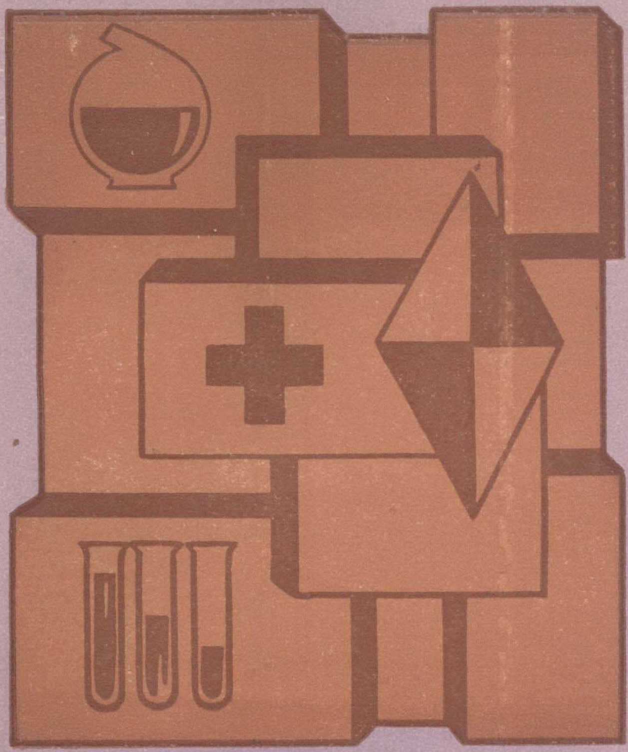
山西科学教育出版社

YIYONGWULISHIYAN



医用物理实验

高等医学院校

医用物理实验

主　编　明纪堂

副主编　朱平福　陆士良　秦任甲

编写人员　明纪堂　朱平福　陆士良

秦任甲　郭清玉　谢雨浩

高同信　蒋殿生　郗生保

山西科学教育出版社

医用物理实验

※

山西科学教育出版社出版（太原并州北路十一号）

山西省新华书店发行　　　阳曲县印刷厂印刷

※

开本：787×1092 1/16 印张：4.75 字数：100千字

1987年8月第1版　1987年8月太原第1次印刷

印数：1—12,500册

※

书号：ISBN 7—5377—0013—3

R·6　定价：1.10元

编 写 说 明

《医用物理实验》是以卫生部修订的高等医学院校医用物理学教学大纲（草案）为根据，结合目前各校的实际情况编写的。可供高等医学院校使用。

本书曾在1983年、1985年两次修订作为内部资料印刷，经过4年试用，反应良好。1987年4月征求了全国十余所兄弟院校的宝贵意见，再次整理修改后，现正式出版。全书除绪论外，共编入了15个实验项目，既保持了物理学本身的系统性，又体现了医学院校的特点。书中各个实验相对独立，可采用循环安排，有些项目还同时并列了两种实验（或测量）方法及装置，各校可根据自己条件选做。

本书初稿完成后，曾邀请胡栋仙、侯载文、杜万丰、苏炽辉、郭昌俊、王鸿胜、刘茂莹等同志参加审稿；编写过程中得到了中国生物医学工程学会医学物理学会胡纪湘、姚忠权等负责同志的大力支持，并提供了许多宝贵意见，赵合运同志绘制了部分图表。在此，我们对他们的热情帮助表示衷心的感谢！

由于我们水平有限，实践经验不足，书中难免有一些缺点和错误，恳切希望各兄弟院校师生在使用过程中予以审查和批评指正，以便在今后修订时加以改进。

1 9 8 7 年4月

目　　录

绪 论

一 实验的目的与要求

物理学是一门以实验为基础的科学。一切物理定律都是用观察和实验的方法建立起来的。观察就是在自然条件下研究现象，因而它就在很大程度上受到自然条件的限制。实验是在人为的条件下使物理现象重演，借以发现其间的本质联系，并归纳为物理定律，由此可见实验乃是物理理论的主要来源。不但如此，物理理论的正确性也要通过实验来加以验证。因此不难理解实验对物理学的研究和发展具有重大的意义。

按照教学大纲的要求，物理实验的目的有三：第一、通过亲手操作，熟悉某些物理现象和定律，而这些现象和定律只靠课堂的讲解和演示是不能完全了解的；第二、系统地学习一些物理量的测量方法，熟悉使用常用的物理仪器，掌握一定的实验技能；第三、在实验过程中，逐渐培养独立思考和独立工作的能力，并且养成实事求是的科学作风。为达到上述目的，对实验课的具体要求是：

1．熟悉下列仪器的一般原理及使用方法。例如：游标尺、螺旋测微器、秒表、温度计、计算器、万用电表、示波器等。

2．了解实验误差的基本概念，能够分析误差发生的原因。

3．能正确按数据绘出曲线图。

4．能按简单线路图连接电路并熟悉安全用电知识。

根据教学大纲规定的目的，实验课也有自己的目的与要求，并不完全从属于课堂讲授而保持自己一定的独立性，因此在实验内容的选择和先后次序的安排上只能适当地与讲授理论课相配合，而不强求一定要先讲理论后做实验。

二 误差概念

研究误差理论的目的，首先是在实验前，为实验操作选择最适当的仪器和方法，减少实验操作的盲目性，突出测量重点，以便提高工效，使测量达到预期的或者尽可能高的准确度；其次是在实验操作后，对测量值进行最恰当的处理，得到该测量条件下最高精密度的测量结果，以及对测量结果的准确程度作出合理的评价。

1．实验数据

在测量某些物理量时，用仪器直接读测出来的数量（例如用米尺测量长度，用安培计测量电流）称为读数，根据读数按照一定公式推算出来的数量（例如以时间除路程求得的平均速度）称为得数，读数和得数都称为数据。读数又称为原始数据，必须清晰记录、妥善保存，不得任意涂改。数据的运算通常要在实验后进行，即使在最简单的情况

下，也不许只记录经过运算后的得数而不记录原始数据，这是因为即使是最简单的运算，也有引入错误的可能性，如果记录了原始数据，那么这些错误就可以审查出来，因此这是必须养成的科学习惯。

任何一个物理量都包含数值和单位两部分。因此在记录时必须同时写出数值和单位，如果只写数值而不写单位，实际上这些数值是毫无意义的。

2．测量的准确度与测量的精密度

测量的目的，是要力图得到真值，但任一测量值总是真值的近似。所谓测量的准确度是指测量值与真值符合的程度。测量的精密度是指在测量中所测得的一组数值的重复性，也就是一组测量值离散的程度。如果一组测量值重复性好，则这组测量值精密度高。但测量的准确度不一定很高。测量的精确度（简称精度）是一组测量值的精密度和测量值的准确度的总称。只有当一组测量值都很准确（即准确度高），并且彼此的离散程度又不大（即精密度高）时，才是好的测量。

3．测量误差

物理量的测定一般都要用测量仪器。但无论什么精密的仪器，无论选择怎样良好的实验方法，测定数值的最后决定仍要靠观察者的感觉（主要是视觉）来做最后的判断，而视测中经常带有一定程度的不准确性。例如用米尺测量A、B两点之间的距离，不同人所测的结果往往不完全一样，即使同一人非常仔细地进行多次测量，测量的结果也不完全一样。我们知道A、B两点之间的相离有一个客观存在着的真实值a（在一定条件下a值不变），因此可以肯定各次测量的结果与真实值a之间都或多或少存在着差异，我们把这些差异叫做误差。实际测量中总是有误差发生的，但要尽可能减小误差。误差产生的原因是很多的，总括起来可以分两类，即系统误差和偶然误差。

（1）系统误差：这类误差是由于仪器的缺陷（例如天平两臂不等长、温度计的零点刻度不准等），实验方法不完善，或实验理论探讨不充分等引起的，其特点是在多次测量中，测量值总是偏向于某一方（偏大或偏小）。

（2）偶然误差：这类误差是由于人的视觉、听觉等感官分辨能力所限，以及随着测量而来的无法预料的偶然情况（例如温度、气压的偶然微小变化）所引起的。特点是在多次测量中，测量的数值有时偏大有时偏小，不固定偏向某一方，具有偶然性。

系统误差可以借提高测量技术或校准仪器等在一定程度上消除或减少其影响，但偶然误差是不可能消除的。在实验之前必须把系统误差消减到很小，达到可以忽略不计的程度，方可开始作实验。

偶然误差对于多次测量结果平均值的影响要比对于单独测量结果的影响小得多，每一种物理量都在相同的条件下进行多次的重复测量，可以大大地降低偶然误差的影响，显然多次测量结果的平均值比任何一次单独测量结果都更可靠地接近被测量的真值。

4．误差的估计及表示法

（1）一次测量结果误差的估计：如果对某一物理量只进行一次测量，其误差的估计可以根据仪器的准确度来确定，例如米尺的最小分格为1毫米，可疑值为0.1毫米，则其误差即可能达到0.1毫米（有些仪器的刻度线不准确，则可疑值的误差还要大），如果测得的长度为43.2毫米，其测量结果即写成：

$l \pm \Delta l = 43.2 \pm 0.1$（毫米）

应当说明，上例中虽然仪器的准确度为0.1毫米，但由于分格很小，在读数时往往读不出这一位，而只能读到0.2毫米，这时读数误差就大于仪器准确度，因而测得的结果应写为：

$l \pm \Delta l = 43.2 \pm 0.2$（毫米）

（2）多次测量结果误差的估计：对某一物理量进行多次测量比一次测量的结果更为可靠些。多次测量结果的平均值更接近于该物理量的真实值。下面介绍一种对多次测量结果误差的估计方法，例如测量一铁棒的长度5次，各次所得的结果为：

$l_1 = 23.2$毫米　$l_2 = 23.4$毫米

$l_3 = 23.6$毫米　$l_4 = 23.0$毫米

$l_5 = 23.7$毫米

这些量的算术平均值为：

$$l = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5}{5} = \frac{23.2 + 23.4 + 23.6 + 23.0 + 23.7}{5}$$

$$= 23.4 \text{（毫米）}$$

平均值与各次测量结果之差称为该次测量的绝对误差，用Δl_i表示（i＝1、2、3、……）

$\Delta l_1 = l - l_1 = 23.4 - 23.2 = 0.2$毫米

$\Delta l_2 = l - l_2 = 23.4 - 23.4 = 0.0$毫米

$\Delta l_3 = l - l_3 = 23.4 - 23.6 = -0.2$毫米

$\Delta l_4 = l - l_4 = 23.4 - 23.0 = 0.4$毫米

$\Delta l_5 = l - l_5 = 23.4 - 23.7 = -0.3$毫米

各次绝对误差的绝对值，取其算术平均值，叫做平均绝对误差，用Δl表示

$$\Delta l = \frac{|\Delta l_1| + |\Delta l_2| + |\Delta l_3| + |\Delta l_4| + |\Delta l_5|}{5}$$

$$= \frac{0.2 + 0.0 + 0.2 + 0.4 + 0.3}{5}$$

$$= 0.2 \text{（mm）}$$

比值$\frac{\Delta l_1}{l_1}$　$\frac{\Delta l_2}{l_2}$……叫各次测量的相对误差

比值$\frac{\Delta l}{l}$即平均绝对误差。Δl与各次测量的算术平均值l之比，称为平均相对误差，用E表示，即$E = \frac{\Delta l}{l}$。

用百分数来表示：$E = \frac{\Delta l}{l} \times 100\%$称百分误差，

用百分数表示平均相对误差，比直接用平均绝对误差更能说明测量的准确度。

例如对一公认长度为489.5厘米的物体测得平均值为489.6厘米，绝对误差为0.1厘

米。而对另一公认为5.06厘米的物体测得平均值为5.05厘米，绝对误差为0.01厘米，从绝对误差来看，第一量的误差为第二量误差的10倍，但用相对误差来表示时，第一量的相对误差为0.02%，而第二量的相对误差为0.2%，由此可见测量值的准确程度不在于绝对误差的大小，所以相对误差在判断实验结果的准确度时，具有更大的实际意义。

5.间接测量误差及其结果的表示

实验结果很少能只测一个物理量而得到，在大多数的情况下，要得出结果必须进行许多次测量，并要对所得各被测量的数值进行计算，因此，知道了直接测量的各量的误差，还必须确定计算结果的误差。

现在我们来阐明一些定理，按照这些定理可以计算出结果的绝对误差和相对误差。

（1）两个测量的量相加（或相减），$N=A\pm B$，所得结果的绝对误差和相对误差。

量A和B都是测值的平均值，而N则是平均值A和B运算的结果，所以它表示运算结果的平均值，设量A的绝对误差是ΔA，量B的绝对误差是ΔB，那么显然：

$$N\pm\Delta N=(A\pm\Delta A)\pm(B\pm\Delta B)$$

误差ΔA和ΔB是可取正可取负的，但是应当考虑到最不好的情况来加以计算。在测量A与B之和时，如果A与B的测量误差同号，我们就得到最大误差，在测量A与B之差时，如果A与B的测量误差异号，我们也能得到最大误差。因此，在两种情况中，N的绝对误差ΔN都等于A与B各量的绝对误差之和：

$$\pm\Delta N=\pm(\Delta A+\Delta B)$$

测量的相对误差可由下式表示：

对两量之和 $E=\dfrac{\Delta N}{N}=\dfrac{\Delta A+\Delta B}{A+B}$

对两量之差 $E=\dfrac{\Delta N}{N}=\dfrac{\Delta A+\Delta B}{A-B}$

（2）两量的积(商)，$N=A\times B$（$N=\dfrac{A}{B}$）所得结果的绝对误差和相对误差。

假设符号的规定与前相同，那么：

$$N\pm\Delta N=(A\pm\Delta A)(B\pm\Delta B)$$
$$=A\times B\pm A\times\Delta B\pm B\times\Delta A\pm\Delta A\times\Delta B$$

因为ΔA和ΔB两量与A和B相比可认为很小，所以$\Delta A\times\Delta B$可以忽略，因此，绝对误差为：

$$\pm\Delta N=\pm(A\times\Delta B+B\times\Delta A)$$

相对误差可由下式表示：

$$E=\frac{\Delta N}{N}=\frac{A\times\Delta B+B\times\Delta A}{A\times B}=\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}$$

对于两量的商或其他函数形式的计算过程，这里不作一一推导，只把它们的结果列在下面的表中，以备查用。

计 算 过 程	绝对误差 $\pm\Delta N$	相对误差 $E=\frac{\Delta N}{N}$
$N=A+B+C+\cdots\cdots$	$\pm(\Delta A+\Delta B+\Delta C+\cdots\cdots)$	$\frac{\Delta A+\Delta B+\Delta C+\cdots\cdots}{A+B+C+\cdots\cdots}$
$N=A-B$	$\pm(\Delta A+\Delta B)$	$\frac{\Delta A+\Delta B}{A-B}$
$N=A\times B$	$\pm(A\times\Delta B+B\times\Delta A)$	$\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}$
$N=A\times B\times C$	$\pm(BC\times\Delta A+AC\times\Delta B+BA\times\Delta C)$	$\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}+\frac{\Delta C}{C}$
$N=A^n$	$\pm nA^{n-1}\Delta A$	$n\frac{\Delta A}{A}$
$N=\frac{A}{B}$	$\pm\frac{B\Delta A+A\Delta B}{B^2}$	$\frac{\Delta A}{A}+\frac{\Delta B}{B}$
$N=\cos A$	$\pm\sin A\times\Delta A$	$\mathrm{tg}A\times\Delta A$
$N=\sin A$	$\pm\cos A\times\Delta A$	$\mathrm{ctg}A\times\Delta A$
$N=\mathrm{tg}A$	$\pm\frac{\Delta A}{\cos^2 A}$	$\frac{2\Delta A}{\sin 2A}$
$N=\mathrm{ctg}A$	$\pm\frac{\Delta A}{\sin^2 A}$	$\frac{2\Delta A}{\sin 2A}$
$N=aA$（a为常数）	$\pm a\Delta A$	$\frac{\Delta A}{A}$

三 有 效 数 字

在测量和数字计算中，确定该用几位数字来代表测量或计算的结果，是很重要的事情。正确的表示法是写出这样多的位数：其中除末位数字为可疑（或不准确）外，其余各位都是正确数字。我们就把带有一位可疑数字的近似数字，叫做有效数字。测量物体长度时，物体的一端与零刻度重合，另一端在13毫米和14毫米之间，用眼睛估计为13.4毫米，这个数字的前两位是准确的，最后一位是可疑的，它的有效数字是三位，因此在实验数据中包括可疑位在内的个数就是有效数字的位数。由于有效数字的最后一位是可疑位，所以根据数据的有效数字位数就可以知道测量的准确程度了。在记录读数时要注意仪器的准确度，把肯定的数字和估计的可疑数字一同读出，决不可少记一位，也不准多记一位，因为多记或少记就不能正确地表达数据准确程度。

1．确定有效数字位数时的注意事项

（1）有效数字和“0”的关系：“0”在中间或后面都是有效数字，例如150.4厘米和150.40厘米，在数值上虽然相等，但却表示具有不同准确程度的实验数据，因为前者在毫米位上已是可疑的，只有四位有效数字，后者在毫米位上是准确的，而在1／10毫米位上才是可疑的，它是五位有效数字。而在同一个物理量的测量中有效数字的多少则表示对该物理量测量的准确程度，因此在实验数据中决不可以略去后面的“0”或任意多添加“0”。数字以前的“0”都不算有效数字，只是用来定位，例如1.504米＝0.001504千米表示同一测量结果应该有相同的准确程度，只是所用的单位不同，都是四位有效数字。

（2）有效数字的位数和小数点位置无关：上例中1.504米，0.001504千米是同一测量结果，都是四位有效数字，只是所用的单位不同而已，所以有效数字和小数点的位置无关。

（3）很大数和很小数的标准表示法：例如真空中的光速如写成29980000000厘米／秒就成了11位有效数字，但它的准确程度并不那么高，后面的一些“0”并不是准确值，而是用来定位的，为避免误会，我们通用10的方次来表示很大的数，光速就写成2.998×10^{10}厘米／秒。

对于很小的数通常用10的负方次来表示，例如电子电量$e=4.803\times10^{-10}$ CGSE电量。而不写成0.0000000004803CGSE电量。

最后说明一点，有效数字的概念只适用于实验数据和一些数字常数的近似值（例如$\pi=3.1416$是五位有效数字，而$\pi=3.14$是三位有效数字）但并不适用于准确值，例如圆柱形体积公式$V=\frac{\pi}{4}d^2h$中的分母4和指数2都是准确数，决不能认为他们是一位有效数字。

2．有效数字的运算

测量结果的取数，通常是由直接读数进行四则运算得到的，得到的有效数字位数完全由读数的有效位数来决定，下面我们讨论在四则运算中决定运算结果的有效数字的基本方法。

（1）加减法：运算结果中有效数字，应保留到位数最大的一位可疑数，其后面的可疑数按四舍五入处理。

例1

$$\begin{array}{r@{\,\vdots\,}l} 342.3 & 1 \\ 7.5 & \\ +\ 0.0 & 386 \\ \hline 349.8 & 486 \end{array}$$

运算结果取349.8

例2

$$\begin{array}{r@{\,\vdots\,}l} 87.54 & \\ -\ 0.11 & 2 \\ \hline 87.42 & 8 \end{array}$$

运算结果取87.43

（2）乘或除：运算结果的有效数字应以各量中包含有效数字的位数最少者为准。

例1

```
         150.43
     ×    32.6
   ──────────────
        9 ⋮ 0 258
       30 ⋮ 0 86
      451 ⋮ 2 9
   ──────────────
      490 ⋮ 4.018
```

运算结果取4.90×10^3

例2

```
        7.792
   12√93.504
      84
      ────
       9 5
       8 4
      ────
       1 10
       1 08
      ─────
         24
         24
      ─────
          0
```

运算结果取7.8

四　实验结果的图示法

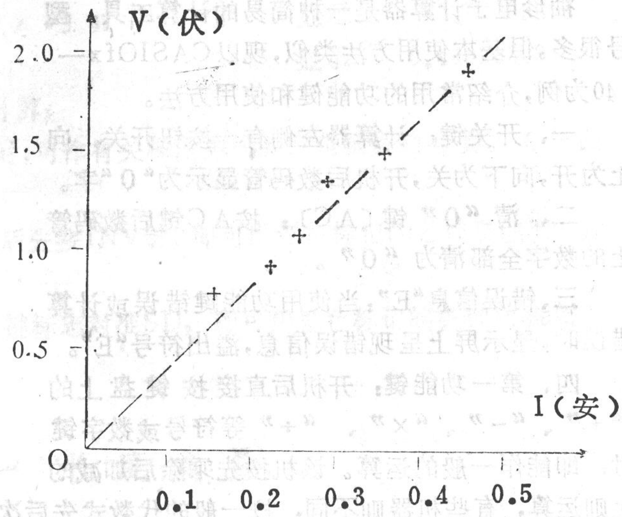
在物理实验所得的数据中常常需要知道其中的一些物理量和另一些物理量的相互依赖关系，为此如果要将实验数据用图线表示出来就能直观地表明两个量的关系。例如对某一个导体所通过的电流与加在其两端电压的关系图线为一直线，作图的方法一般都采取用直角坐标将各数据绘于方格纸上。作图时要注意以下几点：

1．以横坐标代表自变量，纵坐标代表因变量，并标出该量的符号和单位；

2．每横格或纵格所代表的数量，要以实验结果的具体数据而定，不必相同，画出的曲线不可太陡也不可太平，角度要适宜；

3．纵横坐标的原点都不一定从零算起，曲线在坐标中的位置要适宜，不要偏于某一侧；

4．在坐标纸上标数据点时，用“×”或“+”为宜，连接各点作曲线时，要尽可能使其平滑，对于某些偏离大的点可以不予考虑。



右面为V、R、I的图线，其值为

I（安培）	0.17	0.21	0.26	0.30	0.35	0.39	0.44
V（伏特）	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0

五　测量的记录和实验报告

实验工作的效果，不但与测量方法选择的正确性、所用仪器的准确度和测量操作的细心等有关，而且与实验结果的正确和有系统的记录也有关。原始测量数据必须填写在预先绘制的表格中，各个待测量的符号必须标明（必要时可附图说明），个别数据因记错而需改正时，可划去原数据，把另改的数据记在上侧或右侧，不允许在原数字上用粗

笔改写，实验结果不合要求而需另行绘制表格记录时，不允许在原表格中涂改。原始数据经教师批准后，应当附在实验报告上一起交给教师审阅。

实验报告是记录全部实验过程和结果的正式文件，内容应当完备和准确，而且必须清洁。报告内容应当包括：实验名称和目的、测量方法的基本原理和整理数据的主要公式、仪器装置或电路的略图、测量数据的记录、整理计算的结果和图表、实验结果的分析、自己在实验中发现的问题和作出的结论、教师提出问题的解答等。

在实验课以前，必须做好预习，要求作到明确实验目的，透彻了解基本原理，记住主要测量步骤和注意事项，做到实验时心中有数。在预习时应当绘好记录原始数据的表格，实验报告的一部分内容（目的、原理和公式、仪器装置或电路略图）也可在预习时填写。

实验报告经教师批阅后，如有错误，必须改正后重新交上，实验不合格的必须补作。

附录　袖珍电子计算器的使用

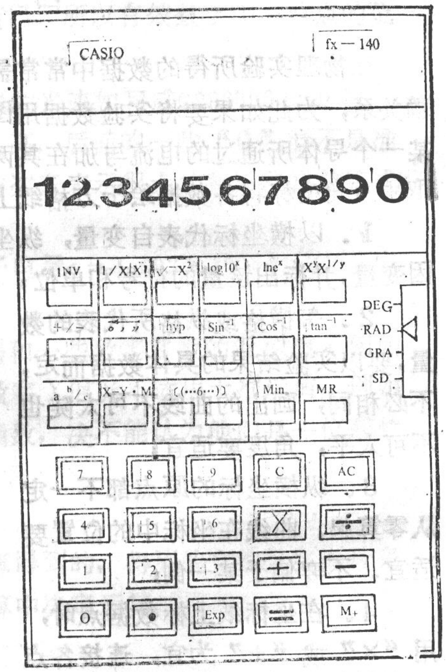
袖珍电子计算器是一种简易的计算工具，型号很多，但基本使用方法类似，现以CASIOfx—140为例，介绍常用的功能健和使用方法。

一、开关键：计算器左侧有一按钮开关，向上为开，向下为关，开机后数码管显示为“0“字。

二、清“0”键〔AC〕：按AC键后数码管上的数字全部清为“0”。

三、错误信息“E”：当使用功能键错误或计算错误时，显示屏上呈现错误信息，溢出符号“E”。

四、第一功能键：开机后直接按键盘上的“＋”、“－”、“×”、“÷”等符号或数字键时，即能作一般的运算。该机按先乘除后加减的法则运算，有些机器则不同，按一般的代数式先后次序运算。



计算器面板图

1．四则运算：

$7\times8-4\times5=7$〔×〕8〔－〕4〔×〕5〔＝〕　　显示　36

2．平方和立方运算：

$1.7^2=1.7$〔×〕〔×〕〔＝〕　　显示　2.89

$1.7^3=1.7$〔×〕〔×〕〔×〕〔＝〕　　显示　4.913

3．分数运算：

$$4\frac{5}{6}\times\left(3\frac{1}{4}+1\frac{2}{3}\right)\div7\frac{8}{9}=$$

按键　4〔$a\frac{b}{c}$〕5〔$a\frac{b}{c}$〕6〔((…〕3〔$a\frac{b}{c}$〕1〔$a\frac{b}{c}$〕4〔+〕1

〔$a\frac{b}{c}$〕2〔$a\frac{b}{c}$〕3〔…)))〕〔+〕7〔$a\frac{b}{c}$〕8〔$a\frac{b}{c}$〕9〔=〕

显示　3 ⌋7 ⌋568

按键〔$a\frac{b}{c}$〕　显示　3.01232943

4．对数运算：

log 1.23＝　1.23〔log〕　显示　0.08990511

ln 90（$=\log_e 90$）＝　90〔ln〕　显示　4.4998097

5．三角函数的计算：

计算三角函数时，所用角度单位有弧度、度数、梯度三种。

（1）用弧度单位时三角函数的计算：

机器右侧有一方式选择开关，当滑键上的标志对准RAD时，可作有关弧度方面的三角函数的运算。如求Sin（π／6）的值：

先对准RAD后按键〔π〕〔÷〕6〔=〕　显示　0.523598775

按键〔Sin〕　显示　0.5

（2）用度数单位时三角函数的计算：

同上，当滑键上的标志对准DEG时，可作有关度数方面的三角函数的运算。如求cos 63°52′41″　按键63〔° ′ ″〕52〔° ′ ″〕41〔° ′ ″〕　显示　63.87805554

按键〔Cos〕　显示　0.44028309

（3）用梯度单位时三角函数的计算：

同上，当滑键上的标志对准GRA时，可作有关梯度方面的三角函数的运算。（一圆周为400梯度）

五、第二功能键〔INV〕：开机后先按INV键，即可用红色标记的各种功能键，如10^x、Cos^{-1}等。

六、第三功能键〔SD〕：先把滑键标志对准SD，即可用蓝色标记的各种功能键，如ΣX、$\overline{X}$等。

实验一　长度测量

目　的

了解游标尺、螺旋测微器的构造原理，学会并熟练掌握这些仪器的使用方法。

器材

游标尺（卡尺）、螺旋测微器（千分尺）、金属圆筒、金属球。

原　理

1.游标尺的构造及游标原理

如图1—1所示：游标尺的主要部分是主尺CD和可沿主尺滑动的副尺（或游标）AB。口f、F连在夹套N上，可沿主尺滑动。螺旋R用以将夹套N固定在主尺上，金属标T可随夹套N滑动而在主尺尾部伸出。当e、f和E、F紧密接触时，主尺上的“0”线与游标上的“0”线重合，同时T与主尺尾部相平。

钳口E、F用来测物体的长度及外径，钳口e、f用来测物体的内径，而金属标T用来测物体的深度。

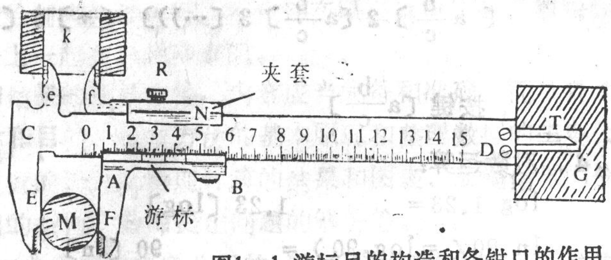


图1—1 游标尺的构造和各钳口的作用

游标原理：普通的米尺最小的刻度是毫米，假如用它量度某一物体的长度。我们只能准确地读到毫米，毫米以下的数字就要估计，为了能够更准确地读出毫米的十分之几，在米尺旁再附一副尺叫做游标，而原来的米尺就叫做主尺。

常用游标尺的设计，在游标尺上刻有m个最小分度，游标上m分度的总长，正好与主尺上（m－1）个最小分度的总长相等（见图1—2）。游标AB上有m＝50格，其总长与主尺上（m－1）＝49格的总长相等。

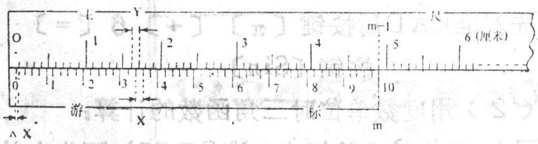


图1—2 游标原理

设主尺上最小分度为y（等于1毫米），游标上最小分度为X（小于1毫米），则（m－1）y＝mx

$my-y=mx$

$m(y-x)=y$

令$(y-x)=\Delta x$，即游标上一小分度与主尺上一小分度相差的毫米数。

则 $\Delta x=(y-x)=\dfrac{y}{m}$，$\Delta x$为游标的准确度。

常用游标卡尺的准确度为0.02毫米、0.05毫米及0.1毫米三种

例：若游标刻度是将主尺上的49毫米分成50格，（准确度为0.02毫米的卡尺）

则：（50－1）毫米＝50x

$$\therefore X=\frac{49}{50}$$

$$\Delta X=1-\frac{49}{50}=\frac{1}{50}=0.02\text{毫米}$$

利用游标尺测量物体的长度时，把物体放于钳口之间，这时游标向右移动，若游标“0”移至主尺k刻度与k＋1刻度之间，如图1—3显而易见，物体长度为：

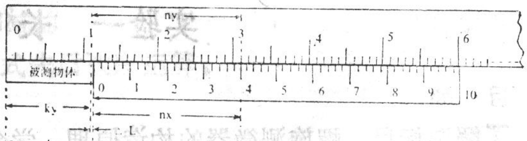


图1—3 用游标尺测量物体长度

$L=ky+\Delta L$

从图可见 $\Delta L=ny-nx$

$$\Delta L=n(y-x)=n\Delta x=n\frac{y}{m}$$

$$L=ky+n\frac{y}{m}$$

可见，一物体的长度，借助游标来测量，等于主尺整数分度读数（ky），加上游标的准确度（y／m）与游标上和主尺某一刻度重合的刻度格数（n）的乘积。图1—3被测物体的长度为：

$$L = ky + n\frac{y}{m}$$
$$= 11\times 1\text{毫米} + 20\times 0.02\text{毫米}$$
$$= 11\text{毫米} + 0.40\text{毫米}$$
$$= 11.40\text{毫米}$$

2. 螺旋测微器的构造及原理

螺旋测微器如图1—4，是测量小球和金属线的直径或平板厚度等用的工具，其原理在各种精密测量仪器上亦常应用，结构和用法如下：

ABC为一U形小框，CD内有螺纹，它的螺距（即相邻两螺线沿轴线的距离）通常为0.5毫米，CD外则刻有每格为0.5毫米的刻度。螺旋柱H穿过CD，与套管E相连，套管口的边缘E通常分为50等分，转动螺旋头F，可将测定物夹持在钳口A、H之间。新式的螺旋测微器备有棘轮G，转动棘轮至某一程度，如物体已被夹紧时将吱吱作响，可以清除钳口对测定物压紧程度的不一致，同时避免损坏螺旋。

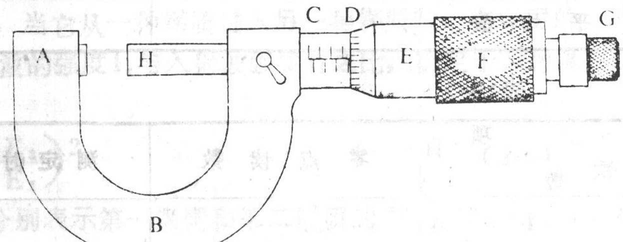


图1—4　螺旋测微器

当钳口A、H接触时，则套管EF左端边缘应落在标尺的零线上，而且套管的零线也应正对CD标尺的横线（对此也必须事先检查，有必要时亦应予以校准或读出零读数）。每当螺旋旋转一整圈时，则套管移动标尺上一个分度（通常为0.5毫米），因此，套管上转动每一格，则在CD标尺上移动的距离为：

$$\frac{0.5\text{毫米}}{50\text{格}} = 0.01\text{毫米／格}$$

例如，我们欲测定一小球的直径，可将它贴附在钳口A上，先转动螺旋头F，使螺旋柱H接近小球，然后转动棘轮G，使H与小球接触时为止，读数时先在标尺CD上读出半毫米以上的读数，再加上CD上横线正对套管EF上的毫米数，例如，套管EF的边缘位于标尺CD的3.0和3.5毫米之间，而横线CD正对套管EF上第30和31分度线的中间，则小球的直径如图1—5(1)：

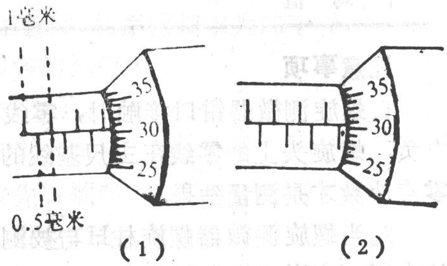


图1—5　螺旋测微器的刻度

3.0毫米＋30.5格×0.01毫米／格＝3.0毫米＋0.305毫米＝3.305毫米

又如图1—5(2)所示套管的边缘位于标尺CD的3.5和4.0之间，而标尺CD正对套管上第30和31分度线的中间，则小球的直径为：

3.5毫米＋30.5格×0.01毫米／格＝3.5毫米＋0.305毫米＝3.805毫米

以上两例中的最后一位数字（0.005），由估计得来。

实验步骤

1.用游标尺量圆筒体的外径、内径和深度，在不同的位置测量3次，填入表1—1。

2.定螺旋测微器的零点，读数3次，填入表1—2，进行计算。

3.用螺旋测微器量小球直径d,在不同的地方测量3次，填入表1—2，把读数的平均值与零点读数相加，得出小球的平均直径，求出小球体积。

表1—1

项目 次数	外径	内径	深度
1			
2			
3			
平均值			

表1—2

项目 次数	零点读数	测定时读数	小球直径
1			
2			
3			
4			
5			
平均值			

注意事项

1.螺旋测微器钳口接触时，零线可能不重合，必须先读出零点读数。零点读数有正有负，螺旋头上的零线在主尺基线的下方，零点读数应为正值，反之为负值，读数减去零点读数才是测量结果。

2.当螺旋测微器螺旋柱H与被测物体接近时，宜旋扭尾部棘轮，以免将被测物体夹的太紧而变形或损伤仪器。

3.螺旋测微器用毕，钳口处稍留空隙，以免热膨胀时过分紧迫而损伤螺距。

记录与处理

按有效数字运算规则计算

小球体积：$V=\frac{\pi}{6}d^3$

小球直径的百分误差

讨　论

1.若游标把主尺上的9毫米分成10格，此卡尺的准确度是多少？

2.若游标把主尺上的19毫米分成20格，此卡尺的准确度是多少？