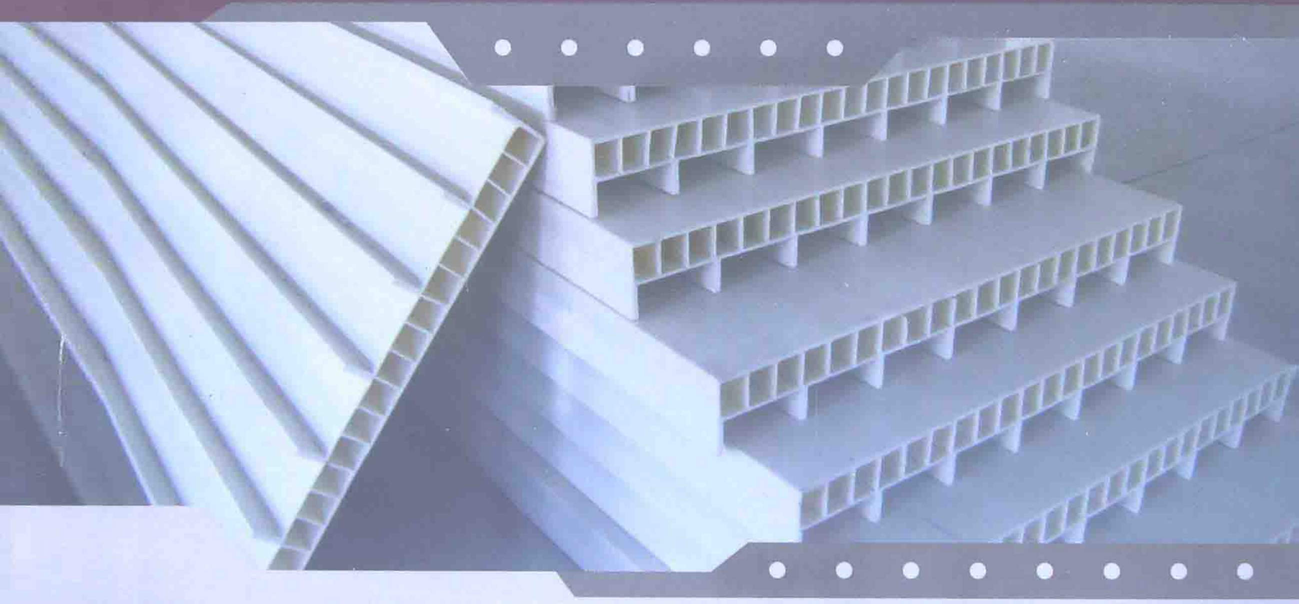
JIANZHU CAILIAO SHIYAN ZHIDAOSHU

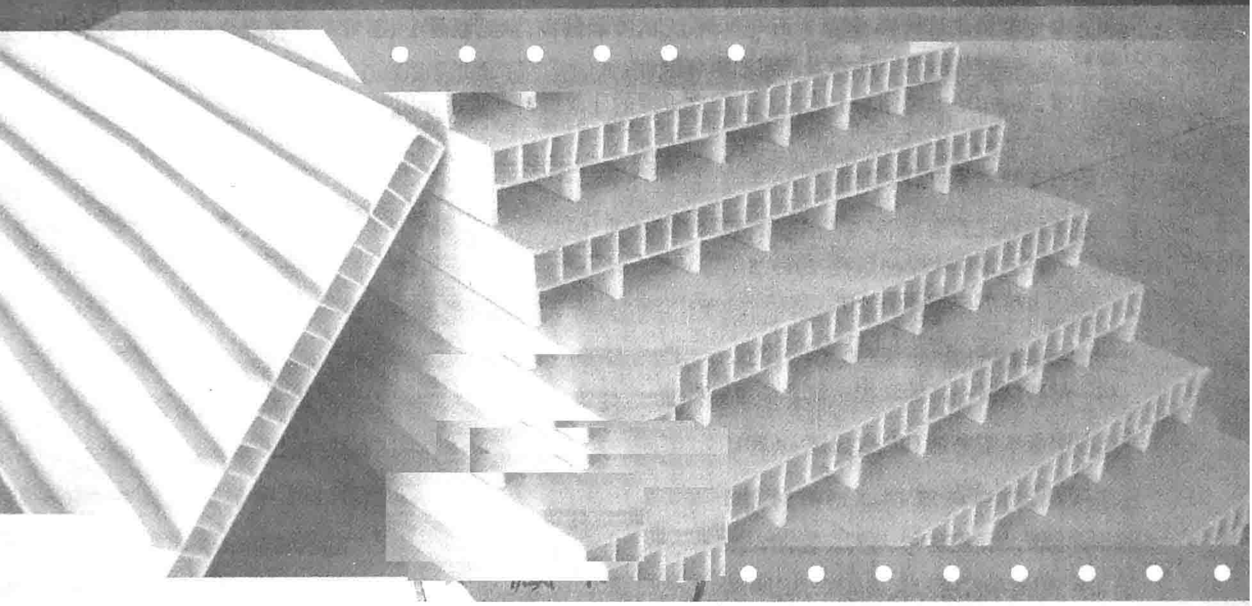


建筑材料试验指导书

□主　编　王瑞燕　李德军　张祖棠

重庆大学出版社
http://www.cqup.com.cn

JIANZHU CAILIAO SHIYAN



建筑材料试验指导书

□主　编　王瑞燕　李德军　张祖棠

重庆大学出版社

内容提要

全书主要分为三部分。第一部分讲述建筑材料试验基础；第二部分讲述建筑材料试验，涉及土木工程及相关专业常用建筑材料，包括岩石与集料、无机胶凝材料、水泥混凝土、沥青与沥青混合料、无机结合料稳定材料、建筑钢材等；第三部分为试验记录与报告。

本试验指导书可作为土建类专业独立设课的建筑材料试验指导用书。

图书在版编目(CIP)数据

建筑材料试验指导书/王瑞燕，李德军，张祖堂主编．—重庆：重庆大学出版社，2015.5

ISBN 978-7-5624-8932-0

Ⅰ．①建… Ⅱ．①王…②李…③张… Ⅲ．①建筑材料—材料试验—高等学校—教学参考资料 Ⅳ．①TU502

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第052911号

建筑材料试验指导书

主编 王瑞燕 李德军 张祖堂

责任编辑：刘颖果 版式设计：刘颖果

责任校对：秦巴达 责任印制：赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人：邓晓益

社址：重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编：401331

电话：(023)88617190 88617185(中小学)

传真：(023)88617186 88617166

网址：http://www.cqup.com.cn

邮箱：fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆紫石东南印务有限公司印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：5.75 字数：122千

2015年5月第1版 2015年5月第1次印刷

印数：1—3 000

ISBN 978-7-5624-8932-0 定价：12.00元

前　言

建筑材料课程是土木工程及相关专业的专业基础课，建筑材料试验是建筑材料课程密不可分的组成部分。本试验指导书主要针对高等学校建筑工程、道路工程、桥梁工程、轨道与隧道工程、港海工程、交通工程管理等专业，根据建筑材料试验教学及试验教学改革的要求，结合现行标准和规程，讲述建筑材料试验基础及常用建筑材料性能测试原理及方法。本试验指导书可作为土建类专业独立设课的建筑材料试验指导用书。

全书主要分为三部分。第一部分讲述建筑材料试验基础；第二部分讲述建筑材料试验，涉及土木工程及相关专业常用建筑材料，包括岩石与集料、无机胶凝材料、水泥混凝土、沥青与沥青混合料、无机结合料稳定材料、建筑钢材等；第三部分为试验记录与报告。

本指导书与路、桥、水利、港海、结构、管理等专业培养方案及试验教学学时要求吻合性好。在内容编排及试验项目的选择上，注重学生基本试验技能锻炼，注重基础理论知识与试验基本原理的相融性，具有较强的可拓展性。

本书由重庆交通大学王瑞燕教授、张祖棠高工、李德军博士编写，全书由王瑞燕统稿定稿。祝文允、邓斐、韩晓泽、谢欣、赵婧参与了资料收集、整理等工作，重庆交通大学材料中心全体教师对本书的编写大纲提出了建议和意见，在此表示诚挚的谢意！

由于编者水平有限，书中不妥及疏漏之处，恳请广大师生、读者不吝赐教。

编　者

2015 年 1 月

目 录

1 建筑材料试验基础

1.1 抽样

1.1.1 抽样的基本概念

被检测材料的总体又称为母体,是统计分析中所需研究对象的全体。组成总体的每个单元称为个体。从总体中抽取一部分个体就是样本,组成样本的每个个体即为样品(试样)。样本容量是样本中所含样品的数量,样本容量的大小直接关系结果的可靠性和经济性。当样本容量与总体所含个体数量相等时,称为全数检验。

建筑材料质量检验,主要是通过抽取总体中的一小部分个体加以检测,以分析和了解材料总体质量状况,这就是通常所说的抽样检验。材料的总体质量,通过对随机抽取的样本进行检测得到试验数据,经加工处理后得到样本信息,根据样本信息来反映。

1.1.2 抽样方法简介

试样是被测材料的代表,抽样是材料试验的首要环节,抽取的样品应具有代表性,从而确保试验结果能反映材料的实际质量。我国现行标准和试验规程中,对各种建筑材料试验取样方法、取样频率、取样数量均有明确规定。从检验批中抽取样本的方法通常有以下几类:

1)简单随机抽样

简单随机抽样是指从总体 N 个单位中任意抽取 n 个单位作为样本,使每个可能的样本被抽中的概率相等的一种抽样方式。简单随机抽样的特点是:每个样本单位被抽中的概率相等,样本的每个单位完全独立,彼此间无一定的关联性和排斥性。简单随机抽样的具体做法有直接抽选法、抽签法、随机数表法等。

2)分层随机抽样

分层抽样亦称分类抽样或类型抽样,适用于总体量大、差异程度较大的情况。先将总体单位按其差异程度或某一特征分类、分层,然后在各类或每层中再随机抽取样本单位。分层抽样实际上是科学分组或分类与随机原则的结合。根据各类型单位数与总体单位数的比例,分层抽样有等比抽样和不等比抽样之分。

3)系统随机抽样

如果一个批的个体可按一定顺序排列,并可将其分为数量相当的 n 个部分,此时按简单随机抽样方法确定的相同位置,从每个部分各抽取一个单位个体构成一个样本,这种抽样方法称为系统随机抽样。它的代表性在一般情况下比简单随机抽样要好些;但在个体质量波动周期与抽样间隔正好相当时,抽到的样本单位可能都是质量好的或者都是质量差的,则此时代表性较差。

4)分段随机抽样

如果先将一定数量单位个体包装在一起,再将若干个包装单位(例如若干箱)组成批时,为了便于抽样,此时可采用分段随机抽样的方法。第一段抽样以箱作为基本单元,先随机抽出 k 箱;第二段再从抽到的 k 箱中分别抽取 m 个个体,集中在一起构成一个样本,k 与 m 的大小必须满足 $km=n$。分段随机抽样的代表性和随机性都比简单随机抽样差些。

5)整群随机抽样

整群随机抽样即按照某一标准将总体单位分成"群"或"组",从中抽选"群"或"组",然后把被抽出的"群"或"组"所包含的个体合在一起作为样本,被抽出的"群"或"组"的所有单位

都是样本单位,最后利用所抽“群”或“组”的调查结果推断总体。抽取“群”或“组”可以采用随机方式或分类方式,也可以采用等距方式来确定,而“群”或“组”内的调查则采用普查的方式进行。整群随机抽样又可分为一段抽样和分段抽样两种类型。

在对总体质量状况一无所知的情况下,不能以主观的限制条件去提高抽样的代表性,抽样应当是完全随机的,这时采用简单随机抽样最为合理。在对总体质量构成有所了解的情况下,可以采用分层随机抽样或系统随机抽样来提高抽样的代表性。在采用简单随机抽样有困难的情况下,可以采用代表性和随机性较差的分段随机抽样或整群随机抽样。这些抽样方法除简单随机抽样外,都是带有主观限制条件的随机抽样法。通常只要不是有意识地抽取质量好或坏的个体,尽量从批的各部分抽样,都可以近似地认为是随机抽样。

1.2 试验数据的误差分析

试验的结果通常是以数据的形式表达,为了保证最终结果的准确性,应该对原始数据的可靠性进行客观评定,也就是需对试验数据进行误差分析。

在试验过程中,由于仪器精度的限制、方法的不完善、科研人员认识能力的不足和科学水平的限制等方面的原因,在试验中获得的试验值与它的客观真实值并不一致,这种矛盾在数值上表现为误差。误差是与准确相反的一个概念,可以用误差来说明试验数据的准确程度。试验结果都具有误差,误差自始至终存在于一切科学过程中。误差可以被控制得越来越小,但是不能被完全消除。

1.2.1 真值与平均值

1) 真值

真值是指在某一时刻和某一状态下,某量的客观值或实际值。真值一般是未知的,但从相对的意义上来说,真值又是已知的。例如,平面三角形三内角之和恒为 180°;同一非零值自身之差为零,自身之比为 1;国家标准样品的标称值;国际上公认的计量值,如碳 12 的原子量为 12 等。

2) 平均值

在科学试验中,虽然试验误差在所难免,但平均值可综合反映试验值在一定条件下的一

般水平，所以在科学试验中，经常将多次试验值的平均值作为真值的近似值。平均值的种类很多，在处理试验结果时常用的平均值有以下几种：

(1)算术平均值

算术平均值是最常用的一种平均值。设有 n 个试验值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$，则它们的算术平均值为：

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} \tag{1.1}$$

式中，x_i 表示单个试验值(下同)。同样试验条件下，如果多次试验值服从正态分布，则算术平均值是这组等精度试验值中的最佳值或最可信赖值。

(2)加权平均值

如果某组试验值是用不同的方法或由不同的试验人员得到的，则这组数据中不同值的精度或可靠性不一致，为了突出可靠性高的数值，可采用加权平均值。设有 n 个试验值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$，则它们的加权平均值为：

$$\bar{x}_w = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \cdots + w_n} \tag{1.2}$$

式中，$w_1, w_2, \cdots, w_n$ 代表单个试验值对应的权。如果某值精度高，则可给予较大的权数，加重它在平均值中的分量。显然，加权平均值的可靠性在很大程度上取决于试验人员的经验。试验值的权是相对值，可以是整数，也可以是分数或小数。除依据试验者的经验之外，权还可以按以下方法给予：

①当试验次数很多时，可以将权理解为试验值 x_i 在很大的测量总数中出现的频率 n_i/n。

②如果试验值是在同样的试验条件下获得的，但来源于不同的组，这时加权平均值计算式中的 x_i 代表各组的平均值，而 w_i 代表每组试验次数。若认为各组试验值的可靠程度与其出现的次数成正比，则加权平均值即为总算术平均值。

③根据权与绝对误差的平方成反比来确定权数。

(3)几何平均值

设有 n 个正试验值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$，则它们的几何平均值为：

$$\bar{x}_G = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} \tag{1.3}$$

对上式两边同时取对数，得：

$$\lg \bar{x}_G = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lg x_i}{n} \tag{1.4}$$

当一组试验值取对数后所得数据的分布曲线更加对称时，宜采用几何平均值。一组试验值的几何平均值常小于它们的算术平均值。

(4)调和平均值

设有 n 个正试验值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$，则它们的调和平均值为：

$$H = \frac{n}{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} + \cdots + \frac{1}{x_n}} \tag{1.5}$$

或

$$\frac{1}{H} = \frac{\frac{1}{x_1} + \frac{1}{x_2} \cdots + \frac{1}{x_n}}{n} \tag{1.6}$$

调和平均值是试验值倒数的算术平均值的倒数，它常用在涉及与一些量的倒数有关的场合。调和平均值一般小于对应的几何平均值和算术平均值。

不同的平均值都有各自的适用场合，选择哪种求平均值的方法，主要取决于试验数据本身的特点，如分布类型、可靠性程度等。

1.2.2 误差的表示方法

1) 绝对误差

试验值与真实值之差为绝对误差。若用 $x, x_t, \Delta x$ 分别表示试验值、真值和绝对误差，则有：

$$\Delta x = x - x_t \tag{1.7}$$

$$x_t - x = \pm |\Delta x| \tag{1.8}$$

$$x_t = x \pm |\Delta x| \tag{1.9}$$

由于真值一般是未知的，所以绝对误差的准确值通常不能计算出来。根据具体情况，可估计出它的大小范围。设 $|\Delta x|_{max}$ 为最大绝对误差（也称为试验值 x 的绝对误差限或绝对误差上界），则有：

$$x_t \approx x \pm |\Delta x|_{max} \tag{1.10}$$

试验中，如果对某物理量只进行一次测量，通常可依据测量仪器上注明的精度等级或仪器最小刻度作为单次测量误差的计算依据。一般可取最小刻度值作为最大绝对误差，而取其最小刻度的一半作为绝对误差的计算值。对于同一真值的多个测量值，可通过比较绝对误差限大小来判断它们的精度大小。

2) 相对误差

为了判断试验值的准确性，还必须考虑试验值本身的大小，故引出了相对误差。如果用 E_R 表示相对误差，则有：

$$E_R = \frac{\Delta x}{x_t} \tag{1.11}$$

显然，$|E_R|$小的试验值精度较高。由于 x_t 和 Δx 都不能准确求出，所以相对误差也不能准确求出。与绝对误差类似，相对误差的大小范围可估计出来，即：

$$|E_R| = \left|\frac{\Delta x}{x_t}\right| \leqslant \left|\frac{\Delta x}{x_t}\right|_{max} \tag{1.12}$$

$\left|\frac{\Delta x}{x_t}\right|_{max}$ 称为试验值 x 的最大相对误差，或称为相对误差限或相对误差上界。实际计算中，由于真值 x_t 为未知数，所以常将绝对误差与试验值或平均值之比作为相对误差。为适应不同的精度，相对误差常表示为百分数(%)或千分数(‰)。

3）算术平均误差

设试验值 x_i 与算术平均值 $\bar{x}$ 之间的偏差为 d_i，则算术平均误差为：

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^{n}|x_i - \bar{x}|}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|d_i|}{n} \tag{1.13}$$

算术平均误差可以反映一组试验数据的误差大小，但无法表达各试验值间的彼此符合程度。

4）标准误差

标准误差也称为均方误差、标准偏差或简称标准差。当试验次数 n 无穷大时，称为总体标准差，其定义为：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}d_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2/n}{n}} \tag{1.14}$$

试验次数为有限次时，称为样本标准差，其定义为：

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}d_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2/n}{n-1}} \tag{1.15}$$

标准差不仅与一组试验值中的每个数据有关，也对其中较大或较小的误差敏感性很强，能明显反映出较大的个别误差。它常用于表示试验值的精密度，标准差越小则试验数据精密度越高。

1.2.3 误差的来源与分类

误差根据其性质或产生的原因，分为随机误差、系统误差和过失误差。

1）随机误差

随机误差是指在一定的试验条件下，由于试验过程中一系列偶然因素造成的、以不可预知的规律变化着的、不可完全避免的误差。当试验次数足够多时，随机误差的出现一般具有统计规律，大多服从正态分布，由于正负误差的相互抵消，误差的平均值趋向于零。所以多次试验值的平均值的随机误差比单个试验值的随机误差小，可以通过增加试验次数来减小随机误差。

2）系统误差

系统误差是指在一定试验条件下，由某个或某些因素按照某一确定的规律起作用而形成的误差。系统误差的大小及其符号在同一试验中是恒定的，或在试验条件改变时按照某一确定的规律变化。试验条件一旦确定，系统误差就是一个客观上的恒定值，它不能通过多次试验被发现，也不能通过取多次试验值的平均值而减小。产生系统误差的原因是多方面的，可来自仪器（如砝码不准或刻度不均匀等），可来自操作不当，可来自个人的主观因素（如观察滴定终点或读取刻度的习惯），也可来自试验方法本身的不完善等。只有对系统误差产生的原因有充分认识，才能对它进行校正或设法消除。

3）过失误差

过失误差是一种显然与事实不符的误差，没有一定的规律，它主要是由于人员粗心大意造成的，如读数错误、记录错误或操作失误等。所以只要加强工作责任心，过失误差是可以完全避免的。

1.2.4 试验数据的精准度

误差的大小可以反映试验结果的好坏，但这个误差可能是由于随机误差或系统误差单独造成的，还可能是两者的叠加。为了说明这一问题，引出了精密度、正确度和准确度这 3 个表示误差性质的术语。

1)精密度

精密度反映随机误差的大小,是指在一定的试验条件下,多次试验值的彼此符合程度或一致程度。精密度的概念与重复试验时单次试验值的变动性有关。如果试验数据分散程度较小,则说明精密度高。试验值精密度高低的判断可用下述参数来描述:

(1)极差

极差是指一组试验值中最大值与最小值的差值。

(2)标准差

若随机误差服从正态分布,则可以用标准差来反映随机误差的大小。标准差的数值大小反映了试验数据的分散程度,σ 或 s 越小,则数据的分散性越低,精密度越高,随机误差越小,试验数据的正态分布曲线也越尖。

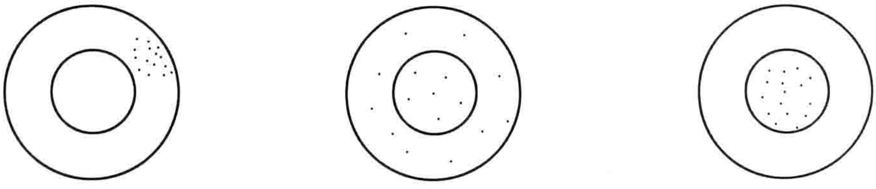
(3)方差

方差即标准差的平方,也反映数据的分散性。

2)正确度

正确度是指大量测试结果的(算术)平均值与真值或接受参照值之间的一致程度,它反映了系统误差的大小,是指在一定的试验条件下,所有系统误差的综合。

由于随机误差和系统误差是两种不同性质的误差,因此对于某一组试验数据而言,精密度高并不意味着正确度也高;反之,精密度不好,但当试验次数相当多时,有时也会得到好的正确度。图 1.1 反映了精密度、正确度二者间的区别与联系。



(a)精密度好,正确度不好　(b)精密度不好,正确度好　(c)精密度好,正确度好

图 1.1　精密度、正确度的关系

3)准确度

准确度反映了系统误差和随机误差的综合,表示试验结果与真值或标准值的一致程度。

1.3 数值修约

1.3.1 有效数字

能够代表一定物理量的数字,称为有效数字。试验数据总是以一定位数的数字来表示,这些数字都是有效数字,其末位数往往是估计出来的,具有一定的误差。例如,用分析天平测得某样品的质量是1.568 7 g,共有5位有效数字,其中1.568 g都是所加砝码标值直接读得的准确值,但最后一位数字“7”是估计出来的,是可疑的或欠准的。

有效数字的位数可以反映试验的精度或表示所用试验仪表的精度,不能随便多写或少写。多写一位数字,则该数据不真实,因而也不可靠;少写一位数字,则损失了试验精度,实质上是对测量该数据所用高精密度仪表的耗费。

数据中小数点的位置不影响有效数字的位数。例如,50 mm,0.050 m,5.0×10^4 μm这3个数据的准确度是相同的,它们的有效数字位数都为2。

数字“0”是否是有效数字取决于它在数据中的位置。一般第一个非“0”数前的数字都不是有效数字,而第一个非“0”数后的数字都是有效数字。例如,数据29 mm和29.00 mm并不等价,前者有效数字是2位,后者是4位有效数字,它们是用不同精度的仪器测得的。所以在试验数据的记录过程中,不能随便省略末尾的“0”。需要指出的是,有些人为指定的标准值,末尾的“0”可以根据需要增减,例如原子量的相对标准是^{12}C,它的原子量为12,它的有效数字可以视计算需要设定。

在测量或计量中应取多少位有效数字,可根据下述准则判定:

①对不需要标明误差的数据,其有效位数应取到最末一位数字为可疑数字(也称为不确切或参考数字);

②对需要标明误差的数据,其有效位数应取到与误差同一数量级。

1.3.2 有效数字的运算

试验结果常常是多个试验数据通过一定的运算得到的,其有效数字位数的确定可以通过有效数字运算来确定。

①加、减运算。在加、减运算中,加、减结果的位数应与其中小数点后位数最少的相同。

②乘、除运算。在乘、除计算中,乘积和商的有效数字位数应以各乘、除数中有效数字位

数最少的为准。

③乘方、开方运算。乘方、开方后的结果的有效数字位数应与其底数的相同。

④对数运算。对数的有效数字位数与其真数的相同。

⑤在 4 个以上数的平均值计算中,平均值的有效数字位数可增加一位。

⑥所有取自手册上的数据,其有效数字位数按实际需要取,但原始数据如有限制,则应跟从原始数据。

⑦一些常数的有效数字的位数可以认为是无限制的,如圆周率 π、重力加速度 g、$\sqrt{2}$、1/3 等,可根据需要取有效数字。

⑧一般在工程计算中,取 2 ~ 3 位有效数字就足够精确了,只有在少数情况下,需要取到 4 位有效数字。

从有效数字的运算可以看出,每一个中间数据对试验结果精度的影响程度是不一样的,其中精度低的数据影响相对较大。所以在试验过程中,应尽可能采用精度一致的仪器或仪表,一两个高精度的仪器或仪表无助于整个结果精度的提高。

1.3.3 有效数字的修约

数值修约是一种数据处理方式,通过省略原数值的最后若干位数字,调整所保留的末位数字,使最后得到的值最接近原数。

1)修约间隔

修约间隔是确定修约保留位数的一种方式,修约值的最小数值单位。修约间隔的数值一经确定,修约值即为该数值的整数倍。确定修约间隔有以下几种:

①指定修约间隔为 10^{-n}(n 为正整数),或指明将数值修约到 n 位小数。

②指定修约间隔为 1,或指明将数值修约到"个"位数。

③指定修约间隔为 10^{n}(n 为正整数),或指明将数值修约到 10^{n} 数位,或指明将数值修约到"十""百""千"等数位。

2)进舍规则

最常用的基本修约规则是"四舍五入",但是这种方法容易使所得数据产生较大且无法消除的系统偏差,这时可以使用以下数值修约规则:

①拟舍弃数字的最左一位数字小于 5,则舍去,即保留的各位数字不变。

②拟舍弃数字的最左一位数字大于或等于 5,且其后跟有非"0"数字时,则进 1,即保留的

末位数字加1。

③拟舍弃数字的最左一位数字等于5，且其右无数字或皆为“0”时，若所保留的末位数字为奇数(1,3,5,7,9)则进1，为偶数(2,4,6,8,0)则舍弃。

④负数修约时，先将它的绝对值按上述三条规定进行修约，然后在修约值前面加上负号。

⑤拟修约数字应在确定修约间隔或指定修约位数后一次修约获得结果，不得多次按修约规则连续修约。

⑥在对数值进行修约时，若有必要，也可采用0.5单位修约或0.2单位修约。

a. 0.5单位修约(半个单位修约)。0.5单位修约是指按指定修约间隔对拟修约的数值0.5单位进行修约。将拟修约数值X乘以2，按指定修约间隔对$2X$依修约规则进行修约，所得数值($2X$修约值)再除以2。

例：将下列数字修约到“个”数位的0.5单位(或修约间隔为0.5)。

拟修约数值(X)	乘2($2X$)	$2X$修约值(修约间隔为1)	X修约值(修约间隔为0.5)
50.25	100.50	100	50.0
50.38	100.76	101	50.5
-50.75	-101.50	-102	-51.0

b. 0.2单位修约。0.2单位修约是指按指定修约间隔对拟修约的数值0.2单位进行修约。将拟修约数值X乘以5，按指定修约间隔对$5X$依修约规则进行修约，所得数值($5X$修约值)再除以5。

例：将下列数字修约到“百”数位的0.2单位(或修约间隔为0.2)。

拟修约数值(X)	乘5($5X$)	$5X$修约值	X修约值
830	4 150	4 200	840
842	4 210	4 200	840
832	4 160	4 200	840
-930	-4 650	-4 600	-920