大连水产学院自编讲义

本科食品加工专业用

食品工程测试

李玉梅　编

大连水产学院渔机系

一九九六年三月修订

目　　录

第一部分　误差理论与数据处理

第二部分　食品技术测试

第一章　测量与误差的基本概念

§1—1　关于测量的一些概念

一、测量

可以用数值来评价（表示）其物质特性（状态、运动等）的量，称为物理量，如长度、温度、硬度、密度等等。

用实验方法，将物理量与作为单位的某量值相比较，并求出其比值的过程称为测量。它可用下式表示：

$$L = qu$$

式中：L — 被测量值

u — 测量单位

q — 单位的数目(值)，或称比值

例 1—1，量出某工件长 L＝100mm 其中长为 L；mm 为 u；100＝ q（即长度 L 与长度单位 u 的比值）。

自然界中存在的各种物理量，其特性都反映在“量”和“质”两个方面，而任何的“质”通常都反映为一定的“量”。测量的作用就在于确定物理量的数量特征。所以成为认识和分析物理量的基本方法。从科学技术的发展看，有关各种物理量及其相互关系的定理和公式等，许多是通过测量而发现或证实的。因此，著名科学家门捷列夫说：“没有测量，就没有科学”。可见，测量是进行科学实验的基本手段，许多学科领域的突破，正是由于测量技术的提高才得以实现。在工业生产、农业生产、医药卫生、国内外贸易和人民生活等方面，测量技术都占有重要地位，是进行质量管理重要手段，是贯彻质量标准的技术保证。

在测量技术领域中，常用到“检验”与“测试”等术语。检验是指判断被测物理量是否合格（在规定范围的）的过程，通常不一定要求得到被测物理的具体数值。测试是指具有检验研究性质的测量。

在我国，习惯上常将包括以保持量值统一和传递为目的之专门测量称为计量（检定）。

二、测量结果

由测量所获得的被测的量值叫作测量结果，又称为观测值。显然，测量结果是由比值和

测量单位两部分组成。故测量结果多数具有单位如：L（长度）＝100mm；例如食品冷藏库的库温，可能是－17.5℃、－16.8℃……。但也有某些物理量不含单位，如比重。确切讲，测量结果还应包括误差部分，这在后面将要讲述。

三、测量过程

执行测量所需的一系列操作，称之为测量过程。实质上，它是一种实验。将被测的"量"与测量器具的单位量相比较的过程。有时，被测的"量"不能直接以测量器具的单位量相比较，而必须通过仪器或某些辅助设备，所以说，广义的测量过程还包括建立单位、设计工具、设计测量方法、研究分析测量结果，寻求消除或减小误差的方法。

一个完整的测量过程包括：测量对象、计量单位、测量方法和测量器具、测量精度。称为测量过程的四要素。

四、单位制

由一个数和计量单位的乘积表示的量的大小称为给定量的值，简称为量值(如：5m、12kg、20℃等)。而给定量值表达式中的纯数字称为量的数值，简称为数值(如：给定量值5m、12kg、20℃中的5、12、20即为数值)。在科学的一切领域或一个领域中的基本量和相应导出量的特定组合，称之为量制。对应于某一量制的一组基本单位和导出单位，叫做计量单位制。根据米和千克原器及十进分度的测量单位制称为十进米制。

习惯上公认数值为1的一个量的值，叫做计量单位。一个量的计量单位是固定的，且能与同一量的不同值之间进行定量比较。代表计量单位的约定符号为计量单位符号，如：m为米的符号，A为安培的符号等。由国家规定强制使用或允许使用的计量单位，叫法定计量单位；基本量的计量单位，叫计量基本单位。测量系统的计量导出单位来源于计量基本单位。如：米是国际单位制长度量的基本单位，而其导出单位则是导出量的计量单位（如：面积m^2，速度m/s等等）。

五、基准

用实物来定义，保存或复现一个量的计量单位（或该单位的倍数或分数），以便通过比较传递给其他量具量仪的一种计量器具，称之为基准。

基准的建立是经过了长期的改进和发展的。大约4500年以前（公元前2689～2599）发明建立了中国的尺；秦朝统一了度量衡制度，建立了重量、体积和长度基准；统一了车轨等标准。现在国际单位制中的长度单位是"米（m）"，以米为长度单位起源于法国，从法国的米制，演变到今天的国际米制，同样经历了许多变革和改进。国际米尺已由新的米定义所代替，即米是由电磁波在真空中，1/299792458秒时间间隔内所行进的路程。基准的变革和改进，表明了科学的进步。

六、测量方法

按测量结果获得的方法或测量条件及测量结果的不同，测量方法可分为：直接测量与间接测量；绝对测量与相对测量；等精度测量与非等精度测量；单项测量与综合测量；接触测量与非接触测量；主动测量与被动测量等等。而按实验数据的处理方式，测量方法可分为直接测量、间接测量与组合测量三类。分述如下：

1、直接测量

若实验量为x，被测量为y，则当y＝x，即x就是所求的"目的"时，称之为直接测量，如用游标卡尺测量轴的直径；用立式光学计测量圆柱塞规直径对于作为标准尺寸的量块中心

长度的偏差值，都属于直接测量。

2、间接测量

与直接测量不同，被测量（或称待求量）y 不等于实测量 x，而是一个实测量 x 或几个实测量 x_1、x_2……，x_n 的函数，即

$$y = f(x)$$

或 $y = f(x_1, x_2, \cdots\cdots, x_n)$

显然，被测量 y 不能由直接测量求得，而必须由实测量 x，或 x_i $(i=1, 2, \cdots\cdots, n)$ 及其与被测量的函数关系进行计算确定，如：用弦长弓高法测量圆弧（或轴）的直径，即为间接测量的典型实例，图 1—1 所示圆弧直径 D 的测量，可通过测量一定的弦长 S，和与之相应的弓高 h，再按下式计算出直径 D，即

$$D = \frac{S^2}{4h} + h$$

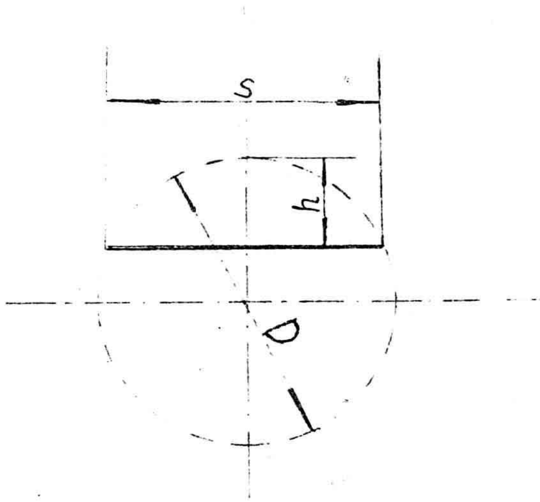


图 1—1

3、组合测量

如有若干个被测量 y_1，y_2……y_t，把这些被测量用不同方式组合起来进行测量，并把实测量 x_1，x_2，……，x_n 与被测量之间的函数关系列成方程组，即

$$\left.\begin{array}{l} f_1(y_1, y_2, \cdots\cdots, y_t) - x_1 = 0 \\ f_2(y_1, y_2, \cdots\cdots, y_t) - x_2 = 0 \\ \cdots\cdots \quad \cdots\cdots \quad \cdots\cdots \quad \cdots\cdots \\ f_n(y_1, y_2, \cdots\cdots, y_t) - x_n = 0 \end{array}\right\}$$

方程式的数 n 要大于被测量 y 的个数 t，然后用最小二乘法求得被测量的数值，即为组合测量。

按测量的精度因素情况，测量又可分为等精度测量和非等精度测量。

1、等精度测量

在整个测量过程中，若影响和决定误差大小的全部因素（条件），始终保持不变，如由同一个观测者，用同一台仪器，用同样的方法，在同样的环境条件下，同样认真仔细地对同一工件作相同次数的测量，称之为等精度测量，但在实际中，即便考虑得很周到的实验（测量），也极难做到影响和决定误差大小的全部因素（条件）始终保持不变，所以，一般情况下只是近似地认为是等精度测量。

2、非等精度测量

在整个测量过程中，影响和决定误差大小的因素各异，如由不同的观测者，用不同仪器不同方法，在不同的环境条件下对工件作不同次数的测量，叫做非等精度测量或不等精度测量。

§1—2　误差的概念

任一试件的加工和测量，以及所用的加工设备、测量仪器本身或其他因素的影响，都不可避免地存在误差，没有误差的加工和测量是不可能达到的。有些参数的计算及测量数据的处理，同样也含有误差。因此，任何计量测试过程总有误差存在。

一、误差的含义

误差是评定精度的尺度，误差愈小表示精度愈高，在测量中，误差是指测得值与其真值之差。

若令误差为 δ，测得值为 x，真值为 x_0，则有：

$$\delta = x - x_0$$

上式表达的误差 δ 称为绝对误差。由于测得值 x 可能大于或小于 x_0，因而绝对误差 δ 可能是正值或是负值，若已知测得值和绝对误差值，则真值 x_0 为：

$$x_0 = x \pm \delta$$

真值 x_0 是客观存在的真实值，在实际应用时，一般是不知道的和无法确定的。但是，真值 x_0 有时也是已知的，如一个三角形的三内角之和为 180°。在统计学上，当测量的次数 n 非常大时（趋于无穷大），测得值的算术平均值才接近于真值。故常以测量次数足够大时的测得值的算术平均值，近似代替真值。

绝对误差只能用于评比同一大小被测量的测量精度，而评比不同大小被测量的测量精度，则要用相对误差。

相对误差 f 是指绝对误差与真值的比，即

$$f = \frac{\delta}{x_0}(\%)$$

也可近似地表示为

$$f \approx \frac{\delta}{x}(\%)$$

相对误差是无量纲的数值，通常用百分数（%）表示。例如，测得值为 30.35mm，绝对误差为 0.02mm，相对误差 $f = 0.02/30.35 = 0.06\%$ 。

二、差异

差异的含义是两测得值之间的差别，它不能说明测得值的误差大或小，故不同于误差，因误差是表征测得值与真值之差，所以说："差异"和"误差"是有区别的。

三、测量误差的来源

测量误差是使观测值产生差异的原因，它的来源分为以下几类：

1、设备误差

设备误差又可细分以下三种：

(1) 标准器误差，提供标准量值的器具称为标准器，如标准砝码、标准电池、标准电阻、标准温度计等，来自标准器的误差一般较小，如标准电池三天内电动势变化值为 25μV，二级标准温度计的精度≤0.1 等。

(2) 仪器误差，各种仪表的说明书都规定了仪表级别的精度，如一等分析天平最大允许误差为±0.1mg，检流计允许变动范围为±0.5 分度，有时由于仪表制造工艺不严格，如温度计刻度不均匀会带来更大的误差，通常测试工作进行之前要用标准器对仪表进行校验。

(3) 附件误差，测量工作必须用到各种附件，如电源、热源和导线等。如考虑不周到也会给测试结果带来影响。

2、环境误差

由于各种环境因素与测量所要求的条件不一致，会使仪表设备机构失灵，精度下降，如秤量物体质量时，要求天平不能振动，但由于工厂现场条件不符合要求就会产生误差；又如冷库测温，由于测量者的体温使温度计附近的空气温度上升，温度计读数就不能正确反映库内空气的温度等。

3、人员误差

测量者生理上的最小分辨力，感觉器官的生理变化，斜视误差，如图 1－2 所示；反应速度和固有习惯等带来的误差；或者测量者技术水平低，如天平零点没调好、温度计没有垂直安放等引起的误差。

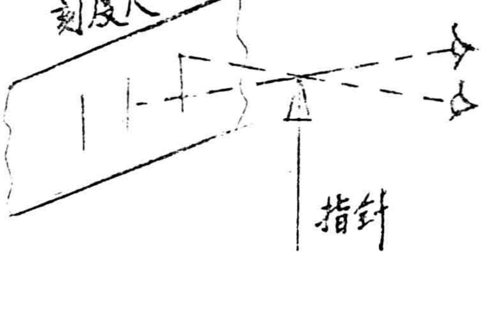


图 1－2

4、方法误差

由于对测试方法进行了简化，操作不合理，以及在计算时忽略了某些实际起作用的因素而产生的误差。

5、对象误差

由研究对象自身引起的误差，如作鱼类保鲜试验时，各条鱼起始鲜度必须一致才能进行比较，若鱼本身起始鲜度的差异大于保藏期试验的差异，就会导致研究失败，工程测试中即使应用的仪器很精密，测试技术水平很高，但若忽略了研究对象本身的误差也会造成测试工

作的失败。

以上1、2、5三方面误差属客观因素，3、4两方面误差属主观因素。

四、误差的类型

若根据误差的基本性质和特点可以分为三种类型：

1、随机（偶然）误差

在单次测量中，误差可大可小，可正可负，变化是没有规律的，但经多次测量后，其平均值必定趋于零，即就误差总体来说，具有一定的统计规律性，这种性质的误差称为随机误差。如用温度计读环境温度，由于每次看刻度的方位不一致，环境气温波动或其他原因，每次读数都不一致，存在随机误差，随机误差是由于人们尚未发现或无法控制的种种太微小或太复杂的因素造成的，对随机误差，可以用误差理论来处理，第二章将要详细研究这方面问题。

2、系统误差

系统误差是指误差的大小和正负号是固定的或服从某一确定规律的误差，在多次测量时，若误差始终不随条件变化，称为恒差或定值系统误差，其他的系统误差称为变值系统误差，一般有累进性（递增或递减）、周期性以及按复杂规律变化等几种，系统误差产生的原因大多与单个因素或少数几个因素有关，但其产生的原因往往是可知的或能掌握的。一般来说，应尽可能设法预见和消除系统误差的影响，估算其大小并修正测量结果，处理系统误差，一般属于技术上的问题，第三章将详细研究这方面问题。

系统误差与随机误差之间并不存在不可愈越的鸿沟，随着人们对误差来源及其变化规律认识的加深，往往有可能把某项随机误差予以澄清，将其作为系统误差处理。反之，当认识不足时，也常出现把系统误差当作随机误差处理的情形。

3、粗大（疏忽）误差

粗大误差又称疏忽误差或过失误差，它是由于技术不熟练，测量时不小心或外界的突然干扰（例如突然振动、仪器电源电压的突然变化）等原因造成的，含有粗大误差的测量数据，常比正常数据相差较大（过大或过小），当对某一量值作多次重复测量，如其中个别或少数数据明显地偏大或偏小时，则可怀疑数据中含有粗大误差，第四章将详细研究这方面问题。

五、精度

测得值与真值的接近程度，称为精度，它可分为：

1、精密度

表示测量结果中的随机（偶然）误差的大小程度，即在一定的条件下，进行多次测量时，所得测量结果彼此之间符合的程度，它通常是用随机不确定度来表示，一个测量的随机误差小，则其精密度高。

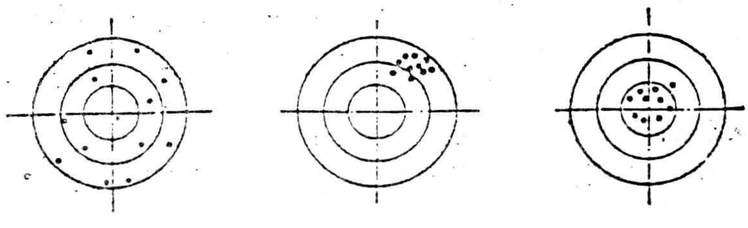
2、准确度

表示测量结果中的系统误差的大小程度，即在规定的条件下，在测量中，所有系统误差的综合，一个测量的系统误差小，则其准确度高。

3、精确度

精确度是测量结果中，系统误差与随机误差的综合，即精密准确的程度，它表示测量结果与真值的一致程度，精确度反映了测量的各类误差的综合，如一个测量的系统误差和随机误差都很小，则其精确度高。图1－3所示的打靶结果，子弹着靶点有三种情况：图a为系统

误差和随机误差都大，即准确度、精密度都低；图 b 为系统误差大，随机误差小，即准确度低，精密度高；图 c 为系统误差和随机误差都小，即精确度高。



(a)　　(b)　　(c)

图 1—3

§1—3　近似数及其运算规则

由于存在测量误差，测量结果只能是被测真值的近似值。因此，略去它的单位（如米、千克、安培等），便是数学上的近似数。在记录测量结果及其数据处理运算时，对有关近似数的有效数字和有效位数的截取，应与测量误差的大小协调。

一、有效数字及有效位数

一般情况下，对于一个正确有效的测量数据，只允许其最后一位数字受测量误差的影响，即只允许这一位数字是可疑的或不可靠的。例如，千分尺的分度值为 0.01mm，一般测量时可估读到 0.001mm，若用一级千分尺测得轴的实际尺寸为 420.463mm，而按规定此时千分尺的示值误差为±0.010mm，极限误差为±0.025mm，故测量值中小数点后第二位数字已是不可靠的，因此记录到小数点后第三位数字就不妥了，此数应记为 420.46mm。

一个数据，从第一个非零的数字开始，到最后一位唯一不可靠的数字为止，都是有效数字。有效数字的位数，称为有效位数，如上例中的有效数字 420.46 的有效位数为五位。

在判断有效数字时，对于零这个数字有三点说明：

1、它可能是有效数字，也可能不是有效数字，这取决于它处在近似数中的位置。当零处在第一个有效数字之前时，则零不算有效数字。例如，近似数 0.00386 前面的三个“0”，均不是有效数字。当零处在第一个有效数字之后，则均为有效数字。例如，近似数 110.00 和 200.030 中的所有“0”均为有效数字。

2、小数点以后的零反映了近似数的误差，不能随意取舍。例如，近似数 100，100.0 和 100.00，这三个近似数在数值上是相等的，但是它们的误差是各不相同的，由舍入误差原理

知，这三个近似数的误差绝对值分别不超过 0.5，0.05 和 0.005。

3、在第一个有效数字之前的零则与误差无关。例如，近似数 0.0036 的误差绝对值不超过 0.00005，而近似数 0.36×10^{-2}的误差绝对值也不超过 $0.005\times10^{-2}=0.00005$。

因此，0.0036 和 0.36×10^{-2}这两种表示方法是等价的。它们均是两位有效数字，且有相同的舍入误差。

二、尾数处理规则（尾数舍入规则）

末位有效数字后的全部数字称为尾数。

（一）尾数处理的一般规则如下：

1、若末位有效数字后面的第一个数字小于 5，则舍去全部尾数不计；

2、若末位有效数字后的第一个数字大于 5，则舍去尾数后在末位有效数字上加 1；

3、若末位有效数字后面的第一个数字等于 5，则分两种情况处理；(a) 当 5 以后还有非“0”的数字时，按 2 处理；(b) 5 以后没有非“0”的数字，则舍去尾数后，使末位有效数字凑成偶数，即是奇数时加 1 变为偶数，原来是偶数则只舍不加。

例如，将下面左方数字按四位有效数字取值，如右方所示数字：

20.536	——→	20.54
2.5843		2.584
110.651		110.7
110.550		110.6
110.650		110.6

（二）舍入误差

设 a 为待截取的数，b 为截取后的近似数，则截取的舍入误差应为：

$$\delta = b - a$$

由近似数的截取规则可见，舍入误差的绝对值不超过近似数末位的半个单位，即

$$|\delta| \leqslant \frac{10^{-m}}{2}$$

式中，m 为截取后所得近似数的小数位数。

例 1－2　a＝3.1346，m＝2，则按截取规则 2。得近似数 b＝3.13，舍入误差的绝对值为：

$$\begin{aligned} |\delta| &= |b - a| \\ &= |3.14 - 3.1346| \\ &= 0.0046 < \frac{10^{-m}}{2} \\ &= 0.005 \end{aligned}$$

例 1－3　a＝3.1450，m＝2，则按截取规则 3 之（a）得近似数 b＝3.14，舍入误差绝对值：

$$\begin{aligned} |\delta| &= |b-a| \\ &= |3.14-3.1450| \\ &= 0.005 \\ &= \frac{10^{-m}}{2} \end{aligned}$$

可见，按以上对尾数的舍入规则，舍入误差不大于末位有效数字的 0.5。而按规则 3，在大量运算中，可使末位有效数字舍和入的机会大体均衡，这样有利于提高最后运算结果的数据精度。

三、近似数的运算

（一）加减运算

首先分析具有不同误差的两个近似数相加。

例如，求近似数 0.1082 与 1648.0 的和。

由舍入误差知，近似数 0.1082 的误差绝对值不超过 0.00005，即小数第四位的末位数字“2”有半个单位的误差；而近似数 1648.0 的误差绝对值不超过 0.05，即处于小数第一位的末位数字“0”有半个单位的误差。当它们相加时，即

$$\begin{array}{r} 0.108\underline{2} \\ +\quad 1648.\underline{0} \\ \hline 1648.\underline{1}082 \end{array}$$

由上式可见，加数 1648.0 的小数第一位数字“0”有误差，所以近似数的和 1648.1082 的小数第一位数字“1”也有误差。因此，要求小数第二位以后数字的准确性便是无意义的了。为此，只须将加数 0.1082 截取到小数第二位便已满足要求，且简化了计算。

由此，对近似数的加减运算可归纳为：在（不超过 10 个）近似数相加或相减时，小数位数较多的近似数，只须比小数位数最少的那个数多保留 1 位。在计算结果里，应保留的小数位数与原来小数位数最少的那个近似数相同。

例 1－4　求近似数 1648.0，13.65，0.0082，1.632，86.82，5.135，316.34，0.545 的和。

解：因加数中，小数位数最小的为 1 位，所以对其余的近似数只须截取到 2 位小数，且它们的和只须保留 1 位小数，即

$$\begin{aligned} &1648.0+13.65+0.0082+1.632+86.82+5.135+316.34+0.545 \\ &\approx 1648.0+13.65+0.01+1.63+86.82+5.14+316.34+0.54 \\ &=2072.13 \\ &\approx 2072.1 \end{aligned}$$

例 1—5　求近似数 76.3651 与 37.4 之差。

解：因减数只 1 位小数，所以被减数只须保留 2 位小数，且差只须保留 1 位小数，即

$$
\begin{aligned}
&76.3651-37.4\\
\approx\ &76.37-37.4\\
=\ &38.97\\
\approx\ &39.0
\end{aligned}
$$

当 10 个以上的近似数相加时，为减小舍入累积误差，可适当增加加数的小数位数。

（二）乘除运算

首先分析两个近似数相乘。

例如，求 1.3642×0.0026 的积。

近似数 1.3642 有五位有效数字，而 0.0026 为二位有效数字。它们均在小数第四位上有半个单位的误差，当它们相乘时，即有下列竖式：

$$
\begin{array}{r}
1.364\underline{2}\\
\times\quad 0.002\underline{6}\\
\hline
\underline{8}\,\underline{1}\,\underline{8}\,\underline{5}\,\underline{2}\\
2728\underline{4}\\
\hline
0.003\underline{5}\,\underline{4}\,\underline{6}\,\underline{9}\,\underline{2}
\end{array}
$$

从上式可见，积的第二位有效数字以后的各位数均含有误差。因此，积只须保留到第二位有效数字，即取积的有效位数同乘数中有效位数较少的那个相同。并且乘数 1.3642 无须保留 5 位有效数字，只须比 0.0026 多 1 位，即保留 3 位有效数字即可。其乘式即为：

$$
\begin{array}{r}
1.3\underline{6}\\
\times\quad 0.002\underline{6}\\
\hline
\underline{8}\,\underline{1}\,\underline{6}\\
27\underline{2}\\
\hline
0.003\underline{5}\,\underline{3}\,\underline{6}
\end{array}
$$

因此，正确的算式应为：

$$
\begin{aligned}
&1.3642\times0.0026\approx1.36\times0.0026\\
=\ &0.003536\\
\approx\ &0.0035
\end{aligned}
$$

由此，对近似数的乘除运算归纳为：在两个近似数相乘或相除时，有效数字较多的近似数，只须比有效数字少的那个多保留1位，其余均舍去。计算结果应保留的有效数字的位数，与原来近似数里有效数字较少的那个相同。

例1—6 求0.0121×1.36872的积。

解：$0.0121\times1.36872\approx0.0121\times1.369$

$=0.0165649$

≈0.0166

例1—7 求1.77042÷30.3的商。

解：$1.77042\div30.3\approx1.770\div30.3$

≈0.0584

在近似数的乘除运算中，保留的位数是以有效数字计算的。因此，当舍去的多余位数为整数位时，被保留的有效数字必须保持它原来的数位不变。如具有6位有效数字的近似数18673.8只须保留其三位有效数字，则按近似数截取规则应为18700，而不是187这三位有效数字，仍必须保留其原来的万、千和百位。

例1—8 求18673.8×0.48积。

解：$18673.8\times0.48\approx18700\times0.48$

$=8976\approx9000$

（三）乘方和开方运算

乘方的实质是乘法，此时两个乘数相等，因此它们的误差相同，无须舍去多余位数。例如，1.52^2的竖式为：

$$\begin{array}{r}
1.52 \\
\times\quad 1.52 \\
\hline
\underline{3}\,\underline{0}\,\underline{4} \\
76\,\underline{0} \\
15\,\underline{2} \\
\hline
2.3\,\underline{1}\,\underline{0}\,\underline{4}
\end{array}$$

可见，乘方结果的有效位数应保留与原近似数的有效位数相同。即

$$1.52^2=2.3104\approx2.31$$

开方时，只一个近似数参与，因此不存在舍去多余位数的问题。另外开方与乘方有下述关系：设$\sqrt{a}=b$，则$a=b^2$。因此，b^2和a有相同的有效位数，而由乘方的原理知，b^2和b的有效位数相同，所以a和其开方根b有相同的有效位数。

综上所述，对于近似数的乘方和开方运算可归纳为：在近似数乘方或者开方时，计算结果应保留的有效数字与原来近似数的有效数字的位数相同。

例 1－9　求近似数 5.32 的平方。

解：$5.32^2=28.3034\approx28.30$

例 1－10　求 3.1643 的开方。

解：$\sqrt{3.1643}=1.778847941\cdots\approx1.7788$

在实际运算中，一个算式往往包括几种不同的运算，对于中间步骤的运算结果，其有效数字比加减、乘除、乘方和开方的运算规则的规定增加 1 倍。此外，在计算 4 个以上近似数的平均值时，其有效位数可增加 1 倍。

例 1－11　求 $7.43286+3.695-6.72=?$

解：

$$
\begin{aligned}
&7.43286+3.695-6.72\\
&\approx7.4329+3.695-6.72\\
&=11.1279-6.72\\
&\approx11.128-6.72\\
&=4.408\approx4.41
\end{aligned}
$$

例 1－12　求 $18.4008\times0.003+3.2=?$

解：

$$
\begin{aligned}
&18.4008\times0.003+3.2\\
&\approx18\times0.003+3.2\\
&=0.054+3.2\\
&\approx0.05+3.2\\
&=3.25\\
&\approx3.2
\end{aligned}
$$

例 1－13　求 5.38，6.30，6.46 和 7.52 这 4 个近似数的平均值。

解：

$$
\begin{aligned}
&\frac{5.38+6.30+6.46+7.52}{4}\\
&=\frac{25.66}{4}\\
&=6.415
\end{aligned}
$$

在上例中，除数 4 是正整数，不含误差。因此，它的有效数字应根据算式的需要而定。在此例中，整数 4 可表示为 4.000，即认为它具有 4 位有效数字，且平均值的有效数字比原近似数多 1 位。这种做法的原理将在以后的叙述中找到根据，即数的平均值能提高准确性。

在运用计算器、计算机等计算工具进行数据处理时，能提高运算的速度，减少出现错误的可能性，此时可适当地多保留有效数字或小数位数。但测量误差一般只保留 1 至 2 位有效数字，其余按规则舍入。

§1—4　概率的基本知识

一、随机变量

工程测试进行各种参数的测量。并将测试结果用一个具体数值表示出来，这个数值称为观测值。例如食品冷藏库的库温，一般要昼夜不停地进行定时测量，以便根据库温变化的情况，决定氨压缩机的运行。每次测得库温值不一定都相同，可能是－17.5℃、－16.8℃、－18.0℃、－17.0℃、……由此可知，库温值不能预先断定，是个随机变量。但是，冷库温度的允许变化范围通常在－16.0～18.0℃之内，因此，它的取值可以是该温度范围内的全部实数值，表示为$-18.0℃ \leqslant t < -16℃$。还有一类随机变量，例如某人射击打靶，每发击中的环数可能是0、1、2、……、10中的任一个数；再如汽车站等车的乘客人数，它们都取正整数值。

随机变量通过大量，反复的试验统计，能得到某种规律，如冷库的温度夏季比冬季变化大，白天比晚间变化大；上班时间等车的乘客比其他时间多等等。若进一步分析库温记录，还会得到各个测试值在一昼夜的某个时间内出现的百分率等规律。

随机变量通常分两类：①如果试验结果的可能值能够一一列举出来，即随机变量是间断的，可数的，这种随机变量称为离散型随机变量。上例中的击中环数、等车乘客人数均属离散型随机变量。②如果试验结果的可能值不能一一例举出来，即随机变量是连续的，充满在某一区间内，这种随机变量称为连续型随机变量。上例中的库温值，食品工程测试中各种参数，如温度、湿度、压力、风速、热流量等均属连续型随机变量。

二、样本和总体

在测试工作中，把研究对象的全体称为总体；把组成总体的每一个基本单元称为个体或样品；选取样品的全体称为样本或子样；样本中样品的个数称为样本的容量。例如，为了求出库壁的导热系数，需用热流计测试冷藏库壁的热流量，这里库壁就是研究的总体，而贴热流计的测量点则是样品，在测量时，热流计的排布方式是在面积为一平方米的正方形的四个顶角各贴一个，在其中间再贴一个，这五个热流计就形成一个样本，其容量为5，由于库壁面积很大，不可能每个点都去测量，一般只能随机选取部分地方作为代表，了解并推测库壁的导热性能；有的测试具有破坏性，如测库壁内绝热材料（软木）的含水量，需要凿洞取样，当然不可能把冷库壁全部凿开，只能选择一些有代表性的点凿洞取样进行测试；有的测试项目，虽不是破坏性的，但由于工作量太大也不可能对总体进行测试；所以测试工作一般得到的都是样本值，如何由样本值推断或估算总体的情况是工程测试研究的一个重要内容。

三、概率和随机事件

假如一个实验重复进行N次，在这N次试验中，某一观测值x_i出现了n_i次，那么把n_i/N称为N次试验中x_i值出现的机会（或称可能性）如果N是有限次数，在数学上就把n_i/N称作频率；如N是无限大数，在数学上就称n_i/N为概率，表示为$P=n_i/N$。例如，有人作过成