

NENGYUAN YU HUAGONGJISHU GAILUN

# 能源与化工技术概论

高晓明◎编著

陕西新华出版传媒集团



陕西科学技术出版社

Shaanxi Science and Technology Press

# 能源与化工技术概论

高晓明 编著

陕西新华出版传媒集团  
陕西科学技术出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

能源与化工技术概论/高晓明编著. —西安:陕西科学技术出版社, 2017. 6

ISBN 978-7-5369-6962-9

I. ①能… II. ①高… III. ①能源—概论 ②化学工业—工业技术—概论 IV. ①TK01 ②TQ

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 103607 号

## 能源与化工技术概论

---

**出版者** 陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社  
西安北大街 131 号 邮编 710003  
电话 (029)87211894 传真 (029) 87218236  
<http://www.snstp.com>

**发行者** 陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社  
电话(029)87212206 87260001

**印刷** 陕西天地印刷有限公司

**规格** 787mm×1092mm 16 开本

**印张** 14.5

**字数** 320 千字

**版次** 2017 年 6 月第 1 版  
2017 年 6 月第 1 次印刷

**书号** ISBN 978-7-5369-6962-9

**定价** 30.00 元

---

版权所有 翻印必究

# 前 言

人类的文明与发展离不开能源的开发和利用,能源为人类的生产和生活提供各种能力和动力。因此,能源的开发和有效利用程度成为人类社会生产技术和生活水平的重要标志。然而,随着社会的进步,人类对能源的需求日益增加,诸多能源利用问题凸现出来,尤其是石油、煤炭、天然气、岩盐等一次能源的利用受到严峻的挑战。

本书从煤炭、石油、天然气、岩盐等一次能源的高效利用出发,阐述其加工利用过程中的路线、主要产品;以煤炭、石油、天然气、岩盐等一次能源的主要产品为原料,探索了甲醇、乙烯、丙烯、芳烃、 $C_4$  等系列产品的种类、用途以及生产过程中的加工路线、生产原理、生产方法、工艺流程及关键设备。本书以煤炭、石油、天然气、岩盐的合理利用为主线组织编写,切中基础、富有特色、实用性强、覆盖面广,可供化学化工等相关专业本科生、研究生的学习使用,也适合相关科技人员参考。

全书共 11 章,由延安大学化学与化工学院高晓明编写完成,由延安大学化学与化工学院付峰教授统稿,高楼军教授等对书稿提出了宝贵的意见。同时,作者在编写过程中参考了大量文献资料,在此对这些文献资料的作者一并表示感谢!

本书的出版得到了陕西省化学工程与技术省级重点学科、陕西省化学反应工程重点实验室的资助。同时,得到了延安大学科研处、化学与化工学院,陕西科学技术出版社的大力支持和帮助,在此表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中不足、疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正,并提出宝贵意见。

编者

2017 年 3 月

# 目 录 | CONTENTS

第 1 章 能源化学工业概述 .....	1
1.1 能源概述 .....	1
1.2 能源与化学工业的关系 .....	4
1.3 能源化学工业产业链 .....	5
1.4 我国能源储量及消费结构 .....	6
第 2 章 石油化学工业 .....	7
2.1 石油的组成及其物理性质 .....	7
2.1.1 石油的组成 .....	7
2.1.2 石油的物理性质 .....	8
2.2 石油化学工业 .....	9
2.3 石油加工路线 .....	10
2.4 石油产品及其应用 .....	11
2.5 石油化学工业产品 .....	13
2.5.1 乙烯 .....	13
2.5.2 丙烯 .....	14
2.5.3 C <sub>4</sub> .....	16
2.5.4 苯 .....	17
2.5.5 甲苯 .....	17
2.5.6 二甲苯 .....	17
第 3 章 煤炭化学工业 .....	19
3.1 煤炭化学工业概述 .....	19
3.2 煤化工主要技术路线 .....	19
3.2.1 煤焦化路线 .....	20
3.2.2 煤气化路线 .....	24
3.2.3 煤液化路线 .....	49
3.2.4 煤制电石乙炔路线 .....	62

第4章 天然气化学工业 .....	63
4.1 我国天然气储量概况 .....	63
4.2 天然气化工 .....	63
4.3 天然气的组成和分类 .....	64
4.3.1 天然气的组成 .....	64
4.3.2 天然气的分类 .....	65
4.4 天然气加工方式 .....	66
4.4.1 预处理 .....	66
4.4.2 天然气转化制合成气 .....	76
4.4.3 天然气制氢生产工艺 .....	80
4.4.4 天然气制甲醇 .....	82
4.4.5 天然气制乙炔 .....	86
第5章 岩盐化学工业 .....	89
5.1 我国岩盐储量概况 .....	89
5.2 岩盐工业简介 .....	89
5.3 岩盐化工特点 .....	90
5.4 岩盐化工产品 .....	90
5.4.1 烧碱 .....	90
5.4.2 纯碱 .....	91
5.4.3 氯及主要氯产品 .....	92
5.5 盐化工行业特点 .....	93
第6章 非常规油气资源化学工业 .....	94
6.1 非常规油气资源概况 .....	94
6.2 非常规油气资源种类 .....	94
第7章 甲醇系列产品 .....	96
7.1 甲醛 .....	96
7.1.1 甲醛性质和用途 .....	96
7.1.2 甲醛的工业生产方法 .....	97
7.1.3 甲醇空气氧化制甲醛 .....	98
7.2 醋酸 .....	104
7.2.1 醋酸的性质和用途 .....	104
7.2.2 醋酸的工业生产方法 .....	105
7.2.3 甲醇羰基化制醋酸 .....	109

7.3 甲醇制烯烃/甲醇制丙烯 .....	111
7.3.1 甲醇制烯烃工艺技术的发展状况及趋势 .....	112
7.3.2 甲醇制烯烃的基本原理 .....	112
7.3.3 甲醇制烯烃催化剂 .....	115
7.3.4 甲醇制烯烃工艺条件 .....	115
7.3.5 甲醇制烯烃工艺 .....	116
7.3.6 甲醇制烯烃工艺路线的选择 .....	125
7.4 甲基叔丁基醚 .....	127
7.4.1 甲基叔丁基醚的性质和用途 .....	127
7.4.2 甲醇制甲基叔丁基醚的原理 .....	127
7.4.3 甲醇制甲基叔丁基醚的合成过程 .....	132
第8章 乙烯系列产品 .....	136
8.1 乙烯直接氧化法生产环氧乙烷 .....	137
8.1.1 概述 .....	137
8.1.2 乙烯直接氧化法生产环氧乙烷的反应原理 .....	138
8.1.3 乙烯直接氧化法生产环氧乙烷的反应机理 .....	140
8.1.4 乙烯直接氧化法生产环氧乙烷的影响因素 .....	141
8.1.5 乙烯直接氧化法生产环氧乙烷的工艺流程 .....	143
8.1.6 乙烯直接氧化法生产环氧乙烷的典型设备——反应器 .....	144
8.1.7 环氧乙烷生产工艺技术的新进展 .....	144
8.2 乙烯液相氧化法生产乙醛 .....	145
8.2.1 概述 .....	145
8.2.2 乙烯液相氧化法生产乙醛的生产原理 .....	147
8.2.3 乙烯液相氧化法生产乙醛的影响因素 .....	148
8.2.4 乙烯液相氧化法生产乙醛的工艺流程 .....	149
8.2.5 乙烯液相氧化法生产乙醛的典型设备——反应器 .....	151
8.3 乙烯气相氧化法生产醋酸乙烯 .....	152
8.3.1 概述 .....	152
8.3.2 乙烯气相氧化法生产醋酸乙烯的反应原理 .....	153
8.3.3 乙烯气相氧化法生产醋酸乙烯的影响因素 .....	154
8.3.4 乙烯气相氧化法生产醋酸乙烯的工艺流程 .....	155
8.3.5 乙烯气相氧化法生产醋酸乙烯的典型设备——乙酸蒸发器 .....	156
8.4 乙烯氧氯化法生产氯乙炔 .....	157
8.4.1 概述 .....	157
8.4.2 乙烯氧氯化法生产氯乙炔的反应原理 .....	158

8.4.3	乙烯氧氯化法生产氯乙烯的影响因素 .....	160
8.4.4	乙烯氧氯化法生产氯乙烯的工艺流程 .....	161
8.4.5	乙烯氧氯化法生产氯乙烯的典型设备——流化床反应器 .....	165
第9章 丙烯系列产品 .....		167
9.1	丙烯羰基合成法合成丁辛醇 .....	168
9.1.1	概述 .....	168
9.1.2	丙烯羰基合成丁辛醇的生产原理 .....	169
9.1.3	丙烯羰基合成丁辛醇的影响因素 .....	171
9.1.4	丙烯羰基合成丁辛醇的工艺流程 .....	172
9.1.5	丙烯羰基合成丁辛醇的典型设备——羰基合成反应器 .....	174
9.2	丙烯氨氧化生产丙烯腈 .....	174
9.2.1	概述 .....	174
9.2.2	丙烯氨氧化生产丙烯腈的反应原理 .....	176
9.2.3	丙烯氨氧化生产丙烯腈的影响因素 .....	177
9.2.4	丙烯氨氧化生产丙烯腈的工艺流程 .....	178
9.2.5	丙烯氨氧化生产丙烯腈的典型设备——流化床反应器 .....	180
第10章 芳烃系列产品 .....		181
10.1	催化重整 .....	182
10.1.1	催化重整的反应原理 .....	183
10.1.2	催化重整的生产过程 .....	185
10.2	裂解汽油加氢 .....	190
10.2.1	裂解汽油的组成 .....	190
10.2.2	裂解汽油加氢精制过程 .....	191
10.3	对二甲苯的生产 .....	193
10.3.1	歧化或烷基转移生产苯与二甲苯 .....	193
10.3.2	C <sub>8</sub> 混合芳烃异构化 .....	195
10.3.3	混合二甲苯的分离 .....	197
10.4	苯烷基化制乙苯 .....	199
10.4.1	概述 .....	199
10.4.2	生产方法 .....	199
10.4.3	液相三氯化铝法生产原理 .....	199
10.4.4	液相三氯化铝法影响因素 .....	201
11.4.5	液相三氯化铝法工艺流程 .....	202

---

10.5 乙苯脱氢制苯乙烯 .....	204
10.5.1 概述 .....	204
10.5.2 反应原理 .....	204
10.5.3 乙苯脱氢法生产苯乙烯的影响因素 .....	205
10.5.4 工艺流程 .....	207
第11章 C <sub>4</sub> 系列产品 .....	210
11.1 C <sub>4</sub> 烃 .....	210
11.1.1 C <sub>4</sub> 烃的来源及组成 .....	210
11.1.2 C <sub>4</sub> 烃的综合利用途径 .....	211
11.2 C <sub>4</sub> 馏分中丁二烯的分离 .....	213
11.2.1 C <sub>4</sub> 馏分中丁二烯的分离方法 .....	213
11.2.2 二甲基甲酰胺法(DMF法)分离丁二烯 .....	214
11.2.3 剩余C <sub>4</sub> 的混合利用 .....	216
11.3 顺丁烯二酸酐的生产 .....	216
11.3.1 概述 .....	216
11.3.2 正丁烷氧化法的生产原理 .....	217
11.3.3 正丁烷氧化法操作条件 .....	218
11.3.4 正丁烷氧化法工艺流程 .....	219
参考文献 .....	221

## 第 1 章 能源化学工业概述

### 1.1 能源概述

向自然界提供能量转化的物质称为能源,如矿物质能源、核物理能源、大气环流能源、地理性能源,具体包括煤炭、原油、天然气、煤层气、水能、核能、风能、太阳能、地热能、生物质能等一次能源和电力、热力、成品油等二次能源,以及其他新能源和可再生能源。能源是人类活动的物质基础,是为人类的生产和生活提供各种能力和动力的物质资源。人类社会的发展离不开优质能源的出现和先进能源技术的使用。目前,能源的发展是全世界、全人类共同关心的问题。因此,能源的开发和有效利用程度成为生产技术的重要标志。

能源是整个世界发展和经济增长的最基本的驱动力,是人类赖以生存的基础。在全球经济高速发展的今天,国际能源安全已上升到了国家的高度,各国都制定了以能源供应安全为核心的能源政策。但是,人类在享受能源带来的经济发展、科技进步等利益的同时,也遇到一系列无法避免的能源安全挑战,如能源短缺、资源争夺以及过度使用能源造成的环境污染问题,这些因素严重威胁着人类的生存与发展。

那么,究竟什么是“能源”呢?关于能源的定义,目前约有 20 种。例如,《科学技术百科全书》中说:“能源是可从其获得热、光和动力之类能量的资源。”《大英百科全书》中说:“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语,人类用适当的转换手段便可让它为自己提供所需的能量。”《日本大百科全书》中说:“在各种生产活动中,我们利用热能、机械能、光能、电能等来做功,可利用来作为这些能量源泉的自然界中的各种载体,称为能源。”我国的《能源百科全书》中说:“能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源。”可见,能源是一种呈多种形式的,可以相互转换的能量的源泉。确切而简单地说,能源是自然界中能为人类提供某种能量形式的物质资源。

能源种类繁多,而且经过人类不断的开发与研究,更多新型能源已经开始能够满足人类需求。根据不同的划分方式,能源也可分为不同的类型,主要有以下 8 种。

#### (1)按来源分类

1)来自地球外部天体的能源,主要为太阳能。除直接辐射外,并为风能、水能、生物能和矿物能源等的产生提供基础。人类所需能量的绝大部分都直接或间接地来自太阳。各种植物通过光合作用把太阳能转变成化学能在植物体内贮存下来。煤炭、石油、天然气等化石燃料也是由古代理在地下的动植物经过漫长的地质年代形成的,它们实质上是

由古代生物固定下来的太阳能。此外,水能、风能、波浪能、海流能等也都是由太阳能转换来的。

2)地球本身蕴藏的能量。通常指与地球内部的热能有关的能源和与原子核反应有关的能源,如原子核能、地热能等。温泉和火山爆发喷出的岩浆就是地热的表现。地球可分为地壳、地幔和地核3层,它是一个大热库。地壳是地球表面的一层,一般厚度为几千米至70 km不等。地壳下面是地幔,大部分是熔融状的岩浆,厚度为2900 km,火山爆发一般是这部分岩浆喷出。地球内部为地核,地核中心温度为2000℃。可见,地球上的地热资源贮量也很大。

3)地球和其他天体相互作用而产生的能量,如潮汐能。

#### (2)按能源的产生方式分类

按能源的产生方式可分为一次能源和二次能源。一次能源为天然能源,指在自然界实际存在的能源,如煤炭、石油、天然气、水能等。二次能源指由一次能源加工转换而成的能源产品,如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等。一次能源又可分为可再生能源,如水能、风能及生物质能等,以及非再生能源,如煤炭、石油、天然气、油页岩等。其中煤炭、石油和天然气这3种能源是一次能源的核心,它们成为全球能源的基础。除此以外,太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能以及核能等可再生能源也被包括在一次能源的范围内。二次能源是指由一次能源直接或间接转换成其他种类和形式的能量资源,如电力、煤气、汽油、柴油、焦炭、洁净煤、激光和沼气等。

#### (3)按能源性质分类

按能源性质分为燃料型能源,如煤炭、石油、天然气、泥炭、木材等,以及非燃料型能源,如水能、风能、地热能、海洋能等。人类利用自己体力以外的能源是从用火开始的,最早的燃料是木材,以后用各种化石燃料,如煤炭、石油、天然气、泥炭等。现在正在研究利用太阳能、地热能、风能、潮汐能等新能源。当前化石燃料消耗量很大,而且地球上这些燃料的储量有限。未来铀、钍将提供世界所需的大部分能量,一旦控制铀、钍的核聚变的技术问题得到解决,人类理论上将获得无尽的能源。

#### (4)根据能否造成污染分类

根据能源消耗后是否造成环境污染可分为污染型能源和清洁型能源。污染型能源包括煤炭、石油等,清洁型能源包括水力、电力、太阳能、风能以及核能等。

#### (5)根据能源使用的类型分类

根据能源使用的类型可分为常规能源和新型能源。技术上成熟、使用比较普遍的能源叫作常规能源,包括一次能源中的可再生的水力资源和不可再生的煤炭、石油、天然气等资源。新型能源是新近利用或正在着手开发的能源。新型能源是相对于常规能源而言的,包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物能、氢能,以及用于核能发电的核燃料等能源。由于新能源的能量密度较小,或品位较低,或有间歇性,按已有的技术条件转换利用的经济性尚差,还处于研究、发展阶段,只能因地制宜地开发和利用。但新型能源大多数是再生能源,资源丰富,分布广阔,是未来的主要能源之一。

#### (6)按能源的形态特征分类

世界能源委员会推荐的能源类型分为:固体燃料、液体燃料、气体燃料、水能、电能、

太阳能、生物质能、风能、核能、海洋能和地热能。其中,前 3 个类型统称化石燃料或化石能源。已被人类认识的上述能源,在一定条件下可以转换为人们所需的某种形式的能量,例如薪柴和煤炭,把它们加热到一定温度,它们能和空气中的氧气化合并放出大量的热能。人们可以用热来取暖、做饭或制冷,也可以用热来产生蒸汽,用蒸汽推动汽轮机,使热能变成机械能;也可以用汽轮机带动发电机,使机械能变成电能;如果把电送到工厂、企业、机关、农牧林区和住户,它又可以转换成机械能、光能或热能。

#### (7)商品能源和非商品能源

凡进入能源市场作为商品销售的,如煤、石油、天然气和电等均为商品能源。国际上的统计数字均限于商品能源。非商品能源主要指薪柴和农作物残余,如秸秆等。

#### (8)再生能源和非再生能源

人们对一次能源又进一步加以分类。凡是可以不断得到补充或能在较短周期内再产生的能源称为再生能源,反之称为非再生能源。风能、水能、海洋能、潮汐能、太阳能和生物质能等是可再生能源;煤、石油和天然气等是非再生能源。地热能基本上是非再生能源,但从地球内部巨大的蕴藏量来看,又具有再生的性质。核能的新发展将使核燃料循环而具有增殖的性质。核聚变的能比核裂变的能可高出 5~10 倍,核聚变最合适的燃料重氢(氘)又大量存在于海水中,可谓“取之不尽,用之不竭”。因此,核能将是未来能源系统的支柱之一。

化石能源是动植物的遗骸化石在地层下经过上万年的演变、沉积形成的能源,主要是石油(动物体转化)、煤(植物化石转化)、天然气等,属于一次能源、不可再生能源。化石能源是碳氢化合物或其衍生物的混合物,不完全燃烧后会散发出有毒的气体,但它是人类必不可少的燃料。

化石能源是目前全球消耗的最主要能源。作为人类生存和发展的重要物质基础,煤炭、石油、天然气等化石能源支撑了 19~20 世纪近 200 年来人类文明的进步和经济社会发展。然而,化石能源的不可再生性和人类对其的巨大消耗,使化石能源正在逐渐走向枯竭。据美国地质局估计,全世界最终可采石油储量为 3 万亿桶。由此推算,世界石油产量的顶峰将在 2030 年出现。由于剩余储量开采难度增大,石油产量会快速下降。世界煤炭总可采储量大约为 8475 亿 t。长期来看,尽管世界煤炭可采储量相对稳定,但还是出现了下降的趋势。按当前的消费水平,最多也只能维持 200 年左右的时间。世界天然气储量大约为 177 万亿  $\text{m}^3$ 。如果年开采量维持在 2.3 万亿  $\text{m}^3$ ,则天然气将在 80 年内枯竭。

化石能源的利用是造成环境变化与污染的关键因素。大量的化石能源消费,引起温室气体排放,使大气中温室气体浓度增加、温室效应增强,导致全球气候变暖。1860 年以来,全球平均气温提高了 0.4~0.8℃。IPCC(政府间气候变化专门委员会)所做的气候变化预估报告的结论显示,CO<sub>2</sub>是温室气体的主要部分,其中约 90%以上的人为 CO<sub>2</sub> 排放是化石能源消费活动产生的。化石能源,特别是煤炭的使用带来大量的二氧化硫和烟尘排放,也是造成大气污染的主要来源。随着化石能源储量的逐步降低,全球能源危机也日益迫近。以化石能源为主的能源结构,具有明显的不可持续性。

科技的进步和各国在勘探领域投入的增加,促使新的煤田和油气田不断被发现,化

石能源预测储量有所增长。但是,一个不能忽视的事实是,化石能源具有天然的不可再生性。因此,如果不转变能源利用方式,继续大规模开采化石能源,化石能源的枯竭迟早都要到来。目前,开发利用可再生能源,已成为国际上大多数国家的战略选择。许多国家把发展可再生能源作为缓解能源供应矛盾、应对气候变化的重要措施。

目前,已经有 50 多个国家制定了相关法律、法规或行动计划,通过立法的强制性手段保障战略目标的实现。2006 年 3 月欧盟首脑会议指出,到 2020 年,可再生能源将占整个欧盟 25 国能源消耗量的 20%,生物液体燃料的比例至少要达到 10%。2005 年,美国提出宏大目标计划,即未来利用风电提供全美国 20% 的电力供应,2030 年生物液体燃料将占美国车用燃料 30% 以上。根据欧洲可再生能源委员会估计,到 2050 年,可再生能源将占世界一次能源的 1/3,并满足能源增长的大部分需求,其中,70% 的电力将来自于可再生能源(包括水电),装机容量为 71 亿 kW,年发电 21400 TW·h。我国于 2007 年 9 月公布《可再生能源中长期发展规划》,明确提出:到 2010 年,可再生能源年利用量要达到 3 亿 t 标准煤,占能源消费总量的 10%;到 2020 年,可再生能源年利用量要达到 6 亿 t 标准煤,占能源消费总量的 15%。事实说明,努力减少对化石能源的依赖,是保证未来人类文明得以延续的必然选择,不断提高可再生能源在全部能源中所占比重,最终实现对化石能源的替代,是人类社会发展的必然趋势。

## 1.2 能源与化学工业的关系

化学工业属于基础原材料工业,是国民经济的基础性产业。由于化工产品的应用领域广泛,几乎遍及国民经济的各个行业,与其他产业的关联程度较高,因此,化学工业在国民经济发展中占极其重要的地位。从某种意义上讲,化学工业整体实力和技术水平高低在一定程度上也会影响到一个国家工业的总体水平和竞争实力。而能源既是化学工业的原料,又是它的燃料和动力,因此,能源对于化学工业比其他工业部门更具重要性。

化学工业是能源的主要部门,它是采用化学方法实现物质转换的过程,其中也伴随着能量的变化。约有 40% 的产品不需要进一步加工,可以直接进入市场,约有 60% 产品作为重工业和轻工业原料和材料,经过进一步加工成多种工业制品与消费品后,再进入市场。目前化学工业有二十几个行业,数万个品种,应用范围渗透到国民经济各个部门。在世界范围内,化学工业的发展速度日益突出,产值在国民经济总产值中也是名列前茅。

化学工业是能源最大消费部门之一,能源是国民经济发展的基础,是化学工业的原料、燃料和动力的源泉。因此,这二者在发展速度上有一定的依存关系,不同时期会出现一些不同的变化。国外工业发达国家化学工业的增长速度,大体上是国民经济和能源增长速度的一倍,其间比例的关系,大体上为 1:1:2。

化学工业是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、多品种的生产部门,出现了一大批综合利用资源和规模大型化的化工企业。这些企业就其生产过程来说,同其他工业企业有许多共性,但就生产工艺技术、对

资源的综合利用和生产过程的严格比例性、连续性等方面来看,又有它自己的特点:

(1) 生产技术具有多样性、复杂性和综合性

化工产品品种繁多,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;就是生产同一种化工产品,也有多种原料来源和多种工艺流程。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) 具有综合利用原料的特性

化学工业的生产是化学反应,在大量生产一种产品的同时,往往会生产出许多联产品和副产品,而这些联产品和副产品大部分又是化学工业的重要原料,可以再加工和深加工。因此,化工部门是最能开辟原料来源、综合利用物质资源的一个部门。

(3) 生产过程要求有严格的比例性和连续性

一般化工产品的生产,对各种物料都有一定的比例要求,在生产过程中,上下工序之间,各车间、各工段之间,往往需要有严格的比例,否则,不仅会影响产量,造成浪费,甚至可能中断生产。化工生产主要是装置性生产,从原材料到产品加工的各环节,都是通过管道输送,采取自动控制进行调节,形成一个首尾连贯、各环节紧密衔接的生产系统。这样的生产装置,客观上要求生产长周期运转,连续进行。任何一个环节发生故障,都有可能使生产过程中断。

(4) 化工生产还具有耗能高的特性

原因是煤炭、石油、天然气既是化工生产的燃料动力,又是重要的原料;有些化工产品的生产,需要在高温或低温条件下进行,无论高温还是低温都需要消耗大量能源。

### 1.3 能源化学工业产业链

目前能源化学工业产业链包括以下 4 个方面:

(1) 煤化学工业产业链

煤化学工业是经化学方法将煤炭转化为气体、液体和固体产品或半产品,而后进一步加工成化工、能源产品的工业。主要包括煤的气化、液化、干馏,以及煤焦油加工和电石乙炔化工等。煤化工产业链的延伸主要有 3 条:传统的焦化和电石乙炔化工、煤气化和煤液化。通过这几条产业链,煤炭可以在石化产品、燃料油等多个领域代替石油和天然气。3 条产业链中煤液化技术壁垒最高,而煤气化应用最广泛,几乎是所有煤化工产业的基础。

(2) 石油化学工业产业链

石油化学工业指以石油和天然气为原料,生产石油产品和石油化学工业产品的加工工业。石油产品又称油品,主要包括各种燃料油(汽油、煤油、柴油等)和润滑油,以及液化石油气、石油焦炭、石蜡、沥青等。生产石油化学工业产品的第一步是对原料油和(如丙烷、汽油、柴油等)进行裂解,生成以乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯、二甲苯为代表的基本化工原料。第二步是以基本化工原料生产多种有机化工原料(约 200 种)及合成材料(塑料、合成纤维、合成橡胶)。

### (3) 盐化学工业产业链

盐化学工业是指以氯化钠(NaCl,包括固体盐和盐卤)为基本原料,通过化学过程生产含钠系列产品(纯碱、烧碱、氯酸钠等)和耗氯系列产品(无机氯产品、有机氯产品)的工业领域。经过多年发展,我国盐化工逐渐形成了以纯碱、烧碱、聚氯乙烯为核心,以有机氯化物、无机氯化物、两碱下游产品为重要组成部分的完整产业体系。盐化工产业不仅提供了“三酸两碱”中的烧碱、纯碱和盐酸,而且可向下游延伸生产PVC、甲烷氯化物、环氧丙烷、TDI/MDI、氯乙酸、氯化高聚物、氯化铝、漂白粉、氯化磷等多种重要化工产品,是我国最基本的化学工业门类之一。

### (4) 精细化学工业产业链

精细化学工业是化学工业的重要组成部分,按行业成型的时间先后顺序,精细化工分为传统和新领域两部分。传统精细化工主要包括染料、涂料、农药、塑料与橡胶助剂等;新领域精细化工包括食品添加剂、饲料添加剂、电子化学品、造纸化学品、水处理剂、皮革化学品等。国外将新领域精细化工统称为专用化学品。

## 1.4 我国能源储量及消费结构

我国是一个“富煤少油缺气”的国家,化石类能源探明储量约7500亿t标准煤,总量较大,但人均能源拥有量却远远低于世界平均水平。煤炭、石油、天然气人均剩余可采储量,分别只有世界平均水平的58.6%、7.69%和7.05%。在世界已探明的化石能源储量中,我国的煤炭占世界总量的12.6%,石油占1.4%,天然气占1.2%。全国石油探明可采剩余产量有限,但煤炭资源比较丰富,全国累计探明煤炭保有储量超过1万亿t,经济开采储量达1145亿t。这种化石能源资源的禀赋特点决定了我国是世界上少有的以煤为主要能源的国家。我国煤炭储量相对丰富,但从中长期来看,仍面临诸如赋存条件、勘探水平、运输条件、安全因素等多方面因素的限制,能被有效开发利用的煤炭资源量明显不足。

少油富煤的客观现实,意味着中国能源以煤为主的格局在相当长的时期内难以改变,充分利用丰富的煤炭资源,发展煤化工产业对国家的经济发展有着深远的意义。因此,我国是在缺油、少气、富煤的资源条件下发展煤化工的。只要在使用洁净煤技术和节能提效优先的条件下,在生态环境允许和具有经济效益的前提下,现代煤化工可以而且应该积极得到发展。针对我国石油资源短缺、煤炭相对富足的现状,发展煤制油以及煤制甲醇、二甲醚等石油替代品技术,将极大改变我国能源结构的困境,不仅可以减小油品能源的对外依存度,而且还可以减轻其对环境的污染和对石油资源的依赖。

## 第2章 石油化学工业

### 2.1 石油的组成及其物理性质

#### 2.1.1 石油的组成

地下开采出来的石油在未加工前称为原油,通常是黑色、褐色或黄色的流动或半流动的黏稠液体,相对密度一般介于0.80~0.98之间。经过炼制,可以从原油中提取各种燃料油(汽油、柴油、煤油等)、润滑油、石蜡、沥青、石油焦等产品。原油的组成随不同油区而不同,所得的各种石油产品也有所不同。但无论何种石油,基本上由5种元素,即碳、氢、硫、氮、氧组成。其中,碳的质量分数一般为83.0%~87.0%,氢的质量分数为11.0%~14.0%,硫的质量分数为0.05%~8.0%,氮的质量分数为0.02%~2.0%,氧的质量分数为0.05%~2.0%。此外,还有微量的钙、钠、钾、铁、镍、钒、砷等。

石油中的碳和氢组成碳氢化合物,简称烃。硫、氧、氮等则与碳氢元素形成含硫化物、含氧化合物、含氮化合物、胶质和沥青质等,简称非烃。

##### (1) 石油中的烃类化合物

石油以及石油产品中的烃类按其分子结构的不同可分为以下几类:

1) 烷烃。含量最多,既有正构烷烃也有异构烷烃。在常温常压下,分子中含有1~4个碳原子的是气体,5~6个碳原子的是液体,17个碳原子以上的是蜡状固体。

烷烃的化学性质不活泼,常温下不易和其他物质发生反应,但较大分子的烷烃可与发烟硫酸作用。此外,把大分子烷烃加热到400℃以上时,可以裂解出小分子烃。

2) 环烷烃。含量仅次于链烷烃,具有饱和环状结构,多为五元环和六元环,可以是单环、双环、三环或多元环。单环的环烷烃,其侧链上的碳原子小于4个的多为液体,多于4个的多为固体。

环烷烃的性质与烷烃相似但稍活泼。在一定条件下,环己烷可以从分子中脱掉氢原子而转化为苯。高温可使环烷烃的环状结构断裂,生成烷烃和烯烃。

3) 芳烃(芳香烃)。具有不饱和环状结构,有单环的苯系芳烃,如苯、甲苯、二甲苯、乙苯及其他苯的衍生物,双环的萘及其衍生物,如甲基萘、其他烷基萘、联苯系芳烃,以及3个或3个以上苯环叠合在一起的稠环芳烃。

上述3种烃类化合物都是化学工业的基本原料,许多烃类是汽油、煤油、柴油的重要组成部分。石油中几乎没有烯烃和炔烃这两类化合物,然而在极少数地区的石油中存在微量

烯烃。石油中的 3 种烃类化合物高温加工后会产生烯烃、炔烃等不饱和化合物。

#### (2) 石油中的非烃化合物

石油和石油产品中的非烃化合物的大多数,一般被认为是有害物质。

1) 含硫化合物。石油中的含硫化合物有硫醇(RSH)、硫醚(RSR)、二硫化物(RSSR)和噻吩等。在石油的某些加工产物中还含有硫化氢。

含硫化合物对石油产品的性质影响较大。其主要危害是对金属制设备及管线有强烈的腐蚀作用,并使产品的一些应用性能下降。含硫化合物还会使大气受到污染,有害于环境。

2) 含氧化合物。含氧化合物主要是环烷酸、酚类。这些含氧化合物具有刺激性的臭味,而且具有腐蚀性。

3) 含氮化合物。石油中的含氮化合物很少,多为吡啶、喹啉、氮杂蒽、吡咯、咪唑等不饱和氮杂环结构的有机物或其同系物。油品中含有氮化物时,易使油品因氮化物的氧化而颜色变深,并发出臭味。

4) 胶状物质。胶状物质是由碳、氢、氧、硫和氮等元素组成的多环复杂化合物,在高温时易转化为焦炭。

### 2.1.2 石油的物理性质

#### (1) 馏分和馏程

石油的每一种成分都有各自的沸点,因此,生产过程中把原油分为几个不同沸点范围的组分加以利用。如沸点范围在 40~205℃的组分作为车用汽油,180~300℃的组分作为灯用煤油,250~350℃的组分作为柴油,350~520℃的组分作为润滑油,>520℃的组分作为重质燃料油。

对原油,常用一种称作实沸点的蒸馏装置(对石油产品常用恩氏蒸馏装置),将原油放入该装置中蒸馏,并在实验室测定不同沸点范围的油品组成。蒸馏时,原油中的低沸点组分首先被蒸发出来,蒸馏出第一滴油品时的气体温度叫初馏点。随着蒸馏温度的不断升高,高沸点组分相继被蒸发,直至蒸发完,气体达到的最高温度,称为干点或终馏点。在一定温度范围内蒸馏出的油品叫馏分。每个馏分的初馏点至终馏点叫作该油品的馏程。馏分与馏程,或蒸馏温度与馏出量之间的关系表明原油的馏分组成。

#### (2) 比重与密度

石油的比重是指在工程制单位中,20℃(或 15.6℃)下的石油与 4℃(或 15.6℃)下同体积的水的重量之比,以  $d_4^{20}$ 、 $d_4^{15.6}$ 、 $d_{15.6}^{15.6}$  表示。在国际单位制中采用的物理量是密度,并规定标准密度以  $\rho_{20}$  表示,即 20℃时的密度。由于胶质和沥青的比重与密度较大,所以石油中胶状物质的含量越多,比重与密度就越大。此外,当沸点范围相同时,含芳烃越多,比重与密度越大;含烷烃越多,比重与密度越小。

#### (3) 凝点

石油中常含有一些大分子的烷烃或带长侧链的环烷烃等,分别叫作石蜡或地蜡。如果石油中含有相当数量的石蜡或地蜡,则当油温高于蜡的熔点时,它们就完全溶解于油中。而当油温低至一定温度时,石蜡或地蜡就会结晶析出成为固体,或者由于油的黏度