

高职高专系列教材

SHIYOU JIAGONG GONGYIXUE

石油加工工艺学

王海彦 陈文艺 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

高职高专系列教材

石油加工工艺学

王海彦 陈文艺 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

本书根据石油加工技术发展的情况,以培养应用型高级工程技术人才为目的,重点介绍了石油及其产品的性质,详细阐述了原油蒸馏、渣油热加工、催化裂化、催化加氢、催化重整、烷基化、异构化醚化以及润滑油生产等各种石油加工方法的基本原理、生产工艺过程、主要产品及典型设备和基本工艺计算方法,融入了部分科研与生产上的最新技术。

本书重点突出,内容新颖、翔实,实用性强,可作为高职高专“石油化工技术”专业和普通高等学校“化学工程与工艺”本科专业的专业教材,也可供炼油企业员工学习、培训之用。

图书在版编目(CIP)数据

石油加工工艺学 / 王海彦, 陈文艺主编. — 北京: 中国石化出版社, 2009
ISBN 978 - 7 - 80229 - 932 - 0

I. 石… II. ①王…②陈… III. 石油炼制 - 生产工艺
IV. TE624

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 067734 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 32 印张 780 千字
2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷
定价: 60.00 元

前 言

石化工业是国民经济的重要支柱产业之一，是提供交通运输燃料和石油化工原料的工业，在国民经济、国防和社会发展中具有极其重要的地位和作用。进入 21 世纪，我国石化工业发展迅速。目前，原油加工能力已居世界第二位，千万吨级以上的炼厂达 12 座，中国石化和中国石油公司已跻身世界 10 强炼油公司之列。预计到 2020 年，我国原油加工能力将超过 6.5 亿吨。同时，我国石化工业也面临着石油资源短缺、原油劣质化趋势加剧、产品升级和节能减排压力增大等问题。因此，我国石化工业结构调整和技术进步的步伐将进一步加快，对石油加工专业人才的数量和质量也将有更高的要求。本书根据石油加工技术发展的情况，以培养应用型高级工程技术人才为目的，从石油及其产品的性质出发，阐述了石油的各种加工方法、基本原理、生产工艺过程及典型设备和基本工艺计算方法，对科学实验与生产经验进行了总结，融入了部分科研与生产上的最新技术，注重理论联系实际和学术性与实用性的恰当兼顾，力争做到重点突出，内容新颖翔实，反映石油加工行业国内外的新技术和新成果。

本书详细介绍了石油及石油产品的组成和性质以及各种性质之间的相互关系，重点介绍了原油蒸馏、延迟焦化、催化裂化、催化加氢、催化重整、烷基化、异构化、醚化等主要车用燃料和化工原料的生产过程，以及溶剂精制、溶剂脱蜡、丙烷脱沥青、润滑油加氢等润滑油生产过程的基本原理和工艺流程，同时也对石油蜡和沥青的生产工艺进行了简单的介绍。主要章节包括石油及产品组成和性质、原油蒸馏、催化裂化、加氢裂化、催化重整、高辛烷值汽油组分生产、轻质油品的精制、润滑油生产以及石油蜡和沥青生产等章节。

由于编者水平和能力有限，书中难免存在疏漏、不妥和错误之处，恳请读者不吝指正。

编 者

目 录

绪 论	(1)
一、石油起源与世界石油工业诞生	(1)
二、我国发现和使用石油的历史	(2)
三、世界石油炼制技术的现状和未来发展趋势	(4)
第一章 石油及其产品的组成和性质	(10)
第一节 石油的性状与组成	(10)
一、石油的性状	(10)
二、石油的元素组成	(11)
三、石油的馏分组成	(11)
第二节 石油馏分的烃类组成	(12)
一、石油馏分的烃类组成	(12)
二、石油馏分烃类组成表示法	(14)
第三节 石油中的非烃化合物	(21)
一、含硫化合物	(21)
二、含氧化合物	(22)
三、含氮化合物	(23)
四、胶状-沥青状物质	(23)
五、渣油的组成	(25)
第四节 石油及其产品的物理性质	(26)
一、蒸气压	(26)
二、馏分组成与平均沸点	(28)
三、密度和相对密度	(32)
四、特性因数	(37)
五、平均相对分子质量	(38)
六、黏度和黏温性质	(40)
第二章 石油产品分类和石油燃料的使用要求	(50)
第一节 石油产品分类	(50)
一、燃料	(50)
二、润滑剂	(50)
三、石油沥青	(50)
四、石油蜡	(50)
五、石油焦	(51)
六、溶剂和化工原料	(51)
第二节 石油燃料的使用要求	(51)

一、临界性质	(51)
二、压缩因数	(53)
三、偏心因数	(55)
四、热性质	(56)
五、其他物理性质	(65)
第三节 石油燃料的质量要求	(70)
一、汽油	(71)
二、柴油	(84)
三、喷气燃料	(91)
四、灯用煤油	(99)
五、燃料油	(100)
第三章 原油分类与原油评价	(102)
第一节 原油的分类	(103)
一、工业分类	(103)
二、化学分类	(104)
第二节 原油评价	(105)
一、原油评价	(106)
二、原油的实沸点蒸馏	(107)
三、原油的实沸点蒸馏曲线、性质曲线及产率曲线	(111)
第三节 原油加工方案的确定	(113)
第四节 我国主要原油性质及加工方向简介	(113)
一、大庆原油	(114)
二、胜利混合原油	(115)
三、辽河混合原油	(116)
四、其他原油性质简介	(116)
第四章 原油预处理和原油蒸馏	(118)
第一节 原油的预处理	(118)
一、原油含水、含盐的影响	(118)
二、原油脱水、脱盐原理	(119)
三、原油二级电脱盐工艺	(121)
第二节 蒸馏与精馏原理	(123)
一、基本概念	(123)
二、石油加工过程中最常用到的几种蒸馏方式	(124)
三、精馏及实现精馏的条件	(125)
四、回流比与塔板数	(126)
五、蒸馏曲线的相互换算	(127)
第三节 原油常减压蒸馏	(138)
一、原油三段汽化常减压蒸馏工艺流程	(138)
二、原油分馏塔的工艺特征	(140)

三、回流方式	(141)
四、原油分馏塔气、液相负荷分布规律	(142)
五、减压蒸馏	(146)
第四节 常减压装置的能耗及节能	(149)
一、原油蒸馏装置的节能途径	(150)
二、装置间的综合节能途径	(150)
第五节 原油精馏塔的工艺计算	(151)
一、基础数据收集及设计计算步骤	(151)
二、塔板数、回流比与油品分馏精确度	(152)
三、汽提方式及水蒸气用量	(155)
四、精馏塔的操作压力	(156)
五、精馏塔的操作温度	(156)
六、确定塔径与塔高	(158)
第五章 渣油热加工	(172)
第一节 概述	(172)
第二节 热加工过程的化学反应	(172)
一、热化学反应	(173)
二、渣油热反应的特点	(175)
第三节 焦化过程	(176)
一、概述	(176)
二、焦化工艺流程	(178)
三、焦化过程的产品	(183)
第四节 减黏裂化	(186)
一、概述	(186)
二、减黏裂化工艺流程	(187)
第六章 催化裂化	(189)
第一节 概述	(189)
一、催化裂化在炼油工业中的作用	(189)
二、催化裂化发展简介	(189)
第二节 催化裂化的原料和产品特点	(195)
一、催化裂化原料	(195)
二、衡量原料性质的指标	(196)
三、产品的特点	(197)
第三节 烃类的催化裂化反应	(198)
一、催化裂化的化学反应类型	(198)
二、催化裂化反应的特点	(201)
三、催化裂化反应机理	(202)
四、催化裂化反应的热效应	(204)
五、影响催化裂化的主要因素	(204)

第四节 催化裂化催化剂	(207)
一、裂化催化剂的种类、组成和结构	(208)
二、裂化催化剂的使用性能	(211)
三、裂化催化剂助剂	(213)
第五节 流态化基本原理	(219)
一、流化床的形成和类别	(219)
二、气体流化床的一般特征	(223)
三、催化剂输送	(224)
第六节 催化剂的汽提与再生	(230)
一、催化剂的汽提	(230)
二、催化剂的再生	(232)
第七节 催化裂化装置的组成	(240)
一、工艺流程简述	(240)
二、渣油催化裂化新技术	(245)
第八节 催化裂化设备	(249)
一、再生器	(249)
二、提升管反应器及沉降器	(256)
第九节 反应-再生系统工艺计算	(262)
一、再生系统	(263)
二、反应系统	(270)
三、两器压力平衡	(278)
第七章 加氢裂化	(283)
第一节 概述	(283)
第二节 加氢裂化主要化学反应	(285)
一、烷烃和烯烃的加氢裂化反应	(285)
二、环烷烃和芳烃的加氢裂化反应	(286)
三、非烃类的加氢裂化反应	(288)
第三节 加氢裂化催化剂	(290)
一、催化作用原理	(290)
二、加氢裂化催化剂的组成	(292)
三、国内外常用的加氢裂化催化剂	(293)
四、加氢裂化催化剂的活化 and 再生	(295)
第四节 加氢裂化的主要影响因素	(297)
一、反应压力	(297)
二、反应温度	(298)
三、空速	(298)
四、氢油比	(299)
第五节 加氢裂化工艺流程	(300)
一、单段(一段)加氢裂化工艺	(300)

二、两段加氢裂化工艺	(302)
三、一段串联加氢裂化工艺	(303)
第六节 加氢过程的工艺计算	(304)
一、加氢过程热平衡	(304)
二、加氢过程氢耗量的计算	(315)
三、化学耗氢量的计算方法	(318)
四、氢-石油馏分体系气、液平衡计算	(320)
第七节 加氢裂化反应器	(321)
一、反应器筒体	(322)
二、反应器构件	(322)
三、反应器工艺尺寸的确定	(324)
四、压力降	(325)
五、反应器材质选择与保护	(326)
第八章 催化重整	(328)
第一节 概述	(328)
一、催化重整的地位和作用	(328)
二、催化重整的发展概况	(329)
第二节 催化重整的化学反应	(331)
第三节 重整催化剂	(333)
一、重整催化剂的组成	(333)
二、重整催化剂的种类	(334)
三、重整催化剂的使用性能	(335)
四、重整催化剂的失活与中毒	(336)
五、重整催化剂的水氯平衡	(338)
六、重整催化剂的再生	(339)
第四节 催化重整原料及其预处理	(341)
一、重整原料的选择	(341)
二、重整原料的预处理	(343)
第五节 催化重整工艺	(347)
一、重整反应系统的工艺流程	(347)
二、重整反应影响因素	(354)
第六节 重整反应器与再生器	(357)
一、重整反应器的结构	(357)
二、重整反应器的工艺计算	(359)
第九章 高辛烷值汽油组分的生产	(369)
第一节 烷基化	(369)
一、烷基化发展概况	(369)
二、烷基化反应	(370)
三、烷基化催化剂	(371)

四、烷基化工艺流程和影响因素	(372)
五、烷基化原料的杂质要求	(378)
第二节 烷烃异构化	(380)
一、C ₅ /C ₆ 烷烃异构化的发展概况	(380)
二、异构化催化剂	(382)
三、C ₅ /C ₆ 异构化的原料要求	(383)
四、烷烃异构化的工艺流程	(384)
第三节 醚化	(386)
一、醚化反应	(386)
二、醚化催化剂	(387)
三、醚化原料	(387)
四、醚化工艺流程	(388)
第十章 轻质油品的精制	(390)
第一节 汽油和煤油的脱硫醇	(390)
一、抽提氧化法脱硫醇	(390)
二、13X - 铜分子筛脱硫醇	(392)
三、无碱脱臭工艺	(394)
第二节 轻质油品的加氢精制	(397)
一、加氢精制的化学反应	(397)
二、加氢精制催化剂	(398)
三、汽油和柴油加氢精制工艺	(400)
第十一章 润滑油基础油的生产	(406)
第一节 概述	(406)
一、摩擦与润滑原理	(406)
二、润滑油的组成	(408)
三、润滑油基础油的生产程序	(415)
第二节 润滑油的分类	(416)
一、内燃机油	(416)
二、齿轮油	(422)
三、液压油	(424)
第三节 润滑油的溶剂精制	(426)
一、溶剂精制原理	(427)
二、影响溶剂精制过程的因素	(432)
三、抽提溶剂的回收	(436)
四、国内常用的抽提塔	(438)
五、溶剂精制的工艺流程	(439)
第四节 润滑油的溶剂脱蜡	(444)
一、脱蜡溶剂	(445)
二、影响酮苯脱蜡过程的主要因素	(447)

三、酮苯脱蜡系统工艺流程及设备	(452)
第五节 丙烷脱沥青	(460)
一、丙烷脱沥青的原理	(461)
二、影响丙烷脱沥青的主要因素	(462)
三、丙烷脱沥青的工艺流程	(466)
四、渣油的超临界流体抽提	(469)
第六节 润滑油的白土精制	(471)
一、白土精制原理	(471)
二、白土精制的工艺流程	(472)
三、白土补充精制的影响因素	(473)
第七节 润滑油的加氢	(474)
一、润滑油加氢补充精制	(475)
二、润滑油馏分加氢脱酸	(476)
三、润滑油加氢处理	(476)
四、润滑油催化脱蜡	(479)
五、润滑油异构脱蜡	(480)
第十二章 石油蜡和沥青的生产	(484)
第一节 石油蜡的生产	(484)
一、石油蜡的分类及性能	(484)
二、石油蜡的生产工艺流程	(485)
第二节 沥青的生产	(490)
一、沥青的性能	(490)
二、沥青的生产工艺	(491)
参考文献	(496)

绪 论

一、石油起源与世界石油工业诞生

石油又称原油，是从地下深处开采出来的黄色至棕黑色的可燃黏稠液体。它主要是由各种烷烃、环烷烃、芳香烃组成的混合物。通常认为它是古代海洋或湖泊中的生物经过漫长的演化形成的混合物，与煤一样属于化石燃料。

石油多生成于浅海的沉积岩中，见于内陆湖盆之沉积层甚少。其起源是由于海中含有大量微细浮游生物及海藻等类有机物，死亡之后埋藏在水底的厚层沉积物中，逐渐受到埋藏的压力和温度作用，使脂肪、碳水化合物等有机质分解转变而成。

人类在数千年前就已经知道石油，早在 3000 多年前的我国古书《易经》中就记载了有关石油和天然气的情况，其中有“泽中有火”之说。最早提出“石油”一词的是公元 977 年中国北宋编著的《太平广记》。正式命名为“石油”是根据中国北宋杰出的科学家沈括（1031 ~ 1095）在所著《梦溪笔谈》中根据这种油“生于水际砂石，与泉水相杂，惘惘而出”而命名的。在“石油”一词出现之前，国外称石油为“魔鬼的汗珠”、“发光的水”等，中国称“石脂水”、“猛火油”、“石漆”等。

到后汉时期，我国已开始使用石油。据后汉班固所著《汉书·地理志》记载，在今陕西北部延安、延长一带发现有石油，当地人民把它用作燃料和润滑剂。宋朝时期，我国历史上著名的科学家沈括在其名著《梦溪笔谈》中第一次正式提出“石油”这一名称。也就在这一时期，我国已开始对石油进行加工使用。我国最早的石油加工厂——“猛火油作”就是这一时期的产物，它已能炼制出称之为“猛火油”的石油产品。这期间我国已能用沥青作为控制火药燃烧速度的原料，并能用石油制作炭黑。明代，我国已能从石油中提炼灯油，在四川等地还发现了凝析油并进行了有组织的开采和利用。

目前关于石油的成因有两种说法：一是无机论，认为石油是在基性岩浆中形成的；二是有机论，认为各种有机物如动物、植物、特别是低等的动植物像藻类、细菌、蚌壳、鱼类等，死后埋藏在不断下沉缺氧的海湾、潟湖、三角洲、湖泊等地，经过许多物理化学作用，最后逐渐形成石油。

石油的颜色非常丰富，有红、金黄、墨绿、黑、褐红直至透明，其颜色是其本身所含胶质、沥青质的含量高低所造成，一般来讲，其含量越高颜色越深。通常石油的颜色越浅其油质越好。

石油主要由碳氢化合物混合而成，是具有特殊气味的、有色的可燃性油质液体。天然气是以气态的碳氢化合物为主的各种气体所组成，具有特殊气味的、无色的易燃性混合气体。

石油的性质因产地不同而有较大差异，其密度为 $0.8 \sim 1.0 \text{ g/cm}^3$ ，黏度范围很宽，凝点差别很大（ $30 \sim 60^\circ\text{C}$ ），沸点范围为常温到 500°C 以上，可溶于多种有机溶剂，不溶于水，但可与水形成乳状液。组成石油的化学元素主要是碳（83% ~ 87%）、氢（11% ~ 14%），其余为硫（0.06% ~ 0.8%）、氮（0.02% ~ 1.7%）、氧（0.08% ~ 1.82%）及微量金属元素（镍、钒、铁等）。其中，由碳和氢化合形成的烃类是构成石油的主要组成部分，约占

95% ~ 99%，而含硫、氧、氮的化合物对石油产品质量和加工过程都有一定程度的危害，需要在石油的加工中尽量除去。不同产地的石油中，各种烃类的结构和所占比例相差很大，但主要属于烷烃、环烷烃、芳香烃三类。通常以烷烃为主的石油称为石蜡基石油；以环烷烃、芳香烃为主的称环烷基石油；介于二者之间的称中间基石油。

我国原油主要特点是含蜡较多，凝点高，硫含量低，镍、氮含量中等，钒含量极少。除个别油田外，原油中汽油馏分较少，渣油占 1/3 左右。我国大庆原油的主要特点是含蜡量高，凝点高，硫含量低，属低硫石蜡基原油。

从寻找石油到利用石油，大致要经过四个主要环节，即寻找、开采、输送和加工，这四个环节一般又分别称为“石油勘探”、“油田开发”、“油气集输”和“石油炼制”。下面就这四个环节来追溯一下石油工业的发展历史。

“石油勘探”有许多方法，但地下是否有油，最终要靠钻井来证实。一个国家在钻井技术上的进步程度，往往反映了这个国家石油工业的发展状况，因此，有的国家竞相宣布本国钻了世界上第一口油井，以表示他们在石油工业发展上迈出了最早的一步。

“油田开发”指的是用钻井的办法证实了油气的分布范围，并且油井可以投入生产而形成一定生产规模。从这个意义上说，1821 年四川富顺县自流井气田的开发是世界上最早的自然气田。

“油气集输”技术也随着油气的开发应运而生，公元 1875 年左右，自流井气田采用当地盛产的竹子为原料，去节打通，外用麻布缠绕涂以桐油，连接成我们现在称呼的“输气管道”，总长 1 ~ 1.5km，在当时的自流井地区，绵延交织的管线翻越丘陵，穿过沟涧，形成输气网络，使天然气的应用从井的附近延伸到远距离的盐灶，推动了气田的开发，使当时的天然气达到年产 7000 多万立方米。

至于“石油炼制”，起始的年代还要更早一些，北魏时所著的《水经注》，成书年代大约是公元 512 ~ 518 年，书中介绍了从石油中提炼润滑油的情况。英国科学家约瑟在有关论文中指出：“在公元 10 世纪，中国就已经有石油而且大量使用。由此可见，在这以前中国人就对石油进行蒸馏加工了”。说明早在公元 6 世纪我国就萌发了石油炼制工艺。

二、我国发现和使用石油的历史

我国是发现和使用石油最早的国家。据稽考，早在三千多年前就已开始。

最早发现石油的记录源于《易经》：“泽中有火”，“上火下泽”。泽，指湖泊池沼，“泽中有火”，是石油蒸气在湖泊池沼水面上起火现象的描述。此书在西周时（公元前 11 世纪至公元前 771 年）已编成，距今已有 3000 多年的历史。

最早认识石油性能并记载石油产地的古籍，是 1900 年以前东汉文学家、历史学家班固（公元 32 ~ 92 年）所著的《汉书·地理志》。书中写道：“高奴县有洧水可燃”。高奴县指现在的陕西延安一带，洧水是延河的一条支流。这里明确记载了石油的产地，并说明石油是水一般的液体，可以燃烧。

最早采集和利用石油的记载，是南朝（公元 420 ~ 589 年）范晔所著的《后汉书·郡国志》。延寿县（指当时的酒泉郡延寿县，即今甘肃省玉门一带）记载：“县南有山，石出泉水，大如，燃之极明，不可食。县人谓之石漆”。“石漆”，当时即指石油。晋代（公元 265 ~ 420 年）张华所著的《博物志》和北魏地理学家郦道元所著的《水经注》也有类似的记载。《博物志》一书既提到了甘肃玉门一带有“石漆”，又指出这种石漆可以作为润滑油“膏车”（润滑油

轴)。这些记载表明，我国古代人民不仅对石油的性状有了进一步的认识，而且开始进行采集和利用了。

我国古代人民，除了把石油用于机械润滑外，还用于照明和燃料。唐朝(公元618~907年)段成武所著的《酉阳杂俎》一书，称石油为“石脂水”。“高奴县石脂水，水膩，浮上如漆，采以膏车及燃灯极明。”可见，当时我国已应用石油作为照明灯油了。随着生产实践的发展，我国古代人民对石油的认识逐步加深，对石油的利用日益广泛。到了宋代，石油能被加工成固态制品——石烛，且石烛点燃时间较长，一支石烛可顶蜡烛三支。宋朝著名的爱国诗人陆游(公元1125~1209年)在《老学庵笔记》中，就有用“石烛”照明的记叙。

石油还是我国古代最早使用的药物之一。明朝李时珍(1522~1596年)的《本草纲目》曾经记载，石油可以“主治小儿惊风，可与他药混合作丸散，涂疮癣虫癩，治铁箭入肉”。

早在1400年以前，我国古代人民就已看到石油在军事方面的重要性，并开始把石油用于战争。《元和郡县志》中有这样一段史实：唐朝年间(公元578年)，突厥统治者派兵包围攻打甘肃酒泉，当地军民把“火油”点燃，烧毁敌人的攻城工具，打退了敌人，保卫了酒泉城。石油用于战争，大大改变了战争进程。因此，到了五代(公元907~960年)，石油在军事上的应用渐广。后梁(公元919年)时，就有把“火油”装在铁罐里，发射出去烧毁敌船的战例。我国古代许多文献，如北宋曾公亮的《武经总要》，对如何以石油为原料制成颇具威力的进攻武器——“猛火油”，有具体的记载。北宋神宗年间，还在京城汴梁(今河南开封)设立了军器监，掌管军事装备的制造，其中包括专门加工“猛火油”的工场。据康誉之所著的《昨梦录》记载，北宋时期，西北边域“皆掘地做大池，纵横丈余，以蓄猛火油”，用来防御外族统治者的侵扰。

此外，我国古代在火药配方中，开始使用石油产品沥青，以控制火药的燃烧速度。这一技术，比外国早了近一千年。

最早给石油以科学命名的是我国宋代著名科学家沈括(1031~1095年，浙江钱塘人)。他在百科全书《梦溪笔谈》中，把历史上沿用的石漆、石脂水、火油、猛火油等名称统一命名为石油，并对石油作了极为详细的论述。“延境内有石油……予疑其烟可用，试扫其煤以为墨，黑光如漆，松墨不及也。……此物后必大行于世，自予始为之。盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭”。“石油”一词，首用于此，沿用至今。沈括曾于1080~1082年任延路经略使，对延安、延长县一带的石油资源亲自作了考察，还第一次用石油制成石油炭黑(黑色颜料)，并建议用石油炭黑取代过去用松木、桐木炭黑制墨，以节省林业资源。他首创的用石油炭黑制作的墨，久负盛名，被誉为“延州石液”。九百年前，我国人民对石油就有了这样的评价，在世界上是罕见的，尤其是对未来石油潜力的预言。更是难能可贵的。

我国古代人民采集石油有十分悠久的历史，特别是通过钻凿油井和气井来开采石油和天然气的技术，在世界上也是最早的。晋代张华所著的《博物志》记载了四川地区，从两千多年以前的秦代就开始凿井取气煮盐的情况。“临邛火井一所，纵广五尺，深二丈”，“先以家火投之”，再“取井火还煮井水”。据载此法效果大，省事简办，“一斛水得四、五斗盐”，比家火煮法，得盐“不过二、三斗”，显然火井煮盐，成本低，产量高，被认为是手工业的一项重大发展。当时凿井是靠人工挖掘，公元1041年以后，钻井用的工具有了很大改进，方法也有所更新。据《蜀中广记》记载，东汉时期，“蜀始开筒井，用环刃凿如碗大，深者数

十丈”。据古籍记载，古代在陕西、甘肃、新疆、四川、台湾等省发现了石油矿。据《台湾府志》记载，清朝咸丰十年，台湾新竹县发现了石油，一个名叫邱苟的人，挖坑3m，每天收集6kg左右石油，并用其点燃手提马灯。

我国明代以后，石油开采技术逐渐流传到国外。明朝科学家宋应星(生于1587年，江西奉新县人)所著的科学巨著《天工开物》，把长期流传下来的石油化学知识作了全面的总结，对石油的开采工艺作了系统的叙述。全书18卷，图文并茂，出版于明末崇祯十年，即1637年，是当时世界上仅有的一部化学工艺百科全书。该书16世纪传到日本，1771年的日本翻刻本受到日科技界的注意。18世纪传到欧洲，17世纪上半叶起，陆续出现了欧洲文节译本，1869年出现了比较详细的法文节译本。20世纪后半叶以来，全部被译为日、英、俄文，成为世界科技史的名著之一。难怪有的国家石油技术资料也公认，我国早在公元1100年就钻成了1000m的深井。说明在那时，我国的石油钻井技术就达到了比较高的水平。

三、世界石油炼制技术的现状和未来发展趋势

1. 石油炼制的地位和作用

(1) 石油在世界能源结构中的地位

自从1859年世界上第一口Drake油井钻探成功以来，石油便逐渐取代木柴和煤成为世界最为重要的能源和化工原料。到目前为止，石油仍然是世界经济发展和人类生活水平提高不可或缺的最为重要的能源之一。表0-1为1950年、1971年和2000年世界一次能源的消费结构情况。可以看出，自石油取代煤成为主要的一次能源之后，其在世界一次能源消费结构中所占的比例始终保持在40%左右。据国际能源署(IEA)预测，未来30年，世界能源需求量将增加2/3以上，且化石燃料在能源结构中仍将占有不可替代的地位。据预测2010和2030年，世界石油需求量在整个一次能源消费结构中的比例仍将占35%以上，见表0-2。这一切都表明在未来一段时期内，石油仍然是世界能源消费结构中不可缺少的重要组成部分。

表0-1 世界一次能源的消费结构

%

能 源	1950	1971	2000
煤炭	50.9	29.0	25.6
石油	32.9	49.0	39.3
天然气	10.8	17.9	22.7
核能	6.2	0.6	7.3
水力发电	—	2.1	2.5
其他可再生能源	—	1.5	2.5

表0-2 未来世界能源的消费结构

%

能 源	2010	2030
煤炭	22.3	22.1
石油	35.3	35.4
天然气	23.1	25.8
核能	2.3	2.2
水力发电	6.2	4.3
其他可再生能源	10.9	10.1

注：其他可再生能源包括可燃烧的可再生能源、废弃物、地热能、太阳能、风能和潮汐能等。

(2) 世界炼油工业发展现状

从地下开采出来的原油必须经过各种物理及化学加工过程,才能将原油转变为石油产品并得到有效利用,这些转化过程的组合就构成石油炼制过程。经过 150 多年的发展,石油炼制工业已经成为世界石油经济不可分割的一部分,随着世界经济的不断发展,各国对石油产品的需求也在不断增加,促进了各种炼油新技术不断开发并被成功地运用于工业生产,不但增加了石油产品的数量,同时也提高了石油产品的质量。

到 2004 年,分布在全球的炼厂共有 717 个,其中,美国 133 个、中国 95 个、俄罗斯 42 个。世界炼油能力最大的国家是美国,其原油蒸馏能力约占世界的 1/5;其次为俄罗斯和日本,分别占 6.6% 和 5.8%;中国排名第四,占 5.5%。世界前十大炼油国家的原油蒸馏能力就达到了世界原油蒸馏能力的 54.2%。2003 年世界上最大的炼油厂是位于委内瑞拉的帕拉瓜纳炼制中心,其原油蒸馏能力为 47Mt/a。除此之外,世界排名前 16 位的大型炼油厂中有 6 座位于亚太地区,3 座位于美国,3 座位于中东地区,其他 3 座分别位于俄罗斯、荷兰和维尔京群岛。随着世界炼油厂的规模越来越大,炼油装置的规模也向大型化方向发展,其中单套常减压蒸馏的能力达到了 12.75Mt/a,单套催化裂化(FCC)能力达到了 6Mt/a,渣油催化裂化(RFCC)能力也达到了 4.25Mt/a。

2. 世界炼油技术的发展历程与现状

(1) 世界炼油技术发展现状

在 1991~2003 年间,世界原油蒸馏能力增加了 9.6%,在主要的二次加工过程中,加氢裂化和加氢精制的能力增加较快,分别增加了 5.3% 和 4.6%,而 FCC 和重整能力增加较慢。加氢能力的增加主要是因为世界各国对低硫和超低硫车用燃料需求的不断增加,这使炼油厂普遍采用各种加氢手段降低燃料中的硫含量,以生产清洁燃料。

1991~2003 年,全球二次加工能力中转化能力(FCC 和加氢裂化)增加较快,从 1991 年的 13.8 Mb/d 增大到 2003 年底的 18.9 Mb/d,约增加了 37%;燃料生产能力(催化重整和烷基化)的增长速度稍慢,从 1991 年的 11.2 Mb/d 增大到 2003 年底的 13.4Mb/d,约增加了 20%。在过去 10 年中,美国炼厂的 FCC 和加氢裂化能力略有增长,而燃料生产(催化重整和烷基化)能力有一定程度的下降。在美国这 4 种主要二次加工过程的能力占原油蒸馏能力的比例达到了 70% 以上,这说明美国的炼油业已是比较成熟的工业。欧盟国家近 10 年来,FCC 和加氢裂化能力增加较明显,催化重整和烷基化能力略有下降;而在亚太地区,FCC 和加氢裂化的能力有极大的提高,催化重整和烷基化的能力在 1995~1998 年间增加较快。在欧盟地区,4 种主要加工过程的总能力占原油蒸馏能力的 38% 左右,而亚太地区则更少,不到 30%。与美国相比,欧盟和亚太地区的二次加工能力明显不足。

(2) 世界炼油技术的发展历程

1910 年以前,石油加工工艺仅是常压蒸馏,产品是煤油用于照明使用。随着汽车工业的发展,汽油逐渐成了主要的石油产品,这就促进了裂化工艺的发展。从热加工拓展到催化加工,进而发展到深度加工,形成了一个结构复杂、规模庞大的石油加工工艺技术体系。但是,全球石油石化工业的大规模形成和发展是在 20 世纪。

① 出现阶段(1861~1911 年):1861 年,世界上第一座炼厂在美国宾夕法尼亚州建成。当时用的是一个直径约 7ft(1ft=0.3048m)的铸铁罐作为蒸馏釜,以燃烧木柴加热,从顶部蒸馏出的油气经水冷凝获得石油产品,唯一的产品是煤油,采用间歇操作,通常 1 次操作可持续 3 天。

② 发生阶段(1911~1950年):随着汽车工业的快速发展,对汽油的需求迅速增加,因此注重提高汽油产量的裂化工艺得到重视并得以迅速发展。1914年出现热裂化工艺,1930年标准石油公司发明了延迟焦化工艺,1942年Exxon公司建立了世界上第一套催化裂化(FCC)工艺装置,1948年催化剂喷雾干燥技术的开发促进了流化床技术的发展。当时主要的炼油国家是美国和德国,炼油工艺主要采用连续管式蒸馏、热裂化、延迟焦化、FCC、临氢重整、铂重整等一次和二次加工手段,主要产品是汽油。

③ 发展阶段(1950~1990年):这阶段炼油技术有了很大发展,同时炼油技术也从主要的炼油国家如美国、欧洲、日本等发达国家和地区扩展到广大的发展中国家。特别是20世纪60~70年代,炼油技术实现了跨越式发展,出现了双金属和多金属重整催化剂和连续重整工艺、分子筛催化裂化催化剂和提升管催化裂化工艺,炼油工业的发展进入了崭新阶段。

④ 成熟阶段(1990年至今):此阶段炼油技术没有新的重大突破,炼油工业主要是炼厂规模和炼油装置的大型化,并向提高原油的加工深度、增加加工各种原油的灵活性、改善石油产品收率和质量等方向发展。

(3) 世界石油炼制技术的未来发展趋势

随着世界经济的快速发展和对运输用的燃料和化工原料需求的日益增加,以及石油的日益重质化和劣质化,同时环保法规对油品质量要求的日益严格。世界炼油技术进一步发展的重点主要集中在重质/劣质原油的加工、清洁燃料的生产及炼油-化工一体化等几个方面。

① 重质/劣质原油的加工。随着原油资源的日益枯竭,世界原油供应呈现出重质化、劣质化的发展趋势。与此同时,世界各国对轻质油品的需求日益增加,对燃料油特别是对中、高硫燃料油的需求量日益减少,见表0-3。因此,选择合适的加工手段,提高重质原油的加工深度是炼油厂提高轻油收率、增加经济效益的关键。

表0-3 各种油品的市场占有率

%

年	汽 油	中 间 馏 分	残 渣 燃 料 油	其 他
1990	29.9	32.1	18.0	20.0
1995	30.9	34.1	17.0	18.0
2000	31.2	36.3	12.8	19.7
2015	32.0	37.0	11.0	20.0

渣油深加工的手段有三种类型,即脱炭、加氢和汽化。脱炭工艺主要有焦化、减黏裂化、溶剂脱沥青、FCC和渣油催化裂化(RFCC)等;加氢工艺包括加氢裂化和加氢处理;汽化工艺则是指直接将渣油氧化燃烧,用于发电、制氢等。从世界范围看,目前各种渣油加工过程中焦化工艺的加工程度最大。表0-4是延迟焦化、加氢裂化和RFCC三种主要的渣油加工过程对原料的适用性、主要产品产率、投资成本及炼化一体化发展潜力的对比。

表0-4 各种渣油加工工艺对比

工 艺	对原油质量的适应灵活性	主要产品率/%	成本/(美元/桶)	炼化结合的潜力
延迟焦化	宽 残炭>3.8%~45%	馏分油30~65 焦炭~30	2000~4500	石脑油:产率13%~18%,加氢精制后可用于生产乙烯(BMCI=10)