

高等学校理工科化学化工类规划教材

# PETROCHEMICAL TECHNOLOGY



# 石油化工工艺学

殷德宏 张雄福 鲁金明 杨建华 编



大连理工大学出版社  
Dalian University of Technology Press

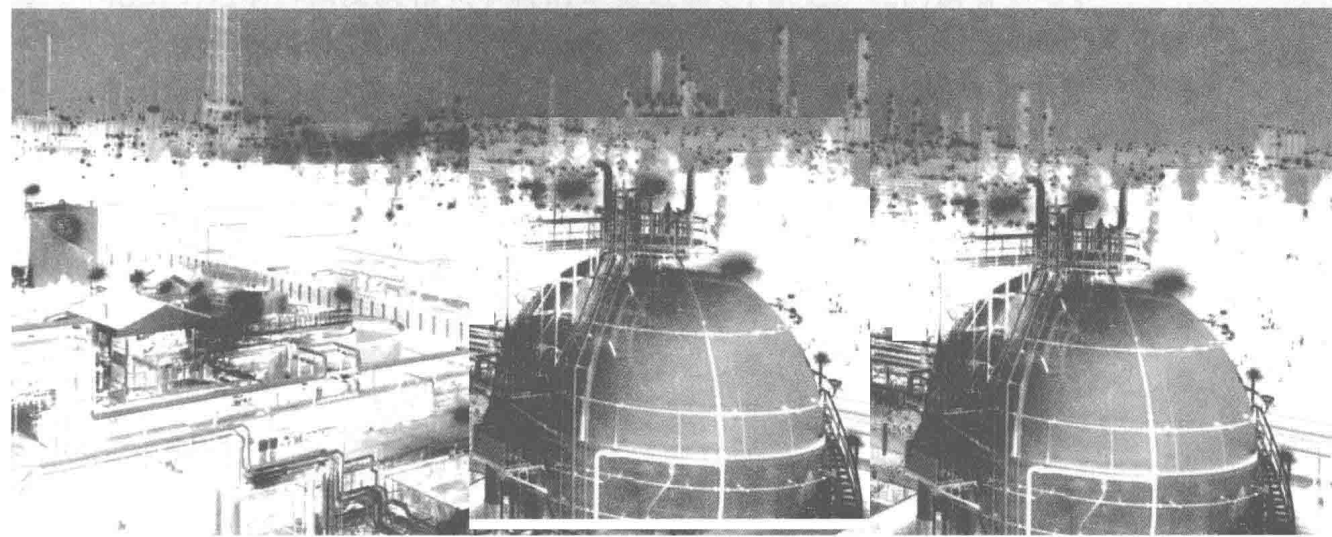
石油(TK)工程综合教材

大连理工大学化工学院编

大连理工大学出版社

ISBN 7-410-01000-0

# PETROCHEMICAL TECHNOLOGY



## 石油化工工艺学

殷德宏 张雄福 鲁金明 杨建华 编

图书在版编目(CIP)数据

石油化工工艺学 / 殷德宏等编. — 大连 : 大连理工大学出版社, 2016. 3  
ISBN 978-7-5685-0319-8

I. ①石… II. ①殷… III. ①石油化工—工艺学—高等学校—教材 IV. ①TE65

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 033112 号

大连理工大学出版社出版

地址:大连市软件园路 80 号 邮政编码:116023

发行:0411-84708842 传真:0411-84701466 邮购:0411-84708943

E-mail:dutp@dutp.cn URL:http://www.dutp.cn

大连业发印刷有限公司印刷

大连理工大学出版社发行

---

幅面尺寸:185mm×260mm 印张:14.75 字数:339千字  
2016年3月第1版 2016年3月第1次印刷

---

责任编辑:于建辉

责任校对:许蕾

封面设计:冀贵收

---

ISBN 978-7-5685-0319-8

定价:35.00元

# 前 言

《化工工艺学》(徐绍平,殷德宏,仲剑初编著;大连理工大学出版社出版)自2004年出版以来,受到广大读者的欢迎,目前已修订至第二版。作为教科书,《化工工艺学》满足了部分高校无机化工、石油化工和煤化工等学科教学的需要。但由于学时和篇幅所限,原书尚不能兼顾广度和深度。因此,编者在《化工工艺学》的无机化工单元、石油化工单元和煤化工单元基础上,分别扩充编写,形成三本书,即《无机化工工艺学》《石油化工工艺学》和《煤化工工艺学》,以反映相关学科的最新进展,并供更广泛的读者参考。

本书为《石油化工工艺学》部分,以化学反应为核心,系统介绍了基本有机化工的发展、石油化工原料及产品的开发利用,重点叙述烃类水蒸气裂解以及芳烃及其衍生物催化脱氢、氧化脱氢、催化氧化、羰化反应的生产方法、生产原理、工艺条件、催化剂和反应器特点,技术经济指标和能量有效利用等内容。以不同反应的热力学、动力学规律分析为切入点,探讨了工艺条件、催化剂、反应器的选择对反应和原子经济性的影响。通过石油的组成和性质及与有机化工产品的关联分析,拓展了传统意义上以石油为原料的有机化工的原料、产品领域。将绿色化工的应用和发展、甲醇制烯烃工艺、沸石膜乙苯脱氢工艺等前沿课题引入,反映了可持续发展、循环经济等理念对化学工业发展的影响。此外,还介绍了反应过程的物料衡算和热量衡算的基本原理和方法。

本书主要作为高等学校化工类、能源类相关专业的教材,也可供从事化学工程与工艺的教师以及相关专业的生产、管理等工程技术人员参考。为便于学生学习,每章均设有思考题与习题。

本书共8章,各章编写工作分工如下:1~5章(殷德宏),第6章(张雄福),第7章(鲁金明),第8章(杨建华)。各章思考题与习题由殷德宏完成,在编写过程中王金渠教授、赵宗昌教授及于志家教授给予了大力支持,并提出了许多宝贵意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

由于编者时间和水平有限,书中可能会存在不足之处,恳请广大读者批评指正。

您有任何意见或建议,请通过以下方式与大连理工大学出版社联系:

邮箱 jcjf@dutp.cn

电话 0411-84708947

编者  
2016年3月

# 目 录

## 第1章 绪 论 /1

- 1.1 石油化工的概貌及发展过程 /1
    - 1.1.1 石油化工的概貌 /1
    - 1.1.2 石油化工的发展过程 /3
  - 1.2 石油化工与国民经济的关系 /4
    - 1.2.1 石油化工与能源的关系 /4
    - 1.2.2 石油化工与农业的关系 /4
    - 1.2.3 石油化工与建筑、国防军工的关系 /5
    - 1.2.4 石油化工与机械电子行业的关系 /5
    - 1.2.5 石油化工与人们日常生活的关系 /5
  - 1.3 化学工业、化学工艺及化学工程 /6
  - 1.4 石油化工工艺学研究的范畴、内容和特点 /6
    - 1.4.1 石油化工工艺学研究的范畴 /6
    - 1.4.2 石油化工工艺学研究的内容和特点 /6
- 思考题与习题 /7
- 参考文献 /7

## 第2章 石油化工基础知识 /8

- 2.1 石油化工生产工艺流程和工艺流程图 /8
  - 2.1.1 工艺流程 /8
  - 2.1.2 工艺流程图 /8
  - 2.1.3 工艺流程的组织原则及评价方法 /10

- 2.2 石油化工生产过程 /12
    - 2.2.1 原料预处理 /12
    - 2.2.2 化学反应 /12
    - 2.2.3 产品的分离和精制 /13
  - 2.3 石油化工生产过程中的主要效率指标 /13
    - 2.3.1 生产能力、生产强度和开工因子 /13
    - 2.3.2 转化率、选择性和收率 /14
    - 2.3.3 平衡转化率和平衡产率 /17
    - 2.3.4 绿色化学的“原子经济性” /17
  - 2.4 石油化工催化剂 /19
    - 2.4.1 催化剂的基本特征 /20
    - 2.4.2 催化剂的主要作用 /20
    - 2.4.3 催化剂的分类 /21
    - 2.4.4 催化剂的化学组成 /22
    - 2.4.5 催化剂的物理性质 /22
    - 2.4.6 催化剂的活性、选择性和寿命 /25
    - 2.4.7 催化剂的失活和再生 /25
  - 2.5 石油化工工艺计算 /26
    - 2.5.1 反应过程的物料衡算 /26
    - 2.5.2 反应过程的热量衡算 /30
- 思考题与习题 /31
- 参考文献 /32

## 第3章 石油的化学组成及石油加工 /34

- 3.1 石油的化学组成 /34
  - 3.1.1 石油的性质 /34
  - 3.1.2 石油的元素组成 /34
  - 3.1.3 石油的馏分组成 /35
  - 3.1.4 石油的烃类组成 /35

- 3.1.5 石油中的非烃化合物 /36
- 3.1.6 胶质-沥青质 /37
- 3.2 石油加工 /37
  - 3.2.1 常减压蒸馏工艺 /38
  - 3.2.2 热加工 /40
  - 3.2.3 催化裂化 /42
  - 3.2.4 催化重整 /46
  - 3.2.5 加氢裂化 /48
  - 3.2.6 石油的三次加工 /50
- 思考题与习题 /50
- 参考文献 /51

#### 第4章 炔类裂解 /52

- 4.1 概述 /52
  - 4.1.1 烯烃在石油化工中的地位 /52
  - 4.1.2 炔类裂解生产乙烯 /55
- 4.2 裂解反应和反应机理 /56
  - 4.2.1 炔类的裂解反应 /56
  - 4.2.2 炔类裂解反应机理和动力学 /59
- 4.3 裂解原料与工艺条件 /61
  - 4.3.1 裂解原料与特性参数 /61
  - 4.3.2 裂解过程的常用指标 /63
  - 4.3.3 工艺条件对裂解的影响 /64
- 4.4 管式裂解炉及裂解工艺流程 /67
  - 4.4.1 管式裂解炉 /67
  - 4.4.2 裂解气的急冷、急冷换热器及清焦 /70
  - 4.4.3 裂解气的预分馏 /73
  - 4.4.4 裂解气的裂解工艺流程 /73
  - 4.4.5 裂解汽油与裂解燃料油 /75
- 4.5 裂解气的净化 /76
  - 4.5.1 概述 /76
  - 4.5.2 裂解气酸性气体脱除 /77
  - 4.5.3 裂解气的脱水干燥 /80
  - 4.5.4 裂解气的脱炔系统 /82

- 4.5.5 甲烷化法脱除裂解气中的CO /86
- 4.6 裂解气的压缩与制冷系统 /87
  - 4.6.1 裂解气的压缩系统 /87
  - 4.6.2 裂解的制冷系统 /90
  - 4.6.3 多级蒸气压缩制冷循环系统 /95
  - 4.6.4 中间冷凝器和中间再沸器 /95
- 4.7 裂解气的分离方法及深冷分离流程 /96
  - 4.7.1 裂解气的分离方法 /96
  - 4.7.2 裂解气的深冷分离流程 /98
  - 4.7.3 裂解气分离系统主要评价指标 /101
- 4.8 裂解气分离系统的主要运行装置 /102
  - 4.8.1 脱甲烷塔系统和冷箱 /102
  - 4.8.2 脱乙烷塔(脱 C<sub>2</sub> 塔)系统 /106
  - 4.8.3 脱丙烷塔(脱 C<sub>3</sub> 塔)系统 /108
  - 4.8.4 脱丁烷塔(脱 C<sub>4</sub> 塔)系统 /108
  - 4.8.5 乙烯精馏塔和丙烯精馏塔 /109
  - 4.8.6 乙烯总装置流程 /111
- 4.9 乙烯工业的发展方向与技术展望 /112
  - 4.9.1 概述 /112
  - 4.9.2 乙烯装置新工艺技术研究进展 /113
  - 4.9.3 催化精馏加氢技术 /115
  - 4.9.4 抑制裂解炉结焦技术 /116
  - 4.9.5 压缩和制冷技术 /116
  - 4.9.6 其他方面 /117
- 思考题与习题 /117

参考文献 /118

**第5章 芳烃转化及生产 /119**

- 5.1 概 述 /119
  - 5.1.1 芳烃生产意义 /119
  - 5.1.2 芳烃来源与生产方法 /119
- 5.2 芳烃转化过程 /122
  - 5.2.1 概 述 /122
  - 5.2.2 芳烃的歧化和烷基转移 /124
  - 5.2.3  $C_8$  芳烃的异构化 /130
  - 5.2.4 芳烃的烷基化 /134
  - 5.2.5 芳烃的脱烷基化 /140
- 5.3  $C_8$  芳烃的分离 /143
  - 5.3.1  $C_8$  芳烃的组成与性质 /143
  - 5.3.2  $C_8$  芳烃单体的分离 /144
  - 5.3.3 模拟移动床吸附分离  $C_8$  芳烃的基本原理 /147

思考题与习题 /150

参考文献 /150

**第6章 催化加氢与催化脱氢过程 /151**

- 6.1 概 述 /151
  - 6.1.1 催化加氢反应类型 /151
  - 6.1.2 催化脱氢反应类型 /152
- 6.2 催化加氢和催化脱氢反应的一般规律 /153
  - 6.2.1 催化加氢反应的一般规律 /153
  - 6.2.2 催化脱氢反应的一般规律 /156
- 6.3 CO 加氢合成甲醇 /159
  - 6.3.1 概 述 /159
  - 6.3.2 合成甲醇的基本原理 /159
  - 6.3.3 合成甲醇催化剂 /162
  - 6.3.4 合成甲醇工艺流程 /163
  - 6.3.5 合成甲醇的技术进展 /165
- 6.4 乙苯催化脱氢制苯乙烯 /166
  - 6.4.1 概 述 /166

6.4.2 乙苯脱氢制苯乙烯工艺流程 /168

6.4.3 乙苯脱氢制苯乙烯新技术 /169

6.5 正丁烯氧化脱氢生产丁二烯 /173

6.5.1 概 述 /173

6.5.2 丁二烯生产方法简介 /174

6.5.3 正丁烯氧化脱氢原理 /175

6.5.4 催化剂和催化机理 /177

6.5.5 工艺条件的选择 /177

6.5.6 正丁烯氧化脱氢工艺流程 /179

思考题与习题 /180

参考文献 /181

**第7章 烃类选择性催化氧化 /182**

- 7.1 概 述 /182
  - 7.1.1 催化氧化在化学工业中的重要地位 /182
  - 7.1.2 氧化过程的特点 /182
- 7.2 均相催化氧化 /183
  - 7.2.1 自催化氧化 /183
  - 7.2.2 配位催化氧化 /184
  - 7.2.3 乙烯均相配位催化氧化生产乙醛工艺 /185
  - 7.2.4 烯烃的液相环氧化(环氧丙烷的生产) /188
- 7.3 非均相催化氧化 /192
  - 7.3.1 重要的非均相催化氧化反应 /192
  - 7.3.2 非均相催化氧化反应机理 /195
  - 7.3.3 乙烯环氧化制环氧乙烷 /195
  - 7.3.4 乙烯氧化法生产环氧乙烷工艺流程 /200
- 7.4 丙烯氨氧化制丙烯腈 /201
  - 7.4.1 丙烯腈的性质、用途及其工艺生产概况 /201



- 7.4.2 丙烯氨氧化制丙烯腈的  
反应原理 /203
- 7.4.3 丙烯氨氧化制丙烯腈的  
工艺条件 /205
- 7.4.4 丙烯氨氧化制丙烯腈的  
工艺流程 /206
- 7.5 异丙苯法催化氧化生产  
苯酚、丙酮 /210
  - 7.5.1 苯酚的用途及生产概况 /210
  - 7.5.2 苯酚、丙酮的生产原理 /211
  - 7.5.3 异丙苯法生产苯酚、丙酮的  
反应机理 /213
  - 7.5.4 异丙苯法生产苯酚、丙酮的  
工艺流程 /214
- 思考题与习题 /215
- 参考文献 /215

**第8章 羰基化反应 /217**

- 8.1 概 述 /217
  - 8.1.1 羰基化反应类型 /217
  - 8.1.2 羰基化反应催化剂 /218
  - 8.1.3 反应机理和动力学 /219
- 8.2 甲醇羰基化合成醋酸 /221
  - 8.2.1 甲醇低压法羰基化合成  
醋酸的原理 /221
  - 8.2.2 甲醇低压法羰基化合成  
醋酸的工艺流程 /223
- 8.3 丙烯氢羰基化合成  
(丁)辛醇 /224
  - 8.3.1 (丁)辛醇的合成途径 /225
  - 8.3.2 丙烯低压法氢羰基化合成  
正丁醛的工艺流程 /225
- 思考题与习题 /226
- 参考文献 /227

## 绪 论

### 1.1 石油化工的概貌及发展过程

#### 1.1.1 石油化工的概貌

石油化学工业是化学工业的重要组成部分,在国民经济的发展中起着重要作用,是我国国民经济的支柱产业之一,主要生产石油产品和石油化学品。

石油化学工业按其加工方式与用途划分,可分为两大分支:一是石油经过加工生产各种燃料油(汽油、煤油、柴油等)、润滑油以及石油液化气、石油焦、石蜡、沥青等石油产品。二是把石油通过分馏、裂解、分离,用于合成基本有机原料,生产各种石油化学品。前一分支是石油炼制体系,后一分支是石油化工体系,生产的石油产品和石油化学品统称为石油化工产品。

通常把石油和天然气为起始原料,通过物理、化学加工方法最终生产化工产品的工艺过程称石油化学工业(petrochemical industry),简称石油化工。

石油产品和石油化学品是相互依存相互渗透的,提供二者的生产水平不但推动了石油化工的技术发展,也是提高国民经济的主要途径。

石油化工是一个庞大而复杂的工业部门,其产品数不胜数。要把数以万计的化工产品描绘清楚,是十分困难的。但是,可以从石油加工过程及石油化工上、中、下游产品的关系很好地认识石油化学工业的概貌,如图 1-1 所示。

石油化工产品生产主要包括三大过程:基本有机化工产品生产过程、有机化工产品生产过程、高分子化工产品生产过程和精细化工产品生产过程。

##### 1. 基本有机化工产品生产过程

石油馏分(如轻汽油)及天然气通过裂解、分离可制取三烯(乙烯、丙烯、丁二烯)、三苯(苯、甲苯、二甲苯)、乙炔和萘等基本有机化工原料,芳烃亦可来自石油轻馏分的催化重整。

基本有机化工生产主要是为其他有机化工产品生产提供基础原料,而且数量很大,又称基本有机合成工业。其最起始原料是天然气、石油、煤以及农林副产品等天然资源,它们的储量丰富。因此,基本有机化工的发展具有雄厚的资源基础,是有机化工的基础。其

中乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯、乙炔、萘等是重要的基本有机化工原料,常称“八大重要基本有机化工原料”。

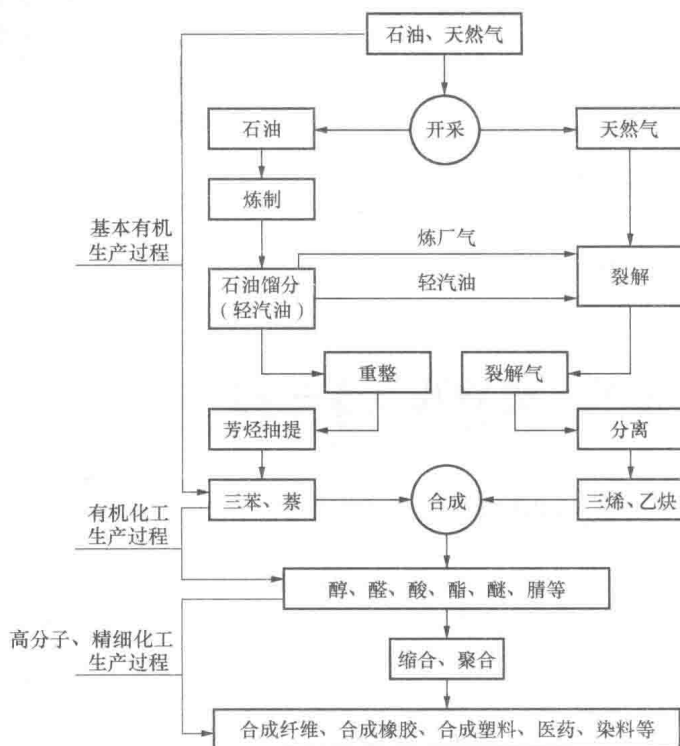


图 1-1 石油化学工业的概貌

## 2. 有机化工产品生产过程

由基本有机化工原料制得的化工产品称为有机化工产品。例如各种有机酸、醇、醛、酮和酯以及卤代烃、含硫和含氧的脂肪族化合物等。在“八大重要基本有机化工原料”的基础上,通过各种合成步骤,可制得如甲醇、甲醛、乙醇、乙醛、醋酸、环氧乙烷、丙三醇、异丙醇、丙酮、环氧丙烷、丁醇、辛醇、苯酚、苯酐等有机化工产品,也称 14 种有机化工原料。

## 3. 高分子、精细化工生产过程

高分子化工生产是在基本有机化工原料和有机化工原料的基础上,将烯烃、芳烃通过缩合、聚合制得三大合成材料(合成树脂、合成橡胶、合成纤维)等高分子产品。主要包括:橡胶:顺丁胶、丁苯胶、丁腈胶、氯丁胶、异戊二烯胶(五种);塑料:聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、ABS;纤维:涤纶、锦纶、腈纶、丙纶、维纶等。

精细化工产品生产的原料大部分来自廉价的石油化工产品。如医药、染料、涂料等。21 世纪以来,各国专家对精细化工产品的定义有了一些新的见解,欧美一些国家把产量小、按不同化学结构进行生产和销售的化学物质,称为精细化学品(fine chemicals);把产量小、经过加工配制、具有专门功能或最终使用性能的产品,称为专用化学品(specialty chemicals)。中国、日本等国则把这两类产品统称为精细化学品。

精细化工为石油化工提供高档末端材料。包括农药、合成染料、有机颜料、涂料、香料与香精、化妆品表面活性剂、食品添加剂、工业防菌防霉剂、电子化学品及材料、功能性高分子材料、生物化工制品等 40 多个行业和门类。随着国民经济的发展,精细化学品的开

发和应用领域将不断拓展,新的门类将不断增加。精细化工生产多项工业和尖端技术所需要的工程材料和功能性材料取得高附加值。所以,一般认为精细化工的发展程度已成为衡量石油化工发展水平的标准。

## 1.1.2 石油化工的发展过程

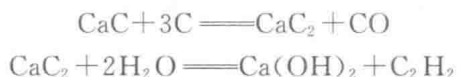
石油化工的发展是在煤化工的基础上发展起来的,基本有机化工原料的生产大致经过三个阶段,即初级阶段、煤化工阶段、石油化工阶段。

### 1. 初级阶段

在远古时代,人们通过农林副产品“发酵”和“干馏”的方法获得品种有限的有机原料,如粮食发酵制取酒精,木材干馏取得甲醇、丙酮、醋酸、苯酚等。不仅消耗大量农林副产品,而且满足不了工业需要,限制了基本有机化工的发展。直至采用以煤为原料,并解决了由煤制取基本有机化工原料(产品)的技术和装备之后,基本有机化工才逐渐发展成独立的工业。

### 2. 煤化工阶段

19世纪下半叶,随着钢铁工业的发展,炼焦工业已经具有相当大的规模,炼焦副产大量的煤焦油。当发现从煤焦油中可提取丰富的芳烃,并以芳烃为原料制取了染料、药物等少数有机化工产品,在一定程度上,也促进了染料工业的迅速发展。直至电石( $\text{CaC}_2$ )用于制取基本有机化工原料产品之后,才真正有了基本有机化工。电石是由焦炭或无烟煤与生石灰在电炉中熔融制取的,1895年建成了世界第一座电石厂,最初主要是用来生产乙炔,以进行金属的切割和焊接。其反应方程式为:



至1910年,科学工作者采用乙炔为原料先后制取了乙醛、醋酸、丙酮、氯乙烯、醋酸乙炔、塑料、橡胶等一系列化工产品,使基本有机化工发展成为一个巨大而重要的新兴工业。由于这一时期的化学工业是以煤为原料建立起来的,因此称之为煤化学工业,简称煤化工。而基本有机化工原料差不多都是由电石乙炔制取的,因此又称之为乙炔化学工业。就在煤化工蓬勃发展的时期,以天然气、石油为原料制取基本有机化工产品的工业也开始出现了。

### 3. 石油化工阶段

20世纪20年代,石油和天然气资源的开发和利用为人类提供了各种燃料和丰富的化工原料,化工原料路线开始由煤向石油转化。1920年,美国就开始以石油为原料制取基本有机化工产品。发现将石油馏分经 $700\sim 800\text{ }^\circ\text{C}$ 的高温裂解,可生产大量乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯等重要基本有机化工原料,从而开辟了单独从乙炔出发制取基本有机化工产品更为先进的技术路线,为石油化工的发展奠定了基础。20世纪40年代,管式炉裂解烃类工艺和催化重整工艺开发成功,提供了丰富、廉价的乙烯等低碳烯烃和芳烃类化工原料,石油化工的发展很快取代了煤在有机化工中的统治地位。直至20世纪60年代,大庆油田开发后,以石油、天然气为基础的化学工业得到了蓬勃发展。由于原料充足,成本低,迅速替代了煤炭及农林副产品。到20世纪60年代末,80%以上的有机化工产品

由石油、天然气为原料生产的。而合成塑料、合成橡胶、合成纤维这三大合成材料的生产几乎全部依赖于石油化工生产。有机化工产品品种、数量和生产规模上均得到了前所未有的发展。

石油、天然气是优质的化工原料,其成本比煤或农林副产品要低得多。用石油制乙炔,要比电石制乙炔的成本低一半,用石油制乙醇的成本只有粮食发酵制乙醇成本的1/3。据估计,至少在50年以内,有机化工仍将处于石油化工阶段。

## 1.2 石油化工与国民经济的关系

石油化工产品在国民经济的发展中起着举足轻重的作用。它的显著特点是行业多、品种全、服务面广、配套性强。其重要性在于:石油化工是能源的主要供应者;为农业提供化肥、农药、塑料薄膜等农用生产资料;为轻工、纺织、建材、冶金、国防军工等部门提供各种配套原材料和新产品;为航空航天技术等为代表的高技术产业提供新型化工材料和新产品;为人民生活直接提供各种化工产品。合成材料的采用不但弥补了天然产物的不足,而且在某些性能上更为优越。例如用塑料代替各种金属,用合成橡胶代替天然橡胶,用合成纤维代替羊毛、棉花,已在人们的生产、生活中被广泛采用。当今石油化工的技术已在世界范围内迅速扩展,形成了竞相发展的态势。

### 1.2.1 石油化工与能源的关系

石油炼制生产的汽油、煤油、柴油、重油以及天然气是当前能源的主要供应者。我国2014年消耗燃料油4000万吨左右。目前,石油和天然气消耗量约占总能源消耗量的60%;我国因煤炭使用量大,石油的消耗量不到20%。石油化工提供的能源主要用作汽车、拖拉机、飞机、轮船、锅炉的燃料,少量用作民用燃料。

我国机动车总量目前达到2.65亿辆,其中有1.37亿辆汽车。汽车数量的迅速增加无疑会导致石油消耗量的大幅增加。石油化工生产的汽油及柴油中,相当大一部分是由汽车消耗的,车用汽油量约占汽油总消耗量的92%,车用柴油量约占柴油总消耗量的43%。机动车所需要的润滑油,也由石油化工供应。能源是制约我国国民经济发展的一个因素,石油化工约消耗总能源的8.5%,应不断降低能源消耗量。

### 1.2.2 石油化工与农业的关系

我国是一个有13亿人口的大国。目前,人均耕地面积仅为0.1公顷,世界平均水平为0.25公顷,为我国的2.5倍。要发展农业,只有靠科学种田,提高单产。石油化工可为农业机械化提供燃料,为农业增产提供化肥、农药、塑料薄膜等农用生产资料。农业对石油化工的依赖程度很高。据有关资料统计,我国化肥施用总量从1949年的0.6万吨增长到了2014年的3450万吨,与此同时,粮食产量也大幅提高。塑料薄膜覆盖栽培技术是提高单产的重要手段之一,一般可提高作物产量30%~50%。地膜栽培还可提高作物质量,例如蔬菜可提前上市,鲜嫩可口,色泽好;西瓜早熟、糖度可提高一度。

### 1.2.3 石油化工与建筑、国防军工的关系

化学建材是当代继钢材、木材、水泥之后新兴的第四代建筑材料。化学建材包括建筑塑料、建筑涂料,防水材料、密封材料和建筑黏合剂等,其特点是外形美观、密度小、强度大、耐磨、易成型、耐腐蚀、无污染,兼有防水、密封、隔音、保温、抗震所需的功能。目前塑料建材发展十分迅速,除了与塑料自身所具有的优良性能有关外,还与世界能源日益紧张有很大关系。在国防军工方面,一些耐高温或耐低温、耐腐蚀、耐辐射、高强度等特殊性能的工程塑料,广泛应用于原子能、导弹、火箭和宇宙飞船等行业。我国自行研制的长征二号捆绑型运载火箭和卫星,与石油化工配套的有:化学推进剂、特种胶片、涂料及高性能复合材料,约占总发射重量的70%以上。可以说,石油化工在国防现代化和科学技术现代化方面,担负着重要的使命。

### 1.2.4 石油化工与机械电子行业的关系

石油化工发展离不开机电部门的产品进行装备,如机械行业的机器、仪表需要润滑、密封、传动、防腐等,离不了润滑油脂、密封材料、橡胶输送及传送带,以及各种涂料;电子工业进入百姓家庭的消费类电子产品(如电视、音像设备等)及办公机械,都需要大量合成树脂;还有当今和以后,电子电气产品结构朝着短、小、轻而薄的方向发展,像家用电器、通讯及动力用电线电缆,都需要石油化工提供大量塑料原料。

### 1.2.5 石油化工与人们日常生活的关系

石油化工产品与人们的生活密切相关,大到太空的飞船、天上的飞机、海上的轮船、陆地上的火车、汽车,小到日常使用的电脑、电视、办公桌、牙刷、毛巾、食品包装、多姿多彩的服饰等,都跟石油化工有着密切的关系。可以说,日常生活中的“衣、食、住、行”都离不开石化产品。

石油化工产品对人们日常生活中“衣”方面的影响主要体现为合成纤维与人造革带来的衣料革命。自我国1959年开始发展合成纤维工业以来,加工制造了各类价廉物美的腈纶、涤纶、维纶、锦纶等合成纤维衣料,解决了人们的穿衣问题。常言道:民以食为天,“食”是人类生存的最基本需求。石油化工提高了农产品及畜产品的生产效率。由于化学肥料及农业化学品的施用,增加了粮食产量,农作物生产能力至少提高了四成。人们对“住”的要求不但要美观、耐用,还要防火、防噪。建筑业是仅次于包装业的最大塑胶用户,如塑胶地砖、地毯、塑料管、墙板、油漆等也都是石油化工产品,环保的木塑、铝塑等复合材料已大量取代木材和金属。除房屋建材外,家具及家居用品更是石油化工产品的天下。“行”万里路在当今已不再是什么难事,汽车、火车、轮船和飞机等现代交通工具,给人们的出行带来便利和享受,正是石油化工为这些交通工具提供了动力燃料。

我国的石油化工发展水平与发达国家相比,还存在较大的差距,具体表现在生产规模较小,低于世界平均经济规模,生产成本较高。大型装置和大型工业生产设备主要依靠进口,产品品种少,功能化和差别化率低。为追赶世界先进水平,我国已制订了石油化工近

期和中长期的发展规划,新建项目的生产能力均在世界平均经济规模以上,对现有企业通过技改以扩大生产规模,提高经济效益。在引进国外先进装置的基础上,提高装置或设备的自给能力。重视节能和环保技术,并在企业中积极组织实施,争取在不远的将来使石油化工的主要技术经济指标达到中等发达国家水平。

### 1.3 化学工业、化学工艺及化学工程

化学工业、化学工艺、化学工程三者都简称为“化工”,但各有不同的含义,却又关系密切,相互渗透,具有连续性,并在其发展过程中被赋予新的内容。

化学工业(chemical industry)泛指生产过程中化学方法占主要地位的过程工业,又称化学加工工业,可以详细表述为运用化学工艺、化学工程及设备,通过各种化工单元操作,高效、节能、经济、环保和安全地将原料加工成化工产品的特定生产部门。

化学工艺(chemical technology)或化工生产技术,指将化工原料通过化学反应转变为产品的方法和过程,包括实现这种转变的全部化学和物理措施(即工艺方法、原理、流程和设备等)。化工工艺具有过程工业的特点,即生产不同的产品需采用不同的化工工艺,即便生产相同产品但原料不同时,也要采用不同的化工工艺。尽管生产不同产品的原料、生产方法、工艺流程、操作条件等各不相同,但任何产品生产的化工工艺中所涉及的研究、控制内容却完全相同,均包括原料的选择和预处理、生产方法的选择、设备的结构和操作方式的选择及催化剂的选择和使用、操作条件的影响和优化、流程组织、生产控制、产品规格和副产物的分离与运用、能量的回收和利用、污染物控制、不同工艺路线和流程的技术经济评价等问题。

化学工程(chemical engineering)是将生产化工产品或其他产品中出现的具有物理变化和化学变化的各种操作方法,加以归类、分析、综合、升华等各种单元操作过程。通过对过程中的物理变化和化学变化规律加以研究,以优化工艺流程、优选和强化工艺设备、指导优化生产操作,提高化工工艺过程的合理性、经济性、安全环保性。

## 1.4 石油化工工艺学研究的范畴、内容和特点

### 1.4.1 石油化工工艺学研究的范畴

石油化工工艺学主要研究以石油、天然气等天然资源为起始原料,生产基本有机化工产品(如烯烃、炔烃、芳烃、醇、醛、酚、有机酸及含氮、含氧有机化合物等)的生产过程。包括生产技术、方法、原理、设备、催化剂、能量利用、“三废”(废气、废液、废渣)处理,解决各单元操作间的匹配、链接、优化条件等。石油化工工艺学是实现技术上先进、经济上合理、生产上安全的化工生产工艺的学科,其研究范畴与化学工业、化学工艺、化学工程密切相关。

### 1.4.2 石油化工工艺学研究的内容和特点

本教材着重介绍代表性产品的生产工艺过程,阐述烃类裂解、芳烃转化、催化脱氢、氧



化脱氢、催化氧化、羰基化反应等工艺及影响因素、设备选材依据、工艺流程和工艺计算等。

本教材内容丰富,知识面广,注意点面结合,对重点内容进行深入细致地阐述,注意理论与实际的结合,同时也介绍了近年来石油化工及有关方面的新成就和未来发展的趋势。注重培养学生分析问题和解决问题的能力,对于典型反应过程,要求学生理解并掌握其工艺原理、工艺条件、流程的组织、反应设备的结构,掌握各种原料的来源、不同工艺路线及技术经济指标、能量回收利用、副产物回收利用及“三废”处理方法等。本教材配有思考题和计算题,有助于加深对各章内容的理解和掌握。

石油化工工艺学是一门工艺技术专业课,综合性和实践性都很强。必须在化工单元过程及设备、物理化学等课程的基础上讲授。需要掌握应用化学和物理等基础科学理论、相关工程学的知识和技术,通过分析和归纳,才能达到培养和自主创新能力,提高分析问题和解决问题的能力。

## 思考题与习题

- 1-1 何谓石油化工?简述石油化工在国民经济中的地位。
- 1-2 简述石油化工的发展过程。
- 1-3 基本有机化工、精细化工、高分子化工研究的内容是什么?
- 1-4 何谓石油化工产品的三大生产过程?
- 1-5 石油化工工艺学研究范围、内容和特点各是什么?

## 参考文献

1. 米镇涛. 化学工艺学[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
2. 封瑞江,时维振. 石油化工工艺学[M]. 北京:中国石化出版社,2011.
3. 邹长军. 石油化工工艺学[M]. 北京:化学工业出版社,2010.
4. 张季玲,邱玉娥. 化学工艺学[M]. 北京:化学工业出版社,2012.
5. 黎喜林. 基本有机合成工艺学[M]. 2版. 北京:化学工业出版社,1995.
6. 徐绍平,殷德宏,仲剑初. 化工工艺学[M]. 2版. 大连:大连理工大学出版社,2012.
7. 李为民,单玉华,邬国英. 石油化工概论[M]. 3版. 北京:中国石化出版社,2013.



# 石油化工基础知识

## 2.1 石油化工生产工艺流程和工艺流程图

### 2.1.1 工艺流程

原料需要经过物质和能量转换等一系列加工过程,才能转变成目标产品。实施这些转变需要有相应的功能单元,按物料加工顺序将这些功能单元有机地组合起来,就构成了工艺流程。将化工原料转变成化工产品的工艺流程称为化工生产工艺流程。

### 2.1.2 工艺流程图

工艺流程可采用图示方法表达,即将整个生产过程的主要设备、控制仪表、工艺管线等按其内在联系结合起来,实现从原料到产品的生产过程,称为化工工艺流程图。工艺流程图是化学工程与化工产品信息的载体,属于特定的工程技术语言,是工程技术信息交流的重要工具。

工艺流程图按用途可分为方框流程图、工艺流程示意图(也叫方案流程图或工艺流程草图)、物料流程图和带控制点的工艺流程图(也叫施工流程图)四种。这些图的设计可以通过计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)软件来完成。

#### 1. 方框流程图

方框流程图用方框表示生产装置或设备,各方框之间用带箭头的直线连接,箭头的方向表示物料流动的方向。该图是在工艺路线选定后进行概念性设计时完成的图纸,不列入设计文件。图 2-1 所示为裂解气分离制取烯烃的方框流程图,是最简要的生产过程。

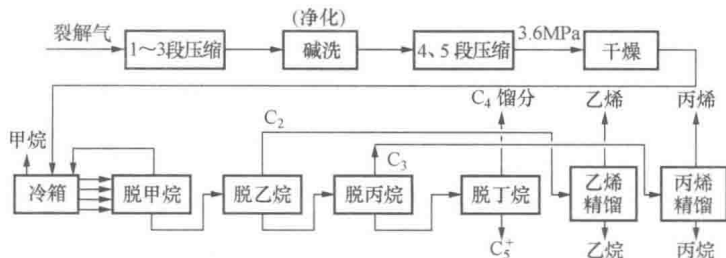


图 2-1 裂解气分离制取烯烃的方框流程图

#### 2. 工艺流程示意图

该图实际上是方框流程图的一种变体和深入,带有示意的性质,供化工计算时使用,