



当代石油和石化工业技术普及读本

石油炼制——燃料油品

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

李维英 执笔



中國石化出版社

当代石油和石化工业技术普及读本

石油炼制——燃料油品

(第二版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

李维英 执笔

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

石油炼制——燃料油品/中国石油和石化工程研究会
组织编写.—2版.

—北京:中国石化出版社,2005
(当代石油和石化工业技术普及读本)

ISBN 7-80043-958-5

I.石… II.中… III.燃料油-石油炼制-普及读物
IV. TE626.2-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 092934 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

北京精美实华图文制作中心排版

北京大地印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

850×1168 毫米 32 开本 4.25 印张 78 千字

2006 年 3 月第 2 版第 4 次印刷

定价:10.00 元

前 言

《当代石油和石化工业技术普及读本》(以下简称《普及读本》)第一版于1999年组织编写,2000年完成全部出版工作。第一版《普及读本》共出版了11个分册,其中上游4个分册,包括勘探、钻井和完井、开采、油气集输与储运系统;下游7个分册,包括石油炼制——燃料油品、石油炼制——润滑油和石蜡、乙烯、合成树脂、合成橡胶、合成纤维、合成氨和尿素。

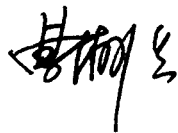
从一开始组织编写《普及读本》,我们就把这套书的读者对象定位在管理人员和非本专业技术人员,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业技术的概貌有一个整体了解。这套丛书列入了新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版规划;出版后在社会上,尤其是在石油石化行业和各级管理部门产生了良好影响;为了满足读者的需求,部分分册还多次重印。《普及读本》的出版发行,对于普及石油石化科技知识、提高技术人员和管理人员素质起到了积极作用,并荣获2000年度中国石化集团公司科技进步三等奖。

近年来,石油石化工业又有了快速发展,先进技术不断涌现;海洋石油勘探开发、天然气开发与利用在行业发展和国民经济中的地位越来越重要;随着时间推

移，原有分册中的一些数据已经过时，需要更新；各方面读者也反映，要求继续补充编写一些新的分册等。在征求各方面专家意见的基础上，我们决定对原先出版的11个分册进行修订，并补充编写9个新的分册，包括海洋石油勘探、海洋石油开发、天然气开采、天然气利用、石油沥青、炼油催化剂、炼油助剂、加油站、绿色石油化工。这9个分册分别邀请中海油、中石油、中石化以及中国石油和石化工程研究会相关领域的专家进行编写。原有分册的修订工作主要是补遗、更新、完善，不做大的结构性变动。

《普及读本》第二版修订、增补工作得到了中国石油化工股份有限公司的大力支持；参与丛书修订、编写工作的离退休专家、教授，勤勤恳恳、兢兢业业，其奉献和敬业精神令人感动。在此，谨向他们表示诚挚的敬意和衷心的感谢！

中国工程院院士



二〇〇五年八月八日

《当代石油和石化工业技术普及读本》

第二版

编 委 会

主任：曹湘洪

编委：(按姓氏笔画为序)

王子康	王少春	王丙申	王协琴
王国良	王毓俊	尤德华	亢峻星
刘积文	刘镜远	孙梦兰	孙殿成
孙毓霜	陈宝万	陈宜焜	张广林
张玉贞	李润清	李维英	吴金林
吴明胜	法琪璜	庞名立	赵 怡
宫 敬	贺 伟	郭其孝	贾映萱
徐嗶东	秦瑞岐	翁维琬	龚旭辉
黄伯琴	梁朝林	董恩环	程曾越
廖谟圣			

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 石油的基本性质	(2)
第二节 石油炼制的方法和手段	(6)
第二章 几种常见的油品	(11)
第一节 汽油	(11)
第二节 煤油	(18)
第三节 柴油	(20)
第四节 燃料油	(24)
第五节 石油沥青	(24)
第六节 石油焦	(26)
第七节 液化石油气	(27)
第八节 化工轻油	(28)
第三章 石油是怎样炼制加工的	(30)
第一节 原油的初加工	(34)
第二节 原油的深加工	(41)
第三节 石油产品的精制与调和	(66)
第四节 炼厂气加工	(73)
第四章 炼油用主要设备	(78)
第一节 塔器	(78)
第二节 反应器	(82)
第三节 换热设备	(88)

第四节	加热炉.....	(91)
第五节	机泵.....	(93)
第六节	容器及其他设备.....	(97)
第五章	炼油厂工厂设施.....	(102)
第一节	炼油厂总体布置.....	(102)
第二节	公用设施.....	(105)
第三节	油品储运.....	(110)
第四节	生产自动化控制.....	(118)
第五节	环境保护.....	(120)
参考文献		(127)

第一章 概 论

人们常比喻石油是“黑色的金子”，这是称颂石油在当代人类社会的进步与发展中所发挥的重要作用。每天数亿辆汽车在世界各地奔驰，众多轮船、内燃机车、飞机在海陆空中穿行，以及大大小小的动力机械在运转，这一切一刻都离不开石油。超级大国为了争夺石油资源，不惜采取一切手段，使得 21 世纪以来中东战争连年不断，石油的战略意义由此可见。但是，从地下开采出来的天然石油，也称原油，不能直接拿来使用，必须经过一系列加工，才能获得供各种运载工具和机械设备应用的多样石油产品。因此，石油炼制行业的基本任务就是以油田开采的天然原油为原料，进行加工炼制，生产出符合使用标准的多种油品。

常用的油品大体上可以划分为两大类。第一类油品，如汽油、煤油、柴油、燃料重油、液化石油气、化工轻油等各种属于动力燃料范畴的油品，统称“燃料油品”；第二类油品，如润滑油、润滑脂以及石蜡等，可归类为“润滑油品”。本书专门介绍石油炼制的燃料动力油品部分，包括汽油、煤油、柴油等一些常用油品的性能及使用常识，炼制这些油品的生产工艺和设备，以及炼制工厂的主要设施和环境保护等。

煤炭和石油都是国计民生的基本能源。说到煤炭可以说是家喻户晓，相比之下对于石油以及汽油、柴油、液化石油气等各类石油产品的来龙去脉就不那么清楚，甚至还存在某些神秘感。近年来城市的机动车辆大量增加，农业耕作机械化走向普及，人们开始对石油感到不那么陌生了，一些像汽油、柴油、液化石油气等石油产品越来越多地贴近了人们的生活。就世界范围而言，石油已经成为当代的主导能源。2004 年我国石油产量为 1.75 亿吨，在世界排名第五位，为建国时的近两千倍；但 2004 年我国石油的表观消费量则到达 2.89 亿吨，石油净进口已突破 1 亿吨，我国石油的进口依赖度超过 40%。据预测到 2020 年我国需求石油 4.5 亿吨，进口依赖度可能达 70%，这对于国家的能源安全构成极大威胁，因此，目前能源问题已经成为国内外关注的焦点。所以人们普遍希望对石油有更多的了解，从各个方面掌握一些石油的生产知识和应用知识，这也是本书编写的主要宗旨。

第一节 石油的基本性质

从地下开采的天然原油，在不同产区及不同地层，其物理化学性质有很大差别。一般来说，原油是一种黑褐色的流动或半流动黏稠液体，略轻于水，相对密度多在 0.85~0.95，原油的凝点差异较大，有些原油凝点高达 20~30℃，低的凝点则在 -20℃ 上下。原油实际上不

是一种单一物质，而是一个成分十分复杂的混合物质。其组成就化学元素而言，主要是由碳元素和氢元素组成的多种碳氢化合物，统称“烃类”。原油中碳占 83% ~ 87%，氢占 11% ~ 14%，也就是说在原油中约 96% ~ 99% 是烃类。通常把原油划分为：石蜡基原油（直链排列的烷烃含量占 50% 以上）、环烷基原油（环烷烃和芳香烃含量较大）、中间基原油（性质介乎以上二者之间）。石蜡基原油特点是密度较小，含蜡量高，凝点高，含硫含胶质较少，属于地质年代古老的原油。环烷基原油的特点是密度较大，凝点低，大都含硫、含胶质、含沥青质较多，是地质年代较年轻的原油。中间基原油的性质则介乎这两者之间。同时，原油中除了烃类物质之外，还含有微量的硫、氮、氧和砷、硅等非金属元素以及钒、镍、铜等重金属元素。这些元素在石油中不是以单质形态存在，而是与碳氢化合在一起，形成非烃类化合物，虽然含量不大，但对石油炼制方法和产品质量影响是非常大的。其中尤以原油的硫因其对于采用的炼制工艺、炼制设备、产品质量、环境保护等多方面造成影响，所以通常把原油含硫多少作为衡量原油品质的重要因素之一。例如：我国大庆原油属于低硫石蜡基原油，胜利油田孤岛原油属于含硫环烷 - 中间基原油或含硫环烷基原油；进口的中东原油大部分为含硫和高硫中间基原油等。对于不同类型的原油进行石油加工炼制时，所采用的工艺方法、选用的设备以及产品的品质都会有所不同。

谈到石油的组成，还必须引入“馏分”的概念。原油

的组成不仅是多种烃类和非烃类化合物的混合体，并且是多种不同沸点组分的混合体。原油中所含的组分有些分子量比较小，沸点较低，易于挥发，称为轻组分；有的组分较重，沸点较高，称为重组分。石油炼制的基本手段之一，就是利用各组分不同沸点，通过加热蒸馏，将其“切割”成若干不同沸点范围的“馏分”，“馏分”就是指馏出的组分，这是石油炼制技术上一个最常用的术语。例如：沸点小于 180°C 为汽油馏分， $180 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 为煤、柴油馏分， $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 为用于二次加工的减压馏分，大于 500°C 为渣油等。切割出来的各馏分仍然是烃类的混合物，不过比原油所含的烃类混合物类别要减少许多了。有人测算原油中含有 3000 多种烃类混合物和非烃类混合物，而汽油中也许只有几十种而已。这里所讲的汽油馏分并不就是汽油产品，只有将这些馏分进一步加工精制和调配，才能成为满足油品规格的合格产品。同时，馏分切割的沸点范围是根据生产不同产品的要求来调整的，如生产航空煤油切割的沸点范围是 $150 \sim 280^{\circ}\text{C}$ ，而生产灯用煤油则为 $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

原油通过炼制可以获得几百种甚至更多的油品。我国生产石油产品的构成百分比，以 2003 年为例：

原油加工量	100
汽、煤、柴、润合计	60.15
其中：汽油	19.75
煤油	3.53
柴油	35.18

润滑油	1.69
溶剂油	1.00
化工轻油	9.70
燃料油	8.27
石油沥青	3.55
石油焦	2.49
石蜡	0.61
液化石油气及其化	3.13
综合商品率	88.90
自用及损失等	11.10

从石油产品构成中可以看出，地下采出的原油经过精心炼制，除了炼制过程自身的能量消耗及不可避免的损失之外，几乎全部都炼制成宝贵的能源商品；而综合商品率对于绝大多数正规炼油厂来讲，一般均在 92% 以上。

常用的燃料油品主要有：航空汽油、车用汽油、航空煤油(喷气燃料)、灯用煤油、轻柴油、重柴油、燃料重油、船用燃料油等，以及相关的产品如沥青、石油焦、液化石油气、化工轻油等。每种油品按其质量标准分为若干牌号。油品的质量标准，主要根据动力机械设备的运行和维护条件以及环境保护的要求，有严格的规定，包括对油品的密度、馏程、蒸发性能、燃烧性能、安定性、腐蚀性等都有具体的指标规定；同时对有些油品还有特殊的指标规定，例如车用汽油的质量标准中辛烷值高低是一个重要的指标，航空煤油的冰点和柴油的十六烷值则是它们的重要指标之一。这里需要着重说明的是，油品的质量标准与一

般化工产品的质量标准有所不同，化工产品大都是单一的化合物，所以要讲纯度、分子结构等，而油品无论是成品油汽油、煤油还是柴油，仍然是多种性质相近的烃类化合物的混合物，根据使用性能的要求，可以把几种油品混兑调和，也可以加入某些添加剂，作为合格的成品出厂，这是石油炼制工艺技术上的一个特点，应加以注意。

第二节 石油炼制的方法和手段

石油炼制技术在西欧的发展不过一百多年的历史，自从 19 世纪内燃机的出现和快速发展，促使从石油中炼制汽油、煤油、柴油等产品，成为汽车、飞机、拖拉机、内燃机车、船舶等不可缺少的动力燃料；现代化国防更是以石油产品为其主要动力来源，不仅坦克、飞机、舰艇以油品为燃料，而且近代火箭燃料很大部分也要从石油中获得。特别是自从 20 世纪 40 年代前后发展了催化裂化和加氢裂化技术以来，可以将石油中大量的重质馏分转化为优质的汽油、航空煤油、柴油等轻质馏分和化工原料，使得石油炼制的规模进一步急剧发展。

石油炼制工艺过程因原油种类不同和生产油品的品种不同而有不同的选择。就生产燃料油品而言，大体上可以划分为三大部分：

(1) 原油蒸馏。这是原油进行炼制加工的第一步，可以说是石油炼制过程的龙头。炼油厂一般以其原油蒸馏的处理能力作为该炼油厂的生产规模。通过常压和减

压蒸馏可以把原油中各种不同沸点范围的组分分离成各种馏分，获得直馏的汽油、煤油、柴油等轻质馏分和重质油馏分及渣油。

(2) 二次加工。从原油中直接得到的轻馏分是有限的，大量的重馏分和渣油需要进一步加工，将重质油进行轻质化，以得到更多的轻质油品，这就是石油炼制的第二大部分，即原油的二次加工。二次加工工艺包括有许多过程，可根据生产要求加以选择，例如为增产轻质油品可以用重质馏分油和渣油为原料进行催化裂化和加氢裂化；为提高汽油辛烷值或生产苯类产品可以用直馏汽油馏分为主要原料进行催化重整；还有以渣油为原料的延迟焦化、减粘和渣油加氢处理等。可以说二次加工工艺是石油炼制过程的主体。

(3) 油品精制和提高质量的有关工艺。包括为使汽油、柴油的含硫量及安定性等指标达到产品标准进行的加氢精制；油品的脱色、脱臭；炼厂气加工；为提高油品质量的有关加工工艺等。不过，尽管通过石油炼制一系列加工过程可以生产出多种石油产品，但不同的原油组成与性质以及市场对油品的特定需求，都会使原油加工方案的选择受到很大限制。同时还要考虑到石油炼制企业的经济效益，石油炼制行业属于微利企业，因此，要依据原油的品种和市场对产品的需求，认真选择经济合理的原油加工炼制方案。

石油炼制所采取的基本手段如前面提到的，第一是物料的切割，原料油通过蒸馏塔等设备经过一个物

理过程被切割成轻、中、重等不同沸点的馏分，分别进行加工处理；第二是物料的转化，通过反应器等设备将物料经过一个化学过程进行分子的轻质化、异构化，达到符合使用要求的性能；第三是物料的热交换，炼制过程需要不断地“冷变热、热变冷”，通过换热设备将冷、热物料相互换热，使热能最大限度加以回收利用；第四是物料加热，通过加热炉等设备使物料达到所需温度，以便于进行蒸馏或反应；第五是物料的密闭输送，通过各类机泵设备进行液态或气态的压力输送；第六是在炼制过程中需要大大小小的容器，供物料储存、缓冲、静置或扩散。以上 6 种手段所用的设备除机泵类列为动设备或通用设备之外，其余 5 类一般称为“静设备”或“专用设备”。

我国石油炼制行业属于比较年轻的工业，建国初期规模很小，自 20 世纪 60 年代初大庆油田发现之后，原油产量快速增长，大大促进了炼油工业的迅猛发展，成为我国的支柱产业之一。炼油行业在不断扩大炼量的同时，加强对炼油技术和包括军用油在内的石油新产品的科研开发，掌握了一批当代先进的炼油工艺技术，如催化裂化、催化重整、延迟焦化，以及相应的催化剂和添加剂。并且在很大程度上由国内自行设计、自行制造设备，自行施工安装，在不长的时间内成功地建成了一批大型生产装置，在炼油规模和技术上大大缩小了与发达国家的差距，并且为进一步发展打下了坚实基础。20 世纪 80 年代以后，在自力更生的基础上，通过国际合

作与交流，有选择地引进了一些先进技术，使我国炼油技术又有了新的发展。进入 21 世纪以来，中国炼油工业正在进一步向大型化、自动化发展，千万吨级以上的特大型炼厂陆续出现，虽然世界最大炼油厂规模达 4000 万吨/年以上(在委内瑞拉和韩国)，但从我国现实情况来看，达到千万吨级规模在经济运作上是比较适合的；生产装置规模的大型化和操作控制的自动化也有了新的突破。2004 年我国原油加工能力为 2.3 亿吨，世界排名第四位，仅次于美国、俄罗斯和日本。

总之，建国以来，中国炼油技术发展巨大，卓有成效，从一个民用与国防所需各类石油产品几乎全部依靠进口的国家，发展成为跻身于世界前列的炼油大国，掌握了当代世界先进的主要炼油工艺技术，并根据中国国情有所创造与发展。不过我国炼油行业也还存在不少与形势发展不相适应的问题，特别是随着环境保护日趋严格，有关汽、柴油等清洁燃料的生产；为化工行业提供更多优质原料；加工高含硫进口原油的处理技术；以及在能量消耗、自动化管理和销售经营网络等方面还有待于提高与完善。

目前我国的炼油企业遍布全国各地，其中有加工能力为 1600 万吨/年的燃料－化工型镇海炼油化工公司、加工能力为 1350 万吨/年的燃料－润滑油－化工型茂名石油化工公司，和其他千万吨级的大连、兰州、齐鲁、金陵、上海高桥等特大型炼油厂；也有 150 万吨/年以上的数十座大中型炼油厂以及若干个地方小炼厂。由于