

普通高等院校化学应用类规划教材



# 化工原理实验

余传波 朱学军 主编

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

普通高等院校化学应用类规划教材

# 化工原理实验

主 编 余传波 朱学军  
副 主 编 邓建梅 黄秀丽  
参 编 徐 众 邓 俊 张 毅  
同艳维 安 昀 蓝德均



 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

## 内 容 简 介

本书是一本化工原理实验教材,分为6个部分:实验数据的误差和有效数字、化工实验数据处理、化工参数测量方法及常规仪表的使用、化工原理基础实验、化工原理装置实训、化工原理仿真实训。

化工原理基础实验不仅包括全国高校化工原理课程教学指导委员会规定的流体流动阻力的测定、离心泵特性曲线测定、恒压过滤常数测定、传热实验、吸收系数测定、精馏板效率测定、干燥曲线测定7个实验,还包括振动筛板塔萃取和流化床干燥实验,以及结合地方资源特色的钛白粉板框过滤和钛白粉喷雾干燥实验。

化工原理装置实训包括换热器拆装、吸收塔工段综合拆装和精馏操作实训。

化工原理仿真实训包括离心泵操作、列管换热器操作、精馏塔操作和吸收与解吸操作实训。

本书实用性强,可作为高校学生的化工原理实验教材和从事化工、生物化工、环境化工等专业技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/余传波,朱学军主编. —北京:北京理工大学出版社,2017.11  
ISBN 978-7-5682-4175-5

I. ①化… II. ①余… ②朱… III. ①化工原理-实验-高等学校-教材 IV. ①TQ02-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第298861号

---

出版发行/北京理工大学出版社有限责任公司

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(总编室)

(010)82562903(教材售后服务热线)

(010)68948351(其他图书服务热线)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/8.5

字 数/195千字

版 次/2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷

定 价/27.00元

责任编辑/封雪

文案编辑/郭贵娟

责任校对/周瑞红

责任印制/王美丽

---

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

# 前 言

人们已越来越清醒地认识到，实践教学是培养学生实践能力和创新能力的重要环节，也是提高学生社会职业素养和就业竞争力的重要途径。20 世纪 80 年代以后，国际高教界逐渐形成了重视实践教学、强化应用型人才培养的新潮流。2014 年中国教育部也明确了改革方向，在全国 1 200 所普通本科高等院校中，将有 600 多所逐步向应用技术型大学转变，而面向工程应用的化工类人才更加需要注重实践能力的培养。

化工原理实验是化工类专业的基础课程，是培养学生的化学工程观念以及化学工程技术的重要实践课程。如何通过化工原理实验课，提高学生的应用能力、实践动手能力、分析问题和解决问题的能力，培养学生的工程观念，是本教材编写的目标和导向。

由于本教材主要面向应用型本科教学，故其在编写过程中力求贴近应用型化工本科生当前的学习实际和未来的工作实际。比如，在实验数据误差部分，介绍了误差的来源和表达，舍去了误差理论等艰深知识；在数据处理部分，主要突出 Origin 拟合数据的功能，舍去了最小二乘法的原理和线性回归的数学推导等艰深知识，并简约介绍了经常使用的正交实验设计方法和响应曲面法；在化工参数测量仪器部分，主要介绍了常用的温度、压力、流量的测量仪器的原理和使用注意事项，还介绍了工厂和实验室常用的气瓶和气瓶减压阀。

本书是根据全国高校化工原理课程教学指导委员会提出的实验教学基本要求编写的。在实验内容上注重实验内容的典型性和代表性，实验内容涵盖了流体流动、传热、精馏、吸收、萃取、干燥等典型的化工单元操作。同时针对地方资源特色，结合常规的化工原理实验装置，开发了钛白粉过滤实验和钛白粉喷雾干燥实验，增强了学生对地方资源的感性认识，以期让学生明白化工原理实验的应用价值，而不仅仅在于演示和验证。

本教材还面向学生未来的工作实际，将现代化教学理念和手段引入实训教学中，介绍了化工原理装置实训和化工原理仿真实训。化工原理装置实训包括换热器拆装、吸收工段拆装和精馏单元操作三个化工原理典型装置。化工原理仿真实训包括离心泵操作、列管换热器操作、精馏塔操作和吸收与解吸操作五个化工原理典型单元操作。化工原理实训从单元操作到工段工艺，从装置拆装到装置操作，从现场操作到远程控制，从手动控制到自动控制等诸多方面，着力提高学生实践动手能力和工程观念。

因此本课程在教学过程中，不能以完成实验为目标，而是应该引导学生：

- (1) 理解设备和仪器仪表的原理和使用方法；
- (2) 熟悉实验流程、掌握化工实验的基本技能；
- (3) 利用基本理论分析解决化工实际问题；
- (4) 掌握处理数据和规划实验的方法，正确对实验数据进行分析整理，总结出规律，培养化工实验的研究能力；
- (5) 通过实验实训使同学们初步建立基本的工程概念和实践自信。

本教材所涉及的知识内容和实验实训项目，大都是在今后从事化工生产和进行科学研究

中经常会遇到或需要解决的实际问题，为此，本教材可作为高等学校化学化工及相关专业的实验教材和参考书。

由于编者水平有限，经验不足，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者  
2017年4月

# 目 录

第1章 实验数据的误差和有效数字	1
1.1 误差的相关概念	1
1.1.1 真值	1
1.1.2 平均值	1
1.1.3 精确度	2
1.1.4 误差的分类	2
1.1.5 误差的表示	3
1.2 有效数字及修约	3
1.2.1 有效数字	3
1.2.2 数字的修约规则	4
1.2.3 运算过程中有效位数的修约	4
第2章 化工实验数据处理	5
2.1 列表法	5
2.2 图示法	6
2.2.1 坐标系的选择	6
2.2.2 图示法应注意的事项	8
2.3 实验数据数学方程表示法	8
2.3.1 数学方程式的选择	9
2.3.2 图解法求公式中的常数	10
2.3.3 实验数据的拟合和回归	11
2.4 实验设计方法简介	15
2.4.1 单因素实验设计	15
2.4.2 全因素实验设计	15
2.4.3 正交实验设计	15
2.4.4 均匀实验设计	16
2.4.5 响应曲面分析法	17
第3章 化工参数测量方法及常规仪表的使用	18
3.1 温度测量及仪表	18
3.1.1 热膨胀式温度计	18
3.1.2 热电偶温度计	19
3.1.3 热电阻温度计	19
3.2 压力测量及仪表	20
3.2.1 液柱压力计	20
3.2.2 弹性压力计	20

3.2.3	压力仪表的校验	22
3.2.4	压力的电测方法	22
3.3	流量测量及仪表	23
3.3.1	压差流量计	23
3.3.2	变截面流量计	24
3.3.3	涡轮流量计	25
3.3.4	湿式气体流量计	25
3.3.5	流量计的标定	26
3.4	高压气体钢瓶及减压阀的安全使用	28
3.4.1	高压气体钢瓶使用概述	28
3.4.2	高压气体钢瓶使用注意事项	28
3.4.3	减压阀	29
<b>第4章</b>	<b>化工原理基础实验</b>	<b>31</b>
4.1	流体力学综合实验	31
4.1.1	实验目的	31
4.1.2	实验原理	31
4.1.3	实验流程和主要设备	34
4.1.4	实验操作步骤	34
4.1.5	实验数据记录及整理	35
4.1.6	思考与讨论问题	36
4.2	对流传热实验	37
4.2.1	实验目的	37
4.2.2	实验原理	37
4.2.3	实验流程及设备	39
4.2.4	实验操作步骤	40
4.2.5	设备保养及简单故障排除	40
4.2.6	实验数据记录及整理	40
4.2.7	思考与讨论问题	41
4.3	气体吸收实验	42
4.3.1	实验目的	42
4.3.2	实验原理	42
4.3.3	吸收实验流程及设备	43
4.3.4	实验操作步骤	43
4.3.5	实验数据记录及整理	45
4.3.6	思考与讨论问题	46
4.4	筛板精馏塔实验	46
4.4.1	实验目的	46
4.4.2	实验原理	46
4.4.3	实验流程及设备	47

4.4.4	实验操作步骤	48
4.4.5	实验数据记录及整理	49
4.4.6	思考与讨论问题	49
4.5	气流干燥实验	50
4.5.1	实验目的	50
4.5.2	实验原理	50
4.5.3	气流干燥实验流程及设备	51
4.5.4	实验操作步骤	51
4.5.5	故障及处理方法	52
4.5.6	实验数据记录及整理	52
4.5.7	思考与讨论问题	53
4.6	振动筛板塔萃取实验	53
4.6.1	实验目的	53
4.6.2	实验内容	53
4.6.3	实验原理	53
4.6.4	实验装置	54
4.6.5	实验操作步骤	54
4.6.6	注意事项	56
4.6.7	数据记录及整理	56
4.6.8	思考与讨论问题	56
4.6.9	附录	57
4.7	流化床干燥实验	57
4.7.1	实验目的	57
4.7.2	实验内容	57
4.7.3	基本原理	57
4.7.4	实验装置	60
4.7.5	实验步骤	60
4.7.6	注意事项	61
4.7.7	实验数据记录及整理	61
4.7.8	思考与讨论问题	61
4.8	钛白粉板框过滤实验	61
4.8.1	实验目的	61
4.8.2	实验内容	62
4.8.3	实验原理	62
4.8.4	实验装置	63
4.8.5	实验操作步骤	63
4.8.6	注意事项	64
4.8.7	数据记录及整理	64
4.8.8	思考与讨论问题	65



4.9 钛白粉喷雾干燥实验	65
4.9.1 实验目的	65
4.9.2 实验内容	65
4.9.3 实验原理	66
4.9.4 实验装置	67
4.9.5 实验操作步骤	67
4.9.6 注意事项	68
4.9.7 实验数据记录及整理	68
4.9.8 思考与讨论问题	69
<b>第5章 化工原理装置实训</b>	<b>70</b>
5.1 换热器拆装实训	70
5.1.1 实训目的	70
5.1.2 实训模块	70
5.1.3 实训装置	71
5.1.4 实训要点	73
5.1.5 实训操作	74
5.1.6 操作注意事项	75
5.1.7 实训记录及整理	75
5.2 吸收塔工段综合拆装实训	75
5.2.1 实训目的	75
5.2.2 实训模块	76
5.2.3 实训装置	76
5.2.4 实训要点	78
5.2.5 实训操作	79
5.2.6 操作注意事项	82
5.2.7 实训记录及整理	82
5.3 精馏单元操作实训	83
5.3.1 实训目的	83
5.3.2 实训模块	83
5.3.3 实训装置	83
5.3.4 实训操作	84
5.2.5 操作注意事项	87
5.2.6 实训记录及整理	88
<b>第6章 化工原理仿真实训</b>	<b>89</b>
6.1 化工仿真概述	89
6.1.1 仿真实训的优点	89
6.1.2 仿真实训的作用	90
6.2 仿真培训软件的使用方法	90
6.2.1 工艺仿真系统	90

6.2.2	智能评价系统	95
6.2.3	分程控制系统	97
6.3	离心泵仿真操作	100
6.3.1	实验目的	100
6.3.2	实验原理	100
6.3.3	实验内容	100
6.3.4	思考与讨论问题	104
6.4	列管换热器仿真操作	104
6.4.1	实验目的	104
6.4.2	实验原理	104
6.4.3	实验内容	104
6.4.4	思考与讨论问题	108
6.5	精馏塔仿真操作	108
6.5.1	实验目的	108
6.5.2	实验原理	108
6.5.3	实验内容	108
6.5.4	思考与讨论问题	114
6.6	吸收与解吸仿真操作	114
6.6.1	实验目的	114
6.6.2	实验原理	114
6.6.3	实验内容	115
6.6.4	思考与讨论问题	121
	参考文献	123

# 第 1 章 实验数据的误差和有效数字

## 1.1 误差的相关概念

### 1.1.1 真值

真值是指某物理量客观存在的确定值，但由于测量误差在所难免，真值一般无法测得。如果系统误差为零或非常小，那么多次测量的平均值即为接近真值。

### 1.1.2 平均值

化工领域中常用的平均值有以下几种：

#### 1. 算术平均值

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

这种平均值最常用。当  $n$  足够大时，通常认为平均值是可信赖的。凡是测量值符合正态分布时，用最小二乘法原理可以证明：在一组等精度的测量中，算术平均值为最可信赖值。

#### 2. 几何平均值

$$\bar{x} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \cdots x_n}$$

其用对数形式表示为：

$$\ln \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n}$$

也就是说，几何平均值的对数等于这些测量值  $x_i$  的对数的算术平均值。因此，如果对一组测量值取对数，且所得的分布曲线呈现类似于正态分布的对称曲线，则常用几何平均值。几何平均值常比算术平均值小。

#### 3. 对数平均值

$$\bar{x} = \frac{x_1 - x_2}{\ln x_1 - \ln x_2} = \frac{x_1 - x_2}{\ln \frac{x_1}{x_2}}$$

在热量传递、质量传递以及在化学反应中，一些测量值的分布曲线具有对数特性时，此时可采用对数平均值。对数平均值总比算术平均值小。在工程上，若  $1 < x_1/x_2 < 2$ ，则常用算术平均值替代对数平均值，引起的误差不超过 4.4%。

一般来说，化工实验和科学研究中，数据的分布一般为正态分布，故常用算术平均值。

### 1.1.3 精确度

精确度通常称为精度，是指测量值与接受参照值间的逼近程度。它是反映测量结果与真值接近程度的量。当这个定义用于一组测试结果时，它由随机误差分量和系统误差（即偏倚分量）组成。形象地看，精确度高，则数据点聚集在真值的周围（图 1.1）。精确度包含精密度和准确度两层含义。

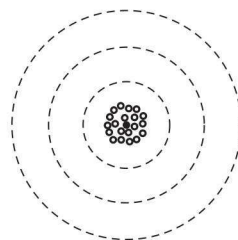


图 1.1 精确度示意图

#### 1. 精密度

精密度指几次独立测试值之间的一致程度。精密度与真值无关，表征了测量值的可重复性，反映了随机误差的影响程度。形象地看，精密度高则数据点聚集，精密度差则数据点较散 [图 1.2 (a)]。

#### 2. 准确度

准确度指大量测试值的平均值与真值（即接受参照值）间的靠近程度。准确度的度量通常用术语“偏倚”表示。“偏倚”指测量值对真值的偏离，它是系统误差的总和。如果准确度差，则表明存在显著的系统误差。如果能确定出系统误差，则可考虑校正。比如可将所有数据点上移两环，就可校正得到精确的测量值 [图 1.2 (b)]。

图 1.2 (c) 示意的测量数据点，既不精密又不准确，即测量数据的精密度和准确度都差，从而精确度必然差。

值得注意的是，学生在实验过程中，往往满足于数据的重现性，而忽视测量值的准确度。

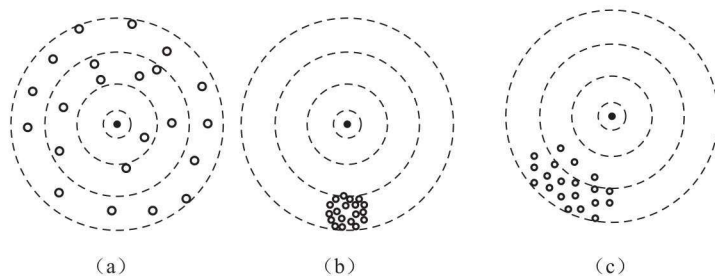


图 1.2 精密度和准确度示意图

(a) 精密度差，准确度高；(b) 精密度高，准确度差；(c) 精密度差，准确度差

### 1.1.4 误差的分类

#### 1. 系统误差

系统误差往往是由于仪器没得到正确使用造成的。比如：仪器没校准，环境温度过高影响热电偶的冷端补偿，实验人员读数视线不正确。如果能针对仪器的缺点，外界条件变化影响的大小、个人的偏向等原因，分别对测量值加以校正，那么系统误差是可以部分消除的，从而使测量值更加准确。测量值准确度差就是系统误差的表现。

#### 2. 随机误差

在实际测量中，多次测量同一量时，测量值对真值偏离时大时小，比如用精密天平多次测量质量。随机误差产生的原因不明，偏离呈随机性，误差的大小和正负完全由概率决定。

但随着测量次数增加, 随机误差的算术平均值趋近于零, 因此在实际测量中, 常用多次测量的算术平均值减小随机误差。

### 3. 过失误差

由于测量人员粗心大意, 操作不当等原因, 使测量值明显偏离真值。如果测量人员认真负责、细心操作, 则过失误差是可以避免的。因此在实际工作中, 常将明显偏离平均值的测量数据剔除。

## 1.1.5 误差的表示

### 1. 绝对误差

测量值  $x$  与真值  $A$  之差的绝对值, 称为绝对误差。它确切地表示了偏离真值的实际大小。它与真值有相同的量纲。

$$D(x) = |x - A|$$

但如前所述, 真值无法准确测得, 因此常用多次测量的算术平均值替代真值。此时, 绝对误差为:

$$D(x) \approx |x - \bar{x}|$$

### 2. 相对误差

为了判断测量值接近真值的程度, 还经常用到相对误差。它为绝对误差与真值的比值, 确切地表示了偏离真值的相对大小。它是量纲为 1 的比例数字, 可表示为:

$$E(x) = \frac{|x - A|}{A} \times 100\% \approx \frac{|x - \bar{x}|}{\bar{x}} \times 100\%$$

一般来说, 相对误差更能反映测量的可信程度。

## 1.2 有效数字及修约

在实际测量中, 从仪表上读出的数值位数是有限的, 取决于测量仪器的精度或最小刻度。同时在运算中, 数值中小数点位数也不是越多越准确, 结果的准确度取决于原始数据的准确度, 特别是有效数字位数最少的原始数据。因此数值准确度大小由有效数字的位数来决定。

### 1.2.1 有效数字

在测量工作中, 有效数字是指能够测量到有实际意义的数字。我们把通过直读获得的准确数字叫作可靠数字; 把通过估读得到的那部分数字叫作存疑数字; 把测量结果中能够反映被测量大小的带有一位存疑数字的全部数字叫作有效数字。换句话说, 测量数字应该带有一位且只需带一位存疑数字。比如  $0.0234\text{ m}$ , 表示  $0.023\text{ m}$  是直读获得, 而  $0.0004\text{ m}$  是估读获得。测量工作中, 学生常常忽视记录估读, 应该予以提醒和注意。

在数学运算中, 有效数字是指在一个数中, 从该数的第一个非零数字起, 直到末尾数字止的数字。比如  $0.0234\text{ m}$ , 有效数字是 2、3、4。

### 1.2.2 数字的修约规则

对于位数很多的近似数，当有效位数确定后，应该将多余的数字舍去。传统的“四舍五入”法逢五就入，易使所得数据偏大。新的修约规则为“四舍六入五成双”，但“四舍六入”的口诀，在修约略大于保留部分 0.5 个单位时，容易出错。比如 0.51，并没大于 0.6 个单位，但还是应该入 1。因此将新修约规则记忆为：“小五舍，大五入，等五凑偶。”即：

(1) 小于保留部分 0.5 个单位的，舍去。

(2) 大于保留部分 0.5 个单位的，末位入 1。

(3) 等于保留部分 0.5 个单位的，末位凑偶。换言之，若末位是偶数，则不变；若末位是奇数，则进 1。注意，这里指恰好等于 0.5 个单位的情况，在数学上表现为后面全部是零。

比如，将以下数字保留四位有效数字：

1.002 499 9 保留为 1.002，即 0.000 499 9 小于 0.5 个单位而舍去。

1.002 500 1 保留为 1.003，即 0.000 500 1 大于 0.5 个单位，则末位应入 1。

1.002 500 0 保留为 1.002，即 0.000 500 0 刚好等于 0.5 个单位，5 前是偶数 2，因此末尾不变。

1.001 500 0 保留为 1.002，即 0.000 500 0 刚好等于 0.5 个单位，5 前是奇数 1，因此末位入 1 凑偶。

### 1.2.3 运算过程中有效位数的修约

因测量值的有效位数可能不同，因此计算前，应首先根据保留位数的要求对各原始数据修约。具体如下：

(1) 进行数值加减时，结果保留小数点位数，应与小数点位数最少者相同。

比如：

$$0.014\ 2 + 24.43 + 305.846 = ?$$

$$0.01 + 24.43 + 305.85 = 330.29$$

(2) 进行数值乘除时，结果保留的有效数字位数，应与有效数字位数最少者相同。

比如：

$$(0.014\ 2 \times 24.43 \times 305.846) \div 28.67 = ?$$

$$(0.014\ 2 \times 24.4 \times 306) \div 28.7 = 3.69$$

(3) 数值乘方或开方时，结果保留有效数字位数，应与真数的有效数字位数相同。

比如：

$$6.54^2 = 42.8 \quad \sqrt{7.56} = 2.75$$

(4) 进行对数计算时，对数尾数的小数点位数，应与真数的有效数字位数相同。

比如：

$$c_{\text{H}^+} = 6.3 \times 10^{-11} \text{ mol/L}$$

$$\text{pH} = 10.20$$

在学生实验中一般要求最终结果保留 3 位有效数字，中间结果可以取 4 位有效数字。当然在实际工程计算过程中，计算的精度要求较高。最终结果往往保留小数点后 2~3 位，因此中间结果和一些物理常数，一般可取 4~6 位有效数字。

## 第2章 化工实验数据处理

由实验测得的大量数据，必须进行进一步的处理，使人们清楚地观察到各变量之间的定量关系，以便进一步分析实验现象，得出规律，指导生产与设计。

数据处理方法有三种：

### 1. 列表法

将实验数据列成表格以表示各变量间的关系。这通常是整理数据的第一步，为标绘曲线图或整理成方程式打下基础。

### 2. 图示法

将实验数据在坐标纸上绘成曲线，直观而清晰地表达出各变量之间的相互关系，便于分析极值点、转折点、变化率及其他特性，还可以根据曲线得出相应的方程式。此外，某些精确的图形还可用于不知数学表达式的情况下图解积分和微分。

### 3. 回归分析法

利用最小二乘法对实验数据进行统计处理，得出最大限度符合实验数据的拟合方程式，并判定拟合方程式的有效性，这种拟合方程式有利于用电子计算机进行计算。

## 2.1 列表法

将实验数据按自变量和因变量的关系，以一定的顺序列出数据表，即为列表法。列表法有许多优点，如为了不遗漏数据，原始数据记录表会给数据处理带来方便；列出数据使数据易比较；形式紧凑；同一表格内可以表示几个变量间的关系等。列表通常是整理数据的第一步，为标绘曲线图或整理成数学公式打下基础。

实验数据表可分为原始记录表、中间运算表和最终结果表。原始记录表必须在实验前设计好，以便清楚地记录所有待测数据。运算表格有助于进行运算，不易产生混淆和错误。实验最终结果表主要体现变量之间的关系和实验的结论，使人一目了然。

设计实验数据表应注意的事项：

(1) 表格设计要力求简明扼要，一目了然，便于阅读和使用。记录、计算项目要满足实验需要，如原始数据记录表格上方要列出实验装置的几何参数以及平均水温等常数项。

(2) 表头列出物理量的名称、符号和计算单位。符号与计量单位之间用斜线“/”隔开。斜线不能重叠使用。计量单位不宜混在数字之中，造成分辨不清。

(3) 注意有效数字位数，即记录的数字应与测量仪表的准确度相匹配，不可过多或过少。

(4) 物理量的数值较大或较小时，要用科学记数法表示。以“物理量的符号  $\times 10^{\pm n}$  / 计量单位”的形式记入表头。注意：表头中的  $10^{\pm n}$  与表中的数据应服从下式：

$$\text{物理量的实际值} \times 10^{\pm n} = \text{表中数据}$$



(5) 为便于引用，每一个数据表都应在表的上方写明表号和表题（表名）。表号应按出现的顺序编写并在正文中有所交代。同一个表尽量不跨页，必须跨页时，在跨页的表上须注“续表×××”。

(6) 数据书写要清楚整齐。修改时宜用单线将错误的的数据划掉，将正确的写在下面。实验条件及做记录者的姓名可作为“表注”，写在表的下方。

## 2.2 图示法

实验数据图示法就是将整理得到的实验数据或结果标绘成描述因变量和自变量的依从关系的曲线图。该法的优点是直观清晰，便于比较，容易看出数据中的极值点、转折点、周期性、变化率以及其他特性，准确的图形还可以在不知数学表达式的情况下进行微积分运算，因此得到广泛的应用。

实验曲线的标绘是实验数据整理的第二步，如果要在工程实验中正确作图则必须遵循如下基本原则，才能得到与实验点位置偏差最小且光滑的曲线图形。

### 2.2.1 坐标系的选择

化工中常用的坐标系为直角坐标系、单对数坐标系和双对数坐标系。

#### 1. 直角坐标系

一般  $x$ 、 $y$  间的函数呈一次函数型时，建议选用直角坐标系。

因为将变量  $x$ 、 $y$  标绘在直角坐标纸上，就可得到一直线图形  $y = a + bx$ 。通过直线的斜率可以直观地求出系数  $b$ ，进而求得  $a$ 。

#### 2. 单对数坐标系

如图 2.1 所示，单对数坐标系的一个轴是分度均匀的普通坐标，另一个轴是分度不均匀的对数坐标。

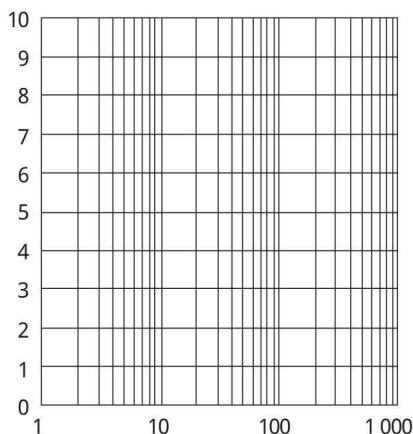


图 2.1 单对数坐标

在下列情况下，建议使用单对数坐标系：

(1) 变量之一在所研究的范围内发生了几个数量级的变化。



(2) 在自变量由零开始逐渐增大的初始阶段, 当自变量的少许变化引起因变量极大变化时, 采用单对数坐标可使曲线最大变化范围伸长, 使图形轮廓清楚。

(3) 当需要变换某种非线性关系为线性关系时, 可用单对数坐标。如将指数型函数变换为直线函数关系。若变量  $x$ 、 $y$  间存在指数函数型关系, 则有:

$$y = ae^{bx}$$

式中,  $a$ 、 $b$  均为待定系数。

在这种情况下, 若把  $x$ 、 $y$  数据在直角坐标纸上作图, 则所得图形必为一曲线。若对上式两边同时取对数, 则有:

$$\lg y = \lg a + bx \lg e$$

令

$$\lg y = Y, \quad b \lg e = k$$

则上式变为:

$$Y = \lg a + kx$$

经上述处理变成了线性关系, 以  $\lg y = Y$  对  $x$  在直角坐标纸上作图, 其图形也是直线。为了避免对每一个实验数据  $y$  取对数的麻烦, 可以采用单对数坐标纸。因此, 如果把实验数据标绘在单对数坐标纸上时, 绘出的是直线, 则其关联式必为指数函数型。

### 3. 双对数坐标系

如图 2.2 所示, 双对数坐标系的横轴和纵轴都是对数坐标。

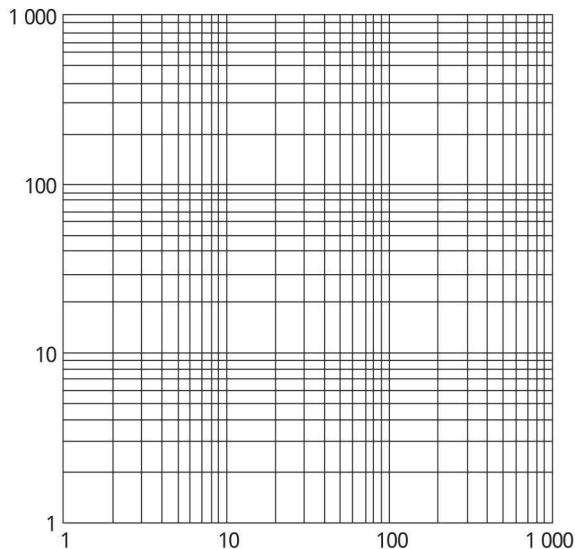


图 2.2 双对数坐标

在下列情况下, 建议使用双对数坐标系:

- (1) 变量  $x$ 、 $y$  在数值上均变化了几个数量级。
- (2) 需要将曲线开始部分划分成展开的形式。

(3) 当需要变换某种非线性关系为线性关系时, 例如幂函数。变量  $x$ 、 $y$  若存在幂函数关系式, 则有:

$$y = ax^b$$

式中,  $a$ 、 $b$  均为待定系数。