

密度的测量

密度是物质的特性之一，每种物质都有一定的密度，不同物质的密度一般是不同。因此我们可以利用密度来鉴别物质。实验中测定固体材料密度的方法有很多，而所采用的方法不同，需要测量的物理量不同。我们可以通过使用不同的测量方法学习使用长度和质量的测量仪器，掌握它们的结构特点、读数原理、使用方法及维护知识等，并注意在以后的实验中能正确使用。

【实验目的】

- 1、掌握游标卡尺、千分尺及天平的测量原理和使用方法。
- 2、学习用流体静力称衡法测量固体的密度。
- 3、掌握直接测量量和间接测量量的数据处理方法。

【实验仪器】

游标卡尺、螺旋测微器、物理天平、待测物

【实验原理】

(一) 规则物体的密度测量：

设物体质量为 m ，体积为 V ，则该物体的密度为

$$\rho = \frac{m}{V}$$

对形状规则的圆柱体，质量 M 可由物理天平称出，体积 V 可以直接测量物体的外形尺寸，然后应用几何公式计算出来。即：

$$V = \frac{\pi}{4} d^2 h$$

其中 d 是圆柱体直径： h 是圆柱体高度。于是

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}$$

只要直接测出 d, h, m 就可以间接确定 ρ 。用游标卡尺测量 h ，螺旋测微器测量 d ，但由于被测圆柱体加工上的不均匀，不同位置上的 d 和 h 不完全相同，这样就会给数据带来系统误差。因此，避免产生较大的误差，我们采取在待测物体的不同位置多次测量 d, h 取平均值的方式来处理。

二. 不规则物体的密度测量（流体静力称衡法）：

设被测物（比水的密度大）在空气中的质量为 m_1 （空气浮力忽略不计），全部浸没在水中（悬吊，不接触烧杯壁和底）的质量为 m_2 ，体积为 V ，水的密度为 ρ_1 （液体在室温 t 时的密度）。根据阿基米德定律，有：

$$\rho_1 g V = (m_1 - m_2) g$$

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_1}$$

$$\text{被测物体密度： } \rho = \frac{m_1}{V} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} \cdot \rho_1$$

【仪器原理】

1. 游标卡尺

它是一种常用的比米尺更精密的测量长度的仪器。利用游标卡尺可以用来测量物体的长度、孔深及内外直径等。游标卡尺有两个主要部分，主尺和套在主尺上可以沿它滑动的副尺（游标）。游标是为了比较准确地读出主尺最小刻度后面的读数。

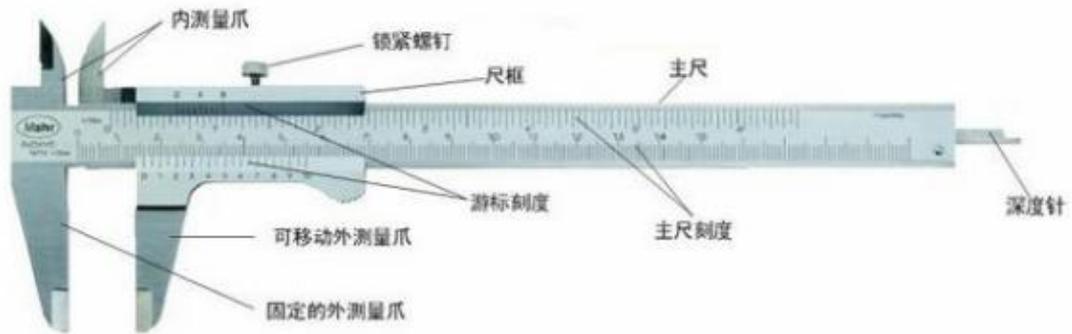


图 1

游标上 N 个分度格的长度与主尺上 $N-1$ 个分度格的长度相同。若游标上的最小分度值为 b ，主尺上最小分度值为 a ，则

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

主尺上每一格与游标上一格之差为游标的精度值（最小分度值）。

$$\text{游标精度值} = a - b = a - \frac{N-1}{N}a = \frac{a}{N} = \frac{\text{主尺上最小分度值}}{\text{游标上分度格数}}$$

常用的三种游标卡尺有 $N=10, 20, 50$ ，即精度值为 $\frac{1}{10} = 0.1\text{mm}$ ， $\frac{1}{20} = 0.05\text{mm}$ ， $\frac{1}{50} = 0.02\text{mm}$ 。

游标卡尺的读数方法是，测量值=主尺读数+副尺读数×精度值，其中主尺的读数是游标上“0”刻度所对应的主尺的整数刻度值 L_0/mm ，副尺的读数则根据“对齐”原则查找游标上与主尺刻度线准确对齐的那一根刻度线，数出这条刻

度线是副尺上的第 k 条，则测量值 L 为：

$$L = L_0 + k \cdot \frac{a}{N}$$

例如：图 2 是 $N=50$ 分度游标卡尺

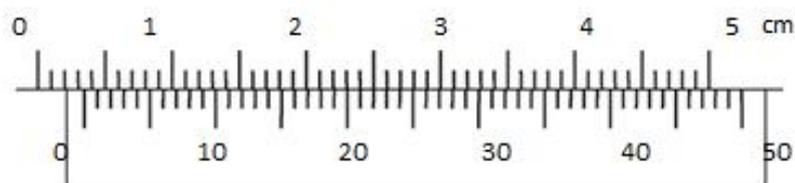


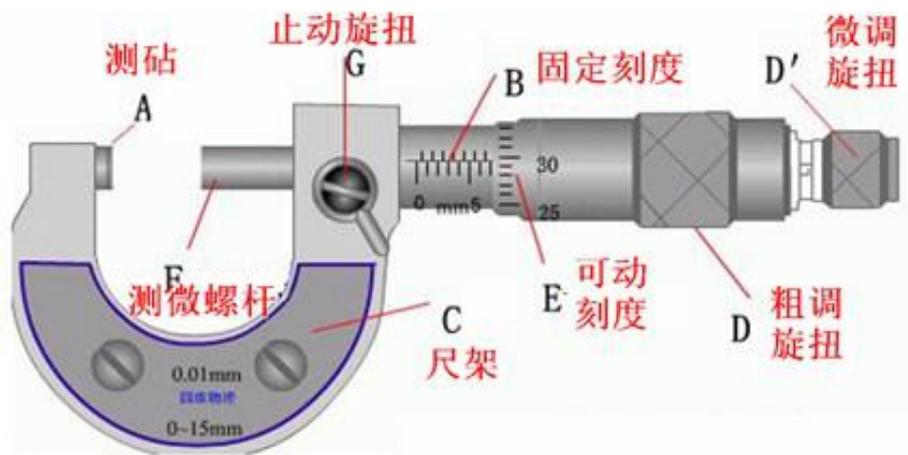
图 2

第一步从主刻度尺上可读出的准确数 3mm ，即 $L_0=3\text{mm}$ ，第二步找到游标上的第 22 根刻线（不含 0 刻线）与主刻度尺上的某一刻度线对齐，则 $k=22$ 所以图 2 所示的游标卡尺

的读数为 $L = L_0 + k \cdot \frac{a}{N} = 3 + 22 \times 0.02 = 3.44\text{mm}$

2. 螺旋测微器

是比游标卡尺更精密的测量长度的工具。它是由一根精密螺杆和与它配套的螺母套筒两部分组成。螺旋测微器的螺距是 0.5mm ，套筒上是可动刻度有 50 个等分刻度，可动刻度旋转一周，螺杆可前进或后退 0.5mm ，因此旋转每个小分度，相当于测微螺杆前进或推后 $0.5/50=0.01\text{mm}$ 。可见，可动刻度每一小分度表示 0.01mm ，所以螺旋测微器可准确到 0.01mm 。由于还能再估读一位，可读至毫米的千分位，故又名千分尺（micrometer）。



螺旋测微器的读数方法:

- (1)、先读固定刻度
- (2)、再读半刻度，若半刻度线已露出，记作 0.5mm；若半刻度线未露出，记作 0.0mm；
- (3)、再读可动刻度（注意估读）。记作 $n \times 0.01\text{mm}$ ；
- (4)、最终读数=固定刻度+半刻度+可动刻度 $\times 0.01\text{mm}$

使用螺旋测微器时，应先检查仪器的零位置。缓缓转动微调旋钮使测杆和测砧接触，到棘轮发出声音为止，此时可动刻度上的零刻度线应当和固定刻度上的零刻度线对齐，否则有零点误差。当存在零点误差时应记录下来，注意根据不同情况零点误差有正负之分，最后应对测量值进行修正。测量时应把物体放在测杆和测砧之间，间距稍大于被测物，在测微螺杆快靠近被测物体时应停止使用粗调旋钮，而改用微调旋钮，避免产生过大的压力，既可使测量结果精确，又能

保护螺旋测微器。

3. 物理天平

物理天平主要有横梁、支柱、底盘、托盘及吊耳构成。物理天平的构造如图 3 所示。在横梁上装有三角刀口，中间刀口置于支柱顶端的玛瑙刀口垫上，作为横梁的支点。两边刀口各有秤盘，随横梁上升或下降，当横梁下降时，制动架就会把它托住，以免刀口磨损。横梁两端各有一对平衡螺母，用于空载调节平衡，横梁上装有游码，用于 1g 或 2g 以下物体的称量。

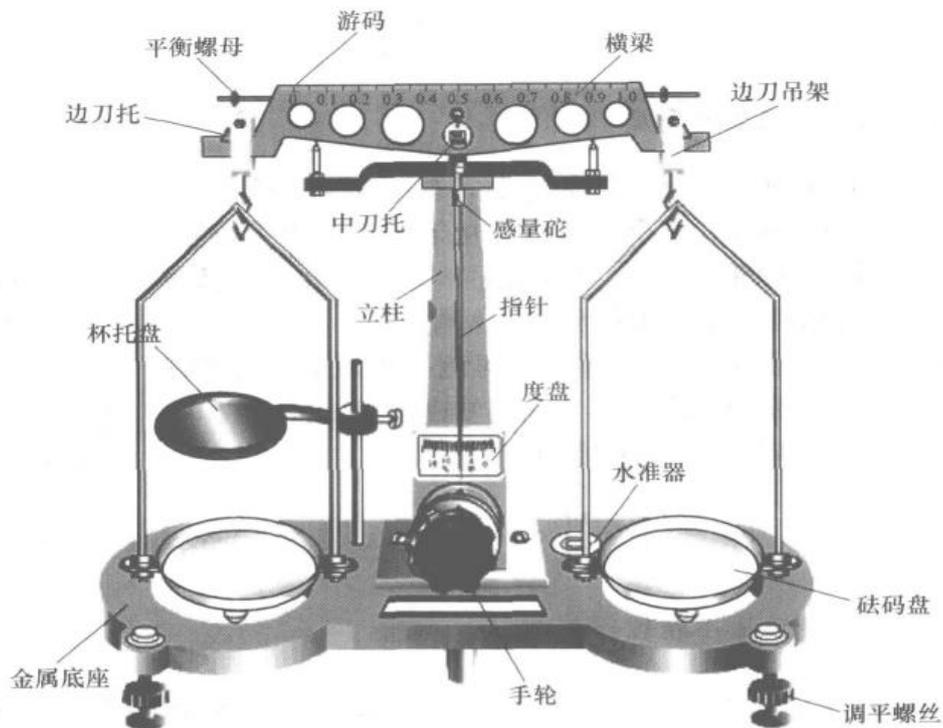


图 3

使用天平应注意以下几点：

(1) 调水平。调整天平的底脚调平螺丝，使底盘上圆形水准器

的气泡处于中心位置，以保证天平的支柱垂直，刀垫水平。

(2) 调零点。空载支起横梁，观察指针摆动情况，看指针是否停在中央处或左右摆动格数不相等，应马上制动横梁，调节平衡螺母，反复数次，直至横梁成水平。

(3) 称衡。将待测物体放在左盘，用镊子取砝码放在右盘，增减砝码、游码，使天平平衡。平衡后将制动旋钮向左旋动，放下横梁制动天平，记下砝码和游码读数。

(4) 把待测物从盘中取出，砝码放回盒中，游码放回零位，最后把称盘架上刀垫摘离刀口，将天平完全复原。

【实验步骤】

(1) 用游标卡尺，在圆柱体的不同位置测出高度 h （六次）

(2) 记下螺旋测微器的零点误差，再测出圆柱体的直径 d （六次）

(3) 按要求正确调节天平，称量出圆柱体或不规则物体的质量 m_1 和 m_2 各三次。

(4) 所测数据和各仪器的精度记入自己设计的记录表中。

【数据处理】

直接测量值的 A 类不确定度计算公式：
$$\Delta_A = \frac{t_{0.95}}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

游标卡尺 B 类不确定度： $\Delta_B = 0.02mm$

螺旋测微计 B 类不确定度： $\Delta_B = 0.004mm$

物理天平 B 类不确定度： $\Delta_B = 0.02g$

直接测量值总不确定度计算公式： $\Delta = \sqrt{\Delta_A^2 + \Delta_B^2}$ （可取1到2位有效数字）

间接测量值的不确定度计算公式：

$$\Delta_\rho = \bar{\rho} \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta_m}{m}\right)^2 + 4 \cdot \left(\frac{\Delta_d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta_h}{h}\right)^2}$$

密度： $\rho = \bar{\rho} \pm \Delta_\rho$

相对不确定度： $\frac{\Delta_\rho}{\bar{\rho}} \times 100\%$