

化工原理实验

HUAGONG YUANLI SHIYAN

主编 徐强 胡承波 王维勋 ●



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

化工原理实验

主编 徐强 胡承波 王维勋



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

• 北京 •

内 容 提 要

本教材以化工实验研究的共性以及处理工程问题的实验研究方法为主,注重实验教材的实践性和单元操作的工程性,强调研究方法和工程观点的培养,并在内容的编排取材上注重理论联系实际和运用实验的方法论解决工程问题,并注重计算机技术和软件的应用。本教材可作为高等学校化学化工及相关专业的实验教材,亦可作为材料、环境、生物工程、医药、机械、自动化信息控制等部门从事研究、设计与生产的工程技术人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/徐强,胡承波,王维勋主编. —北京:中国水利水电出版社,2016.12
ISBN 978-7-5170-4941-8

I. ①化… II. ①徐… ②胡… ③王… 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(2016)第 300443 号

责任编辑:杨庆川 陈 洁 封面设计:马静静

书 名	化工原理实验 HUAGONG YUANLI SHIYAN
作 者	主编 徐 强 胡承波 王维勋
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址:www.waterpub.com.cn E-mail:mchannel@263.net(万水) sales@waterpub.com.cn 电话:(010)68367658(营销中心)、82562819(万水)
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京鑫海胜蓝数码科技有限公司
印 刷	三河市佳星印装有限公司
规 格	170mm×240mm 16 开本 13.75 印张 178 千字
版 次	2017 年 1 月第 1 版 2017 年 1 月第 1 次印刷
印 数	0001—2000 册
定 价	42.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

《化工原理实验》编写委员会

主 编 徐 强 胡承波 王维勋

副 主 编 朱 江 何家洪 李国强 吴飞跃

编写人员 (按姓氏笔画为序)

王维勋 朱 江 孙向卫 李国强

吴飞跃 何家洪 张光才 罗 燕

孟江平 胡承波 徐 迪 徐 峥

徐 强 凌立新 黄孟军

前 言

《化工原理实验》是化工原理课程教学中的一个重要环节,是化学、化工、制药工程等理工科专业学生必修的一门专业技术课程。学生通过对《化工原理实验》课程的学习,可加深和巩固对化工原理课程所讲述的基本原理,在培养其分析和解决工程实际问题以及开展科学研究和创新能力方面均起着十分重要的作用。近年来,随着化工原理实践教学和教学改革不断深入,实验装置的不断更新,教学手段的不断提高,计算机在实验数据处理方面的广泛应用,编写新的《化工原理实验》教材以适应新时期应用型人才的培养已成为当前实践教学的迫切需要。

本教材是编者根据多年的实践教学经验以及前期撰写的《化工原理实验》讲义,并参考了国内外有关教材编写而成的,主要对化工原理的基本实验、演示实验内容进行了修订,并新增加了化工原理实验的基本要求、实验数据的处理、实验室常用仪器的使用以及一些化工物性数据等内容。

本教材以化工实验研究的共性以及处理工程问题的实验研究方法为主,注重实验教材的实践性和单元操作的工程性,强调研究方法和工程观点的培养,并在内容的编排取材上注重理论联系实际和运用实验的方法论解决工程问题,并注重计算机技术和软件的应用。因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,亦可作为材料、环境、生物工程、医药、机械、自动化信息控制等部门从事研究、设计与生产的工程技术人员

技术参考书。

由于编者学识水平有限和经验不足,不妥之处在所难免,诚请广大读者批评指正,敬请提出宝贵意见和建议。

编 者

2016 年 7 月

目 录

前言

第 1 章 化工原理实验概论	1
1.1 化工原理实验的教学地位与特点	1
1.2 化工原理实验的教学目的	2
1.3 化工原理实验的教学要求	3
1.4 化工原理实验室注意事项	5
第 2 章 实验误差及数据处理	7
2.1 有效数字及运算规则	7
2.2 实验误差的分类与处理	11
2.3 工程实验数据的测量技术及处理方法	24
第 3 章 化工原理实验	77
实验一 雷诺演示实验	77
实验二 伯努利方程演示实验	82
实验三 流线演示实验	87
实验四 流体阻力的测定	93
实验五 离心泵特性曲线的测定	106
实验六 流量测定与流量计校核	115
实验七 恒压过滤常数测定实验	120
实验八 搅拌器功率曲线测定实验	127
实验九 传热系数测定实验	134

实验十 填料吸收塔吸收系数测定实验	143
实验十一 精馏实验	152
实验十二 液液传质系数测定实验	160
实验十三 干燥速率曲线测定实验	167
第 4 章 常用配套仪器设备及使用方法	176
4.1 概述	176
4.2 常用仪器设备及使用方法	176
附录	191
附录 1 法定计量单位及单位换算	191
附录 2 化工原理实验常用物性数据表	196

第 1 章 化工原理实验概论

1.1 化工原理实验的教学地位与特点

《化工原理实验》课程是化学工程与工艺、制药工程、应用化学、环境工程、高分子材料等专业的专业技术课程。该课程是配合化工原理课堂理论教学设置的实验课,运用课堂学过的化工基本理论,通过实验从实践中进一步学习、掌握和运用基本理论,分析实验过程中的各种现象和问题,培养学生动手操作实验设备的能力,分析、归纳、整理实验结果及撰写实验报告的能力,以及严肃认真、实事求是的工作作风。因此《化工原理实验》是培养学生工程设计能力、工程实践能力以及创新能力的重要教学环节,与理论课具有同等重要的教学地位。

化工原理实验属于工程实验的范畴,其实验是面对复杂的实际问题和工程问题而非基础课程实验面对的简单的基本问题。由于化学工程的发展,目前对于工程实验主要采取两种研究方法:即实验方法和数学模型方法。实验方法是在因次论的指导下,通过实验直接测量各变量之间的关系,以表格、线图和图表的形式表示出来。这种在因次论指导下的实验,不需要对过程进行深入的理解,不需要采用真实的物料、真实的流体或实际的设备尺寸,只需在实验室小规模的设备中,用易得的物料进行实验,就可得出对工程实际问题具有指导意义的结论,并可将实验结果概括成经验方程。而采用数学模型处理问题,需要先对复杂的数学问题进行简化,提出一个接近实际的物理模型和以方程表示的数

学模型,进而确定方程的初始条件并求解方程。这种数学模型的方法同样具有以小见大、由此及彼的功能。由此可见,只有通过实验,才能掌握过程的主要影响因素,使得数学模型简单、准确。因此,以工程实验为特点和数据处理方法的化工原理实验在化学工程的发展中仍将起着非常重要的作用。

1.2 化工原理实验的教学目的

面对 21 世纪科学技术的迅猛发展,培养具有创新思维和创新能力强的高素质人才是时代对于高校人才培养目标的要求。化工及相关专业的学生在掌握大量专业理论知识的基础上,还必须具备一定的实验开发研究能力。通过对化工原理实验课程的教学,应让学生达到以下的教学目的。

1.2.1 加深对基本概念、基本理论的理解

化工原理课程中涉及许多基本概念、基本理论、公式,如果只从书本上去理解不仅难度大,印象不深,而且学生缺乏运用所学的知识去解决实际问题的能力。通过化工原理实验,可使学生对基本概念、基本理论有更进一步的理解,可验证和巩固化工原理理论知识;还可使学生对公式中各种参数的来源及使用范围有更深入的认识,促使学生理论联系实际,运用所学理论去指导实验工作,预测某些参数的变化对过程的影响。

1.2.2 帮助学生掌握处理工程问题的方法

化工原理实验正是通过特定的工程实验过程的研究,进而培养学生掌握基本的工程实验技能以及处理工程实践问题的方法,能独立从事科学研究和技术开发工作的能力。这些实验的基本

过程包括以下几个方面:确定实验目标→设计实验方案→实验、观察和测取实验数据→数据处理以获取实验结果→书写实验报告。

1.2.3 培养学生实事求是、严肃认真的学习态度

实验研究是实践性很强的工作,化工原理实验要求学生具有一丝不苟的工作作风和严肃认真的工作态度,从实验操作、现象观察到数据处理等各个环节都来不得丝毫马虎。如果粗心大意、敷衍了事,轻则实验数据不好,得不出结论,重则会造成设备或人身事故。

1.2.4 掌握常见化工设备的测试方法

掌握化工常用仪表(温度计、压力计、流量计、功率表等)的使用方法和化工物性数据(操作参数、特性曲线等)的基本测试技术。增强工程观点,掌握工程实验的研究方法。通过熟悉化工原理实验装置的流程、结构和操作,掌握化工原理实验的方法和技巧。

1.2.5 提高数据处理和分析问题的能力,撰写总结性的实验报告

学生根据化工原理理论手工或计算机处理化工原理实验数据,以数字拟合方程或图表等科学形式表述实验结果,并进行必要的、有效的分析与讨论,最后撰写总结性的实验报告。

1.3 化工原理实验的教学要求

化工原理实验主要涉及动量、热量和质量传递的化工单元操

作。要求学生不仅需要掌握扎实的化工理论知识,还需较强的动手能力、分析解决问题的能力。因此,为了保证教学质量,要求每个学生在实验前必须做到以下几点。

1.3.1 实验前的预习

实验前的预习工作对化工原理实验教学来说非常重要,良好的实验预习可以帮助学生尽快深入实验现场开展操作,为顺利完成实验奠定基础。

①认真阅读实验教材,正确理解实验目的及要求。

②结合化工原理理论教材,强化化工原理实验的理论基础。

③结合实验流程图,熟悉实验流程、装置及主要设备的结构,了解测控仪表的使用方法,熟悉实验步骤和数据测量的方法,力争做到对所测数据及其变化趋势心中有数。

④预先做好原始数据记录表格。

1.3.2 实验中的操作

化工原理实验一般由 3~4 人为一组,实验操作时要求大家对实验参数调节、实验参数测量、实验数据读取和记录等工作协同进行,做到既分工又合作,共同完成好实验。

①实验操作前,对管道、设备、仪表、阀门等进行检查,确认符合实验要求后才能开始实验操作。

②实验操作时,如实按照仪表显示的数据进行记录。对实验中发生的各种现象要分析是否正常,对实验中测得的各种数据要判断是否合理。若实验过程中出现反常现象或反常数据时必须找出原因加以解决或做出合理解释,必要时进行实验返工。

③实验数据的读取与记录。实验操作稳定后开始读取数据,条件改变时必须稳定一段时间后才能读取数据(具体的稳定时间随具体实验的操作状态而定),否则可能出现因仪表滞后而导致

读数不准的现象。记录数据时要记录到仪表最小分度的下一位数。数据记录后必须立刻复核确保不出现读错或写错现象。若实验中出现不正常情况或数据有明显误差时,应在备注栏中注明。除了记录试验中测量的数据外,还应将装置设备的有关尺寸、大气条件等数据一起记录下来。注意:原始实验数据必须记录在预先准备好的实验预习表中(包括各项待测物理量的名称、符号和单位)。实验测量全部结束后,学生要把原始实验数据记录表交给实验指导教师审阅,经实验指导教师确认实验数据有效并签字后生效。

注意:实验数据不经重复实验不得修改,更不得伪造数据。

④实验结束后,按照实验要求的顺序先后关闭气源、水源、测试仪表、连接阀门及电源等。

1.3.3 实验后的总结

实验完成后,学生应认真完成实验报告的撰写工作。实验报告的撰写是整个实验的最后一个环节,也是学生进行综合训练的重要环节。实验报告必须书写工整,图表清晰,结论明确,分析中肯。实验报告应包括以下几方面的内容。

- ①实验报告题目。
- ②实验时间、报告人、同组人。
- ③实验目的。
- ④实验原理。
- ⑤实验步骤。
- ⑥实验数据处理过程。
- ⑦实验结果及结论。
- ⑧问题讨论。

1.4 化工原理实验室注意事项

化工原理实验中电器设备较多,某些设备的电负荷也较大。

在接通电源之前,必须认真检查电器设备和电路是否符合规定要求,对于直流电设备应检查正负极是否接对。必须搞清楚整套实验装置的启动和停止操作顺序,以及紧急停止的方法。注意安全用电,对电器设备必须采取安全措施。操作者必须严格遵守下列操作规程。

①进行实验之前必须了解室内总闸与分电闸的位置,以便出现用电事故时,及时切断电源。

②电器设备维修时必须停电作业。

③带金属外壳的电器设备都应该保护接零,定期检查是否连接良好。

④导线的接头应紧密牢固,接触电阻要小。裸露的接头部分必须用绝缘胶布包好,或者用绝缘管套好。

⑤所有的电器设备在带电时不能用湿布擦拭,更不能有水落于其上。电器设备要保持干燥清洁。

⑥电源或电器设备上的保护熔断丝或保险管,都应按规定电流标准使用。严禁私自加粗保险丝或用铜丝、铝丝代替。当保险丝熔断后,一定要查找原因,在消除隐患后换上新的保险丝。

⑦电热设备不能直接放在木制试验台上使用,必须用隔热材料垫架,以防引起火灾。

⑧发生停电现象必须切断所有的电闸。防止操作人员离开现场后,因突然供电而导致电器设备在无人监视下运行。

⑨合闸动作要快,要合得牢。合闸后若发现异常声音或气味,应立即拉闸,进行检查。如发现保险丝熔断,应立刻检查带电设备上是否有问题,切忌不经检查便换上熔断丝或保险管就再次合闸,这样会造成设备损坏。

⑩离开实验室前,必须关闭实验室的电源总闸。

第 2 章 实验误差及数据处理

通过实验测量所得的大批数据是实验的主要成果,但在实验中,由于测量的不稳定性、测量仪表和人的观察能力等方面的原因,实验数据总存在着一些误差,所以在整理这些数据时,为了保证最终实验结果的准确性,首先应对实验数据的可靠性进行客观评价,也就是需对实验数据进行误差分析。

误差分析的目的就是评价实验数据的精确性或误差。通过误差分析,可以认清误差的来源及影响,并设法排除数据中所包含的无效成分,在实验中注意哪些是影响实验精确度的主要方面,细心操作,从而提高实验的精确度。

2.1 有效数字及运算规则

在分析测试中,数据的记录究竟应恰当地保留到几位,才符合客观测量准确程度;在处理实际数据时,对于多种测量准确度不同的数据,遵循何种计算规则,才能既反映客观测量准确度的实际,又能节约计算时间,是本节介绍的内容。

2.1.1 实验数据的有效数字和记数法

有效数字是指在分析工作中实际上能测量到的数字。记录测量数据的位数(有效数字的位数)必须与所使用的方法及仪器的准确程度相适应,换言之,有效数字能反映测量准确到什么程度。

保留有效数字位数的原则是:在记录测量数据时,只允许保留一位可疑数,即数据的末位数欠准,其误差是末位数的 ± 1 个单位。

例如,用 50 ml 量筒量取 25 ml 溶液,由于该量筒只能准确到 1 ml,因此只能记为两位有效数字 25 ml。换言之,两位有效数字 25 ml,说明末位的 5 可能存在 ± 1 ml 的误差,记录必须与实际相符。若用 25 ml 移液管量取 25 ml 溶液,则应记成 25.00 ml,因为移液管可准确到 0.01 ml。因此,取 4 位有效数字,及其末位可能有 ± 0.01 ml 的误差。

0~9 这十个数字中,只有 0 既可以是有效数字,也可以是作为定位用的、和测量准确度无关的数字。例如,称量数据 0.06050 g,6 后面的两个 0 都是有效数字,末位 0 说明该质量可准确至 $1/100000$ g,因此该数据为 4 位有效数字;6 前面的两个 0 则是用于定位的数字。当单位改变时,0 的个数也发生变化,如用 mg 表示为 60.50 mg,用 kg 表示为 0.00006050 kg。有时,一个较大数字的“0”只是用于定位,并不一定代表有效数字。如 725000 可以是 3、4、5 或 6 位有效数字。为了正确反映有效数字的位数,最好用科学计数法。如用 3 位有效数字,可记为 7.25×10^4 ;为 4 位,则记为 7.250×10^4 ;依此类推。按照科学计数法,对很小的数如 0.06050 g 写成 6.050×10^{-2} g,仍然是 4 位有效数字。

应注意变换单位时有效数字的位数必须保持不变。例如,10.00 ml 可写成 0.01000 L;10.5 L 应写成 1.05×10^4 ml。首位为 8 或 9 的数字有效数字可多计一位,这是由于首位数大的数字同样的绝对误差相对误差小,如 86 g 可视为 3 位有效数字。pH 及 pK_a 等对数值,由于其整数部分的数字只代表原值的幂次,因此其有效数字仅取决于小数部分数字的位数。如 pH 为 8.02 的有效数字是两位。用计算器计算时,在计算过程中可能保留了过多的位数,理论上不符合测量值的实际可靠性,反而增加了计算量,故最好能够先取舍后计算。最后计算结果必须按与方法、仪器准确度相适应的有效数字位数进行取舍。

2.1.2 有效数字的运算法则

在计算分析结果时,每个测量值的误差都要传递至分析结果。应该根据误差传递规律,按照有效数字的运算法则合理取舍,才能正确表达分析结果的准确度。

在做数学运算时,加减法与乘除法的误差传递方式不同,分述如下:

1. 加减法

加减法的和或差的误差是各个数值绝对误差的传递结果。所以,计算结果的绝对误差必须与各数据中绝对误差最大的那个数据相当,即几个数据相加或相减的和或差的有效数字的保留,应以小数点后位数最少(绝对误差最大)的数据为据。例如,以下三式:

0.5362	9.0053	
0.0014	1.9724	4.2598
+ 0.25	+ 0.0003	- 4.2595
0.79	10.9780	0.0003
I	II	III

在 I 式中,3 个数据的绝对误差不同,计算结果的有效数字的位数由绝对误差最大的第 3 个数据决定,即 2 位。II、III 式各数据的绝对误差都一样,则和或差的有效数字的位数由加、减结果决定,无须修约。因此,II、III 式的计算结果分别为 6 位与 1 位有效数字。通常为了便于计算,可先按绝对误差最大的数据修约其他各数据,而后计算。如 I 式,可先把 3 个数据修约成 0.54、0.00 及 0.25 再相加。

2. 乘除法

乘除法的积或商的误差是各个数据相对误差的传递结果,即几个数据相乘、除时,积或商的有效数字该保留的位数,应以参加