

※ 高等院校应用型化工人才培养丛书

化学工程与工艺 专业实验

田维亮 ◎ 主编 白红进 ◎ 主审



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

高等院校应用型化工人才培养丛书

要 章 节 内 容

本书为高等院校化工专业应用型人才培养丛书之一，主要介绍化工专业实验的基本知识、基本操作、基本实验、综合实验、毕业设计等。本书可作为高等院校化工专业应用型人才培养的教材，也可供从事化工工作的工程技术人员参考。

化学工程与工艺专业实验

田维亮 主编

白红进 主审



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

内 容 提 要

本书介绍了典型的化工专业实验的基础知识和实验,注重培养学生综合素质,通过实验操作使学生掌握化工生产的基本操作技能。其内容包括绪论、化工专业实验基础、基础数据测定实验、化学反应工程实验、化工分离技术实验、化工工艺实验、研究开发实验、化工仿真实验等内容。

本书可作为高等院校化学工程与工艺专业本科教材,也可作为化学及其相关专业的实验教材,并可供从事化工生产、管理、科研和设计的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化学工程与工艺专业实验/田维亮主编. —上海:华东理工大学出版社,2015.2

高等院校应用型化工人才培养丛书

ISBN 978-7-5628-4103-6

I. ①化… II. ①田… III. ①化学工程—化学实验
IV. ①TQ016

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 276528 号

高等院校应用型化工人才培养丛书

化学工程与工艺专业实验

主 编 / 田维亮

主 审 / 白红进

责任编辑 / 徐知今

责任校对 / 成 俊

封面设计 / 裴幼华

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地 址:上海市梅陇路 130 号,200237

电 话:(021)64250306(营销部)

(021)64252174(编辑室)

传 真:(021)64252707

网 址:press.ecust.edu.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787mm×1092mm 1/16

印 张 / 14

字 数 / 336 千字

版 次 / 2015 年 2 月第 1 版

印 次 / 2015 年 2 月第 1 次

书 号 / ISBN 978-7-5628-4103-6

定 价 / 38.00 元

联系我们:电子邮箱 press@ecust.edu.cn

官方微博 e.weibo.com/ecustpress

淘宝官网 <http://shop61951206.taobao.com>



编委会名单

主 编 田维亮

主 审 白红进

副主编 张越锋 穆金城 葛振红

编 委 白红进 田维亮 穆金城

张越锋 李秀敏 葛振红

吕喜风

前 言

实施科教兴国战略,建设创新型国家,实践“卓越工程师教育培养计划”,高等院校应当把创新能力的教育和培养贯穿于各门课程教学及实践性教学环节中。化学工程与工艺专业实验是在学生学习化工原理、分离工程、化工热力学、化学反应工程、化工设备基础、化工仪表与自动化、石油炼制工程、化工工艺学等专业课程之后所开设的一门专业实验课,是化学工程与工艺专业的重要实践环节之一。通过本课程的学习,一方面巩固学生对本专业基础和专业理论知识的认识与理解,另一方面培养工科学生的基本实验技能及对实验现象进行分析、归纳和总结的能力,较为直观地树立起工程思想和观念,塑造工程素养,为今后从事相关领域工作打下良好的基础。

现代化化工企业逐渐实现自动化和半自动化的生产控制,大量的工作人员从繁复的操作中解脱出来,然而对现代化的员工也提出了更高的要求。目前,大型化工厂基本实现DCS系统中央集中控制,这样除了让员工掌握基本的化工专业操作知识外,还需要熟悉计算机DCS系统控制的相关知识。因此,现代的化工单元操作实验教学也需要跟随社会发展的要求,进行教学改革。本书以化工专业操作仿真教学为切入点,分类实验加综合设计型实验为主,推进化工实验教学改革。

《化学工程与工艺专业实验》由白红进教授担任主审,田维亮老师(第4章、第5章、第10章)、穆金城老师(第7章)、李秀敏老师(第6章6.1~6.6节)、张越锋老师(第6章6.7节、第8章)、吕喜凤老师(第9章9.2~9.3节和附录、参考文献)和葛振红老师(绪论、第1章、第2章、第3章、第9章9.1节)等编写而成。非常感谢北京东方仿真软件技术有限公司覃杨工程师、尉明春工程师、杨杰工程师和华东理工大学化学工程与工艺实验中心张秋华工程师等提供技术资料。其他兄弟院校的老师和企业事业单位的工程技术人员也参与了编写讨论,并提出许多宝贵意见。在此,对本书在编写过程中给予热心帮助和支持的老师和同行,深表感谢。

由于编者水平和经验有限,时间仓促,疏漏在所难免,希望教师及同学们给予批评指正,使本书日臻完善。

目 录

第一篇 化工专业实验基础

绪论	3
0.1 实验目的	3
0.2 实验特点	3
0.3 实验要求	4
0.4 实验安全注意事项	5
0.5 思考题	5
第1章 化工实验方案确定	6
1.1 实验技术路线与方法选择	6
1.2 实验内容确定	10
1.3 实验设计	12
1.4 思考题	14
第2章 化工实验方案组织与实施	15
2.1 实验设备设计和选择	15
2.2 实验流程组织实施	18
2.3 思考题	24
第3章 化工实验数据处理与评价	25
3.1 实验数据误差分析	25
3.2 实验数据处理	29
3.3 实验报告与科技论文撰写	34
3.4 思考题	36
第4章 化工仿真系统软件实验简介	37
4.1 系统安装使用环境	37
4.2 化工仿真实验内容	38
4.3 化工仿真实验系统启动	38
4.4 化工仿真实验参数选择	39

4.5	化工仿真实验菜单功能	41
4.6	化工仿真实验系统操作质量评价系统	46
4.7	仿真培训系统退出	49
4.8	化工仿真实验一般操作方法	50
4.9	思考题	50

第二篇 化工专业实验实例

第5章	基础数据测定实验	53
5.1	氨水系统气液相平衡数据测定实验(实验一)	53
5.2	二氧化碳曲线测定实验(实验二)	56
5.3	三元液液平衡数据测定实验(实验三)	61
5.4	二元系统汽液平衡数据测定实验(实验四)	64
5.5	液液平衡曲线测定实验(实验五)	68
5.6	固体小球对流传热系数测定实验(实验六)	73
第6章	化学反应工程实验	77
6.1	沸石催化剂的制备实验(实验七)	77
6.2	多孔催化剂孔径分布及比表面积测定实验(实验八)	81
6.3	单釜与三釜串联返混性能测定实验(实验九)	87
6.4	管式反应器流动特性测定实验(实验十)	90
6.5	乙醇气相脱水制乙烯实验(实验十一)	94
6.6	气固相苯加氢催化反应实验(实验十二)	98
6.7	邻苯二甲酸二正丁酯反应动力学实验(实验十三)	101
第7章	化工分离技术实验	104
7.1	恒沸精馏实验(实验十四)	104
7.2	膜分离法制备高纯水实验(实验十五)	109
7.3	液液萃取塔实验(实验十六)	112
7.4	共沸精馏实验(实验十七)	116
7.5	中空纤维超滤膜分离实验(实验十八)	120
7.6	超滤、纳滤、反渗透组合膜分离实验(实验十九)	124
第8章	化工工艺实验	133
8.1	一氧化碳中温-低温串联变换反应实验(实验二十)	133
8.2	乙苯脱氢制苯乙烯实验(实验二十一)	138
8.3	反应精馏制备甲缩醛实验(实验二十二)	142
8.4	超临界流体萃取实验(实验二十三)	148

第 9 章 研究开发实验	155
9.1 分子蒸馏提取不饱和脂肪酸开发实验(实验二十四)	155
9.2 萃取精馏制备无水乙醇开发实验(实验二十五)	160
9.3 碳酸二甲酯生产工艺过程开发实验(实验二十六)	170
第 10 章 化工仿真实验	176
10.1 罐区系统操作仿真(实验二十七)	176
10.2 管式加热炉操作仿真(实验二十八)	181
10.3 锅炉操作仿真(实验二十九)	185
10.4 间歇釜反应器操作仿真(实验三十)	191
10.5 固定床反应器操作仿真(实验三十一)	196
10.6 流化床反应器操作仿真(实验三十二)	200
10.7 一氧化碳中低温变换操作仿真(实验三十三)	204
附录	207
参考文献	214

第一篇

化工专业实验基础

绪 论

主要事实 3.0

0.1 实验目的

“化学工程与工艺专业实验”是学生修完专业基础课、专业课之后,所开设的一门独立设置的专业必修课,是学习化学工程和化学工艺相关知识的重要实践环节。该实验课程与其他专业必修课密切配合,相辅相成,共同完成必需的专业课教学。本课程主要通过实验教学形式,达到以下目的:

(1) 提高学生感性认识。使学生在前修实验课的基础上,通过独立实验,更好地理解理论教学内容,实现知识的融会贯通和综合利用的能力,进一步巩固和提高实验操作技能,为从事科学研究、产品开发、工程设计和解决生产中的技术问题奠定坚实的基础。

(2) 培养学生理论联系实际,树立实事求是、严格认真、求实的科学态度,养成良好的工作、学习习惯。

(3) 培养学生综合运用前修课程的知识,正确观察、思考和分析实验过程,提高科研、动手、分析问题和解决问题的能力。

(4) 加强计算机的应用和数据处理、文字叙述、口头表达等能力的训练。

(5) 通过本实验课的开设,使同学们真正体会所学专业知识的实际应用价值,体会到本专业是能够大有作为的。激发学生学习化工专业的兴趣,培养学生的创新意识和创新能力。

0.2 实验特点

化工专业实验是化学工程与工艺专业的一门重要的实践性课程,其教学内容涉及较多的化工单元过程和先进的仪器分析手段,比如化工单元过程:流体的计量和输送、反应系统控制、汽液分离等;比如现代仪器分析:比表面积测定、红外光谱测定、气相色谱和液相色谱等方面的理论和操作;还涉及催化剂的制备、化工工艺中有关工艺控制、化学反应工程及化工热力学中有关动力学和热力学的理论;同时注重融入本学科的最新发展知识,渗透相关学科的理论 and 技能。结合教师科研方向和专业特色开设的综合性、设计性、研究创新性的实验,同时以化工仿真为本课程教学改革的切入点,新开设化工仿真实验。本实验课程培养学生动手能力和创新精神的角度出发,在保证学生能够获得专业综合培

养方案所规定的实验技术与技能的同时,通过开设部分独立于课程之外的综合性、设计性实验项目,帮助学生完成自选课外内容或帮助学生科技立项等,使实验室真正成为学生创新实践活动的基地,对学生专业实践能力的提高和创新精神的培养具有举足轻重的作用。通过本实验课程的开设,使学生可以获得全方位的训练,特别对培养学生开拓创新的的能力和思维方式具有积极的作用。

0.3 实验要求

化工专业性实验根据各个实验的目的和任务,2~4人1组,1组1套实验装置,在规定时间内,独立或共同完成实验测定、数据处理,并撰写实验报告。为了保证实验的顺利进行,以达到预期的目的,要求学生必须做到以下几点。

1. 充分预习

- (1) 根据实验内容和相关资料的内容,明确实验的目的及原理;
- (2) 认真阅读实验讲义,掌握实验项目的要求、内容、所依据的原理及所需测量的数据,用什么实验方法,使用什么仪器,控制什么条件,需要注意什么问题等;
- (3) 综合设计性实验按实验小组讨论并拟定实验方案,预先做好分工。

2. 认真操作

- (1) 学生实验前必须经教师检查,达到预习要求后才允许进行实验。
- (2) 按要求进行实验前准备工作。学生要亲自动手操作,了解实验装置,摸清实验流程、测试点、操作控制点及所使用的检测仪器、仪表。
- (3) 实验过程中,勤于动手、敏锐观察、细心操作、深入分析、钻研问题,准确记录原始数据,经教师检查并签名后的实验及其原始数据记录才有效。

3. 做好记录

学生必须准备一个实验记录本,及时且如实地记录实验现象和数据,以便对实验现象做出正确的分析和解释。要养成随做随记的良好习惯,切不可等实验结束后凭回忆补写实验记录,更不允许编造实验数据。

4. 书写实验报告

实验结束后应写出实验报告,其内容可根据各个实验的具体情况自行组织。一般应包括:实验日期,实验名称,同组同学姓名,实验仪器、设备,原料规格,实验目的、实验原理,操作步骤,结果处理和问题讨论等。

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。

0.4 实验安全注意事项

实验室潜在着各种危害因素。这些潜在的危害因素可能引发出各种事故,造成环境污染和人体伤害,甚至可能危及人的生命安全。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) 学生在实验室内要认真遵守纪律,遵守实验室守则以及其他规章制度,听从教师指导,不迟到不早退,不得在实验室大声喧哗,保持实验室内安静。

(2) 实验室内动力电、配电线路不得自行更动、超负荷用电或昼夜不断电。用电导线不能裸露,实验时严禁裸线带电工作(如带电接、拆线)。使用高压动力电时,应穿戴绝缘胶鞋和手套,或用安全杆操作;有人触电时,应立即切断电源,或用绝缘物体将电线与人体分离后,再实施抢救。

(3) 实验前要认真做好预习工作,认真地阅读实验内容,了解实验目的、要求、原理以及实验步骤;实验前要进行现场预习,了解整个实验的实验流程,了解相关实验设备的各个装置、操作控制点、测试点、仪表使用方法、操作步骤及顺序等。实验前各小组要组织制定好实验方案,包括实验流程、实验步骤、所需材料设备、实验检测手段、数据记录等,并针对实验方案,做好实验分工。

(4) 实验操作过程,学生一定要严格按照相关实验的操作规程进行操作,遵守相关仪器设备的操作规程,不得擅自变更操作步骤,操作前须经教师检查同意后方可接通电路和开车,实验过程中遇到问题不得擅自处理,应及时向老师汇报,老师处理后方可进行操作。操作中仔细观察现象,并会分析引起现象的原因,如实记录实验现象和数据。

(5) 实验后按照操作规程,按步骤关闭相关操作点,待老师检查无误后,向老师报告方可离开。并根据原始实验数据记录,按相关实验报告要求处理数据、分析问题及时做好实验报告。

(6) 爱护实验设备和实验仪器,爱护仪器设备、材料、工具等,实验药品和耗材要注意节约。

(7) 做好实验室的清洁工作,保持实验室整洁,废品、废物丢入垃圾箱内,恢复仪器设备原状,关好门窗,离开实验室前要确保水、电、气关闭。

(8) 易燃与有毒危险品要妥善保管,对废气、废物、废液的处理须严格按照有关规定执行,不得随意排放,不得污染环境。

(9) 违章操作,玩忽职守,忽视安全而酿成事故的,应及时向老师报告,对相关责任人要从严处理,所造成的损失按学校有关规定赔偿。

0.5 思考题

1. 如何学好化工专业实验?
2. 化工专业实验与其他实验有何区别?

第 1 章 化工实验方案确定

化学工程与工艺专业实验是初步了解、学习和掌握化学工程与工艺学科科学实验研究方法的一个重要实践性环节。专业实验不同于基础实验,其实验目的不仅仅是为了验证一个原理,观察一种现象或是寻求一个普遍适用的规律,而是为了有针对性地解决一个具有明确工业背景的化学工程与工艺的相关问题。因此,在实验的组织和实施方法上与科研工作十分类似,也是从查阅文献、收集资料入手,在尽可能掌握与实验项目有关的研究方法、检测手段和基础数据的基础上,通过对项目技术路线的优选,实验方案的设计,实验设备的选配,实验流程的组织与实施来完成实验工作,并通过对实验结果的分析与评价获取最有价值的结论。

化学工程与工艺专业实验的进行,原则上可分为三个阶段:第一,实验方案的拟定;第二,实验方案的组织与实施;第三,实验结果的分析与评价。本章先介绍实验方案的拟定。

实验方案是指导实验工作有序开展的一个纲要。实验方案的科学性、合理性、严密性与有效性往往直接决定了实验工作的效率与成败。因此,在着手实验前,应围绕实验目的,针对研究对象的特征对实验工作的开展进行全面的规划和构想,拟定一个切实可行的实验方案。实验方案的主要内容包括:实验技术路线与方法的选择,实验内容的确定,实施方案的设计。

1.1 实验技术路线与方法选择

化学工程与工艺实验所涉及的内容十分广泛,由于实验目的不同、研究对象的特征不同,系统的复杂程度不同,实验者要想高起点、高效率地着手实验,必须对实验技术路线与方法进行选择。

技术路线与方法的正确选择应建立在对实验项目进行系统周密的调查研究基础之上,认真总结和借鉴前人的研究成果,紧紧依靠化学工程理论的指导和科学的实验方法论,以求最合理的技术路线,最有效的实验方法。选择和确定实验的技术路线与方法应遵循如下四个原则。

1. 技术与经济相结合的原则

在化工过程开发的实验研究中,由于技术的积累,针对一个课题,往往会有多种可供选择的 research 方案,研究者必须根据研究对象的特征,以技术和经济相结合的原则对方案进行筛

选和评价,以确定实验研究工作的最佳切入点。

以CO₂分离回收技术的开发研究为例。在实验工作之前,由文献查阅得知,可供参考的CO₂分离技术主要如下。

(1) 变压吸附:其技术特征是CO₂在固体吸附剂上被加压吸附,减压再生。

(2) 物理吸收:其技术特征是CO₂在吸收剂中被加压溶解吸收,减压再生。

(3) 化学吸收:其技术特征是CO₂在吸收剂中被反应吸收,加热再生。使用的吸收剂主要有两大系列,一是有机胺水溶液系列,二是碳酸钾水溶液系列。

究竟应该从哪条技术路线入手呢?这就要结合被分离对象的特征,从技术和经济两方面加以考虑。假设被分离对象是来自于石灰窑尾气中的CO₂,那么,对象的特征是:气源压力为常压,组成为CO₂ 20%~35%(体积分数),其余为N₂、O₂和少量硫化物。

据此特征,从经济角度分析,可见变压吸附和物理吸收的方法是不可取的,因为这两种方法都必须对气源加压才能保证CO₂的回收率,而气体加压所消耗的能量60%~80%被用于非CO₂气体的压缩,这部分能量随着吸收后尾气的排放而损耗,其能量损失是相当可观的。而化学吸收则无此顾忌,由于化学反应的存在,溶液的吸收能力大,平衡分压低,即使在常压下操作,也能维持足够的传质推动力,确保气体的回收。但是,选择哪一种化学吸收剂更合理,需要认真考虑。如果选用有机胺水溶液,从技术上分析,存在潜在的隐患,因为气源中含氧,有机胺长期与氧接触会氧化降解,使吸收剂性能恶化甚至失效,所以也是不可取的。现在唯一可以考虑的就是采用碳酸钾水溶液吸收CO₂的方案。虽然这个方案从技术和经济的角度考虑都可以接受,但并不理想。因为碳酸钾溶液存在着吸收速率慢,再生能耗高的问题。这个问题可以通过添加合适的催化剂来解决。因此,实验研究工作应从筛选化学添加剂,改进碳酸钾溶液的吸收和解吸性能入手,开发性能更加优良的复合吸收剂。这样,研究者既确定了合理的技术路线,又找到了实验研究的最佳切入点。

2. 分解与简化相结合的原则

在化工过程开发中所遇到的研究对象和系统往往是十分复杂的,反应因素、设备因素和操作因素交织在一起,给实验结果的正确判断造成困难。对这种错综复杂的过程,要认识其内在的本质和规律,必须采用过程分解与系统简化相结合的实验研究方法,即在化学工程理论的指导下,将研究对象分解为不同层次,然后,在不同层次上对实验系统进行合理的简化,并借助科学的实验手段逐一开展研究。在这种实验研究方法中,过程的分解是否合理,是否真正地揭示了过程的内在关系,是研究工作成败的关键。因此,过程的分解不能仅凭经验和感觉,必须遵循化学工程理论的正确指导。

由化学反应工程的理论可知,任何一个实际的工业反应过程,其影响因素均可分解为两类,即化学因素和工程因素。化学因素体现了反应本身的特性,其影响通过本征动力学规律来表达。工程因素体现了实现反应的环境,即反应器的特性,其影响通过各种传递规律来表达。反应本征动力学的规律与传递规律两者是相互独立的。基于这一认识,在研究一个具体的反应过程时,应对整个过程按照反应因素和工程因素进行不同层次的分解,在每个层次上抓住其关键问题,通过合理简化,开展有效的实验研究。比如,在研究固定床内的气固相反应过程时,对整个过程可进行两个层次的分解,第一层次将过程分解为反应和传递两个部分,第二层次将反应部分进一步分解成本征动力学和宏观动力学,将传递过程进一步分解成

传热、传质、流体流动与流体均布等。随着过程的分解,实验工作也被确定为两大类,即热模实验和冷模实验。热模实验用于研究反应的动力学规律,冷模实验用于研究反应器内的传递规律。接下来的工作,就是调动实验设备和实验手段来简化实验对象,达到实验目的。

在研究本征动力学的热模实验中,消除传递过程的影响是简化实验对象的关键。为此,设计了等温积分和微分反应器,采取减小催化剂粒度,消除粒内扩散;提高气体流速,消除粒外扩散与轴向返混;设计合理的反应器直径,辅以精确的控温技术,保证器内温度均匀等措施,使传递过程的干扰不复存在,从而测得准确可靠的动力学模型。

在冷模实验中,实验的目的是考察反应器内的传递规律,以便通过反应器结构设计这个工程手段来满足反应的要求。由于传递规律与反应规律无关,不必采用真实的反应物系和反应条件,因此,可以用廉价的空气、砂石和水来代替真实物系,在比较温和的温度、压力条件下组织实验,使实验得以简化。冷模实验成功的关键是必须确保实验装置与反应器原形的相似性。

过程分解与系统简化相结合是化工过程开发中一种行之有效的实验研究方法。过程的分解源于正确理论的指导,系统简化依靠科学的实验手段。正是因为这种方法的广泛运用,才形成了化学工程与工艺专业实验的现有框架。

3. 工艺与工程相结合的原则

工艺与工程相结合的开发思想极大地推进了现代化工新技术的发展,反应精馏技术、膜反应器技术、超临界技术、三相床技术等,都是将反应器的工程特性与反应过程的工艺特性有机结合在一起而形成的新技术。因此,如同过程分解可以帮助研究者找到行之有效的实验方法一样,通过工艺与工程相结合的综合思维,也会在实验技术路线和方法的选择上得到有益的启发。

以甲缩醛制备工艺过程的开发为例。从工艺角度分析甲醇和甲醛在酸催化下合成甲缩醛的反应,其主要特征是:①主反应为可逆放热反应,并伴有串联副反应。②主产物甲缩醛在系统中相对挥发度最大。特征①表明,为提高反应物甲醛的平衡转化率和产物甲缩醛的收率,抑制串联副反应,工艺上希望及时将反应热和产物甲缩醛从系统中移走。那么,从工程的角度如何来满足工艺的要求呢?如果我们结合对象的工艺特征②和精馏操作的工程特性,从工艺与工程相结合的角度去考虑,就会发现反应精馏是最佳方案。因为它不仅可以利用精馏塔的分离作用不断移走和提纯主产物,提高反应的平衡转化率和产品收率,而且可以利用反应热作为精馏的能源,既降低了精馏的能耗,又带走了反应热,一举两得。同时,精馏还对反应物甲醛具有提浓作用,可降低工艺上对原料甲醛溶液的浓度要求,从而降低原料成本。可见,工艺与工程相结合在技术路线的选择上带来的巨大优越性。

又如乙苯脱氢制苯乙烯过程,工艺研究表明:①由于主反应是一个分子数增加的气-固相催化反应,因此,降低系统的操作压力有利于化学平衡,采取的措施是用水蒸气稀释原料气和负压操作。②由于产物苯乙烯的扩散系数较小,在催化剂内的扩散比原料乙苯和稀释剂水分子困难得多,所以,减小催化剂粒度可有效地降低粒内苯乙烯的浓度,抑制串联副反应,提高选择性,适宜的催化剂粒度为 0.5~1.0 mm。那么,从工程角度分析,应该选用何种反应器来满足工艺要求呢?如果选用轴向固定床反应器,要满足工艺要求②,势必造成很大的床层阻力降,而工艺要求①希望系统在低压或负压下操作,因此,即使不考虑流动阻力

造成的动力消耗,严重的床层阻力也会导致转化率下降。显然,轴向固定床反应器是不理想的。那么,如何解决催化剂粒度与床层阻力的矛盾呢?如果从工艺与工程相结合的角度去思考,通过反应器结构设计这个工程手段来解决矛盾,显然,径向床反应器是最佳选择。在这种反应器中,物流沿反应器径向流动通过催化床层,由于床层较薄,即使采用细小的催化剂,也不会导致明显的压力降,使问题迎刃而解。实际上,解决催化剂粒度与床层阻力的矛盾也正是开发径向床这种新型的气固相反应器的动力。此例说明,工艺与工程相结合不仅会产生新的生产工艺,而且会推进新设备的开发。

工艺与工程相结合是制定化工过程开发的实验研究方案的一个重要方法,从工艺与工程相结合的角度思考问题,有助于开拓思路,创造新技术和新方法。

4. 资源利用与环境保护相结合的原则

进入 21 世纪,为使人类社会可持续发展,保护地球的生态平衡,开发资源、节约能源、保护环境将成为国民经济发展的课题。尤其对化学工业,如何有效地利用自然资源,避免高污染、高毒性化学品的使用,保护环境,实现清洁生产,是化工新技术、新产品开发中必须认真考虑的问题。

现以近年来颇受化工界关注的有机新产品碳酸二甲酯生产技术的开发为例,说明资源利用与环境保护在过程开发中的导向作用。碳酸二甲酯(Dimethyl Carbonate,简称 DMC)是一种高效低毒、用途广泛的有机合成中间体,分子式为: $\text{CH}_3\text{OCOOCH}_3$, 因其含有甲基、羰基和甲酯基三种功能团,能与醇、酚、胺、酯及氨基醇等多种物质进行甲基化、羰基化和甲酯基化反应,生产苯甲醚、酚醚、氨基甲酸酯、碳酸酯等有机产品,以及高级树脂、医药和农药中间体、食品添加剂、染料等材料化工和精细化工产品,是取代目前使用广泛且剧毒的甲基化剂硫酸二甲酯和羰基化剂光气的理想物质,被称为未来有机合成的“新基石”。

到目前为止,已相继开发了多种 DMC 合成的方法,其中,有代表性的 4 种方法如下。

(1) 光气甲醇法

这是 20 世纪 80 年代工业规模生产 DMC 的主要方法,其反应原理是:

首先由光气和甲醇反应,生成氯甲酸甲酯:



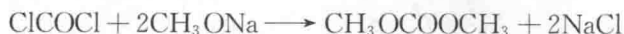
然后,氯甲酸甲酯与甲醇反应,得到 DMC:



(2) 醇钠法

该法以甲醇钠为主要原料,将其与光气或 CO_2 反应生产 DMC,反应原理如下。

与光气反应时,其反应式为



与 CO_2 反应时,其反应式为

