



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

化工基础

(第二版)

张近 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



面向 21 世纪 课
Textbook Series for 21s

化 工 基 础

Huagong Jichu

(第二版)

张 近 主 编



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

内容提要

本书是在 2002 年出版的面向 21 世纪课程教材《化工基础》的基础上修订而成的,以“如何实现化学反应工业化”为主线,从化工生产过程的介绍入手,以典型产品示例,系统地分析有代表性的化工产品工艺。全书共分八章,内容包括绪论、典型化工产品工艺学、流体流动过程及流体输送设备、传热过程及换热器、传质过程及塔设备、工业化学反应过程及反应器、化工过程开发与评价、化学工业和化学工程学的发展趋势与展望。每章均有小结、复习题、习题及参考书目与文献。

本书可作为高等师范院校及综合大学化学专业、应用化学专业的教材,亦可作为化学、化工及相关行业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

化工基础 / 张近主编. — 2 版. — 北京: 高等教育出版社, 2014.1

ISBN 978-7-04-038736-0

I. ①化… II. ①张… III. ①化学工程—高等学校—教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 289285 号

策划编辑 翟 怡
插图绘制 尹 莉

责任编辑 翟 怡
责任校对 刘春萍

封面设计 李小璐
责任印制 刘思涵

版式设计 王艳红

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 唐山市润丰印务有限公司
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 26.75
字 数 500 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.landrac.com>
<http://www.landrac.com.cn>
版 次 2002 年 6 月第 1 版
2014 年 1 月第 2 版
印 次 2014 年 1 月第 1 次印刷
定 价 38.80 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 38736-00

第二版前言

《化工基础》第一版于2002年出版,作为面向21世纪课程教材,至今已经使用了十余年。这期间化学工业的发展、化工技术的进步、化学工程学的研究进展,以及社会经济需求的变化,加之编者近年教学、科研实践和读者多年使用信息的反馈,为本书的修订、再版提供了支持和要求。

《化工基础》第二版的编写,既要总结过去,又要审视现状,更要展望未来。保持原有特色,进而充实、更新、完善和提高,是本书再版修订的基本思路,具体体现在:

(1) 教育部高等学校化学类专业教学指导分委员会在2011年10月编制的《高等学校化学类专业指导性专业规范》中指出,化学类专业的学生在学习化学主干学科知识的基础上,学习化学工程基础等课程,可以拓展知识面、开阔视野,构建合理的知识结构,形成自身的特色和优势,增强适应学科和社会发展的能力。现代化学教学要“把握好作为学科生长点、创新出发点的基础知识、基本理论和基本技能,做到删繁就简、固本强基,保证基本内容的教学,提高教学质量;在学生牢固掌握基础知识、基本理论和基本技能的同时,还必须使学生了解学科发展趋势,发展思维能力和创造能力。”要求知识传授、能力培养、素质教育并重。

审视《化工基础》第一版的编排体系和课程内容,以“如何实现化学反应工业化”为课程主线组织教学内容,覆盖了化学工程学科的基础知识、基本理论和基本技能,并把化学工业和化学工程学的新发展纳入教学内容,符合《高等学校化学类专业指导性专业规范》的精神,便于教学过程实施,有利于化学类专业学生的学习,因而再版修订保持了第一版教材原有的基本框架。

(2) 21世纪的第一个十年是中国高等教育大发展的十年,高校理科化学院系相继开办应用化学、精细化工等专业,这对理科化工教学提出了新的要求。但这种需求是不同层次、有别于工科化工教育的,它重在培养化学应用及开发型人才。基于此认识,《化工基础》再版修订,充实了化工过程开发的内容,添加了“化学反应器的放大”章节,并增加了反应器放大的实例与习题。

(3) 《化工基础》作为一本简明教程,力求突出学科体系、覆盖学科知识面,为读者提供学习化学工程的入门引导,但由于篇幅限制,不可能深入展开。《化工基础》的再版修订,在每章(节)后增补参考书目与文献,列出不同层次和深度的书籍、论文、专著、手册,作为扩展阅读的指导,为读者进一步学习提供支持和

资讯。

(4)《化工基础》的再版修订,应反映化学工业和化学工程学的最新发展,需要更新化学工业的最新数据,增补化学工程学的最新书目、资料和文献。就此,将“绪论”一章世界化学工业近年来的新发展予以更新;在“化学工业和化学工程学的发展趋势与展望”一章,增写了最新的进展,增补了相关的文献。又如,在“新型传质分离技术”一节,重新编写了超临界流体萃取与膜分离技术的内容。

(5)《化工基础》的再版修订,收集了教与学两方面读者的意见,对存在的欠缺和谬误,进行了逐章、逐节的修改;对文字、符号和图表进行了润色、统一与完善;对习题难度和覆盖面做了适当调整,并在第3、6、7章添加了复习题或习题。

(6)《化工基础》的再版修订,更加注重对工程技术研究思想和方法的阐述与传授,力图使读者在获取化工知识的同时,提升分析与解决问题的能力。例如,在“典型化工产品工艺学”一章,对具体的产品工艺,于内容编排上按化学工艺学的研究思路展开,并在小结中就工艺学研究方法进行剖析与提炼。再如,在“传热过程及换热器”一章,对复杂的对流传热过程的工程处理方法及准数关联系数的实验获取方法的讨论与分析。

在《化工基础》第二版编写修订过程中,参考了大量的相关书籍和文献,在此对有关作者表示谢意。广西师范大学刘葵对“传质过程及塔设备”一章的修订,华南师范大学吕向红对“工业化学反应过程及反应器”一章的修订,提出了意见;高等教育出版社翟怡编辑为本书的编辑、出版做了许多工作,对此也一并表示衷心的感谢。

尽管编者十分努力,但由于知识水平有限,欠缺和疏漏之处在所难免,欢迎各方面批评、指正。

张 近

2013年1月

第一版前言

1997年11月,教育部师范司组织实施“高等师范教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”,旨在推动高等师范教育的全面改革。陕西师范大学等院校承担了该计划的“面向21世纪‘化工基础’课程教学内容和体系改革的研究”项目(项目编号178B),并展开了深入的研究。

1999年8月,经教育部师范司批准,在西安举行了“面向21世纪高等师范院校‘化工基础’课程教学内容和体系改革研讨会”,与会代表一致认为现行的“化工基础”课程教学内容和体系以及现有的《化工基础》教材急需改革,应该认真总结过去的教学经验,分析现状,展望未来,研究面向21世纪“化工基础”课程教学内容和体系的新模式,编写和出版新的教材。

这本《化工基础》教材就是在此形势下,由陕西师范大学牵头,六所院校共同编写完成的。

该书以21世纪对化学人才的知识 and 能力结构的要求为依据,结合化学和应用化学专业的培养目标,寻求“化工基础”课程的最佳编排体系和适宜的教学内容。

本书以“如何实现化学反应工业化”为课程主线,从化工生产过程介绍入手,以典型产品示例,系统地分析有代表性的化工产品工艺,涉及化工单元操作、化学反应工程、工艺过程开发和优化、技术经济分析、环境保护与三废处理及化工过程开发等内容(课程框架)。全书将课程主线与课程框架有机地结合起来,并覆盖学科知识面、涵盖教学内容,力求达到整体上的系统和完整。

我们将传统教学内容中的“三传一反”内容予以压缩,把化学工业的新发展如精细化工、生物化工等,以及化学工业在发展中所面临的诸如资源和能源利用、洁净生产和环境保护等世界性问题纳入新的教学内容。在内容组织上把重心放在原理和方法,只安排必要的计算,以验证概念和说明问题,给拓宽课程覆盖面提供了空间。

本书在编排上,有意识、有目的地对“化工基础”涉及的工程技术研究思想和方法进行科学阐述与传授,让学生熟悉各种研究方法,了解不同的研究对象采用不同研究方法的原因,体察各种研究方法的实质,学会根据具体对象,按照问题认识程度的不同,选择正确的研究方法,以培养学生独立思考、自我获取知识、扩展知识的能力,突出素质教育。

II 第一版前言

本书的编写以简明扼要、文字流畅、图片直观、教学容易为目标。每章都有小结、复习题和习题,就该章涉及内容进行总结,为进一步学习提供资讯,希望在教学上有较好的适用性。

参加本书编写的有陕西师范大学张近(第1、8章和附录,第2章2.1节,第6章6.5节及小结和习题);陕西师范大学杨荣榛(第2章2.2节);河南师范大学席国喜、娄向东(第2章2.3节);湖南师范大学杨春明(第3章);陕西师范大学段兴潮(第4章);广西师范大学陈孟林、唐明明、刘葵(第5章);华南师范大学吕向红(第6章6.1~6.4节);华中师范大学李德华(第7章)。全书由张近担任主编,统一修改、定稿。陕西师范大学段兴潮和杨荣榛在该书的出版过程中做了大量的工作。

本书在编写中,参考了诸多的相关书籍和资料,在此对有关作者表示谢意。该书在试用、审稿、出版过程中得到读者、审稿人、编辑的关心和支持,对此表示衷心的感谢。

由于编者的知识水平有限,书中欠缺和谬误之处在所难免,恳请各方面批评、指正。

编 者

2001年1月

符号说明

1 英文符号

- A 传热面积、流体作用面积, m^2
- a 反应级数
单位体积填料的有效气液接触面积, $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-3}$
- c 物质的量浓度, $\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3}$
- c^* 平衡时物质的量浓度, $\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3}$
- c_p 比定压热容, $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- D 扩散系数, $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
塔径, m
- D_e 内扩散系数, $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- d 直径, m
- E 亨利系数, Pa
- E_m 单板效率即莫夫里效率
- Eu 欧拉数, $Eu = \frac{\Delta p}{\rho u^2}$
- $E(\tau)$ 停留时间分布密度函数
- F 流体垂直作用于面积 A 上的力, N
- $F(\tau)$ 停留时间分布函数
- Gr 格拉晓夫数, $Gr = \frac{l^3 \rho^2 g \beta \Delta t}{\mu^2}$
- H 溶解度系数, $\text{kmol} \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 或 $\text{kmol} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{Pa}^{-1}$
焓, $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- H_e 泵的扬程, m
- H_{OG} 气相传质单元高度, m
- H_{OL} 液相传质单元高度, m
- H_s 离心泵吸上真空高度, m
- $H_{s, \max}$ 离心泵最大吸上真空高度, m

II 符号说明

| | |
|----------|---|
| H_T | 板间距, m |
| h | 表面传热系数, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ |
| h_t | 直管阻力损失, m |
| h_l | 管路局部阻力损失, m |
| K | 传热系数, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ |
| K_G | 以气相分压差($p-p^*$)为推动力的总传质系数, $\text{kmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ |
| K_L | 以液相浓度差(c^*-c)为推动力的总传质系数, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| K_X | 以液相摩尔比差(X^*-X)为推动力的总传质系数, $\text{kmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| K_Y | 以气相摩尔比差($Y-Y^*$)为推动力的总传质系数, $\text{kmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| k | 反应速率常数 |
| k_G | 气相传质系数, $\text{kmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$ |
| k_L | 液相传质系数, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| k_R | 外扩散传质系数, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ |
| k_s | 内表面反应速率常数 |
| k_v | 催化剂反应速率常数, s^{-1} |
| L | 相变热, $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| l | 长度, m |
| l_e | 当量长度, m |
| m | 流体的质量, kg |
| | 提馏段理论塔板数 |
| M | 相对分子质量 |
| N | 釜数 |
| N_e | 泵的有效功率, W |
| N_a | 轴功率, W |
| N_{OG} | 气相传质单元数 |
| N_{OL} | 液相传质单元数 |
| N_P | 精馏塔实际塔板数 |
| N_T | 精馏塔理论塔板数 |
| Nu | 努塞尔数, $Nu = \frac{hl}{\lambda}$ |
| n | 物质的量, mol |
| | 离心泵的转速, $\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$ |
| p | 压力, Pa |
| p^* | 气相平衡分压, Pa |
| p^0 | 纯组分的饱和蒸气压, Pa |

- Pe 传质贝克来数, $Pe = \frac{ul}{D}$
- Pr 普朗特数, $Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda}$
- Q 热量, kJ
- q 进料热状况参数
面积热流量, $W \cdot m^{-2}$
- q_m 质量流量, $kg \cdot s^{-1}$
- q_n 摩尔流量, $kmol \cdot s^{-1}$
- q_v 体积流量, $m^3 \cdot s^{-1}$
- R 摩尔气体常数, $8.314 J \cdot mol \cdot K^{-1}$
热阻, $K \cdot W^{-1}$
回流比
催化剂颗粒半径, m
- Re 雷诺数, $Re = \frac{du\rho}{\mu}$
- r 反应速率, $kmol \cdot m^{-3} \cdot s^{-1}$
- S 管道横截面积, m^2
放大因子
- S_e 催化剂床层(外)比表面积, $m^2 \cdot m^{-3}$
- S_i 单位床层体积催化剂的比表面积, $m^2 \cdot m^{-3}$
- Sc 施密特数, $Sc = \frac{\mu}{\rho D}$
- Sh 舍伍德数, $Sh = \frac{kd}{D}$
- T 热流体温度, $^{\circ}C$ 或 K
- t 冷流体温度, $^{\circ}C$ 或 K
生产辅助时间, s
- u 流速, $m \cdot s^{-1}$
- V 流体的体积, m^3
反应物料体积, m^3
- V_T 反应器实际体积, m^3
- V_R 反应器有效体积, m^3
- v 流体的比体积, $m^3 \cdot kg^{-1}$
- w 质量流速, $kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$
混合物中各组分的质量分数

| | |
|-----|----------|
| X | 液相摩尔比 |
| x | 转化率 |
| | 液相摩尔分数 |
| Y | 气相摩尔比 |
| y | 气相摩尔分数 |
| Z | 位压头, m |
| z | 填料层高度, m |

2 希腊文符号

| | |
|------------|--|
| α | 相对挥发度 |
| β | 热膨胀系数, K^{-1} |
| | 选择性 |
| δ | 厚度, m |
| ϵ | 管壁的粗糙度, mm |
| η | 效率 |
| θ | 相对时间 |
| λ | 摩擦阻力系数 |
| | 导热系数, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ |
| ρ | 密度, $kg \cdot m^{-3}$ |
| σ^2 | 方差 |
| μ | 黏度, Pa·s |
| ν | 运动黏度, $m^2 \cdot s^{-1}$ |
| | 挥发度, Pa |
| τ | 内摩擦应力、剪应力, $N \cdot m^{-2}$ |
| | 空间时间、停留时间, s |
| Φ | 传热速率, W |
| | 催化剂形状系数 |
| φ | 气体混合物中各组分的体积分数 |
| | 收率、装料系数 |
| | 西勒模数, $\varphi = \frac{R}{3} \sqrt{\frac{k_v}{D_c}}$ |
| ζ | 局部阻力系数 |
| Ω | 填料塔横截面积, m^2 |

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

| | |
|---------------------------------|----|
| 符号说明 | I |
| 第 1 章 绪论 | 1 |
| 1.1 化学工业概况 | 1 |
| 1. 化学工业在国民经济中的地位与作用 | 1 |
| 2. 化学工业行业范畴与产品分类 | 2 |
| 3. 化学工业的原料及选择原则 | 3 |
| 4. 化学工业的特点 | 4 |
| 5. 化学工业的发展与现状 | 6 |
| 1.2 化工生产过程概述 | 17 |
| 1. 化工生产过程分析 | 17 |
| 2. 化工生产过程的工业特征 | 19 |
| 3. 化工生产过程的检测与控制 | 20 |
| 4. 化工生产过程的研究与开发 | 20 |
| 5. 化工生产过程的技术经济分析 | 21 |
| 6. 化工生产过程的资源和能源综合利用 | 22 |
| 7. 化工生产过程的优化 | 23 |
| 8. 化工生产过程的流程图 | 25 |
| 1.3 化学工程学简介 | 26 |
| 1. 化学工程学及其研究对象和任务 | 26 |
| 2. 化学工程学的研究方法 | 27 |
| 3. 化学工程学的几个基本概念 | 28 |
| 小结 | 30 |
| 复习题 | 30 |
| 参考书目与文献 | 31 |
| 第 2 章 典型化工产品工艺学 | 33 |
| 2.1 硫酸生产 | 33 |
| 1. 概述 | 33 |
| 2. 二氧化硫炉气的制造 | 36 |
| 3. 二氧化硫的催化氧化 | 42 |
| 4. 三氧化硫的吸收 | 52 |
| 5. 接触法生产硫酸的全流程 | 54 |
| 6. 硫酸生产三废治理、能量回收利用及技术经济指标 | 55 |

| | |
|--------------------------------|------------|
| 本节小结 | 57 |
| 本节复习题 | 58 |
| 本节参考书目与文献 | 58 |
| 2.2 丙烯腈生产 | 59 |
| 1. 概述 | 59 |
| 2. 丙烯氨氧化反应理论 | 61 |
| 3. 合成工艺条件 | 64 |
| 4. 合成反应器 | 68 |
| 5. 工艺流程 | 69 |
| 6. 副产物的利用及废水处理 | 73 |
| 本节小结 | 74 |
| 本节复习题 | 75 |
| 本节参考书目与文献 | 75 |
| 2.3 合成氨生产 | 76 |
| 1. 概述 | 76 |
| 2. 氨合成理论基础 | 77 |
| 3. 氨的合成与分离 | 82 |
| 4. 原料气的制造和净化 | 89 |
| 5. 合成氨全流程 | 96 |
| 6. 技术经济分析和综合利用 | 97 |
| 7. 联合生产 | 100 |
| 本节小结 | 104 |
| 本节复习题 | 104 |
| 本节参考书目与文献 | 105 |
| 第3章 流体流动过程及流体输送设备 | 106 |
| 3.1 流体的基本性质 | 107 |
| 1. 密度 | 107 |
| 2. 比体积 | 108 |
| 3. 压力 | 108 |
| 4. 流量和流速 | 109 |
| 5. 黏度 | 110 |
| 3.2 流体流动的基本规律 | 112 |
| 1. 定态流动和非定态流动 | 112 |
| 2. 流体定态流动过程的物料衡算——连续性方程 | 112 |
| 3. 流体定态流动过程的能量衡算——伯努利方程 | 113 |
| 4. 流体流动规律的应用举例 | 116 |
| 3.3 流体压力和流量的测量 | 118 |
| 1. 流体压力的测量 | 119 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 2. 流体流量的测量 | 120 |
| 3.4 管内流体流动的阻力 | 124 |
| 1. 管、管件及阀门简介 | 124 |
| 2. 流动的形态 | 126 |
| 3. 管内流动阻力计算 | 130 |
| 3.5 流体输送设备 | 139 |
| 1. 离心泵 | 139 |
| 2. 往复压缩机 | 144 |
| 小结 | 146 |
| 复习题 | 147 |
| 习题 | 148 |
| 参考书目与文献 | 151 |
| 第4章 传热过程及换热器 | 152 |
| 4.1 化工生产中的传热过程及常见换热器 | 152 |
| 1. 化工生产中的传热过程 | 152 |
| 2. 传热基本方式 | 153 |
| 3. 间壁式换热器 | 154 |
| 4.2 传导传热 | 156 |
| 1. 热传导基本方程——傅里叶定律 | 156 |
| 2. 间壁式换热器壁面的热传导 | 156 |
| 4.3 对流传热 | 161 |
| 1. 对流传热机理 | 161 |
| 2. 对流传热系数的影响因素及其求取 | 162 |
| 4.4 间壁式热交换的计算 | 166 |
| 1. 传热总方程 | 166 |
| 2. 传热系数 K | 167 |
| 3. 传热过程的平均温度差 | 169 |
| 4. 热负荷及热量衡算 | 172 |
| 4.5 换热器的选择及传热过程的强化 | 174 |
| 1. 换热器的选择 | 174 |
| 2. 传热过程的强化 | 175 |
| 小结 | 176 |
| 复习题 | 177 |
| 习题 | 178 |
| 参考书目与文献 | 180 |
| 第5章 传质过程及塔设备 | 181 |
| 5.1 传质过程及塔设备简介 | 181 |
| 1. 传质过程的类型 | 181 |

| | |
|---------------------------------|------------|
| 2. 传质过程的共性 | 182 |
| 3. 塔设备简介 | 184 |
| 本节小结 | 192 |
| 本节复习题 | 192 |
| 本节参考书目与文献 | 192 |
| 5.2 气体的吸收 | 193 |
| 1. 概述 | 193 |
| 2. 吸收的相平衡 | 194 |
| 3. 吸收速率 | 197 |
| 4. 填料吸收塔的计算 | 204 |
| 本节小结 | 211 |
| 本节复习题 | 212 |
| 本节习题 | 213 |
| 本节参考书目与文献 | 214 |
| 5.3 液体的精馏 | 215 |
| 1. 概述 | 215 |
| 2. 双组分物系的气液相平衡 | 216 |
| 3. 连续精馏分析 | 220 |
| 4. 连续精馏的物料衡算 | 222 |
| 5. 精馏塔的计算 | 228 |
| 本节小结 | 238 |
| 本节复习题 | 239 |
| 本节习题 | 240 |
| 本节参考书目与文献 | 241 |
| 5.4 新型传质分离技术与特殊传质分离过程简介 | 241 |
| 1. 超临界流体萃取 | 242 |
| 2. 膜分离 | 246 |
| 3. 反应精馏 | 252 |
| 4. 冷冻干燥 | 254 |
| 5. 超重力传质技术 | 254 |
| 本节小结 | 255 |
| 本节复习题 | 255 |
| 本节参考书目与文献 | 255 |
| 第 6 章 工业化学反应过程及反应器 | 257 |
| 6.1 概述 | 257 |
| 1. 工业化学反应过程的特征 | 257 |
| 2. 化学反应工程学的任务和研究方法 | 258 |
| 3. 工业反应器简介 | 259 |

| | |
|----------------------------|------------|
| 4. 反应器的基本计算方程 | 260 |
| 6.2 理想反应器及其计算 | 261 |
| 1. 间歇搅拌釜式反应器(BR) | 261 |
| 2. 活塞流反应器(PFR) | 264 |
| 3. 全混流反应器(CSTR) | 265 |
| 4. 多釜串联反应器(MMFR) | 267 |
| 6.3 理想反应器的评比与选择 | 271 |
| 1. 理想反应器的评比 | 271 |
| 2. 理想反应器的选择 | 274 |
| 6.4 非理想流动及实际反应器的计算 | 279 |
| 1. 非理想流动对理想流动的偏离 | 280 |
| 2. 停留时间分布的表示方法 | 280 |
| 3. 停留时间分布的测定方法 | 281 |
| 4. 停留时间分布的数字特征 | 282 |
| 5. 理想流动反应器的停留时间分布 | 284 |
| 6. 非理想流动模型 | 285 |
| 7. 实际反应器的计算 | 290 |
| 6.5 气固相催化反应器 | 292 |
| 1. 气固相催化反应过程 | 292 |
| 2. 固定床催化反应器 | 297 |
| 3. 流化床催化反应器 | 299 |
| 小结 | 301 |
| 复习题 | 302 |
| 习题 | 303 |
| 参考书目与文献 | 305 |
| 第7章 化工过程开发与评价 | 307 |
| 7.1 化工过程开发的步骤及内容 | 307 |
| 1. 化工过程开发步骤 | 307 |
| 2. 化工过程开发中的两种开发研究 | 310 |
| 7.2 化工过程开发的放大方法 | 311 |
| 1. 逐级经验放大法 | 311 |
| 2. 相似放大法 | 312 |
| 3. 数学模拟法 | 313 |
| 4. 部分解析法 | 314 |
| 7.3 化学反应器的放大 | 315 |
| 1. 混合时间与等温搅拌釜式反应器的放大 | 315 |
| 2. 等温管式反应器的放大 | 318 |
| 3. 非等温反应器的放大 | 321 |