中等专业学校教材

化工机械检测实验

南京化工学校　潘传九　主编

化学工业出版社

中 等 专 业 学 校 教 材

化工机械检测实验

南京化工学校　潘传九　主编

化 学 工 业 出 版 社
·北　京·

（京）新登字 039 号

图书在版编目（CIP）数据

化工机械检测实验/潘传九主编．-北京：化学工业出版社，1996

中等专业学校教材

ISBN 7-5025-1685-9

Ⅰ．化…　Ⅱ．潘…　Ⅲ．化工机械-检测-实验-专业学校-教材　Ⅳ．TQ050.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字（96）第 15441 号

出版发行：化学工业出版社（北京市朝阳区惠新里 3 号）
社长：俸培宗　总编辑：蔡剑秋
经　销：新华书店北京发行所
印　刷：北京市燕山联营印刷厂印刷
装　订：三河市延风装订厂
版　次：1996 年 11 月第 1 版
印　次：1996 年 11 月第 1 次印刷
开　本：787×1092 1/16
印　张：12 1/4
字　数：314 千字
印　数：1—5000
定　价：10.00 元

前　言

本教材按照1987年11月在泸州化校召开的全国化工中专化工机械专业教材工作会议确定的《化工机械检测实验》教学大纲以及化工部教育司1988年8月颁布的指导性教学计划精神而编写，在1995年10月审稿过程中又遵循了化工部人教司1995年制订的教学计划的要求。

本教材作为化工中专化工机械专业的专业课教材，需要课堂教学与动手实验相结合。

随着我国社会主义市场经济的逐步建立和改革开放事业的不断发展，化工机械中专教育必须更加贴合工程实际，强调实用性，面向化工企业发展的需要。化工机械专业的教学实验，必须突破单纯验证课堂教学所述理论的框框，让学生了解和接触较新的化工机械测试技术；要渗入化工机械行业实用的工程实验项目，以增强实验教学的实用性；注意在实验中培养学生动手组织实验、正确获取实验数据和进行数据分析的能力。因此，在本教材的编写中，力求体现出化工机械测试技术、工程实用实验，以及学生实验能力的培养。本教材仅涉及部分应用较广并具有代表性的专业实验。在实际教学中应结合各地区工程界的实际需要、市场经济的需要和学校的具体情况安排教学。

本教材共分八章，第一、二、三章及实验一～实验五由南京化工学校潘传九编写，第四章、第八章第四节、实验六～实验八及实验十四由南京化工学校朱方鸣编写，第五、六、七章、第八章的第一～三节及实验九～实验十三由淮南化学工程学校朱满超编写。全书由南京化工学校潘传九任主编并负责统稿、整理。由上海化工学校高级讲师孙洁常主审，安徽化工学校高级讲师罗爱华、上海化工学校高级讲师李焙南、常州化工学校高级讲师张黎明等参审，对全部书稿进行了认真的审阅，提出了许多宝贵意见，在此表示衷心地感谢。

《化工机械检测实验》是在教改中出现的一门新课程，经验和资料都较缺乏，加之编者水平有限，一定有许多不足之处，欢迎广大读者多提宝贵意见，给予批评指正。

编　者

1995年10月

内 容 提 要

本书是根据化工部1988年颁布和1995年人教司制定的化工机械专业教学计划的要求编写的。

全书共八章，主要介绍了实验误差分析和数据处理、压力容器的应力测量、压力容器的整体试验、化工机械无损检测、化工机器试验技术基础，离心泵性能试验、活塞式压缩机性能试验、振动试验等。附录中列入了14项实验的要点。

本书是中专化工机械专业教材，也可供有关工程技术人员参考。

目　　录

绪　论

为化学工艺过程服务的化工机械，在现代化工生产中举足轻重，为了确保化工机械设备处于优良状态，以满足化工生产安全、稳定、满负荷、长周期生产的需要，在化工机械设备的使用管理、制造、检验乃至设计和开发研究中，都需要具有较强的测试与故障诊断能力。学习本课程，不仅仅是为了用实验来验证专业理论，更重要的是学习了解现代测试技术在化工机械中的应用，掌握化工机械主要技术参数的测试原理、装置和实验方法，包括一些工程中实用的化工机械实验；同时通过本课程及其实验的学习，加强动手能力，掌握一些实验技术，增强在实践中获取新的知识、解决实际问题的能力。

本课程的内容包括测试误差的分析和数据处理、压力容器的应力测量和整体实验、化工机械的无损检测、化工机器中离心泵和活塞式压缩机的有关实验，以及转子振动实验等。

本课程是一门实践性很强的课程。在学习中要坚持课堂学习和实验实践并重的原则。在进行实验时，最好能根据实验的目的，自己考虑实验所必须的装置、实验的方法步骤、实验应该测定的数据和实验结果的分析，从而有效地培养独立进行实验的能力。

有条件的学校应逐步不同程度地对学生开放实验室。

第一章　误差分析和数据处理

人们在做实验时，一般都需要运用一定的方法、使用某些装置或仪器仪表来测量出一些数据，通过对这些数据的分析，得出某些结论。这些测量出的数据一般都不可避免地存在误差，因此，对实验数据要进行误差分析和数据处理。本章介绍这方面的基本知识。

第一节　基本概念

一、真值、实验值、理论值和误差

真值是客观存在的某个物理量的真实值。实验值是用实验方法测量得到的某个物理量的数值。例如，用电阻应变片测量得到的容器受载后的应变值就是测量值。严格地说，我们只能测得真值的近似值。测量得到的实验值与真值的差值称为实验误差。

理论值是用理论公式计算得到的某个物理量的数值。例如用无力矩理论公式计算得到的容器受载后的应力值就是理论值。理论值与真值的差值称为理论误差。

以下只讨论实验误差。

二、实验误差的类型

根据实验误差的性质及产生的原因，可将其分为系统误差、偶然误差和过失误差三种类型。

系统误差（又称恒定误差）是由某些固定不变的因素引起的，它总是使测量值与真值间的差值有固定偏向或有相接近的大小。例如仪器灵敏系数放置值如果偏大于应变片灵敏度系数，则测出的应变值总是偏小。系统误差有固定偏向和一定规律，可根据具体原因采取适当措施加以校正和消除。

偶然误差（又称随机误差）是由不易控制的多种原因造成的，没有固定的大小和偏向，是随机性的，测量前无法预测其误差的偏向和大小。例如用千分尺测量某钢球直径，在相同条件下，多次测得的数据都不尽相同，其中就包含偶然误差。但是，偶然误差也有其规律，即数据时大时小，常围绕某一中间值上下波动，当测量次数足够多时，可发现偶然误差服从统计规律，其大小和正负的出现由概率决定。

过失误差是明显与实际不符的误差，主要是由于实验人员粗心、不熟悉、操作不当或过度疲劳造成。例如读错刻度、记录或计算差错等。此类误差只能靠认真细致地正确操作和校对才能避免。

三、准确度和精密度

准确度是指测量值与真值接近的程度，精密度是指多次测量所得数据的重复程度。以打靶为例，图1—1中（b）图表示精密度高但准确度不高，即打中靶的位置（测量值）较集中但离靶心（真值）较远；(a) 图表示准确度和精密度都高；(c) 图表示两者都不高。精密度主要由偶然误差决定，偶然误差小则精密度高；准确度主要由系统误差决定，系统误差小则准确度高。

四、有效数字

测量的结果常常要用一些数字来表示，这些数字代表了被测量量的近似值。应该用多少位数来表达测量的结果呢？并不是越多越好，而是要恰到好处，能正确反映测量的准确度。这样的数字称为有效数字。同样，根据测量的结果进行数字运算处理时，也存在着计算结果的有效数字问题。

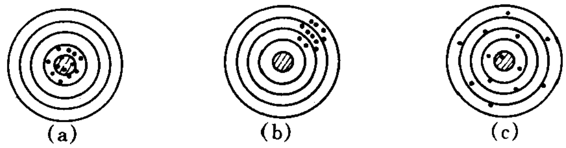

图 1—1　打靶结果与准确度和精确度

从仪表的读数指针盘上读取数据时，一般最后一个数字是估计出来的。如图 1—2（a）上电压表的指针停在 3V 至 4V 之间，凭观察约在 3 到 4 之间 1/5 的地方，读为 3.2V。这说明 3 是可靠的，而 2 是估计出来的，不一定准确，应理解为数值在 3.1～3.3 之间，有两位有效数字。若写为 3.20 便是三位有效数字，理解为数值在 3.19～3.20 之间。显然，此例中的仪表不可能达到如此高的精度。

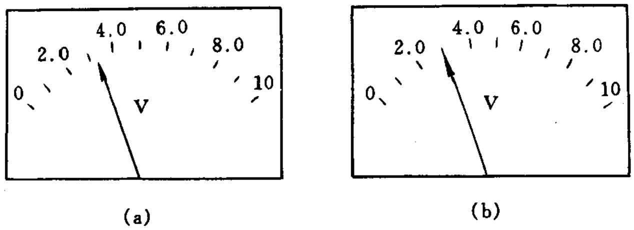

图 1—2　有效数字读取图

在图 1—2（b）上，记录数值时认为指针刚好在 3 上应记录为 3.0V，使之保留有两位有效数字，这时理解为数值在 2.9～3.1 之间。若记录为 3V 则只有一位有效数字，理解为数值在 2V～4V 之间，这样就降低了仪表实际上可能达到的精度。总之，测量值的最后一位数字是估计值，它可能在一定的误差范围内变动。对一般仪表可以估计到最小刻度的十分之一，所以有效数字可取到比最小刻度多一位（末位上有±1 个单位的误差）。对于数字式显示仪表，除了仪表本身所固有的误差外，同样有在显示数值的最后一位上±1 个单位的误差。

数值的写法由于单位不同而不同。如上例中 3.2V 是以伏为单位，若以 kV 为单位则变成 0.0032kV，这时第一个非零数字以前的零只是定义不同单位而存在的，它不作为有效数字的位数，所以有效数字位数仍是二位，可能的误差为±0.0001kV，不会发生误解。当取 mV 为单位时，有人可能写成 3200mV，这时后面的两个零是因单位变动加上的，但从有效数字的位数来说 3200 是四位的有效数字，被理解为具有±1mV 的读数误差，显然远非这仪器所能达到的，这容易引起误解。在这些场合下应该使用科学记数法将之表示为 3.2×10^3（mV），这样就清楚的表达了有效数字的位数而不会被误解。

在处理测量所得的数字时，往往要进行一些计算处理，计算结果的有效数字常按下面的一些规则来决定。

（1）对于每个数据，通常理解在末位上有±(0.5～1)个单位的误差。

（2）当有效数字位数确定后，不必要的位数就要弃去。舍弃的原则通常为“四舍五入”。小于保留最低单位值 0.5 的就舍去，大于保留最低单位值 0.5 的就在最低单位上加上 1。等于 0.5 时则最低位值原为奇数时加 1；原为偶数时则舍去不变。如：

0.445（三位），舍入为二位时是 0.44，舍入为一位时是 0.4；67.5（三位），舍入为二

位时是 68，舍入为一位时是 7×10^1；66.5（三位），舍入为二位时是 66，舍入为一位时是 7×10^1。

(3) 计算有效数字位数时，若第一位有效数字是 8 或 9，有效数字可认作多一位。例如 0.0913 可认为有效数字是四位。

(4) 在加减法运算中，其结果的小数点后面的有效数字，保留到与参加运算各数据中小数点后位数最少者相同。手算时为简易计算，可先将各数据舍入到比计算结果小数点后的位数多一位，然后再进行运算，最后将运算结果舍入到要求的位数，如：2.635＋0.9（小数点后位数最少）＋1.52＋0.725→2.64＋0.9＋1.52＋0.72→5.78→5.8（和 0.9 具有相同的小数点后位数），如：$476+23\times10^1$（两位有效数字）→$(47.6+23)\times10^1$→$(70.6)\times10^1$→71×10^1（和 23×10^1 具有相同的小数点后位数）。

(5) 在乘除法运算中，结果的有效数字位数与参加运算各数据中有效位数最小者相同。手算时为简易计算，可先将各数据舍入到比结果多一位有效数字。

如：测量圆柱体的直径（d）为 3.21m，高（h）为 0.051m，用此数据计算圆柱体的体积（$\pi d^2h/4$）$=\pi\times(3.21)^2\times0.051$（有效数字位数最少为二位）$/4.00\rightarrow3.14\times3.21\times3.21\times0.051/4.00\rightarrow0.413\rightarrow0.41(m^3)$（0.41 和 0.051 具有相同的有效数字位数）。

(6) 一些常数，如上例中的 π，4 等可视实际的需要而取任意多的有效数字位数。

(7) 对数计算中对数和真数的有效数字位数可认作相同。

(8) 在统计计算中，四个数或超过四个数相平均，则平均值有效数字位数可增加一位。

第二节　偶然误差理论

一、偶然误差的正态分布

从大量偶然误差的分布曲线中可总结出如下特性：

(1) 小误差出现的机会多，大误差出现的机会少，绝对值很大的误差出现的概率近于零。

(2) 绝对值相等的正负误差出现的概率接近相等。

高斯于 1795 年找出了能表达上述特性的误差函数形式，该式被称为正态分布密度函数：

$$y=\frac{1}{\sqrt{2\pi}S}e^{-x^2/2S^2} \tag{1—1}$$

或
$$y=\exp(-x^2/(2S^2))/(\sqrt{2\pi}S)$$

式中　S——标准误差。

图 1—3 是两条正态分布密度函数曲线，这类曲线又可称为高斯正态分布曲线。当 $x=0$ 时，出现 y 的最大值 $1/(\sqrt{2\pi}S)$，也就是出现曲线的最高高度。可见 S 越小，曲线越高。图中 $S_1<S_2$。

高斯正态分布曲线的中部曲线向下凹，两端曲线向上凹，转折点是在 $x=\pm S$ 处。在 $x=-S\sim+S$ 范围内曲线下的面积，就是在标准误差 $\pm S$ 区间内的概率总和，其值为 68.3%；在 $\pm2S$ 区间内的概率总和为 95.4%；在 $\pm3S$ 范围内的概率总和为 99.7%。如果用 x 坐标表示测量值，用 y 表示测量值出现的概率密度，则图形如图 1—4 所示，函数式为：

$$y=\exp(-(x-m)^2/(2S^2))/(\sqrt{2\pi}S)$$

与图 1—3 比较，整修曲线仅在 x 坐标上位移了 m 值而其余不变。m 值的位置反映了具有随机误差的测量值分布的中心，即测量值是以 m 值为中心而随机变化。

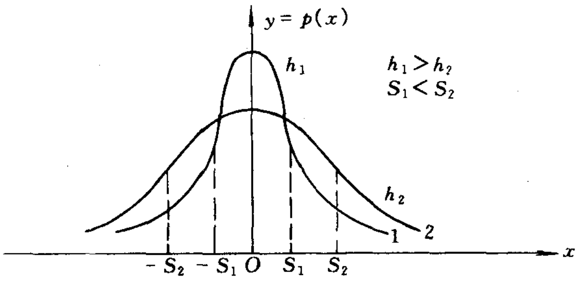

图 1—3 高斯正态分布曲线

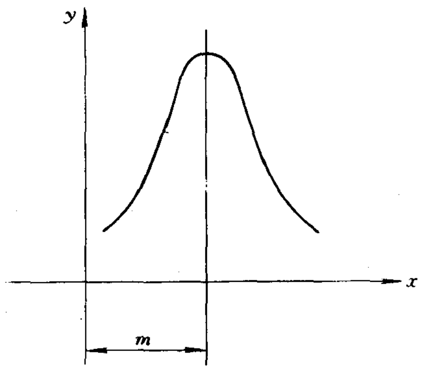

图 1-4 （$m \neq 0$）高斯正态分布曲线

二、偶然误差的表示方法

1. 算术平均值（m） 由于存在随机误差，在对同一大小的物理量进行多次（n 次）测量后，得到的测量值为 m_1，m_2，……m_n。由高斯正态分布误差规律可知，其最佳值是算术平均值。所以我们将多次重复测量的平均值作为最靠近真值的结果。重复次数越多靠近真值的程度越高。但次数增加到一定程度继续靠近真值的效果就不明显了。一般取次数大于 10 次。对于精度要求高的则应取多于 30 次。

平均值表示为：

$$\overline{m}=\sum_{i=1}^{n} m_i/n \tag{1—2}$$

2. 标准误差（S）或称均方根误差

$$S=\sqrt{\sum_{i=1}^{n} d_i^2/n} \tag{1—3}$$

式中 d_i——各个测量值与真值之差。

当测量次数有限时，取算术平均值代替真值，此时的标准误差称为样本标准误差，计算式为：

$$S=\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(m_i-\overline{m})^2/(n-1)} \tag{1—4}$$

标准误差反映了随机误差的分散程度。它对测量中的较大或较小误差反映比较灵敏，是表示测量精密度的较好方法。从上面介绍的高斯曲线下的面积比例情况可以看到，测量值出现在 $m \pm S$ 范围的概率为 68.3%；出现在 $m \pm 2S$ 范围的概率为 95.4%；出现在 $m \pm 3S$ 范围的概率为 99.7%。反过来讲，测量值的可信任程度（置信度）为 95.4%时其值应在 $m \pm 2S$ 范围，置信度为 95%时，测量值应在 $m \pm 1.96S$ 范围。或说测量值出现在 $m \pm 1.96S$ 范围以外的概率只有 5%。

第三节 可疑数据的舍弃

在相同条件下进行同一量值的多次测量时，有时会出现个别过大或过小的数据，这是

随机误差造成的还是过失误差造成的呢？应加以分析判断。如果有充分的理由说明这种数据是由于工作失误或其他物理原因造成的，自然应当舍弃。但如果分析不出原因、没有充分理由时，则应由偶然误差理论来决定是否舍弃。

由高斯正态分布曲线可知，测量值误差在$\pm 3S$范围内的概率为99.7%，所以若测量1000次，则可能有3次测量的误差超出$\pm 3S$范围；若测量10次则只有0.03次可能。可见，测量中大的随机误差出现的可能性和测量次数有关。当测量次数较少时，一般不会出现有很大随机误差的数据，如果此时仍出现大误差数据，则该数据中可能包含了随机误差以外的过失误差，应当经分析后决定是否舍去。常用的分析方法是肖维纳（Chauvenlt）方法和格拉布斯（Grubbs）方法。

一、肖维纳方法

如果在同一状态下，对某一物理量测量n次，则每个测量值出现的概率是$\frac{1}{n}$次。肖维纳方法取测量值出现的概率为$\frac{1}{n}$的一半即$\frac{1}{2n}$作为是否舍去测量值的界线。亦即，n次测量数据中的某个数据，如果在高斯正态分布曲线中出现的概率比$\frac{1}{2n}$小，则该数据应当舍去。

例如，测量10次，$\frac{1}{2n}=\frac{1}{20}=5\%$，则出现的概率不足5%的测量值，其数值大小在$m\pm 1.96S$范围以外（计算时用$S_m$代替$S$）。若这样的数据出现，则舍弃掉。表1—1就是按这种规则制定的。具体计算步骤如下：

（1）计算算术平均值$\overline{m}$。

（2）计算样本标准误差S_m。

（3）查表1—1得t_c，计算。

（4）舍去在$\overline{m}\pm t_c S_m$范围以外的数据。

（5）用全部没有舍去的数据继续上述步骤，直至没有数据被舍去。

表1—1　肖维纳方法t_c系数表

n	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
t_c	1.65	1.73	1.79	1.86	1.92	1.96	2.00	2.04	2.07	2.10	2.13
n	16	17	18	19	20	30	40	50	60	80	100
t_c	2.16	2.18	2.20	2.22	2.24	2.39	2.50	2.58	2.64	2.74	2.81

二、格拉布斯方法

格拉布斯认为，测量次数较少时，用测量次数无限多的高斯正态分布曲线来判断取舍不够准确；因而，他引入了不同测量次数下各种置信度所对应的取值范围系数t_G，舍去$m\pm t_G S_m$以外的数据。t_G值见表1—2。

【例1】 对某零件进行应变测量，同一状态下对某点测取了10次数据（单位为$\mu\varepsilon$）：310；308；322；292；304；298；336；292；300；366。试用格拉布斯方法和肖维纳方法分析数据的弃舍。

【解】 由10个测量值计算：

（1）算术平均值　$\overline{m}=\sum_{i=1}^{10} m_i/10=312.8$。

（2）样本标准误差 $S_m=\sqrt{\sum_{i=1}^{10}(m_i-\overline{m})^2/9}=23.1$。

（3）查表 1—2 得置信度为 95%时，$t_G=2.18$，

$m''=\overline{m}\pm2.18S_m=312.8\pm2.18\times23.1=363.2\sim262.4$；查表 1—1 得 $t_c=1.96$，

$m'=m\pm1.96S_m=312.8\pm1.96\times23.1=358.1\sim267.5$。

（4）因 366>363.3，且 366>358.1，故按二种方法都应舍去 366。

（5）弃 366 后余下 9 个数据，计算得：

$$\overline{m}=306.9$$

$$S_m=14.4$$

查表得 $t_G=2.11$，$t_c=1.92$

$m'=306.9\pm2.11\times14.4=337.3\sim276.5$，九个数据均在此范围，

$m''=306.9\pm1.92\times14.4=334.5\sim279.3$，

366>334，舍弃 336。

（6）按肖难纳方法，弃 336 后余下 8 个数据，计算：

$$\overline{m}=303.3$$

$$S_m=10.1$$

$m''=303.3\pm1.86\times10.1=322.1\sim284.5$，八个数据都在此范围。

表 1—2 各种置信度下格拉布斯方法 t_G 系数表

测量次数	置信度			测量次数	置信度		
	95%	97.5%	99%		95%	97.5%	99%
3	1.15	1.15	1.15	19	2.53	2.68	2.85
4	1.46	1.48	1.49	20	2.56	2.71	2.88
5	1.67	1.71	1.75	21	2.58	2.73	2.91
6	1.82	1.89	1.94	22	2.60	2.76	2.94
7	1.94	2.02	2.10	23	2.62	2.78	2.96
8	2.03	2.13	2.22	24	2.64	2.80	2.99
9	2.11	2.21	2.32	25	2.66	2.82	3.01
10	2.18	2.29	2.41	30	2.75	2.91	
11	2.23	2.36	2.48	35	2.82	2.98	
12	2.29	2.41	2.55	40	2.87	3.04	
13	2.33	2.46	2.61	45	2.92	3.09	
14	2.37	2.51	2.66	50	2.96	3.13	
15	2.41	2.55	2.71	60	3.03	3.20	
16	2.44	2.59	2.75	70	3.09	3.26	
17	2.47	2.62	2.79	80	3.14	3.31	
18	2.50	2.65	2.82	100	3.21	3.38	

由上例可见，格拉布斯方法比肖维纳方法不易舍去可疑数据。

第四节 间接测量的误差估计

上面的分析是对直接测量数据的分析，而在实验过程中，有些物理量不是直接测量出来的，而是先直接测量出另外一些物理量，然后进行计算得到的。例如用电阻应变片测量平面应力，是先测量两个互相垂直方向的应变，并查出或测出被测材料的弹性模量 E、泊松

比 μ，然后，使用虎克定律公式：

$$\sigma_1=\frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_1+\mu\varepsilon_2)$$

$$\sigma_2=\frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_2+\mu\varepsilon_1)$$

将应力计算出来。又如，机器的输出功率可以通过测量输出轴的应变并换算出扭矩，再测量出输出轴的转速，利用转速乘扭矩而得出功率。在各原始的测量值有误差的情况下，如何估计综合结果的最可依赖值和误差范围呢？

根据分析，间接测量的最可信赖的值是由各个直接测量值的算术平均值所计算出的数值。设综合量 u 是直接测量量 x、y、z 的函数，即：

$$u=f(x、y、z) \tag{1—5}$$

x、y、z 的测量结果的算术平均值为 $\bar{x}$、$\bar{y}$、$\bar{z}$，则 u 的最可信赖值 $\bar{u}$（也就是算术平均值）为：

$$\bar{u}=f(\bar{x},\bar{y},\bar{z}) \tag{1—6}$$

若 $\bar{x}$、$\bar{y}$、$\bar{z}$ 的误差（与真值的差值）分别为 $\Delta\bar{x}$、$\Delta\bar{y}$、$\Delta\bar{z}$，则按泰勒公式展开并略去高阶项，可得：

$$\bar{u}+\Delta\bar{u}=f(\bar{x},\bar{y},\bar{z})+\frac{\partial f}{\partial x}\Delta\bar{x}+\frac{\partial f}{\partial y}\Delta\bar{y}+\frac{\partial f}{\partial z}\Delta\bar{z}$$

即误差为：

$$\Delta\bar{u}=\frac{\partial f}{\partial\bar{x}}\Delta\bar{x}+\frac{\partial f}{\partial\bar{y}}\Delta\bar{y}+\frac{\partial f}{\partial\bar{z}}\Delta\bar{z} \tag{1—7}$$

由于算术平均值的误差和单次测量误差有如下关系：

$$\Delta\bar{x}=\frac{1}{\sqrt{n}}\Delta x_i=\sqrt{\frac{\sum\limits_{i=1}^{n}(x_j-\bar{x})^2}{n(n-1)}} \tag{1—8}$$

所以间接测量的平均误差：

$$\begin{aligned}\Delta\bar{u}&=\frac{\partial f}{\partial x_i}\frac{1}{\sqrt{n}}\Delta x_i+\frac{\partial f}{\partial y_i}\frac{1}{\sqrt{n}}\Delta y_i+\frac{\partial f}{\partial z}\frac{1}{\sqrt{n}}\Delta z_i\\&=\frac{1}{\sqrt{n}}\left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\Delta x_i+\frac{\partial f}{\partial y_i}\Delta y_i+\frac{\partial f}{\partial z_i}\Delta z_i\right)\\&=\frac{1}{\sqrt{n}}\Delta u_i\end{aligned} \tag{1—9}$$

即间接测量的平均误差 $\Delta\bar{u}$ 是单次测量计算的误差 Δu_i 的 $\frac{1}{\sqrt{n}}$ 倍。

第五节　实验数据的表示方法

在实验中通过测量得到的数据一般要加以整理归纳，用一定的方式表示出各数值之间的关系，以便于进一步分析和使用。实验数据的表示方法一般有图示法、列表法和方程表示法三种。这三种方法各有优缺点，主要根据需要和经验选择使用。

一、图示法

图示法是一种把数据用图形表示出来的方法，在数据整理上这种方法最重要，其优点是形式直观，便于比较，能显示数据中最大或最小值、转折点或周期性等特点。此外，若

图形作得准确，可以从图上直接求积分或微分，而不必知道变量间的数量关系式。

作图方法通常有以下几个步骤：图纸和坐标系的选择；坐标分度；根据数据描点；作曲线；注解说明。

现将作图方法的要点简单说明如下。

1. 坐标的选择　直线是所有线段中最简单的线，但却相当普遍，使用起来也最方便。一些曲线关系，通过变量的置换也可表现为直线，例如，双曲线 $y=b+\frac{1}{x}$，令 $X=\frac{1}{x}$，用 X 作图，也就成了直线 $y=b+X$。所以，根据变量之间的关系作图时，最好将变量加以变换，使作出的图形尽可能成为直线。作图常用的坐标除了直角坐标以外，还有以下几种：

（1）以 $\log x$ 与 y 作图（半对数坐标）；

（2）以 $\log x$ 与 $\log y$ 作图（对数坐标）；

（3）以 x^n 与 y 作图，n 等于 1、2、3 等；

（4）以 x 与 $1/y$ 或以 $1/x$ 与 y 或以 $1/x$ 与 $1/y$ 作图。

画图时，x 坐标轴永远代表自变量，y 坐标轴永远代表因变量。

2. 坐标分度与标记　坐标的分度应使每一点在坐标纸上能迅速方便地找到，一般直角坐标纸的各坐标线的间距以分格为 1，2，5 最方便，应避免 3，6，7，9 分格。

坐标的最小分格应与被表示量相邻数据的差值 Δx、Δy 基本差不多，在同一数量级。如图 1—5 所示，（a）图分度合理，（b）图纵轴分度过细，（c）图纵轴分度过粗。分度过细超过实验精度，会造成曲线的人为弯曲，具有虚假精度和读出无效数字；分度过粗又降低了实验精度，曲线过于平直。坐标分度值不一定从 0 开始，在一组数据中，自变量和因变量都有最小值和最大值，分度时可用小于最小值的某一整数作起点，大于最大值的某一整数作终点，以使所得图形在坐标纸上占得较满为合适。

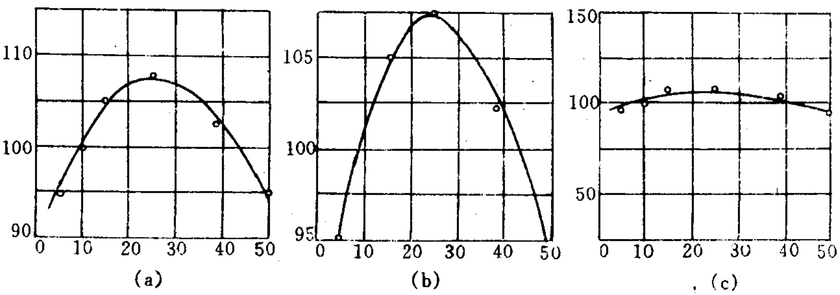

图 1—5　分度不同的比较

要标出主坐标分度值以便读数，标记数值的有效位数要与原数据的有效位数相同，如在图中能区别 4.50 和 4.51 时，分度标记应用 4.50 而不能用 4.5。

3. 根据数据描点　对于只看变化趋势的情况，则将数据点描在图纸上即可。对于作为准确实验工具用的曲线图，则要按一定规则描点，由于实验数据都有一定误差，因此画图时，不能简单描点，而应用一矩形表示。矩形两边分别代表自变量和因变量的误差，中心代表算术平均值，真值应在此矩形内（见图 1—6）。用两倍标准误差作误差的合理范围，这样所得曲线介于两虚线间的概率为 95%。若同一图中表示几组不同数据，应当用不同符号加以区别。

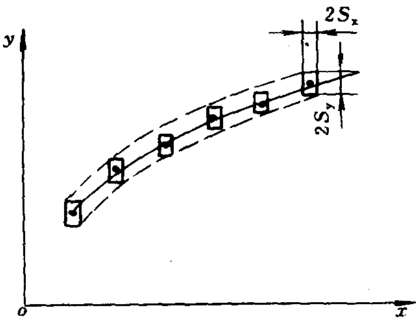

图 1—6 描点示意图

4. 作曲线方法 对于实验数据足够多、完全可能作出一条连续光滑曲线的情况，作曲线应按以下原则：

(1) 曲线一般应光滑均匀，只有少数转折点。

(2) 曲线应尽量与所有点相接近，但不必通过图上的每个点，尤其是两端点的任一点，一般讲两端点精度较差。

(3) 曲线一般不应有不连续点或奇异点。

(4) 所作曲线应使位于曲线一侧的点数与位于另一侧的点数近于相等。

二、列表法

所有测量至少包括两个变量，一个是自变量，另一个是因变量。列表法就是将一组实验数据中的自变量、因变量的各个数值依一定形式和顺序一一对应排列成表格。

1. 列表法的优点 (1) 简单易作，不需特殊的纸质和仪器。(2) 形式紧凑。(3) 数据易于参考比较。(4) 同一表内可同时表示几个变量间的变化而不混乱。(5) 表中所列的 x、y 数据在未知 xy 之间数学关系式时就可对 y 求微分或积分。

2. 列表要求 (1) 完整的列表应包括表、序号、名称、项目、说明和数据来源等项。(2) 表名称应简明扼要，一目了然，项目应包括名称和单位，一般用公认的符号代表，主项习惯代表自变量 x，副项代表 y。自变量一般选择为实验能直接测量的物理量，如温度、压力、时间等。(3) 数值写法应整齐统一。例如同一竖行的数值其小数点和各位数应上下对齐。数值过大或过小时用 10^{+n}或 10^{-n}表示（n 为整数）。(4) 自变量 x 间距的选择，一般 Δx 为 1，2 或 5 乘以 10^n。Δx 不能过大或过小，过小则表太繁且篇幅太大，过大时需内插过多且不准确。(5) 有效位数。表中所有数值的有效位数应取舍合理，自变量假定其无误差，因变量 y 的位数取决于实验精确度。

3. 数据的分度 在一般情况下，通过实验测得的一组数据中，自变量或因变量的变化通常不够规则，应用也不方便，而且原始实验数据未经处理可能包含一些错误（如异常的可疑数据等），使表格数值不准确。数据的分度就是将表中所列数据更有规则地排列起来，当自变量作等间距顺序变化时，因变量亦随之渐变，这样的表应用方便且较准确。

数据分度的方法有图解法、最小二乘法、差分图解法等。常用的图解法是采用图形表示法，先将原始数据在坐标纸上描点作出光滑曲线，然后按规则的 x 间隔在曲线上逐个读出 y 的数值列成表格。

三、方程表示法

一组实验数据用上述两种方法表示后，有时还需要用一个方程式或经验公式将数据表示出来，其优点是形式紧凑，而且便于进行数学运算。

一个理想的经验公式既要求形式简单、所含任意常数不要太多，又要求它能够准确地代表实验结果，这两种要求常互相矛盾，有时只能照顾必要的准确度而形式上较复杂些。

由实验数据找经验公式还没有简单的方法，通常是先用一组实验数据画图，根据图形和经验以及解析几何原理，推测出经验公式应有的形式，然后用实验数据去验证，若此形式不合适，则另立新的形式重新验证，直到满意为止。最简单的经验公式为直线式，因此，