

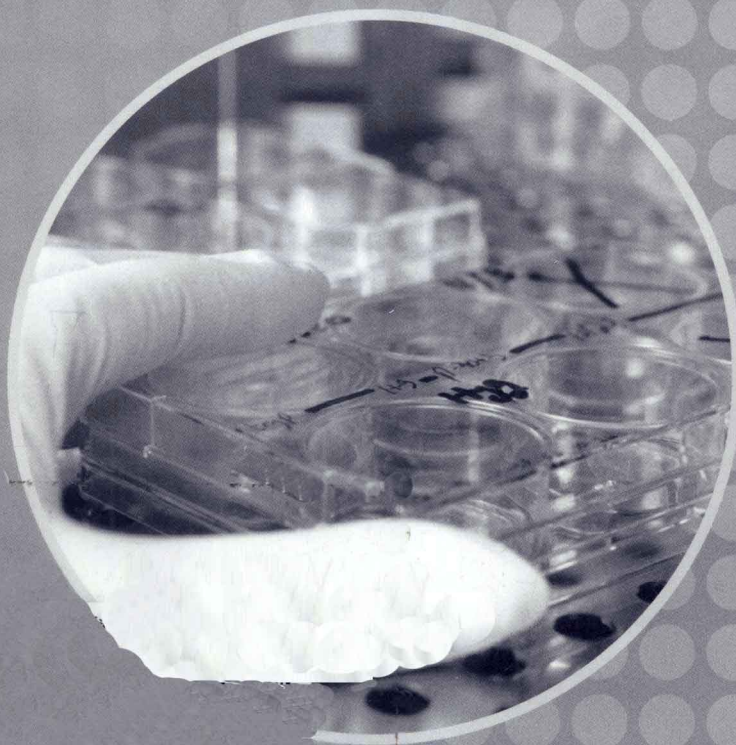
高等学校实验课系列教材

化学工程 与工艺专业实验

HUAXUE GONGCHENG YU GONGYI ZHUANYE SHIYAN

● 主 编 梁克中
● 副主编 傅杨武 黄美英 余宗学

EXPERIMENTATION



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

化学工程与工艺专业实验

主 编 梁克中
副主编 傅杨武 黄美英 余宗学

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书力求适应培养具有较强实践能力和具有一定创新能力的化学化工专业人才的需要,体现专业实验教学内容的层次性、教学方法和手段的不断创新性。本书主要内容包括:第1章绪论;第2章实验数据的误差分析和数据处理;第3章化工基础实验;第4章化工新技术实验;第5章化工专业实验。实验涵盖了化工原理、高分子化学、分离工程、化工热力学、化学反应工程和化工工艺学等理论课程的主要内容。

本书是针对化学工程与工艺专业及相关专业本科学生编写的实验教材,也可以作为高职高专层次的选用教材或参考书,对从事化工、生物、制药等领域科研工作的技术人员也有一定参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

化学工程与工艺专业实验/梁克中主编. —重庆:重庆大学出版社,2011.7

高等学校实验课系列教材

ISBN 978-7-5624-6103-6

I. ①化… II. ①梁… III. ①化学工程—化学实验—高等学校—教材 IV. ①TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 101633 号

化学工程与工艺专业实验

主 编 梁克中

副主编 傅杨武 黄美英 余宗学

策划编辑:曾显跃

责任编辑:谭 敏 刘 真 版式设计:曾显跃

责任校对:贾 梅 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝正街 174 号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆科情印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:10.75 字数:268千

2011年7月第1版 2011年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5624-6103-6 定价:26.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

前言

化学工程与工艺专业实验是在化工类专业学生完成化工原理、分离工程、化工热力学、高分子化学、化学反应工程和化工工艺等理论课程及受过一系列基础实验的训练之后进行的。化学工程与工艺专业实验具有综合性、复杂性和结合工程实际的特点,需要专业知识和基础实验技能的综合应用。在化工专业理论的指导下,本课程着重培养学生的工程及工艺类较复杂实验项目的设计能力、动手操作能力、对实验数据和结果的处理及分析能力。通过本实验课程的学习,达到拓宽实验知识、提高实验技能和实验研究能力的目的。

本书是针对化学工程与工艺专业及相关专业本科学生编写的实验教材。依据重庆三峡学院现有的实验装置编写,实验装置主要来源于大连理工大学、浙江大学和天津大学等化工设备公司。每个实验由相应的实验老师指导,在实验项目和内容的安排上,以综合性及设计实验为主,将一些实验方法的训练融于各实验项目中,充分体现实验基础训练和应用的联系。

本书主要包括:第1章绪论;第2章实验数据的误差分析和数据处理;第3章化工基础实验,其中含有11个实验;第4章化工新技术实验,其中含有9个实验;第5章化工专业实验,其中含有19个实验。实验涵盖了化工原理、高分子化学、分离工程、化工热力学、化学反应工程和化工工艺学等理论课程的主要内容。

本书力求适应培养具有较强实践能力和具有一定创新能力的化学化工专业人才的需要,体现专业实验教学内容的层次性、教学方法和手段的创新性。本书主要面向一般本科院校化学化工及相关专业的学生,也可供实验室技术人员、研究工作者参考。

本书由梁克中担任主编,傅杨武、黄美英、余宗学担任副主编,参与编写本书的还有祁俊生、赖庆柯、陈书鸿等。梁克中、傅杨武编写第1章、第3章和第4章,黄美英、余宗学、祁俊生、赖庆柯、陈书鸿编写第2章及第5章。

本书得到重庆三峡学院第五批教改与重庆三峡学院化学化工实验教学示范中心教改项目(W0908070)和重庆三峡学院第三批立项自编教材资助。本书的编写还得到了西南大学刘昌华教授等的大力支持,在此表示感谢。

由于编者本身水平和我校实验设备有限,书中难免有疏漏和错误的地方,欢迎读者批评指正。

编者

2011年3月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 化学工程与工艺专业实验的目的与要求	1
1.2 实验室安全与环保	2
1.3 化工专业实验研究方法	5
1.4 实验要求	8
1.5 实验课堂纪律和注意事项	9
第2章 实验数据的误差分析和数据处理	10
2.1 实验数据的误差分析	10
2.2 实验数据的采集与计算	11
第3章 化工基础实验	17
3.1 流体流动阻力实验	17
3.2 孔板流量计和文氏流量计的校正实验	21
3.3 离心泵特性曲线测定实验	27
3.4 真空恒压过滤实验	30
3.5 干燥操作及干燥速率曲线的测定	34
3.6 对流传热膜系数及准数关联式常数的测定	39
3.7 筛板式精馏塔的操作及塔板效率测定	44
3.8 填料塔流体力学特性及吸收传质系数的测定	47
3.9 液-液萃取实验	52
3.10 流体流动形态及临界雷诺数的测定	56
3.11 伯努利方程实验	59
第4章 化工新技术实验	63
4.1 苯液相加氢制环己烷	63
4.2 催化剂的制备与成型	65
4.3 多釜串联返混性能测定实验	67
4.4 多功能反应装置实验	70
4.5 结晶法分离提纯对二氯苯	76

4.6	乙醇气相脱水制乙烯动力学实验	79
4.7	膜分离实验	85
4.8	流化床干燥实验	89
4.9	裂解反应实验	93
第5章 化工专业实验		97
5.1	苯乙烯乳液聚合	97
5.2	苯乙烯与丙烯酸正丁酯的复合乳液聚合	99
5.3	甲基丙烯酸甲酯和丙烯酸正丁酯无皂的复合乳液聚合	100
5.4	丙烯腈阴离子聚合	102
5.5	聚乙烯离聚体的制备	104
5.6	聚甲醛复合材料的增韧改性及性能测试	106
5.7	黏度法测定聚合物的黏均相对分子质量	107
5.8	甲基丙烯酸甲酯的本体聚合	110
5.9	聚乙烯醇缩甲醛的制备	112
5.10	羧甲基纤维素的合成	113
5.11	釜式反应器的研究	115
5.12	乙酸丁酯的合成及精制	121
5.13	盐酸黄连素的提取与制备	125
5.14	聚醋酸乙烯酯乳液合成和乳胶漆的制备	127
5.15	CO ₂ 甲烷化反应实验	131
5.16	反渗透膜分离制高纯水实验	139
5.17	乙苯脱氢制苯乙烯实验	142
5.18	湿法冶金工艺实验	146
5.19	布洛芬的拆分与工艺设计	151
附录		153
附录 1	液体比重天平使用说明	153
附录 2	乙醇水溶液在常压下的气液平衡数据	154
附录 3	水中溶解氧的极谱分析法	155
附录 4	常压下不同温度空气饱和水溶解氧的浓度	157
附录 5	膜组件工作性能与维护要求	158
附录 6	实验常用单体的性质与精制方法	158
附录 7	实验常用引发剂的性质与精制方法	160
参考文献		162

第 1 章

绪 论

1.1 化学工程与工艺专业实验的目的与要求

1.1.1 化学工程与工艺专业实验的目的

化学工程与工艺专业实验是一门独立设置的专业必修课。作为一门重要的专业实践课,目的是培养学生掌握化学工程与工艺专业的专业实验技术和实验研究方法,使学生在学化工主要基本原理的基础上,加深对化工主要原理、方法及重要概念的理解,并能提高灵活应用这些原理进行化工操作、设计及模拟实验的能力。本课程主要通过实验教学的方式以达到如下学习目的:

①提高学生感性认识。学生通过独立实验,更好地理解理论教学内容,达到融会贯通的境界。

②提高学生专业实验操作技能和仪器设备的使用能力。

③运用学过的化工基本理论,分析实验过程中的各种现象和问题,提高科研、动手能力,分析问题和解决问题的能力。

④提高学生自学能力、独立思考能力,培养学生的创新意识和创新能力。

⑤培养学生良好的学风和工作作风,以严谨、科学、求实的精神对待科学实验与开发研究工作。

1.1.2 化学工程与工艺专业实验的要求

为了保证实验的顺利进行,实现教学目的,要求学生必须做到以下几点。

(1) 实验预习

认真预习实验是做好实验的前提,所以实验前要充分预习,具体要求如下:

①认真阅读实验指导教材,明确实验的目的、原理及注意事项。

②根据实验的具体任务,研究实验的内容、步骤,分析应测定哪些数据,并估计实验数据的变化规律。

③在实验现场结合实验指导教材,仔细查看设备流程,主要设备的构造,仪表的种类,了解设备的开启方法及设备的操作注意事项。

④写好预习报告。

(2) 实验操作和实验数据的记录

实验时注意力要集中,细致观察,如实记录实验现象。当实验现象和理论不相符时,应该尊重实验事实,认真分析问题产生的原因及其可能的解决方案。

①按原始实验数据记录表的要求,记录测定的各项实验数据,并记录实验条件。实验条件一般包括环境条件和仪器设备、药品条件,前者如室温、大气压、湿度等,后者包括使用仪器设备的名称、规格、型号,实验精度以及药品的名称、纯度等。

②必须在实验数据稳定后读数,条件改变后也要待一定时间后再读取数据,以排除因在管路系统中含有气泡或仪表滞后等引起的读数不准情况发生。

③记录实验数据必须准确、可靠,严禁随意涂抹数据,在相同的实验条件下,至少应读取两次数据,而且只有在两次读数相近的情况下才可改变实验条件,进行下一步操作。

④数据记录必须真实地反映仪表的精度,一般要记录至仪表最小分度以下一位数。

⑤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。

(3) 实验报告

实验完成后,学生应认真独立撰写报告。实验报告应条理清楚、讨论分析正确。

一个完整的专业实验过程实际上就是一项科学研究的缩影,预习相当于查阅文献和开题论证,实验操作相当于实验数据的获得,实验报告是对研究的分析与总结。做专业实验是学生接受科研训练的过程,学生应认真对待和参与专业实验。

1.2 实验室安全与环保

化学工程与工艺专业实验具有其自身的要求和特点,如所用药品绝大多数是易燃、易爆、有毒、有腐蚀性的物质,必须格外小心,所操作仪器价格昂贵,若损坏造成损失极大。因此在进行专业实验时必须严格执行安全操作规程,加强安全措施,防止事故发生,防止仪器损坏。

实验室安全技术和环境保护对开展科学实验有着重要意义,我们不但要掌握这方面的有关知识,而且应该在实验中加以重视,防患于未然。

1.2.1 实验室安全知识

(1) 实验室常用危险品的分类

化学工程与工艺专业实验室常有易燃、易爆、有毒、有腐蚀性物质,归纳起来主要有以下几类。

1) 可燃气体

遇火、受热或与氧化剂相接触能引起燃烧或爆炸的气体称为可燃气体。如:氢气、甲烷、乙烯、煤气、液化石油、一氧化碳等。

2) 可燃液体

容易燃烧而在常温下呈液态,具有挥发性,闪点低的物质称为可燃液体。如:乙醚、丙酮、

汽油、苯、乙醇等。

3) 可燃性固体物质

遇火、受热、撞击、摩擦或与氧化剂接触能着火的固体称为可燃性固体物质。如：五硫化磷、三硫化磷等。

4) 爆炸性物质

在热力学上很不稳定,受到轻微摩擦、撞击、高温等因素的激发而发生激烈的化学变化,在极短时间内放出大量气体和热量,同时伴有热和光等效应发生的物质称为爆炸性物质。如:过氧化物、氮的卤化物、硝基或亚硝基化合物、乙炔类化合物等。

5) 自燃物质

在没有任何外界热源的作用下,由于自行发热和向外散热,热量积蓄升温到一定程度能自行燃烧的物质称为自燃物质。如:磁带、胶片、油布、纸等。

6) 遇水燃烧物质

当吸收空气中水分或接触了水时,会发生剧烈反应,并放出大量可燃气体和热量,达到自燃点而引发燃烧和爆炸的物质称为遇水燃烧物质。如:活泼金属钾、钠、锂及其氢化物等。

7) 混合危险性物质

两种或两种以上性能抵触的物质,混合后发生燃烧和爆炸的称为混合危险性物质。如:强氧化剂(重铬酸盐、氧、发烟硫酸等)、还原剂(苯胺、醇类、有机酸、油脂、醛类等)。

8) 有毒物品

某些侵入人体后在一定条件下破坏人体正常生理机能的物质称有毒物质,分类如下:

- ①窒息性毒物:氮气、氢气、一氧化碳等;
- ②刺激性毒物:酸类蒸气、氯气等;
- ③麻醉性或神经毒物:芳香类化合物、醇类化合物、苯胺等;
- ④其他无机及有机毒物,指对人体作用不能归入上述3类的无机和有机毒物。

(2) 防燃、防爆的措施

1) 有效控制易燃物及助燃物

化工类实验室防燃防爆根本的是对易燃物和易爆物的用量和蒸气浓度进行有效控制。

- ①控制易燃易爆物的用量。原则上是用多少领多少,不用的要存放在安全地方。
- ②加强室内的通风。主要是控制易燃易爆物质在空气中的浓度,不大于爆炸下限的1/4。
- ③加强密闭。在使用和处理易燃易爆物质(气体、液体、粉尘)时,加强容器、设备、管道的密闭性,防止泄漏。
- ④充惰性气体。在爆炸性混合物中充惰性气体可缩小爆炸范围,以至消除爆炸;制止火焰的蔓延。

2) 消除火源

①管理好明火及高温表面,在有易燃易爆物质的场所,严禁明火(电热板、开式电炉、电烘箱、马弗炉、煤气灯等)及白炽灯照明。

②严禁在实验室内吸烟。

③避免摩擦和冲击,摩擦和冲击过程中产生过热甚至发生火花。

④严禁各类电气火花,包括高压电火花放电、弧光放电、电接点微弱火花等。

(3) 消防措施

消防的基本方法有3种:①隔离法。将火源处或周围的可燃物撤离或隔开,由于燃烧区缺少可燃物,燃烧停止。②冷却法。降低燃烧物的燃点温度是灭火的主要手段,常用冷却剂是水和二氧化碳。③窒息法。冲淡空气使燃烧得不到足够的氧而熄灭,如用黄沙、石棉毯、湿麻袋、二氧化碳、惰性气体等。但对爆炸性物质起火不能用覆盖法,若用了覆盖法会阻止气体的扩散反而增加了爆炸的破坏力。

(4) 有毒物质的基本预防措施

实验室中多数化学药品都具有毒性,毒物侵入人体有3个途径:皮肤、消化道、呼吸道。因此只要依据毒物的危害程度的大小,采取相应的预防措施完全能防止对人体的危害。

- ①使用有毒物时要准备好或戴上防毒面具、橡皮手套,有时要穿防毒衣装。
- ②实验室内严禁吃东西,离开实验室应洗手,如面部或身体被污染必须进行清洗。
- ③实验装置尽可能密闭,防止冲、溢、跑、冒事故发生。

(5) 高压钢瓶的安全使用

在专业实验中,经常用到各种气体。一般情况下,气体是被压缩进钢瓶中,钢瓶内压力可高达15~20 MPa。对装有压缩气体的钢瓶,若操作不够熟练或工作不慎,会导致失火或爆炸事故,为此应注意正确使用钢瓶。

- ①气瓶必须存放在阴凉、干燥、远离热源的房间,并且要严禁明火,防曝晒。
- ②气瓶附近,不能有还原性有机物,如有油污的棉纱、棉布等,不要用塑料布、油毡之类覆盖,以免爆炸。
- ③在实验室中,不要将气瓶倒放、卧放,以防止开阀门时喷出压缩液体。要牢固地直立,固定于墙边或实验桌边,最好用固定架固定。
- ④气体钢瓶搬运时,应保护好阀门。
- ⑤开启钢瓶时,操作者应侧对气体出口处,在减压阀与钢瓶接口处无漏情况下,应首先打开钢瓶阀,然后调节减压阀。关气应先关闭钢瓶阀,放尽减压阀中余气,再松开减压阀螺杆。
- ⑥钢瓶内气体(液体)不得用尽,低压液化气瓶余压在0.3~0.5 MPa内,高压气瓶余压在0.5 MPa左右,防止其他气体倒灌。
- ⑦领用高压气瓶(尤其是可燃、有毒的气体)应先通过感观和异味来检查是否泄漏,对有毒气体可用皂液(氧气瓶不可用此方法)及其他方法检查钢瓶是否泄漏,若有泄漏应拒绝领用。在使用中发生泄漏,应关紧钢瓶阀,注明漏点,并由专业人员处理。

(6) 实验事故的应急处理

在实验操作过程中,由于多种原因可能发生危害事故,如火灾、烫伤、中毒、触电等。在紧急情况下必须在现场立即进行应急处理,减小损失,不允许擅自离开而造成更大的危害。

- ①发生火灾时应选用适当的消防器材及时灭火。当电器发生火灾时应立即切断电源,并进行灭火。在特殊情况下不能切断电源时,不能用水来灭火,以防二次事故发生,若火势较大,应立即报告消防队,并说明情况。
- ②割伤。应先取出玻璃碎片,用蒸馏水洗净伤口,用药棉及碘酒擦洗伤口,然后用消毒纱布包扎。大量出血或割伤应去医院治疗。
- ③触电。发现有人触电应立即拉断电源,不能拉开电闸时,应用绝缘体(如木棒、椅子等)使电线或电热器与触电者脱离,切忌直接救护触电者。切断电源后,立即将伤者送医务所

治疗。

④药品蚀伤。被酸或碱烧伤时,尽可能快地用水冲洗,然后用中和剂(被碱烧伤时用1%~2%的醋酸或硼酸溶液;被酸烧伤时用5%的碳酸氢钠溶液)洗涤。被溴烧伤时,应立即用酒精洗涤,然后涂上甘油或烫伤油膏。

⑤轻度烫伤或烧伤。用硼酸水及药膏涂抹,用纱布包好,烫泡大者不可刮破,须由医生酌情处理。

⑥眼睛受伤。立即用大量水冲洗眼睛(不可用手擦和揉眼睛),如使用中和剂则应特别小心,只能用不大于1%的硼酸或碳酸氢钠溶液,再用蒸馏水冲洗。

1.2.2 实验室环保知识

实验室排放废液、废气、废渣等即使是数量不大,也要避免不经处理而直接排放到河流、下水道和大气中去,防止污染以免危害自身或危及他人的健康。

①实验室一切药品及中间产品必须贴上标签,注明为某物质,防止误用及因情况不明处理不当而发生事故。

②绝对不允许用嘴去吸移液管液体以获取各种化学试剂和各种溶液,应该用洗耳球等方法吸取。

③处理有毒或带有刺激性的物质时,必须在通风橱内进行,防止这些物质散逸在室内。

④实验室的废液应根据其物质性质的不同而分别集中在废液桶内,并贴上明显的标签,以便于废液的处理。

⑤在集中废液时要注意,有些废液是不可以混合的,如过氧化物和有机物、盐酸等挥发性酸与不挥发性酸、铵盐及挥发性胺与碱等。

⑥对接触过有毒物质的器皿、滤纸、容器等要分类收集后集中处理。

⑦一般的酸碱处理,必须在进行中和后用水大量稀释,才能排放到地下水槽。

⑧在处理废液、废物等时,一般都要戴上防护眼镜和橡皮手套。对具有刺激性、挥发性的废液处理时,要戴上防毒面具,在通风橱内进行。

1.3 化工专业实验研究方法

化学工程学科,如同其他工程学科一样,除了生产经验的总结之外,实验研究是学科建立和发展的重要基础。多年来,在发展过程中形成的研究方法有:直接实验法、理论指导下的实验研究方法和数学模型法等几种。

1.3.1 直接实验法

直接实验法是解决工程实际问题最基本的方法。一般是指对特定的工程问题进行直接实验测定,从而得到需要的结果。这种方法得到的结果较为可靠,但它往往只能用到条件相同的情况,具有较大的局限性。例如物料干燥性实验,已知物料的湿分,利用空气作干燥介质,在空气温度、湿度和流量一定的条件下,直接实验测定干燥时间和物料失水量,可以作出该物料的干燥曲线,如果物料和干燥条件不同,所得干燥曲线也不同。

1.3.2 因次分析法

对一个多变量影响的工程问题进行实验,为研究过程的规律,用网络法实验测定,即依次固定其他变量,改变某一个变量测定目标值。如果变量数为 m 个,每个变量改变条件数为 n 次,按这种方法规划实验,所需实验次数为 n^m 次。依这种方法组织实验,所需实验数目非常大,难以实现。所以实验需要在一定理论指导下进行,以减少工作量,并使得到的结果具有一定的普遍性。

因次分析法是化学工程实验研究广泛使用的一种方法。在流体力学和传热过程的问题研究中,出现许多影响这些过程的变量,如设备的几何条件、流体流动条件、流体的物性变化等。利用直接实验法测定,使研究工作困难,因为改变许多变量来做实验,这几乎是不可能的,而且实验结果也难以普遍使用。利用因次分析方法,可以大大减少工作量。

因次分析法,所依据的基本原则是物理方程的因次一致性。将多变量函数,整理为简单的无因次数群的函数,然后通过实验归纳整理出准数关系式,从而大大减少实验工作量,同时也容易将实验结果应用到工程计算和设计中。

因次分析法的具体步骤是:

- ①找出影响过程的独立变量;
- ②确定独立变量所涉及的基本因次;
- ③构造变量和自变量间的函数式,通常以指数方程的形式表示;
- ④用基本因次表示所有独立变量的因次,并写出各独立变量的因次式;
- ⑤依据物理方程的因次一致性和 π 定理得出准数方程;
- ⑥通过实验归纳总结准数方程的具体函数式。

例如流体在管内流动的阻力和摩擦系数 λ 的计算研究,是利用因次分析方法和实验得到解决的。实验得知,影响流体在管内流动阻力的因素有:管径 d 、管长 l 、流速 u 、流体的物性密度 ρ 和黏度 μ 及管壁的粗糙度 ε ,写成函数关系式为

$$\Delta P = f(d, l, u, \rho, \mu, \varepsilon) \quad (1.1)$$

由白金汉 π 定理指出,无因次数群数 N ,等于影响现象的变量数 n 减去基本因次数 m ,即 $N = n - m$ 。由以上分析变量数 $n = 7$ 个,表示这些物理变量的基本因次 $m = 3$,有质量 $[M]$,长度 $[L]$ 和时间 $[\theta]$ 。由 π 定理可知可以整理得到 4 个无因次数群。将式(1.1)写成乘幂函数的形式,即

$$\Delta P = K d^a l^b u^c \rho^d \mu^e \varepsilon^f \quad (1.2)$$

通过因次分析,将变量无因次化。式中各物理量的因次为

$$\begin{aligned} \Delta P &= [ML^{-1}\theta^{-2}] & \rho &= [ML^{-3}] \\ d = l &= [L] & \mu &= [ML^{-1}\theta^{-1}] \\ u &= [L\theta^{-1}] & \varepsilon &= [L] \end{aligned}$$

将各物理量的因次代入式(1.2),则两端因次为

$$ML^{-1}\theta^{-2} = L^a L^b (L\theta^{-1})^c (ML^{-3})^d (ML^{-1}\theta^{-1})^e L^f$$

即

$$ML^{-1}\theta^{-2} = L^{a+b+c-3d-e+f} M^{d+e} \theta^{-c-e}$$

根据物理方程因次一致原则,上式等号两侧各基本量的因次的指数必然相等,可得方程组:

对因次 $[M]$

$$d + e = 1$$

对因次 $[L]$

$$a + b + c - 3d - e + f = -1$$

对因次 $[\theta]$

$$-c - e = -2$$

这样得到3个基本方程,有6个未知数,设用其中3个未知数 b 、 e 、 f 来表示 a 、 d 、 c ,解此方程组,可得

$$a = -b - e - f$$

$$d = 1 - e$$

$$c = 2 - e$$

求得的 a 、 d 、 c 代入式(1.2),即得

$$\Delta P = K d^{-b-e-f} l^b u^{2-e} \rho^{1-e} \mu^e \varepsilon^f$$

将指数相同的各物理量归并在一起得

$$\frac{\Delta P}{u^2 \rho} = K \left(\frac{l}{d} \right)^b \left(\frac{du\rho}{\mu} \right)^{-e} \left(\frac{\varepsilon}{d} \right)^f$$

$$\Delta P = 2K \left(\frac{l}{d} \right)^b \left(\frac{du\rho}{\mu} \right)^{-e} \left(\frac{\varepsilon}{d} \right)^f \left(\frac{u^2 \rho}{2} \right)$$

将此式与计算流体在管内摩擦阻力公式相比较,即

$$\Delta P = \lambda \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{u^2 \rho}{2} \right)$$

整理得到研究摩擦系数 λ 的关系式,即

$$\lambda = 2K \left(\frac{du\rho}{\mu} \right)^{-e} \left(\frac{\varepsilon}{d} \right)^f$$

或

$$\lambda = \phi \left(Re, \frac{\varepsilon}{d} \right)$$

由以上分析可以看出,在因次分析法的指导下,将一个复杂得多变量影响的管内流体阻力计算问题,简化为摩擦系数 λ 的研究和确定。具体的函数关系还必须依靠实验确定。

在传热过程的问题研究中,影响过程的物理量增加有热量、温度。在因次分析中温度也可作为基本因次被引入。如果热量不是用质量和温度来定义,热量也可以作为基本因次。利用因次分析方法,也可以得到许多各种传热过程的准数函数。

由此看来,因次分析方法是化工实验研究的有用工具,它指出了减少实验变量的方法,但在变量合并过程中,如何合并变量为有用准数,这是研究者必须十分注意的问题。在前例中是假设 b 、 e 、 f 指数,由指数方程求解 a 、 d 、 c 得到需要的有关准数 $\Delta P/\rho u^2$ 、 l/d 、 $du\rho/\mu$ 、 ε/d 。若假设指数的条件不同,整理得到的准数形式也不同。另外还必须指出,应用因次分析的过程,必须对所研究的过程问题有本质的了解。如果有一个重要的变量被遗漏,那么就会得出不正确的结果,甚至导致谬误的结论,所以应用因次分析法必须持谨慎态度。

1.3.3 数学模型法

数学模型方法是近20年内产生、发展和日趋成熟的方法。但这一方法的基本要素在化工原理各单元中早已应用,只是没上升为模型方法的高度。数学模型法是在对研究的问题有充分认识的基础上,将复杂问题作合理简化,提出一个近似实际过程的物理模型,并用数学方程(或微分方程)表示的数学模型,然后确定该方程的初始条件和边界条件,求解方程。高速大容量电子计算机的出现,使数学模型方法得以迅速发展,成为化学工程研究中的强有力工具。

但这并不意味着可以取消和削弱实验环节,相反,对工程实验提出了更高的要求,一个新的、合理的数学模型,往往是在现象观察的基础上,或对实验数据进行充分研究后建立提出的,新的模型必然引出一定程度的近似和简化,或引入一定参数,这一切都有待于实验进一步的修正、校验和检验。

1.4 实验要求

(1) 实验准备工作

实验前必须认真预习实验教材和理论课程教材有关章节,仔细了解所做实验的目的、要求、方法和基本原理。在全面预习的基础上写出预习报告(内容包括:目的、原理、预习中的问题),并准备好做实验记录用的表格。

进入实验室后,要对实验装置的流程、设备结构、测量仪表做细致的了解,并认真思考实验操作步骤,测量内容与测定数据的方法。对实验预期的结果,可能发生的故障和排除方法,作一些初步的分析和估计。

实验开始前,小组成员应进行适当的分工,明确要求,以便实验中协调工作。设备启动前要检查、调整设备进入启动状态,然后再送电、送水或蒸汽之类启动操作。

(2) 实验操作、观察与记录

设备的启动与操作,应按实验教材说明的程序,逐项进行。对压力、流量、电压等变量的调节和控制,要缓慢进行,防止剧烈波动。

在实验过程中,应全神贯注地精心操作,要详细观察所发生的各种现象,例如物料的流动状态等,这将有助于对过程的分析和理解。

实验中要认真仔细地测定数据,将数据记录在规定的表格中。对数据要判断其合理性,在实验过程中如遇数据重复性差或规律性差等情况,应分析实验中的问题,找出原因加以解决。必要的重复实验是需要的,任何草率的学习态度都是有害的。

做完实验后,要对数据进行初步检查,查看数据的规律性,有无遗漏或记错,一经发现应及时补正。实验记录应请指导教师检查,同意后再停止实验并将设备恢复到实验前的状态。

实验记录:

实验记录是处理、总结实验结果的依据。实验应按实验内容预先制作记录表格,在实验过程中认真做好实验记录,并在实验中逐渐养成良好的记录习惯。记录应仔细认真,整齐清楚。要注意保存原始记录,以便核对。以下是几点参考意见:

①对稳定的操作过程,在改变操作条件后,一定要等待过程达到新的稳定状态,再开始读数记录。对不稳定的操作过程,从过程一开始,就应进行读数记录,为此就要在实验开始之前,充分熟悉方法并计划好记录的时刻或位置等。

②记录数据应是直接读取原始数值,不要经过运算后再记录,例如秒表读数1分38秒,就应记为1'38",不要记为98"。又如U形压差计两臂液柱高差,应分别读数记录,不应只读取或记录液柱的差值,或只读取一侧液柱的变化乘2倍。

③根据测量仪表的精度正确读取有效数字。例如1/10℃分度的温度计,读数为22.24℃时,其有效数字为四位,可靠值为三位。读数最后一位是带有读数误差的估计值,尽管带有误差,在测量时还应进行估计。

④对待实验记录应采取科学态度,不要凭主观臆测修改记录数据,也不要随意弃舍数据。对可疑数据,除有明显原因,如读错、误记等情况使数据不正常可以弃舍之外,一般应在数据处理时检查处理。数据处理时可以根据已学知识,如热量衡算或物料衡算为根据,或根据误差理论弃舍原则来进行。

⑤记录数据应注意书写清楚,字迹工整。记错的数字应划掉重写,应避免涂改的方法,涂改后的数字容易误读或看不清楚。

(3) 实验报告

实验结束后应及时处理数据,按实验要求,认真地完成报告的整理编写工作。实验报告是实验工作的总结,编写组织报告也是对学生工作能力的培养,因此要求学生各自独立完成这项工作。

实验报告应包括以下内容:

- ①实验题目;
- ②实验的目的或任务;
- ③实验的基本原理;
- ④实验设备及流程(绘制简图),简要操作说明;
- ⑤原始记录数据;
- ⑥数据整理方法及计算示例,实验结果可以用列表、图形曲线或经验公式表示;
- ⑦分析讨论。

实验报告应力求简明,分析说理清楚,文字书写工整,正确使用标点符号。图表要整齐地放在适当位置,报告要装订成册。

报告中应写出学生姓名、班级、实验日期、同组人和指导教师姓名。

报告应在指定时间交指导教师批阅。

1.5 实验课堂纪律和注意事项

①准时进实验室,不得迟到或早退,不得无故缺课。

②遵守课堂纪律,严肃认真地进行实验。实验室不准吸烟,不准打闹说笑或进行与实验无关的活动。

③对实验设备及仪器等在没弄清楚使用方法之前不得开动,与本实验无关的设备和仪表不要乱动。

④爱护实验设备、仪器仪表。注意节约使用水、电、气及药品。

⑤保持实验现场和设备的整洁,禁止在设备、仪器和台桌等处乱写、乱画。衣物、书包不得挂在实验设备上,应放在指定的地方。

⑥注意安全及防火。电动机开动前,应观察电机及运转部件附近有无人员在工作。合上电闸时,应慎防触电。注意电机有无怪声和严重发热现象。

⑦实验结束后,同学应认真清扫现场,并将实验设备、仪器等恢复到实验前状态,经检查合格后方可离开实验室。

最后,要严格遵守实验室的规章制度,确保人身安全及设备的完好,使得实验教学正常进行。

第 2 章

实验数据的误差分析和数据处理

实验需要进行大量的数据测定工作,如何采集实验数据,直接关系到实验结果的可靠性。实验获得的大量原始数据,通常需要进行计算处理,才能得到可以应用的结果,如列表、作图或整理成经验公式。也便于与课本或前人研究结果对比分析,对实验结果作出评价。下面介绍这方面的基本知识。

2.1 实验数据的误差分析

实验研究的目的,是期望通过实验数据获得可靠的、有价值的实验结果。而实验结果是否可靠、准确、真实地反映了对象的本质,不能只凭经验和主观臆断,必须应用科学的,有理论依据的数学方法加以分析、归纳和评价。因此,掌握和应用误差理论、统计理论等科学数据处理方法是十分必要的。

2.1.1 误差的概念

物质是客观存在的,有各种特性,反映物质特性的物理量的客观真实值,这个数值就称为真值。

从测量者的主观愿望来说,总想测出物理量的真值。然而任何实际测量中是在一定环境下,用一定的仪器、一定的方法、由一定的人员完成的,存在周围环境不理想、测量方法不完善、仪器设备不精密、测量人员技术经验和能力不高等限制因素,使任何测量都不会绝对精确。测量值与真值之间的差别,称为误差。任何测量都有误差,误差贯穿于测量的全过程。

2.1.2 误差的分类与表达

(1) 实验误差的分类

1) 系统误差

系统误差是指实验分析中由于某些固定原因造成的误差,如方法误差(由测定方法本身引起的)、仪器误差(仪器本身不够准确)、试剂误差(试剂不够纯)、主观误差(正常操作情况下操作者本身的原因)。系统误差是实验中的潜在弊端,若已知其来源,应设法消除。若无法

在实验中消除,则应事先测出其数值的大小和规律,以便在数据处理时加以修正。

2)偶然误差

偶然误差是由某些偶然的、随机的原因造成的误差,如测定时环境的微小波动,个人一时辨别的差异造成的读数不一致等。偶然误差是实验中普遍存在的误差,这种误差从统计学的角度看,它具有有界性、对称性和抵偿性,即误差仅在一定范围内波动,不会发散,当实验次数足够大时,正负误差将相互抵消,数据的算术均值将趋于真值。因此,不宜也不必去刻意地消除它。

3)过失误差

因工作疏忽、操作马虎而引起的误差被称为过失误差。

在消除系统误差的前提下,平行测定次数越多,平均值越接近真实值。

(2)误差的表达

1)数据的真值

虽然真值应是某量的客观实际值,但是在通常情况下,绝对的真值是未知的,只能用相对的真值来近似。在化工专业实验中,常采用3种相对真值,即标准器真值、统计真值和引用真值。

标准器真值,就是用高精度测量仪器的测量值作为低精度测量仪器测量值的真值。

统计真值,就是用多次重复实验测量值的平均值作为真值。

引用真值,就是引用文献或手册上那些已被前人的实验证实,并得到公认的数据作为真值。

2)绝对误差与相对误差

绝对误差与相对误差在数据处理中用来表示物理量的某次测定值与真值之间的误差。

3)精密度与偏差

精密度是指在相同条件下重复测量时,各测量值间相互接近的程度。各测量值越接近,精密度就越高。精密度的高低可用平均偏差和标准偏差来表示,平均偏差和标准偏差值越小,表明精密度越高。

2.2 实验数据的采集与计算

2.2.1 实验数据的采集

为了保证实验获得正确的处理结果,实验时应注意正确采集原始数据。除了认真检查实验装置设备,减少系统误差外,应精心操作,认真读取和记录数据,减少人为的过失误差,力求原始数据的准确性。因此,在实验数据采集和记录过程中,需要从以下几方面努力。

(1)正确选择测试参数

实验时应正确地选定所测参数,测定那些与研究对象相关的独立变量,例如测定实验系统的介质流量、温度、压力及组成。介质的物性可从资料中查得。中间变量可以通过直接测量,然后通过计算获得。应该指出:这里测定与研究的是对象的主要参数,而不是全部参数。