



中等专业学校教材

化工原理 实验技术

杜 华 编
周立雪 审

6-43

化学工业出版社
教材出版中心



中等专业学校教材

化工原理实验技术

杜 华 编

周立雪 审

化学工业出版社

教材出版中心

·北 京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理实验技术/杜华编. —北京: 化学
工业出版社, 2000. 9
中等专业学校教材
ISBN 7-5025-2924-1

I. 化… II. 杜… III. 化学工业-化工
实验-专业学校-教材 IV. TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 37699 号

中等专业学校教材
化工原理实验技术
杜 华 编
· 周立雪 审

责任编辑: 何 丽
责任校对: 陶燕华
封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社 出版发行
材料出版中心

(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
三河市宇新装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 7½ 字数 203 千字

2000 年 9 月第 1 版 2004 年 2 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-5025-2924-1/G · 749

定 价: 13.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

本书是依据全国化工中专教学指导委员会 1996 年颁布的《化工原理实验教学大纲》而编写的。

为了适应能力培养的需要,本书在体系上力求把新设备、新测量仪表、新技术介绍给读者,集验证实验、操作实训为一体;在编写思路上,以能力培养为主线,突出测试技术和组织工程实验的能力以及设备操作技能的训练;在内容设置上力求全面,以适应各学校的需要;在实验内容结构上,打破常规实验教材的模式,详细提出实验目的,设立实验测试原理的分析,以实验流程图的介绍和分析取代常规的实验装置,使实验内容适应各类装置;实验步骤从工程实验的角度要求,提出粗线条的实验顺序,不局限于操作程序,同时附加实验中注意的问题与思考,启发学生思考,强化能力的培养。对操作较为复杂的实验,设立了操作条件的建立及影响因素的分析;对操作过程容易出现异常的实验,设立了异常现象的表现、原因分析和处理方法的讨论;对数据处理和检测方法较为复杂的实验进行了简介;对可以结合各学校实际灵活安排和妥善处理的实验,也作了说明。

在编写过程中,笔者面向全国开展了化工原理实验课程基本情况的调研,研讨了现有实验装置的实际,广泛参考和借鉴了各学校实验的成熟经验,得到了各学校领导和老师们的大力支持。周立雪主审严格把关,提出了很多建设性的意见。参加本书审稿的有:杨斗文、汤金石、易卫国、李劲松、刘盛宾、秦建华、王小宝、侯丽新、汤小云、傅爱华、陆小荣、潘学行、潘文群、王伟武、归宗燕、蒋丽芬、卢莲英、庄伟强、牟清光、杨丽萍、张柏钦、顾立香、张宏丽、王根来、屠金炎、张伟梅、徐善述、刘佩田、程葵阳等,在此一并致谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中不妥之处。恳望读者指正。

编者

2000 年 3 月

内 容 提 要

本书是根据全国化工中专教学指导委员会 1996 年颁布的《化工原理实验教学大纲》、同时在面向全国进行深入调研的基础上编写的。

该书共分四章。第一章为实验基础知识；第二章介绍实验测试仪表和使用技术；第三章实验技术分为验证实验和演示实验两部分，具体详细地给出实验大纲所要求的 20 个实验；第四章简介计算机技术在化工原理实验中的应用。内容充实，详略得当，涉及面广，具有很强的实用性。

本书可作为化工、轻工、石油、食品加工等相关专业的中职、中专《化工原理》课程的实验教材，也可供高职和各类培训等使用。

目 录

第一章 实验基础知识	1
第一节 概述	1
一、化工原理实验的特点和重要性	1
二、化工原理实验目的	1
三、化工原理实验的基本要求	2
第二节 实验的误差和数据处理	4
一、误差概述	5
二、实验数据的记数法与有效数字	9
三、实验数据的记录与整理	11
第三节 化工原理实验安全知识	15
一、化学药品和气体的安全常识	15
二、高压气瓶使用注意事项	17
三、电器设备及实验操作安全守则	19
第二章 实验测量仪表及使用技术	20
第一节 压力测量	20
一、常用压强计	20
二、压强测量要点	26
第二节 流量测量	29
一、速度式测量法	29
二、体积式测量方法	38
三、其他流量计简介	39
四、流量检测元件及仪表的选用	45
第三节 温度测量	45
一、液体膨胀式温度计	46
二、电阻温度计	50
三、热电偶温度计	52
四、温度仪表的选用	56
五、接触式温度计的安装	57

第四节 密度测量	61
一、液体密度天平的结构	61
二、液体密度天平的测定方法	62
第五节 功率的测定	63
一、马达-天平测功器	63
二、功率表测功法	65
第六节 转速测量	65
一、日光灯法	65
二、数字式转速计	66
三、发电机式转速表	67
第三章 实验技术	69
第一节 验证实验	69
实验一 管材、管件的识别与管路拆装	69
实验二 流量计的识别与校核	72
实验三 直管摩擦阻力系数和局部阻力系数的测定	76
实验四 离心泵特性曲线的测定	82
实验五 过滤机过滤常数的测定	86
实验六 传热实验	91
气体强制对流传热膜系数的测定	91
换热器的操作和影响传热系数因素分析	103
实验七 精馏塔操作及塔效率的测定	108
实验八 吸收实验	117
实验九 干燥实验	131
第二节 演示实验	140
实验一 流体静力学演示实验	140
实验二 柏努利演示实验	143
实验三 雷诺演示实验	147
实验四 流体边界层演示实验	150
实验五 线流、涡流形成及边界层分离演示实验	153
实验六 固体流态化演示实验	155
实验七 水喷射真空泵演示实验	160
实验八 离心泵气蚀、气缚现象演示实验	160
实验九 旋风分离器演示实验	164

实验十 非均相物系分离演示实验	167
实验十一 塔冷膜演示实验	169
筛板塔演示实验	169
浮阀塔演示实验	173
塔式演示实验	175
泡罩塔冷膜演示实验	175
浮动喷射塔演示实验	176
第四章 计算机技术在化工原理实验中的应用简介	180
一、计算机技术在实验数据处理方面的应用	180
(一) 实验数据处理有关的计算机电算程序	180
(二) 应用系统软件进行实验数据的计算机处理	184
二、计算机仿真技术在化工原理实验中的应用	186
(一) 系统仿真	186
(二) 过程系统仿真技术在化工原理实验中应用和特点	189
(三) 化工原理实验仿真系统开发制作环境	190
(四) 化工原理实验仿真软件构成的基本内容	191
(五) 计算机仿真系统软件在化工原理实验中应用的前景和展望	195
附录	197
一、管子、管件的种类、用途及管子连接的方法	197
二、乙醇溶液的物理常数	202
三、乙醇蒸气的密度及比体积	202
四、乙醇-水混合液常压下汽液平衡数据	203
五、乙醇溶液密度的温度改正数	203
六、20℃时不同含量的乙醇-水溶液的密度	204
七、常用热电偶分度表	205
八、常用热电阻分度表	220
九、氨吸收有关的数据	224
参考文献	226

第一章 实验基础知识

第一节 概 述

一、化工原理实验的特点和重要性

《化工原理》是化工类专业教学中一门非常重要的专业基础课。化工原理实验是化工原理课程教学过程中，理论联系实际，培养学生应用所学理论知识解决实际工程问题能力，进行科学研究和操作实训的重要教学环节。

化工原理实验属于工程实验范畴，不仅是验证所学理论知识的过程，而且是培养学生科研能力和技术工作能力的一种有效手段。通过组织实验，实际操作训练、测取数据，编制实验报告，培养学生工程实验能力。上好实验课，将在很大程度上有助于提高化工原理理论教学的质量，起到理论联系实际的作用。

二、化工原理实验目的

化工原理实验作为化工原理教学过程的一个重要组成部分，结合其自身的特点和体系，通过实验应达到如下目的。

1. 根据实验目的，分析实验测定原理，设计实验流程图，选择实验装置，编写实验的具体步骤。

2. 结合已有的实验装置，对化工设备，化工管路的构成建立一个初步的认识，通过实验操作，培养学生掌握化工设备操作技术的能力。

3. 根据实验目的要求，结合实验装置、操作点和监测点组织实验。

4. 通过实验，培养学生对实验现象敏锐的观察能力；正确地获取实验数据的能力；根据实验数据和现象用所学的知识归纳分析实验结果的能力；培养从事科学研究的初步能力。

5. 掌握化工原理实验的原理、方法和技巧，实现化工实验技能的基本训练。

6. 培养学生运用所学知识, 分析和解决实际问题的能力。在理论在实践相结合的过程中, 巩固和加深对课堂理论教学内容的学习和验证。

7. 学会实验报告的书写方法, 培养书写工程文件的能力。

综上所述, 化工原理实验教学的目的, 注重了对工程实践能力的全面培养, 是化工类专业教学过程中一个非常重要的环节。

三、化工原理实验的基本要求

1. 实验前的准备工作

(1) 充分准备、做好课前预习

课前预习一般要求: 认真阅读实验技术指导内容, 明确所做实验的目的和任务、要求; 掌握实验依据的原理、基本理论知识; 根据实验流程图, 构思实验装置, 熟悉实际实验装置(或流程); 提出具体的实验操作步骤; 结合实验目的和任务, 搞清需要收集的实验数据, 以及如何收集这些数据; 按实验应得到的结论及实验中要注意的事项等内容进行全面的预习。

实验前, 实验教师要针对实验内容提出问题, 无准备或准备不充分的学生不得进行实验。

(2) 熟悉设备、流程, 了解操作方法和监测点

对实际的实验装置, 应首先全面熟悉实验所用设备, 熟悉流程及管件等, 搞清其所在位置, 根据实验操作步骤, 熟悉操作方法; 了解数据监测点。

2. 实验注意事项

(1) 严格操作, 循序进行

实验时, 首先要仔细检查实验装置及仪器仪表是否完整(尤其是电路的接线及传动部分, 以确保安全), 准备完毕, 经指导教师允许后, 方可进行操作。

实验要按照实验技术指导内容中所列操作步骤和充分准备的具体操作方法和规程, 严格执行、循序进行, 未经指导教师认可不得随意变更操作步骤、方法和规程。

(2) 认真观测, 客观记录

实验中要注意仔细观察所发生的实验现象,认真记录实验所测的各项数据。实验中测取的各项数据,应该是实验结果或者是数据整理过程中所必须的数据,如当时、当地环境条件,设备有关尺寸和特性参数,物理性质以及操作数据等。数据测量应该是连续稳定条件下的真实数值。数据不能直接测取的,如水的密度、粘度等,应先测定水温,再通过有关资料查得。

实验过程中,必须学会有关测量仪表的使用方法及操作参数的调节,密切注意仪表指示值的变动,随时调节,使整个操作过程在规定的条件下进行,减少偶然误差。

实验要在现象稳定后开始读、记数据,观察实验现象;不要条件一改变,就急于测数据、记数据、观察现象。因为条件的改变,一定时间里流体流动不够稳定,往往实验现象具有滞后性,引用这些数据是不可靠的。一般情况下,待实验现象不再变化,仪表显示数据波动甚小时方可测取数据、观察实验现象,而且在同一条件下应读取两次数据,只有所得数据之值相近时才能改变操作条件。每个数据要注明计量单位,数据记录还必须真实地反映仪表的精确度。

实验中如出现不正常情况,以及数据有明显误差时,应在备注栏中加以注明,说明产生不正常现象的原因,提出改进或应予避免的合理化建议。

3. 实验结果处理的要求——编写完整、规范的实验报告

实验完成后,对测取的数据、观察到的实验现象和发现的问题进行分析、解决,得出实验结论,是否达到实验的目的。所有这些工作,应以实验报告的形式进行综合整理。实验报告作为实验文件,也是进行实验成绩评定的重要依据。

编写实验报告,必须本着实事求是的态度,不随便记录任何一个数据,更不能以任何理由为借口随意更改测得的数据。任何编造、修改或歪曲实际观察测取数据的行为,都是错误的。尊重所测数据,寻找误差原因,才是从事科学实验的正确态度。

实验报告是以实验目的、原理和装置为基础,依据规定和合理的操作步骤,测取准确、可靠的实验数据,最终分析、讨论得到实验结

论的完整文件。实验报告的编写要求简单明了，数据完整，文字清晰，结论明确，步骤清晰，有讨论、有分析，有建议，得出的公式或图表要注明使用条件。整个报告以便于指导教师审阅或验证。实验报告的格式可参照下列的格式。

实验名称：_____

班 级：_____ 同 组 人：_____

姓 名：_____ 实验日期：_____

实验地点：_____ 环境条件：_____

实验设备（规格或产地）：_____

（一）实验目的 指出实验所要达到的目的。

（二）实验原理 简述实验所依据的测定原理和所涉及的理论基础。

（三）实验装置 做出实际的实验装置流程简图，标出主要设备和监测仪表或设备的类型及规格。

（四）实验步骤 结合实验操作过程，简述操作方法、步骤等。

（五）实验数据及数据处理 用表格的形式整理实测数据，依据实验原理完成数据的计算处理，计算步骤要全面清晰。类型相同的多组数据的处理，计算时可以用一组数据处理的全过程为例进行整理，其他数据的处理、计算过程类同予以省略，计算结果列于表中。

（六）实验结果及讨论、分析

1. 给出实验结果；
2. 讨论实验结果与理论值的一致性，分析误差原因；
3. 回答实验有关的问题；
4. 针对产生误差的原因，提出合理化建议。

实验报告的重点应放在实验数据的处理和实验结果的讨论、分析。

第二节 实验的误差和数据处理

在化工原理实验中，测定设备的某些性能或验证化工生产过程的规律，需要对实验中所测数据的可靠程度作出估计，对所测数据合理与否作出解释；另外，还必须将所得数据加以整理归纳，用一定的方

式表示出各数值之间的相互关系。

下面简单介绍实验误差和数据处理的有关知识。

一、误差概述

实验中,由于实验方法和实验设备的不完善,周围环境的影响,以及人对观察现象的判断、测量仪器、测量方法等原因,使实验测量值与真值之间总是存在一定的差异,而测量值本身几次测取数值也可能不完全一致,在数值上的这种差异即为误差。

1. 精密度和准确度

测量中所测得的数值重现性的程度称为精密度,也即精确度。测量值与真值之间的符合程度称为准确度。

图 1-1 中, (a) 表示精密度和准确度都很高; (b) 表示精密度很好,但准确度却不高; (c) 表示精密度和准确度都不高。可见精密度高,其准确度不一定高,但准确度高,其精密度一定高。当然,在实验测量中没有像靶心那样明确的真值,而是要设法去测定这个未知的真值。

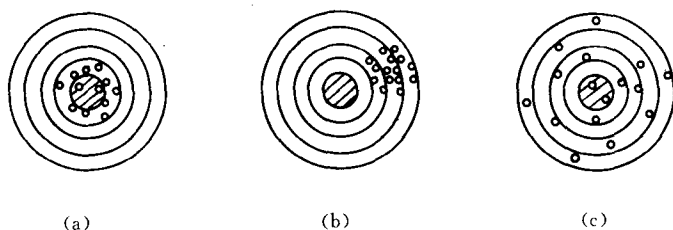


图 1-1 精密度和准确度

2. 真值与平均值

真值是一个理想的概念,在实验中,一个待测物理量的真值通常是客观存在但无法知道的,由于实验误差难以避免,故真值一般不能直接观测。但对某一物理量经过无限多次的测量,出现的误差有正也有负,而正、负误差出现的概率是相同的。因此,倘若在无系统误差的情况下,它们的平均值相当接近于这一物理量的真值。所以,在实验科学中定义:无限多次的观测值的平均值为真值。由于实验工作中

观测的次数总是有限的，由此得出的平均值只能近似于真值，故这个平均值有时也称为最佳值。

化工原理实验中，处理实验数据常用的平均值有下列几种。

(1) 算术平均值 设 $x_1, x_2, \dots, x_n$ 为各次的测量值， n 代表测定次数，则算术平均值

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1-1)$$

(2) 几何平均值 几何平均值是将一组几个测量值连乘开 n 次方求得，即

$$\bar{x} = \sqrt[n]{x_1 x_2 \dots x_n} \quad (1-2)$$

(3) 对数平均值 设两个量为 x_1, x_2 ，则其对数平均值

$$\bar{x} = \frac{x_1 - x_2}{\ln \frac{x_1}{x_2}} \quad (1-3)$$

(4) 均方根平均值 均方根平均值可按下式计算

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \quad i = 1 - n \quad (1-4)$$

使用不同的方法求取的平均值，并不都是最佳值，平均值计算方法的选择，取决于一组观测值的分布类型。一般情况下，观测值的分布属于正态类型，即正态分布，这种类型的最佳值是算术平均值。因此，选用算术平均值作为最佳值的场合是最为广泛的。

3. 误差的分类

根据误差的描述方法、误差来源和表现形式等不同，误差有多种分类方法，常用的有下列几种。

按误差的描述方法分类，可分为绝对误差和相对误差。

(1) 绝对误差 测量值与真值之差的绝对值称为绝对误差。可以用下式表示。

$$\Delta = |x_x - x_r| \quad (1-5)$$

式中 x_x ——测量值，是检测仪表的指示值；

x_r ——真值,被测量应有的数值,通常用更精确仪表的指示值近似实际值;

Δ ——绝对误差。

(2) 相对误差 绝对误差与真值之比称为相对误差,通常用百分数表示。即

$$\epsilon = \frac{\Delta}{x_r} \times 100\% \quad (1-6)$$

实际中有时还使用引用误差(即引用相对误差) ϵ_{gl} 和最大引用误差 $\epsilon_{g|m}$ 。即

$$\epsilon_{gl} = \Delta / (x_{\max} - x_{\min}) \times 100\% \quad (1-7)$$

$$\epsilon_{g|m} = |\Delta_{\max}| / (x_{\max} - x_{\min}) \times 100\% \quad (1-8)$$

式中 $x_{\max}$ ——仪表量程的上限值;

$x_{\min}$ ——仪表量程的下限值;

$|\Delta_{\max}|$ ——最大绝对误差的绝对值。

这就是说,引用误差是绝对误差与仪表量程的百分比,而最大引用误差是量程范围内各点中最大绝对误差的值与仪表量程的百分比。

从误差来源分类,测量结果的误差可分为装置误差与方法误差。

(3) 装置误差 由于仪表元件的质量和装配工艺不可能绝对符合要求,因而仪表本身不可避免地存在着误差,这种误差称作装置误差,其大小决定于制造工艺。

(4) 方法误差 由于仪表设计时的测量原理不十分完善或在使用仪表方法不恰当而导致的误差称作方法误差。对检测仪表使用方法不当有可能产生很大的误差。

根据仪表的工作条件,仪表的误差可分为基本误差和附加误差。

(5) 基本误差 在规定的工作条件(也称参比条件,如规定的温度、湿度、压力、电磁场强度、电源电压及频率等)下,仪表本身具有的误差称基本误差。

(6) 附加误差 因工作条件偏离规定条件而另外产生的误差,称作附加误差。

(7) 系统误差和随机误差

系统误差 按一定规律变化的误差称作系统误差。根据误差规律又分为恒值误差(在一定的工作条件下,误差的大小和符号均保持不变);变值误差(在一定的工作条件下,仪表各分度点的误差大小和符号按异地感规律变化)。系统误差具有一定的规律和重复性,经过校正可以消除。

随机误差 这是一种偶然误差。它是指在同等精度的多次重复测量中(工作条件、仪器、方法、操作人员等均相同),由于大量偶然因素造成的每次测量结果之间的误差,大小难以估计,服从统计规律。

(8) **稳态误差与动态误差** 根据误差出现的时间分类,测量误差又可分为稳态误差与动态误差。

稳态误差 稳态误差又叫静差,即仪表进入一种新的平衡状态后具有的误差。这种仪表的示值应该是稳定的。

动态误差 被测信号变化时由于仪表惯性而不能准确跟踪信号变化,使示值产生所谓的滞后误差。一般情况下,信号稳定后,动态误差最终会消失。但是在动态测试或者变换链比较长,仪表各个环节的惯性时间比较大时,必须充分考虑动态误差的影响。

(9) **粗大误差** 粗大误差又称疏忽误差。这是由于测试操作人员不慎造成的一种误差,其大小远远超过系统误差和随机误差范围,严重歪曲测量结果,在实验数据处理时应该舍去。造成粗大误差的原因往往是操作人员对仪器不熟悉,因而使用不当。工作条件突然变化也可能导致粗大误差。

4. 误差分析和处理

实验过程误差的存在是不可避免的,但要使测量结果正确,应尽量减少误差的影响。首先要分析出现误差的原因,然后逐一克服,就能在一定程度上减少误差。一般有如下处理方法。

①从引起误差的根源入手进行分析和处理,这是从根本上消除误差的方法。测量人员首先熟悉测量设备,尽量选用仪表元件的质量和装配工艺符合要求的仪表;尽量使测量的环境条件充分满足仪表的使用条件,认真操作,严格调试,采用合理的测试方法等。

②在测量结果中加入修正值进行处理。由于仪器、仪表结构本身固有的缺陷,造成一定的误差存在。这样,就需预先用标准仪器确定

出测量仪表的修正值（修正值等于未修正的测量结果的绝对误差，但正、负号相反），将实际测得值加上相应的修正值，即可得到正确的测量结果。对各种外界影响因素（温度、湿度、频率、电磁场、重力加速度以及其他因素）力求确定其修正公式、修正曲线和修正表格，以便修正测量结果。

③测量过程中选择适当的测量方法，使误差抵消而不至于带入测量结果中。如：测取数值时，要在仪表显示数值相对稳定后，读取结果。

④认真分析测取的实验结果，对严重不合理和明显误差的结果，应予以舍去。

二、实验数据的记数法与有效数字

实验测量及结果，总是表现为数字，而这些数字代表了欲测量值的近似值。在整理实验数据时，有人认为一个数值中小数点后面的位数愈多愈准确，或者计算结果保留的位数愈多愈精确可靠。实际上，这两种想法都是错误的。前者错在没有弄清小数点的位置仅与所用测量单位的大小有关，而与测量的准确度无关。例如：某一长度的数据为21.9cm和0.219m，其准确度是完全相同的。后者认识的错误，是不了解在一定的实验条件下，所测得的数据只能具有一定的精确度，该精确度与所用测量仪表等因素有关。为了掌握位数的正确取法，做到测量结果的正确记录和数据的正确处理，就要首先弄清有效数字的概念及有效数字的计算法则。

有效数字是指用来反映一个数大小的任意数，但它应该是准确无误的数字（末位数除外）。所谓准确是指它真实地反映了测量结果。

1. 有效数字的表示法

①一个近似值，四舍五入到哪一位，就说这个近似值精确到哪一位。这时，从左边第一个非零的数字起，至末尾一位数字为止的所用数字，都叫做这个数的有效数字。

如：0.000187；0.187；1.87；0.700；7.00；70.0有效数字都是三位。

②用仪表测得且具有某种计量单位的读数，连同末尾估计的一位数字在内，均为有效数字。