



当代石油和石化工业技术普及读本

石油炼制——燃料油品

(第三版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

张国生 李维英 执笔



中国石化出版社

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

当代石油和石化工业技术普及读本

石油炼制——燃料油品

(第三版)

中国石油和石化工程研究会 组织编写

张国生 李维英 执笔

中國石化出版社

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. —3 版. —北京: 中国石化出版社, 2012. 7
(当代石油和石化工业技术普及读本)
ISBN 978 - 7 - 5114 - 1671 - 1

I. ①石… II. ①中… III. ①燃料油 - 普及读物
IV. ①TE62 - 49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 169001 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

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

850 × 1168 毫米 32 开本 4.125 印张 72 千字

2012 年 8 月第 3 版 2012 年 8 月第 1 次印刷

定价: 12.00 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》)第一版共包括了11个分册,2000年出版发行;2005年起根据石油石化工业的新发展和广大读者的要求,在修订了原有分册的基础上,补充编写了海洋石油开发、天然气开采等8个新的分册,于2007年出版发行了《普及读本》第二版;2009年我们又组织编写了煤制油、乙醇燃料与生物柴油等7个分册。至此,《普及读本》第三版共出版了26个分册,涵盖了陆上石油、海洋石油、开采与储运、天然气开发与利用、石油炼制与化工、石油化工绿色化及信息化、炼化企业污染与防治等石油石化工业相关领域的内容。

《普及读本》以企业经营管理人员和非炼化专业技术人员为读者对象,强调科普性、可阅读性、实用性、知识及技术的先进性,立足于帮助他们在较短的时间内对石油石化工业各个技术领域的概貌有一个基本了解,使其能通过利用阅读掌握的知识更好地参与或负责石油石化业的管理工作。这套丛书作为新闻出版总署“十五”国家科普著作重点出版项目,从开始组织编写到最后出版,我们在题材的选取、大纲的审定、作者的选择、稿件的审查以及技术内容的把关等方面,都坚持了高标准、严要求,力求做到通俗易懂、深入浅出、由点

及面、注重实用。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，受到了广泛好评。为了满足读者的需求，其中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年度中国石油化工集团公司科技进步三等奖。

近年来，石油石化工业的发展日新月异，先进技术不断涌现；随着时间的推移，原有部分分册中的一些数据已经过时，需要更新。为了进一步完善《普及读本》系列读物，使其内容与我国石油石化工业技术的发展相适应，我们决定邀请国内炼油化工领域的专家对第一版及第二版的19个分册进行修订，组织该书第四版的出版发行，从而使该系列读物与时俱进，更加系统全面。

《普及读本》第四版的组织编写和修订工作得到了中国石油、中国石化、中国海油、中国神华以及中化集团的大力支持。参与丛书编写、修订工作的专家、教授精益求精、甘于奉献，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



二〇一一年八月八日

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 石油的基本性质	(2)
第二节 石油炼制过程与概念	(7)
第二章 几种常见的油品	(19)
第一节 汽油	(19)
第二节 煤油	(26)
第三节 柴油	(28)
第四节 燃料油	(33)
第五节 石油沥青	(35)
第六节 石油焦	(37)
第七节 液化石油气	(38)
第八节 化工轻油	(39)
第三章 石油是怎样炼制加工的	(41)
第一节 原油的初加工	(46)
第二节 原油的深加工	(53)
第三节 石油产品与原料的精制与调和	(87)
第四节 炼厂气加工	(100)
第五节 辅助生产设施	(108)

第四章 系统配套	(114)
第一节 炼油设备与自动化控制	(114)
第二节 炼油厂总体布置	(115)
第三节 油品储运	(115)
第四节 环境保护	(117)
第五节 炼油厂的节能	(120)
参考文献	(123)

第一章 概 论

石油是古代海洋或湖泊中的生物经过漫长的演化而形成的混合物，与煤一样同属于不可再生的化石燃料，是世界上最重要的一次能源之一。石油经过炼制，即经过一系列加工，才能获得供各种车辆、运载工具和机械设备应用的多种多样的石油产品。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，如汽油、煤油、柴油、润滑油、石蜡、燃料油、沥青和石油焦等。

地下开采出来的天然石油，也称原油，不能直接拿来使用，必须采用石油炼制的方法，将其大分子物质裂化为小分子物质，形成不同分子量的油品。通常按其主要用于分为两大类：一类为燃料，如液化石油气、汽油、喷气燃料、煤油、柴油、燃料油等；另一类作为原材料，如润滑油、石油蜡、石油沥青、石油焦以及石油化工原料等。

本书专门介绍石油炼制的燃料动力油品部分，主要包括汽油、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，以及炼油厂的主要设施和环境保护等。

就世界范围而言，石油已经成为当代的主导能源。

2010 年我国石油产量首次突破 2 亿吨，在世界排名第五位，为新中国成立时的近两千倍；2010 年我国石油的表观消费量则达到 4.49 亿吨，石油净进口已突破 2.39 亿吨，我国石油的进口依赖度超过 50%；按资源需求量预测到 2020 年我国需求石油 6.5 亿吨，进口依赖度可能达 70%。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，这是本书编写的主要宗旨。

第一节 石油的基本性质

一、石油特性与分类

石油是以碳氢化合物为主的油状黏稠液体。从地下开采出来的未经提炼的天然石油称为原油。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 左右，原油的凝固点差异较大，有些原油凝固点高达 20 ~ 30℃，低的凝固点则在 -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。就其化学元素而言，主要是由碳元素和氢元素组成的多种碳氢化合物，统称“烃类物质”。原油中碳元素占 83% ~ 87%，氢元素占 11% ~ 14%，也就是说在原油中约 96% ~ 99% 是烃类。原油中除了烃类物质之外，还含有微量的硫、氮、氧以

及钒、镍、铜等重金属和砷、硅等非金属元素。这些元素虽然含量不大，但对石油炼制方法和产品质量影响是非常大的。

由于原油的组成十分复杂，对原油进行明确分类是十分困难的。在历史上，根据原油化学和物理的特性，从石油炼制的角度或者从商业的需要出发，产生了不同的分类方法。

通常按照原油特性因数 K 值，把原油划分为石蜡基、中间基和环烷基三种原油。其中：将 K 值大于 12.2 时定义为石蜡基， K 值在 11.5 ~ 12.2 之间的定义为中间基， K 值小于 11 的定义为环烷基原油。石蜡基原油的特点是密度较小，含蜡量高，凝固点高，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，凝固点低，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于这两者之间。

根据原油的物理特性，将 20℃ 密度小于 0.8520 克/立方厘米的原油称为轻质原油，密度在 0.8520 克/立方厘米 ~ 0.9300 克/立方厘米的称为中质原油，密度大于 0.9300 克/立方厘米但不大于 0.9980 克/立方厘米的称为重质原油，而密度大于 0.9980 克/立方厘米的原油则称为特稠原油。

由于原油中的杂质硫含量超过一定的数值后，将给加工过程带来困难，对设备造成腐蚀，从而增加炼厂装置结构的复杂程度，同时含硫量大也给环保带来很大隐

患。因此，以原油中的硫含量进行分类也是原油交易中一种常见的分类方法，并与原油价格存在一定的联系。习惯上，按照硫含量的高低将原油分为低硫（小于0.5%）、含硫（0.5%至2.0%之间）和高硫（大于2.0%）原油三大类。

由于原油中的酸性物质对炼油装置腐蚀较大，故对原油商品的交易价格也有较大程度的影响。通常，以酸值小于0.5毫克KOH/克的定为低酸原油或正常原油，以酸值0.5~1.0毫克KOH/克的定为含酸原油，以酸值大于1.0~5.0毫克KOH/克的定为高酸值原油，酸值大于5.0毫克KOH/克的定为特高酸值原油。酸值越大，原油价格越低，虽然约定俗成，但是还没有形成一定的标准。随着世界含酸原油的产量逐渐增多，原油酸值作为原油品质评价的项目也越来越受到人们的关注和重视。

原油的凝点对输送有指导意义。原油的黏度随温度的降低而升高，当黏度升高到一定程度时，原油即失去流动性；另一方面当温度降低至原油的析蜡温度时，蜡会结晶析出，随着温度进一步降低，蜡晶数量增多，并长大、聚结，直到形成遍及整个原油的结构网，原油即失去流动性。按凝点分类，可将原油分成下列几类：

（1）低凝原油：指原油凝点低于0℃的原油。在这种原油中，蜡的质量分数小于2%。

（2）易凝原油：指原油凝点介于0~30℃的原油。在这种原油中，蜡的质量分数在2%~20%的范围内。

（3）高凝原油：指原油凝点高于30℃的原油。在

这种原油中，蜡的质量分数大于 20%。

有时人们也常常按照原油中的蜡含量对原油进行分类。蜡含量的多少对原油加工的难易有很大影响，一般把蜡含量(质量分数)低于 2.5% 的称为低蜡原油，蜡含量为 2.5% ~ 10.0% 的叫含蜡原油，而蜡含量高于 10.0% 的称为高蜡原油。

原油中的胶质、沥青质含量对原油的加工有较大的影响，对产品的类型也有一定程度影响。胶质、沥青质偏高的原油加工难度要增加很多。按胶质含量分类常以胶质含量(质量分数)不超过 5% 的称为低胶原油，胶质含量为 5% ~ 15% 的称为含胶原油，大于 15% 的称为多胶原油。

综合以上情况，确定原油质量评价标准，其余相关指标在此基础上作为参考(见表 1-1)。

表 1-1 原油分类表

分类方式	技术规格			
API 分类	轻质原油 >34	中质原油 34 ~ 20	重质原油 20 ~ 10	特稠原油 <10
密度(20℃)分类/(千克/立方米)	轻质原油 <852	中质原油 852 ~ 930	重质原油 930 ~ 998	特稠原油 >998
组成(特性因数 K)分类	石蜡基 >12.1	中间基 11.5 ~ 12.1		环烷基 <11.5
硫含量分类/%(质量)	低硫原油 <0.5	含硫原油 0.5 ~ 2.0		高硫原油 >2.0
酸含量分类/%(质量)	低酸原油 <0.5	含酸原油 0.5 ~ 1.0		高酸原油 >1.0 ~ 5.0*
水含量分类/%(质量)	低含水原油 <0.1	含水原油 0.1 ~ 1.0		高含水原油 >1.0

注：* 如果酸值大于 5.0 毫克 KOH/克定为特高酸值原油。

二、油砂特性与分类

油砂亦称稠油砂，系油砂粒或岩石被又黏又重的稠油所浸润、包裹而形成的一种胶质、沥青、沙、富矿黏土和水的混合物，是一种待开发的特殊石油资源。每单位的沥青油含量一般为 10% ~ 30%，沙和黏土等矿物占 70% ~ 85%，余下为 1% ~ 5% 的水。其中沥青油即为油砂内所含的原油，它比常规原油黏稠，属于超重油。油砂沥青一般具有高密度、高黏度、高碳氢比和高金属含量等特点，密度为 0.97 ~ 1.015 克/立方厘米 ($API14 \sim 8$)，室温下黏度一般为 $10 \times 10^4 \sim 100 \times 10^4$ 毫帕·秒；其平均组分中的碳含量为 83.2%，氢为 10.4%，氧为 0.94%，氮为 0.36%，硫为 4.8%，还存在有微量的重金属钒、镍、铁等。据统计，世界油砂资源折合成重油远远大于世界天然石油的探明储量。

世界不同地区的油砂性质不同、结构也不相同，油砂是沥青、水和砂石混合物，是露天开采的油矿。油砂是沥青质和水包裹的砂粒，沥青与砂的包裹方式也很不相同。比如：加拿大油砂(含油 8% ~ 12%)是亲水性油砂，油砂与沥青之间有一层水膜(大约 10 纳米)；而美国 Utah 油砂(含油 8% ~ 12%)是亲油基油砂，即沥青直接包裹油砂；印度尼西亚油砂 1 号和 2 号(含油 23% ~ 28%)为大块黏结状或松散黏结状油砂，含油量比加拿大和美国油砂高的多，较高的可以达到 30% 左右。亲水型油砂结构详见图 1-1；亲油型油砂结构详见图 1-2；印度尼西亚与加拿大油砂比较详见表 1-2。

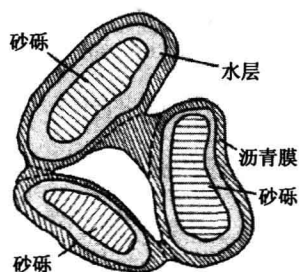


图 1-1 亲水型油砂

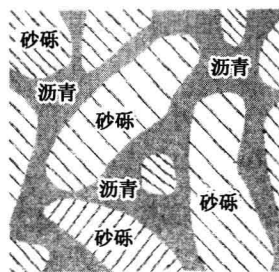


图 1-2 亲油型油砂

表 1-2 印度尼西亚与加拿大油砂比较 %

项 目	印度尼西亚 1 号油砂	印度尼西亚 2 号油砂	加拿大油砂
油含量	23.65	27.20	10 ~ 12
含水量	痕迹	2	3 ~ 5
无机矿物	76.35	70 ~ 80	80 ~ 85
饱和烃	8.49	11.37	44
芳香烃	21.02	25.85	17
胶质	34.92	33.32	22
沥青质	35.53	29.45	17

第二节 石油炼制过程与概念

石油炼制过程即称“炼油”，其概念就是将大分子烃类物质加工成小分子烃类物质，也就是将原油加工成汽油、煤油、柴油等燃料油品，也可以生产出气体、液体和固体等其他各种产品。大分子烃类物质加工成小分子烃类物质，体现在分子组成关系上就是烃类物质氢碳比的调整，轻组分氢碳比增加，重组分氢碳比减少。

因为原油是烃类组成的混合物，所以，用物理加热蒸馏方式，可以分离出轻组分和重组分。轻组分可作为

轻质燃料油的调和组分，而重组分则不可以，重组分需要进一步轻质化。重组分的轻质化要靠分子断链，由大分子转化为小分子，要用裂化或裂解的物理化学方法完成，通常采用两种方式进行，即加热脱碳工艺或者采用加氢工艺。如果是一组共沸物物质，几个组分沸点十分接近，靠沸点差异就无法分离了，那就需要采用溶剂萃取的方式进行烃类分离。还有些物质如沥青质和胶质存在于重组分中，利用重质组分与其他物质（胶质和沥青）在丙烷溶剂中的溶解度差别而进行萃取分离。这些加工关系如蒸馏、萃取、异构化、芳构化、烷基化、叠合、热裂化、焦化、催化裂化以及加氢裂化等构成不同的化工单元、把各种不同化工单元过程有机地组合起来，就构成了当前的炼油工艺，炼油工艺过程综述详见图 1-3。

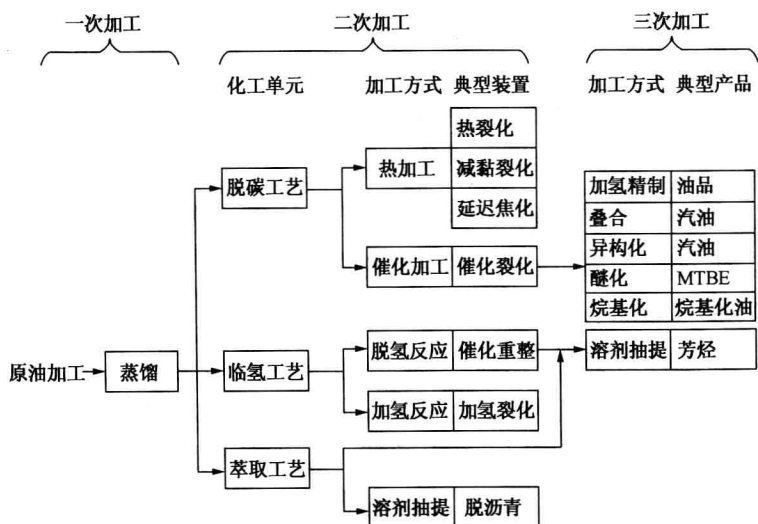


图 1-3 炼油工艺概述

一、石油炼制的方法和手段

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，大体上可以划分为几种类型：燃料型炼油厂、燃料化工型炼油厂、燃料润滑油型炼油厂。每一种炼油厂都是由不同的炼制单元组成，简单型炼厂只有一个炼制单元，如原油蒸馏装置。复杂型炼油厂是由两个以上炼制单元组成，比如由原油蒸馏装置加上催化裂化装置组成的炼油企业。为了配合成品质量的达标合格，除了主要生产装置以外，还会配置一些产品或原料精制的装置；炼制加工需要燃料与动力等，还要配置供热、供汽、供风等辅助生产装置。可见，炼油企业是综合性加工企业。

(1) 原油蒸馏。原油是不同相对分子质量组成的烃类混合物，通常可以利用不同组分的沸点差异，用加热炉和分馏塔组合，采用加热的方法将其分离，习惯上将此过程称为原油的蒸馏过程。这是原油进行炼制加工的第一步，也可以说是石油炼制过程的龙头。炼油厂一般均是以其原油蒸馏装置配套综合加工能力作为该炼油厂的规模。原油蒸馏装置由常压蒸馏和减压蒸馏工序组成，可以把原油中各种不同沸点范围的组分，通过加热物理分离成各种馏分，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。

习惯上，将常压渣油称为重油，将减压渣油称为渣油。将减压侧线生产的馏分油称为蜡油，国外称为瓦斯油。我们也习惯上将原油蒸馏装置称为原油的一次加工

装置。

(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(350 ~ 520℃)和渣油(> 520℃)需要进行二次加工，即将重质油品进行轻质化加工，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化工单元过程，如蒸馏、萃取、异构化、芳构化、热裂化、焦化、催化裂化以及加氢裂化等。各种生产装置都是根据原料和产品方案不同加以选择的，例如为增产轻质油品可以利用重质馏分油和渣油为原料进行催化裂化和加氢裂化反应；为了提高汽油辛烷值或生产芳烃类产品可以用直馏石脑油馏分为主要原料进行催化重整反应；以及以渣油为原料的延迟焦化、减黏裂化和渣油加氢处理等。可以说二次加工工艺是石油炼制过程的主体。

(3) 油品杂质去除和提高质量的有关工艺。在石油原料中存在一定量的硫、氮、盐、金属等杂质，这些杂质作为原料影响后加工，作为产品调和组分影响产品质量，必须经过精制处理脱除，通常采用电化学精制和加氢精制等手段。为改善汽油、柴油等产品的质量指标，提高其使用性能和储存性能，也对产品进行必要的加氢精制处理，如油品的脱硫、脱色、脱臭。为提高油品质量的有关加工工艺，如降烯烃、脱除芳烃、增加调和组分等。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