

简明 化工 原理 实验 指导



黄少烈 邓淑华 陈淑琼 梅慈云 编 著

科学普及出版社

简明化工原理实验指导

黄少烈 邓淑华 编 著
陈淑琼 梅慈云

科学普及出版社

内 容 简 介

本书主要介绍雷诺实验, 柏努利方程实验, 离心泵性能实验, 管道阻力实验, 过滤实验以及传热, 精馏, 干燥等实验的原理、实验装置与操作方法; 电除尘、边界层等六个演示实验原理和表演方法; 常用的压力、温度、流量等参数的测量与仪表的使用方法。此外, 还介绍了计算机在化工原理实验中的应用。

本书实用性、通用性强, 可作为高等院校及专科学校化工、石油、轻工、食品等专业学生的化工原理实验教材, 也可供化工方面的研究、设计及生产单位工程技术人员参考。

简明化工原理实验指导

黄少烈 邓淑华 编著
陈淑琼 梅慈云

科学普及出版社出版发行

(北京市海淀区魏公村白石桥路32号)

广东第二新华印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米 1/32开 印张: 5.875 字数: 118千字

1991年8月第一版 1991年8月第一次印刷

印数: 10,000册

ISBN7-110-02213-7/O·57

定价: 2.80元

前 言

化工原理是研究化工生产过程中各种单元操作的工程学科。它紧密联系生产实际，是石油、化工、轻工等专业学生必修的一门技术基础课程。其教学目的是使学生学会用自然科学的原理考察、解释和处理工程实际问题。实验是教学中的一个重要的实践环节，通过实验，学生不但巩固了所学过的理论知识，而且还能在实验中增长不少新的知识，受到系统的、严格的工程实验训练，因而提高了动手能力和分析、解决问题的能力。迄今为止，面对生动而复杂的化工生产过程的现象，还不能只靠几个假定和定理，或者是演绎推导的方法便得到应用的理论。因此，不论是工程的可行性研究，新技术的开发和利用，或是工程设计的依据往往都有赖于以实验为基础的经验或半经验的公式，或者直接取实验放大的数据。这就是为什么要求学生必须掌握实验技能的原因，教师和学生都要把这一点作为衡量教学质量的一个重要方面。

本书根据全国化工原理教学指导委员会制定的实验要求进行编写，着重于介绍实验原理、实验装置和实验方法，简略介绍数据的处理及常用仪表的测量方法和计算机的应用。内容力求简明扼要、通俗易懂，不但适合于大学本科、大专和中专的学生作为实验教材用，也适合于电大及函授学生自学使用。

编 者

1991年4月

目 录

第一章 实验基础知识	(1)
一、实验前的准备	(1)
二、怎样做好实验	(2)
三、怎样编写实验报告	(3)
四、实验误差分析及数据处理	(4)
第二章 实验内容	(10)
实验一 流体流动型态的观察与测定	(10)
实验二 柏努利方程实验	(13)
实验三 管道阻力的测定	(18)
实验四 离心泵性能的测定	(25)
实验五 恒压过滤常数的测定	(29)
实验六 传热实验	(36)
实验七 吸收实验	(44)
实验八 精馏实验	(60)
实验九 干燥实验	(69)
附 演示实验	(76)
一、电除尘演示实验	(76)
二、旋风分离器演示实验	(79)
三、边界层仪演示实验	(81)
四、筛板塔演示实验	(84)
五、浮动喷射塔演示实验	(86)
六、浮阀塔演示实验	(88)

第三章 测量仪表和测量方法	(90)
一、压力测量	(90)
二、流量测量	(94)
三、温度测量	(117)
四、离心泵功率的测量	(141)
五、转速的测量	(144)
第四章 计算机在化工原理实验中的应用	(148)
一、PC—1500袖珍计算机介绍	(149)
二、实验数据整理程序例	(150)
参考文献及资料	(171)
附录一 管子管件的种类、用途，管子连接的方法	(173)
附录二 酒精溶液的物理常数（摘录）	(181)
附录三 酒精蒸气的密度与比容（摘录）	(182)
附录四 酒精——水混合液在常压下汽液平衡数据	(182)

第一章 实验基础知识

实验方法是化学工程研究方法中的一种。它是通过实验直接测定各变量之间的关系，以表格、线图或经验公式的形式表示。成功的实验来自于正确的方案和严谨的科学态度。所谓严谨的科学态度就是实事求是的工作态度加上正确的数据处理方法。正确的方案包含了从方案的制定到装置的设计、物系的选定及数据的读取这一全过程，做到“以小见大、由此及彼”，多、快、好、省实现规划的任务。

一、实验前的准备

实验开始，首先要考虑如下的问题：为完成实验所提出的任务；采用什么样的装置；选用什么物系；流程应怎样安排；读取哪些数据；应该如何布点等。如果实验装置已经被规定，实验开始前，要弄清装置的原理和构造、看清流程、了解启动和使用方法（注意：未经指导教师许可，不要擅自开动！）。也要考虑实验要如何布点，和实验数据的读取。做好记录数据的表格。并预期可能出现的故障及其克服的办法。

化工原理实验往往分组进行。小组成员在实验开始前要分工明确，以期达到协调一致。

二、怎样做好实验

实验开始后，必须全神贯注地精心操作，务必使整个操作过程都在规定条件下进行。随时注意观察现象、发现问题，并作好记录。

读取数据时应注意：

1. 凡是影响实验结果或者数据整理过程中所必须的数据都一定测取。它包括大气条件，设备有关尺寸，物料性质及操作数据等。

2. 不是所有的数据都要直接测取。凡可以根据某一数据导出或从手册中查取的其他数据，就不必直接测定。例如：水的粘度、重度等物理性质，一般只要测出水温，即可查出，不必直接测定。

3. 实验时一定要在现象稳定后才开始读数据。条件改变后，要稍等一会，待达到稳定才可读数。

4. 同一条件下，至少要读取两次数据（研究不稳定过程除外）。在两次数据相近时，方可改变操作条件。每个数据在记录后都必须复核，以防读错或记错。

5. 根据仪表的精确度，正确地读取有效数字。必须记录直读的数据，而不是通过换算或演算以后的数据。读取的数据必须真实地反映客观实际，即使已经发现它是不合理的数据，也要如实地记录下来，待讨论实验结果时进行分析讨论。这样做，对我们分析问题以及核实情况有利。

实验过程中，除了读取数据外，还应做好下列各项：

1. 从事操作者，必须密切注意仪表指示值的变动，随时调节，务使整个操作过程都在规定条件下进行，尽量减少

实验操作条件和规定操作条件之间的差距。操作人员不要擅离岗位。

2. 读取数据后,应立即和前次数据相比较,也要和其他有关数据相对照,分析相互关系是否合理。如果发现不合理的情况,应该立即同小组同学研究原因,是自己认识错误呢还是测定的数据有问题,以便及时发现问题,解决问题。

3. 实验过程中还应注意观察过程现象,特别是发现某些不正常现象时更应抓紧时机,研究产生不正常现象的原因。

三、怎样编写实验报告

实验报告是实验工作的总结,编写报告是对学生能力的训练。因此,学生应独立地完成实验报告。实验报告要求文字简明,说理充分,计算正确,图表清晰而且有分析讨论。虽然格式不强求完全一致,但都应包括以下的内容。

1. 实验题目。
2. 报告人及其合作者的姓名。
3. 实验任务。
4. 实验原理。
5. 实验设备及其流程,简要的操作说明。
6. 原始记录数据及整理后的数据并列成表格。
7. 实验结果,用图线或用关系式标出。
8. 分析讨论:包括对实验结果的估计,误差的分析及其问题讨论,实验改进的建议等。

四、实验误差分析及数据处理

由于种种原因，测量和实验所得之数值和真值之间，总存在一定的差异（即使是非常精密的仪器，也只能测出真值的近似值）。这种差异在数值上的表现为误差。对测量误差进行估计和分析，对评判实验结果和设计方案，具有很大的意义，是我们应该熟练掌握的内容。

（一）测量误差的基本概念

1. 真值与平均值

任何一个被测量对象的物理量总具有一定的客观真实值——真值。但真值一般不能直接测出。实验科学给真值下了这样一个定义——无限多次的观察值的平均值，称为真值。由于实验观测的次数是有限的，因此有限次数观测值的平均值，只能接近于真值，称为最佳值。实际工作中，一般取高一级的仪器的示值作为真值。

2. 绝对误差与相对误差

①绝对误差：用测量值 x ，减去真值 A ，所得余量 Δx 为绝对误差。记为

$$\Delta x = x - A \quad (1-1)$$

②相对误差：衡量某一测量值的准确度的高低，应该用相对误差 δ 来表示。记为

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-2)$$

3. 误差的性质及其分类

①系统误差：系统误差是指在测量中或实验过程中未发

觉或未确认的因子所引起的误差，这些因子影响的结果永远朝一个方向偏移，其大小及符号在同一组实验测量中完全相同，在条件改变时，按某一确定规律变化。例如：水银温度计的零位变动，偏高了0.2度，用这支温度计去进行测量多次，每次都会偏高0.2度。

②随机误差（或称偶然误差）：随机误差是指在相同条件下测量同一量时，误差的绝对值时大时小；其符号时正时负，没有确定的规律，也不可以预测，但具有抵偿性的误差。如果对某一量作多次的精度测量，还会发现：随机误差完全服从统计规律，误差的大小或正负的出现完全由概率决定。因此，随着测量次数的增加，随机误差的算术平均值趋近于零。所以，多次测量的算术平均值将更接近于真值。

③过失误差（或称粗差）：粗差往往是由于操作错误所引起，常表现为误差特别大。由于这是产生于人为，只要精心操作便可避免，这类误差在数据处理时应予以剔除。

（二）实验数据整理

1. 有效数字的概念

在测量和实验的数据处理中，应该用几位数字来表示测量和实验结果，这是一个很重要的问题。那种认为，小数点后面的数字越多越准确或者是运算结果保留的位数越多越准确的想法是错误的。测量值所取的位数，应正确反映所用的仪器和测量的方法可能达到的精度。

记录测量数值时，一般只应也只能保留一位估计数字。例如：微压计的读数为 125.7mmHg ，前三位数字125是准确知道的，0.7是估计读出的，为了能清楚地表示出数据的准确度和方便于运算，可将读取的数据写成指数的形式。在

第一位有效数字后加小数点，而其数值数量级则由10的幂次方来确定。比如刚才读的 125.7mmHg ，可记为 $1.257 \times 10^2 \text{mmHg}$ ，它表示其有效安全数字为四位。这时即使有效安全数字末位为零，也要记取。例如，微压计读数恰为 125.0mmHg ，可记为 $1.250 \times 10^2 \text{mmHg}$ 。

如果是非直接测量值，即必须通过中间运算才得到结果的数据，可按有效数字的运算规则进行运算。

(1) 加法运算：在各数中，以小数位数最少的数为准，其余各数均凑成比该数多一位。

例如： $60.4 + 2.02 + 0.222 + 0.0467$
 $\rightarrow 60.4 + 2.02 + 0.22 + 0.05 = 62.69$

(2) 减法运算：当相减的数差得较远时，有效数字的处理与加法相同。但如果相减的数非常接近，这样相减则失去若干有效数字。因此除了保留应该保留的有效数字外，应从计算方法或测量方法加以改进，使之不出现两个相接近的数相减的情况。

(3) 乘除法运算：在各数中，以有效数字位数最少的数为准，其余各数及积（或商）均凑成比该数多一位。

例如： $603.21 \times 0.32 \div 4.011$
 $\rightarrow 603 \times 0.32 \div 4.01 = 48.1$

(4) 计算平均值：若为四个或超过四个数相平均，则平均值的的有效数字位数可增加一位。

(5) 乘方及开方运算：运算结果比原数据多保留一位有效数字。

例如： $25^2 = 625$ ， $\sqrt{4.8} = 2.19$

(6) 对数运算：取对数前后的有效数字位数应相等。

例如 $\lg 2.345 = 0.3701$

$$\lg 2.3456 = 0.37025$$

2. 实验数据的处理

化工原理实验测量多数是间接测量，实验数据一般处理的程序是：首先将直接测量结果按前后顺序列出表格，然后计算中间结果、间接测量结果及其误差。并且将这些结果列成表格，最后按实验要求或者将结果用图形表示出来，或者用经验公式表示。

(1) 实验曲线的绘制：实验数据图形表示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，变化率以及其它特性。精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。

根据数据作图，通常要考虑如下问题。

坐标系的选择：化工常用的坐标有直角坐标、对数坐标和半对数坐标等。根据数的关系或预测的函数形式来进行选择。如是线性函数，采用直角坐标；如是幂函数，采用对数坐标以使图形线性化；指数函数则采用半对数坐标；若自变量或者因变量中的一个最小与最大值之间数量级相差太大时，亦可以选用半对数坐标。

例如：对于 $y = ae^{bx}$ 函数，可用 y 为对数分度， x 为直线分度的半对数坐标，因为：

$$\ln y = \ln a + bx$$

而对于 $y = ax^b$ 应采用双对数坐标，因为：

$$\lg y = \lg a + b \lg x$$

应该清楚地看到，在对数坐标上，标出的数值为真数，原点应该是 1 而不是零，又由于 1, 10, 100 等的对数分别为 0, 1, 2 等，所以在坐标纸上，每一数量级的距离是相等的。

由于是真数标值，所以求取直线的斜率时，不能直接用标度数值计算，而应该用它的对数。设斜率为 K 。

$$K = \frac{\log y_2 - \log y_1}{\log x_2 - \log x_1}$$

坐标的分度：坐标的分度应与实验数据的有效数字大体相符，最适合的分度是使实验曲线坐标读数和实验数据具有同样的有效数字位数。其次，纵横坐标之间的比例不一定取得一致，应根据具体情况选择，使实验曲线的坡度介于 $30^\circ \sim 60^\circ$ 之间，这样的曲线，坐标读数准确度较高。

(2) 经验公式的确定：经验公式法，又称数学模型法。它直观地描述了过程或现象的自变量和因变量之间的关系，也是一种重要的方法。尤其在广泛应用计算机的今天。

通常多采用图形比较法，即将实验数据绘成实验曲线，并与典型曲线相对比，看实验曲线与哪种函数曲线相似，就取哪种函数为经验公式的类型。

(3) 经验公式中待定系数的确定：凡可以在普通坐标系上把数据标绘成直线或经过适当变换后在对数坐标系上可化为直线时，均可以采用直线图解法求常数（求斜率或求截距后根据相互关系计算出来）。

除直线图解法外，还有分组平均法，最小二乘法等。直线图解法最简单，但精度较差；最小二乘法计算复杂，但精度较高。所以，如果使用电子计算机计算，采用最小二乘法可以达到又快又好的效果。

为了使实验数据整理又快又好，可以采用以下的办法。

①对于在同一条件下所得到的比较稳定（即波动不大）的数据，可先取其平均值再进行数据处理。

②根据有效数字的运算规则,舍弃一些没有意义的数字。

③采用常数归纳法使变量和因变量的关系更加直观,而且提高了计算速度。所谓常数归纳法就是将计算公式中的常数归纳为一个常数。

第二章 实 验 内 容

实验一 流体流动型态的观察与测定

(一) 实验目的

1. 观察流体在管内流动的两种不同的流型。
2. 观察层流时, 管中流速的分布。
3. 建立“滞流”与“湍流”可根据雷诺准数 Re 来判断的概念。

(二) 实验原理

流体在管内流动时有两种型态: 滞流和湍流。流体在作滞流流动时, 其质点是沿着与管轴平行的方向作直线运动。流体在作湍流流动时, 管内水的质点除了沿着管道向前流动外, 各质点的运动速度在大小和方向上都随时发生变化。决定流体的流动型态可以根据雷诺准数 Re 来判断。雷诺准数 Re 的定义式如下:

$$Re = \frac{du\rho}{\mu} \quad (2-1)$$

式中: d ——管径, m

u ——流速, m/s

ρ ——流体密度, kg/m^3

μ ——流体粘度, Ns/m^2

对于一定温度的流体, 在规定的管子中流动时, Re 仅与

u 有关, 而 u 可通过转子流量计测量流量 V 来求得。本实验就是通过改变流量 V , 观察流体流型的变化, 来说明流型与 Re 的关系。

(三) 实验装置

实验装置如图 2-1 所示, 图中大槽为高位水槽, 试验时水即由此进入玻璃管(玻璃管系供观察流体流动时的型态和滞流时导管中流速分布之用)。槽内之水由自来水管供应, 水量由阀A控制, 槽内设有进水稳流装置及溢流箱, 用来维持平稳而又恒定的液面, 多余的水由溢流管排入水沟。

试验时打开阀C, 水即由高位槽进入玻璃管, 经转子流量计后, 排向排水管(短导管虚线位置)或量筒(短导管实线位置)。可用阀B调节水量, 流量由转子流量计测出。

高位墨水瓶供贮藏墨水用, 墨水由此经阀B流入玻璃管, 阀B为墨水的调节阀, 如果需要校核流量计, 可拨动短导管

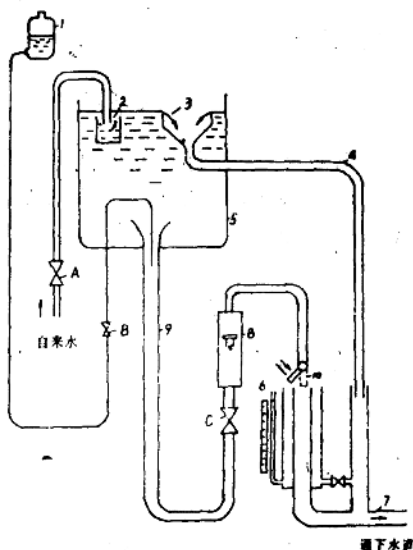


图2-1 流体流动型态实验装置流程图

- 1—高位墨水瓶; 2—进水稳流装置;
- 3—溢流箱; 4—溢流管; 5—高位水槽;
- 6—量筒; 7—排水管; 8—转子流量计;
- 9—玻璃管; 10—活动短导管。