

化工原理实验

Huagongyuanlishiyan



仿真操作实训

李卫宏 刘海燕 ◆ 编著

J i

F a n g z h e n

C a o z u o

S h i x u n



吉林大学出版社
JILIN UNIVERSITY PRESS

化工原理实验

● 仿真操作实训

——以精馏塔为例——

——以精馏塔为例——

——以精馏塔为例——

化工原理实验及仿真操作实训

李卫宏 刘海燕 编著

TQ02-33
1282

吉林大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

化工原理实验及仿真操作实训/李卫宏, 刘海燕编著. —长春:
吉林大学出版社, 2009. 12

ISBN 978 - 7 - 5601 - 5175 - 5 .

I. ①化… II. ①李…②刘… III. ①化工原理—实验—计算机
仿真—高等学校—教材 IV. ①TQ02 - 33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 237625 号

书 名: 化工原理实验及仿真操作实训
作 者: 李卫宏 刘海燕 编著

责任编辑、责任校对: 张显吉 魏丹丹
吉林大学出版社出版、发行
开本: 787 × 1092 毫米 1/16
印张: 27.25 字数: 400 千字
ISBN 978 - 7 - 5601 - 5175 - 5

封面设计: 孙 群
长春市泽成印刷厂 印刷
2009 年 12 月 第 1 版
2009 年 12 月 第 1 次印刷
定价: 38.00 元

版权所有 翻印必究
社 址: 长春市明德路 421 号 邮编: 130021
发行部电话: 0431 - 88499826
网 址: <http://www.jlup.com.cn>
E-mail: jlup@mail.jlu.edu.cn

前 言

本书是大庆油田有限责任公司科研项目《校企联合培养化工专业应用型人才》的研究成果之一。由李卫宏、刘海燕编著，苏连江教授主审。全文分三大部分：化工原理实验、化工单元仿真操作实训、大型生产仿真操作实训。

应用型本科人才的培养注重应用性和实践性，在对化学工程与工艺专业应用型本科的实践教学改革过程中，我们从实验、实习、实训三个方面入手，加强学生的实践能力培养。本套教材具有如下特点：

(1) 编排了以培养学生实践能力为目的的化工原理实验。内容包括化工原理实验中的数据处理、验证型实验、综合操作型和演示实验。

(2) 从生产实际操作出发，以岗位技能培训为主线，介绍了化工单元仿真系统学员操作站的使用及操作方法，并配有带控制点的工艺流程图、仿 DCS 图、仿现场图和复习思考题。选用了离心泵、压缩机、列管换热器、吸收与解吸、釜式反应器等共十四个单元仿真操作。

(3) 以五个大型生产仿真操做实训为主线，着重介绍岗位操作必须掌握的基本理论、安全知识、操作规范和设备维护等知识；强调实践操作，力求做到理论联系实际，注重理论性与实用性的统一。内容包括：合成氨装置、聚丙烯聚合工段、常减压炼油装置、乙醛氧化制醋酸装置、均苯四甲酸二酐装置。模拟化工厂中控室的控制生产界面，使学生提早熟悉化工生产流程及装置操控技术，并在此过程中强化学生安全生产意识。

本书的第一篇、第三篇及附录部分由李卫宏编写，共计 30 万字；第二篇由刘海燕编写，共计 10 万字。

在本书编写过程中，得到化学化工学院领导和东方仿真公司的支持，在此表示衷心的感谢！同时对参与教材编写工作的化工教研室老师表示感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，不妥之处在所难免，敬请广大读者批评和指正。

编 者

二零零九年十一月

目 录

第一篇 化工原理实验

第一章 绪论	3
一、化工原理实验的特点	3
二、化工原理实验基本要求	3
三、化工原理实验教学内容及教学方法	4
四、从事化工原理实验的基本知识	4
五、实验操作过程基本要求	6
第二章 实验研究方法及数据处理	9
一、实验研究方法	9
二、实验数据的测量与误差分析	13
三、有效数字及运算法则	18
四、实验数据处理方法	20
五、正交实验设计方法	27
第三章 验证型实验	36
实验一 流体流动阻力测定	36
实验二 离心泵特性曲线测定	42
实验三 恒压过滤常数测定实验	46
实验四 干燥特性曲线测定实验	53
实验五 液液转盘萃取	58
实验六 空气-蒸气对流给热系数测定	63
实验七 填料塔吸收传质系数的测定	71
第四章 综合型、操作型实验	75
实验一 筛板塔精馏过程实验	75
实验二 流化床干燥实验	82
实验三 超滤微滤膜分离实验	84
实验四 搅拌器性能测定实验	88

第五章 演示实验	92
实验一 流体流动型态及临界雷诺数的测定	92
实验二 柏努利实验	95
实验三 固体流态化的流动特性	99
实验四 玻璃筛板塔精馏实验	104

第二篇 单元仿真讲义

第一章 化工仿真操作基础	109
1.1 化工仿真概述	109
1.2 仿真培训系统学员操作站的使用方法	111
1.3 过程仿真系统平台PISP-2000评分系统使用说明	126
第二章 流体流动及设备单元	133
2.1 离心泵单元仿真	134
2.2 压缩机单元仿真	142
2.3 液位控制系统单元仿真	148
第三章 传热设备	156
3.1 换热器单元仿真	156
3.2 锅炉单元仿真	161
3.3 管式加热炉单元仿真	175
第四章 反应器	185
4.1 固定床反应器单元仿真	185
4.2 流化床反应器单元仿真	191
4.3 间歇反应釜单元仿真	198
第五章 塔设备	205
5.1 精馏塔单元仿真	205
5.2 吸收解吸单元仿真	212
第六章 新单元简介	224
6.1 萃取塔单元	224
6.2 真空系统单元仿真	230
6.3 罐区单元仿真	238

第三篇 大型工艺仿真讲义

第一章 合成氨装置	249
1.1 合成氨合成工段	256

1.2 合成氨净化工段	268
1.3 合成氨转化工段	278
第二章 聚丙烯聚合工段	302
第三章 常减压炼油装置	319
第四章 乙醛氧化制醋酸装置	344
4.1 氧化工段	345
4.2 精制工段	357
第五章 均苯四甲酸二酐装置	372
附录	
附录一 常用正交表	401
附录二 中华人民共和国法定计量单位制	403
附录三 常用物理量单位的换算	404
附录四 水的物理性质	407
附录五 水在不同温度下的饱和蒸气压与黏度 (-20℃~60℃)	408
附录六 某些液体的表面张力、密度及粘度	411
附录七 甲醇-水溶液、乙醇-水溶液汽液相平衡数据 (摩尔)	426
附录八 苯和氯苯有关性质	427
附录九 Antoine方程常数	428
参考文献	429

第一篇

化工原理实验

第一章 绪 论

一、化工原理实验的特点

化工原理实验属于工程实验范畴,它不同于基础课程的实验。后者面对的是基础科学,采用的方法是理论的、严密的,处理的对象通常是简单的、基本的、甚至是理想的,而工程实验面对的是复杂的实际问题和工程问题。对象不同,实验研究方法也必然不同。工程实验的困难在于变量多,涉及的物料千变万化,设备大小悬殊,实验工作量之大之难是可想而知的。因此不能把处理一般物理实验的方法简单地套用于化工原理实验。数学模型方法和因次论指导下的实验研究方法是研究工程问题的两个基本方法,因为这两种方法可以非常成功地使实验研究结果由小见大,由此及彼地应用于大设备的生产设计上。例如,在因次论指导下的实验,可不需要对过程的深入理解,不需要采用真实的物料、真实流体和实际的设备尺寸,只需借助模拟物料(如空气、水、黄砂等)在实验室规模的小设备中,经一些预备性的实验或理性的推断得出过程的因素,从而加以归纳和概括成经验方程。这种因次论指导下的实验研究方法,是确立解决难于做出数学描述的复杂问题的一种有效方法。数学模型方法是在对过程有充分认识的基础上,将过程作高度的概括,得到简单而不失真的物理模型,然后给予数学上的描述。这种研究方法同样可以具备以小见大,由此及彼的功能(因次论指导下的实验方法和数学模型方法反映了工程实验和基础实验的主要区别)。化工原理实验首要的目的就是要帮助学生掌握处理工程问题的这些实验方法。化工原理实验的另一目的是理论联系实际。化工由很多单元过程和设备所组成,学生应该运用理论去指导并且能够独立进行化工单元的操作,应能在现有设备中完成指定的任务,并预测某些参数的变化对过程的影响。

二、化工原理实验基本要求

1. 实验研究方法及数据处理

(1) 掌握处理化学工程问题的基本实验研究方法,掌握如何规划实验,去检验模型的有效性和模型参数的估值。

(2) 掌握最基本的经验参数和模型参数的估值方法——最小二乘法。

(3) 对于特定的工程问题,在缺乏数据的情况下学会如何组织实验以取得必要的设计数据。

2. 熟悉化工数据的基本测试技术

其中包括操作参数(例流量、温度、压强等)和设备特性参数(例阻力系数、传热系数、传质系数等)、特性曲线的测试方法。

3. 熟悉并掌握化工中典型设备的操作

了解有关影响操作的参数,能在现有设备中完成指定的工艺要求。并能预测某些参数的变化对设备能力的影响,并做出合理的调整。

三、化工原理实验教学内容及教学方法

化工原理实验课的内容包括实验理论教学和典型实验教学两大部分。实验理论主要阐明实验方法论、数据处理、测试技术及典型化工设备的操作。典型实验的主要项目是:

- (1) 流体流动阻力的测定;
- (2) 离心泵特性曲线的测定;
- (3) 过滤及过滤常数的测定;
- (4) 换热器的操作和传热系数的测定;
- (5) 填料吸收塔的操作和传质系数的测定;
- (6) 精馏塔的操作与塔板效率的测定;
- (7) 液液萃取操作;
- (8) 干燥操作和干燥速度曲线的测定。

通过实验课的教学,学生应掌握科学实验的全过程,此过程包括:

- (1) 实验前的准备;
- (2) 进行实验操作;
- (3) 正确记录和处理实验数据;
- (4) 计算机数据采集;
- (5) 撰写实验报告。

四、从事化工原理实验的基本知识

1. 实验守则

(1) 实验前应认真准备,明确实验的目的、任务和实验方法,做好实验前的一切准备,以保证实验任务的顺利完成。

(2) 进入实验室后,要严肃认真,不得追逐嬉笑,不得抽烟和随地吐痰。

(3) 对本次实验用的仪器设备,要在明确用法、弄清流程后才准使用。凡非属本次实验用的仪器设备,一律不准随便使用,以免损坏或发生意外。

(4) 注意节约水电、蒸气及化学药品等物资,爱护仪器设备。

(5) 因责任事故而损耗物资、损坏仪器等按照有关制度,根据情节轻重及本人对错

误的认识程度，分别给予教育、经济赔偿或纪律处分。

(6) 实验结束后，应将使用的仪器设备整理复原，检查水源、电源、气源是否已确实关断，并将场地打扫干净。

(7) 高压钢瓶的安全使用。

气体钢瓶是由无缝碳素钢或合金钢制成的，适用于装介质压力在15.0 MPa以下的气体。电气瓶的主要危险是气瓶可能爆炸和漏气。已充气的气体钢瓶爆炸的主要原因是气瓶受热而使其内部气体膨胀，以致压力超过气瓶的最大负荷而爆炸。另外，可燃性气体的漏气也会造成危险，如氢气泄露时，当氢气与空气混合后体积分数达到4%~75.2%时，遇明火会发生爆炸。因而在使用高压钢瓶时要注意以下事项：

①搬运钢瓶时，应戴好钢瓶帽和橡胶安全圈，并严防钢瓶摔倒或受到撞击，以免发生意外事故。钢瓶应远离热源，放在阴凉、干燥的地方，使用时必须牢靠地固定在架子上、墙上或实验台旁。

②决不可使油或其他易燃性有机物沾污在气瓶上，特别是出口和气压表处；也不可用棉、麻等堵漏，以防燃烧引起事故。

③使用钢瓶时，一定要用气压表，而且各种气压表不能混用。一般可燃性气体的钢瓶气门螺纹是反扣的(如 H_2 ， C_2H_2)，不可燃或助燃性气体的钢瓶气门螺纹是正扣的(如 N_2 ， O_2)。

④使用钢瓶时必须连接减压阀或高压调节阀，不经这些部件，让系统直接跟钢瓶连接是非常危险的。

⑤开启钢瓶阀门及调压时，人不要站在气体出口的前方，头不要在瓶口上方，以防万一钢瓶的总阀门或气压表被冲出伤人。

⑥当钢瓶使用到瓶内压力为0.5MPa时，应停止使用。压力过低会给重新充气带来不安全因素，当钢瓶内的压力与外界压力相同时，会引起空气的进入。

2. 从事科学实验的基本态度

进行化工原理实验首先要具有一种最基本的态度——实事求是的态度。

“实事求是”就是要把实验中所观测到的现象、数据、规律忠实地记录下来，把它们当做第一性的材料来对待。科学推理要以实验观测为依据，科学理论要用实验观测来检验，因此记录下来的应该是实际观测到的情况，而不能在任何理由下加以编造、修改或歪曲。例如某个参数根据理论计算其值应该是100，而在实验中测到的是20，那该怎么办呢？应该把20的值记录下来，然后再去找原因，而不能用任何其他数字来搪塞。

实验中直接观察到的现象和数字，可能不够准确，可能有错误，但是某次实验是不是不可靠只能用反复多次的实验来核对，不能用“与书本上的陈述不符”，或“与依据某种理论的计算结果不符”就来修改记录或取消某次记录，对待实验观测必须严肃认真，决不

能随便记录某个数字，不能随便更改某个数字。

只有具备了这种最基本的态度，实验工作才可能为自己、为别人提供有意义的材料，只有具备了这种基本态度，才可能充分理解化工原理实验的实验守则，才能理解为什么要对实验工作提出各项要求，才能积极主动地根据这些要求来工作，并使自己受到正确的训练，不断提高科学实验能力。

五、实验操作过程基本要求

1. 怎样准备实验

(1) 阅读实验指导书，弄清实验的目的与要求。

(2) 根据实验的具体任务，研究实验的做法及其理论根据，分析应该测取哪些数据并估计实验数据的变化规律。

(3) 到实验室观看设备流程，主要设备的构造，仪表种类，安装位置，了解它们的启动和使用方法（但不要擅自启动，以免损坏仪表设备或发生其它事故）。

(4) 根据实验任务及现场设备情况或实验室可能提供的其他条件，确定应该测取的数据。

(5) 拟定实验方案，确定实验步骤和操作条件。

2. 怎样组织实验

本课程的实验一般都是3~4人合作，因此实验时必须做好组织工作，既有分工，又有合作，既能保证实验质量，又能获得全面训练。每个组员都应各有专责（包括操作，读取数据及现场观察等），要在适当时间进行轮换。

3. 实验应测取哪些数据

(1) 凡是影响实验结果或者数据整理过程中所必需的数据都必需测取。它包括大气条件，设备有关尺寸，物料性质以及操作数据等。

(2) 并不是所有数据都要直接测取，凡可以根据某一数据导出或从手册中查出的数据，不必直接测定，例如水的黏度、重度等物理性质，一般只要测出水温后即可查出，因此不必直接测定水的黏度、重度，而应该改测水温。

4. 怎样读取数据、做好记录

(1) 实验前必须拟好记录表格，在表格中应记下各项物理量的名称、表示符号和单位。每个学生的实验记录本要保证数据完整，条理清楚，避免张冠李戴。

(2) 实验时一定要在现象稳定后才能读数据，条件改变后，要稍等待一会儿才能读取数据，因为仪表通常有滞后现象。

(3) 同一条件下至少要读取两次数据（研究不稳定过程中的现象时除外），而且只有当两次读数相接近时才能改变操作条件，以便在另一条件下进行观测。

(4) 每个数据记录后, 应该立即复核, 以免发生读错或写错数据等事故。

(5) 数据记录必须真实地反映仪表的精确度, 一般要记录至仪表上最小分度以下一位数。例如温度计的最小分度为 1°C , 如果当时温度读数为 24.6°C , 这时就不能记为 25°C , 如果刚好是 25°C 整, 则应记为 25.0°C , 而不能记为 25°C , 因为这里有一个精确度的问题。一般记录数据中末位都是估计数字, 如果记录为 25°C , 它表示当时温度可能是 24°C , 也可能是 26°C , 或者说它的误差是 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 而 25.0°C 则表示当时温度是介于 $24.9\sim 25.1^{\circ}\text{C}$ 之间, 它的误差是 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 但是用上述温度计时也不能记为 24.58°C , 因为它超出了所用温度计的精确度。

(6) 记录数据要以当时的实际读数为准, 例如规定的水温为 50.0°C , 而读数时实际水温为 50.5°C , 就应该记为 50.5°C , 如果数据稳定不变, 也应照常记录, 不得空下不记。如果漏记了数据, 应该留出相应空格。

(7) 实验中如果出现不正常情况, 以及数据有明显误差时, 应在备注栏中加以注明。

5. 实验过程注意事项

(1) 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, 分析原因, 及时发现问题, 解决问题。

(3) 实验过程中还应该注意观察过程现象, 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。

6. 实验数据的整理

(1) 同一条件下, 如有几次比较稳定但稍有波动的数据, 应先取其平均值, 然后加以整理。不必先逐个整理后取平均值, 以节约时间。

(2) 数据整理时应根据有效数字的运算规则, 舍弃一些没有意义的数字。一个数据的精确度是由测量仪表本身的精确度所决定的, 它绝不因为计算时位数增加而提高, 但是任意减少位数却是不允许的, 因为它降低了应有的精确度。

(3) 数据整理时, 如果过程比较复杂、实验数据又多, 一般以采用列表整理法为宜, 同时应将同一项目一次整理。这种整理方法不仅过程明显, 而且节省时间。

(4) 要求以一次数据为例, 把各项计算过程列出, 以便检查。

(5) 数据整理时还可以采用常数归纳法, 将计算公式中的常数归纳作为一个常数看待, 例如计算固定管路中由于流速改变后的雷诺准数的数值时, 因为 $\text{Re} = du\rho/\mu$ 、

$u = \frac{V}{\pi d^2/4}$, $\text{Re} = 4\rho V/\pi d\mu$, 而 d , ρ , μ 在实验中均不变化, 可作常数处理, 令

$B = 4\rho/\pi d\mu$, 则 $\text{Re} = BV$, 计算时先求出 B 值, 依次代入 V 值, 即可求出相应的 Re 值, 这样可以大大提高计算速度。

7. 实验报告的编写

一份好的实验报告，要求简单、明白、数据完整、交待清楚、结论明确、有讨论、有分析、得出的公式或线图有明确的使用条件。报告的格式虽不必强求一致，但一般应包括下列各项：

(1) 报告的题目（要简明确切）。

(2) 写报告人及共同测定人员的姓名。

(3) 实验的理论依据。

(4) 实验设备说明（应包括流程示意图和主要设备、仪表的类型及规格）。

(5) 实验数据，应该包括与实验结果有关的全部数据，报告中的实验数据不是指原始记录，而是经过加工后用于计算的全部数据，原始记录则可作为附录附于报告后面。

(6) 数据整理及计算示例，其中引用的数据要注明来源，简化公式要写出导出过程，要列出一次数据的计算过程，作为计算示例。

(7) 实验结果，要根据实验任务，明确提出本次实验的结论，用图示法、经验公式法或列表法均可，但都要注明实验条件。

(8) 分析讨论，要对实验结果作出估计、分析误差大小及原因，对实验中发现的问题应作讨论，对实验方法，实验设备有何改进建议也可写入此栏。

第二章 实验研究方法及数据处理

一、实验研究方法

1. 直接实验法

直接实验法即对被研究的对象进行直接的实验以获取其相关的参数及规律。用直接实验测定特定的工程问题所得的结果较为可靠,对于其他实验研究方法无法解决的工程问题是一种直接有效的方法。但这种方法也有很大的局限性,得出的只是个别参数之间的规律,不能反映对象的全部本质,这些实验结果只能用到特定的实验条件和实验设备上,或推广到实验条件完全相同的现象。另外实验工作量大,耗时费力,有时需要较高的投资。

2. 因次分析法

湍流时的摩擦系数(因次分析规划实验法)

2.1 问题的提出

湍流时,内摩擦应力可仿牛顿黏性定律写出

$$\tau = (\mu + e) \frac{du}{dy} \quad (2-1)$$

由于湍流时影响因素的复杂性,难以通过数学方程式直接求解,须通过实验建立经验关联式。借助因次分析方法规则组织试验,以减少试验工作量,并将试验结果整理成便于推广应用的经验关联式。

2.2 因次分析的基础—因次一致原则和 Π 定理

(1) 因次一致的原则 凡是根据基本物理规律导出的物理方程中各项的因次必相同。如以等加速度 a 运动的物体,在 θ 时间内所走过的距离 l 可用下式表示,即

$$l = u_0 \theta + \frac{1}{2} a \theta^2 \quad (2-2)$$

式中: l —在 θ 时间内物体所走过的距离, m;

u_0 —物体的初速度, m/s;

a —物体的加速度, m/s²。

各项均为长度因次

$$L = (LT^{-1})T + (LT^{-2})T^2 \quad (2-3)$$