


高等学校教材

化工原理实验

(第二版)

天津大学化工学院 郭翠梨 主编

 高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

33
2

TQ02-33
2013.2

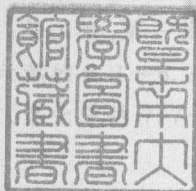
高等学校教材

化工原理实验

Huagong Yuanli Shiyan

(第二版)

天津大学化工学院 郭翠梨 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是在2004年出版的新世纪网络课程建设工程项目教材《化工原理及实验》的基础上,经过多年的教学实践,进一步将实验教学对象与内容拓宽加深,引进实验教学改革的最新成果,为满足21世纪过程工业、特别是化学工业对人才培养所提出的新要求而重新编写的。全书共7章,主要内容为化工原理实验基础知识、实验研究方法和流程设计、实验误差的估算与分析、实验数据处理、化工常见物理量的测量、典型化工原理实验、演示实验和标定实验。

本书可作为化工、化学、材料、环境、轻工类技术基础课的实验教材,也可供相关专业选用和工程技术人员参考。

(第二册)

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验 / 郭翠梨主编. —2 版. —北京:
高等教育出版社, 2013. 1
ISBN 978 - 7 - 04 - 036569 - 6

I. ①化… II. ①郭… 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(2013)第 305115 号



策划编辑 刘佳 责任编辑 刘佳 封面设计 李小璐 版式设计 余杨
插图绘制 尹莉 责任校对 窦丽娜 责任印制 刘思涵

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 肥城新华印刷有限公司
开本 787mm × 1092mm 1/16
印张 10.5
字数 240千字
购书热线 010 - 58581118
咨询电话 400 - 810 - 0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2004年6月第1版
2013年1月第2版
印 次 2013年1月第1次印刷
定 价 16.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。
版权所有 侵权必究
物料号 36569 - 00

第二版前言

化工原理实验是化工类专业及其他相关专业学生的一门专业基础课,是一门工程实践性很强的课程。化工原理实验对于学生加深和巩固在化工原理学到的基本原理,提高学生的工程技术实验能力,培养学生分析和解决工程实践问题的能力,提高学生从事科学研究和创新能力等方面均起着举足轻重的作用。

本书是在2004年公开出版的新世纪网络课程建设工程项目教材《化工原理及实验》的基础上,经过多年的教学实践,进一步将实验教学对象与内容拓宽加深,引进实验教学改革的最新成果,为满足21世纪过程工业、特别是化学工业对人才培养所提出的新要求而重新编写的。

本书为化工、化学、材料、环境、轻工类专业技术基础课的实验教材,强调对学生进行实验研究全过程的多种能力和素质的培养与训练,突出实验教学应具有的实践性和工程性;力求通过实验培养学生掌握综合运用理论知识,解决实际问题 and 正确表达实验结果的方法;开拓学生的实验思路,掌握新的实验技术和方法,增强创新意识。因此,教材内容的涉及面比较广泛。主要介绍了化工原理实验基础知识、实验研究方法和流程设计、实验误差的估算与分析、实验数据处理、化工常见物理量的测量、典型化工原理实验、演示实验等。编写过程中兼顾经过多年发展所形成的多种实验装置,并力争概念清晰,层次分明,阐述简洁、易懂,便于自学。

全书共有7章,由天津大学、天津工业大学、天津理工大学联合编写。其中第一章、第六章的6.4、6.6~6.8节由天津大学冯炜编写;第二章、第三章、第五章、附录由天津大学郭翠梨编写;第四章由天津理工大学刘勇编写;第六章的6.1~6.3节、第七章的7.1~7.6节由天津工业大学卢素敏编写;第六章的6.5、6.9节、第七章的7.7~7.9节由天津大学胡瑞杰编写。全书由天津大学郭翠梨统稿。

在编写过程中得到了天津大学化工学院柴诚敬教授的大力支持和帮助,并提出了许多宝贵意见;此外还得到了天津大学化工学院化工基础实验中心其他教师与实验技术人员的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

本书也参考了其他院校的有关教材,在此也向有关教材的作者表示诚挚的谢意。

鉴于编者学识有限,书中难免有不妥之处,衷心希望读者给予指教,帮助本书日臻完善。

第八章 气液传质设备

贾绍义

第九章 液-液萃取

马红敏

第十章 固体物料的干燥

马红敏

第十一章 其他传质与分离过程

马红敏

第十二章 实验概论与实验误差分析

张金利 冯 涛

第十三章 实验数据处理

张金利 冯 涛

编 者

2012年6月

第一版前言

本书是为“新世纪网络课程建设工程”而编写的网络课程教材。本书作为“化工原理及实验”网络课程的配套教材，旨在通过开设网络课程，使“化工原理及实验”课程实现现代化远程教学，以培养具有创新能力、满足21世纪需要的高级化工人才。

在本书的编写过程中，吸取了我校多年教学改革的经验以及本校编写的《化工原理》、面向21世纪课程教材《化工流体流动与传热》及《化工传质与分离过程》、《化工基础实验》等教材的优点，力求在内容、体系上有新意，将新的单元操作过程和新的化工技术引入网络课程，体现了该课程的最新发展；力求符合科学发展和认识的规律，由浅入深，循序渐进，引导思维，启迪创新，便于理解和自学。

在本书的编写过程中，充分考虑了网络教学的特点，以知识点为线索进行编写，各知识点相互独立，又有机结合，可满足不同层次学生的学习需要，适应性强。在每章开篇有具体的学习指导，以便于学生掌握重点、难点，有针对性地进行自学；在每章篇末有思考题和学生自测题，供学生在学完本章内容后进行思考，以加深对所学内容的理解，并对学习效果进行检测。

本书包括传统的“化工原理”及“化工原理实验”等课程的内容。参加本书编写的人员及分工如下：

主 编	贾绍义	柴诚敬	张金利
副主编	柴诚敬	张金利	
分 工	绪 论	柴诚敬	柴诚敬
1.4.4	第一章 流体流动	柴诚敬	柴诚敬
第二章 实验	第二章 流体输送机械	柴诚敬	柴诚敬
2.1 实验	第三章 机械分离及固体流态化	王 军	王 军
2.1.1	第四章 传热	王 军	王 军
2.1.2	第五章 蒸发	王 军	王 军
2.1.3	第六章 蒸馏	贾绍义	贾绍义
2.2 实验	第七章 气体吸收	贾绍义	贾绍义
2.2.1	第八章 气液传质设备	贾绍义	贾绍义
2.2.2	第九章 液-液萃取	马红钦	马红钦
2.2.3	第十章 固体物料的干燥	马红钦	马红钦
2.2.4	第十一章 其他传质与分离过程	马红钦	马红钦
2.3 实验	第十二章 实验概论与实验误差分析	张金利	冯 炜
2.3.1	第十三章 实验数据处理	张金利	冯 炜



第十四章 试验设计方法
 第十五章 化工测量技术
 第十六章 化工原理实验
 附录

张金利 冯 炜
 张金利
 张金利 郭翠梨
 贾绍义 张金利

本书除作为“化工原理及实验”网络课程的配套教材外,亦可供有关部门从事科研、设计及生产管理的工程技术人员参考。

由于编者的水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2003年4月

本书除作为“化工原理及实验”网络课程的配套教材外,亦可供有关部门从事科研、设计及生产管理的工程技术人员参考。由于编者的水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

第一章	绪论	张金利
第二章	物料衡算	张金利
第三章	能量衡算	张金利
第四章	流体流动	张金利
第五章	传热	张金利
第六章	蒸馏	张金利
第七章	吸收	张金利
第八章	萃取	张金利
第九章	干燥	张金利
第十章	过滤	张金利
第十一章	离心分离	张金利
第十二章	膜分离	张金利
第十三章	工业反应器	张金利
第十四章	试验设计方法	张金利
第十五章	化工测量技术	张金利
第十六章	化工原理实验	张金利
附录	附录	张金利



目录

第一章 化工原理实验基础知识 1

- 1.1 化工原理实验的特点和教学目的 1
 - 1.1.1 化工原理实验的主要特点 1
 - 1.1.2 化工原理实验的教学目的 2
- 1.2 化工原理实验的教学内容 2
 - 1.2.1 实验理论基础 2
 - 1.2.2 实验教学内容 3
- 1.3 化工原理实验的教学环节及要求 3
 - 1.3.1 实验预习 3
 - 1.3.2 实验过程中的注意事项 4
 - 1.3.3 实验报告 4
- 1.4 化工原理实验基本安全知识 6
 - 1.4.1 实验室安全消防知识 6
 - 1.4.2 实验室安全用电知识 7
 - 1.4.3 危险品安全使用知识 8
 - 1.4.4 高压钢瓶安全使用知识 9

第二章 实验研究方法和流程设计 11

- 2.1 实验研究方法 11
 - 2.1.1 量纲分析法 11
 - 2.1.2 数学模型法 12
 - 2.1.3 直接实验法 14
- 2.2 实验设计方法 14
 - 2.2.1 全面搭配法 14
 - 2.2.2 正交实验设计法 15
 - 2.2.3 均匀实验设计法 17
 - 2.2.4 序贯实验设计法 18
- 2.3 实验流程设计 18
 - 2.3.1 实验设备仪表的设计和

- 选择 18

- 2.3.2 实验装置的安装 19

- 2.3.3 实验装置的调试 20

第三章 实验误差的估算与分析 22

- 3.1 实验数据的误差 22

- 3.1.1 直接测量值和间接测量值 22

- 3.1.2 真值与误差 22

- 3.1.3 实验误差的分类及判别 23

- 3.1.4 实验误差的表示方法 24

- 3.1.5 精密度、正确度和准确度 25

- 3.2 实验数据的有效数字和计数法 26

- 3.2.1 有效数字 26

- 3.2.2 数字舍入规则 27

- 3.2.3 直接测量值的有效数字 27

- 3.2.4 非直接测量值的有效数字 27

- 3.3 直接测量值的误差估算 28

- 3.3.1 给出准确度等级类的仪表 28

- 3.3.2 不给出准确度等级类的仪表 29

- 3.4 间接测量值的误差估算与分析 30

- 3.4.1 误差传递的一般公式 30

- 3.4.2 误差估算与分析应用举例 32

- 思考题 33

第四章 实验数据处理 35



4.1 列表法	35	思考题	79
4.1.1 实验数据表的分类	35	第六章 典型化工原理实验	81
4.1.2 拟定实验数据表应注意的事项	36	6.1 流体流动阻力测定实验	81
4.2 图示法	37	6.1.1 实验目的	81
4.2.1 坐标系的选择	37	6.1.2 实验原理	81
4.2.2 作图注意事项	38	6.1.3 实验装置	83
4.3 实验数据的回归分析法	38	6.1.4 实验操作要点	84
4.3.1 回归分析法的含义和内容	39	6.1.5 实验注意事项	85
4.3.2 数学模型的建立方法	39	6.1.6 实验数据处理与结果分析讨论要求	85
4.3.3 一元线性回归	41	6.1.7 思考题	85
4.3.4 多元线性回归	48	6.2 离心泵特性曲线测定实验	86
4.3.5 非线性回归	51	6.2.1 实验目的	86
思考题	54	6.2.2 实验原理	86
第五章 化工常见物理量的测量	55	6.2.3 实验装置	87
5.1 测量仪表的基本技术性能	55	6.2.4 实验操作要点	88
5.1.1 测量仪表的静态性能	55	6.2.5 实验注意事项	89
5.1.2 测量仪表的动态性能	57	6.2.6 实验数据处理与结果分析讨论要求	89
5.2 压力(差)测量及仪表	58	6.2.7 思考题	89
5.2.1 液柱式压力计	58	6.3 恒压过滤常数测定实验	90
5.2.2 弹性式压力计	60	6.3.1 实验目的	90
5.2.3 传感器式压力计	61	6.3.2 实验原理	90
5.2.4 压力仪表的选用及安装	62	6.3.3 实验装置	91
5.3 流量测量及仪表	63	6.3.4 实验操作要点	92
5.3.1 节流式(差压式)流量计	64	6.3.5 实验注意事项	93
5.3.2 转子流量计	67	6.3.6 实验数据处理与结果分析讨论要求	93
5.3.3 涡轮流量计	68	6.3.7 思考题	94
5.4 温度测量及仪表	70	6.4 传热综合实验	94
5.4.1 热电偶温度计	71	6.4.1 实验目的	94
5.4.2 热电阻温度计	75	6.4.2 实验原理	94
5.4.3 温度计的选择和使用原则	75	6.4.3 实验装置	97
5.5 液位测量及仪表	76	6.4.4 实验操作要点	98
5.5.1 直读式液位计	76	6.4.5 实验注意事项	98
5.5.2 差压式液位计	77	6.4.6 实验数据处理与结果分析讨论要求	99
5.5.3 浮力式液位计	78		



6.4.7 思考题	99	6.8.4 实验操作要点	121
6.5 板式精馏塔操作和塔板效率测定实验	99	6.8.5 实验注意事项	122
6.5.1 实验目的	99	6.8.6 实验数据处理与结果分析讨论要求	122
6.5.2 实验原理	100	6.8.7 思考题	122
6.5.3 精馏塔的操作	101	6.9 多功能膜分离实验	123
6.5.4 实验装置	102	6.9.1 实验目的	123
6.5.5 实验操作要点	104	6.9.2 实验原理	123
6.5.6 实验注意事项	104	6.9.3 实验装置	124
6.5.7 实验数据处理与结果分析讨论要求	105	6.9.4 实验操作要点	124
6.5.8 思考题	105	6.9.5 实验注意事项	126
6.6 填料塔流体力学特性和吸收传质系数测定实验	105	6.9.6 实验数据处理与结果分析讨论要求	126
6.6.1 实验目的	105	6.9.7 思考题	126
6.6.2 实验原理	106	第七章 演示实验和标定实验	127
6.6.3 填料吸收塔的操作	108	7.1 雷诺实验	127
6.6.4 实验装置	108	7.1.1 实验目的	127
6.6.5 实验操作要点	110	7.1.2 实验原理	127
6.6.6 实验注意事项	112	7.1.3 实验装置	127
6.6.7 实验数据处理与结果分析讨论要求	112	7.1.4 实验操作要点	128
6.6.8 思考题	112	7.1.5 实验注意事项	129
6.7 液-液萃取实验	113	7.1.6 结果分析要求	129
6.7.1 实验目的	113	7.2 流体机械能转化实验	129
6.7.2 实验原理	113	7.2.1 实验目的	129
6.7.3 萃取塔的操作	115	7.2.2 实验原理	129
6.7.4 实验装置	115	7.2.3 实验装置	130
6.7.5 实验操作要点	117	7.2.4 实验操作要点	130
6.7.6 实验注意事项	117	7.2.5 实验注意事项	131
6.7.7 实验数据处理与结果分析讨论要求	118	7.2.6 结果分析要求	131
6.7.8 思考题	118	7.3 边界层分离实验	131
6.8 干燥速率曲线测定实验	118	7.3.1 实验目的	131
6.8.1 实验目的	118	7.3.2 实验原理	131
6.8.2 实验原理	118	7.3.3 实验装置	132
6.8.3 实验装置	120	7.3.4 实验操作要点	133
		7.3.5 结果分析要求	133
		7.4 板式塔流体力学实验	133
		7.4.1 实验目的	133



7.4.2	实验原理	134	7.8.1	实验目的	144
7.4.3	实验装置	134	7.8.2	实验原理	144
7.4.4	实验操作要点	135	7.8.3	实验装置	145
7.4.5	结果分析要求	135	7.8.4	实验操作要点	145
7.5	旋风分离实验	136	7.8.5	实验注意事项	146
7.5.1	实验目的	136	7.8.6	结果分析要求	146
7.5.2	实验原理	136	7.9	压力仪表标定实验	146
7.5.3	实验装置	137	7.9.1	实验目的	146
7.5.4	实验操作要点	137	7.9.2	实验原理	147
7.5.5	实验注意事项	138	7.9.3	实验装置	147
7.5.6	结果分析要求	138	7.9.4	实验操作要点	147
7.6	流态化及流化干燥实验	138	7.9.5	结果分析要求	148
7.6.1	实验目的	138	附录	化工原理实验常用数据表	149
7.6.2	实验原理	138	1.	相关系数检验表	149
7.6.3	实验装置	139	2.	F 分布数值表	150
7.6.4	实验操作要点	140	3.	乙醇-正丙醇溶液的气液平衡数据	154
7.6.5	结果分析要求	141	4.	乙醇-正丙醇溶液中乙醇浓度-折射率关系	154
7.7	流量计标定实验	141	5.	$\text{NH}_3-\text{H}_2\text{O}$ 系统的平衡常数 m	154
7.7.1	实验目的	141	6.	CO_2 在水溶液中的亨利系数	155
7.7.2	实验原理	141	7.	阿贝折射仪的使用方法	155
7.7.3	实验装置	142	参考书目	157	
7.7.4	实验操作要点	143			
7.7.5	实验注意事项	143			
7.7.6	结果分析要求	143			
7.8	热电偶、热电阻温度计标定实验	144			



第一章

化工原理实验基础知识

1.1 化工原理实验的特点和教学目的

1.1.1 化工原理实验的主要特点

化工原理实验是一门实践性很强的技术基础课,它是用自然科学的基本原理和工程实验方法来解决化工及相关领域的工程实际问题。化工原理实验要解决的是多因素、多变量、综合性的、与工业实际有关的问题,具有显著的现实性和特殊性。

(1) 化工原理实验与化工原理理论教学、实习、化工设计等教学环节相互衔接,构成一个有机整体。化工原理实验通过观察某些基本化工过程中的实验现象,如液泛、流态化等;测定某些基本参数,如温度、压力、流量等;找出某些重要过程的规律,如管内流体的流动规律、流体通过颗粒床层的规律等;确定化工设备的性能,如离心泵的特性曲线、换热器的传热系数、过滤机的过滤常数、精馏塔的塔板效率、吸收塔的传质单元数等。所以,化工原理实验是学生巩固传递原理、化工单元操作理论知识,学习与之相关的其他新知识的重要途径。

(2) 化工原理实验不同于基础课实验如普通物理、无机化学、有机化学、分析化学、物理化学等实验。化工原理实验是学生接触到的工程性较强的实验。首先,化工原理实验以实际工程问题为研究对象,涉及的变量比较多,采用的研究方法也必然不同,不能将处理物理实验或化学实验的一般方法简单地套用于化工原理实验,重要的是在化工原理实验的整个过程中体验实验的工程性以及掌握解决工程问题的一般方法。其次,化工原理实验设备脱离了基础课实验的小型玻璃器皿,而与实际的化工设备相同或相似,每个实验本身就相当于化工生产中的一个基本过程,所得到的结论对于化工单元操作的设备设计及过程操作条件的确定,均具有重要的指导意义。

(3) 由于化工过程问题的复杂性,许多工程因素的影响仅从理论上是难以解释清楚的,或者虽然能从理论上做出定性的分析,但难以给出定量的描述,特别是有些重要的设计或操作参数,根本无法从理论上计算,必须通过必要的实验加以确定或获取。对于初步接触化工单元操作的学生或有关工程技术人员,更有必要通过实验来加深对有关过程及设备的认识和理解。



因此,作为化工类专业的学生学好化工原理实验,不仅对学习理论课有帮助,而且通过实验可以学习化工实验的方法、技能和知识,提高解决工程实际问题的能力,为将来毕业后从事实际工作打下良好的基础。

1.1.2 化工原理实验的教学目的

通过化工原理实验应达到如下教学目的:

(1) 根据化工原理实验目的或任务,能分析实验测定原理,设计实验流程图,选择实验装置,确定实验的具体步骤,培养学生运用所学知识,分析和解决实际问题的能力。

(2) 通过一系列的实践操作,以及化工常用仪器仪表的使用,掌握工程实验的一般方法和技巧,如操作条件的确定、实验操作及故障分析、测试仪表的选择、数据采集和过程控制的实现等,获得化工实验技能的基本训练,培养学生的动手操作能力。

(3) 熟悉典型单元操作的工艺流程及设备的基本原理、结构和性能,验证各单元操作过程的机理、规律,巩固和强化在化工原理课程中所学的基本理论,培养学生理论联系实际的能力。

(4) 通过实验,培养学生对实验现象敏锐的观察能力,以及正确获取实验数据的能力,分析、讨论工程上的一些现实问题及其产生的原因。

(5) 根据实验现象和实验数据,能用所学的知识归纳、分析实验结果,撰写正规工程实验报告的能力,培养学生从事科学研究的初步能力。

(6) 培养学生认真严谨的科学态度和实事求是的工作作风。

综上所述,化工原理实验教学是化工类专业教学过程中一个非常重要的环节,其目的是注重对学生工程实践能力的全面培养。

1.2 化工原理实验的教学内容

化工原理实验主要包括实验理论基础教学和实践教学两大部分。

1.2.1 实验理论基础

实验理论基础主要介绍如下几个方面的知识:① 化工原理实验基础知识,包括实验预习和实验报告的书写和安全知识;② 实验研究方法及流程设计,将介绍通用的实验研究和设计方法,并对实验流程的设计进行介绍;③ 实验误差的估算与分析;④ 实验数据处理;⑤ 化工常见物理量的测量,比较详细地介绍了压强差、流量、温度及液位的测量方法与使用时应注意的问题。

1.2.2 实验教学内容

为了适应不同层次、不同专业的教学要求,本书共编写了两类实验。

第一类:典型化工原理实验。

- ① 流体流动阻力测定实验;
- ② 离心泵特性曲线测定实验;
- ③ 恒压过滤常数测定实验;
- ④ 传热综合实验;
- ⑤ 板式精馏塔操作和塔板效率测定实验;
- ⑥ 填料塔流体力学特性和吸收传质系数测定实验;
- ⑦ 液-液萃取实验;
- ⑧ 干燥速率曲线测定实验;
- ⑨ 多功能膜分离实验。

第二类:演示实验和标定实验。

- ① 雷诺实验;
- ② 流体机械能转化实验;
- ③ 边界层分离实验;
- ④ 板式塔流体力学实验;
- ⑤ 旋风分离实验;
- ⑥ 流态化及流化干燥实验;
- ⑦ 流量计标定实验;
- ⑧ 热电偶、热电阻温度计标定实验;
- ⑨ 压力仪表标定实验。

按照原全国化工原理教学指导委员会的建议,化工原理实验课时约为 40 到 60 学时,大致可安排 6 到 8 个不同类型的实验内容。针对不同专业、不同层次的教学对象,可对实验教学内容进行组合调整。

1.3 化工原理实验的教学环节及要求

化工原理实验通常包括以下几个教学环节:实验理论课、预习并撰写预习报告、实验前提问、实验操作、撰写实验报告、实验考核。为了突出对学生“能力”和“素质”的培养,整个实验过程中必须坚持启发式、讨论式、研究式、交互式的教学方法,突出学生的自主作用,克服教师单纯传授知识、包办代替的做法,以及学生依赖教师被动学习的习惯。

1.3.1 实验预习

预习工作是一切实验课程的必要前提,由于化工原理实验的特殊性,更要在实验之前进行认真的预习和对单元操作设备、流程、测控点、安全要点等问题的了解和熟悉。具体要求如下:

- (1) 认真阅读实验指导书,复习理论教材以及相关的参考书,明确所做实验的目的、任务和要求;根据实验任务,分析实验的理论依据;构思实验流程、实验装置;明确实验中应该测取哪些数据;拟定出初步的实验方案等。
- (2) 熟悉实际的实验装置和流程,明确测控点,了解设备和相关仪表的类型、启动程序及调节方法,清楚操作要点和注意事项等。
- (3) 为了使实验数据点在坐标轴上分布均匀,初步确定出被测参数的间隔,并预估实验数



据的变化规律。

(4) 写出预习报告,预习报告中要明确实验目的和任务、实验原理、装置流程示意图、实验步骤及注意事项等;在实验前设计好原始数据记录表,在表格中应该记下各项物理量的名称、符号和单位等。

1.3.2 实验过程中的注意事项

实验操作是实验教学的核心环节,学生只有通过操作才能了解和领会单元操作设备及流程,了解如何实现过程的优化,分析各种非正常现象产生的原因并研究可能采取的措施。实验操作中应注意:

(1) 进行实验时,首先仔细检查实验装置及仪器仪表是否完好,对电动机、风机、泵的运转设备必须进行检查;对各种阀门,尤其是一些回路阀或旁路阀,应仔细检查其开启情况,该打开的要打开,该关闭的要关闭。准备完毕后,方可进行操作。

(2) 实验中应密切注意仪表的示数的变化,及时调节,使整个过程在规定的条件下进行;实验条件改变后,不能急于测量记录,由于化工过程的稳定需要传递时间,而且仪表也常存在滞后现象,因此一定要在过程稳定后方可取样或读取数据。

(3) 实验过程中切忌只顾埋头操作和读数,忽略了对过程中现象的观察。须知,实验现象往往与过程的内在机理、规律密切相关,如塔板上两相接触状态与效率的关系。自觉培养勤于观察、善于观察的习惯,是科研工作者和工程技术人员必备的素质。

(4) 实验中如果出现异常现象,或者数据有明显误差时,应在数据记录表中如实注明。小组成员应与老师一起认真讨论,研究异常现象发生的原因,及时发现问题、解决问题或者对现象做出合理的分析、解释。

(5) 认真记录事先拟定好的原始数据记录表格,要保证数据可靠、清楚、完整,必须真实地反映仪表的准确度,一般要记录至仪表上最小分度以下一位数;数据记录后应及时复核,以免读错或写错;所测物理量的名称、符号、单位也应注明。

(6) 实验数据经指导教师审查合格后,结束实验。停车时,按操作规程关闭仪器设备,关闭总电源,将实验场地打扫干净后方可离开。

1.3.3 实验报告

按照一定的格式和要求,表达实验过程和结果的文字材料,称为实验报告。实验报告是对实验工作本身和实验工作对象进行评价的主要依据,也是书写科技论文和制订科技工作计划的重要依据和参考资料。实验报告是实验工作的全面总结和系统概括,是实验工作不可缺少的一个环节。

写实验报告的过程,就是对所测取的数据加以处理,对所观察的现象加以分析,从中找出客观规律和内在联系的过程。如果做了实验而不写出报告,就等于有始无终,半途而废。因此,进行实验并写出报告,对于理工科大学生来讲,是一种必不可少的基础训练。理工科大学



生在校期间学会对所做的实验,写成一份完整的实验报告,也可认为是一种正式科技论文书写的训练。因此,在化工原理实验课程的实验报告中,提倡在正式报告前写摘要,目的是强化书写科技论文的意识,训练学生综合分析、概括问题的能力。

完整的实验报告一般应包括以下几方面的内容:

(1) 实验名称 每篇实验报告都应有名称,又称标题,列在报告的最前面。实验名称应简洁、鲜明、准确。简洁,就是字数要尽量少;鲜明,就是让人一目了然;准确,就是能恰当反映实验的内容。如“流体流动阻力测定实验”、“干燥速率曲线测定实验”。

(2) 实验目的 简明扼要地说明为什么要进行这个实验,本实验要解决什么问题,常常是列出几条。

(3) 实验的理论依据(实验原理) 简要说明实验所依据的基本原理,包括实验涉及的主要概念、实验依据的重要定律、公式及据此推算的重要结果。要求书写准确、充分。

(4) 实验装置示意图和主要设备、仪表的名称 要将实验装置简单地画出,标出设备、仪器仪表及调节阀等的标号,并标注出测试点的位置,在流程图的下面写出图名及与标号相对应的设备仪器等的名称。

(5) 实验操作方法和安全要点 根据实际操作程序,按时间的先后划分为几个步骤,以使条理更为清晰。实验步骤的划分,一般多以改变某一组因素(参数)作为一个步骤。对于操作过程的说明,要简单、明了。

对于整个实验过程的安全要点要在操作程序中特别标出,容易引起危险、损坏仪器仪表或设备以及一些对实验结果影响比较大的操作,一般在注意事项里给予特别突出的标示提醒,以引起实验者的注意。

(6) 数据记录 实验数据是实验过程中从测量仪表所读取的数值,要根据仪表的准确度决定实验数据的有效数字位数。读取数据的方法要正确,记录数据要准确。一般都是先记在原始数据记录表格里。数据较多时,此表格宜作为附录放在报告的后面。

(7) 数据整理表、图及计算过程举例 这部分是实验报告的重点内容之一,要求把实验数据整理、加工成表格或图的形式。数据整理时应根据有效数字的运算规则进行。一般将主要的中间计算值和最后计算结果列在数据整理表格中,表格要精心设计,使其易于显示数据的变化规律及各参数的相关性。有时为了更直观地表达变量间的相互关系,采用作图法,即用相对应的各组数据确定出若干坐标点,然后依点画出相关曲线。数据整理表或作图要按照第四章讲的列表法和图示法的要求去做。实验数据不经重复实验不得修改数据,更不得伪造数据。

计算过程举例是以某一组原始数据为例,把各项计算过程列出,从而说明数据整理表或图中的结果是如何得到的。小组各成员应约定采用不同组别的实验数据进行举例,不要重复。

(8) 对实验结果进行分析与讨论 这部分十分重要,是作者理论水平的具体体现,也是对实验方法和结果进行的综合分析研究。讨论范围应只限于与本实验有关的内容。讨论的内容包括:

- ① 从理论上对实验所得结果进行分析和解释,说明其必然性;
- ② 对实验中的异常现象进行分析讨论;
- ③ 分析误差的大小和产生的原因,如何提高测量准确度;



④ 本实验结果在生产实践中的价值和意义;

⑤ 由实验结果提出进一步的研究方向或对实验方法及装置提出改进建议等。

有时将(7)、(8)合并在一起,写为“结果与讨论”,这有两个原因:一是讨论的内容少,无需另列一部分;二是实验的几项结果独立性大,内容多,需要逐项讨论,这时,说明一项结果,紧接着进行分析讨论,然后再说明一项结果,再进行分析讨论,条理更清楚。

(9) 实验结论 结论是根据实验结果所作出的最后判断,得出的结论要从实际出发,要有理论根据。

1.4 化工原理实验基本安全知识

化工原理实验是一门实践性很强的基础课程,而且在实验过程中不免要接触具有易燃、易爆、有腐蚀性或毒性的物质和化合物,同时还会遇到在高压、高温或低温或高真空条件下操作的情况。此外,还要涉及用电和仪表操作等方面的问题,故要想有效地达到实验目的就必须掌握安全知识。

1.4.1 实验室安全消防知识

实验操作人员必须了解消防知识。实验室内应准备一定数量的消防器材,实验人员应熟悉消防器材的存放位置和使用方法,决不允许将消防器材移作他用。实验室常用的消防器材包括以下几种。

(1) 沙箱 易燃液体和其他不能用水灭火的危险品着火可用沙子来扑灭。它能隔绝空气并起到降温作用,达到灭火的目的。但沙中不能混有可燃性杂物,并且要干燥。潮湿的沙子遇火后因水分蒸发,易使燃着的液体飞溅。沙箱中存沙有限,实验室内又不能存放过多沙箱,故这种灭火工具只能扑灭局部小规模的火源。对于大面积火源,因沙量太少而作用不大。此外还可用其他不燃性固体粉末灭火。

(2) 干粉灭火器 该灭火器筒内充装磷酸铵盐干粉和作为驱动力的氮气,使用时先拔掉保险销(有的是拉起拉环),再按下压把,干粉即可喷出。适宜于扑救固体易燃物(A类)、易燃液体及可融化固体(B类)、易燃气体(C类)和带电器具的初起火灾,但不得用于扑救轻金属材料火灾。灭火时要接近火焰喷射;干粉喷射时间短,喷射前要选择好喷射目标,由于干粉容易飘散,不宜逆风喷射。

(3) 泡沫灭火器 实验室多用手提式泡沫灭火器。它的外壳用薄钢板制成,内有一个玻璃胆,其中盛有硫酸铝,胆外装有碳酸氢钠溶液和发泡剂(甘草精)。灭火液由 50 份硫酸铝和 50 份碳酸氢钠及 5 份甘草精组成。使用时将灭火器倒置,立即发生化学反应生成含 CO_2 的泡沫。此泡沫黏附在燃烧物表面上,通过在燃烧物表面形成与空气隔绝的薄层而达到灭火目的。



它适用于扑灭实验室中发生的一般火灾。油类着火在开始时可以使用,但不能扑灭电线和电器设备火灾,因为泡沫本身是导电的,这样会造成扑火人触电。

(4) 二氧化碳灭火器 此类灭火器筒内装有压缩的二氧化碳。使用时旋开手阀,二氧化碳就能急剧喷出,使燃烧物与空气隔绝,同时降低空气中氧气的含量。当空气中含有 12%~15% 二氧化碳时,燃烧就会停止。使用此类灭火器时要注意防止现场人员窒息。

(5) 卤代烷(1211)灭火器 此类灭火器适用于扑救由油类、电器类、精密仪器等引发的火灾。在一般实验室内使用不多,对大型及大量使用可燃物的实验场所应配备此类灭火器。

1.4.2 实验室安全用电知识

化工原理实验中的电器设备较多,如“对流传热系数测定”、“干燥速率曲线的测定”等实验设备的用电负荷较大。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;必须搞清楚整套实验装置的启动和停车操作顺序,以及紧急停车的方法。注意安全用电极为重要,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定。

(1) 进行实验之前必须了解室内总电闸与分电闸的位置,以便出现用电故障时及时切断电源。

(2) 接触或操作电器设备时,手必须干燥。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。不能用试电笔去试高压电。

(3) 电器设备维修时必须停电作业,如接保险丝时,一定要切断全部电源后进行操作。

(4) 为启动电动机,合闸前先用手转动一下电动机的轴,合上电闸后,立即查看电动机是否已转动;若不转动,应立即拉闸,否则电动机很容易被烧毁。若电源开关是三相刀闸,合闸时一定要快速合到底,否则易发生“跑单相”,即三相中有一相实际上未接通,这样电动机易被烧毁。

(5) 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,不能任意加大,更不允许用铜丝或铝丝代替。

(6) 若电器设备是电热器,在向它通电之前,一定要搞清楚进行电加热所需要的前提条件是否已经具备。比如在精馏塔实验中,在接通塔釜电热器之前,必须搞清楚釜内液面是否符合要求,塔顶冷凝器的冷却水是否已经打开。在干燥实验中,在接通空气预热器的电热器之前,应打开空气鼓风机之后,才能给预热器通电。另外电热器不能直接放在木制实验台上使用,必须用隔热材料作垫架,以防引起火灾。

(7) 所有电器设备的金属外壳应接上地线,并定期检查是否连接良好。

(8) 导线的接头应紧密牢固,裸露的部分必须用绝缘胶布包好,或者用塑料绝缘管套好。

(9) 若在电源开关与电器设备之间,设有电压调节器或电流调节器,其作用是调节电器设备的用电情况。在这种情况下,在接通电源开关之前,一定要先检查电压或电流调节器当前所处的状态,并将它置于“零位”状态。否则,在接通电源开关时,电器设备会在较大功率下运行,这样有可能造成电器设备的损坏。

(10) 在实验过程中,如果发生停电现象,必须切断电源。以防操作人员离开现场后,因突

