



高职交通运输与土建类专业规划教材

土木工程材料实训指导

TU MU GONG CHENG CAI LIAO SHI XUN ZHI DAO

主 编 何文敏
副主编 步文萍 张小利
主 审 姜志青 邵俊江



人民交通出版社
China Communications Press



高职交通运输与土建类专业规划教材

土木工程材料实训指导

TU MU GONG CHENG CAI LIAO SHI XUN ZHI DAO



主 编 何文敏
副主编 步文萍 张小利
主 审 姜志青 邵俊江



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本教材为高职交通运输与土建类专业规划教材之一。教材紧跟教育部教学改革要求和行业科技进步,并将建筑工程、公路、桥梁、铁路内容融合,在内容编排上同时注重结合工程实际需要,力求与时俱进和求真务实。

内容包括:误差理论及数据处理基本知识;石灰、水泥、无机结合料稳定土、水泥混凝土用砂石材料、普通水泥混凝土及其掺合料、建筑砂浆、钢筋、沥青混合料用砂石材料、沥青及沥青混合料、砌墙砖及砌块试验,并将实训报告独立成册,便于学生使用。

本书适于高职高专及各类成人教育建筑工程、公路与桥梁工程、铁道工程等交通运输与土建类相关专业选作教材使用,亦可供现场工程人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料实训指导/何文敏主编. —北京:人民交通出版社, 2009.8
ISBN 978-7-114-07872-9

I.土... II.何... III.土木工程—建筑材料—高等学校—教学参考资料 IV.TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 116208 号

书 名: 土木工程材料实训指导

著 作 者: 何文敏

责任编辑: 杜 琛

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 13.75

字 数: 339 千

版 次: 2009 年 8 月 第 1 版

印 次: 2009 年 8 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-07872-9

印 数: 0001—3000 册

定 价: 36.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

主任委员

邹德奎

副主任委员

车绪武 徐 冬 田和平 韩 敏

委员

(以姓氏笔画为序)

于景臣 刘会庭 李林军 孙立功

张修身 陈志敏 韩建芬 周安福

郑宏伟 赵景民 荣佑范 费学军

总顾问

毛保华

顾问

岳祖润 王新敏 王恩茂 关宝树

秘书

杜 琛

前言 Preface

土木工程材料试验是一门与生产密切联系的科学技术,工程技术人员必须具备一定的工程材料试验知识和技能,才能正确评价材料质量,合理而经济地选择和使用材料。

针对目前土木工程材料试验课存在的问题,如重复开设试验、试验项目缺乏创造性、试验内容与工程实践及科技进步脱节、试验教材内容严重滞后等,并为配合教改项目的进行,课题组决定编写这本试验教材,将土木工程类专业方向的工程材料试验囊括于一本教材中。各门专业课可根据需要选择试验项目;暂时无条件开设的试验,学生可通过学习教材了解试验内容,拓宽眼界。

试验中应注意的问题有:

(1)在了解建筑材料技术性能和质量标准的基础上,理解其含义,才能更好地理解其标准。要求试验前必须预习,并提出相关问题(思考题),让学生带着问题预习、思考。

(2)不同材料的取样方法、试样数量等不尽相同,应加以区别。

(3)检验方法是试验的重点之一,是鉴别材料质量的手段,是试验课的重要环节,直接影响测试数据。要求学生必须以严密的工作、严谨的态度、严格的操作等科学思想对待整个试验过程。

(4)试验报告是试验课内容之一。该掌握的试验内容基本体现在试验报告中。试验报告的形式可以不同,但内容基本一致,有试验名称、试验内容、试验目的、试验原理、测试数据、数据处理、结果评定及分析等。试验报告应该有创新,通过试验培养学生独立分析和解决问题的能力。

全书分为十一章(另附试验报告):第一章是误差理论及数据处理基本知识;第二章是石灰,共4个试验项目,主要包括有效氧化钙与氧化镁的测定;第三章是水泥,共9个试验项目,主要包括水泥密度、细度、标准稠度用水量、凝结时间、体积安定性、水泥强度、水泥胶砂流动度检测试验;第四章是无机结合料稳定土,共两个试验项目,包括无侧限抗压强度试验、水泥或石灰剂量测定方法;第五章是水泥混凝土用砂石材料,共16个试验项目,主要包括粗细集料的筛分试验、表观密度、堆积密度、含水率、含泥量与泥块含量等试验;第六章是普通水泥混凝土及其掺合料,共13个试验项目,主要包括普通混凝土的和易性、表观密度、抗压与抗折强度试验、粉煤灰与矿渣粉试验;第

七章是建筑砂浆,共4个试验项目,主要包括砂浆的稠度、分层度、抗压强度试验;第八章是钢筋,共3个试验项目,包括钢筋的拉伸与冷弯试验;第九章是沥青混合料用砂石材料,共12个试验项目,包括岩石试验、砂石试验、矿粉试验;第十章是沥青及沥青混合料,共14个试验项目,包括沥青三大指标测定试验、沥青混合料试件制作试验、沥青混合料密度试验等;第十一章是砌墙砖及砌块,共9个试验项目,包括烧结普通砖试验与蒸压加气混凝土砌块试验。

本书由何文敏主编,邵俊江主审。具体编写分工如下:第一章、第二章和第五章细集料部分由陕西铁路工程职业技术学院王小艳编写;第三章由陕西铁路工程职业技术学院张小利编写;第四章由陕西铁路工程职业技术学院陈明明编写;第五章粗集料部分由陕西铁路工程职业技术学院李炳良编写;第六章混凝土部分由陕西铁路工程职业技术学院何文敏编写,掺合料部分由陕西铁路工程职业技术学院宁波编写;第七章由陕西铁路工程职业技术学院梁小英编写;第八章由陕西铁路工程职业技术学院何文敏编写;第九章、第十章由陕西铁路工程职业技术学院樊新华编写;第十一章由济南铁道职业技术学院步文萍编写。

编写过程中,我们力求使教材所涉及的材料及试验项目具有时代气息,面向工程实际,采用最新颁布的标准和规范,试验类别既有验证型、测试型,又有设计型、综合型,使学生在动脑、动手两方面都得到有效训练。

由于编者水平有限,疏漏和错误在所难免,恳请读者不吝指正。

编者

2009年5月

目录 | Content

第一章 误差理论及数据处理基本知识	1
第一节 误差的基本理论	1
第二节 数据处理与误差分析	4
第二章 石灰	11
第一节 石灰主要技术性质与标准	11
第二节 石灰试验	13
第三章 水泥	20
第一节 水泥主要技术性质与标准	20
第二节 水泥试验	22
第四章 无机结合料稳定土	43
第一节 无机结合料稳定土主要技术性质与标准	43
第二节 无机结合料稳定土试验	45
第五章 水泥混凝土用砂石材料	55
第一节 细集料的主要技术性质与标准	55
第二节 细集料试验	57
第三节 粗集料的主要技术性质与标准	67
第四节 粗集料试验	70
第六章 普通水泥混凝土及其掺合料	83
第一节 普通水泥混凝土的主要技术性质与标准	83
第二节 普通水泥混凝土试验	84
第三节 粉煤灰、矿渣粉的主要技术性质与标准	93

第四节	粉煤灰、矿渣粉试验	95
第七章	建筑砂浆	101
第一节	建筑砂浆的主要技术性质与标准	101
第二节	建筑砂浆试验	101
第八章	钢筋	106
第一节	热轧钢筋的主要技术性质与标准	106
第二节	钢筋试验	107
第九章	沥青混合料用砂石材料	113
第一节	岩石的主要技术性质	113
第二节	岩石试验	114
第三节	粗集料的主要技术性质与标准	116
第四节	粗集料试验	120
第五节	细集料的主要技术性质与标准	136
第六节	细集料试验	138
第七节	矿粉	144
第八节	矿粉试验	145
第十章	沥青及沥青混合料	147
第一节	沥青的主要技术性质与标准	147
第二节	沥青试验	152
第三节	沥青混合料的主要技术性质与标准	165
第四节	沥青混合料试验	169
第十一章	砌墙砖及砌块	194
第一节	砌墙砖及砌块的主要技术性质与标准	194
第二节	烧结普通砖试验	199
第三节	蒸压加气混凝土砌块试验	206
参考文献		212

第一章 误差理论及数据处理基本知识

◎ 本章职业能力目标

掌握数值修约规则、有效数字的运算规则以及准确取舍可疑数字,能够建立一般关系式。

◎ 本章学习要求

1. 了解误差的分类,掌握其表示方法;
2. 了解常用的统计特征数,掌握一般关系式的建立方法。

第一节 误差的基本理论

一 误差和偏差的表示方法

(一) 准确度与误差

1. 准确度

准确度指测量值与真实值的接近程度,用绝对误差或相对误差表示。

2. 误差

(1) 绝对误差

某物理量的测得值 x 与真值 μ 之间一般都会存在一个差值,这种差值称为测量误差,又称绝对误差,通常简称为误差,用 δ 表示,即

$$\delta = x - \mu \quad (1-1)$$

应注意:绝对误差不同于误差的绝对值,它可正、可负。当 δ 为正时,称为正误差,反之称为负误差。因此,由式(1-1)定义的误差,不仅反映了测量值偏离真值的大小,也反映了偏离的方向。绝对误差与测量值有相同的单位。

(2) 相对误差

绝对误差与被测量的真值之比称为相对误差。相对误差通常用百分数表示,即

$$\text{RE}\% = \frac{\delta}{\mu} \times 100\% = \frac{x - \mu}{\mu} \times 100\% \quad (1-2)$$

显然,相对误差是没有单位的。相对误差能反映误差在真实结果中所占的比例,因而更具实际意义。

应该指出:被测量的真值 μ 是一个理想的值,因此,一般也不能准确得到。因测得值与真值接近,故也可以近似用绝对误差与测得值之比值作为相对误差。对可以多次测量的物理量,

常用已修正过的算术平均值来代替被测量的真值。

(二)精密度与偏差

1. 精密度

精密度是平行测量的各测量值(试验值)之间互相接近的程度。数据精密度的好坏用平均偏差和标准偏差来衡量。

2. 偏差

(1)绝对偏差 d : 单次测量值与平均值之差。

$$d_i = x_i - \bar{x} \tag{1-3}$$

式中: d_i ——第 i 个试验数据的绝对偏差;

x_i ——第 i 个试验数据;

$\bar{x}$ ——算术平均值。

绝对偏差可正、可负,亦可为零,但一组数据中各单次测量值的绝对偏差之和一定等于零。

(2)相对偏差 d_r : 绝对偏差占平均值的百分比。

$$d_r = \frac{d_i}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \times 100\% \tag{1-4}$$

式中符号同前。

绝对偏差与相对偏差只能表示相应单次测量值与平均值的偏离程度,不能表示一组测量值中各测量值间的分散程度,即不表示精密度。

(3)平均偏差 $\bar{d}$: 各测量值绝对偏差的算术平均值。

$$\bar{d} = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n} \tag{1-5}$$

式中: n ——试样个数;

其余符号同前。

平均偏差没有正负号。使用平均偏差表示精密度比较简单,但它反映的是多次测定平均值,对于测定结果的大偏差反映不充分。例如下列两组数据:

+0.3	-0.2	-0.4	+0.2	+0.1	+0.4	0.0	-0.3	+0.2	-0.3
0.0	+0.1	-0.7	+0.2	-0.1	-0.2	+0.5	-0.2	+0.3	+0.1

其平均偏差都是 0.24,但第一组数据明显优于第二组数据。为了解决上述问题,需要讨论标准偏差与相对标准偏差。

(4)相对平均偏差 $\bar{d}_r$: 平均偏差占平均值的百分比。

$$\bar{d}_r = \frac{\bar{d}}{\bar{x}} \times 100\% = \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \times 100\% \tag{1-6}$$

式中符号同前。

(5)标准偏差: 当测量次数无限多时,各测量值对总体平均值 μ 的偏离,用总体标准偏差 σ 表示。

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (\mu \text{ 已知}) \tag{1-7}$$

式中符号同前。

当测定次数 $n < 20$ 时,一般用样本的标准偏差 S 衡量一组数据的分散程度。

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (\mu \text{ 未知}) \quad (1-8)$$

式中符号同前。

标准偏差把单次测量值对平均值的偏差先平方再求和,所以比平均偏差能更灵敏地反映出较大偏差的存在。

(6) 相对标准偏差(变异系数) C_v : 表示单次测定结果的标准偏差 S 对测定平均值 $\bar{x}$ 的相对值。

$$C_v = \frac{S}{\bar{x}} \times 100\% \quad (\text{或 } C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%) \quad (1-9)$$

式中符号同前。

实际工作中都用 C_v 表示分析结果的精密度。

(三) 准确度与精密度的关系

(1) 准确度反映的是测定值与真实值的符合程度,反映了测量结果的正确性;精密度反映的则是测定值与平均值的偏离程度,反映了测量结果的重现性;因此,精密度好,准确度不一定高。二者关系以图 1-1 表示,其中甲准确度高、精密度高;乙准确度低、精密度高;丙准确度高、精密度低;丁准确度低、精密度低。

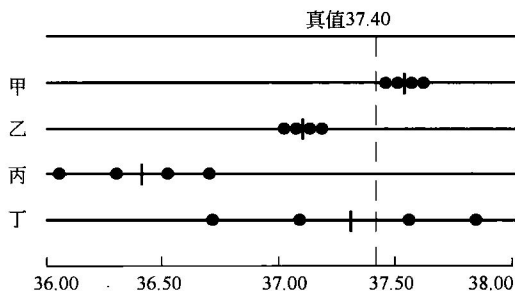


图 1-1 准确度与精密度关系示意图

(2) 精密度好是保证测定结果可靠性高的必要条件,因此精密度差的测定结果是不可靠的,应予以否定。图 1-1 中丁的测定结果准确度低、精密度低,其测定结果不可靠,应予以否定。

二 误差的分类

根据误差的性质与产生的原因,可将误差分为系统误差和随机误差两类。

(一) 系统误差

在相同条件下对同一物理量进行多次测量,误差的大小和符号始终保持恒定或按可预知的方式变化,这种误差称为系统误差。系统误差也叫可测误差,它是由于测量过程中某些确定的、经常的因素造成的,对测量结果的影响比较固定。系统误差的特点是具有“重现性”、“单一性”和“可测性”。即在同一条件下,重复测定时,它会重复出现;使测定结果系统偏高或系统偏低,其数值大小也有一定的规律;如果能找出产生误差的原因,并设法测出其大小,那么系统误差可以通过校正的方法予以减小或消除。

1. 系统误差产生的主要原因

(1) 方法误差

方法误差是由试验方法本身的原因所造成的误差。例如,测水泥的细度有三种方法(干筛法、水筛法、负压筛法),因试验方法不同,试验结果也不同。

(2) 仪器误差

仪器误差指由于仪器本身的局限和缺陷而引起的误差或没有按规定条件使用仪器而引起的误差。如仪表失修,直尺的刻度不均匀,天平刀口磨损,天平的两臂长度不等,或仪器零点没调好,仪器未按规定放水平等。应注意:建筑材料试验中的重要仪器必须定期进行检定。

(3) 环境误差

环境误差是指外界环境发生变化引起的误差,如温度、湿度等因素引起的误差。同样的混凝土配合比,但在夏天测得的坍落度与冬天测得的坍落度不一样。

(4) 个人误差

个人误差是指由于试验操作人员本身的生理或心理特点而造成的误差。如,有人习惯于早按秒表,有人习惯于晚按秒表。

2. 系统误差的消除与修正

(1) 消除仪器的零点误差

对游标卡尺、千分尺以及指针式仪表等,在使用前,应先记录零点误差(如果不能准确对零),以便对测量结果进行修正。

(2) 校准仪器

用更准确的仪器校准一般仪器,得到修正值或校准曲线。

① 保证仪器的安装满足规定的要求。

② 按操作规程进行试验。

(二) 随机误差(又称偶然误差)

随机误差,也叫不可测误差,产生的原因与系统误差不同,它是由于某些偶然的因素(如测定时环境的温度、湿度和气压的微小波动、仪器性能的微小变化等)所引起的,其影响有时大,有时小,有时正,有时负。偶然误差难以察觉,也难以控制。但是消除系统误差后,在同样条件下进行多次测定,则可发现偶然误差的分布完全服从一般的统计规律:

(1) 大小相等的正、负误差出现的概率相等;

(2) 小误差出现的机会多,大误差出现的机会少,特别大的正、负误差出现的概率非常小。故偶然误差出现的概率与其大小有关。

第二节 数据处理与误差分析

一 常用的统计特征数

常用的统计特征数是用以表达随机变量波动规律的统计量,即数据的集中程度和离散程度。

(一) 算术平均值 $\bar{x}$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \cdots + x_n}{n} \quad (1-10)$$

式中: $\bar{x}$ —— 算术平均值;
 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ —— 各个试验数据;
 n —— 试样个数。

(二) 加权平均值 m

加权平均值是各个试验数据与它对应数的算术平均值。

$$m = \frac{x_1 g_1 + x_2 g_2 + x_3 g_3 + \dots + x_n g_n}{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n} = \frac{\sum x_i g_i}{\sum g_i} \quad (1-11)$$

式中: m —— 加权平均值;
 x_i —— 第 i 个试验数据;
 g_i —— 与第 i 个试验数据相对应的数量, 也叫权值。

(三) 中位数 $\tilde{x}$

把数据按大小顺序排列, 排在正中间的一个数即为中位数。当数据的个数 n 为奇数时, 中位数就是正中间的数值; 当 n 为偶数时, 则中位数为中间两个数的算术平均值。

$$\tilde{x} = \begin{cases} x_{\frac{n+1}{2}} & (n \text{ 为奇数}) \\ \frac{1}{2}(x_{\frac{n}{2}} + x_{\frac{n}{2}+1}) & (n \text{ 为偶数}) \end{cases} \quad (1-12)$$

式中: $\tilde{x}$ —— 中位数;

$x_{\frac{n}{2}}, x_{\frac{n+1}{2}}, x_{\frac{n}{2}+1}$ —— 第 $\frac{n}{2}, \frac{n+1}{2}, \frac{n}{2} + 1$ 个试验数据。

(四) 极差 R

极差就是数据中最大值和最小值的差。

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (1-13)$$

式中: R —— 极差;

$x_{\max}$ —— 数据中的最大值;

$x_{\min}$ —— 数据中的最小值。

此外, 常用的统计特征数还有绝对偏差 d 、相对偏差 d_r 、平均偏差 $\bar{d}$ 、标准偏差 (又称标准差、均方差、标准误差)、变异系数 C_v 等, 其表达式分别见式(1-3)~式(1-9)。

其中标准偏差反映了数据中各值偏离平均值的大小, 如果标准偏差比较小, 表示这批数据集中在平均值附近, 说明质量比较均匀、稳定; 如果标准偏差比较大, 表示这批数据离开平均值的距离较大, 较分散, 说明质量波动大, 不稳定。

用极差、标准差只能反映数据波动的绝对大小, 用变异系数可以表示相对偏差, 以便于不同项目之间有关试验精度的比较。

二 数值修约规则

1. 有效数字

为了得到准确的分析结果, 不仅要准确地进行测量, 还要正确记录数字的位数。所谓有效

数字就是实际能测到的数字,通常包括全部准确数字和最后一位不确定的可疑数字。除另有说明外,可疑数字通常理解为有 ± 1 的误差。有效数字的保留位数由分析方法和仪器的准确度来决定,因为数据的位数不仅表示数量的大小,也反映测量的精确程度。

例如,若用米尺来量一短钢筋长度为5.83cm。其中数字5.8是从米尺上读出来的,是准确数字,而数字3是估计得来的,是欠准确数字,但它又不是臆造的,所以记录时应保留它,所记录的这三位数字都是有效数字。

例如,分析天平称取试样应写做0.5000g,相对误差为

$$\frac{\pm 0.0002}{0.5000} \times 100\% = \pm 0.04\%$$

而台秤取试样应写为0.5g,相对误差为

$$\frac{\pm 0.2}{0.5} \times 100\% = \pm 40\%$$

2. 有效数字位数的确定方法

(1)记录测量数据时,只允许保留一位可疑数字。

(2)有效数字反映了测量的相对误差,记录测量数据绝不可随意添加或舍去“0”,如不能将0.2000g写成0.2g。

(3)在乘除运算中,遇到首位数字大于或等于8的数,其有效数字位数应多算一位。

例:90.0%,可示为四位有效数字。

(4)数据中的“0”要作具体分析。数字中间的0都是有效数字,数字前边的0都不是有效数字(它起定位作用),数字后面的0是有效数字。

(5)单位变换不影响有效数字位数。

例:10.00[mL]→0.001000[L] 有效数字均为四位。

(6)pH、pM、pK、lgC、lgK 等对数值,其有效数字的位数取决于小数部分(尾数)数字的位数。

例:pH=11.20 两位有效数字。

(7)常数 π 等非测量所得数据,视为无限多位有效数字。

看看下面各数的有效数字的位数:

1.0008	43181	五位有效数字
0.1000	10.98%	四位有效数字
0.0382	1.98×10^{-10}	三位有效数字
54	0.0040	两位有效数字
0.05	2×10^5	一位有效数字
3600	100	位数模糊
pH=11.20 对应于 $[H^+] = 6.3 \times 10^{-12}$		两位有效数字

3. 数值修约规则

数值修约是一种数据处理方式。实际测量或计算后得到各种数据,对在确定的精确范围(有效数字的位数)以外的数字,应加以取舍,进行修约。

(1)进舍规则

在大量数据运算中,如果第 $n+1$ 位需要修约,因出现1、2、3、4、5、6、7、8、9这些数字的概率相等,以往采用“四舍五入”法对数值进行修约,1、2、3、4舍去和6、7、8、9进位的机会相等,

可以抵消,唯独出现 5 时需要进位,故无法使正误差抵消,造成大量数据运算中正误差无法抵消的后果,使试验的结果偏离真值。

为此,现提出如下修约口诀“四要舍,六要入,五后有数要进位,五后无数(包括零)看前方,前为奇数就进位,前为偶数全舍光”,简称“四舍六入五成双”。

例如,要修约为四位有效数字时:

尾数 ≤ 4 时舍,0.526 64 $\rightarrow$ 0.526 6。

尾数 ≥ 6 时入,0.362 66 $\rightarrow$ 0.362 7。

尾数=5 时,若后面数为 0,舍 5 成双:10.235 0 $\rightarrow$ 10.24,250.650 $\rightarrow$ 250.6;若 5 后面还有不是 0 的任何数皆入:18.085 000 1 $\rightarrow$ 18.09。

(2) 不允许连续修约

拟修约数字应在确定修约位数后一次修约获得结果,而不得连续修约。如,4.134 9 修约为三位数。不能先修约成 4.135,再修约为 4.14,只能修约成 4.13。

(3) 负数修约

先将负数的绝对值按上述规则进行修约,然后在修约值前面加上负号。

(4) 0.5 单元修约与 0.2 单元修约

① 0.5 单元修约:将拟修约数值乘以 2,按指定数位依照修约规则进行修约,所得数值再除以 2。

例如,将下列数值修约到个位数的 0.5 单元(或修约间隔为 0.5):

拟修约数值(k)	乘 2($2k$)	$2k$ 修约值(修约间隔为 1)	k 修约值(修约间隔为 0.5)
60.38	120.76	121	60.5
60.25	120.50	120	60.0

修约间隔是确定修约保留位数的一种方式。修约间隔的数值一经确定,修约值即应为该数值的整数倍。若指定修约间隔为 0.1,修约值即应在 0.1 的整数倍中选取;若指定修约间隔为 100,修约值即应在 100 的整数倍中选取。

② 0.2 单元修约:将拟修约数值乘以 5,按指定数位依照修约规则进行修约,所得数值再除以 5。

例如,将下列数值修约到“百”位数的 0.2 单元(或修约间隔为 20):

拟修约数值 (k)	乘 5 ($5k$)	$5k$ 修约值 (修约间隔为 100)	k 修约值 (修约间隔为 20)
830	4 150	4 200	840
842	4 210	4 200	840

三 有效数字的运算规则

(1) 数值相加减时,以小数位数最少的数值为准,其余各数均修约成比该数多一位,最后结果应与小数位数最少者相同(绝对误差最大),总绝对误差取决于绝对误差大的数值。

例: $0.012\ 1+12.56+7.843\ 2=0.012+12.56+7.84=20.41$

(2) 数值相乘除时,以有效数值位数最少者为准,其余参加运算的各数先修约至比有效数字最少者多保留一位,所得最后结果的有效数字位数与有效数字位数最少者相同(相对误差最

大),与小数点的位数无关,相对误差取决于相对误差大的(在乘除运算中,遇到首位数字大于或等于8的数,其有效数字位数应多算一位)。

例: $(0.0142 \times 24.43 \times 305.84) / 28.7 = 3.70$

(3)乘方或开方时,结果有效数字位数与原数值相同。

例: $6.54^2 = 42.83, \sqrt{7.56} = 2.75$

(4)对数和反对数运算时,所得结果的小数点后的位数应与真数的有效数字相同。

例: $\text{pH} = 5.02 [\text{H}^+] = 9.5 \times 10^{-6} (\text{mol/L})$

其中真数 $[\text{H}^+]$ 的有效数字为两位,则对数运算后 pH 小数点后位数应为两位。

说明:在多次运算时,每一步计算过程中对中间结果不做修约,但最后结果需按上述规则修约到要求的位数。

四 可疑数据的取舍

在建筑材料试验的数据中,有时有少数的测量数据与其他的测量数据相差很大。这些相差很大的数据,如果是因操作失误引起的,就应舍弃。常用的舍弃可疑数据的准则如下。

(一)“4d”检验法

对一组有 n 个数据的数列,按大小顺序排列,首先找到可疑值,除去可疑数据后,计算出其余数据的算术平均值 $\bar{x}$ 、平均偏差 $\bar{d}$;若可疑数据与算术平均值 $\bar{x}$ 差的绝对值大于平均偏差 $\bar{d}$ 的 4 倍,则可疑数据应舍弃。

例 若有 11 个混凝土抗压强度测定值:30.28,30.33,30.31,30.25,30.38,30.41,30.66,30.42,30.48,30.45,30.29,单位 MPa。问 30.66 这个数据是否要舍弃?

解 ①将测值从小到大排列:

$$30.25 < 30.28 < 30.29 < 30.31 < 30.33 < 30.38 < 30.41 < 30.42 < 30.45 < 30.48 < 30.66$$

②计算除 30.66 以外的 10 个数据的算术平均值 $\bar{R}$:

$$\bar{R} = 30.36 (\text{MPa})$$

③求平均偏差 $\bar{d}$:

$$\bar{d} = 0.068 (\text{MPa})$$

④求 D :

$$D = d_{11} = |30.66 - 30.36| = 0.30$$

⑤将 D 与 $4\bar{d}$ 比较:

$$D = 0.30 > 4\bar{d} = 4 \times 0.068 = 0.27$$

所以,30.66 这一数据应舍弃。

说明:①“4d”检验法的优点是计算简单,不需要计算标准差,也不需要查表;

②当试验组数较多,即 $n > 10$ 时,判定标准是 $D > 4\bar{d}$;

③当试验组数较少,即 $n = 5 \sim 10$ 时,判定标准是 $D > 2.5\bar{d}$;

④当 $n < 5$ 时,就不能用该法将误差较大的可疑数据舍弃了。

(二)莱因达法(又称 3S 法)

以标准偏差的 3 倍(3S)作为确定可疑数据的标准。当某个试验数据 x_i 与试验结果的算

术平均值 $\bar{x}$ 之差大于3倍标准差时,该数据应舍弃;当测量值 x_i 与试验结果的算术平均值 $\bar{x}$ 之差大于2倍标准差时,该数据应保留,但须存疑。若发现生产(施工)、试验过程中,有可疑的变异时,该试验值应予以舍弃。

例 对某恒温室温度测量15次,测试结果为($n=15$): 20.42, 20.43, 20.40, 20.43, 20.42, 20.43, 20.39, 20.30, 20.40, 20.43, 20.42, 20.41, 20.39, 20.39, 20.40, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。试用3S法决定数据的取舍。

解 ①将15个测试值从小到大按序排列:(略)

②求出平均值 $\bar{t}_{(15)}$ 及标准差 $S_{(15)}$:

$$\bar{t}_{(15)} = 20.404(^{\circ}\text{C}); S_{(15)} = 0.033(^{\circ}\text{C})$$

③最小的测值 t_1 与平均值 $\bar{t}_{(15)}$ 之差:

$$|t_1 - \bar{t}_{(15)}| = |20.30 - 20.404| = 0.104(^{\circ}\text{C}) > 3S_{(15)} = 0.099(^{\circ}\text{C})$$

所以, $t_1 = 20.30^{\circ}\text{C}$ 应舍弃。

④求出剩余14组测值的平均值 $\bar{t}_{(14)}$ 和标准差 $S_{(14)}$:

$$\bar{t}_{(14)} = 20.411(^{\circ}\text{C}); S_{(14)} = 0.016(^{\circ}\text{C})$$

⑤最大的测值 t_{15} 与平均值 $\bar{t}_{(14)}$ 之差:

$$|t_{15} - \bar{t}_{(14)}| = |20.43 - 20.411| = 0.029(^{\circ}\text{C}) < 3S_{(14)} = 0.048(^{\circ}\text{C})$$

最小的测值 t_2 与平均值 $\bar{t}_{(14)}$ 之差:

$$|t_2 - \bar{t}_{(14)}| = |20.39 - 20.411| = 0.021(^{\circ}\text{C}) < 3S_{(14)} = 0.048(^{\circ}\text{C})$$

所以,不再有需舍弃的数值。

说明:莱因达法简单方便,不需查表。当试验组数较多或需求不高时可以应用;当试验组数较少($n < 10$)时,就无法判别出异常值。

(三)肖维纳特法

若对某一量进行 n 次测试,当某测值 x_i 的绝对偏差大于 $k_n S$,即 $d_i = |x_i - \bar{t}| \geq k_n S$ 时,就意味着测值 x_i 是可疑的,应予以舍弃。 k_n 是肖维纳特系数,与试验组数 n 有关,见表1-1。

肖维纳特系数 k_n

表 1-1

n	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
k_n	1.38	1.53	1.65	1.73	1.80	1.86	1.92	1.96	2.00	2.03
n	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
k_n	2.07	2.10	2.13	2.15	2.17	2.20	2.22	2.24	2.26	2.28
n	23	24	25	30	40	50	75	100	200	500
k_n	2.30	2.31	2.33	2.39	2.49	2.58	2.71	2.81	3.02	3.20

例 将上例用肖维纳特法进行判别。

解 ①由 $n=15$ 查表1-1, $k_{15} = 2.13$ 。