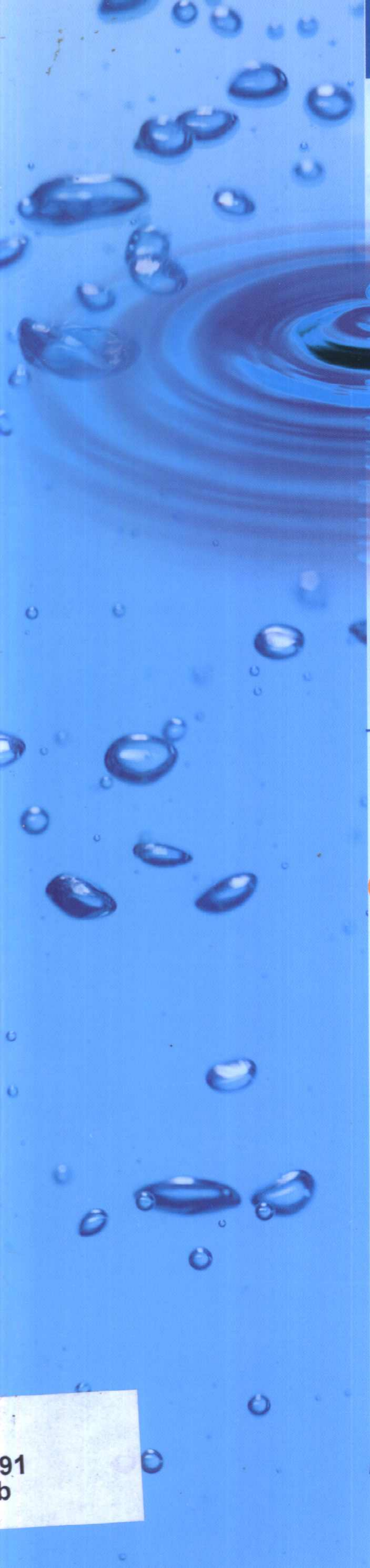

水科学与工程实验技术

李　军　王淑莹　编著

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

水科学与工程实验技术

李　军　王淑莹　编著

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心
·北　京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目（CIP）数据

水科学与工程实验技术/李军，王淑莹编著 .—北京：化学工业出版社，2002.5
ISBN 7-5025-3748-1

Ⅰ.水…　Ⅱ.①李…②王…　Ⅲ.①水处理②水处理-实验
Ⅳ.TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 013461 号

水科学与工程实验技术

李　军　王淑莹　编著

责任编辑：管德存

责任校对：马燕珠

封面设计：蒋艳君

*

化学工业出版社
环境科学与工程出版中心　出版发行

（北京市朝阳区惠新里 3 号　邮政编码 100029）

发行电话：(010) 64982530

http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16　印张 12¼　字数 299 千字

2002 年 5 月第 1 版　2002 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3748-1/X·163

定　价：26.00 元

前　　言

我国是一个水资源贫乏的国家，水资源总量为2.8万亿立方米，人均水资源量为2340立方米，仅为世界平均水平的四分之一。近二十年来，由于经济的持续快速发展和城市化进程的加快，城市缺水问题尤为突出，缺水范围不断扩大，缺水程度日趋严重。水资源的短缺和水污染的加剧已成为我国社会和经济发展的主要制约因素。在今后的五十年中，随着人口的进一步增加、人民生活水平的提高和生产的发展，我国对水资源的需求仍将持续地增长，未来水资源的形势十分严峻。必须充分注意在节约用水的基础上，多方面开发非传统水源，缓解水危机，加强水污染防治，改善水环境质量，促进水资源的可持续利用和良性社会循环。水科学与工程实验技术在促进水资源的可持续利用和良性社会循环方面发挥着越来越重要的作用，进一步提高、完善水科学与工程的实验技术和教学是当前面临的重要任务。

现代水科学与工程技术发展需要的专业技术人才不但要有丰富的理论知识，更需要有独立处理问题和解决实际问题的能力。实验能力是现代水科学与工程技术人员最佳智能结构的重要组成部分。因此，必须引入水科学与工程的新实验技术，了解和掌握本专业当今科技发展的最新动态。这就要求实验技术从内容上更新，从方法上改变，力求在实验技术的内容和结构上紧跟当今科技发展步伐，使实验者在学习的过程中掌握一门综合技术。本书中所选用的实验设备与装置，既有代表传统水科学与工程实验技术的，又有体现近年来国内外流行的新技术新工艺的。本书的另一个主要特点是对于一些基本的重要的实验，可以让实验者自己动手参与从实验准备、运行启动、调试和运行控制，到检测与分析、处理实验中出现的问题，并对实验参数进行归纳、计算和得出结论等全过程。这既能使实验者将理论与实践相结合，巩固从课堂和书本学到的专业知识，又能通过实验培养实验者的专业技能与初步的科研能力，从而有利于提高实验者的全面素质。此外，本书在选择的实验项目和内容安排上也考虑到分别满足操作实验和演示实验的需要，使实验者在短时间内能了解更多的新工艺、新技术。

编著者

2001年12月

目　　录

第一章　误差与实验数据的分析处理

水科学与工程实验，常需要做一系列的测定，并取得大量数据。实践表明，每项实验都有误差，同一项目的多次重复测量，结果总有差异。即实验值与真实值之间的差异，这是由于实验环境不理想，实验人员技术水平不高，实验设备与实验方法不完善等因素引起的。随着研究人员对研究课题认识的提高、仪器设备的不断完善，实验中的误差可以不断减少，但是不可能做到没有误差。因此，决不能认为得到了实验数据就万事大吉。一方面，必须对所测对象进行分析研究，估计测试结果的可靠程度，并对取得的数据给予合理的解释；另一方面，还必须将所得数据加以整理归纳，用一定的方式表示出各数据之间的相互关系。前者即误差分析，后者为数据处理。

对实验结果进行误差分析与数据处理的目的在于：

（1）根据科学实验的目的，合理选择实验装置、仪器、条件和方法；

（2）正确处理实验数据，以便在一定条件下得到接近真实值的最佳结果；

（3）合理选定实验结果的误差，避免由于误差选取不当造成人力、物力的浪费；

（4）总结测定的结果，得到正确的实验结论，并通过必要的整理归纳（如绘成实验曲线或得到经验公式），为验证理论分析提供条件。

误差与数据处理内容很多，在此，只介绍一些基本知识，读者需要更深入了解时，可参阅有关参考书。

第一节　误差的基本概念

一、真值与平均值

实验过程中要做各种测试工作，由于仪器、测试方法、环境、人的观察力、实验方法等都不可能做到完美无缺，因此，无法测到真值（真实值）。如果对同一考察项目进行无限多次的测试，然后根据误差分布定律正负误差出现的几率相等的概念，可以求得各测试值的平均值，在无系统误差的情况下，此值为接近于真值的数值。通常测试的次数总是有限的，用有限测试次数求得的平均值，只能是真值的近似值。

常用的平均值有算术平均值、均方根平均值、加权平均值、中位值（或中位数）和几何平均值等。计算平均值方法的选择，主要取决于一组观测值的分布类型。

1. 算术平均值

算术平均值是最常用的一种平均值，当观测值呈正态分布时，算术平均值最近似真值。

设 x_1，x_2，…，x_n 为各次的观测值，n 代表观测次数，则算术平均值见式（1-1）。

$$\bar{x}=\frac{x_1+x_2+\cdots+x_n}{n}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i \tag{1-1}$$

2. 均方根平均值

均方根平均值计算公式为

$$\bar{x}=\sqrt{\frac{x_1^2+x_2^2+\cdots+x_n^2}{n}}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}x_i^2} \tag{1-2}$$

式中符号意义同前。

3. 加权平均值

若对同一事物用不同方法测定，或者用不同人测定，计算平均值时，常用加权平均值。其计算公式为

$$\bar{x} = \frac{w_1x_1 + w_2x_2 + \cdots + w_nx_n}{w_1 + w_2 + \cdots + w_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_ix_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} \tag{1-3}$$

式中 w_1，w_2，…，w_n 代表与各观测值相应的权，其他符号意义同前。各观测值的权数 w_i，可以是观测值的重复次数、观测值在总数中所占的比例或者根据经验确定。

例 1 某工厂测定含铬废水浓度的结果如下表，试计算其平均浓度。

铬/($mg\cdot L^{-1}$)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
出现次数	3	5	7	7	5

解

$$\bar{x} = \frac{0.3\times3+0.4\times5+0.5\times7+0.6\times7+0.7\times5}{3+5+7+7+5} = 0.52\ (mg/L)$$

例 2 某印染厂各类污水的 BOD_5 测定结果如下表，试计算该厂污水平均浓度。

污水类型	BOD_5/($mg\cdot L^{-1}$)	污水流量/($m^3\cdot d^{-1}$)	污水类型	BOD_5/($mg\cdot L^{-1}$)	污水流量/($m^3\cdot d^{-1}$)
退浆污水	4000	15	印染污水	400	1500
煮布锅污水	10000	8	漂白污水	70	900

解

$$\bar{x} = \frac{4000\times15+10000\times8+400\times1500+70\times900}{15+8+1500+900} = 331.4\ (mg/L)$$

4. 中位值

中位值是指一组观测值按大小次序排列的中间值。若观测次数是偶数，则中位值为正中两个值的平均值。中位值的最大优点是求法简单。只有当观测值的分布呈正态分布时，中位值才能代表一组观测值的中间趋向，近似于真值。

5. 几何平均值

如果一组观测值是非正态分布，当对这组数据取对数后，所得图形的分布曲线更对称时，常用几何平均值。

几何平均值是一组 n 个观测值连乘并开 n 次方求得的值，计算公式为

$$\bar{x} = \sqrt[n]{x_1\cdot x_2\cdots x_n} \tag{1-4}$$

也可用对数表示

$$\lg\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lg x_i \tag{1-5}$$

例 3 某工厂测得污水的 BOD_5 数据分别为 100mg/L、110mg/L、130mg/L、120mg/L、115mg/L、190mg/L、170mg/L，求其平均浓度。

解 该厂所得数据大部分在 100～130mg/L 之间，少数数据的数值较大，此时采用几何平均值才能较好的代表这组数据的中心趋向。则

$$\bar{x}=\sqrt[7]{100\times110\times130\times120\times115\times190\times170}=130.3\ (\mathrm{mg/L})$$

二、误差与误差的分类

对某一指标进行测试后，观测值与其真值之间的差值称为绝对误差，即

绝对误差 = 观测值 − 真值

绝对误差用以反映观测值偏离真值的大小，其单位与观测值相同。由于不易测得真值，实际应用中常用观测值与平均值之差表示绝对误差。严格地说，观测值与平均值之差应称为偏差，但在工程实践中多称之为误差。

在分析工作中常把标准试样中的某成分的含量作为该成分的真值，用以估计误差的大小。

绝对误差与平均值（真值）的比值称为相对误差，即

相对误差 = 绝对误差/平均值

相对误差用于不同观测结果的可靠性的对比，常用百分数表示。

根据误差的性质及发生的原因，误差可分为系统误差、偶然误差和过失误差三种。

1. 系统误差

系统误差又称恒定误差，是指在测定中由未发现或未确认的因素所引起的误差。这些因素使测定结果永远朝一个方向发生偏差，其大小及符号在同一试验中完全相同。产生系统误差的原因有以下几种：①仪器不良，如刻度不准，砝码未校正等；②环境的改变，如外界温度、压力和湿度的变化等；③个人的习惯和偏向，如读数偏高或偏低等。这类误差可以根据仪器的性能、环境条件或个人偏差等加以校正克服，使之降低。

2. 偶然误差

偶然误差又称或然误差或随机误差，单次测试时，观测值总是有些变化且变化不定，其误差时大、时小、时正、时负、方向不定。但是多次测试后，其平均值趋于零，具有这种性质的误差称为偶然误差。

偶然误差产生的原因一般是不清楚的，因而是无法人为控制。偶然误差可用概率理论处理数据而加以避免。

3. 过失误差

过失误差是由于操作人员工作粗枝大叶，过度疲劳或操作不正确等因素引起的。是一种与事实明显不符的误差。过失误差是可以避免的。

三、精密度和准确度

精密度又称精度，指在控制条件下用一个均匀试样反复测试，所测得数值之间的重复程度，它反映偶然误差的大小。准确度指测定值与真实值的符合程度，它反映偶然误差和系统误差的大小。一个化学分析，虽然精密度很高，偶然误差小，但可能由于溶液标定不准确、稀释技术不正确、不可靠的砝码或仪器未校准等原因出现系统误差，使其准确度不高。相反，一个方法可能很准确，但由于仪器灵敏度低或其他原因，使其精密度不够。因此，评定观测数据的好坏，首先要考虑精密度，然后考察准确度。一般情况下，无系统误差时，精密度越高观测结果越准确。但若有系统误差存在，则精密度高，准确度不一定高。

分析工作中可在试样中加入已知量的标准物质，考核测试方法的准确度和精密度。

四、精密度的表示方法

若在某一条件下进行多次测试，其误差为 δ_1，δ_2，…，δ_n，因为单个误差可大可小，可正可负，无法表示该条件下的测试精密度，因此常采用极差、算术平均误差、标准误差等

表示精密度的高低。

1. 极差

极差又称误差范围，是指一组观测值 x_i 中的最大值与最小值之差，是用以描述实验数据分散程度的一种特征参数。其计算式为

$$R = x_{max} - x_{min}$$

极差的缺点是只与两极端值有关，而与观测次数无关，用它反应精密度的高低比较粗糙，但其计算简便，在快速检验中可用以度量数据波动的大小。

2. 算术平均误差

算术平均误差是观测值与平均值之差的绝对值的算术平均值，其计算式为

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}|}{n} \tag{1-6}$$

式中 δ—— 算术平均误差；

x_i——观测值；

$\bar{x}$——全部观测值的平均值；

n——观测次数。

例如，有一组观测值与平均值的偏差（即单个误差）为 4、3、－2、2、4，则其算术平均误差为

$$\delta = \frac{4+3+2+2+4}{5} = 3$$

算术平均误差的缺点是无法表示出各次测试间彼此符合的情况。因为，在一组测试中偏差彼此接近的情况下，与另一组测试中偏差有大、中、小三种的情况下，所得的算术平均误差可能基本相同。

3. 标准误差

标准误差又称均方根误差或均方误差，各观测值 x_i 与平均值 $\bar{x}$ 之差的平方和的算术平均值的平方根称为标准误差。其计算公式为

$$d = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{1-7}$$

式中 d——标准误差；

n——观测次数。

有时，在有限观测次数中，标准误差的计算公式为

$$d = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \tag{1-8}$$

由此可以看出，当观测值越接近平均值时，标准误差越小，当观测值和平均值相差愈大时，标准误差愈大。即标准误差对测试中的较大误差或较小误差比较灵敏，所以它是表示精密度的较好方法，是表明实验数据分散程度的特征参数。

例 4 已知两次测试的偏差分别为 4、3、－2、2、4 和 1、5、0、－3、－6，试计算其误差。

解 算术平均误差为

$$\delta_1 = \frac{4+3+2+2+4}{5} = 3$$

$$\delta_2=\frac{1+5+0+3+6}{5}=3$$

标准误差为

$$d_1=\sqrt{\frac{4^2+3^2+(-2)^2+2^2+4^2}{5}}=3.1$$

$$d_2=\sqrt{\frac{1^2+5^2+0^2+(-3)^2+(-6)^2}{5}}=3.7$$

上述计算结果表明，虽然第一组测试所得的偏差彼此比较接近，第二组测试的偏差较离散，但用算术平均误差表示时，二者所得结果相同。标准误差能较好地反映出测试结果与真值的离散程度。

第二节　实验数据的处理

实验数据整理的目的在于：①分析实验数据的一些基本特点；②计算实验数据的基本统计特征；③利用计算得到的一些参数，分析实验数据中可能存在的异常点，为实验数据取舍提供一定的统计依据。

一、有效数字及其运算

每一个实验数据都要记录大量原始数据，并对它们进行分析运算。但这些直接测量的数据都是近似数，存在一定误差，因此这就存在一个实验时应取几位数、运算后又应保留几位数的问题。

1. 有效数字

准确测定的数字加上最后一位估读数字（又称存疑数字）所得的数字称为有效数字。如用 20mL 刻度为 0.1mL 的滴管测定水中溶解氧含量，其消耗硫代硫酸钠为 3.63mL 时，有效数字为 3 位，其中 3.6 为确切数字，而 0.03 为估读数字。因此实验中直接测量值的有效数字与仪器刻度有关，一般都应尽可能估计到最小分度的 1/10、或 1/5、或 1/2。

2. 有效数字的运算规则

由于间接测量值是由直接测量值计算出来的，因而也存在有效数字的问题，通常有以下几点：

（1）有效数字的加、减。运算后，有效数字的位数与参加运算的各数中有效数字位数最少的相同。

（2）有效数字的乘除。运算后，有效数字的位数与参加运算的各数中有效数字的位数最少的相同。

（3）乘方、开方的有效数字。运算后，有效数字的位数与其底的有效数字的位数相同。

有效数字运算时应注意的问题：①公式中某些系数不是由实验测得的，计算中不考虑其位数。例如，水污染控制工程中一些公式中的导数；②对数运算中，首位数不算有效数字；③乘除运算中，首位数是 8 或 9 的有效数字多计一位。

二、实验数据整理

1. 实验数据的基本特点

对实验数据进行简单分析后，可以看出，实验数据一般具有以下特点：

（1）实验数据总是以有限次数给出并具有一定波动性。

（2）实验数据总存在实验误差，且是综合性的，即随机误差、系统误差、过失误差同时

存在于实验数据中。本书所研究的实验数据，认为是没有系统误差的数据。

(3) 实验数据大都具有一定的统计规律性。

2. 几个重要的数字特征

用几个有代表性的数，来描述随机变量 X 的基本统计特征，通常把这几个数称为随机变量 X 的数字特征。

实验数据的数字特征计算，就是由实验数据计算一些有代表性的特征量，用以浓缩、简化实验数据中的信息，使问题变得更加清晰、简单、易于理解和处理。本书给出分别用来描述实验数据取值的大致位置、分散程度和相关特征的几个数字特征参数。

(1) 位置特征参数及其运算

实验数据的位置特征参数，是用来描述实验数据取值的平均位置和特定位置的，常用的有均值、极值、中值和众值等。

① 均值 $\bar{x}$　如由实验得到一批数据 x_1，x_2，…，x_n，n 为测试次数，则平均值为

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i \tag{1-9}$$

平均值 $\bar{x}$ 计算简便，对于符合正态分布的数据，具有与真值接近的优点。它是指示实验数据取值平均位置的特征参数。

② 极值　极值是一组测试数据中的极大与极小值。极大值 $a = \max\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$，极小值 $b = \min\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$

③ 中值 X　中值是一组实验数据的中项测量值，其中一半实验数据小于此值，另一半实验数据大于此值。若测得数为偶数时，则中值为正中两个值的平均值。该值可以反映全部实验数据的平均水平。

④ 众值 N　众值是实验数据中出现最频繁的量，故也是最可能值，其值即为所求频率的极大值出现时的量，称为众值。因此，众值不像上述几个位置特征参数那样可以迅速直接求得，而是应先求得频率分布再从中确定。

(2) 分散特征参数及其计算

分散特征参数是用来描述实验数据的分散程度的，常用的有极差、标准差、方差、变异系数等。

① 极差 R　极差是一组实验数据极大值与极小值之差，是最简单的分散特征参数，可以度量数据波动的大小，其表达式为

$$R = \max\{x_1, x_2, \cdots, x_n\} - \min\{x_1, x_2, \cdots, x_n\} \tag{1-10}$$

极差具有计算简便的特点，但由于它没有充分利用全部数据提供的信息，而是依赖个别的实验数据，故代表性较差，反映实际情况的精度较差。实际应用中，多用以均值 $\bar{x}$ 为中心的分散特征参数，如标准差、方差、变异系数等。

② 方差和标准差，其表达式为

$$\text{方差}\ \sigma^2 = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$$

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

两者都是表明实验数据分散程度的特征数。标准差又称均方差，与实验数据单位一致，可以反映实验数据与均值之间的平均差距，这个差距愈大，表明实验所取数据愈分散，反之

表明实验所取数值愈集中。方差这一特征数所取单位与实验数据单位不一致。由公式可以看出，标准差大则方差大，标准差小则方差小，所以方差同样可以表明实验数据取值的分散程度。

③ 变异系数 C_γ，其表达式为

$$C_\gamma=\frac{\sigma}{\bar{x}}$$

变异系数可以反映数据相对波动的大小，尤其是对标准差相等的两组数据，$\bar{x}$ 大的一组数据相对波动小，$\bar{x}$ 小的一组数据相对波动大。而极差 R、标准差 σ 只反映数据的绝对波动大小，此时变异系数的应用就显得更为重要。

(3) 相关特征参数

为了表示变量间可能存在的关系，常常采用相关特征参数，如线性相关系数等。其计算将在回归分析中介绍。

三、实验数据中可疑数据的取舍

1. 可疑数据

整理实验数据进行计算分析时，常会发现有个别测量值与其他值偏差很大，这些值有可能是由于偶然误差造成的，也可能是由于过失误差或条件的改变而造成的。所以在实验数据整理的整个过程中，控制实验数据的质量，消除不应有的实验误差，是非常重要的。但是对于这样一些特殊值的取舍一定要慎重，不能轻易舍弃，因为任何一个测量值都是测试结果的一个信息。通常，将个别偏差大的、不是来自同一分布总体的、对实验结果有明显影响的测量数据称为离群数据；而将可能影响实验结果，但尚未证明确定是离群数据的测量数据称为可疑数据。

2. 可疑数据的取舍

舍掉可疑数据虽然会使实验结果精密度提高，但是可疑数据并非全都是离群数据，因为正常测定的实验数据总有一定的分散性，若不加分析，人为的全部删掉，虽然可能删去了离群数据，但也可能删去了一些误差较大的并非错误的数据，由此得到的实验结果并不一定就符合客观实际。因此，可疑数据的取舍，必须遵循一定的原则。这项工作一般由一些具有丰富经验的专业人员进行。

实验中由于条件改变、操作不当或其他人为的原因产生离群数值，并有当时记录可供参考。没有肯定的理由证明它是离群数值，而从理论上分析，此点又明显反常时，可以根据偶然误差分布的规律，决定它的取舍。一般应根据不同的检验目的选择不同的检验方法，常用的方法有以下几种。

(1) 用于一组测量值的离群数据的检验

① 3σ 法则　实验数据的总体是正态分布（一般实验数据多为此分布）时，先计算出数列标准误差，求其极限误差 $K_\sigma=3\sigma$，此时测量数据落于 $\bar{x}\pm3\sigma$ 范围内的可能性为 99.7%，也就是说，落于此区间外的数据只有 0.3% 的可能性，这在一般测量次数不多的实验中是不易出现的，若出现了这种情况则可认为是由于某种错误造成的。因此这些特殊点的误差超过极限误差后，可以舍弃。一般把依此进行可疑数据取舍的方法称为 3σ 法则。

② 肖维涅准则　实际工程中常根据肖维涅准则利用表 1-1 决定可疑数据的取舍。表中，n 为测量次数。K 为系数，极限误差 $K_\sigma=K\cdot\sigma$；当可疑数据误差大于极限误差 K_σ 时，即可舍弃。

(2) 用于多组测量值均值的离群数据的检验

常用的是克罗勃斯 (Crubbs) 检验法，具体步骤如下。

① 计算统计量 T　将 m 组测定的每组数据的均值按大小顺序排列成 $\bar{x}_1$，$\bar{x}_2$，…，$\bar{x}_{m-1}$，$\bar{x}_m$ 数列，其中，最大、最小均值记为 $\bar{x}_{max}$、$\bar{x}_{min}$，则此数列总均值 $\bar{\bar{x}}$ 和标准误差的计算公式为

$$\bar{\bar{x}} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{n}\bar{x}_i$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^2}$$

表 1-1　肖维涅准则系数 K

n	K	n	K	n	K
4	1.53	10	1.96	16	2.16
5	1.65	11	2.00	17	2.18
6	1.73	12	2.04	18	2.20
7	1.79	13	2.07	19	2.22
8	1.86	14	2.10	20	2.24
9	1.92	15	2.13		

可疑数据为最大及最小均值时统计量 T 的计算公式为

$$T = \frac{\bar{x}_{max} - \bar{\bar{x}}}{\sigma_{\bar{x}}} \tag{1-11}$$

$$T = \frac{\bar{\bar{x}} - \bar{x}_{min}}{\sigma_{\bar{x}}} \tag{1-12}$$

② 查出临界值 T_α　根据给定的显著水平 α 和测定的组数 m，查表得克罗勃斯检验临界值 T_α。

③ 判断　若统计量 $T > T_{0.01}$，则可疑均值为离群数据，可舍掉，即舍去了与均值相应的一组数据。若 $T_{0.05} < T \leqslant T_{0.01}$，则 T 为偏离数据。若 $T \leqslant T_{0.05}$，则 T 为正常数据。

(3) 用于多组测量值方差的离群数据的检验

常用的是 Cochran 最大方差检验法。此法既可用于剔除多组测定中精度较差的一组数据，也可用于多组测定值的方差一致性检验（即等精度检验）。具体步骤如下：

① 计算统计量 C　将 m 组测定的每组数据的标准差按大小顺序排列成 σ_1，σ_2，…，σ_m 的数列，最大值记为 σ_{max}，则统计量 C 的计算公式为

$$C = \frac{\sigma_{max}^2}{\sum_{i=1}^{m}\sigma_i^2} \tag{1-13}$$

当每组仅测定两次时，统计量用极差公式计算

$$C = \frac{R_{max}^2}{\sum_{i=1}^{m}R_i^2} \tag{1-14}$$

式中　R——每组的极差值；

R_{max}——m 组极差中的最大值。

② 查临界值 C_α　根据给定的显著性水平 α 及测定组数 m、每组测定次数 n，由

Cochran 最大方差检验临界值 C_α 表查得 C_α 值。

③ 判断　若统计量 $C > C_{0.01}$，则可疑方差为离群方差，说明该组数据精密度过低，应予剔除。若 $C_{0.05} < C < C_{0.01}$，则可疑方差为偏离方差。若 $C \leqslant C_{0.05}$，则可疑方差为正常方差。

四、实验数据整理计算举例

在自吸式射流曝气清水充氧实验中，喷嘴直径 $d=20\text{mm}$。在水深 $H=5.5\text{m}$，工作压力 $P=0.10\text{MPa}$，面积比 $m=4$，长径比 $L/D=120$ 的情况下，共进行了 12 组实验。每一组实验中同时可得几个氧的总转移系数值，求其均值后，则可得 12 组实验的 K_{las}的均值，并可求得 12 组的标准差 σ_{n-1}。现将第 64 组测定的结果——K_{las}及 K_{las}的均值和各组的标准差 σ_{n-1}列于表 1-2。

表 1-2　曝气充氧实验数据整理结果

第 64 组的 K_{las}		12 组的均值		12 组的 σ 值	
组　号	$K_{las}/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$	组　号	$K_{las}/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$	组　号	$K_{las}/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$
1	0.065	60	0.053	60	0.0027
2	0.063	61	0.082	61	0.0035
3	0.070	62	0.090	62	0.0026
4	0.074	63	0.067	63	0.0030
5	0.070	64	0.069	64	0.0033
6	0.063	65	0.060	65	0.0028
7	0.065	66	0.066	66	0.0029
8	0.067	67	0.085	67	0.0031
9	0.071	68	0.077	68	0.0032
10	0.072	69	0.061	69	0.0033
11	0.069	70	0.090	70	0.0028
		71	0.072	71	0.0029

现对这些数据进行整理，判断是否有离群数据。

1. 首先判断每一组的 K_{las}值是否有离群数据，是否应予剔除

(1) 按 3σ 法则判断

通过计算，第 64 组 K_{las}的均方差 $\sigma=0.004$，极限误差 $K_\sigma=3\sigma=3\times0.004=0.012$，第 64 组 K_{las}的均值 $K_{las}=0.068$，则

$$\overline{X}\pm3\sigma=0.068\pm0.012=0.056\sim0.080$$

由于第 64 组测得的 K_{las}值 0.063～0.074 均落于 0.056～0.080 范围内，故该组数据中，无离群数据。

(2) 按肖维涅准则判断

由于测量次数 $n=11$，查表 1-1 得 $K=2$，则极限误差为 $K_\sigma=2\times0.004=0.008$。由均值 $\overline{K}_{las}=0.068$，则该组数据中，极大、极小值的误差为 $0.074-0.068=0.006\leqslant0.008$，$0.068-0.063=0.005\leqslant0.008$。故该组数据中无离群数据。

2. 利用 Grubbs 法，检验 12 组测量均值是否有离群数据

12 组 K_{las}的均值按大小顺序的排列为：0.053、0.060、0.061、0.066、0.067、0.069、0.072、0.077、0.082、0.085、0.090、0.090。

数列中，最大值、最小值分别为 $K_{\text{las max}}=0.090$、$K_{\text{las min}}=0.053$。数列的均值 $K_{\text{las}}=0.073$，标准差 $\sigma=0.012$。

当可疑数字为最大值时，其流量 T 为

$$T_{\max}=\frac{K_{\text{las max}}-\overline{K}_{\text{las}}}{\sigma}=\frac{0.090-0.073}{0.012}=1.42$$

当可疑数字为最小值时，其流量 T 为

$$T_{\min}=\frac{\overline{K}_{\text{las}}-K_{\text{las min}}}{\sigma}=\frac{0.073-0.053}{0.012}=1.67$$

由附表查得 $m=12$ 显著性水平 $\alpha=0.05$ 时，$T_{0.05}=2.285$。

由于

$$T_{\max}=1.42<2.285$$
$$T_{\min}=1.67<2.285$$

故所得 12 组的 K_{las}均值均为正常值。

3. 利用 Cochran 法，检验 12 组测量值的标准方差是否有离群数据

12 组标准差按大小顺序的排列为：0.0026、0.0027、0.0028、0.0028、0.0029、0.0029、0.0030、0.0031、0.0032、0.0033、0.0033、0.0035。

最大标准差 $\sigma_{\max}=0.0035$，其统计量 C 为

$$C=\frac{\sigma_{\max}^2}{\sum\limits_{i=1}^{m}\sigma_i^2}=\frac{0.0035^2}{0.0026^2+0.0027^2+\cdots+0.0035^2}=0.112$$

根据显著性水平 $\alpha=0.05$，组数 $m=12$，假定每组测定次数 $n=6$，查得 $C_{0.05}=0.262$。由于 $C=0.112<0.262$。故 12 组标准方差无离群数据。

第三节 实验成果的表示方法

水科学与工程实验的目的，不仅要通过实验及对实验数据的分析，找出影响实验成果的因素、主次关系及给出最佳工况，而且还在于找出这些变量间的关系。

给水排水处理工程同其他学科一样，反映客观规律的变量间的关系也分为两类：一类是确定性关系，另一类是相关关系，但无论是哪一类关系，均可用表格、图形及公式表示。

一、列表法

列表法是将实验中的自变量与因变量的各个数据通过分析处理后依一定的形式和顺序一一相应列出来，借以反映各变量间的关系。

列表法虽然具有简单易作、使用方便的优点，但是也有对客观规律反映不如其他表示法明确、在理论分析中不方便的缺点。

二、图示法

图示法是在坐标纸上绘制图线反映所研究变量之间相互关系的一种表示法。它具有简明直观、便于比较、易于显示变化规律，并可直接提供某些数据等特点。

图线类型一般可分为两类，一类是已知变量间的依赖关系图形，通过实验，利用有限次的实验数据作图，反映变量间的关系，并求出相应的一些数据；另一类是两个变量间的关系不清和在坐标纸上将实验点绘出，一来反映变量间的数量关系，二来分析变量间的内在关系和规律。图示法要求图线必须清楚并能正确反映变量间的关系，且便于读数。

图线的绘制应注意以下几点。