

长度与密度测量实验

实验简介

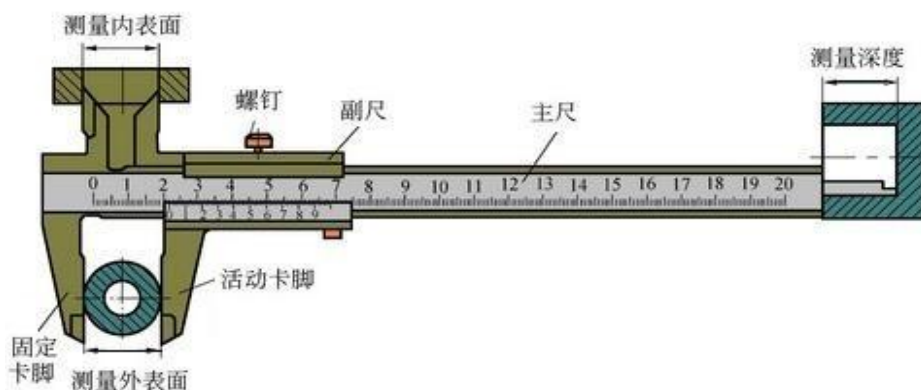
长度是最基本的物理量。在各种各样的长度测量仪器中，它们的外观虽然不同，但其标度大都是以一定的长度来划分的，对许多物理量的测量都可以归为对长度的测量，因此，长度的测量是实验测量的基础。在进行长度的测量中，我们不仅要求能够正确使用测量仪器，还要能够根据对长度测量的不同精度要求，合理选择仪器，以及根据测量对象和测量条件采用适当的测量手段。

密度是表征物体特征的重要物理量，因而密度的测量对物体性质的研究起着重要的作用。对于规则的物体，用物理天平测出其质量，用测量长度的方法测出其体积，即可测量出物质的密度。

实验原理

1. 游标卡尺构造及读数原理

游标卡尺主要由两部分构成，如(图 1)所示：在一毫米为单位的主尺上附加一个能够滑动的有刻度的小尺（副尺），叫游标，利用它可以把主尺估读的那位数值较为准确地读出来。

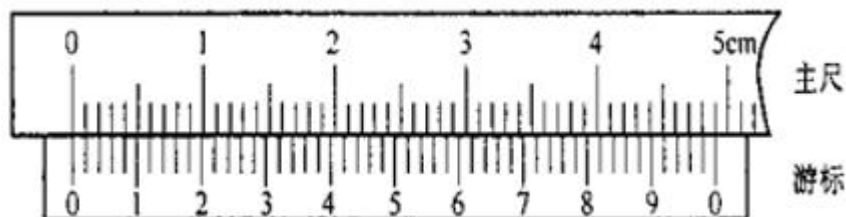


游标卡尺在构造上的主要特点是：游标上 N 个分度格的总长度与主尺上 $(N-1)$ 个分度格的长度相同，若主尺上最小分度为 a ，游标上最小分度值为 b ，则有

$$Nb = (N-1)a \quad (1)$$

那么主尺与游标上每个分格的差值(游标的精度值或游标的最小分度值)是：

$$\delta = a - b = a - a \frac{N-1}{N} = \frac{1}{N}a \quad (2)$$

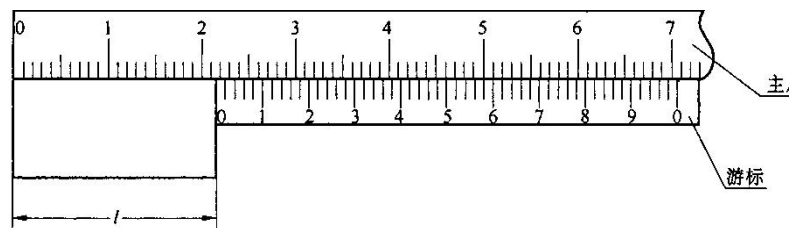


常用的游标是五十分游标($N=50$ 。另有 10 分度的、 20 分度的、 50 分度游标卡尺), 即主尺上 49 mm 与游标上 50 格相当, 见图 2。五十分游标的精度值 $\delta=0.02\text{mm}$ 。游标上刻有 0、1、2、3、...、9, 以便于读数。毫米以上的读数要从游标“0”刻度线在主尺上的位置读出, 毫米以下的数由游标(副尺)读出。即: 先从游标卡尺“0”刻度线在主尺的位置读出毫米的整数位, 再从游标上读出毫米的小数位。

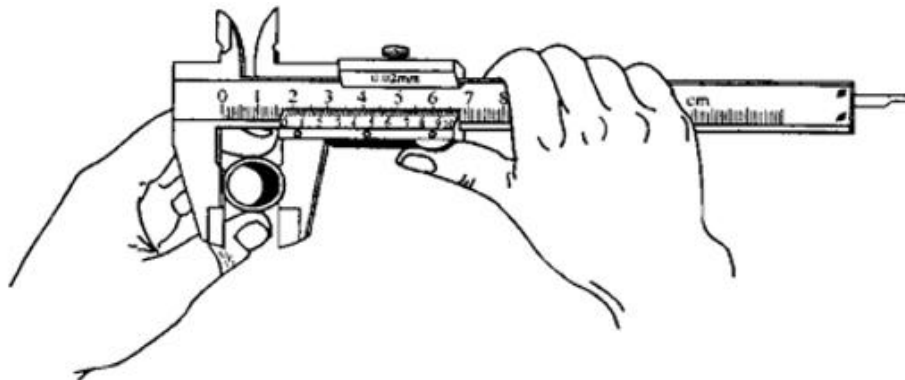
游标卡尺测量长度 l 的普遍表达式为

$$l = k\alpha + n\delta \quad (3)$$

式中, k 是游标的“0”刻度线所在处主尺刻度的整刻度(毫米)数, n 是游标的第 n 条线与主尺的某一条线重合, $\alpha=1\text{mm}$ 。图 3 所示的情况, 即 $l=21.58\text{mm}$ 。



在用游标卡尺测量之前, 应先把量爪 A、B 合拢, 检查游标的“0”刻度线是否与主尺的“0”刻度线重合。如不重合, 应记下零点读数, 加以修正, 即待测量 $l=l_1-l_0$ 。其中, l_1 为未作零点修正前的读数, l_0 为零点读数。 l_0 可以正, 也可以负。使用游标卡尺时, 可一手拿物体, 另一手持尺, 如图 4 所示。要特别注意保护量爪不被磨损。使用时轻轻把物体卡住即可读数。



游标卡尺使用注意事项

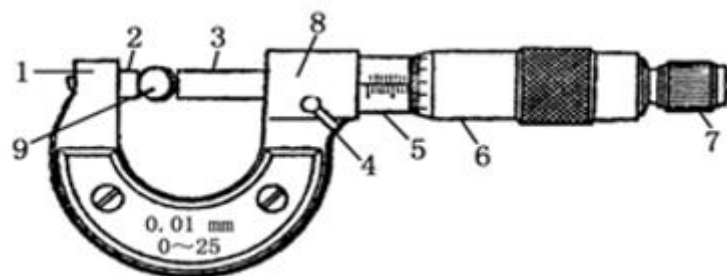
- (1) 使用前, 首先要弄清其规格
- (2) 根据被测对象情况, 决定使用外测量爪、内测量爪、尾尺。
- (3) 校正零点读数。若量爪 A、B 接触时, 游标 0 线与主线不重合, 应找出修正量, 然后再使用。
- (4) 注意保护量爪, 预防卡口磨损。为此测量时不应将待测物卡得太紧。
- (5) 用毕将其固定螺丝松开, 然后将游标卡尺放入包装盒。

2. 螺旋测微器(千分尺)

常见的螺旋测微器如下图所示。它的量程是 25mm, 分度值是 0.01mm。

螺旋测微器结构的主要部分是一个微螺旋杆。螺距是 0.5 mm。因此, 当螺

旋杆旋一周时，它沿轴线方向只前进 0.5mm。

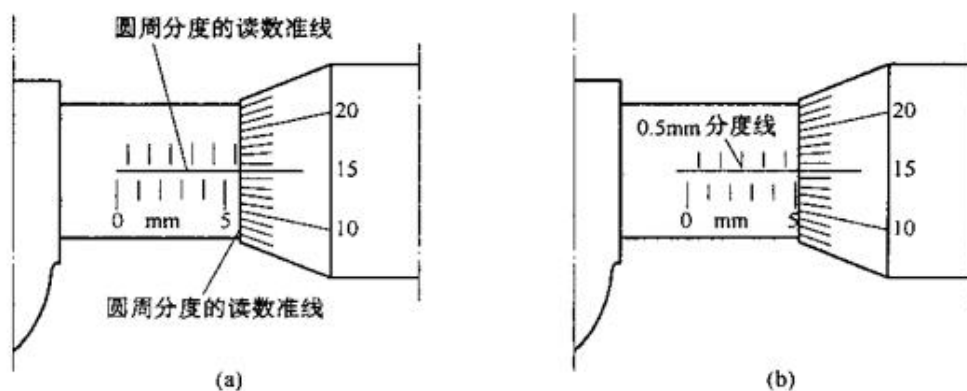


1.尺架 2.测砧 3.测微螺杆 4.锁紧装置

5.固定套筒 6.微分筒 7.棘轮 8.螺母套管 9.被测物

螺旋柄圆周上，等分为 50 格，螺旋杆沿轴线方向前进 0.01 mm 时螺旋柄圆周上的刻度转过一个分格，这就是所谓机械放大原理。

测量物体长度时，应轻轻转动螺旋柄后端的棘轮旋柄，推动螺旋杆，把待测物体刚好夹住时读数，可以从固定标尺上读出整格数（每格 0.5mm）。



螺旋测微计的读数方法：

(1) 测量前后应进行零点校正，即以后要从测量读数中减去零点读数。零点读数时顺刻度序列记为正值，反之为负值。

(2) 读数时由主尺读整刻度值，0.5mm 以下由微分套筒读出，并估读到 0.001mm 量级。

(3) 要特别注意主尺上半毫米刻线，如果它露出到套筒边缘，主尺上就要读出 0.5mm 的数。

螺旋测微器使用注意事项：

(1) 使用前，首先要弄清其规格，选用合适的量程。

(2) 校正零点读数。

(3) 先用粗测旋钮使测头小砧接近被测物，后用微调旋钮使测头小砧接触被测物。听到“喀”、“喀”止动声后停止旋转。否则易损伤测微螺杆。

(4) 读数时要注意固定刻度尺上表示半毫米的刻线是否已经露出。

(5) 测量完毕应使测微螺杆与测砧之间留有空隙，以防因热膨胀损坏螺纹。

3. 读数显微镜

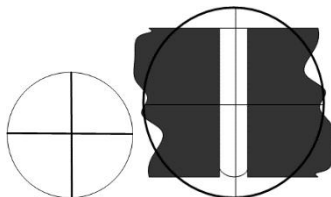
读数显微镜是用来测量微小距离或微小距离变化的。其构造分为观察被测物体的显微镜和读数的螺旋测微装置。读数显微镜的量程一般为 50mm，分度值是 0.01mm, 可估读到 0.001mm。

读数显微镜的使用：

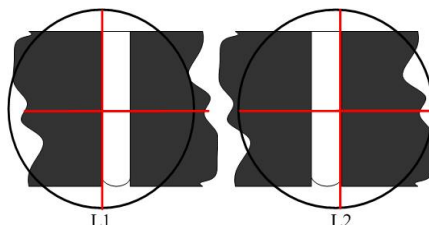
- 1.将读数显微镜适当安装，对准待测物；



- 2.调节显微镜的目镜，以清楚地看到叉丝（或标尺）；
- 3.调节显微镜物镜焦距，使被测物体成像清晰；



- 4.旋转测微手轮，使叉丝竖线与被测物体的两端面相切；



- 5.分别读出相切时标尺所对应的读数 L_1 和 L_2 ，两者读数之差 $\Delta L = L_1 - L_2$ 即被测物体的长度。

读数显微镜使用注意事项：

- (1) 测量时，显微镜移动方向与待测长度平行。
- (2) 同次测量中，测微手轮须恒定向一个方向旋转，避免产生空程误差。。

实验仪器

实验仪器有：螺旋测微器、游标卡尺、读数显微镜。

1. 螺旋测微器



螺旋测微器实物图



螺旋测微器仿真图

鼠标左键点击双击仪器可以打开仪器大视图。



(1) 鼠标左键点击开始测量按钮，可以进行测量铁丝的直径；

(2) 鼠标左键或右键点击微分筒可以粗调减小或增大当前测量距离；

(3) 鼠标左键或右键点击微分筒可以细调减小或增大当前测量距离；

2. 游标卡尺

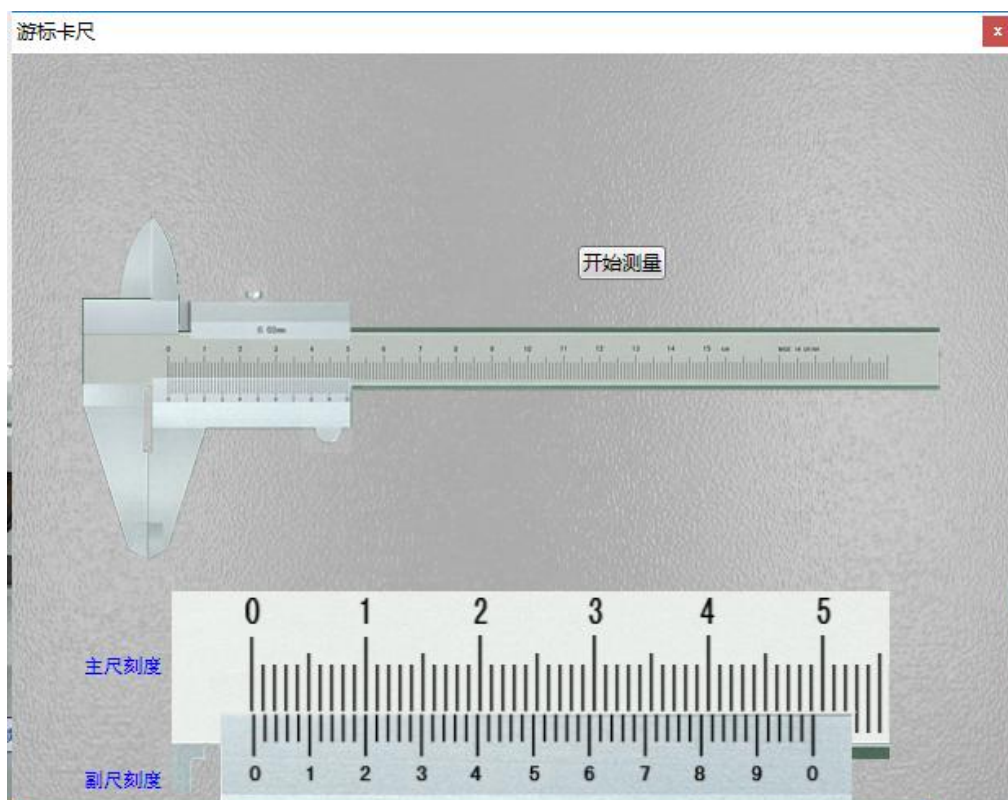


游标卡尺实物图



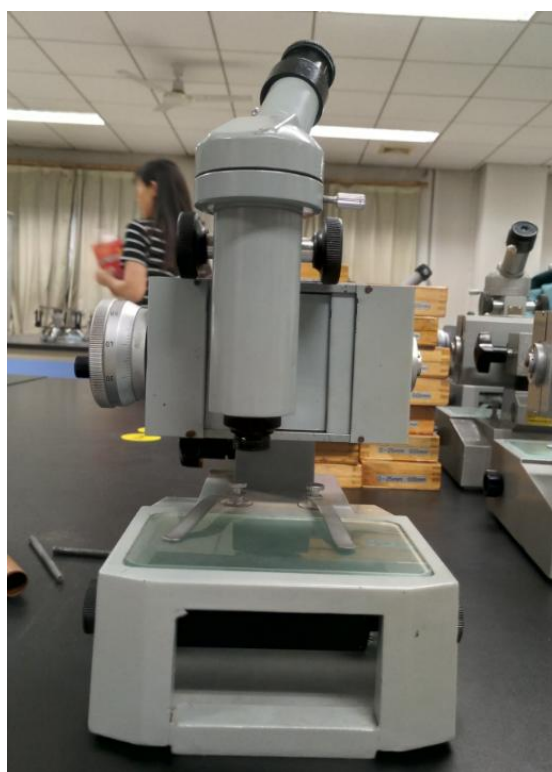
游标卡尺仿真图

鼠标左键双击可以打开仪器的大视图，大视图中可以对仪器进行操作。



- (1) 鼠标左键点击开始测量按钮，可以分别进行测量空心圆柱的外径、内径、高度；
- (2) 鼠标左键点击可以拖动游标从而改变当前所测得距离；

3. 读数显微镜





读数显微镜实物图

读数显微镜仿真图

鼠标左键双击主场景中仪器视图可以打开仪器大视图，大视图可以进行操作。



- (1) 鼠标点击反射镜旋钮可以调节目镜视野明亮度；
- (2) 鼠标点击物镜旋钮可以改变物镜镜筒的高度，从而改变被测物体在目镜中的清晰度；
- (3) 鼠标左键点击目镜镜筒紧固旋钮可以解锁螺丝，从而改变目镜镜筒的方位，右击锁紧；
- (4) 鼠标点击目镜调焦旋钮可以改变目镜视野中叉丝的清晰度；
- (5) 鼠标左键点击放置金属丝按钮可以将金属丝放置在显微镜台上，从而进行测量；

实验内容

1. 用游标卡尺测量空心圆柱体的高度、外径、内径，根据测得的圆柱体高度 h 、内径 d 和外径 D ，求出空心圆柱体的体积 V ，计算测量最佳值的不确定度。

其中，测量结果的相对不确定度为：

$$\frac{\Delta V}{V} = \sqrt{\left(\frac{2D\Delta D}{D^2 - d^2}\right)^2 + \left(\frac{2d\Delta d}{D^2 - d^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2}$$

测量结果的不确定度为：

$$\Delta V = \bar{V} \frac{\Delta V}{\bar{V}}$$

2. 用螺旋测微器测量铁丝直径。
3. 用读数显微镜测量金属丝的直径。

实验指导

1. 实验重点、难点

- (1) 游标卡尺、螺旋测微器的使用，及零点误差的记录。
- (2) 读数显微镜的调节及使用。
- (3) 实验数据的处理；

2. 辅助功能介绍

实验项目：显示实验名称和实验内容信息(多个实验内容依次列出)；可以通过单击实验内容进行实验内容之间的切换。切换至新的实验内容后，实验桌上的仪器会重新按照当前实验内容进行初始化。

实验仪器栏：存放实验所需的仪器，可以点击其中的仪器拖放至桌面，鼠标触及到仪器，实验仪器栏会显示仪器的相关信息；仪器使用完后，则不允许拖动仪器栏中的仪器了。

关闭按钮：关闭按钮功能就是关闭实验。

数据记录：打开实验数据记录表格。

提示信息栏：显示实验过程中的仪器信息，实验内容信息，仪器功能按钮信息等相关信息，按 F1 键可以获得更多帮助信息。

3. 实验操作方法

(1) 主窗口介绍

成功进入实验场景窗体，实验场景的主窗体如下图所示：



长度与密度测量实验主场景视图

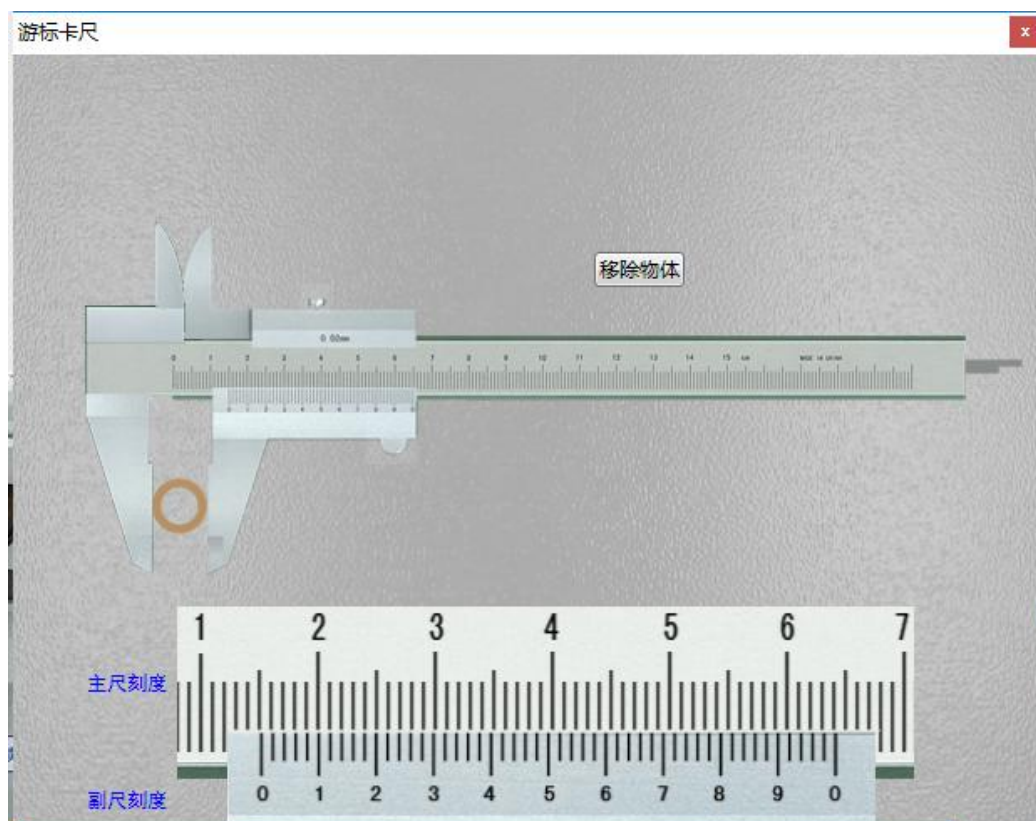
(2) 测量铁丝的直径

鼠标左键双击打开螺旋测微器大视图，点击开始测量按钮，对铁丝直径进行测量：

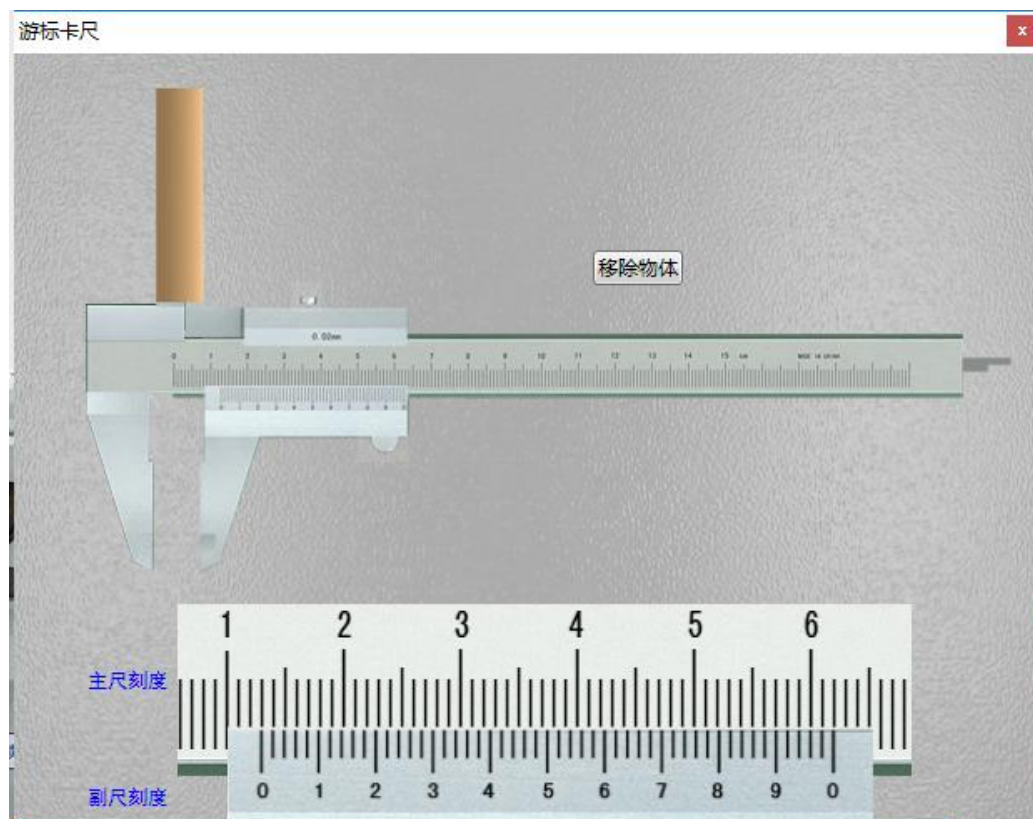


(3) 测量空心圆柱体的外径、内径、高度。

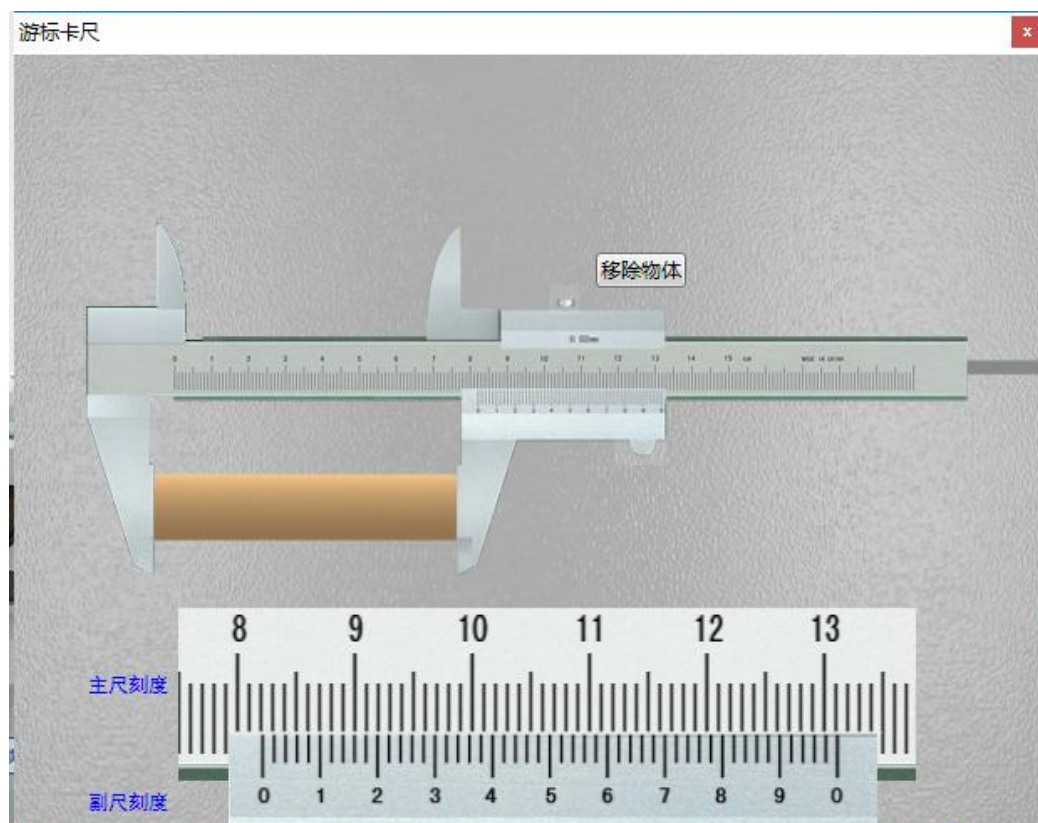
鼠标左键双击打开游标卡尺大视图，点击开始测量按钮，分别对空心圆柱体的外径进行测量：



内径进行测量：

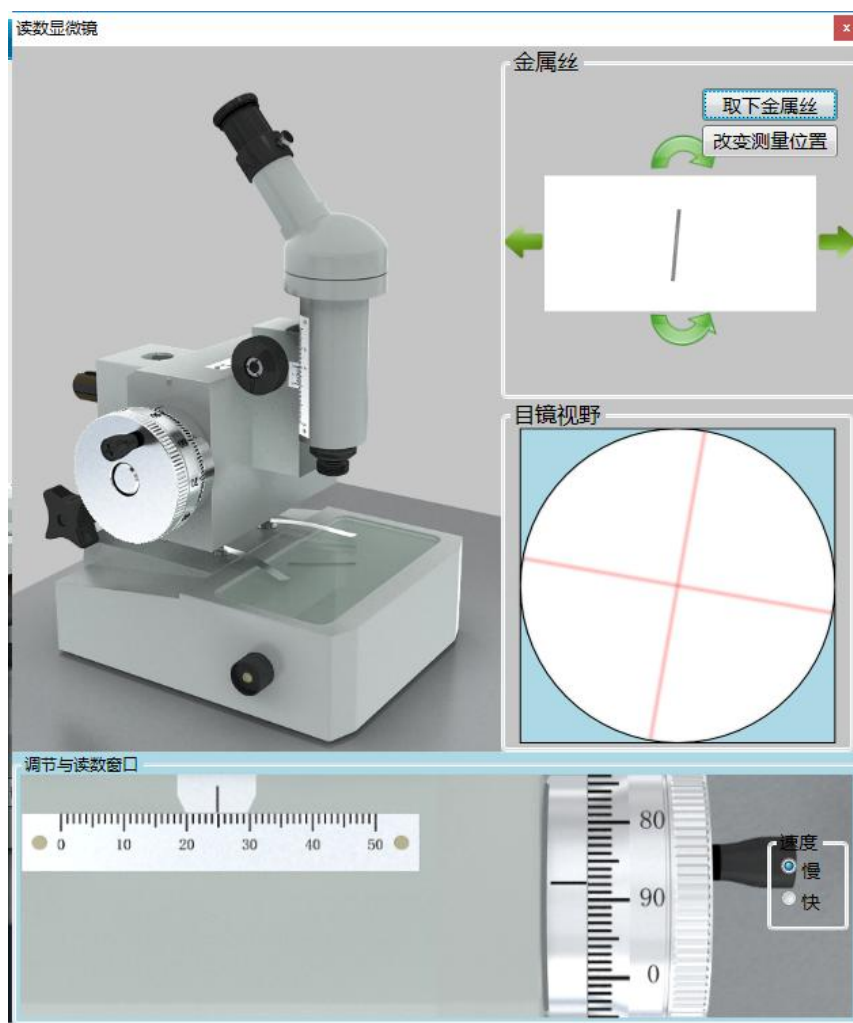


高度进行测量：

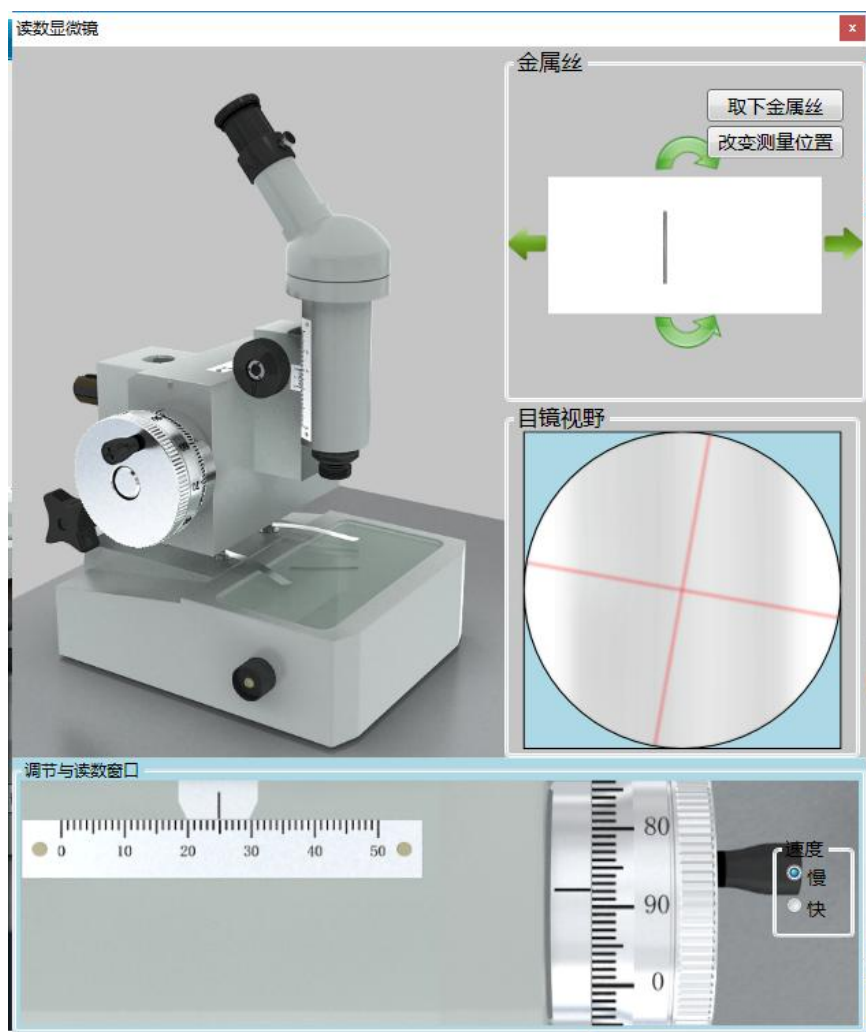


(4) 测量金属丝直径

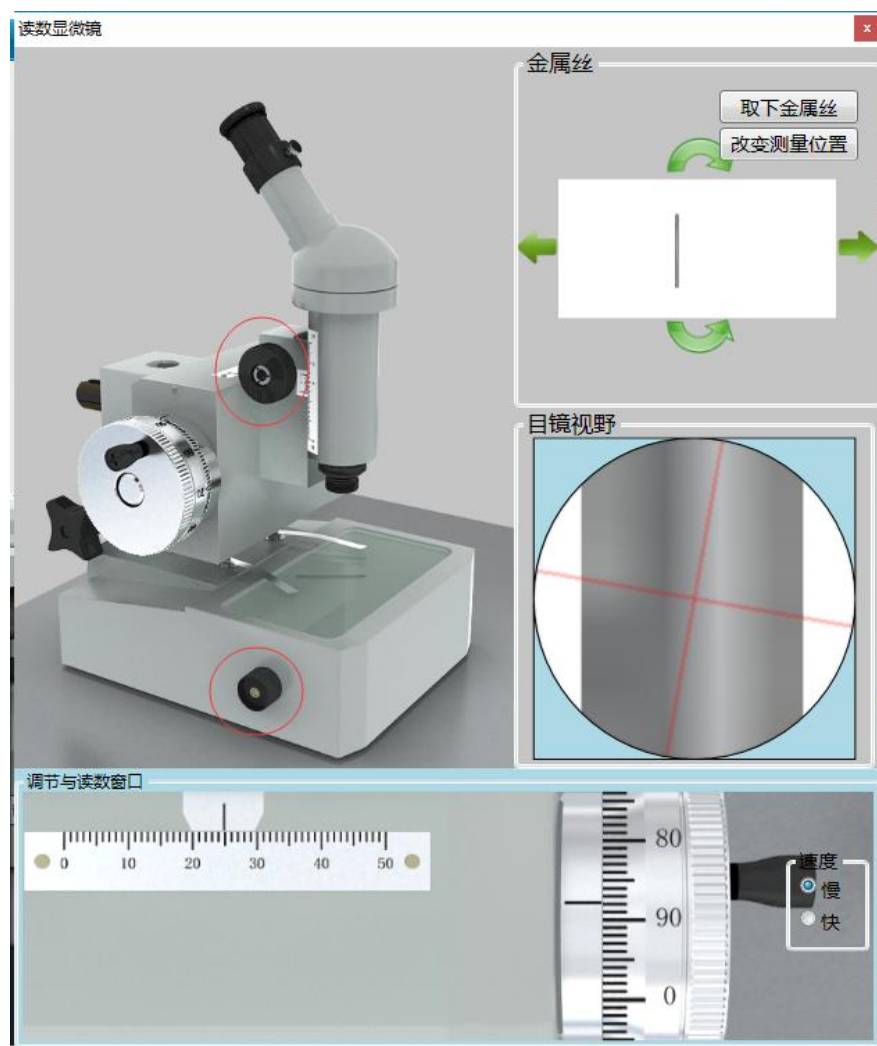
鼠标左键双击打开读数显微镜大视图，点击放置金属丝按钮，将金属丝放置显微镜镜筒下方；



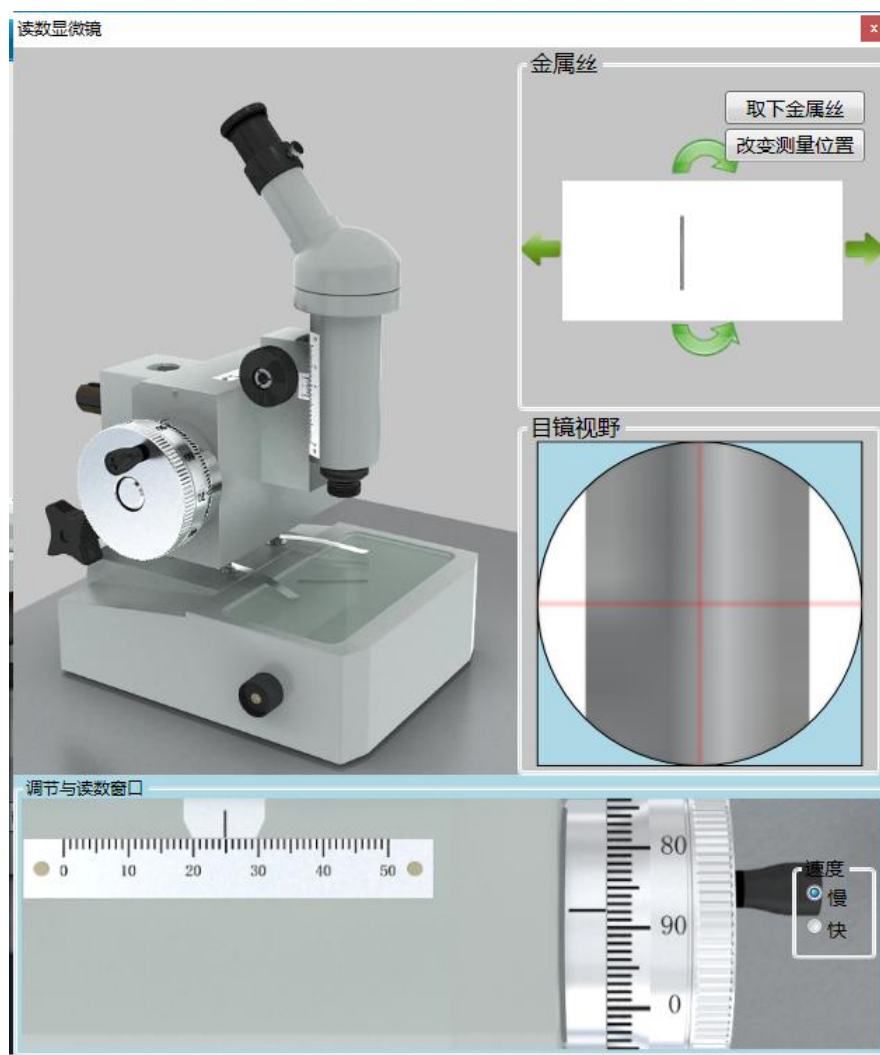
鼠标左键点击金属丝模块中的左右和旋转箭头，将金属丝移动到目镜视野之中；



鼠标点击反射镜旋钮调节目镜最明亮，点击物镜调焦旋钮改变镜筒高度直至物体最清晰；



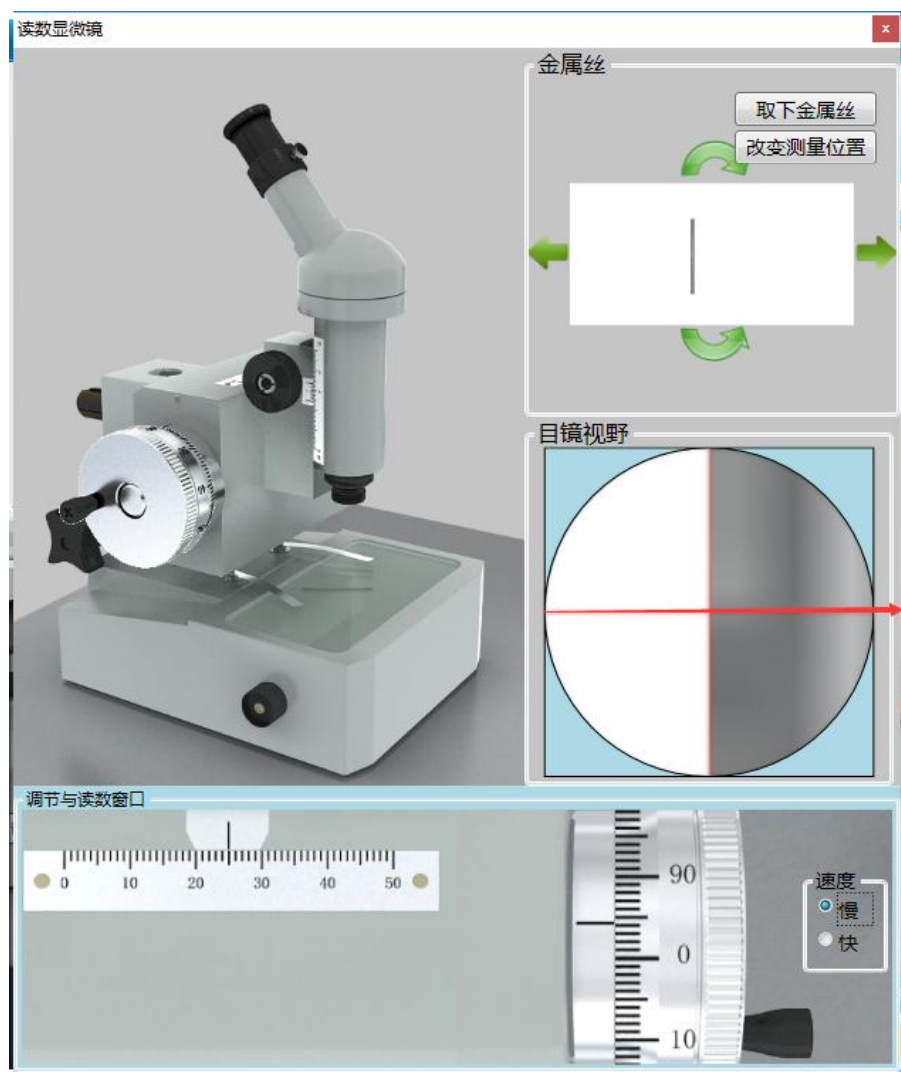
鼠标点击打开目镜镜筒紧固螺丝，点击目镜镜筒调节目镜中叉丝的角度水平竖直，点击目镜调焦旋钮至叉丝清晰可见；



鼠标左键点击改变金属丝的角度至与叉丝一边相切；



朝着一个方向一定显微镜镜筒的位置，直到叉丝与物体相切，记下第一个切点的位置；



相同方向移动至另一个相切的位置，记下位置读数；



思考题

1. 螺旋测微器与游标卡尺的精度分别是多少？
2. 何时需要使用到螺旋测微器，何时需要使用到游标卡尺？
3. 用读数显微镜测量物体宽度时，若物体未与显微镜镜筒移动的方向相垂直，会对测得的数值造成何种影响？

参考资料

1. 何志巍,朱世秋,徐艳月. 大学物理实验教学. 北京: 机械工业出版社. 2017.