

预习	操作记录	实验报告	总评成绩

《大学物理实验》课程实验报告

学院：

专业：

年级：

实验人姓名(学号)：

参加人姓名：

日期： 年 月 日

室温：

相对湿度：

实验 测量误差与不确定度

[实验前思考题]

1. 测量分为几种类型？
2. 误差的分类方法有几种？
3. 简述直接测量量和间接测量量的平均值及其实验标准差的计算方法，以本实验中铜杯体积的测量为例加以说明。

4. 直接测量量和间接测量量的扩展不确定度（或总不确定度）如何计算？请写出计算步骤。

（请自行加页）

[实验目的]

1. 学习长度、重量、密度等基本物理量的测量方法；
2. 学习测量误差和不确定度的概念和计算方法；
3. 学习游标卡尺、螺旋测微计、读数显微镜、天平的使用方法。

[仪器用具]

编号	仪器名称	数量	主要参数(型号，测量范围，精度)
1	游标卡尺(机械式)		
2	游标卡尺(数字式)		
3	螺旋测微计		
4	读数显微镜		
5	电子天平		
6	物理天平用砝码		
7	钢尺		
8	金属丝和金属板		
9	被测铜杯（铝杯）		

[原理概述]

1. 机械式游标卡尺测量原理

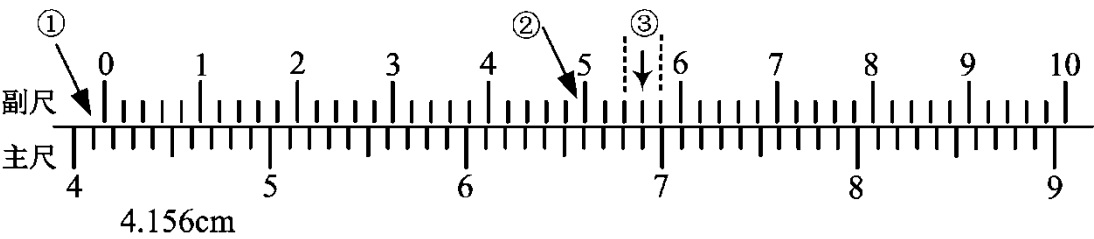


图 1 机械式游标卡尺读数方法

游标卡尺是在一个主尺上安装一个可移动副尺（游标）以提高测量精度的测量工具，可用于一般精度的内外孔径、长度、深度的测量。一般地，若游标上 m 个刻度的长度与主尺上 $(m-1)$ 个最小刻度的长度相等，而主尺上一个最小刻度的长度为 y ，则

$$\begin{cases} \text{测量精度: } \Delta = y/m, \\ \text{测量值: } L = L_0 + n\Delta. \end{cases}$$

(1)

其中 L_0 为游标的 0 刻线对应主尺读数的整数部分， n 为游标上对齐线的顺序数。

如图 1 所示，主尺最小刻度为 $y = 1\text{mm}$ ，游标 $m = 50$ 个刻度的长度与主尺上 49 个刻度的长度相等，故卡尺的测量精度为 $1/50 = 0.02\text{mm}$ ，游标每个刻度的长度为 $49/50 = 0.98\text{mm}$ 。游标 0 刻线左边的主尺刻线为 41mm ，游标第 28 根刻线与主尺的刻线（ 69mm ）对齐，则读数：

$$\text{叠加法: } L = 41 + 28 \times 0.02 = 41.56\text{mm} = 4.156\text{cm} \quad (2.1)$$

$$\text{相减法: } L = 69 - 28 \times 0.98 = 41.56\text{mm} = 4.156\text{cm} \quad (2.2)$$

$$\text{直读法: } L = 4.156\text{cm} \quad (2.3)$$

其中直读法是先确定图 1 中游标刻线 5 之后第 3 根线与主尺对齐，看三根线，游标对齐线左右两根刻线都在主尺相应对齐线左右两根刻线以内。读数时根据①可读出 4.1，根据②可读出 0.05，根据③可读出 0.006，则测量值可直接连续读数为 4.156cm，不需要进行任何的运算。

从游标卡尺的测量原理来说，式（2）三种读数方法都可以得到正确的测值。但作为一台测量仪器，读数时应该不需要进行任何的运算，可以在面板上直接读出数值和单位，读数时若要作计算，就多了一次出错的可能。故严格来说，只有直读法才是正确的使用方法。

注意：在正式进行测量前，需对游标卡尺进行校准。当两量爪接触时若游标卡尺不指零，则在测量结果中要扣除零读数。

2. 数显卡尺测量原理

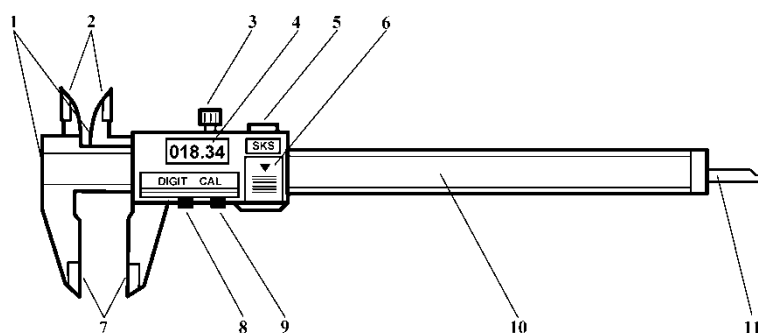


图 2 数显卡尺

1: 台阶测量面, 2: 内测量面, 3: 紧固螺钉, 4: 液晶显示器, 5: 数据输出接口,
6: 电池盖, 7: 外测量面, 8: 公英制转换按钮, 9: 置零按钮, 10: 主尺, 11: 测深尺

如图 2 所示，数显卡尺用高精度线性位移传感器与液晶显示器来代替游标，在测量范围内可任意清零，并可选择公制和英制两种显示。测量时先松开活动量爪上的紧固螺

钉，移动量爪，显示器即显示测量结果。当量爪置于任意位置时，可按下清零按钮，显示器复零，这时若移动量爪，显示器将显示量爪的相对移动距离。

3. 螺旋测微原理

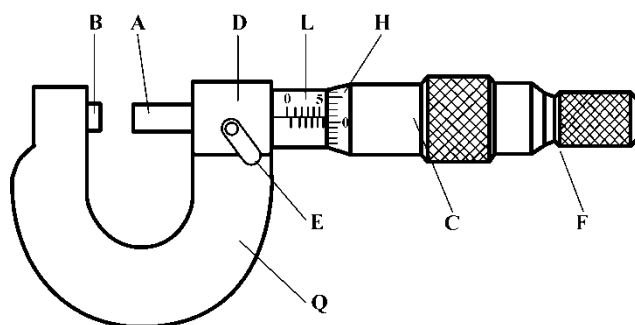


图 3 螺旋测微计（千分尺）

A: 螺杆（测杆），B: 测砧（对杆），C: 螺旋柄（微分筒），D: 螺母套
E: 锁把，F: 棘轮，H: 刻度盘，L: 标尺套筒，Q: 尺架

当螺母固定时，螺杆旋转一周的同时会前进一个螺距，利用这个原理可以制成螺旋测微计。螺旋测微计的螺杆上固定有一个带有刻度盘的标尺套筒，刻度盘有 50 个刻度，若螺杆的螺距为 0.5mm，则每个刻度对应螺杆移动 $0.5/50=0.01\text{mm}$ 。如果按“最小刻度后估计一位”的读数一般原则，螺旋测微计可读到 0.001mm，仪器误差为 0.005mm。为了保证测量时接触力的恒定，螺旋测微计的螺杆上安装有棘轮装置，使用时应通过旋转棘轮使螺杆与工件接触，这点对测量橡胶等较软的物质特别重要，同时还可起到保护螺纹的作用。和游标卡尺一样，使用螺旋测微计之前也要校准零刻度。

4. 读数显微镜测量原理

读数显微镜（或称移测显微镜）也是利用螺旋测微的原理，其目镜由带有刻度盘的螺杆带动，目镜内有带准线的分划板，如图 4 所示，通过准线两次与被测物体的像相切时的读数差来计算目镜移动的距离。读数显微镜可以做成一维或二维的，也有机械式和数显两种类型。

注意：为了消除螺纹间隙引起的测量误差（俗称空转），测量时要使螺杆始终沿同一方向转动。

5. 钢尺不均匀度的测量

按图 4 所示方法，让读数显微镜的螺杆沿一个方向移动，让垂直准线依次与钢尺刻线的左边界相切，测 a_1, a_2, a_3, \dots ，要求连续测至少 11 个刻线。则 $l_1 = a_2 - a_1$ ， $l_2 = a_3 - a_2, \dots, l_i = a_{i+1} - a_i, \dots$ 。找出 l_i 的最大值 l_{\max} 和最小值 l_{\min} ，则钢尺的不均匀度为

$$\delta = (l_{\max} - l_{\min}) / l \quad (3)$$

其中 l 为相邻两个刻度线之间距离的标称值，本实验中 $l = 1\text{mm}$ 。

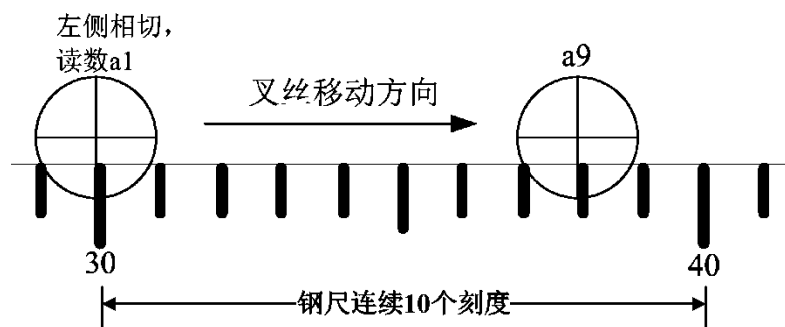


图 4 用读数显微镜测钢尺不均匀度

[实验内容及步骤]

1. 选择合适的量具，测量金属薄板的厚度和金属丝的直径。
2. 选择合适的量具，测量钢制毫米刻度尺的不均匀度。要求测量至少 10 个刻度。
3. 以物理天平用砝码为标准物质，标定（或称为校准）电子天平。

- (1) 将砝码作为标准质量，用电子天平测量不同砝码的重量。1-10g、10-100g、100-1000g 分三个数量级，每个数量级均匀测 10 个点。如 100-1000g 数量级，测 100、200、300……900、1000g 共十个点。
- (2) 在上述 30 个测点中，找出测量值与标准值的最大偏差，即为天平最大绝对偏差；将偏差值与标准值对比，找出比值最大的数，即为天平的最大相对偏差。
- (3) 作电子天平读数（测量值、纵坐标）与砝码标称值（标准值、横坐标）的关系直线，即为电子天平标定曲线。

注意：使用天平时，不要用手直接接触砝码，以防砝码生锈。小砝码用镊子夹取，大砝码需戴上手套拿取。

4. 测量铜杯（或铝杯）的密度，并计算密度的扩展不确定度。

[实验数据]

1. 金属薄板的厚度和金属丝的直径

(1) 问题：测量金属丝的直径和金属板的厚度时应如何选取测量点，请画图说明。

(2) 金属薄板厚度

使用仪器：

次数 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
厚度 d/mm										

(3) 金属丝直径

使用仪器：

次数 i	1	2	3	4	5		
直径 D/mm							
次数 i	6	7	8	9	10		
直径 D/mm							

2. 钢尺不均匀度

使用仪器：

刻线序号 i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
刻线位置 a_i/mm											
刻线间距 l_i/mm											

*数字式读数显微镜可清零，若每次都清零可直接测出两刻度线之间的距离 l_i ；如果采用机械式读数显微镜，则需测出连续 11 个刻度线的位置 a_i ，再计算出 l_i 。

计算钢尺刻度的不均匀度 δ ：

3. 标定电子天平

砝码质量/g	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
天平示值/g									
砝码质量/g	1	2	3	4	5	6	7	8	9
天平示值/g									
砝码质量/g	10	20	30	40	50	60	70	80	90
天平示值/g									
砝码质量/g	100	200	300	400	500	600	700	800	900
天平示值/g									
砝码质量/g	1000	1200							
天平示值/g									

天平的最大绝对偏差为：

4. 测量铜杯（或铝杯）密度

次数 i	1	2	3	4	5	
外径 D/cm						
内径 d/cm						
高度 H/cm						
深度 h/cm						
铝杯质量 m						
次数 i	6	7	8	9	10	
外径 D/cm						
内径 d/cm						
高度 H/cm						
深度 h/cm						
铝杯质量 m						

[实验数据处理及讨论]

1. 计算金属板厚度的平均值 \bar{d} 、相对误差 E 和实验标准差 $\sigma_{\bar{d}}$ ，并写出最终结果 $d = \bar{d} \pm \sigma_{\bar{d}}$ 。
2. 计算金属丝直径的平均值 \bar{D} 、相对误差 E 和实验标准差 $\sigma_{\bar{D}}$ ，并写出最终结果 $D = \bar{D} \pm \sigma_{\bar{D}}$ 。
3. 画出电子天平的标定曲线（每个数量级一条曲线）
4. 计算铜杯的密度 ρ 及其扩展不确定度 $\Delta N = t_p S$ ，并写出密度的最终结果 $\rho = \rho \pm \Delta N$ 。（要求：不考虑体系的自由度，置信概率取 $p=0.95$ ）。

[实验后思考题]

1. 若机械式游标卡尺的测量精度为 0.01mm ，请问游标的刻度如何划分？
2. 如何测量石蜡块的密度？石蜡块的形状不规则，且密度小于水的密度。