

### ● 实验目的

1. 了解游标原理。
2. 学会正确使用游标卡尺、螺旋测微计和测量显微镜。
3. 学习天平的调整和使用。
4. 学习有效数字和不确定度的计算，巩固误差理论和数据处理知识。

### ● 实验仪器

名 称	使用情况(良好、一般、故障)
游标卡尺	良好
螺旋测微器	良好
物理天平	良好

注：实验目的、实验仪器名称要在课前预习时填写。

► **实验原理**(请用自己的语言简明扼要地叙述,注意原理图需要画出、主要公式需要写明)

在力学中长度、质量、时间为三个基本物理量,但长度测量是一切量度的基础,不仅在测量物体的长度时用到它,而且很多不是测量长度的仪器,其标度也是按照一定长度、弧度来划分的。

**长方体体积的测量:**

长方体体积公式为  $V = xyz$ .

$x, y, z$  分别表示长方体的长宽高,均为直接测量量,利用体积公式得到间接测量量,即体积  $V$ .

**圆孔直径的测量:**

圆孔的内径为  $d = |x_2 - x_1|$ .

$x_1, x_2$  为测量显微镜测量的两次读数值。

**长方体密度的测量:**

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

$m$  用物理天平直接测量。

**不规则物体密度的测量:**

$$\rho = \frac{m_{\text{物}}}{m_2 - m_1 + m_{\text{物}}}, (\rho_{\text{水}} = 1).$$

由密度定义及浮力定律可推导出上式。

用物理天平直接测出  $m_{\text{物}}, m_1, m_2$ .

注:实验原理课前预习时填写,要画原理图(电路或光路图)上课前教师检查。

### 游标原理:

普通米尺最小刻度是 1 毫米, 因此使用米尺只能准确地测量到 1 毫米, 为更准确地测量长度, 人们采用了游标装置。

游标尺由主尺(米尺)和副尺(标有  $N$  个刻度的游标尺)两部分构成。由于主尺上标出的相应长度与副尺上标出的相应刻度均相差一个小量  $\Delta x = \frac{1}{N} \text{ mm}$ 。

当副尺上标有  $N$  个刻度时, 游标上这  $N$  个刻度恰好能等分主尺上的 1 mm, 使读数可精确到  $\frac{1}{N} \text{ mm}$ 。可见, 游标原理可用四个字来概括——等差细分。游标读数的方法也叫差示法。

## ➤ 实验内容与步骤

### 测量钢板的密度

用游标卡尺测钢板的宽  $a$ , 在不同位置各测 5 次;  
用米尺测钢板的长  $b$ , 在不同位置各测 5 次;  
用螺旋测微器测量钢板的厚度  $c$ , 在不同位置各测 5 次;  
用物理天平测量钢板的质量  $m$ , 测一次。

### 测量钢管的数据

用游标卡尺测量钢管内径  $d$ , 外径  $D$ , 高  $h$ , 在不同位置各测 5 次。

### 测量铜柱的体积

用游标卡尺测量钢管直径  $d$ , 高  $h$ , 在不同位置各测 5 次。

注: 实验内容与实验步骤课后填写。

► 实验记录

测量 次数	1	2	3	4	5
钢板					
厚度 /mm	3.514	3.542	3.513	3.546	3.525
长 /mm	118.3	118.3	118.5	118.6	118.4
宽 /mm	25.28	25.26	25.22	25.12	25.12
质量 /g	56.72				
钢管					
外径 /mm	25.02	24.96	24.90	25.04	24.98
内径 /mm	13.98	14.00	14.02	14.06	14.04
高 /mm	29.90	30.00	29.98	29.98	29.94
铜柱					
高 /mm	14.12	14.16	14.02	14.10	14.10
直径 /mm	28.04	28.10	28.10	28.16	28.14

注：自行设计规范的数据表格，表格中填写原始数据，注意单位和有效数字。

## 数据处理及误差分析

计算钢板的密度

$$\begin{aligned}
 \bar{a} &= \frac{1}{5} \sum a \\
 &= \frac{1}{5} (118.3 + 118.3 + 118.5 + 118.6 + 118.4) \\
 &= 118.42 \text{ mm}, \\
 \bar{b} &= \frac{1}{5} \sum b \\
 &= \frac{1}{5} (25.22 + 25.28 + 25.12 + 25.26 + 25.12) \\
 &= 25.20 \text{ mm}, \\
 \bar{c} &= \frac{1}{5} \sum c \\
 &= \frac{1}{5} (2.541 + 2.542 + 2.513 + 2.546 + 2.525) \\
 &= 2.533 \text{ mm}, \\
 \bar{m} &= m \\
 &= 56.72 \text{ g}, \\
 \bar{\rho} &= \frac{\bar{m}}{\bar{a}\bar{b}\bar{c}} \\
 &= \frac{56.72}{118.42 * 25.20 * 2.533} \\
 &= 7.504 * 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mm}^{-3}, \\
 U_{\bar{a}} &= \sqrt{U_{aA}^2 + U_{aB}^2} \\
 &= \sqrt{\frac{t_p^2}{4 * 5} \sum (\bar{a} - a)^2 + \left(\frac{1}{2 * 3}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1.14^2}{4 * 5} (0.1^2 + 0.1^2 + 0.1^2 + 0.2^2) + \left(\frac{1}{2 * 3}\right)^2} \\
 &= 0.2 \text{ mm}, \\
 U_{\bar{b}} &= \sqrt{U_{bA}^2 + U_{bB}^2} \\
 &= \sqrt{\frac{t_p^2}{4 * 5} \sum (\bar{b} - b)^2 + 0.02^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1.14^2}{4 * 5} (0.02^2 + 0.08^2 + 0.08^2 + 0.08^2 + 0.06^2) + 0.02^2} \\
 &= 0.04 \text{ mm}, \\
 U_{\bar{c}} &= \sqrt{U_{cA}^2 + U_{cB}^2} \\
 &= \sqrt{\frac{t_p^2}{4 * 5} \sum (\bar{c} - c)^2 + \left(\frac{0.01}{2 * 3}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1.14^2}{4 * 5} (0.008^2 + 0.009^2 + 0.020^2 + 0.013^2 + 0.008^2) + \left(\frac{0.01}{2 * 3}\right)^2} \\
 &= 0.007 \text{ mm}, \\
 U_{\bar{m}} &= \sqrt{U_{mA}^2 + U_{mB}^2} \\
 &= U_{mB} \\
 &= 0.05 \\
 &= 2 * 3 \\
 &= 0.01 \text{ g}, \\
 \ln \bar{\rho} &= \ln \frac{\bar{m}}{\bar{a}\bar{b}\bar{c}} \\
 &= \ln \bar{m} - \ln \bar{a} - \ln \bar{b} - \ln \bar{c}, \\
 U_{\bar{\rho}} &= \sqrt{\left(\frac{\partial \ln \bar{\rho}}{\partial \ln \bar{m}} U_{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln \bar{\rho}}{\partial \ln \bar{a}} U_{\bar{a}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln \bar{\rho}}{\partial \ln \bar{b}} U_{\bar{b}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \ln \bar{\rho}}{\partial \ln \bar{c}} U_{\bar{c}}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{U_{\bar{m}}}{\bar{m}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\bar{a}}}{\bar{a}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\bar{b}}}{\bar{b}}\right)^2 + \left(\frac{U_{\bar{c}}}{\bar{c}}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{0.01}{56.72}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{118.42}\right)^2 + \left(\frac{0.04}{25.2}\right)^2 + \left(\frac{0.007}{2.533}\right)^2} \\
 &= 0.004,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_{\bar{\rho}} &= \frac{U_{\bar{m}}}{\bar{\rho}} \\
 &= 0.004 * 7.504 * 10^{-3} \\
 &= 3 * 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mm}^{-3}, \\
 \rho &= \bar{\rho} \pm U_{\bar{\rho}} \\
 &= 7.504 * 10^{-3} \pm 3 * 10^{-5} \\
 &= (7.50 \pm 3) * 10^{-5} \text{ g} \cdot \text{mm}^{-3}.
 \end{aligned}$$

计算钢管的数据

$$\begin{aligned}
 \bar{D} &= \frac{1}{5} \sum D \\
 &= \frac{1}{5} (25.02 + 24.96 + 24.9 + 25.04 + 24.98) \\
 &= 24.98 \text{ mm}, \\
 U_{\bar{D}} &= \sqrt{U_{DA}^2 + U_{DB}^2} \\
 &= \sqrt{\frac{t_p^2}{4 * 5} \sum (\bar{D} - D)^2 + 0.02^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1.14^2}{4 * 5} (0.04^2 + 0.02^2 + 0.08^2 + 0.06^2) + 0.02^2} \\
 &= 0.03 \text{ mm}, \\
 D &= \bar{D} \pm U_{\bar{D}} \\
 &= (24.98 \pm 0.03) \text{ mm}, \\
 \bar{d} &= \frac{1}{5} \sum d \\
 &= \frac{1}{5} (13.98 + 14 + 14.02 + 14.06 + 14.04) \\
 &= 14.02 \text{ mm}, \\
 U_{\bar{d}} &= \sqrt{U_{dA}^2 + U_{dB}^2} \\
 &= \sqrt{\frac{t_p^2}{4 * 5} \sum (\bar{d} - d)^2 + 0.02^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1.14^2}{4 * 5} (0.04^2 + 0.02^2 + 0.04^2 + 0.02^2) + 0.02^2} \\
 &= 0.03 \text{ mm}, \\
 d &= \bar{d} \pm U_{\bar{d}} \\
 &= (14.02 \pm 0.03) \text{ mm}, \\
 \bar{h} &= \frac{1}{5} \sum h \\
 &= \frac{1}{5} (29.90 + 30.00 + 29.98 + 29.98 + 29.94) \\
 &= 29.96 \text{ mm}, \\
 U_{\bar{h}} &= \sqrt{U_{hA}^2 + U_{hB}^2} \\
 &= \sqrt{\frac{t_p^2}{4 * 5} \sum (\bar{h} - h)^2 + 0.02^2} \\
 &= \sqrt{\frac{1.14^2}{4 * 5} (0.06^2 + 0.04^2 + 0.02^2 + 0.02^2 + 0.02^2) + 0.02^2} \\
 &= 0.03 \text{ mm}, \\
 h &= \bar{h} \pm U_{\bar{h}} \\
 &= (29.96 \pm 0.03) \text{ mm}.
 \end{aligned}$$

注:数据处理要写出公式及详细计算过程。

计算铜柱的体积

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{5} \sum d \\ &= \frac{1}{5}(28.04 + 28.10 + 28.10 + 28.16 + 28.14) \\ &= 28.11 \text{ mm}, \\ \bar{h} &= \frac{1}{5} \sum h \\ &= \frac{1}{5}(14.12 + 14.16 + 14.02 + 14.10 + 14.10) \\ &= 14.10 \text{ mm}, \\ V &= \pi \left( \frac{\bar{d}}{2} \right)^2 \bar{h} \\ &= \frac{\pi \bar{d}^2 \bar{h}}{4} \\ &= \frac{3.1416 * 28.11^2 * 14.10}{4} \\ &= 8.750 * 10^3 \text{ mm}^3.\end{aligned}$$

## 思考题及实验小结

$\frac{1}{20}$  mm 与  $\frac{1}{50}$  mm 的游标卡尺在读数上有何区别?

**读数的精度不同:**  $\frac{1}{20}$  mm 所代表的精度读数只能精确到末尾数字 0 或 5, 而  $\frac{1}{50}$  mm 的精度读数末尾精确到偶数。

**游标卡尺、螺旋测微器如何进行零点校准?**

首先测量零位长度读数, 然后在测量实际长度后减去零位长度读数。

### 实验小结

了解了游标原理。

学会了正确使用游标卡尺、螺旋测微计和测量显微镜。

学习了天平的调整和使用。

学习了有效数字和不确定度的计算, 巩固了误差理论和数据处理知识。

注: 请在完成实验后一周内交实验报告。