



普通高等教育“十二五”规划教材 □□□

# 化工过程基础

## HUAGONG GUOCHENG JICHU

李素君 主编



化学工业出版社

014013096

普通高等教育“十二五”规划教材

# 化工过程基础

李素君 主编

原书缺页



中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第242080号  
ISBN 978-7-132-18692-8  
普通高等教育“十二五”规划教材  
李素君 主编  
I. ①化... II. ①李... III. ①化... IV. ①TQ02

TQ02-43

李素君 编著  
李素君 王 芳 设计  
责任编辑 李素君  
封面设计 王 芳

化学工业出版社  
北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011  
787mm×1092mm 1/16 印张16 字数413千字 2014年2月北京第1版第1次印刷

化学工业出版社  
北京



010310302

本书以石油化工行业为重点,注重理论与实践的结合,注重培养学生化工工程意识。全书分为四篇:化工单元操作过程、化学反应过程、石油化工生产过程、其他化工产品生产过程,包括流体流动过程及设备、传热过程及设备、传质过程及设备、化学反应过程及反应器、石油炼制、烯烃及其下游产品生产、芳烃及其下游产品生产、高分子化工概述、精细化工产品概述、煤化工生产过程概述、典型无机化工产品生产过程等内容,每章后面附有思考题,便于理解每章的重点内容,可以方便学生自学和复习。为方便教学,本书还配有电子教案。

本书注重理论与实践的结合,层次分明、重点突出,适用于高等工科大学机械、自动化、材料、环境、建筑、建材等专业及与化工行业密切相关的高职院校的化工基础的教学,也可供化工行业生产、营销及企业管理的人员学习和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

化工过程基础/李素君主编:—北京:化学工业出版社,2013.12

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-18692-8

I. ①化… II. ①李… III. ①化工过程-高等学校-教材 IV. ①TQ02

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第245080号

责任编辑:旷英姿 石磊

文字编辑:糜家铃

责任校对:徐贞珍

装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张16 字数413千字 2014年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:32.00元

版权所有 违者必究

# 编写人员

主 编 李素君

编写人员 (按姓名笔画为序)

王晓丽 (沈阳工业大学)

李素君 (沈阳工业大学)

吴 伟 (中石油辽阳石化公司)

赵 薇 (沈阳工业大学)

徐铁军 (沈阳工业大学)

吉林

吉林 8 年 1105





# 前言 FOREWORD

化学工业又称化学加工工业，是指生产过程中以化学方法占主要地位的过程工业，包括基本化学工业、塑料、合成纤维、石油、橡胶、药剂、染料工业等，是国民经济的重要组成部分，它为满足人类生产和生活的需要而快速发展，并随着生产技术的进步推动着其他行业及社会的发展。

人类与化学工业的关系十分密切，在现代生活中，几乎随时随地都离不开化工产品，从衣、食、住、行等物质生活到文化艺术、娱乐等精神生活，都需要化工产品为之服务。化工产品的种类多、用途广泛，在工农业、交通运输、国防军事、航空航天、信息技术等领域提供各类基础材料、功能材料、能源及必需品，促进了各行各业的发展。

化学工业属于知识和资金密集型的行业。随着科学技术的发展，它由最初只生产纯碱、硫酸等少数几种无机产品和主要从植物中提取茜素制成染料的有机产品，逐步发展为一个多行业、多品种的生产过程，出现了一大批综合利用资源和规模大型化的化工企业，近几十年的石油化工的发展迅猛，精细化工、生物化工、煤化工也显示出强大生命力。

化学工业在国民经济中的作用随着科学技术的发展会越来越大，因此，掌握化工知识不仅是对化工专业人员的要求，非化工类的从业人员也需要熟悉、掌握基本的化工知识，以利于在不同领域的发展。基于此，我们编写了《化工过程基础》教材。

本书注重理论与实践的结合，层次分明、重点突出，分为四篇，化工单元操作过程、化学反应过程、石油化工生产过程、其他化工产品生产过程。包括流体流动过程及设备、传热过程及设备、传质过程及设备、化学反应过程及反应器、石油炼制、烯烃及其下游产品生产、芳烃及其下游产品生产、高分子化工概述、精细化工产品概述、煤化工生产过程概述、典型无机化工产品生产过程等内容，每章后面附有思考题，便于理解每章的重点内容，可以方便学生自学和复习。

本书由沈阳工业大学李素君主编并负责全书统稿，沈阳工业大学徐铁军、王晓丽、赵薇，中石油辽阳石化分公司吴伟参加编写。其中李素君编写绪论、第5章、第9章，赵薇编写第1章、第4章，王晓丽编写第2章、第3章，徐铁军编写第6章、第10章~第12章，徐铁军、李素君及吴伟共同编写第7章、第8章。

由于编者的水平有限，不妥之处在所难免，恳请各方面批评、指正。

编者

2013年8月

# CONTENTS

## 目录

### 绪论

Page 001

0.1 化学工业概述 .....	1
0.1.1 化学工业在国民经济中的作用与地位 .....	1
0.1.2 化学工业的分类 .....	1
0.1.3 化学工业的特点 .....	2
0.2 化学工业的发展简史 .....	3
0.2.1 古代化学加工 .....	3
0.2.2 早期化学工业 .....	3
0.2.3 近代化学工业 .....	4
0.2.4 现代化学工业 .....	4
0.3 化工生产过程分析 .....	5
0.4 本课程的性质、任务、主要内容和学习方法 .....	6
思考题 .....	6

## 第1篇 化工单元操作过程

### 第1章 流体流动过程及设备

Page 008

1.1 概述 .....	8
1.2 有关流体的物理量 .....	8
1.2.1 流体的密度和黏度 .....	8
1.2.2 流体的静压强 .....	9
1.2.3 流体的流量和流速 .....	11
1.2.4 流量的测量 .....	11
1.3 流体的流动阻力 .....	12
1.3.1 雷诺实验和流体流动类型 .....	12
1.3.2 流体流动阻力产生的原因 .....	13
1.3.3 流动阻力的计算 .....	13
1.4 流体流动的基本规律及其应用 .....	16
1.4.1 稳定流动与不稳定流动 .....	16
1.4.2 连续方程 .....	16
1.4.3 伯努利方程 .....	17
1.5 化工管路 .....	18
1.5.1 化工管路的材料和规格 .....	18
1.5.2 管件和阀门 .....	19

1.6 离心泵 .....	20
1.6.1 离心泵的结构和工作原理 .....	20
1.6.2 离心泵的主要部件 .....	20
1.6.3 离心泵的主要性能 .....	21
1.6.4 离心泵的类型和安装 .....	22
1.7 其他类型泵 .....	25
1.7.1 往复泵 .....	25
1.7.2 计量泵 .....	26
1.7.3 齿轮泵 .....	26
1.7.4 螺杆泵 .....	26
1.7.5 旋涡泵 .....	27
1.7.6 各种类型化工用泵的比较 .....	27
1.8 气体输送设备的工作原理和应用 .....	28
1.8.1 离心式通风机 .....	28
1.8.2 罗茨鼓风机 .....	28
1.8.3 往复式压缩机 .....	29
1.8.4 水环式真空泵 .....	29
1.8.5 喷射式真空泵 .....	30
思考题 .....	30

## 第2章 传热过程及设备

Page 031

2.1 概述 .....	31
2.1.1 传热在化工生产中的应用 .....	31
2.1.2 工业生产中的换热方法 .....	31
2.1.3 稳态传热与非稳态传热 .....	32
2.1.4 传热速率与热流密度 .....	32
2.2 传热的基本方式 .....	33
2.2.1 热传导 .....	33
2.2.2 热对流 .....	38
2.2.3 热辐射 .....	41
2.3 间壁式换热过程 .....	42
2.3.1 两流体通过间壁的换热过程 .....	42
2.3.2 传热速率方程式 .....	43
2.4 换热设备简介 .....	50
2.4.1 换热器的分类 .....	50
2.4.2 列管式换热器 .....	51
2.4.3 其他换热器 .....	53
2.4.4 列管式换热器的选用 .....	57
思考题 .....	59

## 第3章 传质过程及设备

Page 060

3.1 吸收 .....	60
3.1.1 概述 .....	60

3.1.2	吸收过程分析	62
3.1.3	吸收过程的计算	65
3.1.4	吸收设备	68
3.2	蒸馏	72
3.2.1	概述	72
3.2.2	蒸馏与精馏原理	73
3.2.3	精馏过程的基本计算	75
3.2.4	精馏设备	82
3.3	萃取	87
3.3.1	概述	87
3.3.2	萃取过程分析	88
3.3.3	萃取设备	89
3.3.4	超临界气体萃取简介	95
	思考题	96

## 第4章 其他单元操作

Page 097

4.1	沉降	97
4.1.1	重力沉降的原理及影响因素	97
4.1.2	离心沉降原理及影响因素	99
4.1.3	重力和离心沉降设备	100
4.2	过滤	103
4.2.1	过滤的基本概念和原理	103
4.2.2	过滤设备	104
4.3	干燥	107
4.3.1	概述	107
4.3.2	湿空气的性质	108
4.3.3	湿空气的湿度图	109
4.3.4	湿物料的性质及干燥机理	112
4.3.5	对流干燥设备	113
4.4	膜分离	116
4.4.1	概述	116
4.4.2	气体膜分离	117
4.4.3	微滤和超滤	118
4.4.4	反渗透	119
4.4.5	膜吸收	119
4.4.6	膜蒸馏	120
4.4.7	膜萃取	120
	思考题	122

## 第2篇 化学反应过程

### 第5章 化学反应过程及反应器

Page 124

5.1	化学反应过程的操作方式	124
-----	-------------	-----



5.1.1	间歇(分批式)操作	124
5.1.2	连续操作	124
5.1.3	半连续(或半间歇)操作	125
5.2	反应器	125
5.2.1	概述	125
5.2.2	反应器的分类	126
5.3	典型反应器简介	126
5.3.1	釜式反应器	126
5.3.2	管式反应器	127
5.3.3	固定床反应器	128
5.3.4	流化床反应器	129
5.3.5	其他类型反应器	130
	思考题	130

## 第3篇 石油化工生产过程

### 第6章 石油炼制

Page 134

6.1	石油及其产品的性质	134
6.1.1	石油的性质	134
6.1.2	油品的分类及其各项指标	136
6.2	石油的常减压蒸馏	140
6.2.1	常减压蒸馏的工艺及主要产品	140
6.2.2	常减压蒸馏的主要设备	142
6.3	石油的二次加工	144
6.3.1	催化裂化	144
6.3.2	加氢精制和加氢裂化	147
6.3.3	减黏裂化	150
6.3.4	焦炭化过程	151
	思考题	152

### 第7章 烯烃及其下游产品的生产

Page 153

7.1	烃类热裂解制烯烃	153
7.1.1	热裂解工艺及其主要设备	153
7.1.2	裂解产物的急冷操作	157
7.1.3	裂解气的深冷分离	158
7.2	烯烃的下游产品	160
7.2.1	乙烯的下游产品	160
7.2.2	丙烯的下游产品	166
7.2.3	碳四(C <sub>4</sub> )产品	170
	思考题	174

### 第8章 芳烃及其下游产品的生产

Page 176

8.1	芳烃的性质和用途	176
-----	----------	-----



8.1.1	芳烃的性质	176
8.1.2	芳烃的用途	177
8.2	芳烃的主要来源	178
8.2.1	催化重整生产 BTX 芳烃	179
8.2.2	高温裂解制乙烯副产 BTX 芳烃	181
8.2.3	芳烃的转化	182
8.2.4	芳烃的分离	184
8.2.5	芳烃联合加工流程	186
8.3	重要的芳烃衍生物的生产	187
8.3.1	苯乙烯	188
8.3.2	环己烷	189
8.3.3	环己醇(酮)、己二酸及尼龙 66	191
8.3.4	对苯二甲酸	192
8.3.5	聚酯	193
	思考题	194

## 第9章 高分子化工概述

Page 195

9.1	高分子材料及分类	195
9.1.1	聚合物的基本概念	195
9.1.2	聚合物的分类	196
9.2	聚合反应类型及生产过程	197
9.2.1	聚合反应类型	197
9.2.2	聚合生产过程	198
9.3	典型聚合物的生产	199
9.3.1	聚乙烯的生产	199
9.3.2	聚丙烯的生产	202
	思考题	204

## 第4篇 其他化工生产过程

### 第10章 精细化工概述

Page 206

10.1	精细化工产品及其分类	206
10.1.1	精细化工产品的定义及特性和范畴	206
10.1.2	精细化工产品的发展现状和范畴	207
10.2	传统精细化工产品	207
10.2.1	石油添加剂	207
10.2.2	表面活性剂	208
10.2.3	塑料、橡胶助剂	209
10.2.4	染料	210
10.2.5	涂料	210
10.2.6	香料及香精	211
10.2.7	黏合剂	211
10.2.8	水处理剂	213

10.2.9 农药 .....	214
10.3 精细化工产品生产特点 .....	214
10.3.1 生产方式的特点 .....	214
10.3.2 生产设备的特点 .....	214
思考题 .....	215

## 第11章 煤化工概述

Page **216**

11.1 煤的化学组成和煤的化工利用 .....	216
11.1.1 煤的化学成分 .....	216
11.1.2 煤的化工利用 .....	217
11.2 传统煤化工 .....	218
11.2.1 煤的干馏 .....	218
11.2.2 煤的气化 .....	219
11.2.3 合成气制甲醇 .....	222
11.2.4 间接液化合成燃料油(费-托法) .....	223
11.3 新型煤化工技术简介 .....	226
11.3.1 煤的直接液化 .....	227
11.3.2 甲醇制低碳烯烃技术 .....	230
11.3.3 甲醇制乙二醇技术 .....	231
思考题 .....	232

## 第12章 典型无机化工产品的生产过程

Page **233**

12.1 概述 .....	233
12.1.1 无机化工的特点 .....	233
12.1.2 无机化工的原料 .....	233
12.1.3 主要的无机化工产品和用途 .....	233
12.2 合成氨的生产 .....	235
12.2.1 合成氨的主要生产过程 .....	235
12.2.2 制氢气 .....	236
12.2.3 原料气的净化 .....	237
12.2.4 氨的合成 .....	238
12.3 硫酸的生产 .....	239
12.3.1 硫酸的生产方法 .....	239
12.3.2 硫铁矿制硫酸 .....	240
12.4 纯碱的生产 .....	241
12.4.1 氨碱法生产纯碱 .....	241
12.4.2 联合法(联碱法)生产纯碱 .....	243
12.5 烧碱的生产 .....	244
12.5.1 电解食盐水溶液的基本原理 .....	244
12.5.2 电解食盐水溶液生产烧碱技术 .....	244
思考题 .....	245

## 参考文献

Page **246**

# 绪论

## 0.1 化学工业概述

### 0.1.1 化学工业在国民经济中的作用与地位

化学工业是以自然矿物质或以化学物质为原料生产化工产品的产业，是典型的技术密集型、资金密集型、人才密集型产业。应该说，一个国家的化工技术水平完全可以代表该国的经济发展水平。目前，世界范围内化学工业共有7万~8万种产品，中国大约有4万多种。化工涉及的相关领域广、依存度高、带动性强，在国民经济中具有举足轻重的作用。

经过近百年的发展，化工行业已成为拉动经济增长的中坚力量。上到载人航天，下到百姓生活，从食物到衣着、从汽车到房屋、从化肥到建材、从原料到燃料、从潜海到航空、从民生到国防，化学工业与经济社会发展及人类衣食住行息息相关。

在农业领域，我国用仅占世界9%的耕地养活了占世界21%的人口，其中化肥的作用功不可没，对我国粮食增产的贡献率超过40%。此外，化工产业提供的大量农用塑料薄膜，加上农药的合理使用以及大量农业机械所需的各类燃料，使其成为支援农业的主力军。

在交通领域，代步工具的现代化（汽车、轮船、飞机）也给人们出行带来了极大的便利。这些交通工具的制造和行驶，应用了许许多多的石油和化工产品，在其中起着举足轻重的作用。以中国重要支柱产业的汽车为例：化工为汽车工业提供油品；为汽车轻质化提供塑料，如保险杠、油箱、仪表盘、方向盘、坐垫、顶篷及内装饰件、车灯罩及各种零配件等；为汽车提供包括轮胎、胶管、胶带密封件、减震件、雨刷胶条等橡胶；为汽车防腐、耐候及美观要求提供涂料；为汽车提供装饰用的胶黏剂、密封胶、织物等。汽车的发展离不开化学工业的推动。

在建筑领域，建材是化工产品的重要应用领域，如塑料管材、门窗、涂料等化学建材应用广泛。

在轻工领域，相关新材料、新工艺、新产品的开发与推广，无不有化工产品的身影，需要精细化工技术为其提供支持。

在人们日常生活方面，化工产品在服装、医药、食品等领域有广泛应用，包括化纤、塑料、橡胶等三大合成材料，大量高性能新材料，有些产品的性能已超过天然材料，是老百姓衣、食、住、行、用的重要保障。

总之，化学工业在国民经济和人民生活领域占有十分重要的地位和作用，由于化学工业能综合利用资源和能源，生产过程中容易实现连续化和自动化，劳动生产率高，因此经济效益显著，它是国民经济的支柱产品之一。近20年来，中国化学工业的发展速度远远超过了发达国家。20世纪90年代后，石油化工、精细化工和农用化学品是中国化工发展的重点。21世纪，新型合成材料、精细化工、生物化工、微电子化工、纳米材料、橡胶加工业、化工环保业将成为化学工业的主要增长点。

### 0.1.2 化学工业的分类

化学工业按产品可分为无机化工、基本有机化工、高分子化工、精细化工及生物化工；

按原料来源可分为石油化工、煤化工、天然气化工和油页岩化工；按中国工业统计方法分，有合成氨及肥料工业、硫酸工业、制碱工业、无机物工业（包括无机盐和单质）、基本有机原料工业、染料及中间体工业、产业用炸药工业、化学农药工业、医药药品工业、合成树脂与塑料工业、合成纤维工业、合成橡胶工业、橡胶制品工业、涂料及颜料工业、信息记录材料工业（包括感光材料、磁记录材料）、化学试剂工业、军用化学品工业、化学矿开采工业和化工机械制造工业。

### 0.1.3 化学工业的特点

#### (1) 产品种类繁多，工艺复杂

化工产品种类繁多，每一种产品的生产不仅需要一种至几种特定的技术，而且原料来源多种多样，工艺流程也各不相同。生产同一种化工产品，也有多种原料来源和多种工艺流程，也可以用同一原料制造许多不同产品。一个产品有不同的用途，而不同的产品有时却有同一用途。一种产品往往又是生产其他产品的原料、辅助材料或中间体。由于化工生产技术的多样性和复杂性，任何一个大型化工企业的生产过程要能正常进行，就需要有多种技术的综合运用。

#### (2) 装置、经济规模大型化

化工生产的主要设备大多是塔、釜、罐、器及管道，大致上讲，其生产能力与容积成正比，而其制造费用却与包围该容积的容器表面积成正比。因此，装置的投资费用与其生产能力的 $2/3$ 次方成正比（所谓的0.6次方法则），即装置规模愈大，单位生产能力的投资愈省，成本愈低，这便是化工装置的规模经济性。化学工业大型化还可大大提高劳动生产率，有利于开展副产品和能源的综合利用。当然装置大型化也有一个上限，当生产能力增加到某个程度时，不利因素将会发生作用，例如，生产能力的扩大会导致生产过度集中，原料供应和市场销售的半径势必延伸，原料和成品运输成本自然增加。不同产品的最优经济规模取决于产品的市场供求关系、原料的供应能力以及技术和管理的发展水平。

#### (3) 技术和资金密集性

由于化学工业的工艺复杂性及生产装置的大型化，使得化学工业是一个技术、资金密集化的生产部门。在这个部门集中了多种专业的技术专家和受过良好教育及训练有素的管理技术人员和技术人员，包括新产品、新技术研发、生产，装置运行，科技信息工作，销售等各项工作。装置一次性投资很大，例如，一个年产值30万吨合成氨、45万吨尿素的化肥厂，投资达到40亿~50亿元。由于化工技术更新速度快，化工厂设备的寿命一般不超过15年。化学工业技术密集表现在生产工艺流程长，从原料到产品，涉及化工、机械、电子、仪表等诸多科学领域，具有高的知识密集度和很强的技术综合型。很少有几个工业部门像化学工业这样如此多地依靠科学技术。

#### (4) 易污染、重污染

化学工业产品多数是易燃、易爆、有毒的化学物质，在生产、储存、运输、使用等过程中，如果发生泄漏，就会严重危害人的生命健康、污染环境。化学工业生产过程中会产生废气、废水和废渣，若不适当处理，会给大气、水、土壤及环境带来危害。例如1984年，美国联合碳化公司在印度博帕尔市的农药厂，操作不当致使地下储罐内剧毒的甲基异氰酸酯因压力升高而爆炸外泄。产生的毒气致2万人死亡，20多万人受害，5万人失明，孕妇流产或产下死婴，受害面积40平方公里，数千头牲畜被毒死。1999年比利时等国相继发生的二噁英污染事件，导致畜禽类产品及乳制品严重污染，造成全世界大恐慌。因而，现代化化工企业非常注意环境保护，除制定相关的管理制度外，还要投入巨资来保护环境。近年来，传统



的先污染后治理的理念已逐渐被“绿色化学”和“友好化学”的理念所取代。

#### (5) 能量消耗大

化学工业伴随着化学反应，化学反应又伴随着吸热和放热，同时装置的运行也需要煤、石油、天然气等能源作为生产原料，因而化学工业是一个能耗大的工业，在我国化学工业能源的消耗占9%。但同时也是节能潜力很大的工业，现代化学工业非常重视能量的充分利用，通过技术改造与革新、能量的循环利用可减低能耗，这是化学工业多年的努力方向。在换热器的设计上，过去强调较少传热面积以减少投资的理念逐渐被有效利用能源、尽可能提高能量利用率的新理论所代替。因而管道纵横、反应器连换热器、加热管与冷却管并行，已成为现代化企业的标志性特征。

## 0.2 化学工业的发展简史

### 0.2.1 古代化学加工

化学加工形成工业之前的历史可以追溯到远古时期，从那时起人类就能运用化学加工方法制作一些生活必需品，如制陶、酿造、染色、冶炼、制漆、造纸以及制造医药、火药和肥皂等等。产生于3世纪的欧洲炼金术到了15世纪才转为制药，在制药研究过程中，实验室制得了一些化学药品，如硫酸、硝酸、盐酸和有机酸。这些为18世纪中叶化学工业的形成奠定了基础。

### 0.2.2 早期化学工业

从18世纪中叶至20世纪初是化学工业发展的初级阶段，在这个阶段无机化工已初具规模，有机化工正在形成，高分子化工处于萌芽阶段。

第一个典型的化工厂是在18世纪40年代建立在英国的铅室法硫酸厂，它先以硫磺为原料，后以硫铁矿为原料，产品主要用于制硝酸、盐酸及药物。1775年N. 吕布兰提出了以食盐为原料，用硫酸处理得芒硝( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )及盐酸，芒硝再与石灰石、煤粉配合入炉煅烧生成纯碱的方法，并在1791建成第一个吕布兰法碱厂，带动硫酸(原料之一)工业的发展。1890年在德国建成了第一个制氯工厂，1893年在美国建成了第一个电解食盐水溶液制氯和氢氧化钠的工厂。至此，整个化学工业的基础——酸、碱的生产已初具规模，无机化工基本形成。

随着纺织业的迅速发展，天然染料已不能满足需求，1856年英国人W. H. 珀金由苯胺合成了苯胺紫染料。后经剖析，天然茜素的结构为二羟基蒽醌，便以煤焦油中的蒽为原料，经氯化、取代、水解、重排等反应仿制了与天然茜素完全相同的产物。同时，制药工业、香料工业也相继合成了与天然产物相同的许多化学品。1867年，瑞典人A. B. 诺贝尔发明了迈特炸药，大量用于采掘和军工。1895年建立了以煤和石灰为原料，用电热法生产电石的第一个工厂，电石经水解生成乙炔，以此为起点生产乙醛、乙酸等一系列基本有机原料。有机化工逐渐形成。

1839年美国C. 固特异用硫酸及橡胶助剂加热天然橡胶，使其交联成弹性体，应用于轮胎及其他橡胶制品，用途甚广。1869年美国人J·W·海厄特用樟脑增塑硝酸纤维制成赛璐珞塑料。1891年H. B. 夏尔多内在法国贝松桑建成了第一个硝酸纤维人造丝厂。1909年美国L. H. 贝克兰制成了酚醛树脂，俗称电木，为第一个热固性树脂，广泛用于电气绝缘材料。人类开创了高分子的化工时代。



### 0.2.3 近代化学工业

从 20 世纪初到 20 世纪 60~70 年代是化学工业真正成为大规模生产的阶段。在这个阶段,合成氨和石油化工得到了发展,高分子化工进行了开发,精细化工、生物化工逐渐兴起。在这个时期,英国人 G. E. 戴维斯和美国人 A. D. 利特尔等人提出了单元操作的概念,这些为化学工程建立奠定了基础。

20 世纪初, F. 哈伯利用物理化学的平衡理论,提出了用氨气和氢气直接合成氨的催化方法,以及原料其余产品分离后再循环使用的设想, C. 博施进一步解决了设备问题,因战争的需要, 1912 年,在德国奥堡建成了第一座日产 30t 的合成氨厂。合成氨主要用焦炭为原料,到了 20 世纪 50 年代,改为石油和天然气为主要原料,从而使化学工业和石油工业更加密切联系起来。一般认为,合成氨是现代化肥工业的开端,也标志着现代化学工业的伊始。

1920 年,美国用丙烯生产异丙醇,这是大规模发展石油化工的开端。1939 年,美国标准油公司开发了临氢催化重整过程,这成为芳烃的重要来源。1941 年,美国建成了第一套以炼厂气为原料用管式炉裂解乙烯的装置,开创了乙烯工业新时代(由于基本有机原料和高分子材料的单体主要以乙烯为原料,人们以乙烯的产量作为衡量有机化工的标志)。1951 年,以天然气为原料,用水蒸气转化法得到一氧化碳及氢,使“碳一化学”受到重视,目前主要用于生产氨、甲醇和汽油。在第二次世界大战以后,由于化工产品市场不断扩大,石油可提供大量廉价有机化工原料,同时由于化工生产技术的发展,逐步形成石油化工。甚至不产石油的地区,如西欧、日本等也以原油为原料发展石油化工。20 世纪 80 年代,90% 以上的有机化工产品来自石油化工,石油化工得到了全面发展。

1937 年,德国法本公司开发丁苯橡胶获得成功,以后各国又陆续开发了顺丁、丁基、丁腈、异戊、乙丙等多种合成橡胶。1937 年,美国人 W. H. 卡罗瑟斯成功合成尼龙 66,以后涤纶、维尼纶和腈纶等陆续投产,使其逐渐占据了天然纤维和人造纤维的大部分市场。继酚醛树脂之后,又出现了脲醛树脂、醇酸树脂等热固性树脂。20 世纪 30 年代后,热塑性树脂品种不断出现,如聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚乙烯等。在这个时期还出现了耐腐蚀的材料,如有机硅树脂、氟树脂,其中聚四氟乙烯有“塑料之王”的称号。高分子化工得到了开发利用。

在染料方面,发明了活性染料,使染料和纤维以化学键结合。在农药方面,20 世纪 40 年代,瑞士人 P. H. 米勒发明了第一个有机氯农药 TTD,后又相继制成了系列有机氯、有机磷杀虫剂。到了 20 世纪 60 年代,杀菌剂、除草剂发展极快,出现了吡啶类除草剂和咪唑杀菌剂等品种。在医药方面,1910 年,法国人 P. 埃尔利希制成了 606 砷制剂,随后又制成了 914 (新肿凡纳明)。20 世纪 30 年代对磺胺类化合物和甾族化合物进行了结构的改进,使其发挥了特效作用。1928 年,英国人 A. 弗莱明发现了青霉素,开辟了抗菌药物新领域。在涂料方面,摆脱了天然油漆的传统,改用合成树脂,如醇酸树脂、环氧树脂和丙烯酸树脂等。精细化工逐渐兴起。

### 0.2.4 现代化学工业

20 世纪 70 年代以来,化学工业进入了现代阶段。在这个时期,化学工业各企业间竞争激烈,一方面由于对反应过程的深入了解,可以使一些传统的基本化工产品的生产装置日趋大型化,以降低成本。与此同时,由于新技术革命的兴起,对化学工业提出了新的要求,推动了化学工业的技术进步,发展了精细化工、超纯物质、新型结构材料和功

能材料。规模大型化、信息技术化、高性能合成材料、能源材料和节能材料、专用化学品是现代化学工业的特点。合成氨单系列生产能力已发展到日产 1800~2700t, 其吨氨总能量消耗大幅度下降。乙烯装置最大生产能力达年产 680kt, 提高了烯烃收率, 降低了能耗。其他化工生产装置如硫酸、烧碱、基本有机原料、合成材料等均向大型化发展。这样, 减少了对环境的污染, 提高了长期运行的可靠性, 促进了安全、环保的预测和防护技术的迅速发展。

### 0.3 化工生产过程分析

化学工业产品种类繁多, 生产流程千差万别, 但是化工厂的生产过程有着共同之处。从原料经过化学反应获得产品的任一化工生产过程都可概括为原料预处理、化学反应和产物的分离精制三部分。第一部分为依据化学反应的要求对原料进行处理, 多为物理过程, 包括原料破碎、磨细和筛分, 加热原料以达到反应要求温度, 原料提纯等。由于化学反应的不完全以及某些反应物的过量, 又因为副反应的存在, 化工生产过程的反应物实际为未反应物、副产品和产品的混合物。要得到符合要求的产品, 需要对产物进行分离和精制。这一步主要也是物理过程, 例如, 蒸馏、吸收、萃取、结晶等。在化工生产中, 原料预处理和产物的分离, 缺一不可, 在化工生产中占的比例非常大, 一个现代化、设备林立的化工厂, 化学反应的设备为数不多, 绝大多数装备都在进行着各种原料预处理和产物分离的过程。然而, 化学反应是整个化工生产过程的核心, 起着主导作用, 它的要求和结果界定着原料预处理的程度和产物分离的任务, 直接影响到其他两部分的设备投资和操作费用。

综上所述, 化工生产过程可分为物理和化学两类过程。物理过程按其操作目的可分为物料的增(减)压、输送、混合与分散、加热与冷却以及混合物的分离等几种。考虑到被加工物料的不同相态、过程原理和采用方法的差异, 还可将物理过程进一步细分为一系列的遵循不同物理规律, 具有某种用途的基本操作过程, 称之为单元操作, 如表 0-1 所示。

表 0-1 单元操作

类别	单元操作	目的	原理
动量传递	流体输送	物料以一定的流量输送	输入机械能
	沉降	从气体或液体中分离悬浮的颗粒或液滴	密度差引起的沉降运动
	过滤	从气体或液体中分离悬浮的颗粒	尺度不同的截留
	混合	使液体与其他物质均相混合	输入机械能
热量传递	加热、冷却	使物料升温、降温或改变相态	利用温度差传入或移出热量
	蒸发	使溶剂汽化与不挥发性物质混合	供热以汽化溶剂
质量传递	吸收	用液体吸收剂分离气体混合物	组分溶解度不同
	蒸馏	通过汽化和冷凝分离液体混合物	组分挥发能力差异
	萃取	用液体萃取剂分离液体混合物	组分溶解度的差异
	吸附	用固体吸附剂分离气体或液体混合物	组分在吸附剂上的吸附能力差异

从单元操作概念出发, 化工生产过程实际上是由若干个单元操作和化学反应过程构成的一个整体。单元操作中所涉及的原理虽然表面上各异, 但是它们所遵循的物理规律, 从本质上看又可归纳为动量传递、热量传递和质量传递三种传递过程。传递过程是联系化学工业中单元操作的一条线索, 成为化工学科研究的主要对象之一。本书第 1 章~第 4 章将对典型的单元操作进行讨论。

化学反应亦可类似于单元操作, 按其反应的特点寻求共性, 提炼出诸多单元作业。例如, 氧化、氯化、硝化、磺化等。然而这种划分仅着重于化学方面, 并未深入到工业生产规

模下化学反应过程的特征。工业规模下的化学反应过程具有设备大型化、生产连续化、处理物料量大的特点,在此条件下化学反应进行的同时,伴随着反应物料的混合、反应组分的传递和大量反应热的吸入与放出等物理过程。这些过程影响反应物系的浓度和温度,且与反应器的尺寸和形状有关。从工业反应装置的实际出发,研究工业规模下化学反应的动力学规律——宏观动力学,形成了化工学科研究的一个重要方面。本书的第5章将讨论工业规模下的反应过程。

对化工生产过程中物理过程和工业规模化学反应过程进行分析,剖析过程实际,找出共同点,抽提出统一的研究对象加以研究,是发展化工生产的需要,也促进了化工学科的发展。三种传递过程和反应工程,所谓的“三传一反”构成了贯穿于化学工程学科研究的一条主线。

化工生产既不是化学实验的简单再现,也不是化学反应的直接放大。化学实验研究成果,只能说明所研究的过程在理论上的可能性,而要开发于工业规模生产,形成工艺流程,除要考虑实验室无法考虑的各种工程技术问题外,还需对过程进行经济评价,使化工生产过程技术上可行、经济上合理。此外,还必须适应现代化学工业的新要求,强调安全生产,合理利用能量、积极采用节能技术,重视环境保护、合理开发和利用自然资源,生产环境友好的产品,创建清洁生产环境,大力发展绿色化工,是化学工业赖以持续发展的关键之一。

## 0.4 本课程的性质、任务、主要内容和学习方法

化工过程基础教材适用于工科院校非化工类专业化工基础教学,同时也适用于高职学校化工类专业使用,亦可作为其他高等院校与化学相关专业的教学参考书。

本课程的主要任务是以石油化工及其相关行业作为择业目标的非化工类学生的共性为基点,介绍化工生产基本单元、典型产品生产及应用的基础知识,为学生搭建一个更加深入接触和了解化工行业专业知识,并能够在化工行业及其相关领域驾驭其本职工作的平台。

本书注重理论与实践的结合,层次分明、重点突出,讲述化工基础知识。分为四篇,化工单元操作过程、化学反应过程、石油化工生产过程、其他化工产品生产过程。包括流体流动过程及设备、传热过程及设备、传质过程及设备、化学反应过程及反应器、石油炼制、烯烃及其下游产品生产、芳烃及其下游产品生产、高分子化工概述、精细化工产品概述、煤化工生产过程概述、典型无机化工产品生产过程等内容。

学习时应注意理论与实际相结合。通过讲解、作业、课堂讨论、实习、参观等多种方式,加深对化工生产及典型化工产品的了解和应用。

### 思考题

0-1 何为化学工业?简述化学工业在国民经济中的地位和作用。

0-2 试述化学工业的特点、分类及特点。

0-3 本课程的主要学习内容有哪些?

0-4 非化工工艺类专业学生学习本门课程有何意义和作用?

0-5 试述化工生产过程的组成及现代化工生产过程的新要求。