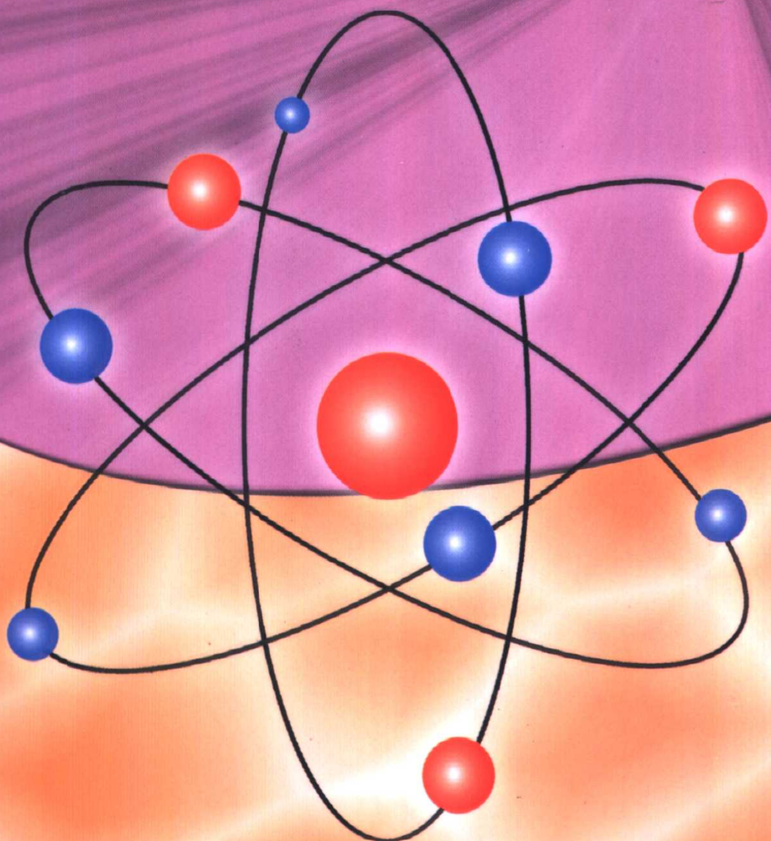
试验设计与数据处理

郑少华　姜奉华　编著



中国建材工业出版社

试验设计与数据处理

郑少华　姜奉华　编著

中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

试验设计与数据处理/郑少华,姜奉华编著.—北京:
中国建材工业出版社,2004.3
ISBN 7-80159-578-5

Ⅰ.试…　Ⅱ.①郑…②姜…　Ⅲ.①试验设计(数学)
②数据处理　Ⅳ.0212.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 008452 号

内容提要

本书涉及试验设计与数据处理以下四个方面的内容:试验数据的测量方法,误差理论及数理统计基础,正交试验设计与数据处理,回归分析。具体包括:试验数据的测量,误差理论,直接测量、间接测量、组合测量中的数学处理,统计假设检验,方差分析法,正交表及其用法,有交互作用的正交试验设计,正交表的构造法,正交试验设计的方差分析,正交试验设计中的效应计算与指标值的预估计,直线回归分析,曲线回归分析,多元回归分析,如何利用计算机技术解决试验设计与数据处理中的具体问题。内容简明扼要,以大量的实例详细介绍了试验设计与数据处理的方法。

本书可作为高等学校材料科学与工程、化工、机械、农业、医药等专业本科生的教材和研究生的参考书,亦可供在科学研究中需要进行大量试验设计与数据处理工作及相关学科的科研、工程技术、管理技术人员参考。

试验设计与数据处理
郑少华　姜奉华　编著

出版发行:中国建材工业出版社
地　　址:北京市西城区车公庄大街6号
邮　　编:100044
经　　销:全国各地新华书店
印　　刷:北京鑫正大印刷有限公司
开　　本:787mm×1092mm　1/16
印　　张:12.5
字　　数:320千字
版　　次:2004年3月第一版
印　　次:2004年3月第一次
印　　数:1~3000册
书　　号:ISBN 7-80159-578-5/G·103
定　　价:21.00元

自　序

根据国家教委关于高等教育应面向21世纪的改革精神，高等学校应培养专业面宽、知识面广、综合素质高的现代化建设人才。鉴于此，我们编写了这本试验设计与数据处理。

正交试验设计与数据处理，对科技工作者来说是非常重要的知识，笔者多年来一直致力于把这门综合知识运用到材料学科的大学教学之中，使大学生在做毕业论文过程中，能够自主设计试验方案并利用计算机进行数据处理；同时，本书对研究生撰写毕业论文也可有非常大的帮助。

本书是材料科学与工程专业本科学生的专业基础课教材。在编写过程中，笔者综合了近年来在“试验设计与数据处理”中的教学经验和体会，力求理论的系统性和完整性，在工程应用方面力求通俗、实用，因此，本书还可作为相关工程技术人员的参考用书。

本书以概率论与数理统计的基本理论为基础，以数据的测量方法、试验设计方法（以正交试验设计方法为主）、试验数据处理方法（以直观分析法、方差分析法、效应分析法、回归分析法等为主）等为主要内容，力求简明易懂。本书还以大量的实例，详细地介绍了如何进行试验设计与数据处理；同时，将 Microsoft 公司的 Office 系列 Excel 电子表格软件用于试验设计与数据处理的方法、解题及查表的过程贯穿于全书。

本书由郑少华、姜奉华编著。具体的编写分工是：

第 1 章至第 3 章、习题集，姜奉华；第 4 章、第 5 章，郑少华。

任振对全书进行了详细的审阅和校对；在编写过程中，任振制作了附表 1、附表 2、附表 3、附表 4；王雪梅、于庆华对本书的编写也做了大量的工作，在本书出版之际，谨向他们表示衷心的感谢。

在编写过程中，本书参考了大量的资料文献，在此也向这些文献的作者们表示谢意。

由于作者水平所限，本书难免有不当之处，恳请读者批评指正。

作　者

2003 年 11 月于济南大学

目 录

第1章 概　论

1.1 数据测量的基本概念

1.1.1 基本概念

(1)物理量

物理量是反映物理现象的状态及其过程特征的数值量.一般物理量都是有因次的量,即它们都有相应的单位,数值为1的物理量称为单位物理量,或称为单位;同一物理量可以用不同的物理单位来描述,如能量可以用焦耳、千瓦小时等不同单位来表述.

(2)测量

以确定量值为目的的一组操作,操作的结果可以得到量值,即得到数据,这组操作称为测量.例如:用米尺测得桌子的长度为1.2m.

(3)测量结果

测量结果就是根据已有的信息和条件对被测物理量进行的最佳估计,即是物理量真值的最佳估计.在测量结果的完整表述中,应包括测量误差,必要时还应给出自由度及置信概率.测量结果还具有重复性和重现性.

重复性是指在相同测量条件下,对同一被测物理量进行连续多次测量所得结果之间的一致性.相同的测量条件即称之为"重复性条件",主要包括:相同的测量程序、相同的测量仪器、相同的观测者、相同的地点、在短期内的重复测量、相同的测量环境.若每次的测量条件都相同,则在一定的误差范围内,每一次测量结果的可靠性是相同的,这些测量值服从同一分布.

重现性是指在改变测量条件下,对被测物理量进行多次测量时,每一次测量结果之间的一致性,即在一定的误差范围内,每一次测量结果的可靠性是相同的,这些测量值服从同一分布.

(4)测量方法

测量方法是指根据给定的测量原理,在测量中所用的并按类别描述的一组操作逻辑次序和划分方法,常见的有替代法、微差法、零位法、异号法等.

总之,数据测量就是用单位物理量去描述或表示某一未知的同类物理量的大小.

1.1.2 数据测量的分类

数据测量的方法很多,下面介绍常见的三种分类方法,即按计量的性质、测量的目的和测量值的获得方法分类.

(1)按计量的性质分

可分为:检定、检测和校准.

检定:由法定计量部门(或其他法定授权组织),为确定和证实计量器是否完全满足检定规程的要求而进行的全部工作.检定是由国家法制计量部门所进行的测量,在我国主要是由各级计量院所及其授权的实验室来完成,是我国开展量值传递最常用的方法.检定必须严格按照检定规程运作,对所检仪器给出符合性判断,即给出合格还是不合格的结论,而该结论具有法律效力.检定方法一般分为整体检定法和分项检定法两种.

检测(又称为测试或实验):对给定的产品、材料、设备、生物体、物理现象、工艺过程,按照一定的程序确定一种或多种特性或性能的技术操作.检测通常是依据相关标准对产品的质量进行检验,检验结果一般记录在称为检测报告或检测证书的文件中.

校准:在规定条件下,为确定测量仪器或测量系统所指示的量值,与对应的由标准所复现的量值之间关系的一组操作.

(2)按测量的目的分

可分为:定值测量和参数检验.

定值测量:按一种不确定度确定参数实际值的测量.其目的是确定被测物理量的量值是多少,通常预先限定允许的测量误差.

参数检验:以技术标准、规范或检定规程为依据,判断参数是否合格的测量.其目的是判断被检参数是否合格,通常预先限定参数允许变化的范围(如公差等).

(3)按测量值获得的方法分

可分为:直接测量、间接测量和组合测量.

直接测量:用一个标准的单位物理量或经过预先标定好的测量仪器去直接度量未知物理量的大小,这种方法就是直接测量法.其测量结果称为直接测量量.直接测量是实现物理量测量的基础,自然界可以直接测量的物理量很多,例如在工程技术领域中,用米尺或卡尺测量长度,用温度计测量温度,用表计量时间等.

直接测量可表示为

$$y = x \tag{1-1}$$

式中,y 为被测量的未知量;x 为直接测得的量.

在由若干基本物理单位导出的物理量中,有相当多的量是无法用仪表直接测出的,如透镜的焦距、金属的杨氏模量、物质的热量等.此时,只能用间接测量法进行测量.

间接测量:把直接测量量代入某一特定的函数关系式中,通过计算求出未知物理量的大小,这种方法就是间接测量法.计算出的结果称为间接测量量.

例如,凸透镜焦距 f 的测量,是先通过测量出直接测量量物距 u 和相距 v,然后根据公式

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \tag{1-2}$$

计算出焦距 f 的值.f 为间接测量量.

间接测量量可用如下通用的函数关系式表示

$$y = f(x_1, x_2, \cdots) \tag{1-3}$$

式中,y 为被间接测量的量;x_1,$x_2\cdots$为直接测量的量.

组合测量:用直接测量或间接测量的数值,将这些数值与相对应被测物理量按已知关系进行组合,列出联立方程组,然后解方程组,计算出被测物理量量值的方法,这种方法称为组合测量法.

例如,要测量出 x,y,分别对 $x - y$ 和 $x + y$ 进行直接测量,得到的测量值分别为 l_1 和 l_2,可得测量方程组:

$$\left.\begin{aligned} x - y &= l_1 \\ x + y &= l_2 \end{aligned}\right\} \tag{1-4}$$

解方程组得:

$$
\left.\begin{aligned}
x &= \frac{l_1 + l_2}{2} \\
y &= \frac{l_2 - l_1}{2}
\end{aligned}\right\} \tag{1-5}
$$

组合测量可以用如下通用的联立方程组表示

$$
\left.\begin{aligned}
& f_1(x_1, x_2, \cdots, y_1, y_2, \cdots, y_n) = 0 \\
& f_2(x_1, x_2, \cdots, y_1, y_2, \cdots, y_n) = 0 \\
& \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\
& f_n(x_1, x_2, \cdots, y_1, y_2, \cdots, y_n) = 0
\end{aligned}\right\} \tag{1-6}
$$

式中,$f_1, f_2, \cdots, f_n$ 表示组合测量中的函数关系;$x_1, x_2, \cdots, x_n$ 表示直接测量的物理量;$y_1, y_2, \cdots, y_n$ 表示未知的物理量.

上述三种方法在工程技术和科学实验中有大量应用.不同的测量方法,所得数据的处理方法也不一样.一般说来,直接测量的数据处理是在正态分布规律的基础上,求出被测物理量的最可信赖值(或算术平均值)及其标准误差;间接测量的数据处理是依据误差传递的基本原理;组合测量的数据处理则普遍采用回归分析及统计检验的方法,求出测量未知量及其误差.这方面的详细内容将在以后各章中介绍.

在数据测量中,通常还有等精度测量和不等精度测量的概念.前者是指在多次、重复测量中,每一次测量都是在同样的环境和条件下,采用了相同的方法、相同的仪表,并且测量人员也以同样认真、负责、仔细的态度来进行数据的观测;否则,就算为不等精度测量.而且这两种测量数据的最可信赖值及其误差计算方法也是不同的.前者的最可信赖值是算术平均值,后者为加权平均值.

1.2 误差的基本知识

人们对自然现象的研究总是通过对有关物理量的测量来进行的.但是,无论测量仪器多么精密,方法多么先进,实验技术人员如何认真、仔细,观测值与真值之间总是存在着不一致的地方.这种差异就是误差(error).可以说,误差存在于一切科学试验的观测之中,测量结果都存在着误差.

1.2.1 误差的概念

(1)误差

即测量结果减去被测量的真值.

$$
\delta = x - a \tag{1-7}
$$

式中,δ 为测量误差;x 为测量结果;a 为被测量的真值.

(2)真值

真值是指某一时刻、某一状态下,某物理量客观存在的实际大小.一般说来,真值是不知道的,因为它是人们需要通过观测去求得的.而误差的普遍存在,使得测量值并不等于真值.

①理论真值

在实践中,有一些物理量的真值是已知的.如平面三角形三内角之和为180°,一个圆的圆心角为360°;某一物理量与本身之差为零或与本身之比值为1,这种真值称为理论真值.

②约定真值

因为真值无法获得,计算误差时必须找到真值的最佳估计值即约定真值.约定真值通常由

以下方法获得:

计量单位制中的约定真值.国际单位制所定义的7个基本单位,根据国际计量大会的共同约定,凡是满足上述定义条件而复现出的有关量值都是真值.

标准器相对真值.凡高一级标准器的误差是低一级或普通测量仪器误差的1/3~1/20时,则可认为前者是后者的相对真值.如经国家级鉴定合格的标准器称为国家标准器,它在同一计量单位中精确度最高,从而作为全国该计量单位的最高依据.国际铂铱合金千克原器的质量将作为国际千克质量的真值.

在科学实验中,真值就是指在无系统误差的情况下,观测次数无限多时所求得的平均值.但是,实际测量总是有限的,故用有限次测量所求得的平均值作为近似真值(或称最可信赖值).

1.2.2 误差的表示方法

(1)绝对误差

某物理量值与其真值之差称为绝对误差,它是测量值偏离真值大小的反映,有时又称为真误差.即

$$\text{绝对误差} = \text{量值} - \text{真值}$$

$$\text{修正值} = -\text{绝对误差} = \text{真值} - \text{量值}$$

于是

$$\text{真值} = \text{量值} + \text{修正值}$$

这说明量值加上修正值后,就可以消除误差的影响.在精密计量中,常常用加一个修正值的方法来保证量值的准确性.

(2)相对误差

绝对误差与真值的比值所表示的误差大小称为相对误差或误差率,有时也表示为绝对误差与测量值的比值,这表示两组不同准确度的表示方法.所以采用相对误差更能清楚地表示出测量的准确程度.

按定义

$$\text{相对误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{真值}} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{测量值} - \text{绝对误差}} = \frac{1}{\text{测量值}/\text{绝对误差} - 1}$$

当绝对误差很小时,$\frac{\text{测量值}}{\text{绝对误差}} \geqslant 1$,此时

$$\text{相对误差} \approx \frac{\text{绝对误差}}{\text{测量值}} \tag{1-8}$$

(3)引用误差

相对误差还有一种简便实用的形式,即引用误差.它在多档或连续刻度的仪表中得到广泛应用.为了减少误差计算中的麻烦和划分仪表正确度等级的方便,一律取仪表的量程或测量范围上限值作为误差计算的分母(即基准值),而分子一律取用仪表量程范围内可能出现的最大绝对误差值.于是,定义引用误差为

$$\text{引用误差} = \frac{\text{绝对误差}}{\text{仪表量程}} \times 100\%$$

在热工、电工仪表中,正确度等级一般都是用引用误差来表示的,通常分成0.1,0.2,0.5,1.0,1.5,2.5和5.0七个等级.上述数值表示该仪表最大引用误差的大小,但不能认为仪表在各个刻度上的测量都具有如此大的误差.例如某仪表正确度等级为 R 级(即引用误差为 $R\%$),满量程的刻度值为 X,实际使用时的测量值为 x(一般 $x \leqslant X$),则

$$\text{测量值的绝对误差} \leqslant \frac{X \cdot R}{100}$$

$$\text{测量值的相对误差} \leqslant \frac{X \cdot R}{x}\% \tag{1-9}$$

通过上面的分析可知，为了减少仪表测量的误差，提高正确度，应该使仪表尽可能在靠近满量程刻度的区域内使用．这正是人们利用或选用仪表时，尽可能在满刻度量程的 2/3 以上区域内使用的原因．

1.2.3 误差的分类

根据误差产生的原因和性质将误差分为以下三大类．

(1)系统误差

系统误差是由于偏离测量规定的条件，或者测量方法不合适，按某一确定的规律所引起的误差．系统误差的符号或绝对值已经确定的称为已定系统误差；符号或绝对值未确定的称为未定系统误差．理论上讲已定系统误差可用修正值来消除，而未定系统误差则可用系统不确定度来估计．

(2)随机误差(或称偶然误差)

如果对系统误差进行修正之后，还出现观测值与真值之间的误差，则称此为随机误差．这种误差的特点是在相同条件下，少量地重复测量同一个物理量时，误差有时大有时小，有时正有时负，没有确定的规律，且不可能预先测定．但是当观测次数足够多时，随机误差完全遵守概率统计的规律．

对一个实际测量的结果进行统计分析(表 1-1)，就可以发现随机误差的特点和规律．

表 1-1 测量值分布表

区　间	1	2	3	4	5	6	7
测量值 x_i	4.95	4.96	4.97	4.98	4.99	5.00	5.01
误差 Δx_i	−0.07	−0.06	−0.05	−0.04	−0.03	−0.02	−0.01
出现次数 n_i	4	6	6	11	14	20	24
频率 f_i	0.027	0.04	0.04	0.073	0.093	0.133	0.16
区　间	8	9	10	11	12	13	14
测量值 x_i	5.02	5.03	5.04	5.05	5.06	5.07	5.08
误差 Δx_i	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06
出现次数 n_i	17	12	12	10	8	4	2
频率 f_i	0.113	0.08	0.08	0.066	0.053	0.027	0.018

表 1-1 中观测总次数 $n = 150$ 次，某测量值的算术平均值为 5.02，共分 14 个区间，每个区间的间隔为 0.01．为直观起见，把表中的数据画成频率分布的直方图(图 1-1)，从图中便可分析归纳出随机误差的以下四大分配律来．

①随机误差的有界性．在某确定的条件下，误差的绝对值不会超过一定的限度．表 1-1 中的 Δx_i 均不大于 0.07，可见绝对值很大的误差出现的概率近于零，即误差有一定限度．

②随机误差的单峰性．绝对值小的误差出现的概率比绝对值大的误差出现的概率大，最小误差出现的概率最大．表 1-1 中 $|\Delta x_i| \leqslant 0.03$ 的次数为 110 次，其中 $|\Delta x_i| \leqslant 0.01$ 的占 61 次，而 $|\Delta x_i| > 0.03$ 的仅 40 次．可见随机误差的分布呈单峰形．

③随机误差的对称性.绝对值相等的正负误差出现的概率相等.表 1-1 中正误差出现的次数为 65 次,而负误差为 61 次,两者出现的频率分别为 0.427 和 0.407,大致相等.

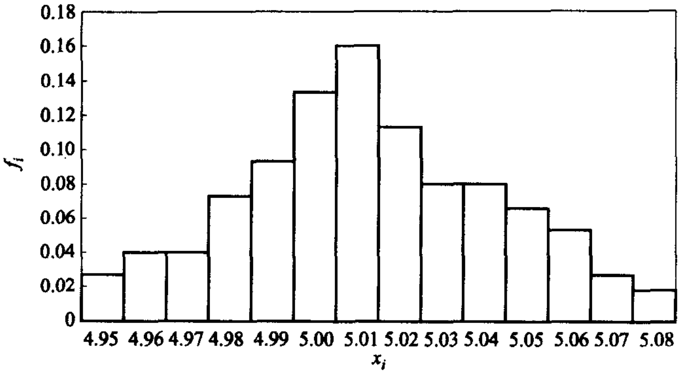


图 1-1 频率分布直方图

④随机误差的抵偿性.在多次、重复测量中,由于绝对值相等的正负误差出现的次数相等,所以全部误差的算术平均值随着测量次数的增加趋于零,即随机误差具有抵偿性.抵偿性是随机误差最本质的统计特性,凡是具有相互抵偿特性的误差,原则上都可以按随机误差来处理.

随机误差决定了测量的精密度.它产生的原因还不清楚,但由于它总体上遵守统计规律,因此理论上可以计算出它对测量结果的影响.

(3)粗差(或称过失误差)

明显歪曲测量结果的误差叫粗差.凡包含粗差的测量值称之为坏值.读错、测错、记错或者试验条件尚未达到要求就开始测量以及计算的错误等都会直接造成粗差.

科学研究是不允许由于疏忽而造成粗差的,正确的试验结果总是在剔除坏值的前提下求得的.

通过上面的讨论可知:①对试验结果进行误差分析时,只讨论系统误差和随机误差两大类,而坏值在试验过程和分析中随时剔除;②一个精密的测量(即精密度很高,随机误差很小的测量)可能是正确的,也可能是错误的(当系统误差很大,超出了允许的限度时).所以,只有消除了系统误差之后,随机误差愈小的测量才是既正确又精密的,此时称它是精确(或准确)的测量,这也正是人们在试验中所要努力争取达到的目标.

1.2.4 几种常见的误差

(1)最大误差系数

这种方法把测量中的最大值与最小值之差 Δ 作为最大的误差变化范围,通常用最大误差 Δ 与算术平均值 $\bar{x}$ 之比值 k_Δ(最大误差系数)来表示:

$$k_\Delta = \frac{\Delta}{\bar{x}} \tag{1-10}$$

这种表示法很直观、清楚,但是 Δ 只取决于最大值和最小值,而与测量的次数 n 无关,这样当测量次数 n 增加时,随机误差的减小,不能给予反映.因此,它不能反映出测量的精密度水平.这是一种古老的误差表示方法.

(2)算术平均误差

在一组测量中,用全部测量值的随机误差绝对值的算术平均值表示.按定义

$$\overline{\Delta} = \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \overline{x}|}{n} \tag{1-11}$$

式中，x_i 表示一组测量中的各个测量值，$i=1,2,\cdots,n$(测量的次数)；$\overline{x}$ 表示一组测量值的算术平均值；$|x_i-\overline{x}|$($|\Delta x_i|$)表示第 i 个测量值 x_i 与平均值 $\overline{x}$ 之偏差(即误差)的绝对值.

这种表示方法已经考虑到了观测次数 n 对随机误差的影响，但是各次观测中相互间符合的程度不能予以反映.因为一组测量中，偏差彼此接近的情况与另一组测量中偏差大、中、小的情况，两者的算术平均误差很可能相同.

(3)标准误差 σ

它是观测值与真值偏差的平方和与观测次数 n 比值的平方根，按定义其公式为：

$$\sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - A)^2}{n}} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} d_i^2}{n}} \tag{1-12}$$

式中，A 为被测物理量的真值；$d_i(=x_i-A)$表示第 i 个测量值 x_i 与真值 A 之偏差.

在实际测量中，观测次数 n 总是有限的，真值只能用最可信赖(最佳)值来代替，此时的标准误差按下式计算：

$$s = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x})^2}{n-1}} = \pm\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta x_i)^2}{n-1}} \tag{1-13}$$

标准误差 σ 对一组测量中的特大或特小误差反映非常敏感，所以，标准误差能够很好地反映出测量的精密度.这正是标准误差在工程测量中被广泛采用的原因.

例 1.1 某实验测得两组数据如下：

第一组　4.9,5.1,5.0,4.9,5.1;

第二组　5.0,4.8,5.0,5.0,5.2.

求平均值 $\overline{x}$、算术平均误差 δ、标准误差 s，并分析其准确度及精密度.

解　第一组测量：

算术平均值　$\overline{x} = \dfrac{4.9+5.1+5.0+4.9+5.1}{5} = 5.0$

算术平均误差　$\delta = \dfrac{0.1+0.1+0+0.1+0.1}{5} = 0.08$

标准误差　$s = \pm\sqrt{\dfrac{0.1^2+0.1^2+0^2+0.1^2+0.1^2}{5-1}} = \pm 0.1$

第二组测量：

算术平均值　$\overline{x} = \dfrac{5.0+4.8+5.0+5.0+5.2}{5} = 5.0$

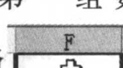
算术平均误差　$\delta = \dfrac{0+0.2+0+0+0.2}{5} = 0.08$

标准误差　$s = \pm\sqrt{\dfrac{0.2^2+0.2^2}{5-1}} = \pm 0.141$

用 Excel 电子表格进行数据的计算步骤如下：

首先打开电子表格，在 A1 单元格到 E1 单元格内输入第一组数据

	A	B	C	D	E
1	4.9	5.1	5	4.9	5.1

，用鼠标单击 F1 单元格 ，然

后将鼠标指针移动到编辑栏图标

处，单击左键，弹出“插入函数”对话框，如图 1-2 所示，在“或选择类别(C)：”项下选择“统计”，在“选择函数(N)：”项下选择“AVERAGE”平均值函数后，单击“确定”按钮，弹出“函数参数”对话框，如图 1-3 所示，在“Number1”项内填入“A1：E1”，它表示选中了 A1到 E1 单元格中的数据进行平均值计算，单击“确定”按钮，即完成了平均值的计算；同理，在 F2、F3 单元中分别填入公式 fx =STDEV(A1:E1) 和 fx =AVEDEV(A1:E1) ，可计算出 s 和 δ. 用上述方法计算出第二组数据如图 1-4 所示.

从图 1-4 的计算结果可知：①两组数据的平均值一样，即测量的准确度一样；②两组数据的测量精密度实际上不一样. 因为第一组数据的重现性较好，但此时的算术平均误差 δ 是一样的，显然 δ 未能反映出精密度来. 标准误差 s 的计算结果说明第一组测量数据比第二组精密度高.

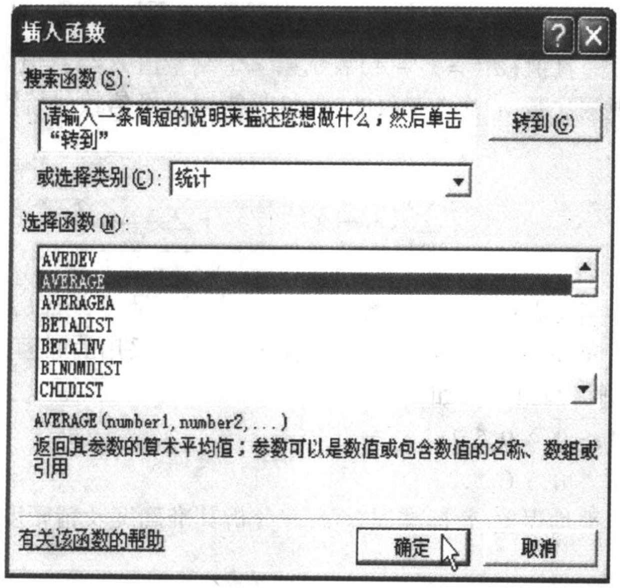


图 1-2

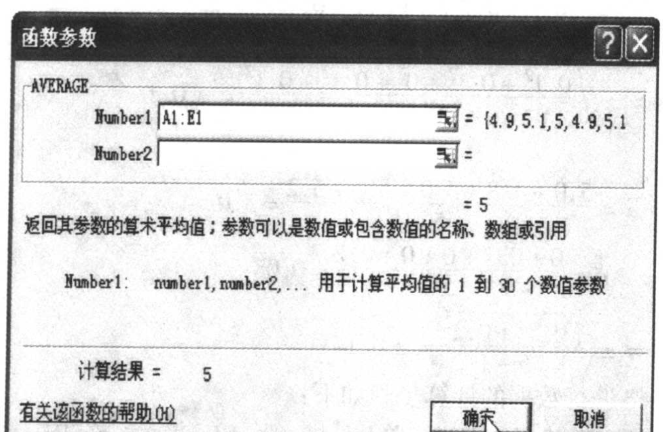


图 1-3

	A	B	C	D	E	F	
1	4.9	5.1	5	4.9	5.1	5	$\boxed{\bar{x}}$
2			第一组数据			0.1	$\boxed{s}$
3						0.08	$\boxed{\delta}$
4	5	4.8	5	5	5.2	5	$\boxed{\bar{x}}$
5			第二组数据			0.141421	$\boxed{s}$
6						0.08	$\boxed{\delta}$

图 1-4

标准误差不仅仅是一组观测值的函数，而且更重要的是它对一组测量中的大误差及小误差反映比较敏感.因此，在试验中广泛采用标准误差来表示测量的精密度.

(4)或然误差

它的意义在于一组测量中，误差的绝对值不大于 γ 的测量值与大于 γ 的测量值各占总测量次数的 50%.亦即在一组测量中，误差落在 $+\gamma$ 和 $-\gamma$ 之间的观测次数占总观测次数的一半.

根据概率积分计算可得 $\gamma = 0.6745\sigma$，从统计概率的角度来看，用或然误差表示一组测量的精密度还不够可靠，所以近年来它已不再被使用而被标准误差所代替.

(5)极限误差

通常定义极限误差的范围为标准误差的 3 倍，即 $\pm 3s$.从统计的角度讲，所测物理量的真值落在 $[-3s, 3s]$ 范围内的概率为 99.7%，而超出此范围的可能性实际上已不存在，故把它定义为极限误差.

1.2.5 几个重要概念

(1)精密度

它表示测量结果中随机误差大小的程度，即在一定条件下，进行多次、重复测量时，所得测量结果彼此之间符合的程度，通常用随机不确定度来表示.

(2)正确度

它表示测量结果中系统误差大小的程度.即在规定的条件下，测量中所有系统误差的综合.

(3)准确度

准确度是测量结果中系统误差与随机误差的综合，它表示测量结果与真值的一致程度.从误差的观点来看，准确度反映了测量的各类误差的综合.如果所有已定系统误差已经修正，那么准确度可由不确定度来表示.

(4)不确定度

不确定度是由于测量误差的存在而对被测量值不能肯定的程度.表达方式有系统不确定度、随机不确定度和总不确定度.可按估计值的不同方法把不确定度划分为 A、B 两类分量.前者是多次重复测量后，用统计方法计算出的标准误差；后者是用其他方法估计出的近似的“标准误差”.

系统不确定度实质上就是系统误差限，常用未定系统误差可能不超过的界限或半区间宽度 e 来表示.随机不确定度实质上就是随机误差对应于置信概率 $1-\alpha$ 时的置信区间 $[-k\sigma, +k\sigma]$（α 为显著性水平).当置信因子 $k=1$ 时，标准误差 σ 就是随机不确定度，此时的置信概率(按正态分布)为 68.27%.总不确定度是由系统不确定度与随机不确定度按方差合成的方法合成而得的.由于不确定度包括测量结果中无法进行修正的部分，所以它反映了测量