

高等院校“十一五”规划教材

# 石油炼制工艺学

沈本贤 主 编  
程丽华 王海彦 杨基和 副主编

中国石化出版社

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

高等院校“十一五”规划教材

# 石油炼制工艺学

沈本贤 主编

程丽华 王海彦 杨基和 副主编

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书从石油资源的高效利用和清洁转化出发,根据石油的化学组成、性质和石油产品的要求,阐述了石油炼制的主要方法、基本原理、工艺过程、影响因素、基本计算、发展趋势及典型设备等。全书共分十二章,力求反映石油炼制工业关键技术的新发展。

本书可作为高等院校相关专业的教材和炼油工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

石油炼制工艺学 / 沈本贤主编. —北京:中国石化出版社, 2009  
高等院校“十一五”规划教材  
ISBN 978-7-80229-815-6

I. 石… II. 沈… III. 石油炼制-生产工艺-高等学校-教材 IV. TE624

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第009501号

### 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

金圣才文化(北京)发展有限公司排版

北京科信印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

\*

787×1092毫米16开本29.75印张724千字

2009年2月第1版 2009年2月第1次印刷

定价:48.00元

# 前 言

根据2007年10月中国石化出版社在上海召开的《石油炼制工艺学》审稿会议的决定,由石油化工高等院校教材协作组成员单位华东理工大学、茂名学院、辽宁石油化工大学、江苏工业学院共同合编《石油炼制工艺学》,作为普通高等院校石油炼制,石油化工,油气储存、加工和产品应用等方向的专业教材,进一步落实高校教材合编共用的精神。

本书编写主要参考林世雄主编的《石油炼制工程》(第三版)、陈绍洲等主编的《石油加工工艺学》等,在此基础上,从石油资源高效利用和清洁转化出发,与时俱进,调整和更新内容,力求反映石油炼制工业关键技术的新发展。本书阐述石油及其产品的组成、性质与要求,努力贯彻建设资源节约型 and 环境保护型社会的方略,分析和讨论在原油重质化、劣质化趋势下,石油炼制的主要方法、基本原理、工艺过程、影响因素、基本计算、发展趋势及典型设备等。全书共有十二章,按各校专业特色和教学时数,可根据实际需要,把握精讲的重点。书中附有部分习题与思考题,供参考。

本书主编沈本贤,副主编:程丽华、王海彦、杨基和。

参加本书编写工作的还有梁朝林、吴世逵、谢颖、陈兴来、黄克敏、欧阳福生、赵基钢、刘纪昌等同志。

黄风林和吴金林同志对本书的编写工作提出了宝贵的意见,特致谢意。

限于编者的能力与水平,书中缺点、错误在所难免,恳请批评指正。

编 者

# 目 录

第一章 绪 论 .....	( 1 )
一、石油炼制工业在国民经济中的地位和重任 .....	( 1 )
二、我国石油工业的发展概况 .....	( 2 )
三、“石油炼制工艺学”课程特点与学习方法 .....	( 2 )
第二章 石油及其产品的组成和性质 .....	( 4 )
第一节 石油的一般性状及化学组成 .....	( 4 )
一、石油的一般性状、元素组成、馏分组成 .....	( 4 )
二、石油及石油馏分的烃类组成 .....	( 6 )
三、石油中的非烃化合物 .....	( 12 )
四、渣油的组成 .....	( 17 )
五、石油中的微量元素 .....	( 18 )
第二节 石油及其产品的物理性质 .....	( 19 )
一、蒸气压 .....	( 20 )
二、馏分组成与平均沸点 .....	( 26 )
三、密度和相对密度 .....	( 30 )
四、特性因数 .....	( 34 )
五、平均相对分子质量 .....	( 38 )
六、油品的黏度 .....	( 40 )
七、临界性质、压缩因子和偏心因子 .....	( 49 )
八、热性质 .....	( 56 )
九、低温流动性 .....	( 63 )
十、燃烧性能 .....	( 63 )
十一、其他物理性质 .....	( 66 )
习题与思考题 .....	( 68 )
参考文献 .....	( 70 )
第三章 石油产品 .....	( 71 )
第一节 石油产品的分类 .....	( 71 )
一、石油产品总分类 .....	( 71 )
二、石油燃料分类 .....	( 71 )
第二节 汽油 .....	( 72 )
一、汽油机的工作过程及其对燃料的使用要求 .....	( 72 )
二、车用汽油的主要性能 .....	( 74 )
三、清洁汽油 .....	( 80 )
第三节 柴油 .....	( 81 )
一、柴油机的工作过程及其对燃料的使用要求 .....	( 81 )

二、柴油的主要性能 .....	( 84 )
三、清洁柴油 .....	( 89 )
第四节 喷气燃料(航空煤油) .....	( 90 )
一、喷气式发动机的工作过程及其对燃料的使用要求 .....	( 90 )
二、喷气燃料的主要性能 .....	( 91 )
第五节 润滑油及润滑脂 .....	( 95 )
一、润滑油的组成、基本性能与质量要求及分类 .....	( 96 )
二、润滑油基础油 .....	( 98 )
三、内燃机润滑油 .....	( 101 )
四、齿轮油 .....	( 105 )
五、润滑脂 .....	( 107 )
第六节 其他石油产品 .....	( 109 )
一、燃料油 .....	( 109 )
二、炼厂气 .....	( 110 )
三、溶剂油及化工轻油原料 .....	( 110 )
四、石油酸 .....	( 112 )
五、石油固体产品 .....	( 112 )
习题与思考题 .....	( 117 )
参考文献 .....	( 118 )
<b>第四章 原油评价与原油加工方案 .....</b>	<b>( 119 )</b>
第一节 原油的分类 .....	( 119 )
一、化学分类 .....	( 119 )
二、工业分类 .....	( 120 )
第二节 原油评价 .....	( 122 )
一、原油性质分析 .....	( 122 )
二、原油实沸点蒸馏及窄馏分性质 .....	( 124 )
三、原油的实沸点蒸馏曲线、性质曲线及产率曲线 .....	( 125 )
第三节 原油加工方案 .....	( 130 )
一、大庆原油加工方案 .....	( 130 )
二、胜利原油加工方案 .....	( 131 )
三、原油的燃料-化工型加工方案 .....	( 132 )
四、进口原油、含(高)硫原油加工方案 .....	( 132 )
五、含酸原油加工方案 .....	( 135 )
习题与思考题 .....	( 135 )
参考文献 .....	( 136 )
<b>第五章 原油蒸馏 .....</b>	<b>( 137 )</b>
第一节 原油及其馏分蒸馏类型 .....	( 137 )
一、平衡汽化 .....	( 137 )
二、简单蒸馏——渐次汽化 .....	( 138 )

三、精馏 .....	(138)
第二节 原油及原油馏分的蒸馏曲线及其换算 .....	(141)
一、原油及原油馏分的三种蒸馏曲线 .....	(141)
二、蒸馏曲线的相互换算 .....	(142)
第三节 原油蒸馏塔内气液负荷分布规律 .....	(152)
一、塔顶气、液相负荷 .....	(153)
二、汽化段气、液相负荷 .....	(153)
三、最低侧线抽出板下方的气、液相负荷 .....	(154)
四、经过侧线抽出板时的气、液相负荷 .....	(155)
五、塔顶第一、二层塔板之间的气、液相负荷 .....	(155)
第四节 原油蒸馏工艺流程 .....	(157)
一、原油脱盐脱水 .....	(157)
二、原油脱酸 .....	(159)
三、三段汽化蒸馏的工艺流程 .....	(161)
四、原油蒸馏流程的讨论与分析 .....	(162)
五、原油蒸馏中轻烃的回收 .....	(168)
第五节 原油蒸馏的能耗与节能技术 .....	(168)
一、采用新技术,改进工艺过程 .....	(168)
二、采用新型、高效、低耗设备 .....	(169)
三、优化换热网络 .....	(170)
第六节 原油蒸馏装置的腐蚀与防护 .....	(171)
一、腐蚀机理 .....	(171)
二、防腐蚀措施 .....	(173)
第七节 原油蒸馏塔工艺计算 .....	(175)
一、蒸馏塔的物料平衡与热平衡 .....	(175)
二、蒸馏塔主要操作条件的确定 .....	(177)
三、原油常压蒸馏塔工艺计算实例 .....	(181)
习题与思考题 .....	(192)
参考文献 .....	(192)
第六章 催化裂化 .....	(194)
第一节 概述 .....	(194)
一、催化裂化在炼油厂中的地位和作用 .....	(194)
二、催化裂化的发展概况 .....	(195)
第二节 催化裂化的原料和产品 .....	(197)
一、原料 .....	(197)
二、产品 .....	(200)
第三节 催化裂化的化学反应 .....	(200)
一、烃类的催化裂化基本反应 .....	(200)
二、烃类的催化裂化正碳离子反应机理 .....	(202)

三、石油馏分的催化裂化反应 .....	(204)
四、重油(渣油)的催化裂化反应 .....	(206)
五、催化裂化的几个基本概念 .....	(207)
六、催化裂化反应的热力学和动力学分析 .....	(208)
第四节 催化裂化催化剂 .....	(214)
一、裂化催化剂的种类、组成和结构 .....	(214)
二、裂化催化剂的物理性质 .....	(216)
三、裂化催化剂的使用性质 .....	(218)
四、工业用分子筛裂化催化剂的种类 .....	(219)
五、裂化催化剂的失活与再生 .....	(220)
第五节 催化剂的流化输送 .....	(224)
一、稀相输送 .....	(224)
二、密相输送 .....	(226)
第六节 催化裂化工艺流程 .....	(230)
一、反应-再生系统 .....	(230)
二、分馏系统 .....	(231)
三、吸收-稳定系统 .....	(233)
四、能量回收系统 .....	(235)
五、重油催化裂化 .....	(235)
六、中国的重油催化裂化技术 .....	(239)
第七节 催化裂化主要设备 .....	(242)
一、提升管反应器 .....	(242)
二、再生器 .....	(245)
三、专用设备和特殊阀门 .....	(250)
四、旋风分离器 .....	(251)
第八节 反应-再生系统工艺计算 .....	(252)
第九节 催化裂化新技术 .....	(270)
一、重油催化裂化新技术 .....	(271)
二、多产低碳烯烃的催化裂化新技术 .....	(273)
三、适应市场产品需求的催化裂化 .....	(274)
习题与思考题 .....	(276)
参考文献 .....	(276)
第七章 催化加氢 .....	(278)
第一节 概述 .....	(278)
一、催化加氢在炼油工业中的地位和作用 .....	(278)
二、加氢技术的发展概况 .....	(279)
第二节 催化加氢过程的化学反应 .....	(281)
一、加氢处理过程的化学反应 .....	(281)
二、加氢裂化过程的化学反应 .....	(288)



第三节 加氢催化剂 .....	(292)
一、加氢催化剂的种类和组成 .....	(292)
二、国内外典型的加氢催化剂 .....	(294)
第四节 加氢过程的主要影响因素 .....	(298)
一、氢分压 .....	(298)
二、反应温度 .....	(299)
三、空速 .....	(301)
四、氢油比 .....	(303)
第五节 加氢精制工艺过程 .....	(304)
一、石脑油加氢精制 .....	(304)
二、喷气燃料临氢脱硫醇 .....	(305)
三、柴油加氢精制 .....	(306)
第六节 加氢裂化工艺过程 .....	(308)
一、加氢裂化工艺流程 .....	(308)
二、加氢裂化产品特点 .....	(312)
第七节 渣油加氢技术 .....	(314)
一、渣油加氢的化学反应 .....	(314)
二、固定床渣油加氢技术 .....	(315)
第八节 催化加氢主要设备 .....	(318)
一、固定床反应器 .....	(318)
二、加氢加热炉 .....	(320)
三、高压换热器 .....	(321)
四、冷却器 .....	(321)
五、高压分离器 .....	(321)
六、加氢反应器的防腐蚀 .....	(322)
第九节 加氢过程氢耗量的计算 .....	(323)
一、影响氢耗量的因素 .....	(323)
二、氢耗量的计算 .....	(324)
三、化学耗氢量的计算方法 .....	(325)
习题与思考题 .....	(327)
参考文献 .....	(327)
<b>第八章 催化重整 .....</b>	<b>(328)</b>
<b>第一节 概述 .....</b>	<b>(328)</b>
一、催化重整在炼油厂中的地位和作用 .....	(328)
二、催化重整的发展概况 .....	(329)
<b>第二节 催化重整过程的化学反应 .....</b>	<b>(331)</b>
一、催化重整的化学反应 .....	(331)
二、催化重整反应的化学平衡与反应热 .....	(333)
三、催化重整化学反应的热力学和动力学分析 .....	(333)

第三节 重整催化剂 .....	(338)
一、重整催化剂的组成和种类 .....	(338)
二、重整催化剂的双功能 .....	(341)
三、双(多)金属催化剂的特点及发展方向 .....	(342)
四、重整催化剂的失活与再生 .....	(343)
五、重整催化剂的还原和硫化 .....	(347)
第四节 催化重整原料及其预处理 .....	(347)
一、重整原料的选择 .....	(347)
二、重整原料的预处理 .....	(349)
第五节 催化重整工艺流程 .....	(351)
一、重整反应系统的工艺流程 .....	(351)
二、重整芳烃的抽提过程 .....	(357)
三、芳烃精馏 .....	(361)
第六节 重整反应器 .....	(363)
一、重整反应器的结构形式 .....	(363)
二、重整反应器床层压降 .....	(364)
第七节 重整工艺计算 .....	(365)
一、总物料平衡及芳烃转化率 .....	(365)
二、单体烃分子转化情况分析 .....	(368)
三、催化重整反应器的理论温降 .....	(370)
四、催化重整反应器工艺尺寸的确定 .....	(371)
习题与思考题 .....	(375)
参考文献 .....	(375)
<b>第九章 延迟焦化 .....</b>	<b>(377)</b>
第一节 概述 .....	(377)
一、焦化在炼油厂的地位和作用 .....	(377)
二、焦化的发展概况 .....	(377)
第二节 延迟焦化的原料和产品 .....	(379)
一、延迟焦化的原料 .....	(379)
二、延迟焦化的产品 .....	(381)
第三节 延迟焦化的化学反应 .....	(385)
一、各种烃类的热化学反应 .....	(385)
二、烃类的热化学反应机理 .....	(387)
三、渣油热反应的特点 .....	(387)
四、反应热 .....	(389)
第四节 延迟焦化的工艺流程 .....	(389)
一、焦化-分馏部分 .....	(390)
二、放空系统 .....	(391)
三、焦炭处理系统 .....	(392)

第五节 延迟焦化过程的主要影响因素 .....	(392)
一、原料性质 .....	(392)
二、操作温度 .....	(393)
三、操作压力 .....	(393)
四、循环比 .....	(394)
习题与思考题 .....	(396)
参考文献 .....	(396)
第十章 高辛烷值汽油组分生产技术 .....	(397)
第一节 烷基化 .....	(397)
一、概述 .....	(397)
二、烷基化的化学反应 .....	(398)
三、烷基化的原料 .....	(400)
四、烷基化工艺流程和影响因素 .....	(401)
五、烷基化技术进展 .....	(406)
第二节 异构化 .....	(411)
一、概述 .....	(411)
二、异构化反应和异构化催化剂 .....	(413)
三、C <sub>5</sub> /C <sub>6</sub> 异构化的原料及其预处理 .....	(415)
四、烷烃异构化的工艺流程 .....	(417)
第三节 高辛烷值醚类的合成 .....	(419)
一、概述 .....	(419)
二、醚化反应 .....	(420)
三、醚化催化剂 .....	(421)
四、醚化原料 .....	(422)
五、醚化工艺流程 .....	(423)
习题与思考题 .....	(425)
参考文献 .....	(425)
第十一章 润滑油基础油的生产 .....	(427)
第一节 概述 .....	(427)
第二节 溶剂脱沥青 .....	(429)
一、丙烷脱沥青的原理 .....	(429)
二、丙烷脱沥青的工艺流程 .....	(430)
三、影响溶剂脱沥青的主要因素 .....	(432)
四、超临界技术在渣油脱沥青中的应用 .....	(435)
第三节 润滑油的溶剂精制 .....	(436)
一、溶剂精制原理 .....	(436)
二、糠醛精制工艺流程 .....	(438)
三、影响糠醛精制的主要因素 .....	(440)
第四节 润滑油溶剂脱蜡 .....	(440)

一、溶剂脱蜡原理 .....	(442)
二、溶剂脱蜡工艺流程 .....	(444)
三、影响溶剂脱蜡过程的主要因素 .....	(447)
第五节 润滑油的白土补充精制 .....	(450)
一、白土精制原理 .....	(450)
二、白土精制工艺过程 .....	(451)
三、影响白土精制的操作因素 .....	(451)
第六节 润滑油加氢技术 .....	(453)
一、润滑油加氢处理 .....	(453)
二、润滑油催化脱蜡 .....	(454)
三、润滑油异构脱蜡 .....	(455)
习题与思考题 .....	(456)
参考文献 .....	(456)
<b>第十二章 石油产品的调合</b> .....	(457)
第一节 概述 .....	(457)
第二节 调合机理 .....	(457)
第三节 调合工艺 .....	(458)
一、调合步骤 .....	(458)
二、调合工艺 .....	(458)
三、影响调合质量的因素 .....	(460)
第四节 油品理化性质的调合特性 .....	(460)
一、汽油辛烷值 .....	(461)
二、汽油蒸气压 .....	(461)
三、柴油十六烷值 .....	(461)
四、柴油凝点 .....	(462)
五、油品黏度 .....	(462)
六、闪点 .....	(462)
习题与思考题 .....	(462)
参考文献 .....	(462)

# 第一章 绪 论

## 一、石油炼制工业在国民经济中的地位和重任

石油主要是碳氢化合物组成的复杂混合物。关于石油形成的说法，基本上有两种：一种是有有机生成说，认为古代的动植物遗体经过许多世纪的堆积，被新岩层覆盖后，与空气隔绝，在缺氧的还原环境下，发生复杂的物理化学变化，在地下逐渐形成石油和天然气。另一种是无机生成说，认为石油是由水和二氧化碳与金属氧化物发生地球化学反应而生成。

石油与原油二者在含义上是有区别的，石油一词源于拉丁语 petro(岩石)与 oleum(油)，二者拼起来即石油(petroleum)。石油是由碳氢化合物组成的复杂混合物，它包括气体、液体及固体(煤炭除外)。而原油是指从地下开采出来的液体油料。按这个定义，石油包括原油、天然气、油页岩干馏油等。不过，习惯上一般将石油与原油二词交换使用或相提并论。

石油不能直接作汽车、飞机、轮船等交通运输工具发动机的燃料，也不能直接作润滑油、溶剂油、工艺用油等产品使用，必须经过石油炼制工艺加工，才能高效利用和清洁转化，获得符合质量要求的各种石油产品。

石油炼制工业生产汽油、煤油、柴油等燃料与润滑油，三烯(乙烯、丙烯、丁二烯)、三苯(苯、甲苯、二甲苯)等化学工业原料，是国民经济支柱产业之一，关系国家的经济命脉和能源安全，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。世界经济强国无一不是炼油和石化工业强国。我国原油加工能力居世界第二位，乙烯生产能力居世界第三位，但人均生产能力不高。大力发展炼油化工是高速发展国民经济的需要。

2020年我国要实现人均国民生产总值比2000年翻两番、全面建设成小康社会的伟大目标，国民经济的快速发展需要更多的运输燃料及石化产品。有关研究认为，各项节约措施到位，汽车保有量2020年能保持在1亿辆之内，汽油、柴油、航空煤油的需求量将分别达到86Mt、152Mt、22Mt，石化产品以乙烯为代表2020年的当量消费量将达到38Mt，快速增长的市场需求为炼油石化工业的发展提供了难得的机遇。但是面向未来，我国炼油石化产业面临的原油资源短缺和保护环境的压力越来越大。随着人类对石油的不断勘探开发，石油探明储量还在不断增加，但我们应加深理解国家实行石油安全战略的伟大意义。

表1-1是2006年底世界石油探明储量居前10位的国家。

表1-1 2006年石油探明储量前10位的国家

国别	沙特阿拉伯	加拿大	伊朗	伊拉克	科威特	阿联酋	委内瑞拉	俄罗斯	利比亚	尼日利亚
储量/亿t	354.37	244.44	185.87	156.86	135.04	133.4	109.14	81.84	56.56	49.4

长期以来，我国石油产量稳中有升。但是我国石油消费的增长速度远高于产量及探明可采储量的增长速度，石油资源短缺的矛盾日益凸现，进口依存度不断增加(见表1-2)。而国际市场石油的供应形势不容乐观，高油价并非一时现象。

表 1-2 2002~2006 年我国的石油产量、探明可采储量、储采比消费量及进口依存度

年 份	2002	2003	2004	2005	2006	备注
产量/ $10^8$ t	1.67	1.696	1.759	1.808	1.838	居世界第五位
探明可采储量/ $10^8$ t	21.86	21.81	21.88	21.88	22.23	
储采比	13.1	12.9	12.4	12.1	12.1	
消费量/ $10^8$ t	2.486	2.719	3.172	3.283	3.47	居世界第二位
进口依存度/%	32.8	37.6	44.5	44.9	47	

世界石油供应紧张的同时,可以供应的石油质量越来越差。即原油越来越重,原油的硫含量增加。而油品质量标准和生产过程“三废”排放限制日趋严格。

因此,我国炼油石化工业要充分重视合理有效利用石油资源,要高度重视工艺过程和产品清洁化,使紧缺的石油资源最大量生产优质运输燃料和石化原料,在建设资源节约型 and 环境保护型社会中努力贡献力量。

## 二、我国石油工业的发展概况

早在 3000 多年以前的西周时期已经发现石油,在《易经》中留有“泽中有火”的记载。虽然我国发现和应用石油最早,但近代石油工业起步较晚,大量进口石油产品。1949 年全国解放时,我国仅延长、玉门、独山子等地有小型炼油厂,加工当地地产的天然石油。东北地区的大连、锦西建有  $1500\text{kt/a}$  处理进口天然石油装置,在抚顺等地建有部分人造石油装置。到 1948 年,全国累计生产石油仅  $3.08\text{Mt}$ 。

全国解放以后石油工业得到了飞速的发展,大体经历了四个阶段。一是探索成长阶段(20 世纪 50 年代):1958 年,我国建立第一座现代化的处理量为  $100 \times 10^4\text{t/a}$  的炼油厂,并于 1959 年发现了有重要标志性的大庆油田;二是快速发展阶段(20 世纪 60~70 年代):主要是 1965 年结束对进口石油的依赖,实现自给,还相继发现并建成了胜利、大港、长庆等一批油气田,全国原油产量迅猛增长,1978 年突破 1 亿 t 大关,我国从此进入世界主要产油大国行列,并掌握了原油常减压蒸馏、延迟焦化、催化裂化、加氢裂化、催化重整、溶剂精制、脱蜡等炼油技术;三是稳步发展阶段(20 世纪 80 年代):这一阶段石油工业的主要任务是稳定 1 亿 t 原油产量。这十年间我国探明的石油储量和建成的原油生产能力相当于前 30 年的总和,油气总产量相当于前 30 年的 1.6 倍,石油炼制技术进入了一个崭新的发展阶段,基本依靠自主开发的技术和装备建设了我国的炼油工业;四是战略转移阶段(20 世纪 90 年代至今):90 年代初我国提出了稳定东部、发展西部、开发海洋、开拓国际的战略方针,东部油田成功实现高产稳产,特别是大庆油田连续 27 年原油产量超过 5000 万 t,创造了世界奇迹,西部和海上油田、海外石油项目正在成为符合中国现实的油气资源战略接替区;在炼油技术方面先后开发成功包括重油催化裂化、加氢裂化、加氢精制、渣油加氢处理、加氢改质等一系列有特色的成套技术,取得了一批重大的工业化成果,其中重油催化裂化和渣油加氢处理技术达到国际先进水平,我国炼油技术水平已进入世界先进行列。经过半个多世纪的发展,我国已建成较为完整的炼油工业和石化工业体系,培育造就了以院士们领衔的实力雄厚、专业配套、创新能力强的宏大技术队伍。2008 年 1 月,闵恩泽院士荣获了国家最高科学技术奖,是我们的学习榜样。

## 三、“石油炼制工艺学”课程特点与学习方法

### 1. “石油炼制工艺学”课程的特点

(1) 当代炼油化工生动反映了化学工业的发展水平

炼油化工是化学工程与技术学科的一个分支，它的主要理论基础是化学工程的“三传一反”（动量传递、热量传递、质量传递、反应工程）和基础化学（如物理化学、有机化学等）。因此本课程是在上述先修课程基础上的有关石油、石化、油气储运工程等工艺专业的必修课，是专业平台课程之一。

### （2）石油炼制研究的对象是极多组分的高度复杂的混合物

在处理其物理和化学性质时，都要考虑到复杂混合物的特点。人们虽然期望分子炼油的石油加工，但迄今为止，石油炼制通常是按馏分管理的方法进行加工，获得所需产品。传统的化学和化学工程与技术研究的对象是纯物质或有限组分数量的混合物，有关基本原理虽也适用于石油和石油产品，但常常须不同程度地依赖经验，进行必要的合理简化。

### （3）石油炼制的实现石油资源高效利用和清洁转化

现代化的炼油化工企业涵盖由众多单元过程组合而形成的许多工艺装置，而总加工流程的整体优化和集成创新是石油炼制工艺的核心问题之一。因此，本课程在教学过程中，需注重综合运用知识能力的培养。

## 2. “石油炼制工艺学”学习方法

根据本课程上述特点，对于如何学习“石油炼制工艺学”提出以下建议供参考：

### （1）提倡学习的方法论

对于初学“石油炼制工艺学”的同学来说，本课程内容较多，有一定难度。这就很有必要提倡学习的方法论，重点掌握本课程各章节工艺过程，特别是关键技术所涉及的基本原理、基本方法、基本计算、基本知识、基本技术。当今，科学技术突飞猛进，知识经济已初露端倪，要培养自学能力，不断汲取石油炼制新技术。

### （2）坚持理论联系实际

同学们要积极发挥主观能动性，将先修课程的知识努力运用到本课程学习中，并将工艺学的学习与单独设课的专业实验结合起来；同时，对于炼油生产实际了解不多的同学，应努力利用下厂实习等机会丰富自己对炼油化工生产实践的感性认识，这对于学好本课程，能较深入理解、掌握石油炼制工艺技术是很有益处的。

### （3）培养综合分析问题和解决问题的实际能力

学习的目的全在于应用。贯彻科学发展观，提高石油资源高效利用和清洁转化技术水平，应注重培养自己综合分析问题和解决问题的能力。这就需努力将基础知识、基础技术知识、专业知识和环境科学、技术经济等知识综合、灵活应用于石油炼制工艺，在学习对炼油化工局部优化进而实现整体优化的过程中，培养提高综合分析问题和解决问题的实际能力和本领。

## 第二章 石油及其产品的组成和性质

### 第一节 石油的一般性状及化学组成

#### 一、石油的一般性状、元素组成、馏分组成

##### (一) 石油的一般性状

石油是一种主要由碳氢化合物组成的复杂混合物。世界各油区所产石油的性质、外观都有不同程度的差异。大部分石油是暗色的，通常呈黑色、褐色或浅黄色。石油在常温下多为流动或半流动的黏稠液体。相对密度在 0.8~0.98 之间，个别原油如伊朗某石油相对密度高达 1.016，美国加利福尼亚州的石油相对密度低到 0.707。重质原油的相对密度一般大于 0.93，而且黏度较高，这类原油蕴藏也较丰富。轻质原油的相对密度一般小于 0.80，特点是相对密度小、轻油收率高、渣油含量少，这类原油目前的探明储量较少。我国主要油区原油的相对密度多在 0.85~0.95 之间，凝点及蜡含量较高，庚烷沥青质含量较低，属偏重的常规原油。

许多石油含有一些有臭味的硫化合物，有浓烈的特殊气味。我国原油一般含硫量都较低，一般都在 0.5% 以下，只有胜利原油、新疆塔河原油和孤岛原油含硫量较高。表 2-1 为国内外主要原油的一般性质。

表 2-1 我国主要原油的一般性质

原油名称	大庆	胜利	大港	孤岛	辽河	印尼 米纳斯	苏丹 尼罗河	阿曼	也门 马西拉
密度(20℃)/g·cm <sup>-3</sup>	0.8554	0.9005	0.8697	0.9495	0.9204	0.8466	0.8411	0.8545	0.8660
运动黏度(50℃)/mm <sup>2</sup> ·s <sup>-1</sup>	20.19	83.36	10.38	333.7	109.0	12.9	15.708	11.271	9.466
凝点/℃	30	28	22	2	17(倾点)	34	32	-28	-2
蜡含量/%	26.2	14.6	11.6	4.9	9.5	27.2	24.24	3.82	3.42
庚烷沥青质/%	0	<1	0	2.9	0	0.2	0.29	0.22	1.38
残炭/%	2.9	6.4	2.9	7.4	6.8	2.81	2.98	—	4.01
灰分/%	0.0027	0.02	—	0.096	0.01	—	—	—	—
硫含量/%	0.10	0.80	0.13	2.09	0.24	0.05	0.14	1.03	0.54
氮含量/%	0.16	0.41	0.24	0.43	0.40	—	—	—	—
镍含量/μg·g <sup>-1</sup>	3.1	26.0	7.0	21.1	32.5	8.49	5.1	5.9	1.83
钒含量/μg·g <sup>-1</sup>	0.04	1.6	0.10	2.0	0.6	0.1	0.05	—	<0.06

##### (二) 石油的元素组成

石油的组成极其复杂，世界各油区所产的石油，甚至同一油区不同油层和油井所产的石油，在组成和性质上也可能有很大差别，但石油中的元素并不是很多，基本上是由碳、氢、硫、氮、氧五种元素所组成。所以，人们研究石油的化学组成，都是首先研究石油的元素组成。表 2-2 是某些石油的元素组成。



表 2-2 某些石油的元素组成

原油名称	C/%	H/%	S/%	N/%	O/%	(C+H)/%	H/C(原子比)
大庆	85.87	13.73	0.10	0.16	—	99.60	1.90
胜利	86.26	12.20	0.80	0.41	—	98.46	1.68
大港	85.67	13.40	0.12	0.23	—	99.07	1.86
孤岛	85.12	11.61	2.09	0.43	—	96.73	1.62
辽河	85.86	12.65	—	—	—	98.51	1.75
塔里木	84.9	12.5	0.701	0.284	—	97.4	—
伊朗(轻质)	85.14	13.13	—	—	—	98.27	1.84
美国(堪萨斯)	84.20	13.00	1.90	0.45	—	97.20	1.84
俄罗斯(杜依玛兹)	83.90	12.30	2.67	0.33	—	96.20	1.75
墨西哥	84.20	11.40	3.60	—	—	—	—

从表 2-2 可以看出, 石油的组成中最主要的元素是碳和氢, 占 96% ~ 99%, 其中碳占 83% ~ 87%, 氢占 11% ~ 14%。其余的硫、氮、氧和微量元素总含量不超过 1% ~ 4%。少数石油中的硫含量较高, 如墨西哥石油含硫 3.6% ~ 5.3%, 委内瑞拉石油含硫高达 5.5%。大多数石油含氮很少, 约千分之几到万分之几, 个别石油含氮量高达 1.4% ~ 2.2%。

除碳、氢、硫、氮、氧 5 种主要元素外, 在石油中还发现氯、碘、磷、砷、硅等微量非金属元素和铁、钒、镍、铜、铅、钙、钠、镁、钛、钴、锌等微量金属元素。这些微量元素在石油中的含量极低, 但对石油加工过程, 特别是对催化加工等二次加工过程影响很大。

石油中的各种元素不是以单质存在, 而是以碳氢化合物的衍生物形态存在。

### (三) 石油的馏分组成

石油是一种多组分的复杂混合物, 沸点范围从常温一直到 500℃ 以上。研究石油以及将石油加工成产品, 都须先将石油进行分馏, 获得各种沸点范围相对较窄的石油馏分。分馏就是根据各组分沸点的差别, 将石油切割为若干个馏分。馏分就是一定沸点范围的分馏馏出物。例如 <200℃ 馏分, 200 ~ 350℃ 馏分等等。馏分的沸点范围简称为馏程或沸程。

馏分常冠以石油产品的名称, 例如汽油馏分、煤油馏分、柴油馏分、润滑油馏分等, 但馏分并不就是石油产品。因为馏分并没有满足石油产品的质量要求, 还需将馏分进一步加工才能成为石油产品。

原油直接分馏得到的馏分称为直馏馏分, 基本保留石油原来的组成和性质。一般把原油中从常压蒸馏开始馏出的温度(初馏点)到 200℃ (或 180℃) 的轻馏分称为汽油馏分或称石脑油馏分, 常压蒸馏 200 (或 180) ~ 350℃ 的中间馏分称为煤柴油馏分或称常压瓦斯油(简称 AGO)。将常压蒸馏 >350℃ 的馏分称为常压渣油或常压重油(简称 AR)。由于原油从 350℃ 开始有明显的分解现象, 所以对于沸点高于 350℃ 的馏分, 需在减压下进行蒸馏, 将减压下蒸出馏分的沸点再换算成常压沸点。一般将相当于常压下 350 ~ 500℃ 的高沸点馏分称为减压馏分或称润滑油馏分或称减压瓦斯油(简称 VGO); 而减压蒸馏后残留的 >500℃ 的馏分称为减压渣油(简称 VR)。表 2-3 是国内外某些原油的馏分组成。

我国原油馏分组成的一个特点是 VR 的含量都较高, <200℃ 的汽油馏分含量较少。