二透镜

之间距，直至在光屏上成像，然后记下此时二透镜的间距，再交换二组组合物镜的前后位置，使间距不变，观察这时有何现象。

6. 取二个任意焦距的正透镜，然后观察二个正透镜的组合焦距随间隔的变化规律。
7. 组合放大率为 15 倍的显微镜系统。先计算出目镜的放大率，再算出物镜的放大率，然后考虑当共轭距为 180mm 时应选用多少焦距的透镜作为物镜，先在物体前放在光屏，使其间距为 180mm，再在其间放在作为物镜的透镜，移动透镜，使在光屏上成一清晰像，然后在光屏前放在透镜作为目镜，用自准直法将物镜的像成在目镜的焦平面上，取下光屏用眼睛直接观察物体，此时已组成 15 倍显微镜系统。

五. 实验报告

- 1、画出单正负透镜在不同距离成像结果，斧头警方成像一定成虚像，正透镜成像一定成实像吗？
- 2、根据实验步骤画出不同透镜组条件下成像结果。
- 3、实像与虚像都能被接收屏和人眼所接收，这句话对吗？为什么？

实验 2 光组的焦距测量

一、实验目的

1. 正确选用测量焦距的方法；
2. 掌握正确的数据处理及精度分析的方法。

二. 实验仪器设备

550 型焦距仪（或光具座）及相应附件，待测的正透镜



四. 实验原理

1. 放大率法测焦距 原理

这种方法的原理是通过测量像 y' 的大小，计算出被测透镜的焦距。由图 3 知，平行光管的焦距和被测物镜的焦距之比等于位于焦面上的物像大小之比，即

$$\frac{y'}{y_{\mp}} = -\frac{f'}{f_{\mp}}$$

式中， $f'_{\mp}$ ——平行光管物镜的焦距；

$y_{\mp}$ ——位于平行光管物镜焦平面的玻罗板上某一对刻线的间隔距离；

y' ——由测微目镜所测得的玻罗板车刻线像的间距。

则被测特镜的焦距

$$f' = -\frac{y'}{y_{\mp}} f'_{\mp}$$

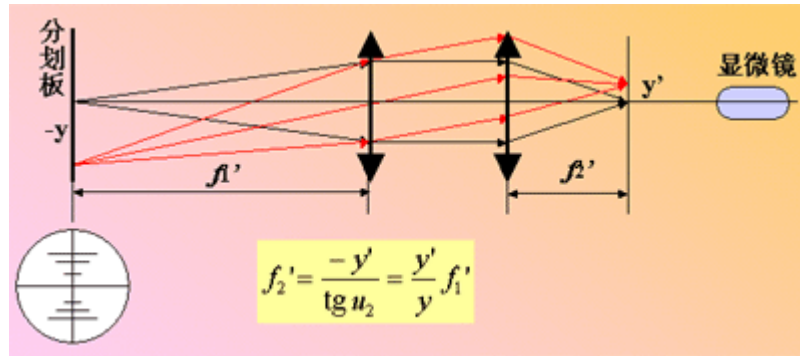
为使被测的像放大后再进行读数，常用带测微目镜的读数显微镜进行读数。

用带有测微目镜的读数显微镜进行读数时其公式为：

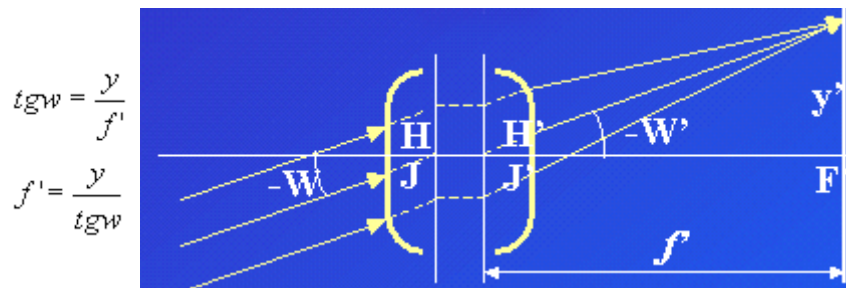
$$f' = -\frac{y'' f'_{\mp}}{y_{\mp} \beta}$$

式中， β ——读数显微镜的显微物镜放大率；

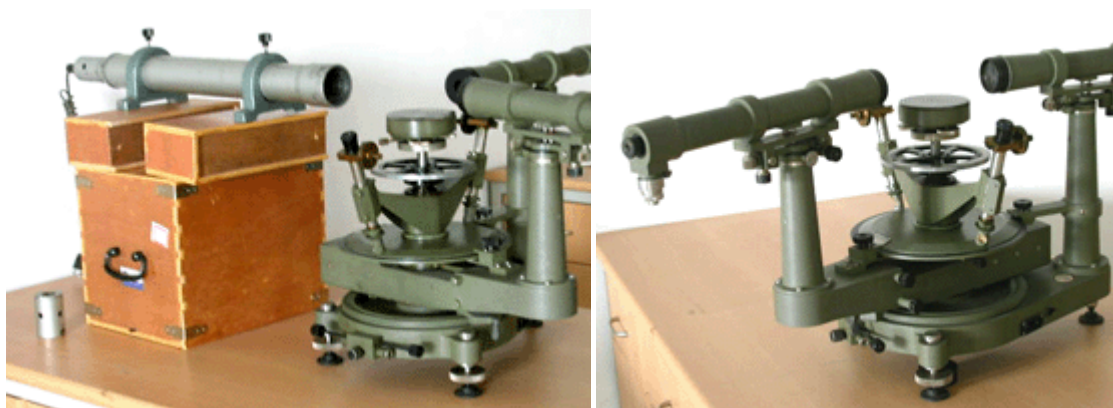
y'' ——被显微镜放大后的玻罗刻板刻线像间距。



2. 精密测角法测长焦距 原理



本方法的原理是利用精密测角仪（如经纬仪，测角仪等）精确地测量处于物镜焦面上的分划板刻线张角 $2w$ 的大小，并予先准确地测出分划线的间距 $2y$ ，通过上式算出被测物镜的焦距 f' 。本方法适合测长焦距透镜。



3. 附加接筒法测短焦距 原理

利用带测微目镜的显微镜，在两种像距的情况下，测得被测物镜的垂轴放大率，由此求得被测物镜的焦距。

$$f' = \frac{e}{\beta_2 - \beta_1}$$

e 为被测物镜与显微镜筒之间所加接筒的长度，它等于两像距之差。



四. 实验任务

1. 放大率法测焦距

测量是在光具座上进行的，测量步骤如下：

- ①将被测透镜安放在透镜夹持器上，调整夹持器使被测透镜与平行光管光轴大致重合。
- ②调节测微目镜视度，使其同时看清十字叉丝和读距分划板；

③松开透镜夹持器的固定螺旋，前后移动透镜座使分划板的像位于显微镜的工作距离上，使读数显微镜能看到平行光管玻罗板成像在读距分划板上，然后旋紧固定螺旋。

④调节显微镜座，使平行光管玻罗板的像和读距分划板一样清晰。

⑤转动测微鼓轮，读出一组间隔距离的像的大小，然后根据以上公式算出被测物镜的焦距。

2. 精密测角法测长焦距

被测物镜为 $10\times$ 显微物镜，就在显微镜架上进行测量。

①将格值为 0.1mm 的玻璃尺，放在显微镜的载物台上，装上测微目镜，拧上被测物镜，调好照明光源。

②上下移动显微镜管对玻璃尺调焦，从测微目镜中观察到玻璃尺的刻线像与测微目镜分划板同样清晰。

③用测微目镜测出格值为 0.1 的玻璃尺 y_1 间隔的像距 y_1' ，即可求

$$\text{出 } \beta_1 = \frac{y_1'}{y_1}。$$

④调换目镜接筒使得像距增加了 $e=25\text{mm}$ ，两次进行调焦，又测得格值为

0.1mm 玻璃尺上 y_2 间隔的像 y_2' ，并求出 $\beta_2 = \frac{y_2'}{y_2}$ ，这样根据公式即可求出被测显微物镜的焦距。

3. 附加接筒法测短焦距

①将分划板的刻线面精确地校正到被测物镜的焦面上（可采用平行光管调校消视差方法），调整好测角仪，并对分划板的刻线像进行调焦，使测角仪的分划线与分划板的刻线像清晰无视差地呈现在视场内。

②绕测角仪主轴转动望远镜，使望远镜的十字分划线与分划板的 A 线重合，记下度盘的第一次角度读数。

③继续转动望远镜，使望远镜的十字分划线与分划板的 B 线重合，记下度盘的第二次角度读数，两次度盘读数之差，即为所谓的 $2w$ 值。根据以上公式，即可求出被测物镜的焦距。

五、实验报告

1. 根据实验任务写出三种测量方法的测量原理及结果
2. 选择一种测量方法，采用作图方式实现。
3. 如何确保平行光管、待测物镜与测量显微镜三者共轴？当精密测焦距时，对平行光管及测量显微镜有哪些要求？

实验 3 望远系统特性参数的测量

一、实验目的

通过对望远系统特性参数的实际测量，进一步掌握望远系统的基本成像原理，同时加深对其各参数的理解。

二、实验仪器

平行光管、待测望远系统（经纬仪或水平仪）、倍率计等。



三、实验原理及要求

1. 实验原理

对于望远系统而言，物镜框就是孔径光阑，也为入瞳；物镜框经后面的目镜所成的像即为望远系统的出瞳 D' ，出瞳到望远系统目镜最后一面的顶点的距离就是出瞳距离 P' ，如图 2-1 所示。

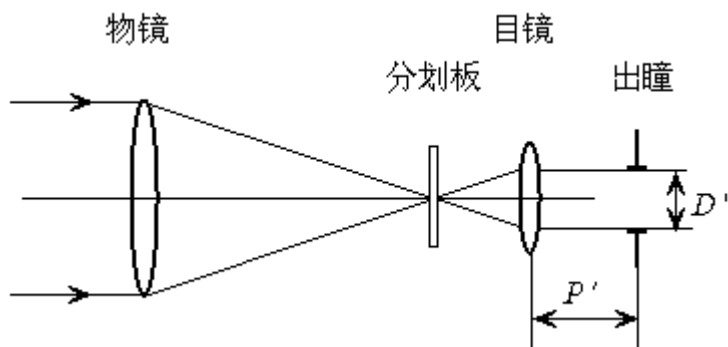


图 2-1

利用倍率计可以简单而比较精确的测量出瞳直径及出瞳距。倍率计的结构原理如图 2-2 所示，其光学系统是一个低倍的显微镜，物镜的放大率是 1 倍，目镜是 12.5 倍，分划板上刻有用来测量出瞳像直径的标尺，其刻划范围为 10mm 。此外，显微镜可以在外筒内前后移动，在显微镜筒上有一根长度标尺，刻划范围为 $0 \sim 80\text{mm}$ ，格值为 1mm （在外筒上有一窗口可见到此标尺）。当显微镜在外筒内移动时，标尺可指示出它的位置，以方便的测量出瞳距。

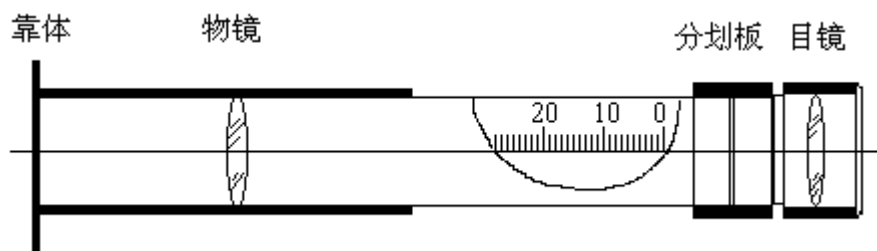


图 2-2

2. 实验要求

实际测量望远系统的出瞳及出瞳距的大小。

四、实验任务

（一）望远系统出瞳直径的测量

- 1、测量前将被测望远系统的目镜视度调整到零，使仪器处于正常工作状态。
- 2、将平行光管、被测望远系统、倍率计如图 2-3 依次放置，并调整三者共轴等高。

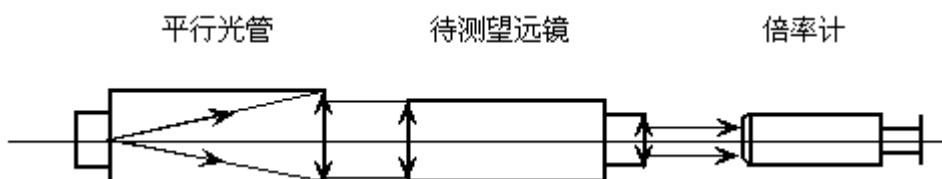


图 2-3

3、通过倍率计观察望远系统物镜框所成之像，并对出瞳亮斑调焦，从而使被测系统的出瞳在倍率计分划板中心部位上成清晰的像，此时从倍率计分划板上的刻线值即可正确地读出被测系统的出瞳直径的大小 D' 。

（二）望远系统出瞳距离的测量

1、当倍率计调焦在出瞳面上时，从倍率计外筒窗口上也可以读得一个读数，此读数即为沿轴方向的出瞳面的位置 a_1 。

2、然后，沿倍率计外筒拉动显微镜，将它调焦在被测系统目镜的最后一个表面顶点上，此时再次记下外筒窗口上的读数 a_2 。两次读数之差就是被测系统的出瞳距 p' 。

五、实验报告

- 1、如何测量望远镜的入瞳及入瞳距？
- 2、为什么大多数望远系统的孔径光阑都是位于物镜上？

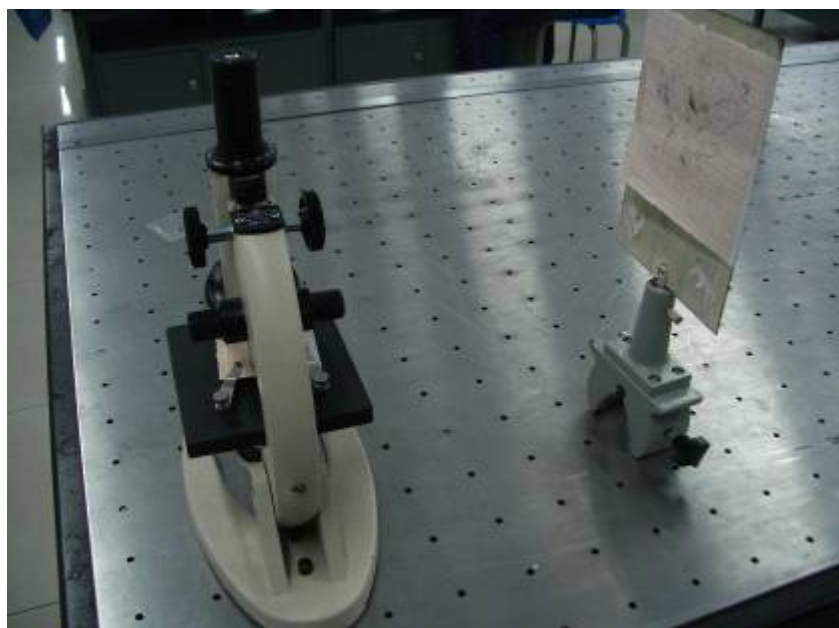
实验 4 显微系统特性参数的测量

一、实验目的

通过对显微系统特性参数的实际测量，进一步掌握显微系统的基本成像原理，同时加深对其各参数的理解。

二、实验仪器

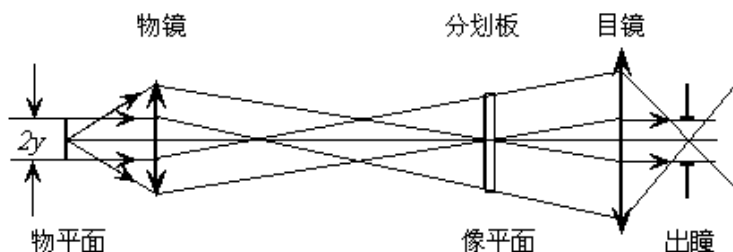
待测显微镜、测微目镜、标准刻尺、半反半透镜、照明光源、标准柱等。



三、实验原理及要求

1. 实验原理

(一) 显微镜线视场的检测



显微镜的原理示意如下图 3—1 所示：

图 3—1

从图中可见，显微镜由物镜及目镜构成，被观测的物体经显微镜的物镜放大后其像再经目镜放大以供人眼观察，其成像过程是一个二次成像过程。对于显微镜而言，分划板是其视场光阑，显微镜的线视场主要取决于视场光阑的大小，且显微镜的视觉放大率越大，它的物空间的线视场越小。

若在显微镜承物台上放置一标准玻璃刻尺，并以光源照明，令显微镜对标准玻璃刻尺进行调焦，使人眼通过显微镜看清其像，则显微镜中所能看到的最大刻线范围即为显微镜的线视场。

(二) 显微镜放大率的测量

其测量原理如图 3—2 所示：

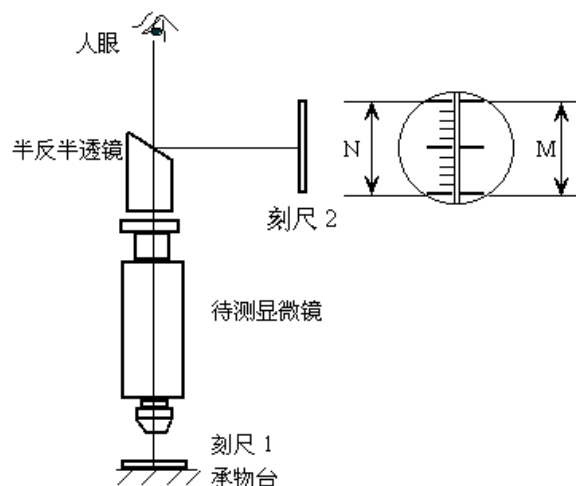


图 3—2

使待检显微镜对承物台上的标准玻璃刻尺 1 调焦，在垂直光轴方向于明视距离处安放另一刻尺 2，并用光源同时照明两个刻尺。此时人眼可同时看清两刻尺的像，并将二者消视差，在视场中读取刻尺 1 的像与刻尺 2 齐合的读数 M 及 N ，

则采用下式即可求得显微镜的视觉放大率：

$$\Gamma = \frac{N\tau_2}{M\tau_1} \quad (3-1)$$

式中 τ_1, τ_2 分别为刻尺 1 及刻尺 2 的格值。

除了此种测量方法外，还可以采用前置镜法直接测量或分别测量构成此显微镜的物镜的垂轴放大率及目镜的视觉放大率。在此就不一一介绍了。

（三）显微镜物镜数值孔径 NA 的测量

显微镜的数值孔径是显微镜一个非常重要的参数，其大小直接决定了显微系统的分辨能力及象面照度。数值孔径的表示形式如下所示：

$$NA = n \sin u \quad (3-2)$$

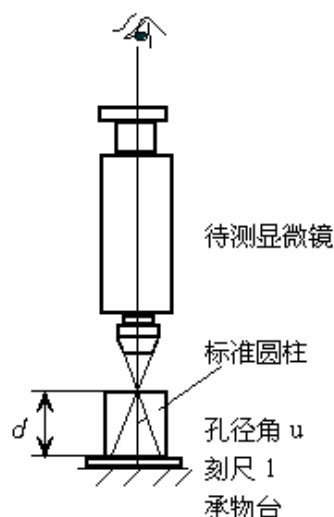
式中 n 为显微物镜物方介质折射率； u 为显微物镜物方半孔径角。

当显微镜的数值孔径不大时可采用下面的方法进行测量，其测量原理如图 3-3 所示：

将已知高度为 d 的标准柱放在刻尺上，使待测显微镜以标准柱的上端面中心进行调焦，取下标准柱及显微镜目镜，用眼直接读取视场所见的刻尺分划的格数 m ，则有：

$$\operatorname{tg} u = \frac{m\tau}{2d} \quad (3-3)$$

根据式（3-3）即可求出物方孔径角的大小，再利用式（3-2）即可求出被测量



显微镜的数值孔径。

图 3-3

在显微镜的批量生产检测时，可依据此检测原理做成专用的数值孔径仪检测 NA ，以提高检测效率。

2. 实验要求

实际测量显微系统的线视场、放大倍率及数值孔径的大小。

四、实验步骤

（一）显微系统线视场的测量

1、将标准刻尺放置在被测量显微镜的承物台上，固定好位置，并用光源照明刻尺。

2、旋转显微镜的转动圆盘选择一个放大率比较小的物镜（如果物镜的放大倍率选择过大则看不到刻尺的像），同时通过拔插的方式选择一个适合的目镜，转动旋钮令显微镜对刻尺进行调焦，直至看到刻尺的清晰的像，若通过调整只能看见刻尺的模糊的像，则还需旋转目镜进行相应的视度调节。

3、此时读出通过显微镜目镜所能看到的最大的刻尺范围 $2y$ ，此数值即为待测显微镜的线视场的大小。由于在此成像过程中所用的物为已知刻值的刻尺，所以通过直接读取格值的方式就能够测量出线视场的大小，十分方便快捷。

（二）显微系统放大倍率的测量

1、将标准刻尺 1 放置在被测量显微镜的承物台上，固定好位置，并用光源照明刻尺。

2、在选择了适当的物镜及目镜的基础上，对标准刻尺 1 进行调焦，直至看清标准刻尺 1 的像。

3、在垂直于显微镜的光轴方向上再放置一个刻尺 2（此刻尺的格值可以与刻尺 1 相同也可不同，根据具体情况而定），并使此刻尺位于明视距离处。同时将一个半反半透镜放置于待测目镜之上。此时让照明光源同时照明两个刻尺，当人眼通过半反半透镜进行观察时就能够同时看到两个刻尺的像：其中刻尺 1 通过显微镜成像、放大后经半反半透镜的透射进入人眼，而刻尺 2 则仅经过半反半透镜的反射后进入人眼，在此过程中没有经过放大。

4、将两像进行调整并消视差，此时分别读取所见视场中刻尺 1 的格值数 N 及同一视场中刻尺 2 的格值数 M ，并利用式（3-1）即可求出被测显微镜的放大倍率。

（三）显微镜数值孔径的测量

1、首先将标准刻尺放置在被测量显微镜的承物台上，固定好位置，然后将已知高度的标准小圆柱放置于标准刻尺上，并用光源照明。

2、然后调整显微镜令显微镜对此小圆柱的上端面进行调焦，直至在目镜中

看到小圆柱上端面的清晰的像。

3、先取下目镜，再移走小圆柱，直接通过人眼来观察标准刻尺经显微物镜所成之像，上下移动人眼的位置，直至能够看见刻尺的清晰的像。数出所见视场中的刻尺的格值 m ，并代入公式 (3-3)、(3-2) 中，即可求出该被测显微镜的数值孔径。

五、实验报告

- 1、如用小孔光阑代替标准圆柱，就如何检测显微镜的数值孔径？
- 2、对于显微镜而言，其物方线视场的大小与哪些因素有关？
3. 对于低倍显微镜，其最大视场由哪种光阑限制？该光阑一般放在哪里？