

高等学校教材

# 化工基础

(第四版)  
上册

福建师范大学 上海师范大学 编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

高等学校教材

# 化工基础

Huagong Jichu

(第四版)

上册

福建师范大学 上海师范大学 编



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

## 内容提要

本书是在保留第三版先进性特色的基础上进行修订的,为高等师范院校化工基础课程教材,分上、下两册出版。

本书引导学生了解和理解实验室研究与规模生产的区别与联系,了解化工新产品开发过程中思考和解决问题的方法,指导学生掌握化学工程学和化学工艺学的重要概念和基本原理,并为拓宽知识面引入化学工业近年来开发的科研成果。

本书上册共6章,内容包括:绪论、流体的流动和输送、流体-固体颗粒间的运动和流态化、传热过程、吸收、精馏等,书后附有附录、附表、索引。本书可作为高等师范院校化学、应用化学等专业的教学用书,也可供综合性大学化学、应用化学等专业的学生选用和有关人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

化工基础. 上册 / 福建师范大学, 上海师范大学编.

-- 4 版. -- 北京: 高等教育出版社, 2014.1

ISBN 978-7-04-038743-8

I. ①化… II. ①福… ②上… 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289286号

|      |     |      |     |      |     |      |     |
|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|
| 策划编辑 | 翟 怡 | 责任编辑 | 付春江 | 封面设计 | 于文燕 | 版式设计 | 马敬茹 |
| 插图绘制 | 尹 莉 | 责任校对 | 刘春萍 | 责任印制 | 尤 静 |      |     |

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 化学工业出版社印刷厂  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 20.25  
字 数 490千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

|      |                                                                                                                                  |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 网 址  | <a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a><br><a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>           |
| 网上订购 | <a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a><br><a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a> |
| 版 次  | 1980年11月第1版<br>2014年1月第4版                                                                                                        |
| 印 次  | 2014年1月第1次印刷                                                                                                                     |
| 定 价  | 27.70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 38743-00

## 第四版前言

《化工基础》(第三版)作为高等师范院校化学专业和应用化学专业等本科生化工基础课程教材,已历14年有余。为适应化学化工学科快速发展的需要,在高等教育出版社的大力支持下,编者对《化工基础》(第三版)进行了全面的修订,包括部分内容的更新、修改和补充。修订的主导思想包括以下两个方面:

(1) 根据《国务院关于部委管理的国家局设置的通知》(国发[1998]6号),国务院将化学工业部与中国石油天然气总公司、中国石油化工总公司承担的政府职能合并,组建了国家石油和化学工业局。据此,我国化工行业的范畴进一步扩大,包括了石油化工行业,所以在修订中增加了石油化工行业的相关统计信息。

(2) 根据广大师生和读者的反馈意见 and 建议进行部分内容的更新、修改和补充。在绪论部分,根据目前世界化学工业的发展趋势,对化学工业的总体概况做了较为全面的补充介绍,特别是对我国化学工业的行业状况和近期发展部分做了全面的修订,增加了大量全新的我国化学工业的发展趋势。在液体的流动和输送部分增加了离心泵汽蚀现象、汽蚀余量和允许安装高度等内容。在化学反应工程部分将原来的停留时间分布内容修订为非理想流动,并将其内容提到多相反应过程内容的前面,同时对均相反应动力学基础和均相反应过程的部分内容进行修订和补充。在化工工艺学部分对各生产工艺的发展现状以及原料结构、产量规模、国家标准的引用等数据做了更新,补充介绍了一些新技术、新工艺。在化工过程开发部分对化工过程的技术经济特点、现代化工过程的特征、成本估算以及合成氨发展史做了些修订与补充。在化学工业的可持续发展部分对其总体概述、实施西能东送战略和责任关怀准则做了修订和补充。统稿中修改了一些细节性问题,主要包括:删除了所有计算框图,修订了部分物理量符号,增加了最近几年化工行业发展的相关数据,补充了个别索引等。

《化工基础》(第四版)由黄紫洋主编。上册的传递过程内容由黄紫洋修订;下册的化学反应工程部分由沈慧英修订,化工工艺学部分由吴阳修订,化工开发部分由黄紫洋修订。在修订过程中,得到了漳州师范学院化学与环境科学系林进妹副教授、闽江学院化学与化学工程系林棋教授和龚旌教授等老师的大力支持。在组织修订过程中,还得到了福州高新技术产业区仓山管委会蒋青高级工程师、福建师范大学教务处林深教授、化学与化工学院童跃进教授和陈尚旺副教授的大力支持。此外,在统稿过程中,李龙珠、林妍、吴林燕、陈翠云、许婉婷等为本书稿的资料收集、整理和加工等工作付出了辛勤的劳动,高等教育出版社的编辑更是为本次修订做了大量的工作,编者在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,本书不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2013年7月于福州

## 第三版前言

为适应教育改革和科技兴国的需要,对第二版《化工基础》进行了更新、增添和修改。修订时着重做了以下工作:

(1) 按照学科发展的特点和焦点,在化学工艺篇中特地编写了“生物化学工程”和“化学工业的可持续发展”两章。前者概要阐述了最有发展前途和活力的重要的生物化学制品的生产及其原理,可供教学选用;后者综合资源利用和环境保护及有关基本内容,以让学生获得这方面比较系统的知识。

(2) 为提高学生理论联系实际的能力,“绪论”和“化工过程开发”两章进行了认真细致的充实和改写。期望理科学生通过学习对化工生产的科技和经济特征、科研走向生产的过程有所了解,获得初步的工程概念和技术经济观点。

(3) 为使对化学工艺的学习从知识了解提高到能有量的判断,下册中增编了“化学工艺计算”。编者认为,工艺计算可以综合化学和化工有关知识,提高学生运算技能,并能促进对工艺及其路线有较深入的理解。

(4) 为了突出重点,免除繁琐细节干扰,第二篇“传递过程”和第三章“化学反应工程”都做了认真考虑。传递过程在各章中增加了综合性内容,精简了过多公式推导。化学反应工程中简化了逗留时间的定量讨论,加强了实用性强的催化反应工程。

(5) 为扩大知识面和拓展眼界,修订时选择性地编入技术上成熟、在我国已实用并取得成果的新技术,如热泵利用、催化精馏、变压吸附、膜技术及多种化工生产中的新工艺等。

(6) 按照《量和单位》(1993年颁布)和全国自然科学名词审定委员会的规定,本书对单位、量的名称、符号、定义、术语等做了细致校核和订正,使全书在这方面更为规范。此外,全书在叙述和修辞方面也努力做了改进,以便更为通顺和便于自学。

应当指出,本书虽然做了以上修订,但其中内容还宜按照教学基本要求,根据需要进行具体情况对部分章节选择使用。

第三版由吴迪胜主编。上册由蒋家俊撰写,沈慧英、黄紫洋、蒋青参加了部分工作。下册的化学反应工程、化学工艺计算、化工过程开发由徐祖辉撰写,其余由吴迪胜撰写,周国光参加了部分工作。

第三版《化工基础》由武汉大学曹正修教授审稿,编者谨致衷心谢意。

本书还会存在缺点和错误,恳请各方面提出宝贵意见和批评。

编者

1999年4月

## 第二版前言

《化工基础》第二版是在第一版出版使用了7年之后修订的。本版在修订时除了保持第一版的优点之外,着重在下列方面有所加强:

(1) 清晰和准确地阐述基础理论,并强调理论在生产实际中的应用,使学生形成一些定量的概念,以便在更复杂的问题上能够作出正确的、定性的判断。

(2) 传递过程、化学反应工程、化学工艺学和化工过程开发的序列是理论和知识逐步深入或涉及的问题逐步复杂的序列。因此,在编写过程中,编者力求注意理论和知识的内在联系和相辅相成的关系。

(3) 加强优化生产的观点。为了实现主要优化目标,在理论的指导下确定优化的操作方式、生产条件、生产设备和工艺流程。

(4) 注意介绍近年来新开发的行之有效的新技术新工艺,适当地反映我国化工生产的新成就。

(5) 为了适应化学专业知识结构的需要,第二版加强了化学反应工程和化学工艺方面的内容。考虑到各校近年来都比较重视生产认识实习,工艺学的内容可以在课堂上也可以结合生产认识实习选讲。

最后专写了一章化工过程开发概述,在所学过的化工基础理论和知识的基础上,概括地介绍从实验室研制到化工生产的开发过程中,需要解决哪些问题和解决这些问题的一般程序和方法。

本书由吴迪胜主编。其中绪论和第一篇由蒋家俊撰写,第二篇由皮耐安撰写,第三篇由吴迪胜撰写,化工过程开发由黄浦丰和吴迪胜共同撰写。

由于我们水平有限,书中可能存在不少缺点和错误,恳切希望各方面提出意见和批评。

编者

1988年7月

# 前 言

本教材是为高等师范院校“化工基础”课程编写的。根据该课程的教学要求,本书除绪论外,分为三篇:(1)传递过程——包括流体动力过程、传热过程及传质过程的吸收和蒸馏,以代表性的单元操作对传递工程做了系统的分析和讨论;(2)化学反应工程——通过对基本反应器、气固相催化反应器以及物料停留时间分布和流动模型的阐述,简明扼要地说明了化学反应工程中的主要内容;(3)化学工艺——以硫酸、合成氨和石油化工为范例,对工艺路线和技术方案及有关问题做了概括而全面的综述和评价。

在编写过程中,我们认真地考虑了本课程的目的要求和化工学科的特点,特别注意了以下几个方面:

(1) 在介绍基本概念和阐述基础理论时,尽可能地对它们所具有的物理概念予以清晰而准确的叙述,在这基础上再作简化而合理的数学推导来巩固概念,说明运用方法,以期学生在学习时能对有关内容有明确的理解。

(2) 化工学科需要综合运用物理和化学的理论,并结合本学科的概念和原理来解决化工生产中的问题。为此,本书力求与先行课程相衔接,又有意识地介绍综合运用多方面的知识来考察、分析和评价化工单元或生产过程的方法和思路,以提高学生综合分析和解决问题的能力。

(3) 为了便于自学,本书选取合宜的数据和图表来加强认识的形象化,又安排了一定数量的例题来巩固重要的概念和原理,介绍解决问题的基本方法,并提高化工运算的能力。

(4) 鉴于近年来化工生产的迅速发展,对照国外教材中的变革,本书尽量选取一些较新的内容,以适当地反映化工生产中的新成就。

(5) 为适应科学技术的发展和计量的国际化,本书全面地采用国际单位制,所用数据(包括公式以及附录)也做了相应的换算。

(6) 考虑到各高等院校和各地区的特点以及学时数等因素,本教材在编写时赋以较大的机动性,各章在一定程度上可以独立用来教学,各院校可根据教学大纲选用。例如为完成教学大纲的基本要求,可以对传质过程的蒸馏和吸收选讲其中之一(或都讲)。书中带有\*号的部分可以作为完成教学大纲基本要求后的补充内容(如第三章)。在讲授各章节时对具体内容也可有所增删。此外,我们建议,教材中的例题,教师可选取少量在课堂示教,其余供学生在复习时自学,以巩固概念或明确运算方法。

(7) 为便于对本书内容检索,并为丰富有关化工术语的外文知识,本书书末编有中英文对照的索引备用。

本书由上海师范学院主编,其中绪论和第一篇由福建师范大学蒋家俊编写,叶恺荣、杨造勤等参加了有关工作(上册部分);第二篇由上海师范学院钱白水编写,第三篇由上海师范学院吴迪胜编写,徐苏海、皮耐安、蒋银旗等参加了有关工作(下册部分)。

本书由河北师范大学主审。审稿过程中,华东师范大学、天津师范学院、北京师范大学、北京

## II 前言

---

师范学院、东北师范大学、华中师范学院、华南师范学院、西南师范学院、南京师范学院、陕西师范大学、四川大学、武汉大学和华东化工学院以及其他一些院校的同志提出了许多宝贵的建设性的意见,对本书的修改定稿起了积极的作用。我们谨表示衷心的感谢。由于我们水平有限,书中必然存在不少错误和缺点,恳切希望各方面提出意见和批评。

编者

1980年7月



## 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

|                                 |    |                                 |    |
|---------------------------------|----|---------------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                    | 1  | 1-4-4 工业装置的设计和投产 .....          | 16 |
| § 1-1 本课程的内容和学习目的 .....         | 5  | § 1-5 有关技术经济评价的概念 .....         | 17 |
| 1-1-1 化工学科的内容 .....             | 5  | 1-5-1 评价的原则 .....               | 17 |
| 1-1-2 学习本课程的目的 .....            | 6  | 1-5-2 技术经济评价的主要指标 .....         | 17 |
| § 1-2 化工生产的特点 .....             | 8  | § 1-6 我国化学工业的发展趋势 .....         | 19 |
| § 1-3 化学工程和工艺中的一些<br>基本规律 ..... | 10 | 1-6-1 我国化学工业的现状 .....           | 19 |
| 1-3-1 质量守恒 .....                | 10 | 1-6-2 我国在化工学科领域的研究<br>概况 .....  | 20 |
| 1-3-2 能量守恒 .....                | 10 | 1-6-3 化学工程的发展趋势 .....           | 21 |
| 1-3-3 平衡关系 .....                | 11 | 1-6-4 化学工程技术的发展趋势 .....         | 23 |
| 1-3-4 过程速率 .....                | 11 | 1-6-5 我国化工发展面临的挑战 .....         | 24 |
| § 1-4 从实验室研究到工厂生产 .....         | 12 | 1-6-6 我国石油和化学工业未来发展<br>趋势 ..... | 26 |
| 1-4-1 实验室研究 .....               | 14 | 1-6-7 我国精细化工发展的趋势 .....         | 28 |
| 1-4-2 可行性研究 .....               | 15 | 本章主要参考书刊 .....                  | 30 |
| 1-4-3 中间试验 .....                | 15 |                                 |    |

## 第一篇 传递过程

|                                |    |                                |    |
|--------------------------------|----|--------------------------------|----|
| 第二章 流体的流动和输送 .....             | 32 | 2-3-2 流体流动的形态 .....            | 53 |
| § 2-1 一些基本概念 .....             | 33 | § 2-4 流体在圆管内流动时的阻力<br>计算 ..... | 57 |
| 2-1-1 理想流体和实际流体 .....          | 33 | 2-4-1 滞流时的摩擦阻力 .....           | 57 |
| 2-1-2 流体的密度、相对密度和比<br>体积 ..... | 34 | 2-4-2 湍流时的流动阻力 .....           | 58 |
| 2-1-3 流体的压力及其测量 .....          | 35 | 2-4-3 局部阻力 .....               | 61 |
| 2-1-4 流量和流速 .....              | 38 | 2-4-4 管路计算 .....               | 63 |
| 2-1-5 定态流动和非定态流动 .....         | 40 | § 2-5 液体输送机械 .....             | 65 |
| § 2-2 流体定态流动时的衡算 .....         | 41 | 2-5-1 离心泵 .....                | 65 |
| 2-2-1 流体定态流动时的物料衡算 .....       | 41 | 2-5-2 往复泵 .....                | 69 |
| 2-2-2 流体定态流动时的能量衡算 .....       | 42 | 2-5-3 旋转泵 .....                | 71 |
| 2-2-3 伯努利方程的应用举例 .....         | 44 | § 2-6 气体输送机械 .....             | 72 |
| 2-2-4 流体流量的测量 .....            | 46 | 2-6-1 离心式风机 .....              | 72 |
| § 2-3 实际流体的流动 .....            | 51 | 2-6-2 旋转式风机 .....              | 73 |
| 2-3-1 黏度 .....                 | 51 | 2-6-3 往复式压缩机 .....             | 74 |

## II 目录

|                                  |     |                          |     |
|----------------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 2-6-4 喷射泵 .....                  | 76  | 4-2-3 圆筒壁的传导传热 .....     | 123 |
| * § 2-7 量纲分析 .....               | 76  | § 4-3 对流传热 .....         | 126 |
| 本章符号 .....                       | 81  | 4-3-1 对流传热机理 .....       | 126 |
| 复习题和思考题 .....                    | 81  | 4-3-2 对流传热膜系数 .....      | 127 |
| 习题 .....                         | 83  | 4-3-3 对流传热膜系数的值 .....    | 131 |
| <b>第三章 流体-固体颗粒间的运动和流态化</b> ..... | 89  | § 4-4 热交换的计算 .....       | 132 |
| * § 3-1 流体通过填充床层的流动 .....        | 89  | 4-4-1 总传热方程 .....        | 132 |
| 3-1-1 流体通过毛细管的流动 .....           | 89  | 4-4-2 传热系数的大致范围 .....    | 135 |
| 3-1-2 流体通过颗粒床层的流动 .....          | 90  | 4-4-3 传热温差 .....         | 136 |
| 3-1-3 流体通过填料床层的流动 .....          | 96  | 4-4-4 强化传热过程的途径 .....    | 141 |
| * § 3-2 固体颗粒在流体中的运动 .....        | 96  | § 4-5 热交换器 .....         | 143 |
| 3-2-1 球形颗粒的沉降 .....              | 97  | 4-5-1 列管式热交换器 .....      | 143 |
| 3-2-2 重力沉降的应用 .....              | 100 | 4-5-2 其他热交换器 .....       | 146 |
| 3-2-3 离心沉降 .....                 | 101 | * § 4-6 辐射传热 .....       | 149 |
| § 3-3 流态化 .....                  | 103 | 4-6-1 基本概念 .....         | 149 |
| 3-3-1 流态化现象 .....                | 104 | 4-6-2 管式炉 .....          | 152 |
| 3-3-2 床层的压降 .....                | 105 | 4-6-3 远红外和微波技术 .....     | 154 |
| 3-3-3 临界流化速度 .....               | 106 | 4-6-4 三种传热方式的概括比较 .....  | 155 |
| 3-3-4 带出速度 .....                 | 109 | § 4-7 化工生产中的节能途径 .....   | 155 |
| 3-3-5 计算公式小结 .....               | 110 | 本章符号 .....               | 158 |
| § 3-4 流化床 .....                  | 111 | 复习题 .....                | 158 |
| 3-4-1 流化床的类型 .....               | 111 | 习题 .....                 | 159 |
| 3-4-2 流化床的床径和总高 .....            | 112 | <b>第五章 吸收</b> .....      | 162 |
| 3-4-3 气体分布板 .....                | 113 | § 5-1 概述 .....           | 162 |
| 本章符号 .....                       | 114 | 5-1-1 吸收的类型 .....        | 162 |
| 复习题 .....                        | 115 | 5-1-2 吸收剂的选择 .....       | 163 |
| 习题 .....                         | 115 | 5-1-3 吸收操作的条件 .....      | 163 |
| <b>第四章 传热过程</b> .....            | 118 | § 5-2 吸收的相平衡 .....       | 164 |
| § 4-1 概述 .....                   | 118 | 5-2-1 亨利定律 .....         | 164 |
| 4-1-1 化工生产中的传热过程 .....           | 118 | 5-2-2 用摩尔比表示的相平衡关系 ..... | 166 |
| 4-1-2 传热中的一些基本物理量和单位 .....       | 119 | 5-2-3 气体在液体中的溶解度 .....   | 167 |
| 4-1-3 定态传热和非定态传热 .....           | 119 | § 5-3 吸收速率 .....         | 168 |
| § 4-2 传导传热 .....                 | 119 | 5-3-1 双膜理论 .....         | 168 |
| 4-2-1 热传导基本方程——傅里叶定律 .....       | 120 | 5-3-2 分子扩散定律——菲克定律 ..... | 169 |
| 4-2-2 平面壁的定态热传导 .....            | 121 | 5-3-3 吸收速率方程 .....       | 170 |
|                                  |     | § 5-4 填料吸收塔的计算 .....     | 175 |
|                                  |     | 5-4-1 填料层高度的计算式 .....    | 175 |
|                                  |     | 5-4-2 吸收塔中的物料衡算 .....    |     |

|                                     |     |                                    |     |
|-------------------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| ——操作线方程 .....                       | 177 | 6-4-3 提馏段操作线方程 .....               | 229 |
| 5-4-3 传质单元数的计算 .....                | 179 | 6-4-4 理论塔板数的图解求算 .....             | 230 |
| 5-4-4 传质单元高度的求算 .....               | 183 | 6-4-5 理论塔板数图解求算的原理和<br>逐板计算法 ..... | 231 |
| 5-4-5 三传中的类似律 .....                 | 185 | 6-4-6 回流比与精馏的关系 .....              | 233 |
| § 5-5 填料塔 .....                     | 187 | * 6-4-7 进料状态对精馏的影响 .....           | 235 |
| 5-5-1 填料 .....                      | 187 | 6-4-8 捷算法求理论塔板数 .....              | 238 |
| 5-5-2 填料塔的附属设备 .....                | 189 | * § 6-5 间歇精馏 .....                 | 240 |
| 5-5-3 液泛速度和塔径的计算 .....              | 190 | * § 6-6 多组分精馏 .....                | 242 |
| 5-5-4 填料层的压力降 .....                 | 193 | 6-6-1 多组分精馏的方式 .....               | 242 |
| * § 5-6 绝热吸收 .....                  | 194 | 6-6-2 多组分的气液平衡 .....               | 242 |
| § 5-7 分离气均相系的新技术 .....              | 199 | 6-6-3 关键组分 .....                   | 246 |
| 5-7-1 变压吸附 .....                    | 200 | 6-6-4 捷算法求理论塔板数 .....              | 246 |
| 5-7-2 膜分离技术 .....                   | 202 | * § 6-7 特殊蒸馏 .....                 | 249 |
| 本章符号 .....                          | 203 | 6-7-1 恒沸蒸馏 .....                   | 249 |
| 复习题 .....                           | 204 | 6-7-2 萃取蒸馏 .....                   | 251 |
| 习题 .....                            | 204 | 6-7-3 催化精馏 .....                   | 252 |
| <b>第六章 精馏</b> .....                 | 209 | 6-7-4 石油的侧线分馏 .....                | 254 |
| § 6-1 精馏原理 .....                    | 210 | 6-7-5 热泵精馏 .....                   | 255 |
| 6-1-1 理想的两组分互溶体系 .....              | 210 | § 6-8 板式塔 .....                    | 257 |
| 6-1-2 相对挥发度 .....                   | 212 | 6-8-1 泡罩塔 .....                    | 257 |
| 6-1-3 非理想的两组分互溶体系 .....             | 213 | 6-8-2 筛板塔 .....                    | 259 |
| 6-1-4 压力对气液平衡的影响 .....              | 215 | 6-8-3 浮阀塔 .....                    | 259 |
| 6-1-5 以 $t-x-y$ 相图表示的蒸馏<br>过程 ..... | 216 | 6-8-4 喷射塔 .....                    | 260 |
| 6-1-6 以 $x-y$ 相图表示的蒸馏过程 ..          | 218 | 6-8-5 旋流板塔 .....                   | 261 |
| § 6-2 简单蒸馏 .....                    | 220 | 6-8-6 塔板效率 .....                   | 262 |
| 6-2-1 简单蒸馏的操作和应用 .....              | 220 | 6-8-7 填料塔与板式塔的对比如 .....            | 263 |
| 6-2-2 简单蒸馏的计算 .....                 | 220 | 本章符号 .....                         | 263 |
| 6-2-3 闪蒸馏 .....                     | 223 | 复习题 .....                          | 264 |
| § 6-3 连续精馏 .....                    | 224 | 习题 .....                           | 264 |
| 6-3-1 精馏的依据 .....                   | 224 | <b>本篇主要参考书刊</b> .....              | 271 |
| 6-3-2 精馏塔中物相组成的变化 .....             | 225 | <b>附录 一些基础数据的算式</b> .....          | 273 |
| 6-3-3 回流比 .....                     | 226 | <b>附表</b> .....                    | 284 |
| 6-3-4 连续精馏的流程 .....                 | 227 | 一、单位换算 .....                       | 284 |
| § 6-4 连续精馏理论塔板数的<br>计算 .....        | 228 | 二、水的物理性质 .....                     | 285 |
| 6-4-1 计算的前提 .....                   | 228 | 三、一些液体的物理性质 .....                  | 288 |
| 6-4-2 精馏段操作线方程 .....                | 228 | 四、一些有机物的蒸气压 .....                  | 289 |
|                                     |     | 五、饱和水蒸气表 .....                     | 291 |

#### IV 目录

---

|                              |     |                    |     |
|------------------------------|-----|--------------------|-----|
| 六、一些气体的物理性质 .....            | 293 | 九、气体在液体中的溶解度 ..... | 296 |
| 七、一些固体材料的导热系数<br>(常温下) ..... | 295 | 十、一些填料的性质 .....    | 298 |
| 八、扩散系数 .....                 | 295 | 索引 .....           | 300 |

# 第一章 绪 论

化学工业是世界各个国家和地区国民经济的重要部门之一。化学工业的产值在国民经济总产值中占显著的比重,以世界范围来说,它以高于工业总产值的平均增长率持续发展,其增长情况为(年平均增长率,单位:%)

| 年份     | 1951—1960 | 1961—1970 | 1971—1980 | 1981—1990 | 1991—2000 | 2001—2010 |
|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 世界整个工业 | 6.7       | 6.8       | 4.5       | 2.5       | 3.8       | 2.6       |
| 世界化学工业 | 7.7       | 9.6       | 5.5       | 3.3       | 9.6       | 3.5       |

化学工业同样是我国国民经济的重要支柱产业之一。我国主要大宗化工产品统计如表 1-1 所示。化学工程各分学科的发展在我国国民经济和社会发展中占有举足轻重的地位,并且为国民经济的快速发展作出了显著贡献。

表 1-1 我国主要化工产品产量统计表

单位:万吨

| 学科   | 产品名称 | 2000 年产量 | 2005 年产量 | 2007 年产量 | 世界排名 |
|------|------|----------|----------|----------|------|
| 有机化工 | 乙烯   | 470      | 755.5    | 1 047.7  | 第三   |
| 无机化工 | 合成氨  | 3 105    | 4 596.0  | 5 158.9  | 第一   |
|      | 尿素   | 1 923.5  | 1 995.0  | 2 485.6  |      |
|      | 磷肥   | 663      | 1 125    | 1 257.2  |      |
|      | 钾肥   | 125      | 232.7    | 249.9    |      |
|      | 硫酸   | 2 164    | 4 462.2  | 5 500    | 第一   |
|      | 烧碱   | 646      | 1 240.0  | 1 759.3  |      |
|      | 纯碱   | 834      | 1 421.1  | 1 771.8  |      |
| 精细化工 | 农药   | 64.77    | 103.94   | 173.1    | 第一   |
|      | 染料   | 44       | 59.5     | 75.37    | 第一   |
|      | 涂料   | 194      | 382.6    | 597.28   | 第二   |

(1) 无机化学工程包含酸碱盐工程、化肥工程、硅酸盐工程等,是以矿产资源为原料的基础化学工业。无机酸碱盐工业的发展为化学工业及其他工业提供了最基本的原材料,其产品应用领域广泛,与人们的日常生活息息相关,与信息、航空航天、国防等高科技领域密不可分。无机酸

碱盐工程涉及上千种工业化产品,硫酸是酸之首,目前我国总装置能力已超过 6 000 万吨/年,作为大宗化工原料用于生产磷肥、钾肥、钛白粉等。无机碱产业代表产品是烧碱和纯碱,我国的总产量均居世界首位。无机盐产品的特点是品种多、产量大,我国的总产能和总产量均居世界前列。2007 年,我国无机盐行业产品品种达 1 000 余种,总生产能力超过 6 000 万吨/年,总产量约 5 000 万吨。无机酸碱盐工程技术的发展推动了相关行业的发展。

化肥工程是我国无机化工工程的重要分支。化肥是农业生产的重要生产资料,粮食增产中 40%~50% 来自化肥的作用,是保证我国粮食安全和农业基础地位的重要条件。我国是农业大国,能以占世界 7% 的耕地养活约占世界 21% 的人口,主要靠提高粮食作物单产,其中化肥的作用是不言而喻的。因此,化肥工业对我国国民经济发展和社会稳定起着重要的战略意义。我国是化肥的生产和消费大国。1990 年以来,化肥的生产量和消费量均居世界首位,2002 年我国化肥消费量达  $4.339 \times 10^7$  吨(纯养分),占世界总消费量的 1/3,成为世界上最大的化肥消费国。化肥品种主要包括氮肥、磷肥和钾肥。

硅酸盐工业包括水泥、陶瓷和人工晶体。其中水泥是国民经济建设中不可缺少的基础原材料,其产量是国民经济发展的重要经济指标之一。2007 年硅酸盐工业的总产值达 6 000 亿元。精细陶瓷和人工晶体作为硅酸盐制备工程技术的新成员,其发展也备受瞩目。其中人工晶体因其特有的光、声、电、磁、热或功能复合效应在高新技术产业、传统产业改造和国防军工等领域均占据着重要位置,在国际化工产品中也占有一席之地。

(2) 有机化学工程所涉及的产品种类繁多,其应用几乎遍布国民经济的各个领域,包括体现国家或地区石油化工生产水平的标志性产品乙烯。在三大合成材料中,塑料生产发展速度是最快的,全世界 1976 年产量为 4 771 万吨,1985 年增长到 7 646 万吨,1996 年已达 12 940 万吨,2008 年高达 24 500 万吨。一些主要的工业发达国家的塑料每人平均年消费量在 20 世纪 80 年代初期就已超过 50 kg。1985 年世界化学纤维产量为 1 613 万吨(合成纤维 1 280 万吨,人造纤维 333 万吨)占当年世界纺织材料的 1/2,1996 年达到 2 174 万吨(合成纤维 1 967 万吨,人造纤维 207 万吨),2010 年世界化学纤维生产量达 4 622 万吨,远远超过天然纤维的年产量。世界合成橡胶 1975 年产量为 686 万吨,1984 年为 901 万吨,1995 年为 948 万吨,同年的天然橡胶产量为 604 万吨,2011 年世界合成橡胶达 1 511.5 万吨。另外,2007 年我国甲醇产量达 953.7 万吨,纯苯产能达 380 万吨/年,年产量为 372.58 万吨。2008 年 1—7 月我国精对苯二甲酸产能 1 275 万吨,产量 1 030 万吨,75% 用于生产聚酯。2007 年我国己内酰胺产量达 27.51 万吨,2008 年 1—11 月累计达 28.10 万吨。有机化学工程技术的发展带来了产品的繁荣,也为国民经济各个领域的发展提供了丰富的原料。

(3) 精细化学工程包括农药、染料、医药、涂料、表面活性剂、催化剂等传统的化学品,也包括饮料添加剂、食品添加剂、水处理化学品、造纸化学品、皮革化学品、油田化学品、电子化学品、合成胶黏剂各领域及各类特色助剂和新型中间体等新领域精细化工产品,可谓包罗万象。它与国民经济发展的各行各业均有着极为密切的关系,是社会经济发展到一定阶段的产物,是世界化学工业竞争的焦点和发展的战略重点。农药为作为国家经济命脉的农业保驾护航,对我国农业的现代化起到了有力的推动作用。2007 年我国农药生产企业约 500 多家,产量达 173.1 万吨,居世界第一。染料最主要的消费市场在纺织工业,染料工业技术的进步提高了纺织品附加值,使之更具时代感,更加功能化、高档化,增强了我国纺织工业在国际市场中的竞争力。2007 年我国染

料产量达 75.37 万吨(不包括有机颜料),销售收入(包括有机颜料)合计为 380.50 亿元。化工生产同时与人民生活和健康密切相关,1977 年世界的医药年产值为 470 亿美元,平均 11 美元/(人·年),2000 年时产值为 2 500 亿美元,2010 年全球药品市场的销售额达到 8 500 亿美元,达到 120 美元/(人·年)。我国医药医疗产品产值在 1989 年时为 230 亿元,1996 年达到 1 031 亿元,2012 年医药行业年产值达 18 300 亿元,达到 1 500 元/(人·年)。涂料及颜料在国民经济中具有不可替代的地位和作用。2007 年我国涂料总产量 597.28 万吨,2007 年全国颜料总产量达到 210 多万吨。一些新领域精细化工产品具有很大的发展潜力,目前我国新领域精细化工生产企业近 7 500 家,产能近 3 090 万吨/年,品种多达 12 500 个,年产值 2 900 多亿元。精细化工的发展,优化了化工产品结构,增加了产品功能,提高了附加值,惠及民生,增加国力,也是世界各国的发展战略。

20 世纪以来新分子和新材料的增加如表 1-2 所示。在结构理论的指导下,按照结构和性质的关系,人们能够按照需要的性质大量合成各种物质,物质(以 CA 登记为准)的数量呈几何级数增加,现在还以每年 100 万种的速度增加。许多高质量、高性能、高效用的精细化学品就是从这些新分子和新材料中筛选出来,通过化学工程研发成为人们生产生活所必需的商品。然而,在这 3 000 多万种的化合物中,具有应用价值的仅约占 1%,真正形成工业产品的则更少。

表 1-2 20 世纪新分子和新材料的增长情况

| 年份   | 新分子和新材料的数量           | 年份   | 新分子和新材料的数量               |
|------|----------------------|------|--------------------------|
| 1900 | 55 万种                | 1985 | 785 万种                   |
| 1945 | 100 万种(大约 45 年翻 1 倍) | 1990 | 1 057.6 万种(大约 10 年翻 1 倍) |
| 1970 | 273 万种(大约 25 年翻 1 倍) | 1999 | 超过 2 000 万种              |
| 1975 | 414.8 万种             | 2006 | 3 016.88 万种              |
| 1980 | 593 万种(大约 10 年翻 1 倍) |      |                          |

近年来我国每年登记取得 3 万多项科技成果(已不是单纯的理论论文),形成产业并取得经济效益的只有 5%。我国目前科技成果转化率有两方面的原因:一是技术不成熟,直接可以拿来应用的技术不多;二是科学研究及技术开发与市场需求脱节,实验室成果到工业规模生产之间的桥梁并没有架通。显然,这座桥梁就是过程开发研究。

(4) 电化学工程是化学工程的重要分支之一,主要包括电镀、电解以及化工防腐蚀。电解是化学品的制造方法之一,诸如烧碱、金属钠等产能的快速增长均得益于电解工业的技术进步。2007 年我国仅电解食盐水制烧碱的产能就达到了 2 181 万吨/年,占全球烧碱产能的 32.2%,年产值达 600 多亿元,居世界第一。电镀是利用电化学原理为材料表面提供保护层或修饰膜,使其产品获得更优异的性能和外观,从而在化工、造船、电子通信、机械制造等许多行业中发挥重要的作用。防腐蚀技术的进步对化工产业的实施和发展起着重要的保障作用。随着现代化工的发展,清洁生产要求提高,对设备防腐蚀技术的需要越来越高;防腐技术的发展使得越来越多的化工过程在良好的防腐条件下运行,减少了装置损耗,保证了设备正常运转,防止了因设备腐蚀造成的突发性恶性事故或巨大经济损失,对保护人民生命和国家财产安全具有不可低估的作用。

(5) 化工测量与仪器仪表是信息化技术与化学工业有机结合的重要体现,是化学工程过程控制的基础,也是改造传统化工产业、提升生产技术水平的重要保障。在无机化工、有机化工、电化学



等过程控制和多种技术与设备集成的重大装备中,化工测量与仪器仪表均起着关键的作用。测控系统及仪器仪表的灵敏、智能、可靠、高效的性能直接关系到整个生产工艺的正常运行和产品质量,是整个流程工业的神经中枢和安全保障。如果没有相匹配的测控装备,大型化、高参数化、工况复杂化的现代流程工业的发展将受到制约。

(6) 化工机械与设备是化学工艺实施产业化的基础,是现代化工硬件的保障,其种类覆盖了“三传一反”和所有“单元操作”。正是由于各种单元设备与仪器仪表的有机组合共同构成现代化工的过程装备系统,才使从原料到产品的整个复杂工艺过程得以实现。特别是在规模化发展的进程中,机械装备更成为化学过程工业不可或缺的组成部分。化工机械与设备在满足其他学科的产业化、规模化和产业升级、技术更新需求的同时,自身也不断强化,在化学工程学科的发展中起到举足轻重的作用。

总之,化学工业涉及国民经济、国防建设、资源开发和人类衣食住行的方方面面,对解决人类社会所面临的人口、资源、能源和环境可持续发展的重大问题,也起到十分重要的作用。化学工业的任务,主要在于发展满足于国民经济各部门所需的化工新产品,同时化学工业本身需要不断地完善和发展。对老产品的工艺生产方法进行改造,高效催化的开发、新型分离技术的应用、节能设备的开发等都需从实验室研究开始,逐步过渡到工业化装置。时下,化学工业蒸蒸日上,化工过程开发任重道远。表 1-3 简要地列出化工产品在经济各个领域中的应用。一句话,化学工业是工业革命的助手、农业发展的支柱、战胜疾病的武器、改善生活的手段。

表 1-3 化工产品在各个领域的应用

| 领域  | 所需化工产品                |
|-----|-----------------------|
| 农业  | 农药、化肥、薄膜、饲料、生长激素等     |
| 能源  | 能源物质开采与加工,太阳能转化,燃料电池等 |
| 交通  | 燃料、涂料、结构材料、润滑剂等       |
| 建筑  | 建筑材料、装饰材料、水泥改性等       |
| 制造  | 工程塑料、复合材料、陶瓷材料等       |
| 纺织  | 化学纤维、染整剂等             |
| 日用品 | 洗涤剂、化妆品、天然物质加工、表面活性剂等 |
| 医药  | 药品合成、医用材料、DNA 技术等     |
| 环境  | 三废治理、降解材料、清洁生产技术等     |
| 信息  | 各种功能材料、纳米技术等          |