

## ◎ 第3章 物理实验基本仪器的使用与训练

### 实验 3.1 长度测量仪器与训练

长度是在国际单位制(SI)中被规定为基本单位的七个量之一,长度的单位为米(m)。1983年10月,第17届国际计量大会,“米”被重新定义:“光在真空中在 $(1/299\,792\,458)$ 秒的时间间隔内所行进的路程的长度。”

长度测量不仅在生产和科学实验中被广泛地使用,而且许多其他的物理量也往往被转化为长度量(或角度量)来进行测量。掌握长度测量基本原理及实施方法十分重要,本实验将通过讲解机械式测长的三类典型工具来进行说明,它们是:米尺、游标卡尺和螺旋测微器(千分尺)。

在正文之前有必要先介绍几个衡量测长仪器能力的重要指标性概念:①仪器是否可以估读;②仪器量程;③仪器的分度值。仪器是否可以估读直接决定了测得的数据是否含估读位,游标卡尺测数无估读位,米尺和千分尺测数均必须包含一位估读位。仪器量程是指仪器一次测量的测量范围,量程越大测量范围越宽。分度值是指仪器的最小分化单位,即这台仪器能够准确分辨并读取的最小值,仪器的分度值有时也叫作仪器的精度。其值需要经分析仪器的读数原理及构造后得出,包含大小和单位两部分,常见的米尺精度为1 mm,游标卡尺的精度为0.02 mm,千分尺的精度为0.01 mm。分度值的大小反映一台仪器的精密程度,一般来说,分度值越小的仪器就越精密,仪器越精密其最大允许误差一般来说越小。所以,我们在单次测量中常参考分度值给出结果的测量不确定度,多次测量中则据分辨率估计仪器可能引入的B类标准不确定度。

“尺有所短,寸有所长”,我们要学会利用不同测量仪器的特点,在学习和工作中精益求精,弘扬工匠精神。

#### 【实验目的】

1. 熟悉米尺、游标卡尺和千分尺的构造及读数原理,学会正确的调节使用方法。
2. 了解测定长度的基本方法。
3. 学会误差传递的基本知识,掌握有效数字的记录与误差计算。

#### 【实验仪器】

米尺、游标卡尺、千分尺、金属细丝、长方体盒、空心圆柱体和其他待测样品等。

#### 【实验原理】

测量长度最古老和最基本的方法是比较法,其他方法还有游标法、螺旋法、放大法、衍射

法、干涉法、转换法和莫尔条纹技术等。随着测量技术的不断发展,测量手段的不断丰富,新的测试方法也在不断诞生,每一种测试方法都有其典型的代表仪器,如米尺利用的是比较法,游标卡尺利用的是游标法,千分尺利用的是螺旋法,迈克尔逊干涉仪利用的是比较法和螺旋法等。此处重点介绍比较法、游标法和螺旋法这三种长度测量的方法。

### 1. 比较法测量长度

将待测物体的两端与标准米尺进行比较,就是最简单的长度测量。

贴紧、正视和对准读数是测量时的要领和关键。按仪器使用的一般规则,第一步必须使待测物体与标准米尺的尺身贴紧,并使物体的一端与标准米尺的起点刻度(“0”刻度线)准确地对准,“0”刻度线是测量的基准线,标准米尺上的刻度值均是从这条线算起的。从待测物体的另一端在标准米尺刻度上的位置读出测量的长度值。但由于仪器的磨损,有时往往不以“0”刻度作为起点。

### 2. 游标法测量长度

米尺的最小刻度为 1 mm,它只能读到精度为毫米的估读位。为了进一步提高测量精度,通常在主尺上附带一个可以沿尺身移动的小尺(称副尺或游标),组成游标卡尺。游标卡尺的测量原理及读数原理见后面的仪器简介。

### 3. 螺旋法测量长度

在一根带有毫米刻度的测杆上,加工出高精度的螺纹(又称丝杆),并配上与之相应的精制螺母套筒,在套筒口边界上准确地刻以等分的刻度,就构成了一副测微螺旋。根据螺旋推进的原理,套筒每转过一周( $360^\circ$ )测杆就前进一个刻度。根据此原理制成的螺旋测微器,又称千分尺,它的测量原理及读数原理见后面的仪器简介。

## 【仪器简介】

### 1. 米尺

实验室常用的米尺,选用温度系数较小的不锈钢或某些合金制成。其最小分度为 1 mm,用米尺测量时,可精确到毫米这一位。按读数规则,毫米的下一位应该估读,估读的这一位可疑数字虽然存在误差但仍能反映出这位数的可靠程度,因此需要保留。米尺的量程有各种不同的规格。

使用米尺的注意事项:

- (1) 测量时,应将刻度的一边与被测物体平面贴紧、对齐并正视读数,要尽量避免视差。
- (2) 为避免米尺两端的磨损而产生误差,测量时可不用尺的端点作为起点;若需多次测量,可选择不同的起点,以避免刻度的不均匀而引起的误差。

### 2. 游标卡尺(亦称游标尺)

游标是为了提高角度、长度微小量的测量精度而采用的一种读数装置,游标卡尺就是用游标原理制成的典型量具。游标卡尺的外形结构如图 3-1 所示。

当拉动尺框时,两个量爪将做相对移动而远离或接近,其距离大小的数值从游标和尺身上读出。外测量爪用于测量各种外尺寸;内测量爪用于测量深度不深于 12 mm 的孔的直径和各种内尺寸;深度尺固定在尺框的背面,能随着尺框在尺身的导槽(在尺身背面)内滑动,用于测量各种深度尺寸,测量时,尺身的端面是测定定位基准。

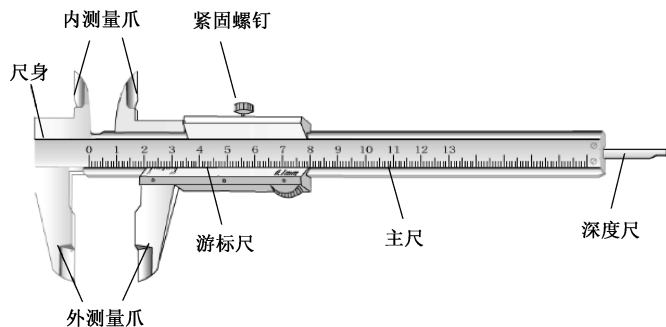


图 3-1 游标卡尺的外形结构

下面介绍一下游标卡尺的工作原理以及读数原则：

从图 3-2 中不难看出，副尺上每一小格的长度都比主尺上的小，副尺上 50 个小格的长度正好比主尺上 50 个小格的长度小 1 mm，则副尺上每一小格的长度都比主尺上的小  $1/50 \text{ mm} = 0.02 \text{ mm}$ ，此即该游标卡尺的分度值，即精度。

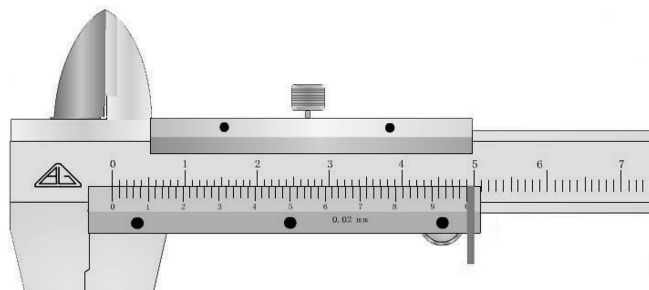


图 3-2 游标卡尺主尺和游标尺刻度示意图

在图 3-3 中，副尺上的第 30 根刻度线（从零刻度线算起）和主尺上的 4 cm 处刻度线对齐，已知每一小格相差 0.02 mm，那么 30 个小格相差  $30 \times 0.02 \text{ mm} = 0.60 \text{ mm}$ ，即图中所示的一段长度为 0.60 mm，则该被测物长度为  $10 \text{ mm} + 0.60 \text{ mm} = 10.60 \text{ mm}$ ，其中 10 mm 为从主尺上读得的数据。由此，不难看出，游标卡尺为不可估读的测量仪器，测量所得数据均为准确数据。

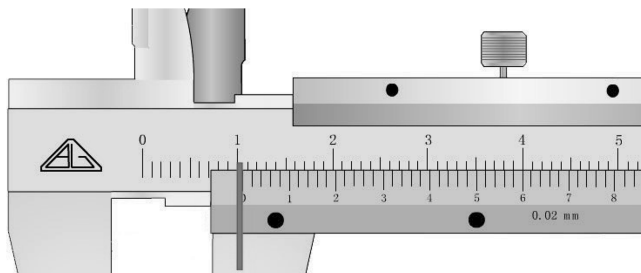


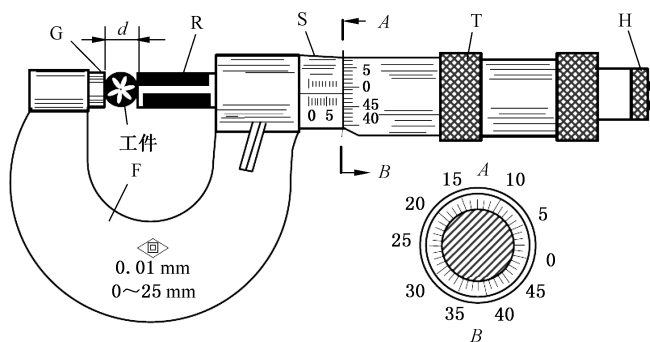
图 3-3 游标卡尺读数示意图

综上，我们可以得到以下结论：游标卡尺为不可估读的测量仪器，1 mm 以上读数从主尺上读，1 mm 以下读数从游标尺上来读，设游标卡尺的精度为  $x \text{ mm}$ ，游标尺上的第  $n$  根刻度

线和主尺上的某根刻度线对齐,那么游标尺上的读数应该为 $(n-1) \times x$  mm,则该次测量的最终数据为主尺读数加上游标尺读数。游标卡尺是常用的较为精密的测量工具之一,使用时要注意维护,在测量时轻轻把物体卡住即可,切忌把被夹紧的物体在卡口内拉动,要保护量爪不被磨损。

### 3. 千分尺

千分尺又称螺旋测微器,是比游标卡尺精度高的长度测量仪器。常用的千分尺如图 3-4 所示,其量程为 25.00 mm,分度值为 0.01 mm,可估读到 0.001 mm。



F—尺架;G—测砧;R—测微螺杆;S—固定套筒;T—微分筒;H—测力装置

图 3-4 千分尺

#### (1) 仪器构造

千分尺的主要部分是精密测微螺杆和套在测微螺杆上的固定套管以及紧固在螺杆上的微分筒。固定套管上的主尺有两排刻线:1 mm 刻线和 0.5 mm 刻线。微分筒圆周上刻有 50 个分格,当它转一周时,测微螺杆前进或后退一个螺距(0.5 mm),所以,它的分度值为 0.5/50 mm,即 0.01 mm。它是采用机械放大原理来提高精度的。

#### (2) 读数方法

- ① 测量前应检查零位是否对齐,若不齐则应记下修正值,并注意修正值的正负号。
- ② 0.5 mm 以上的数值由主尺读出,0.5 mm 以下的数值从微分筒读出并估读到 0.001 mm 位。

- ③ 留心主尺上 0.5 mm 刻度是否露出微分筒的边缘。

#### (3) 注意事项

- ① 测量前,要记录螺旋测微器的零点误差(零差)。
- ② 测量时须使用棘轮作为保护装置,当测微螺杆即将接触到被测物时,应旋转棘轮,直到接触上被测物时,它就自行打滑,并发出咔咔声,此时停止旋转,进行读数。
- ③ 手握千分尺的绝热部分,以免因热膨胀而影响测量精度。
- ④ 用毕放回仪器时,应将测微螺杆退回几转,留出空隙,以免热胀使测微螺杆变形。
- ⑤ 无论是往哪个方向旋转都不能用力过猛。

#### 【实验内容】

1. 用米尺测长方体盒的长、宽、高各 10 次,把测得数据填入表 3-1 中,并计算其体积。
2. 用游标卡尺测圆柱体的内径、外径、高及孔深各 10 次,把测得数据填入表 3-2 中。

3. 用千分尺测量金属细丝的直径,把测得数据填入表 3-3 中。

【数据记录与处理】

表 3-1 用米尺测长方体盒的长、宽、高所得数据记录表

仪器名称：精度：实验台号：

| 量<br>次数 | 长     | 宽     | 高     |
|---------|-------|-------|-------|
|         | $a_i$ | $b_i$ | $c_i$ |
| 1       |       |       |       |
| 2       |       |       |       |
| ⋮       | ⋮     | ⋮     | ⋮     |
| 9       |       |       |       |
| 10      |       |       |       |
| 平均值     |       |       |       |

表 3-2 用游标卡尺测圆柱体内径、外径、柱高、孔深数据表

仪器名称：精度：实验台号：

| 量<br>次数 | 内径    | 外径    | 柱高    | 孔深    |
|---------|-------|-------|-------|-------|
|         | $r_i$ | $R_i$ | $H_i$ | $h_i$ |
| 1       |       |       |       |       |
| 2       |       |       |       |       |
| ⋮       | ⋮     | ⋮     | ⋮     | ⋮     |
| 9       |       |       |       |       |
| 10      |       |       |       |       |
| 平均值     |       |       |       |       |

表 3-3 用螺旋测微器测细钢丝的直径数据表

仪器名称：精度：零差：实验台号：

| 量<br>次数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 平均值 | 平均值<br>修正后 |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|------------|
|         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |            |
| 直径      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |     |            |

【思考题】

1. 一个物体长度约 2 cm,若用米尺、游标卡尺、螺旋测微器测量,问分别能读出几位有效数字?
2. 测定一块长约 30 cm、宽约 5 cm、厚约 2 mm 的金属板的体积,欲使测量结果为 4 位有效数字,应当如何选择测量仪器?