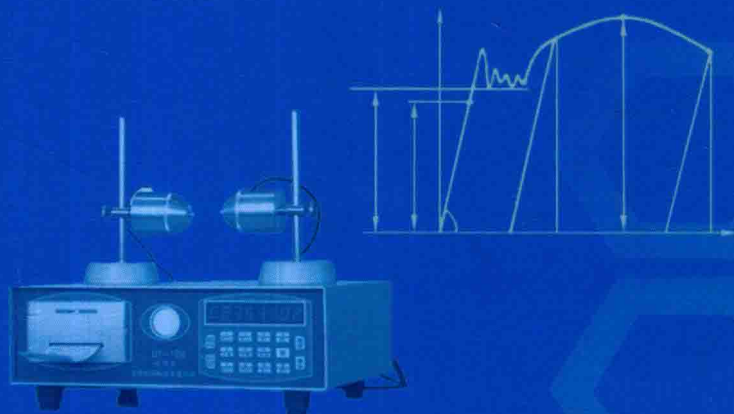


土木工程专业 实验教程

Tumu Gongcheng Zhuanye
Shiyan Jiaocheng

冯勇 崔龙 主编



中国农业大学出版社

CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY PRESS

土木工程专业实验教程

冯 勇 崔 龙 主编

中国农业大学出版社

• 北京 •

内 容 简 介

《土木工程专业实验教程》是根据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》以及新疆农业大学水利与土木学院土木工程类建筑材料、材料力学、工程测量、土力学课程、流体力学和混凝土结构原理等的教学大纲要求,结合新疆农业大学工科实验中心的实验仪器设备编写而成的。本书共分8章,第1章实验数据的统计处理、第2章材料力学实验、第3章电工学及电气设备实验、第4章土木工程测量实验、第5章建筑材料试验、第6章流体力学实验、第7章土力学试验和第8章混凝土结构基本原理实验。本书讲述建筑材料、材料力学、工程测量电工实验、流体力学以及土工实验的内容、方法、要求和注意事项,每个实验内容包括实验目的、实验原理、仪器设备、操作步骤、记录与计算、思考题等部分。

本书将高等院校土木工程类本、专科学生要完成的专业基础课的实验部分汇集成一册,具有系统、灵活、方便等特点,适用于高等院校土木工程类本、专科相关师生,同时也可作为相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程专业实验教程/冯勇,崔龙主编. —北京:中国农业大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5655-1697-9

I. ①土… II. ①冯… ②崔… III. ①土木工程-实验-高等学校-教材
IV. ①TU-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 200976 号

书 名 土木工程专业实验教程

作 者 冯 勇 崔 龙 主编

策划编辑 赵 中

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

电 话 发行部 010-62818525,8625

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2016年9月第1版 2016年9月第1次印刷

规 格 787×1 092 16开本 15.5印张 380千字

定 价 33.00元

责任编辑 洪重光 郑万萍

责任校对 王晓凤

邮政编码 100193

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

E-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

编写人员

主 编 冯 勇 崔 龙

副主编 刘 亮 董文明 晋 强 何金春 李双喜 陈亮亮

编 者 (排名不分先后)

陈亮亮 李双喜 刘 亮 晋 强 冯 勇 牧振伟
董文明 李勇伟 何金春 崔 龙

前 言

近年来,随着新疆建筑事业的发展,土木工程学科建设也得到了快速发展,由于该专业课程实践性较强,实验教学已成为学科建设的重要教学环节,它不仅能帮助学生理解实验原理、熟练掌握实验方法步骤,而且有助于提高学生学习基本理论的兴趣,在以后的工程实践中具有广泛的应用。因此,在土木工程专业本科学习阶段,熟练掌握相关课程的实验原理、方法和技巧,不仅培养了大学生动手能力和科技创新能力,也能提高学生适应社会的能力。

土木工程专业课程实验较多,各课程的实验指导书也比较多,但系统地介绍土木工程专业实验指导书比较少。在实验教学过程中,由于各课程实验的连贯性不是很强,学生对实验原理和操作过程掌握不好,对实验目的及在实际工程中的应用就更不清楚,为加强课程教学的连贯性和学生对专业知识的理解,提高学生综合解决实际问题的能力,在各课程实验指导书的基础上,编写一本能全面涵盖土木工程专业相关实验的教程,是教育形势和提高实践教学效果的必然要求。编者在参考了土木工程专业各课程实验指导书的前提下,结合多年来实践教学的经验,编写《土木工程专业实验教程》,旨在方便实践教学与指导,提高实验教学质量与效果。

根据新疆农业大学“十二五”规划教材建设要求、土木工程专业本科人才培养方案及课程教学大纲要求编写了《土木工程专业实验教程》。全书共分8章,第1章实验数据的统计处理、第2章材料力学实验、第3章电工学及电气设备实验、第4章土木工程测量实验、第5章建筑材料试验、第6章流体力学实验、第7章土力学试验、第8章混凝土结构基本原理实验。介绍了各课程在土木工程专业中的地位和作用、课程实验内容及课时分配情况,每项实验按照基本概念、目的和适用范围、实验原理、仪器设备、操作步骤、数据整理、注意事项和实验记录等内容进行统一编写。

本教材由冯勇(新疆农业大学)和崔龙(新疆农业大学)任主编。编写分工如下:第1章、第2章由陈亮亮(新疆农业大学)编写,第3章由李勇伟(新疆农业大学)编写,第4章由董文明、崔龙(新疆农业大学)编写,第5章由李双喜(新疆农业大学)编写,第6章由牧振伟(新疆农业大学)编写,第7章由刘亮(新疆农业大学)编写,第8章由晋强、冯勇(新疆农业大学)编写,教材中的插图及表格由何金春(新疆农业大学)完成,全书由冯勇统稿。

本书将高等院校土木工程专业本、专科学生要完成的专业基础课及专业课的实验内容汇集成一册,具有连贯性强、灵活方便等特点,适用于高等院校土木工程专业本、专科师生,同时也可作为土木工程相关技术人员的参考用书。

由于编者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请读者批评指正,提出宝贵意见。

编 者
2016年3月

目 录

第 1 章 实验数据的统计处理

1 概述	1
2 数据的记录和计算	1
3 数据的统计分析	2
4 数据的误差分析	4
5 数据的表示	7

第 2 章 材料力学实验

1 内容简介	11
2 拉伸实验	13
3 压缩实验	20
4 扭转实验	23
5 低碳钢切变模量的测定实验	28
6 材料弹性模量和泊松比的测定实验	30
7 纯弯曲梁的弯曲正应力测定实验	35
8 薄壁圆筒弯扭组合变形主应力测定实验	39
9 冲击实验	43
10 粘贴电阻应变片实验	46
11 等强度梁弯曲正应力测定实验	48
12 偏心拉伸实验	51
13 单杆双铰支压杆稳定实验	55

第 3 章 电工学及电气设备实验

1 内容简介	59
2 基本电路定理	60
3 日光灯电路及功率因数的提高	66
4 三相交流电路	69

第 4 章 土木工程测量实验

1 内容简介	73
--------------	----

2	实验须知	74
3	DS3 型水准仪的认识及使用	78
4	普通水准测量	79
5	四等水准测量	81
6	J ₆ 级经纬仪的认识安置及读数练习	82
7	用测回法作水平角观测	84
8	用全圆测回法作水平角观测	85
9	用 J ₆ 经纬仪配合小平板地形测绘	87
10	建筑物轴线测设	89

第 5 章 建筑材料试验

1	内容简介	90
2	混凝土骨料试验	91
3	水泥试验	103
4	混凝土试验	116

第 6 章 流体力学实验

1	内容简介	129
2	静水压强实验	130
3	液体流态实验	131
4	管路沿程水头损失系数测定实验	134
5	管路局部水头损失系数及水头线测定实验	136

第 7 章 土力学试验

1	内容简介	139
2	土样采集和试样制备	140
3	土的物理性质指标试验	147
4	颗粒分析试验	154
5	界限含水率试验	163
6	击实试验	170
7	渗透试验	174
8	压缩试验	181
9	直接剪切试验	185
10	三轴压缩试验	189

第 8 章 混凝土结构基本原理实验

1	实验仪器及性能指标	197
2	钢筋混凝土梁的正截面受弯性能实验	198

3 混凝土强度的非破损检测技术 204

4 混凝土内部缺陷的超声法检测技术 217

5 建筑结构可靠性鉴定 222

参考文献..... 235

第1章 实验数据的统计处理

1 概述

研究材料的力学性能,首先应通过实验测试出性能参数,研究其规律(包括测试与结果的误差、数据的分布、测量不确定度、参数间的关系等),完善或建立其理论,并在工程中加以应用,最后通过实验来进行验证,可以说这是一门实验科学。因此,在做好实验的基础上,数据的统计处理就显得十分重要。

实验后(有时在实验时),对采集得到的数据进行整理换算、统计分析和归纳演绎,以得到代表力学性能的公式、图像、表格、数学模型和数值等,这就是数据处理。采集得到的数据是数据处理过程的原始数据,这些原始数据量大并有误差,有时杂乱无章,有时甚至有错误。所以,必须对原始数据进行处理,才能得到可靠的实验结果。

数据处理的内容和步骤包括:数据的记录和计算、数据的统计分析、数据的误差分析和数据的表示法。

2 数据的记录和计算

2.1 数据的记录

实验测量中,所使用的机器、仪表和量具,其标尺的最小分度值是随机器、仪表和量具的精度不同而不同的,应该根据实验要求和测量精度记录其有效数字。在测量时,除了直接从标尺读出可靠的刻度值外,还应该尽可能地读出其最小分度线的下一位估计值(只需一位)。例如,百分表测变形,百分表的最小刻度值是 0.01 mm ,其精度(仪器的最小刻度值代表了仪器的精度)即为 $1/100\text{ mm}$ 。但实际上,在最小刻度值间还可以作读数估计,例如可在百分表上读取 0.128 mm ,其中,最后一位数字8就是估计出来的。这种由测量得来的可靠数字和末位的估计数字所组成的数字称为有效数字。有效数字反映了测量的精确度,这在实验中必须予以重视。由此可见,有效数字的位数取决于测量仪器的精度,不能随意增减。多写了位数,损失了测量所得的精度,也不合理。数字0可以是有效数字,也可以不是有效数字。0作为有效数字,不要轻易舍掉。所以,在填写实验数据时,一定要注意其有效数字的位数应与仪器本身的精度相适应。例如用百分表测出的变形数据,其有效数字应取三位,即 0.128 mm 或 $128\times 10^{-3}\text{ mm}$ 。多次测量同一物理量,取测量结果的算术平均值作为该物理量的量值。

2.2 计算法则

数据处理中往往需要对不同准确度的数据进行运算,按照一定法则进行计算,既节省时间又不会产生错误,下面列举常用的基本计算法则。

①记录数据时,只保留一位可疑数字。

②有效数字以后数字舍弃方法:凡末位有效数字后的第一位数字大于5,则在末位上增加1;若小于5则舍去不计;如等于5而末位数为奇数则增加1;为偶数则舍去不计。

③计算有效数字位数时,如第一位数字大于或等于8,则可多算一位。如9.15虽然只有三位,但可作四位看待。

④进行加减法运算时,各数所保留的小数点后的位数应与各数中小数点位数最少的相同。如 $12.58+0.008\ 1+4.546$ 应写为 $12.58+0.01+4.55=17.14$,而不应算成17.144 1。

⑤进行乘除法运算时,各因子保留的位数以有效数字最少的为准,所得积或商的准确度不应高于准确度最低的因子。

⑥大于或等于4个的数据计算平均值时,有效位数增加一位。

3 数据的统计分析

数据处理时,统计分析是一个常用的方法,可以用统计分析从很多数据中找到一个或若干个代表值,也可以通过统计分析对试验的误差进行分析。以下介绍常用的统计分析的概念和计算方法。

3.1 平均值

平均值有算术平均值、几何平均值和加权平均值等。

算数平均值 $\bar{x}$ 为:

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

式中, $x_1, x_2, \cdots, x_n$ 为一组试验值,算数平均值在最小二乘法意义下是所求真值的最佳近似,是最常用的一种平均值。

几何平均值 $\bar{x}_a$ 为:

$$\bar{x}_a = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n} \quad (1-2)$$

或

$$\lg \bar{x}_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i \quad (1-3)$$

当对一组实验值(x_i)取常用对数($\lg x_i$)所得的图形的分布曲线更为对称(同 x_i 比较)时,常用此法。

加权平均值 $\bar{x}_w$ 为:

$$\bar{x}_w = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \cdots + w_n} \quad (1-4)$$

式中, w_i 为第 i 个试验值 x_i 的对应权, 在计算用不同方法或不同条件观测同一物理量的均值时, 可以对不同可靠程度的数据给予不同的“权”。

3.2 标准差

对一组实验值 $x_1, x_2, \cdots, x_n$, 当它们的可靠程度相同时, 其标准差 σ 为:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1-5)$$

当它们的可靠程度不同时, 其标准差 σ_w 为:

$$\sigma_w = \sqrt{\frac{1}{(n-1) \sum_{i=1}^n w_i} \sum_{i=1}^n w_i (x_i - \bar{x}_w)^2} \quad (1-6)$$

标准差反映了一组实验值在平均值附近的分散和偏离程度, 标准差越大表示分散和偏离程度越大, 反之则越小。它对一组实验值中的较大偏差反映比较敏感。

3.3 变异系数

变异系数 c_v 通常用来衡量数据的相对偏差程度, 它的定义为:

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (1-7a)$$

或

$$c_v = \frac{\sigma_w}{\bar{x}_w} \quad (1-7b)$$

式中, $\bar{x}$ 和 $\bar{x}_w$ 为平均值; σ 和 σ_w 为标准差。

3.4 随机变量和概率分布

力学实验的误差及材料的许多实验数据都是随机变量既有分散性和不确定性, 又有规律性。对随机变量, 应该用概率的方法来研究, 即对随机变量进行大量的测量, 对其进行统计分析, 从中演绎归纳出随机变量的统计规律及概率分布。

为了对力学性能实验(随机变量)进行统计分析, 得到它的分布函数, 需要进行大量(几百次以上)的测量, 由测量值得频率分布图来估计其概率分布。常用的概率分布有正态分布、二项分布、均匀分布、瑞利分布、 χ^2 分布、 t 分布和 F 分布等。

绘制频率分布图的步骤如下:

- ①按观测次序记录数据;
- ②按由大到小的次序重新排列数据;
- ③划分区间, 将数据分组;

④计算各区间数据出现的次数、频率(出现次数和全部测定次数之比)和累计频率;

⑤绘制频率直方图及累计频率图。

可将频率分别近似作为概率分布(概率是当测定次数趋于无穷大的各组频率),并由此推断实验结果服从何种概率分布。

4 数据的误差分析

4.1 误差的概念

在实验中,依靠各种仪器测量某个物理量时,由于主客观原因的影响,不可能测得该物理量的真值。因此,在测量中存在着误差。随着实验手段的不断改进,测量的精确度虽然会不断提高,但是误差仍然不可能完全消除。但是,只要实验工作者对误差分析得当,则一方面可以避免不必要的误差,另一方面可以正确地处理测量数据,使其最大限度地接近真值。

在对一些物理量进行测量时,被测对象的值是客观存在的,称为真值 x , 每次测量所得的值称为实测值(测量值) $x_i (i = 1, 2, 3, \dots, n)$ 。

$$a_i = x_i - x (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (1-8)$$

真值和测量值的差值称为测量误差,简称为误差;实际实验中,真值是无法确定的,常用平均值代表真值。由于各种主观和客观的原因,任何测量数据不可避免地都包含一定的误差。只有了解了实验误差的范围,才有可能正确估计实验所得到的结果。同时,对实验误差进行分析将有助于在实验中控制和减少误差的产生。

误差分析的目的如下:

- ①已知各个测量的误差,估计实验结果的最后误差;
- ②根据实验的目的和要求,确定各个测量所需要的精度,选择相应精度的仪器。

4.2 准确度与精密度的概念

准确度指所测数值与真值的符合程度。精密度指所测数值重复性的大小。在一组测量中,尽管精密度很高,但准确度不一定很好。若准确度很好,测精密度也一定高。

4.3 误差的分类

根据误差的性质及产生的原因,误差可分为三类:

(1)系统误差 它是由某些固定不变的因素所引起的,因此其出现有固定偏向和一定的规律性。如材料试验机测力盘的示值不准,所测得的力值总是偏大或偏小。又如用电阻应变仪测量应变时,仪器面板上的灵敏系数旋转存在误差。又如因为实验人员的观察习惯,观测读数与实际值总偏离一个常量等。系统误差可以采取适当的措施给予校正和消除。

(2)偶然误差 在测量中,如果已经消除引起系统误差的一切因素,而所测数据仍在

末一位或末二位数字上有差别,这类误差就是偶然误差。偶然误差时大时小,时正时负。单个偶然误差并无规律性,产生的原因一般都不清楚,因而无法控制。但是,在同样条件下对同一物理量进行多次测量,各次测量偶然误差的算术平均值随着测量次数的增加而逐渐接近于零。即偶然误差的总体符合统计规律。

(3)过失误差 过失误差是一种显然与事实不符的误差。它主要由于实验人员粗心大意、不按操作规程办事等原因造成,如读错仪表刻度(位数、正负号)、记录和计算错误等。过失误差一般数值较大,并且常与事实明显不符。必须把过失误差从实验数据中删除,还应分析出现过失误差的原因,采取措施以防止再次出现。

4.4 系统误差的消除

分析实验中的具体情况,可以尽可能地减少甚至消除系统误差。常用的方法如下:

(1)对称法 利用对称法进行实验可以消去由于载荷偏心等所引起的系统误差。如在做拉伸实验时,总是在试件两侧对称地装上引伸仪测量变形,取两侧变形的平均值来表示试件的变形,就可以消去载荷偏心的影响。

(2)校正法 经常对实验仪表进行校正,以减小因为仪表不准造成的系统误差。如根据计量部门规定,材料试验机的测力度盘(相对误差不能大于1%)必须每年用标准测力计(相对误差小于0.5%)校准;又如电阻应变仪的灵敏系数度盘,应定期用标准应变模拟仪进行校准。

(3)增量法 增量法也就是逐级加载法。当要测量某根杆件的变形或应变时,在比例极限内,载荷由 P_1 增加到 $P_2, P_3, \dots$, 在测量仪表上便可以读出各级载荷所对应的读数 $A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$, $\Delta A = A_i - A_{i-1}$ 称为读数差。各个读数差的平均值就是当载荷增加 ΔP (一般载荷都是等量增加) 时的平均变形或应变。

增量法可以避免某些系统误差的影响。如材料试验机如果有摩擦力 f (常量) 存在,则每次施加于试件上的真力为 $P_1 + f, P_2 + f, \dots$, 再取其增量 $\Delta P = (P_2 + f) - (P_1 + f) = P_2 - P_1$, 摩擦力 f 便消除了。又如某实验者读引伸仪时,习惯于把数字都读得偏高,如果采用增量法,而在实验进程中自始至终又都是同一个人读数,个人的偏向所带来的系统误差也就可以消除。

在实验过程中,记录人员如果能随时将读数差算出,还可以消除由于实验者粗心大意所造成的过失误差。在材料力学实验中,一般都采用增量法。

4.5 误差的计算

(1)相对误差 δ 在材料力学实验中把理论值作为真值 T , 若各次测量值的算术平均值为 $\bar{M}$, 则相对误差计算方法为:

$$\delta = \frac{T - \bar{M}}{T} \times 100\% \quad (1-9)$$

(2)标准离差 S 在多次测量中,常用标准差 S 来表示单个测量值或算术平均值的误差。在 n 次测量中,反映单个测量误差的标准离差为:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (M_i - M_1)^2}{n-1}} \quad (1-10)$$

S 越大,测量数据波动越大,测量精度越低; S 越小,测量精度越高。

根据概率论原理,最优值为:

$$T = \bar{M} \pm eS \quad (1-11)$$

上式中,若 $e = 0.6745$, T 出现的频率为 50%;而当 $e = 3$ 时, T 出现的频率为 99.37%。

4.6 间接测量误差的估计

在测定材料的弹性模量 E 时,需要测量试件直径 d 、长度 L 、力和变形,然后再计算 E 值。上述每一个物理量在测量中都存在误差,由于误差传递,所以计算得到的弹性模量 E 值也有误差,这就是间接误差。

设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为 n 个可以直接测得的独立物理量;而每一个物理量的绝对误差为 $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$; y 为间接测量。它们之间的关系可以用下面的函数形式表示为:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1-12)$$

因为单个物理量误差的存在而引起间接测量 y 的绝对误差为 Δy ,则:

$$\Delta y = f(x_1 + \Delta x_1, x_2 + \Delta x_2, \dots, x_n + \Delta x_n) - f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

根据泰勒公式展开,并略去高次无穷小项,得:

$$\Delta y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n - f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\text{即:} \quad \Delta y = \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n \quad (1-13)$$

其相对误差为

$$\delta_y = \frac{\Delta y}{y} = \frac{x_1}{y} \frac{\partial f}{\partial x_1} \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{x_2}{y} \frac{\partial f}{\partial x_2} \frac{\Delta x_2}{x_2} + \dots + \frac{x_n}{y} \frac{\partial f}{\partial x_n} \frac{\Delta x_n}{x_n}$$

而 $\delta_{x_1} = \frac{\Delta x_1}{x_1}, \delta_{x_2} = \frac{\Delta x_2}{x_2}, \delta_{x_n} = \frac{\Delta x_n}{x_n}$ 为各单个测量的相对误差,则:

$$\delta_y = \frac{x_1}{y} \frac{\partial f}{\partial x_1} \delta_{x_1} + \frac{x_2}{y} \frac{\partial f}{\partial x_2} \delta_{x_2} + \dots + \frac{x_n}{y} \frac{\partial f}{\partial x_n} \delta_{x_n} \quad (1-14)$$

对一些常用的函数形式,可以得到以下相对误差公式:

(1) 积的误差

$$\left. \begin{aligned} y &= x_1 x_2 \dots x_n \\ \delta_y &= \delta_{x_1} + \delta_{x_2} + \dots + \delta_{x_n} \end{aligned} \right\} \quad (1-15)$$

(2) 商的误差

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{x_1}{x_2} \\ \delta_y &= \delta_{x_1} + \delta_{x_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-16)$$

(3) 幂的误差

$$\left. \begin{aligned} y &= x_1^n \cdot x_2^n \\ \delta_y &= n\delta_{x_1} + m\delta_{x_2} \end{aligned} \right\} \quad (1-17)$$

(4) 开方的误差

$$\left. \begin{aligned} y &= x^{\frac{1}{n}} \\ \delta_y &= \frac{1}{n}\delta_x \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

例如:在测定弹性模量 E 时,按下式计算,即 $E = \frac{\Delta PL}{\Delta LA}$ 。在式中, ΔP 为载荷增量; L 为引伸仪标距; ΔL 为变形增量; A 为截面面积。

如果试件为圆截面,则 $A = \frac{\pi d^2}{4}$, 计算 E 的相对误差为:

$$\delta_E = \delta_{\Delta P} + \delta_L + \delta_{\Delta L} + 2\delta_d \quad (1-19)$$

从上式可以看出:试件直径的误差对结果影响较大,故做实验的时候,一方面要选择测量直径量具的精度,以与其他仪表相互协调,另一方面也要认真对待测量直径这一实验环节。

4.7 结论

根据以上分析,可以得到如下结论:

- ① 系统误差可以设法减少或避免;
- ② 偶然误差无法避免,但可反复多次测量,最后取算术平均值 $\bar{M}$, 此值即为最优值;
- ③ 如理论值已知,则可与 $\bar{M}$ 比较,计算其相对误差;
- ④ 若无理论值,则应计算方根误差,由此估计真值;
- ⑤ 已知直接测量精度,则可根据其组合情况,估计结果的最大相对误差;
- ⑥ 根据各个物理量的误差所占的地位,应对测量精度提出适当要求,以便选择合适的仪器。

5 数据的表示

通过实验得到的数据,应该采用一定的方法来加以表示,从而显示出各数值之间的相互关系,以供研究。最常用的有列表表示法、图像表示法、方程表示法(公式法)三种。

5.1 列表表示法

表格按其内容和格式可分为汇总表格和关系表格两类。汇总表把实验结果中的主要内容或实验中的某些重要数据汇集于一表之中,起着类似于摘要和结论的作用,表中的行

与行、列与列之间一般没有必然的关系;关系表格是把相互有关的数据按一定的格式列于表中,表中的行与行、列与列之间都有一定的关系,它的作用是使有一定关系的代表两个或若干个变量的数据更加清楚地表示出变量之间的关系和规律。

表格的主要组成部分和基本要求如下:

①每个表格都应该有一个表格名称,如果文章中有一个以上的表格时,还应该有的编号。表名和编号通常放在表的顶端。

②项目及参数名称、符号和单位应与现行标准相符。

③数值的写法要整齐统一,有效数字的取舍合乎相关标准及所用设备精度的要求,小数点要对齐等。

④不论何种表格,每列都必须有列名,它表示该列数据的意义和单位;列名都放在每列的头部,应把每列的列名都放在第一行对齐,如果第一行空间不够,可以把列名的部分内容放在表格下面的注解中。应尽量把主要的数据列或自变量列放在靠左边的位置。

⑤表格中的内容应尽量完整,能完整地说明问题。

⑥如果需要对表格中的内容加以说明,可以在表格的下面、紧挨着表格加一注解,不要把注解放在其他任何地方,以免混淆。

5.2 图像表示法

实验数据还可以用图像来表示,图像表达有曲线图、直方图、形态图和馅饼图等形式,其中最常用的是曲线图和形态图。

5.2.1 曲线图

曲线可以清楚、直观地显示两个或两个以上的变量直接关系的变化过程,或显示若干个变量数据沿某一区域的分布;曲线可以显示变化过程或分布范围中的转折点、最高点、最低点及周期变化的规律;对于定性分布和整体规律分析来说,曲线图是最合适的方法。

曲线图的主要组成部分和基本要求如下:

①每个曲线图都必须有图名,如果文章中有一个以上的曲线图,还应该有的编号。图名和图号通常放在图的底部。

②每个曲线应该有一个横坐标和一个或一个以上的纵坐标,每个坐标都应有名称;坐标的形式、比例和长度可根据数据的范围决定,但应该使整个曲线图清楚、准确地反映数据的规律。

③通常是取横坐标作为自变量,取纵坐标作为因变量。自变量通常只有一个,因变量可以有若干个;一个自变量与一个因变量可以组成一条曲线,一个曲线图中可以有若干条曲线。

④有若干条曲线时,可以用不同线型(实线、虚线、点画线和点线等)或用不同的标记(+、□、△、×等)加以区别,也可以用文字说明来区别。

⑤曲线必须以实验数据为依据,对实验时记录得到的连续曲线(如X—Y函数记录仪记录的曲线、光线示波器记录的振动曲线等),可以直接采用,或加以修整后采用;对实验时非连续记录得到的数据和把连续记录离散化得到的数据,可以用直线或曲线顺序相连,