

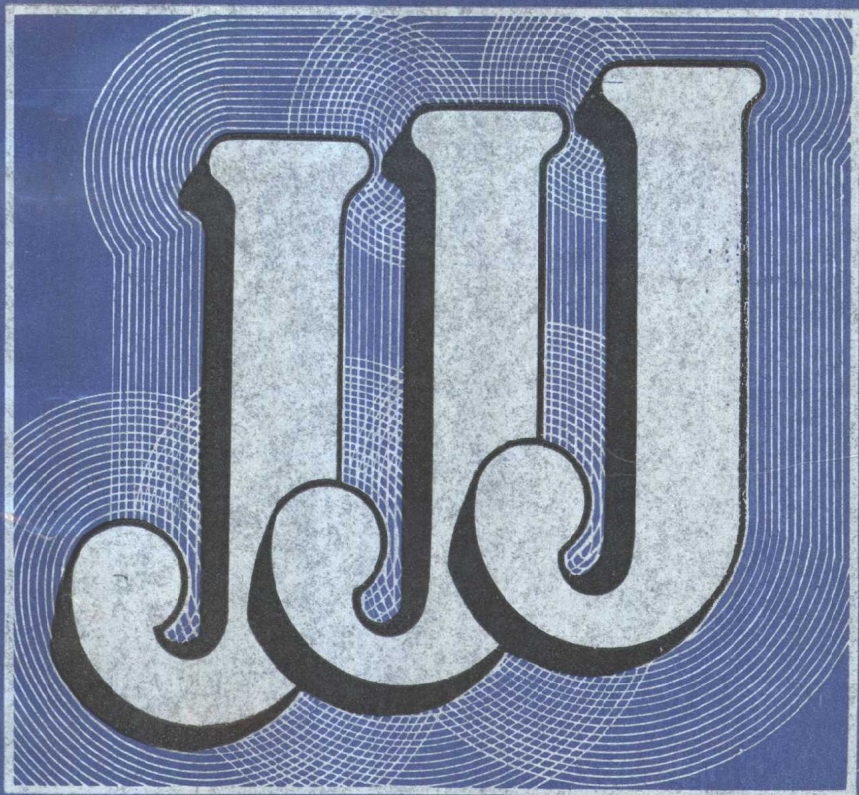
国家机械工业委员会统编

实验数据和误差的处理

(高级机械性能实验工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

实验数据和误差的处理

(高级机械性能实验工适用)

国家机械工业委员会统编

机械工业出版社

本书共分七章,一至四章主要介绍实验数据的表达方式,即实验数据的列表表示法,实验数据的图形表示法和实验数据的方程表示法以及内插与外推。第五、六章介绍实验结果的统计处理方法,即概率论和数理统计的基本概念,参数估计和假设检验。第七章介绍误差理论及其应用。

本书内容较系统,为了加深理解和便于应用,书中举了大量的例题。本书系物理金相实验工(高级技工)的教材之一,也可供从事材料机械性能试验的工程技术人员参考。

本书由国家机械工业委员会上海材料研究所凌树森编写,由陈运远、戎忠良审稿。

实验数据和误差的处理 (高级机械性能实验工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑:马明 版式设计:张世琴
封面设计:林胜利 方芬 责任校对:李广孚

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 $787 \times 1092^{1/32}$ · 印张 $4^{1/8}$ · 字数 87 千字
1988年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷
印数 00,001—13,000 · 定价:1.80 元

ISBN 7-111-01071-X/TG · 257

前 言

1981年,原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》,确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此,组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》,编写了相应的教材,有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作,初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况,取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订,原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求,而且缺少高级部分;编写的教材,由于时间仓促、经验不足,在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此,原机械工业部根据新《标准》,重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级),于1987年3月由国家机械工业委员会颁发,并根据培训计划、大纲的要求,编写了配套教材148种。

这套新教材的编写,体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神,坚持了文化课为技术基础课服务,技术基础课为专业课服务,专业课为提高操作技能和分解解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上,力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

本教材适用于高级 机械性能实验工

本工种需学习下列课程

初级：数学、机械识图、电工常识、量具与使用*、材料机械性能试验基础

中级：电工学、金属材料及热处理、无损检测技术、金属机械性能实验方法

高级：金属学与热处理、金属机械性能、试验数据和误差的处理方法、微处理机应用*

为便于企业开展培训，国家机械工业委员会教育局和机械工业出版社还组织编写出版了数学、机械识图、电工常识三种教材的习题集，并摄制出版了这三门课的电视教学录像片。

注：带*者未编写教材

目 录

前言

第一章 实验数据的列表表示法	1
第一节 什么是列表表示法	1
第二节 列表时的注意事项	2
第三节 数据的分度	6
复习题	8
第二章 实验数据的图形表示法	9
第一节 图纸的选择	9
第二节 坐标的分度	10
第三节 坐标分度值的标记	14
第四节 由实验数据描点	15
第五节 由数据点作曲线	16
第六节 注解说明	17
第七节 数据的来源	18
复习题	18
第三章 实验数据的方程表示法	19
第一节 经验公式的选择	19
第二节 经验公式中常数的求法	26
复习题	38
第四章 实验数据的内插与外推	39
第一节 内插法	39
第二节 外推法	47
复习题	51
第五章 概率论和数理统计的基本概念	53

VI

第一节 概率论的基本概念	53
第二节 数理统计	65
复习题	71
第六章 参数估计和假设检验	72
第一节 统计推断的两种方法	72
第二节 分布类型的图解检验法和参数的图解估计法	85
复习题	100
第七章 误差理论及其应用	102
第一节 误差的定义和分类	102
第二节 直接测定量的误差表示法	109
第三节 间接测量中误差的传递	116
复习题	123

第一章 实验数据的列表表示法

通过试验得到一组数据，碰到的第一个问题就是如何把它表示出来，以便使人一目了然，或作进一步分析时加以运算。

表达实验数据的方法一般说来有三种：列表法、图解法和公式法。这三种方法各有其优缺点，可以根据不同的要求来选择，下面分别对三种方法加以介绍。

第一节 什么是列表表示法

在进行材料的机械性能试验时，往往至少包含了两个变量，一个叫做自变量或独立变量，另一个叫做应变量或因变量。列表法就是将一组试验数据中的自变量和其相应的因变量的数组，按照一定的格式和顺序排列出来，呈一一对应的关系。

例如，对于某种材料，进行了不同温度下的抗拉试验，得到了一批数据，见表 1-1。表中温度是自变量，屈服点 σ_s ，抗拉强度 σ_b ，延伸率 δ_5 和收缩率 ψ 都是因变量，表 1-1 按照自变量递增的顺序，把其他 4 个因变量排列起来，可以明显地看出其变化趋势：屈服点和抗拉强度随着温度的升高而降低；延伸率和收缩率随着温度的升高而增大。

列表法有许多优点：（1）简单易作，不需要特殊的纸质和仪器；（2）数据便于参考比较；（3）形式紧凑；（4）同一表内可以同时表示几个变量间的变化关系，不会发生混乱；（5）如表中自变量 x 和因变量 y 之间有 $y = f(x)$ 的

表1-1 某种材料不同温度下的抗拉试验结果

试 验 温 度 (°C)	室温	+50	+100	+200	+300	+400	+500	+600
屈服点 σ_s (N/mm ²)	500	452	403	389	354	320	300	279
抗拉强度 σ_b (N/mm ²)	800	751	723	715	703	698	675	665
延伸率 δ_5 (%)	20.0	22.0	25.0	27.5	29.0	31.0	32.0	34.5
收缩率 ψ (%)	47.0	49.0	51.0	53.5	55.0	57.0	60.5	61.5

函数关系，不必知道函数的形式，就可对 $f(x)$ 求微分或积分。

关于表的形式，一般来说有定性式，统计式和函数式三种。本章仅讨论函数式。函数式表的特点，主要是自变量 x 和因变量 y 的各个对应值，均在表中按 x 的增加或减小的顺序——列出来，使人看了很清晰。一个完整的函数式表，见表 1-1，应该包括表的序号（即编号）、名称、项目、数据（单位）以及必要的说明（可用表注加以说明，例如数据摘引的来源，试验的条件等）。

第二节 列表时的注意事项

一、表号、表名及说明

每个表均要编序号，以便查找、引用。每个表都应有个名称，表的名称应尽量简明扼要，说明主题，表名切忌太长，有一些条件可在表注中加以说明，如试验的条件（温度、湿度、环境、介质、试验机；材料牌号、成分、热处理条件；取样方法、加工方法等）。各个表可以注最关键和重要的条件，不一定千篇一律全注上，其他的尽量在报告（试验报告或文章）中加以说明。如系摘引某文献的数据，则应在表注中加以说明。

二、项目

一个表的项目包括纵向(列)和横向(行)的项目,都要言简意明,要用本专业通用的名称,切忌自己硬造一个名称,以免引起别人误解。项目一般应包括名称、符号和单位,如表 1-1 中,屈服点是名称, σ_s 是符号, N/mm^2 是单位。当然,有时可以只写名称和符号,单位统一注在表右上角或表注中。表中的行和列均可作为自变量 x ,也可以作为因变量 y ,没有严格的规定,主要取决于 x 和 y 的个数多少,排列起来匀称即可。自变量 x 是试验中规定的数,如温度、碳或合金的含量、试样的某一尺寸、试验的速度、加载的频率、阻力曲线中裂纹的亚临界扩展量 Δa 等。因变量 y 则是要测定的材料性能指标,如抗拉强度、冲击韧性、断口晶状百分数、不同试样尺寸下的疲劳极限、不同 Δa 下的 J_R (J 积分值)、不同拉伸速度下的屈服点、不同冲击速度下的断裂韧性、不同时间下的持久强度等。

三、数值的写法

数值的写法应注意整齐统一,书写时应注意:

- 1) 数值为零时记为 0,数据空缺时或空白或划一斜线;
- 2) 同一列的数据,上下小数点要对齐;
- 3) 没数值为小数,如 0.05, 0.75 等,则个位上的 0 可以省去,写成 .05, .75;
- 4) 若各数值的有效数字位数很多,但在表中只有后面几位有变化,则只有第一个数值全写,后面的数值只要写其变化部分就行了。如:

299.728

.733

.738

.818

5) 当数值过大或过小时, 应以 10^+ 或 10^- 表示, n 为整数;

6) 若有效数字位数相同, 但各数值间的变化为数量级的变化, 则用 10^+ 表示较为方便。例如: 10365 和 20.768, 则可表示为 10.365×10^3 和 20.768。

四、自变量 x 间距的选择

列表时, x 常取整数或其他方便的值, 按增加或减小的顺序排列。相邻二数值之差 Δx 称为表差或间距。 Δx 的值不能过大或过小, 过大时则需要的内插过多, 且不准确; 过小时则表太繁, 表的篇幅显得太大。但当制表的目的是为了求变化速率或求总和时, Δx 越小所得结果越准确; 反之, 若制表的目的是为了求相邻数值的恒定比值, 则 Δx 稍大, 反而比较准确。例如, 我们在测定材料的疲劳裂纹扩展速率时, 需要得到裂纹长度 a 和循环周次 N 的对应数据, 这时间距

ΔN 就要取得小一点, 以提高 $\frac{da}{dN}$ 的准确度。

五、有效数字的位数

这里我们先介绍一下什么叫有效数字, 然后再讨论列表时如何确定有效数字的位数。

1. 什么叫有效数字 在表达某一数量时, 如果其中的每一个数字都是准确的、可靠的, 则它们就叫做有效数字。这可以分两种情况, 一种是纯粹理论计算式计算的结果, 如 π 、 e 、 $\sqrt{2}$ 和 $\frac{1}{2}$ 等, 它们可以根据需要, 计算得到任意位数的有效数字。因此, 这一类数量, 其有效数字的位数是无

限制的。

另一种是测量得到的结果，这一类数量，其末一位数字往往是估计得来的，因此具有一定的误差和不确定性。例如，测量一试样直径，我们用千分尺读得 10.47mm ，其含义是十位数上是 1，个位数上是 0，十分位上是 4，百分位上是 7。由于千分尺的精确度是 0.01mm ，所以百分位上的 7 已不大准确，而前面三位数是肯定准确、可靠的，最后一位的数字已带有估计的性质。所以对于测量结果来说，只允许保留最后一位不准确数字，而称此时所记的数字—— 10.47mm ，均为有效数字。

因此，所谓有效数字是指在表达一个数量时，其中的每一个数字都是准确的、可靠的，而只允许保留最后一位估计数字，这样就称这个数量的每一个数字为有效数字。

在鉴别有效数字时，特别要注意数字 0，它可以是有效数字，也可以不是有效数字。例如我们用不同精确度的天平称量两个试样，得到 30.05g 和 1.2010g ，在这两个数量中，所有 0 都是有效数字。在测量一个物体的长度时，得到 0.00320m ，这时前面三个零均非有效数字，因为这些 0 只与所取的单位有关，而与测量的精确度无关。如果采用毫米作单位，则前面三个 0 完全消失，变成 3.20mm ，故有效数字位数是 3 位。另外，象 12000m 和 13000g ，我们很难肯定其中的 0 是否是有效数字，这时最好用指数的表示法，用 10 的方次前面的数字代表有效数字。如 12000m 写为 $1.2 \times 10^4\text{m}$ ，则表示有效数字为二位；如把它写为 $1.20 \times 10^4\text{m}$ ，则表示有效数字为三位。现以下列长度测量为例，说明有效数字位数：(a) 123cm ；(b) 0.00123km ；(c) 12.03cm ；(d) 12.30cm ；(e) 12300cm 。其中测量 (a) 的有效数字为

394891

3 位；测量 (b) 的有效数字为 3 位，小数点后面的两个 0 仅供指示小数点的位置用。故测量 (a) 与 (b) 完全相同。测量 (c) 的有效数字是 4 位，测量 (d) 也是 4 位有效数字。而测量 (e) 的形式最为含混，使人看不出所测长度接近于米还是接近于厘米，因此，遇到这种情况，可将其表示为 $1.230 \times 10^4 \text{cm}$ ，则可看出有效数字为 4 位。

2. 表中有效数字位数的取法 表中所列的数据，其有效数字的位数应该取得适当。一般对于自变量 x ，均假定它没有误差，所以可用 300，400 代替 300.00，400.0 等。而因变量 y 的有效数字位数则取决于测定该数值时，所用的测试设备的精确度。凡该数值是根据理论计算得来的，则可认为其有效数字位数为无限制的，可以根据需要来选取，例如， π 的有效数字可以取 3.14，3.141，3.1415，和 3.14159 等等。而如果数据是由试验测得的，则其有效数字决定于试验的精确度。例如，测量拉伸试样的工作直径，其名义值为 10mm，若用千分尺来量，且该千分尺的精确度为 0.01mm，因此，试样直径的有效数字可以是 10.02，10.03 或 9.98，9.97 等，不能写成 10.020，10.030 或 9.980，9.970 等。因为小数点后面第三位的 0 已超出千分尺的精确度了。

第三节 数据的分度

一般由实验测得的数据，自变量和因变量的变化很不规则，应用起来很不方便。在列表时就必须考虑数据的分度。所谓数据的分度就是将表中所列的数据有规则的排列起来，即当自变量 x 作等间距顺序的变化时，因变量 y 也随之而变化。这样把原始数据经过加工后列出的表，查阅、引用和计算起来都比较方便。

数据的分度一般有四种方法：代入公式法、图解法、最小二乘法和差分图解法。

1. 代入公式法 改变某一因素（作为自变量 x ）后，测定某一机械性能指标（作为因变量 y ），在得到一定数量的数据的情况下，可以建立 y 与 x 的函数关系： $y = f(x)$ 。根据已得到的函数关系 $y = f(x)$ ，即可根据需要，取定 x 的分度大小，算出对应的 y 值，然后把一組組对应的 x 和 y 值列入表中。至于如何通过数据处理，从实验数据拟合得到函数关系 $y = f(x)$ ，将在本书第三章中介绍。

2. 图解法 先将原始数据（即试验测得的未进行分度的数据）点在 $x-y$ 直角坐标纸上，然后拟合这些点作一条光滑的曲线，这样就可以根据需要的分度大小，读出 x 与 y 的对应值，并列表。关于如何通过实验点作曲线，将在本书第二章内介绍之。

3. 最小二乘法 本方法以最小二乘法原理为基础。假定 Δx 为恒定值，曲线为抛物线式，则函数 y 的分度值 α 可用下式来计算：

$$\alpha = \frac{1}{35} [17y_0 + 12(y_1 + y_{-1}) - 3(y_2 + y_{-2})] \quad (1-1)$$

式中 $y_{-2}, y_{-1}, y_0, y_1, y_2$ ——未经分度时数据表中的相邻 5 个 y 值；

α —— y_0 的分度值。

当 α 求出后，在分度表中应以 α 代替 y_0 。

将坐标轴的原点移至 $(0, y_0)$ ，则上式简化为：

$$\alpha' = \frac{1}{35} [12(y'_1 + y'_{-1}) - 3(y'_2 + y'_{-2})] \quad (1-2)$$

在这个新原点的坐标系中， $y_0 = 0$ ，其中的 y'_1, y'_{-1} ，

y'_2 和 y'_1 则为移点后的各个 y 值, α 相当于对原坐标系中 y_0 的改正值。

4. 差分图解法 本方法在材料机械性能试验中用得极少, 且方法本身又较复杂, 故不在这里介绍了, 如果需要可参阅有关的参考书。

复 习 题

1. 什么是数据的列表表示法?
2. 列表表示法的优点有哪些?
3. 列表时应注意哪些事项?
4. 什么叫有效数字? 有效数字的位数如何确定? 指出下列数字的有效数字位数:

a) 125mm;

b) 0.000125km;

c) 12.05mm;

d) 12.5mm;

e) 1.25×10^2 mm;

f) 1.25×10^4 mm。

5. 什么叫数据的分度? 数据的分度有哪几种方法?

第二章 实验数据的图形表示法

实验数据的图形表示法，就是在直角坐标中用曲线（特殊情况下为直线）、曲面（或平面）、立体图等来表示实验数据。在材料的机械性能试验中，绝大多数是在平面直角坐标中，用曲线把实验数据表示出来。这种方法在实验数据整理中特别重要，它的优点是形象、直观，便于比较，对数据中的最高点、最低点、转折点、周期性和奇异性（即当自变量 x 趋于某一数值 x_0 时，对应的函数值趋于无穷大，这叫做函数的奇异性）等一目了然。此外，如果图形画得比较准确，则不必知道变量间的相互关系式即可进行函数的微分和积分。

如何将一组实验数据正确地用图形表示出来，一般可按下列七个步骤进行：

- 1) 图纸的选择；
- 2) 坐标的分度；
- 3) 坐标分度值的标记；
- 4) 根据数据描点；
- 5) 根据图上各点作曲线；
- 6) 注解和说明；
- 7) 数据的来源。

第一节 图纸的选择

画图以前，首先应选择图纸。选择图纸时，应考虑以下几点：