



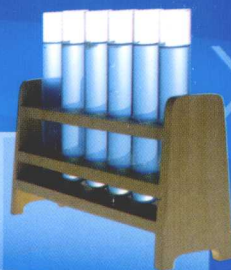
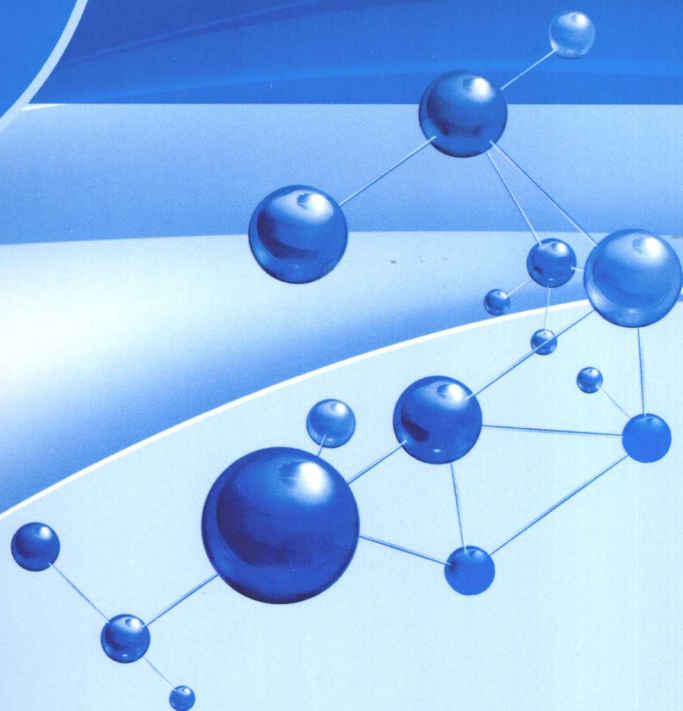
普通高等教育“十二五”规划教材



化工原理实验

HUA GONG YUAN LI SHI YAN

主编 徐洪军 王卫东



航空工业出版社

014030573

TQ02
125

普通高等教育“十二五”规划教材

化工原理实验

主编 徐洪军 王卫东



航空工业出版社

北京



北航

C1717292

TQ02
125

内 容 提 要

本书从培养学生工程能力、创新思维和创新能力等方面出发,在强调基本概念、基本操作和基本训练的同时,增设了传热平台等综合型、设计型、创新型实验内容,旨在实验教学各个环节中培养学生的综合能力和团队协作精神。同时,还引入了计算机过程模拟和测控技术,以拓宽课程内容和学生的知识面。

全书共分 8 章,包括实验误差的分析与估算、实验数据的处理方法、化工实验测量技术与常用仪表、实验部分、选做与演示实验、化工原理实验仿真、化工原理实验室常用仪器的使用方法和化工原理实验常用电算程序等内容。

本书可作为高等院校化学工程与工艺及其他相关专业化工原理实验课程的教材或参考书,也可供在化工、石油、纺织、食品、医药、环境工程等领域从事科研、生产的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验 / 徐洪军, 王卫东主编. -- 北京 :
航空工业出版社, 2014. 2
ISBN 978-7-5165-0361-4

I. ①化… II. ①徐… ②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(2014)第 029294 号

化工原理实验 Huagong Yuanli Shiyan

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑 2 号院 100012)

发行部电话: 010-84934379 010-84936343

北京忠信印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经售

2014 年 2 月第 1 版

2014 年 2 月第 1 次印刷

开本: 787×1092

1/16

印张: 16.5

字数: 381 千字

印数: 1—8000

定价: 29.80 元

编者 的话

本书从培养学生工程能力、创新思维 and 创新能力等方面出发,针对高等院校化工原理课程实验教学的实际需要和课程体系的基本要求,结合“卓越工程师教育培养计划”和“全国工程教育专业认证”指标体系的人才培养要求,融合吉林化工学院及兄弟院校多年的实践教学经验和改革成果编写而成。

本书在强调基本概念、基本操作和基本训练的同时,增设传热平台等综合型、设计型、创新型实验内容,旨在实验教学各个环节中培养学生的综合能力和团队协作精神。同时,引入计算机过程模拟和测控技术,以拓宽课程内容和学生的知识面。

全书共分8章,包括实验误差的分析与估算、实验数据的处理方法、化工实验测量技术与常用仪表、实验部分、选做与演示实验、化工原理实验仿真、化工原理实验室常用仪器的使用方法和化工原理实验常用电算程序等内容。

本书可作为高等院校化学工程与工艺及其他相关专业化工原理实验课程的教材或参考书,也可供在化工、石油、纺织、食品、医药、环境工程等领域从事科研、生产的技术人员参考。

参加教材编写的人员及分工如下:

主编 徐洪军 王卫东

分章 绪 论

张福胜 张乃军

第1章 实验误差的分析与估算

王卫东

第2章 实验数据的处理方法

王卫东 徐洪军

第3章 化工实验测量技术与常用仪表

徐洪军

第4章 实验部分

王卫东

第5章 选做与演示实验

曾庆荣 刘 放 张振坤

第6章 化工原理实验仿真

庄志军 刘保雷 张玉玲

第7章 化工原理实验室常用仪器的使用方法

徐洪军

第8章 化工原理实验常用电算程序

徐洪军

附 录

计海峰

本书由吉林化工学院张卫华高级实验师主审。

本书在编写过程中得到了吉林工程技术师范学院张鹏教授、巴斯夫新戊二醇有限公司张乃军工程师、中油吉化化肥厂张玉玲高级工程师的支持和帮助,在此表示衷心的感谢!同时,吉林化工学院李泽国教授、罗传义教授对书稿提出了许多宝贵意见,在此致以诚挚



的感谢!

由于时间仓促和水平有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指正。

另外,本书配有丰富的教学资源包,读者可登录北京金企鹅文化发展中心的网站(www.bjjqe.com)下载。

编 者

2014年2月



目 录

绪论	1
1. 化工原理实验课特点	1
2. 化工原理实验目的	1
3. 化工原理实验的教学要求	2
4. 化工原理实验室规则	5
第 1 章 实验误差的分析与估算	6
1.1 有效数字和实验结果的表示	6
1.1.1 有效数字	6
1.1.2 科学计数法	6
1.1.3 有效数字的运算	7
1.1.4 有效数字的修约规则	7
1.2 实验数据的真值与平均值	8
1.2.1 真值	8
1.2.2 平均值	8
1.3 实验数据的误差来源及分类	9
1.3.1 系统误差	10
1.3.2 随机误差	10
1.3.3 过失误差	10
1.4 误差分析与表示	10
1.4.1 直接测量与间接测量	11
1.4.2 直接测量结果的误差分析	11
1.4.3 误差传递	12
1.5 实验数据的精密度、正确度和准确度	15
1.5.1 精密度	15
1.5.2 正确度	15
1.5.3 准确度	16
1.6 随机误差的正态分布	16
1.7 可疑值的判别与取舍	18



1.7.1 拉依达准则	19
1.7.2 t 检验准则	19
1.7.3 格拉布斯准则	20
第 2 章 实验数据的处理方法	25
2.1 实验研究方法	25
2.1.1 因次分析法	25
2.1.2 数学模型法	27
2.1.3 过程分解与合成法	30
2.1.4 直接法	32
2.2 数据处理方法	32
2.2.1 实验数据列表法	33
2.2.2 实验数据的图示(解)法	34
2.2.3 用数学方程式表示实验结果	37
2.2.4 实验数据的插值法	44
2.2.5 化工数据的相关性	45
第 3 章 化工实验测量技术与常用仪表	48
3.1 温度测量	48
3.1.1 玻璃管温度计	50
3.1.2 热电偶温度计	53
3.1.3 热电阻温度计	57
3.1.4 测温仪表的选择与比较	59
3.2 压力测量	60
3.2.1 液柱式压力计	61
3.2.2 弹性压力计	66
3.2.3 电测压力计	69
3.2.4 压力计的校验和标定	71
3.3 流量测量	72
3.3.1 差压式流量计	72
3.3.2 转子流量计	74
3.3.3 湿式流量计	78
3.3.4 涡轮流量计	78
3.3.5 质量流量计	80
3.3.6 流量计的检验和标定	81



第4章 实验部分	82
4.1 流体流动阻力的测定实验	82
4.1.1 实验任务与目的	82
4.1.2 实验基本原理	82
4.1.3 实验装置、流程与主要设备尺寸	84
4.1.4 实验操作要点	85
4.1.5 实验注意事项	86
4.1.6 实验数据处理要求	86
4.1.7 实验思考题	87
4.2 流量计的标定实验	87
4.2.1 实验任务与目的	87
4.2.2 实验基本原理	88
4.2.3 实验装置、流程与主要设备尺寸	90
4.2.4 实验操作要点	91
4.2.5 实验注意事项	91
4.2.6 实验数据处理要求	91
4.2.7 实验思考题	93
4.3 离心泵性能曲线测定实验	93
4.3.1 实验任务与目的	93
4.3.2 实验基本原理	93
4.3.3 实验装置、流程与主要设备尺寸	96
4.3.4 实验操作要点	97
4.3.5 实验注意事项	97
4.3.6 实验数据处理要求	98
4.3.7 实验思考题	98
4.4 恒压过滤常数测定实验	99
4.4.1 实验任务与目的	99
4.4.2 实验基本原理	99
4.4.3 实验装置、流程与设备尺寸	101
4.4.4 实验操作要点	102
4.4.5 实验注意事项	102
4.4.6 实验数据处理要求	103
4.4.7 实验思考题	104
4.5 板框过滤实验	104
4.5.1 实验任务与目的	104



4.5.2	实验基本原理	104
4.5.3	实验装置及流程	105
4.5.4	实验操作要点	106
4.5.5	实验数据处理要求	107
4.5.6	思考题	108
4.6	动态过滤实验	108
4.6.1	实验任务与目的	108
4.6.2	实验基本原理	108
4.6.3	实验装置及流程	109
4.6.4	实验操作要点	110
4.6.5	实验数据处理要求	110
4.6.6	实验思考题	110
4.7	包裸管热损失实验	111
4.7.1	实验任务与目的	111
4.7.2	实验基本原理	111
4.7.3	实验装置、流程与主要设备尺寸	113
4.7.4	实验操作要点	114
4.7.5	实验注意事项	115
4.7.6	实验数据处理要求	115
4.7.7	实验思考题	116
4.8	空气对流传热系数的测定	117
4.8.1	实验任务与目的	117
4.8.2	实验基本原理	117
4.8.3	实验装置、流程与主要设备尺寸	120
4.8.4	实验操作要点	121
4.8.5	实验注意事项	121
4.8.6	实验数据处理要求	121
4.8.7	实验思考题	122
4.9	传热平台实验	123
4.9.1	实验任务与目的	123
4.9.2	实验基本原理	123
4.9.3	实验装置、流程与主要设备尺寸	124
4.9.4	实验操作要点	125
4.9.5	实验注意事项	126
4.9.6	实验数据处理要求	126



4.9.7 实验思考题	126
4.10 氧解吸实验	127
4.10.1 实验任务与目的	127
4.10.2 实验基本原理	127
4.10.3 实验装置、流程与主要设备尺寸	129
4.10.4 实验操作要点	130
4.10.5 实验注意事项	131
4.10.6 实验数据处理要求	131
4.10.7 实验思考题	132
4.10.8 相关知识链接	133
4.11 精馏实验	134
4.11.1 实验任务与目的	134
4.11.2 实验基本原理	135
4.11.3 实验装置、流程与主要设备尺寸	136
4.11.4 实验操作要点	136
4.11.5 实验注意事项	137
4.11.6 实验数据处理要求	137
4.11.7 实验思考题	139
4.11.8 相关知识链接	139
4.12 萃取实验	140
4.12.1 实验任务与目的	140
4.12.2 实验基本原理	140
4.12.3 实验装置、流程与主要设备尺寸	141
4.12.4 实验操作要点	142
4.12.5 实验注意事项	142
4.12.6 实验数据处理要求	143
4.12.7 实验思考题	144
4.12.8 相关知识链接	144
4.13 流化床干燥实验	145
4.13.1 实验任务与目的	145
4.13.2 实验基本原理	145
4.13.3 实验装置、流程与主要设备尺寸	147
4.13.4 实验操作要点	148
4.13.5 实验注意事项	149
4.13.6 实验数据处理要求	149



4.13.7 实验思考题	150
4.14 厢式干燥实验	150
4.14.1 实验任务与目的	150
4.14.2 实验基本原理	151
4.14.3 实验装置、流程与主要设备尺寸	153
4.14.4 实验操作要点	153
4.14.5 实验注意事项	154
4.14.6 实验数据处理要求	154
4.14.7 实验思考题	155
4.15 温度校正实验	155
4.15.1 实验任务与目的	155
4.15.2 实验基本原理	155
4.15.3 实验装置、流程与主要设备	156
4.15.4 实验操作要点	156
4.15.5 实验注意事项	156
4.15.6 实验数据处理要求	156
4.15.7 实验思考题	157
4.15.8 相关知识链接	157
4.16 压力仪表校正实验	157
4.16.1 实验任务与目的	157
4.16.2 实验基本原理	158
4.16.3 实验装置、流程与主要设备	158
4.16.4 实验操作要点	158
4.16.5 实验注意事项	159
4.16.6 实验数据处理要求	159
4.16.7 实验思考题	159
第5章 选做与演示实验	160
5.1 伯努利方程实验	160
5.1.1 实验目的	160
5.1.2 实验基本原理	160
5.1.3 实验装置	160
5.1.4 操作步骤	160
5.1.5 实验注意事项	161
5.1.6 实验数据表	161



5.1.7 实验思考题	162
5.1.8 根据实验现象解答下列问题	162
5.2 流线演示实验	162
5.2.1 实验目的	162
5.2.2 实验基本原理	163
5.2.3 实验装置流程	163
5.2.4 实验操作要点	163
5.2.5 实验思考题	164
5.3 雷诺实验	164
5.3.1 实验目的	164
5.3.2 实验基本原理	164
5.3.3 实验装置流程	165
5.3.4 操作步骤	165
5.3.5 实验注意事项	165
5.3.6 实验数据表	165
5.3.7 实验思考题	166
5.3.8 相关知识链接	166
第6章 化工原理实验仿真	167
6.1 仿真技术简介	167
6.2 化工原理实验仿真软件	167
6.3 系统功能	168
第7章 化工原理实验室常用仪器的使用方法	183
7.1 电子天平	183
7.1.1 电子天平的结构	183
7.1.2 使用方法	183
7.1.3 使用注意事项	184
7.2 SSX-RO1 热电阻型智能数字显示仪	185
7.2.1 面板结构	185
7.2.2 运行工作方式下的各种状态及操作	185
7.2.3 设定工作方式下的各种状态及其操作	186
7.2.4 故障原因	188
7.3 QJ57 型电桥	188
7.3.1 工作原理	188
7.3.2 使用方法	189



7.3.3 关机	190
7.4 变频器	190
7.4.1 面板说明	191
7.4.2 变频器的简易操作步骤	191
7.4.3 注意事项	192
7.4.4 操作示范	192
7.5 YSI 550A 野外便携式溶氧仪	192
7.5.1 YSI 550A 的特点	192
7.5.2 工作原理	194
7.5.3 准备探头	194
7.5.4 溶解氧标定	195
7.5.5 盐度补偿标定	196
7.5.6 探头操作	196
7.5.7 探头电极维护	197
7.6 AI 人工智能调节器	198
7.6.1 面板说明	198
7.6.2 基本操作	199
7.6.3 AI 人工智能调节器及自整定 (AT) 操作	200
7.6.4 功能及设置	201
7.6.5 使用举例	203
7.7 阿贝折光仪	203
7.7.1 工作原理与结构	203
7.7.2 使用方法	204
7.7.3 注意事项	205
第 8 章 化工原理实验常用电算程序	206
8.1 VBA 编程基础	206
8.1.1 VBA 程序组成	206
8.1.2 Excel 环境下用 VBA 编程	206
8.1.3 Excel 的 Visual Basic 编辑器	209
8.1.4 编辑及运行程序	211
8.2 实验数据的图示 Excel 方法	212
8.2.1 图表的基本概念	212
8.2.2 建立图表举例	214
8.3 解超越方程程序	219



8.4 求解线性方程组程序.....	220
8.5 一元线性回归程序.....	222
8.6 非线性回归与多项式回归程序.....	224
8.6.1 多功能非线性回归程序.....	224
8.6.2 一元多项式回归程序.....	227
8.7 插值计算程序.....	230
附录 1 实验室的防火与用电知识简介.....	233
附录 2 法定计量单位及单位换算.....	236
附录 3 化工原理实验中常用数据表.....	241
附录 4 化工原理实验常见故障的原因与排除方法.....	248
参考文献.....	250

绪 论

1. 化工原理实验课特点

化工原理实验课不同于基础性实验课，它属于工程性实验范畴。一般来说，工程性实验面对复杂的实际问题，其表现为变量多、范围广，采用实验手段测取一种量（或几种量）与其他量的关系。工程性实验一方面是为了生产实际的需要，另一方面也是为了研究化工过程中量与量之间的内在联系，找出能为实际所接受的一般规律，并为进一步开发工程性实验服务。这样取得的规律，并不是都能由已知的物理理论解释和证明的，而是多以实验为依据加以验证。

在研究和确定被测量目标时，常采用因次分析法，找出准数之间的关系，并借助实验确定最佳结果；或通过对实验测得量与量（或准数）之间的对应关系进行分析，找出它们的趋势。这种趋势一般可用图线表达，进一步用数学关系描述，从而形成重要的实验结果。

化工原理实验既与上述内容相一致，又与化工原理课程所涉及的理论、计算方法及实验研究联系密切。在许多工程因素的影响下，有些现象和参数从理论上是难以解释清楚的，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。因此，认真对待化工原理实验，对于化工单元操作设备的设计，对学习和掌握有关测量方法、手段以及学会运用基础知识整理实验结论，具有非常重要的指导意义。

2. 化工原理实验目的

化工原理实验课是化工原理教学中的重要组成部分，是以化工原理课程为基础的一门实验课程。它与基础实验课的不同之处在于它是建立在实验基础上的学科，强调实践性，注意工程观念。因此，通过实验应达到以下目标。

（1）培养学生从事实验研究的能力

工科高等院校的毕业生必须具备一定的实验研究能力。实验能力主要包括：为了完成一定的研究课题设计实验方案的能力；对化工装置及测量仪表的选择、使用、操作、故障处理、过程控制及准确获得数据的能力；对化工单元操作中各种问题的发现、分析、解决，运用计算机及软件处理实验数据的能力；对基础化工实验结果的归纳总结能力。通过对学



生能力方面的培养和锻炼,为他们将来从事实验研究及解决工程上的实际问题打下初步的基础。

(2) 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,对实验者的要求很高。化工原理实验课要求学生具有一丝不苟的工作作风和严肃认真的学习态度,从实验操作、现象观察到数据处理等各个环节都不能有丝毫马虎。如果粗心大意、敷衍了事,轻则实验数据不真实,得不出什么有价值的结论,重则会造成设备或人身事故。

总之,实验教学对于学生能力的培养是不容忽视的,对学生动手和解决实践能力能力的锻炼是理论教学无法代替的。化工原理实验教学对于学生来说仅仅是工程实践教学的开始,在高年级的专业实验和毕业论文阶段还要继续进行。

3. 化工原理实验的教学要求

化工原理实验对于学生来说是第一次接触用工程装置进行的实验,学生往往会感到陌生,无从下手。实验时几个人一组,容易使个别学生产生依赖心理,为了保证教学效果,要求每个学生必须做到以下几点。

(1) 实验前的预习

学生在实验前必须认真地预习实验指导书,并根据需要查阅有关参考书,清楚地了解实验目的、要求、原理、步骤及方法,对实验所涉及的测量仪表也要预习其使用方法。实验预习报告内容应包括:实验目的或任务、基本原理及实验设计方案、实验装置流程、实验操作要点、注意事项,设计并绘制原始数据的记录表格(注意统一法定单位)。

实验前还要进行现场了解,摸清实验装置及流程测试部位,操作控制点,了解使用的检测仪器、仪表,熟悉使用方法及所测数据的变化趋势,做到心中有数,并预先做出原始记录表格,对实验预期结果、可能发生的故障和排除故障的方法做出合理地判断。

学生的预习情况需经指导教师提问检查,合格后方可进行实验。

(2) 实验中的操作训练要求

实验操作是动手、动脑的重要过程,学生一定要严格按照操作规程进行。实验前,首先要组织好实验小组并确定负责人,在讨论、拟定实验方案后做好分工,在允许的情况下,适当调换分工可以使得到多方面的锻炼。

涉及电器及运转机械设备时,必须领会操作要领,要想到如果不按规则进行可能出现的事故,以防事故的发生。例如,容积性输送机械不开旁路阀将会造成电机负载过大,转子流量计不关阀门会造成转子冲击损坏玻璃管等。

一般的实验都分若干步骤。例如,流体阻力实验测定两根不同粗糙度的直管阻力,对每根直管进行阻力测定时,首先要将装置调整到测量(某一根管)状态,然后排出系统中



的气体,调整倒U形管式压差计,使其能正常测量压差,然后测量和记录。上述过程中,每步内容又可分为若干个小步骤和环节,每测得一组数据可看成一个小步骤,小步骤之间又存在如何改变条件的问题等。总之,实验操作前,应认真组织筹划,对整个实验的内容、步骤、环节要有清楚的打算,每步操作都要心中有数,考虑在先,防止盲目操作。

(3) 实验操作中问题的处理

在实验操作过程中,只要注意观察,会随时发现各种问题,此时应该积极思考,结合学过的知识,进行分析判断,找出正确的答案和解决问题的办法。

例如,在使用倒U形管式压差计时,改变流量,压差计的两液面会出现同时上升和下降现象,是什么原因?这种现象对实验结果是否会有影响?通过分析,可知这是因为流量改变时,管路内压强发生变化作用到压差计上,使压差计上面的气体压缩或膨胀而造成的液面变化。如果测压导管中无气泡存在,这种变化并不影响压差的测定,但是液面升降会影响压差计的测量范围。导致管内压强变化的原因,除正常直管摩擦阻力因素外,还可能是出口处阀门没有全开或通过小转子流量计局部阻力过大等。这样就可以找到解决问题的办法。

当然解决问题并非都能及时和准确,关键是及时发现问题和引起足够重视。为此就流体阻力问题再引一例:用小转子流量计时,若改换成大转子流量计(即开大转子、闭小转子),大转子流量计的读数和小转子流量计的读数相同吗?有人认为这与用大秤和小秤称量结果是一样的,所以发现转子读数不一样就不解,以为转子有问题。其实这都是流体流动的最基本知识,但是只要发现问题并给予足够的重视,积极思考,就能找出答案,并锻炼了分析、解决问题的能力。

在实验过程中出现各种故障和不正常现象,在某种意义上讲是难免的,在保证安全的前提下要提高对问题的处理能力。问题的出现有主观原因和客观原因。主观原因是事先准备工作、预习、实验方案方面的欠缺。客观原因则是实验条件不能绝对保证,如中途发生停水、停电或实验装置本身某零部件损坏、运转不灵等,这就要求实验人员发现问题要及时,处理也要及时。一般来讲,发现故障或出现不正常现象而与实验预想明显不符时,要及时报告指导教师,同时自己也应认真思考,分析原因并提出自己的看法。对问题处理的过程也是能力锻炼的过程。

(4) 实验后的总结

实验总结是以实验报告的形式完成的。实验报告是一项技术文件,是学生用文字表达技术资料的一种训练。不少学生对实验报告没有给予足够的重视,或者不会用准确的科学数字和观点来书写报告,图形表达也缺乏训练,因此,对学生来说,需要严格训练编写实验报告的能力,要能将实验中测得的数据、观察到的现象、计算结果和分析结论等用科学的术语表达出来。这对今后写研究报告和科研论文是必不可少的。

完整的实验报告一般包括以下几方面的内容。