



普通高等教育“十二五”规划教材

# 炼油设备技术

杨启明 马欣 编著

中国石化出版社

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

普通高等教育“十二五”规划教材

# 炼油设备技术

杨启明 马欣 编著

中国石化出版社

## 内 容 提 要

本书介绍了石油的组成及石油产品、炼油厂类型、生产流程及其应用；重点介绍了原油预处理设备、常减压蒸馏设备、催化裂化设备、催化重整设备、加氢精制设备、延迟焦化设备及与炼油设备密切相关的附属设备，如工艺管道及零部件和油品储存设备等内容。

本书对近年来有关炼油设备的新发展作了简要的叙述，注意理论与实践的联系，重点突出工程实际中的应用，同时介绍了常见设备结构设计中应注意的问题，让读者能够了解炼油主要设备的基本类型和具体的结构特点。

本书读者对象为高等院校过程装备、化学工程以及相关专业的师生，也可供从事炼油设备设计、制造、操作、维护等相关技术人员阅读。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

炼油设备技术/ 杨启明, 马欣编著. —北京: 中国石化出版社, 2011. 8

ISBN 978 - 7 - 5114 - 1117 - 4

I. ①炼… II. ①杨… ②马… III. ①石油炼制 - 机械设备 IV. ①TE96

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 163219 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

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

\*

787 × 1092 毫米 16 开本 23.25 印张 589 千字

2011 年 9 月第 1 版 2011 年 9 月第 1 次印刷

定价: 40.00 元

# 前 言

炼油工业是国民经济的基础工业之一，关系到工业、农业、交通运输业、国防工业等国民经济各个部门以及人民生活各方面的发展。

炼油设备是炼油工业中的物质基础，以原油(包括人造石油)为基本原料，通过各种加工过程，生产出各种液体燃料(汽油、煤油、柴油、喷气燃料和燃料油等)、溶剂油、润滑油、石蜡、沥青、石油焦等石油产品及多种石油化工基本原料都需要各种生产设备来实现。

炼油设备在炼油厂中占有很大的比重，设备的投入费用是炼油工业产品的主要成本之一，要求在满足工艺要求和安全运行的前提下，设备的结构要简单、尽量采用标准型号和通用零部件，以利于降低产品成本，提高经济效益。

本书在编写过程中，收集了大量的资料，结合科技发展的现状及新技术、新工艺在炼油设备中的应用，介绍了有关石油的组成及石油产品，炼油厂类型、生产流程及其应用的基本知识；重点介绍了原油预处理设备、常减压蒸馏设备、催化裂化设备、催化重整设备、加氢精制设备、延迟焦化设备，及炼油工业设备密切相关的附属设备，如工艺管道及零部件和油品储存设备等内容。

本书在编写过程中，对近年来有关炼油设备的新发展作了简要的叙述，注意理论与实践的联系，重点突出工程实际中的应用，同时介绍了常见设备结构设计中应注意的问题，以达到能够了解炼油主要设备的基本类型和其具体的结构特点。由于篇幅的限制，对其他的一些炼油厂设备没有编入。

本书可作为过程装备与控制工程专业炼油化工设备专业方向本科生的必修课程(参考学时数32)用书，也可作为其他专业方向和油品储运工程等其他专业学生和工程技术人员的参考用书。

本书的编写工作得到西南石油大学各级领导的指导与本专业教师的帮助，在本书的编写过程中刘清友教授提出了不少宝贵的建议，并在完稿后全面细致地审查了本书。在此谨致以诚挚的谢意。全书的第一、二、九、十章由马欣编写，第三、四、五、六、七、八章由杨启明编写，并由杨启明负责统稿。

由于编者的水平有限，书中谬误在所难免，热切希望读者批评指正。

编 者

# 目 录

第一章 概论	( 1 )
第一节 石油及其产品的化学组成和物理性质	( 2 )
第二节 石油产品的分类和规格指标介绍	( 6 )
第三节 石油炼制基础	( 9 )
思考题	( 18 )
第二章 原油预处理设备	( 19 )
第一节 原油含盐含水的影响	( 19 )
第二节 原油脱盐脱水的原理和设备	( 20 )
思考题	( 29 )
第三章 常减压蒸馏设备	( 30 )
第一节 原油蒸馏工艺过程	( 35 )
第二节 炼厂用常减压蒸馏塔设备简介	( 41 )
第三节 其他工艺用塔简介	( 72 )
第四节 原油蒸馏的换热设备	( 75 )
第五节 换热设备发展方向	( 90 )
第六节 换热设备的维修	( 93 )
思考题	( 93 )
第四章 催化裂化设备	( 95 )
第一节 催化裂化装置发展概述	( 96 )
第二节 催化裂化的生产原料	( 99 )
第三节 催化裂化生产工艺流程	( 100 )
第四节 催化裂化装置的设备	( 118 )
第五节 炼厂常用的空气冷却器简介	( 145 )
思考题	( 162 )
第五章 催化重整设备	( 164 )
第一节 概述	( 164 )
第二节 重整工艺装置生产过程	( 166 )
第三节 重整反应器的结构	( 182 )
第四节 固定床反应器和流化床反应器简介	( 189 )
思考题	( 201 )
第六章 加氢精制设备	( 203 )
第一节 各种加氢工艺流程简介	( 203 )
第二节 渣油加氢	( 208 )

第三节	临氢降凝	(210)
第四节	主要加氢设备	(211)
第五节	轻烃蒸汽转化制氢及炼油厂低浓度氢回收工艺的主要设备	(225)
思考题		(232)
<b>第七章</b>	<b>延迟焦化设备</b>	(234)
第一节	基本工作原理简介	(236)
第二节	工艺流程	(236)
第三节	水力除焦设备	(250)
第四节	延迟焦化装置设备技术的发展特点	(253)
第五节	我国延迟焦化装置的发展	(260)
思考题		(261)
<b>第八章</b>	<b>炼厂加热炉</b>	(263)
第一节	原油蒸馏用加热炉	(263)
第二节	管式加热炉的主要结构及零部件	(279)
第三节	加热炉的燃料和燃烧器	(295)
第四节	提高加热炉燃料燃烧效率可采取的主要措施	(307)
第五节	原油蒸馏的过程控制简介	(317)
思考题		(319)
<b>第九章</b>	<b>油品储存设备</b>	(321)
第一节	储存设备	(321)
第二节	液化石油气的储运设备及附件	(342)
思考题		(344)
<b>第十章</b>	<b>炼厂工艺管道及输送设备</b>	(346)
第一节	管道工程基础	(346)
第二节	管件	(352)
第三节	泵及泵房	(354)
第四节	阀门	(359)
思考题		(365)
参考文献		(366)

# 第一章 概 论

石油包括天然石油和人造石油两种。从煤和油母页岩中经干馏、高压加氢或合成反应而取得的石油叫人造石油；通常人们把未经加工的、从地下开采出来的可燃性黏稠液体，可燃性有机物叫天然石油，也称作原油，是由烃类和非烃类组成的复杂混合物，常与天然气共存。石油是远古海洋或湖泊中的生物在地下经过漫长的地球化学演化而形成，因此，石油是不可再生的能源。石油也是许多化学工业产品如溶液、化肥、杀虫剂、染料、涂料、医药、塑料等的原料，著名的三大合成材料塑料、合成橡胶和合成纤维就是以石油为原料加工而成的。

石油炼制是把采集到的石油经过一系列工艺过程的加工，得到汽油、煤油、柴油、润滑油、石蜡、沥青和石油焦等产品的过程，它是整个石油工业的重要一环。石油工业的发展与其他工业以及人民生活息息相关。

## 一、炼油工业在国民经济中的地位

### 1. 促进动力机械和交通运输业的发展

石油产品为动力机械和交通运输业提供了各种优质燃料，同时也提供了机械工业所必须的绝大部分润滑剂。

### 2. 促进农业现代化的发展

农业现代化的迅速发展，不但农用拖拉机、排灌等各种机械所需要的柴油用量日益增加，而且所需要的化学肥料和杀虫除草剂等农药也都需要石油炼制工业提供原料。同时，随着石油化工技术的发展，可使用石油产品代替动植物油脂生产脂肪酸，代替粮食生产丙酮、酒精、丁醇以及生产合成橡胶和畜用蛋白质等。

### 3. 促进化学工业和材料科学的发展

石油炼制工业提供了大量的化工原料，从而改变了基本有机合成工业的原料路线，使化工生产的结构发生了根本的变革。有效地促进了与高分子化学技术相结合的合成橡胶、合成纤维和合成塑料等新型材料工业的发展。生产出多种特殊功能的材料、结构材料和复合材料，用以代替各种合金钢，开辟了新的材料来源，解决了许多新技术发展所需要的具有各种特殊性能的新材料的需求。

### 4. 促进国防工业的发展

现代化的国防绝大部分是以石油产品为其动力来源的。导弹、飞机、舰艇、坦克及装甲车等多种军用机械与各种现代化武器，多以石油产品作为燃料、润滑剂及其制造的特殊材料。

## 二、炼油工艺对设备的基本要求

在炼油生产中，工艺是龙头，设备是为工艺服务的。随着工艺的改进和新工艺的出现，对设备提出了新的、更高的要求，促进了设备的发展，而设计合理、性能优良的设备又为先进的工艺过程的实现提供了保证。不同的工艺所使用的设备不同，对设备的要求也不尽相同，但概括而言有如下几方面要求。

### 1. 满足工艺要求

设备是为工艺服务的，所以首先应满足工艺所提出的各项要求。

### 2. 安全可靠地运行

炼油生产的原料、产品及使用的催化剂、添加剂，大多都是易燃、易爆、含毒及腐蚀性的物质，而且生产过程一般都是在一定的压力、温度甚至于高温、高压下进行的，一旦发生事故，不仅设备本身遭到破坏，往往还会诱发一连串恶性事故，造成重大人身伤亡和经济损失，所以生产的安全性尤为重要。

为了确保设备安全可靠运行，首先要求其具有足够的强度、刚度和良好的密封性。

保证设备安全可靠运行除了对设备本身的要求外，还需从使用和日常操作方面着手。配备合格的操作人员和具有相关知识及技能的管理人员，严格执行操作规程、加强日常维护，按有关规定对设备主体以及安全附件定期进行检查、检验和维修，及时发现和消除不安全因素，保证设备的安全运行。

### 3. 结构简单、造价低廉、操作维护方便

炼油设备在炼油厂中占有很大的比重，设备的投入费用是炼油工业产品的成本之一，所以在满足工艺要求和安全运行的前提下，设备的结构要简单、尽量采用标准型号和通用零部件，另外还要求设备具有良好的运转性能，无噪音及振动、能连续进行操作、自动化程度高且易于维修等。

## 第一节 石油及其产品的化学组成和物理性质

石油外观性质的差异反映了其化学组成的不同。1983年，第11届世界石油大会正式提出对石油、原油、天然气等名词的定义。

石油(Petroleum)：指气态、液态和固态的烃类混合物，具有天然性状。

原油(Crude Oil)：石油的基本类型，常压下呈液态，其中也包括一些液态非烃类组分(天然的液态烃类混合物)。

天然气(Natural Gas)：石油的主要类型，常温常压下呈气态，在地层条件下溶解于原油中。

因此，石油这一概念实际上包括了人们习惯上所说的原油、天然气、伴生气、凝析油等。从广义上讲，石油是原油及其成品油的总称。

石油的性质包含物理性质和化学性质两个方面。物理性质包括颜色、密度、黏度、凝固点、溶解性、发热量、荧光性、旋光性等；化学性质包括化学组成、组分组成和杂质含量等。

### 一、石油的元素组成

石油是一种极其复杂的混合物，但主要由碳(C)和氢(H)两种元素组成，其中碳含量为83%~87%。氢含量为11%~14%。两者合计为95%~99%。由碳和氢两种元素组成的碳氢化合物称为烃。在石油炼制过程中它们是加工和利用的主要对象。此外，石油中还含有占总量约为1%~5%的硫(S)、氮(N)、氧(O)等元素，它们不是以单质出现而是和碳、氢形成化合物存于石油中。在石油产品中，这些非烃化合物大部分是以胶状、沥青状物质的形态存在，通常称胶质和沥青质，它们对设备有腐蚀，并使产品质量变坏。虽然石油中非碳氢元素的含量很少，但是它们对石油的性质、石油加工过程以及产品的使用性能有很大的影响。



此外石油中还含有许多微量的金属元素和其他非金属元素，如镍、钒、铁、铜、钙、砷、氯、磷、硅、镁等，它们的含量非常少，常以百万分之几计。虽然含量不高，但对石油加工过程及其产品质量将会产生不良影响。

## 二、石油的烃类组成

石油是由各种烃类和非烃类化合物所组成的复杂混合物。石油中的烃类主要是由烷烃、环烷烃和芳香烃这三种烃类构成。

### 1. 烷烃

烷烃是石油的主要组分，是饱和的链状烃，其分子式可用通式  $C_nH_{2n+2}$  表示。在常温常压下， $C_1 \sim C_4$ （即分子中含有 1~4 个碳原子）的烷烃为气体，它们是天然气和炼厂气的主要成分。 $C_5 \sim C_{15}$  的烷烃为液体，主要存在于汽油及煤油中。大于  $C_{16}$  的正构烷烃为固体。常温下多以溶解状态存在于石油中，当温度降低时就有结晶析出，这就是蜡。蜡存在于柴油和润滑油馏分中。油品中的蜡，会影响油品流动性，给使用带来困难，因此生产低凝油品，必须先行脱蜡。

在一般条件下，烷烃的化学性质很不活泼，不易与其他物质发生反应，但在特殊条件烷烃也会发生氧化、卤化、硝化及热分解等反应。

### 2. 环烷烃

环烷烃是环状的饱和烃，也是石油的主要组分之一。石油中的环烷烃主要是含五碳环的环戊烷系和含六碳环的环己烷系。其分子式可用通式  $C_nH_{2n}$  表示。从数量上看，国内原油一般是环己烷系多于环戊烷系，而大多数国外原油则是环戊烷系多于环己烷系。随着石油馏分沸点的升高，环烷烃的相对含量增加，在高沸点的石油馏分中，还含有双环和多环的环烷烃以及环烷-芳香烃。在更重的石油馏分中，因为芳香烃的含量增加使得环烷烃的相对含量有所减少。

环烷烃的抗爆性较好，凝点低，有较好的润滑性能和黏温性，是汽油、喷气燃料及润滑油的良好组分。环烷烃的化学性质与烷烃相近，密度、熔点、沸点较相应的烷烃高，性质稍活泼，在一定条件下可发生氧化分解等反应，环烷烃在一定条件下还能脱氢生成芳香烃。在液体燃料中，含量多时能使油品性能稳定、密度大、凝点低、燃烧性能好，但含量多，也会使油品黏度增大。

### 3. 芳香烃(芳烃)

芳香烃是指分子中含有苯环的烃类，一般苯环上带有不同的烷基侧链，也是石油的主要组分之一。在石油中含量一般较烷烃和环烷烃少，在常温下多呈液态或固态，有芳香气味，比水轻，有毒性，易侵蚀橡胶，与其他烃相比密度最大。同一种原油中，随着沸点(或相对分子质量)的升高，芳香烃的含量增多。它能提高汽油的辛烷值，抗爆性能高，是汽油的良好组分。在润滑中，它会使润滑油的黏温性能变坏，在高温时易氧化生成胶质。这是油品氧化变质的重要原因之一。因此，在煤油和润滑油中，芳香烃是有害成分应予除去。石油中除含有单环芳香烃外，还含有双环和多环芳香烃。芳香烃的化学性质较烷烃稍活泼，可与一些物质发生反应，但芳香烃中的苯环很稳定，强氧化剂也不能使其氧化，也不易起加成反应。

### 4. 烯烃

烯烃是不饱和烃，在石油蒸馏时，石油中的烷烃、环烷烃等化合物受热分解时或重质石油加热裂解时，才会产生烯烃。总之，烯烃主要存在于石油的二次加工产物中。原油中一般不含烯烃。烯烃又分为单烯烃(即分子中含有一个双键)、二烯烃和环烯烃。在常温常压下，

单烯烃  $C_2 \sim C_4$  是气体,  $C_5 \sim C_{18}$  是液体,  $C_{18}$  以上是固体。烯烃分子中有双键, 因此烯烃的化学性质很活泼, 可与多种物质发生反应。在一定条件下可进行加成、氧化和聚合等各种反应。在空气中烯烃易氧化成酸性物质或胶质, 特别是二烯烃和环烯烃更易氧化, 影响油品的安定性。二烯烃是有害杂质, 应予除去。

### 三、石油的非烃类组成

如前所述, 石油中的非烃化合物主要是指含硫、含氧、含氮化合物及胶状、沥青状物质。含氧化合物可分两类, 一类是酸性氧化物, 主要是环烷酸、脂肪酸和酚类, 总称石油酸; 另一类是中性氧化物, 主要是沥青质和胶质。它们有刺激性气味, 有腐蚀性, 能使油品颜色变深。含硫化合物主要有元素硫、硫化氢、硫醇等, 其含硫总量一般都小于 1%。在石油中, 含硫化合物都有难闻的臭味, 对金属有强烈腐蚀作用, 因此会给石油加工和油品储运带来很大危害。

含氮化合物在石油中含量很少, 我国大多数原油含氮量均低于 0.5%, 而且大多以胶状和沥青状物质存于渣油中。含氮化合物性质不稳定, 在空气中易氧化使油品颜色变深, 气味变臭, 是石油中有害物质, 应予除去。

石油中的胶状物质是一些相对分子质量很高, 结构十分复杂的化合物, 如中性胶质和沥青质。它们的含量随着石油产地不同而不同。胶状物质都集中在石油残渣中, 它的存在会使油品颜色变深, 密度加大, 热稳定性变差。在设备润滑中, 油中炭渣对机械运转也有很大危害, 因此胶状物质在石油加工中应予除去。

另外, 石油中的盐类, 在石油燃烧时因不能燃烧而形成灰分, 其含量很低, 只有重质石油产品残量中含量才较高。

### 四、石油的馏分组成

石油是一个多组分的复杂混合物, 每个组分有其各自不同的沸点。石油加工的第一工序——蒸馏(分馏), 就是根据各组分沸点的不同, 用蒸馏的方法把石油“分割”成几个部分, 每一部分称为馏分。通常把沸点小于  $200^{\circ}\text{C}$  的馏分称为汽油馏分或低沸点馏分,  $200 \sim 350^{\circ}\text{C}$  的称为煤油、柴油馏分或中间馏分,  $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$  的称为减压馏分或润滑油馏分或高沸点馏分, 大于  $500^{\circ}\text{C}$  的称为渣油。

必须注意, 石油馏分不是石油产品, 石油产品必须满足油品规格的要求。通常馏分油要经过进一步的加工才能变成石油产品。此外, 同一沸点范围的馏分也可以因目的不同而加工成不同产品。例如航空煤油(即喷气燃料)的馏分范围是  $150 \sim 280^{\circ}\text{C}$ , 灯用煤油是  $200 \sim 300^{\circ}\text{C}$ , 轻柴油是  $200 \sim 350^{\circ}\text{C}$ , 减压馏分油既可以加工成润滑油产品, 也可作为裂化的原料。

国内外部分原油直馏馏分和减压渣油的含量列于表 1-1, 从表中可以看出, 与国外原油相比, 我国一些主要油田原油中汽油馏分少(一般低于 10%), 渣油含量高, 这是我国原油的主要特点之一。

表 1-1 原油直馏馏分及渣油含量

项 目	相对密度 $d_4^{20}$	汽油馏分 ( $< 200^{\circ}\text{C}$ )/%	煤柴油馏分 ( $200 \sim 350^{\circ}\text{C}$ )/%	减压馏分 ( $350 \sim 500^{\circ}\text{C}$ )/%	渣 油 ( $> 500^{\circ}\text{C}$ )/%
大庆	0.8650	10.90	18.40	25.20	44.60
胜利	0.8898	8.71	19.21	27.25	44.83
大港	0.8968	6.90	18.42	32.44	41.52

项 目	相对密度 $d_4^{20}$	汽油馏分 ( $< 200^\circ\text{C}$ )/%	煤柴油馏分 ( $200 \sim 350^\circ\text{C}$ )/%	减压馏分 ( $350 \sim 500^\circ\text{C}$ )/%	渣 油 ( $> 500^\circ\text{C}$ )/%
伊朗	0.8551	24.92	25.74	24.61	24.73
印尼米纳斯	0.8456	13.20	26.30	27.80(350 ~ 480 $^\circ\text{C}$ )	32.70( $> 480^\circ\text{C}$ )
阿曼	0.8488	20.08	34.40	8.45	37.07

### 五、石油的物理性质

石油及油品的理化性质与其化学组成和分子结构密切相关。石油及油品是复杂的混合物，因此它的性质是宏观的综合表现，也就是说多种化合物总体表现出来的性质，所以它与单独一个纯化合物的性质不同。多数性质无可加性，如密度、黏度，并且测定性质时，都是条件性实验。为了便于油品之间相互比较和对照，石油及油品的绝大部分性质都是采用条件性实验进行测定。(严格规定的仪器、方法和条件)，条件改变，结果也会改变。石油及油品的各种试验方法有不同的级别，如 ISO、GB、SH。

石油的物理性质包括：密度、相对密度(油品的密度与规定温度下水的密度之比)、蒸气压、沸点、特性因数( $K$ )、平均相对分子质量(简称分子量)、黏度(常用动力黏度“ $\mu$ ”和运动黏度“ $v$ ”)、油品低温流动性、闪点、燃点和自燃点，此外还有热性质，折射率(折光率)，含硫量，胶质、沥青质和蜡含量，残炭等，有关具体内容可参考相关书籍。

我国几种原油的性质见表 1-2。

表 1-2 我国几种原油的性质

原 油	大庆	胜利	孤东	辽河	江汉	中原	新疆南疆
取样年份	1999	2001	1999	1999	2005	1999	2002
$^\circ\text{API}$	31.29	23.67	19.06	19.42	31.63	31.70	32.70
密度/( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 20 $^\circ\text{C}$	0.8650	0.9079	0.9360	0.9338	0.8637	0.8636	0.8576
运动黏度/( $\text{mm}^2/\text{s}$ )							
50 $^\circ\text{C}$	25.42	83.29	221.07	509.40	21.59	16.72	12.78
80 $^\circ\text{C}$		25.66	48.35	44.02		7.47	
凝点/ $^\circ\text{C}$	25	20		3	30	23	-8
蜡含量/%	16.54	16.48	7.17	7.50	19.56	15.30	4.92
沥青质/%	0.38	1.07	0.39	0.68	0.34	13.00	2.64
胶质/%	6.75	9.93	16.72	17.86	12.19	(沥+胶)	1.66
残炭值/%	3.64	6.77	6.41	8.98		5.1	
灰分/%	0.006	0.006		0.052	0.008	0.04	
元素组成/%							
碳/%					85.55	85.0	
氢/%					12.58	12.9	
硫/%	0.15	0.855	0.32	0.20	1.169	0.74	0.74
氮/%	0.139	0.346	0.38	0.47	0.298	0.38	0.15
镍/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	5.19	15.06	14.9	46.58		3.3	
钒/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	0.038		0.8	0.17			

续表

原油	大庆	胜利	孤东	辽河	江汉	中原	新疆南疆
馏程							
初馏点/℃		105				112	61
馏出率/%							
100℃					3.4		4.0
120℃	4.7	1.30	0.4	1.3	5.8	0.6	6.7
140℃	5.8	2.50	0.8	1.7	8.1	1.9	10.0
160℃	7.3	3.75	1.8	2.3	10.9	4.4	13.0
180℃	8.9	5.00	2.4	3.1	13.2	6.9	16.5
200℃	10.9	6.15	2.8	4.3	16.2	9.4	20.0
220℃	13.1	7.5	3.7	5.7	19.8	12.5	23.0
240℃	15.4	9.30	5.1	7.5	23.2	15.6	26.0
260℃	18.0	11.25	7.0	9.6	27.0	18.8	29.0
280℃	20.6	12.50	9.4	12.1	31.1	23.1	33.0
300℃	23.4	13.75	12.2	14.7	36.4	29.4	37.0

## 第二节 石油产品的分类和规格指标介绍

原油经炼制加工，能够生产出千余种石油化工产品，本章仅简单介绍一些基本的分类方法和规格指标。

### 一、石油产品的分类

石油产品依据生产方法、特征和用途可以有不同的分类。

#### 1. 石油产品的总分类

按照 GB 498《石油产品及润滑油总分类》，GB 7631《润滑剂和有关产品(L类)的分类》，可以将石油产品总分类为六大类：燃料(F)、溶剂和化工原料(S)、润滑剂和有关产品(L)、石油蜡(W)、沥青(B)和石油焦(C)。其名称编号的一般形式见图 1-1。

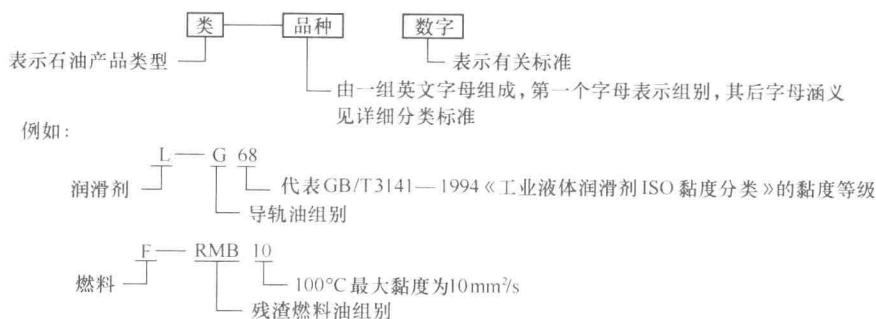


图 1-1 石油产品总分类

#### 2. 石油产品按用途一般分为九类

石油燃料类：包括汽油、喷气燃料、煤油、柴油和燃料油等。

溶剂油类：包括石油醚、橡胶溶剂油和油漆溶剂油等。

润滑油类：包括内燃机润滑油、齿轮油、车轴油、机械油、仪表油、压缩机油和汽缸油等。

电气用油类：包括变压器油、电容器油和断路器油等。

润滑脂类：包括钙基润滑脂、钠基润滑脂、钙钠基润滑脂、锂基润滑脂和专用润滑油脂等。

固体产品类：包括石蜡类、沥青类和石油焦类等。

石油气体类：包括石油液化气、丙烷和丙烯等

石油化工原料类：包括石脑油、重整油、AGO 原料、戊烷、抽余油和拔头油等。

石油添加剂类：燃料油添加剂和润滑油添加剂。

从数量上看，燃料占石油产品的 80% 左右甚至更多，其用量最大，其中又以发动机燃料为主要产品。润滑剂仅占石油产品的 5% 左右，但其品种和类别却极其繁多。下面将按照石油产品的总分类办法逐一进行介绍。

## 二、燃料

石油燃料的类别用字母“R”表示，组别表示见表 1-3，牌号用阿拉伯数字表示，编制牌号的根据和意义见表 1-4。

表 1-3 石油燃料的组别

组 别	符 号	组 别	符 号
液化石油气	Y	柴油	C
航空汽油	H	重油	N
汽油	Q	渣油	A
喷气燃料	P	特种燃料	T
煤油	M		

表 1-4 石油燃料的牌号

组 别 名 称	编列牌号根据和意义	组 别 名 称	编列牌号根据和意义
液化石油气	组成中碳原子数	柴油	凝点
航空汽油	辛烷值	重油	运动黏度
汽油	辛烷值	特种燃料	顺序号
喷气燃料	顺序号		

## 三、溶剂和化工原料

溶剂油是对某些物质起溶解、稀释、洗涤和抽提作用的轻质石油产品，是用石油的直馏馏分油、催化重整抽余油或其他(再加工生产)的馏分油为基础油精制而成，不加任何添加剂。国产溶剂油有三种，即航空洗涤汽油、溶剂油和 6 号抽提溶剂油。其中，大部分溶剂的馏分都很轻，是蒸发性很强的易燃品。

## 四、润滑剂和有关产品

目前广泛应用的润滑剂是以石油为原料制得的润滑油和润滑脂，其中尤以润滑油的用量为最大。润滑油和润滑脂被用来减少机件之间的摩擦，保护机件以延长它们的使用寿命并节省动力。它们的数量只占全部石油产品的 5% 左右，但其品种繁多。

GB/T 7631.1—2008《润滑剂、工业用油和有关产品(L类)的分类 第1部分：总分组》中根据润滑剂和有关产品的应用场合又将润滑剂和有关产品(L类)产品分成十九个组，其中十五个组在我国已经制定了国家标准，其组别如表1-5所示。

表1-5 润滑油组别

组别	应用场合	组别	应用场合
A	全损耗系统	N	电器绝缘
C	齿轮	P	风动机具
D	压缩机(包括冷冻机和真空机)	R	暂时保护防蚀
E	内燃机	T	汽轮机
F	主轴、轴承和离合器	Q	热传导
G	导轨	U	热处理
H	液压	X	用润滑脂的场合
M	金属加工		

润滑脂是一种半固体(或半流动)状的可塑性润滑材料，它是石油产品的一大类，也是润滑剂的一个重要组成部分。表1-6列出了各类润滑脂的特性与应用。

表1-6 各类润滑脂的特性与应用

基础油	稠化剂	耐热性	机械安定性	抗水性	使用温度/ ℃	应用
石油 润滑油	地蜡、石油脂	差	差	优	~50	机械、仪器的防护
	钙皂	差	好	优	~70	通用机械摩擦部件、轴承
	钠皂	一般	一般~好	差	~130	通用机械部件润滑
	钙-钠皂	一般	一般~好	一般	~100	通用机械轴承
	铝皂	差	差良	好	~50	船用机械的防护
	锂皂	好	优	优	~130	各类机械、轴承、汽车轴承
	复合钙皂	好	优	优	~130	冶金设备轴承、重负荷机械摩擦部件
	复合铝皂	好	好	好	~130	重负荷机械、冶金设备自动给脂系统
	复合锂皂	好	优	优	~130	重载汽车轴承、重负荷机械、冶金设备轴承
活化膨润土	好	良~好	一般	~130	冶金设备、重负荷机械	
脂类油	锂皂	好	优	一般~好	-60~120	精密机械轴承、航空仪表轴承及摩擦部件
硅油	改质硅胶	好	一般	优	-40~120	旋塞密封、真空脂、阻尼系统
	锂皂	好	优	优	-60~200	轻负荷机械、轴承
	复合锂皂	好	优	优	-60~250	高温轴承、轻负荷机械摩擦部件
	酞青铜	优	良~优	优	-60~200	轻负荷摩擦部件、轴承
	酞钠	优	优	优	-60~200	轻负荷轴承、高温轴承
	聚脲	优	优	优	-60~200	轻负荷轴承及摩擦部件
含氟 润滑油	聚四氟乙烯 酞钠	好	一般	优	-40~150	轻负荷轴承、润滑与密封、耐特殊介质
	聚四氟乙烯	优	良	优	-40~300	轻负荷轴承、润滑与密封

## 五、蜡、沥青和石油焦

它们是从生产燃料和润滑油时进一步加工得来的，其产量约为所加工原油的百分之几。蜡是炼油工业的副产品之一，蜡又分为石蜡和地蜡两大类。因加工深度不同，石蜡产品有全程炼石蜡(精白蜡)、半精炼石蜡(白石蜡)、粗石蜡(黄石蜡)和食品用石蜡等几个系列。

沥青是主要的石油产品之一，可由合适的原油经减压蒸馏直接制得，也可将减压渣油经浅度氧化，或经丙烷脱沥青工艺所得的沥青作为调合组分而制得。沥青根据用途不同分为道路沥青(如普通道路沥青和重交道路沥青)、建筑沥青(如防水防潮沥青、水工沥青等)、专用沥青(如橡胶沥青、油漆沥青、电缆沥青、管道防腐沥青等)和乳化沥青(如阳离子乳化沥青和阴离子乳化沥青)，其中道路沥青的需求和产量最大。沥青最主要的质量要求是软化点、针入度和延度。

石油焦是一种黑色或暗灰色的固体焦炭，是各种渣油、沥青或重油在高温下(490 ~ 550℃)分解、缩合、焦化后而制得的，它是焦化过程所特有的产品。

延迟焦化在一般条件下主要生产普通焦，但通过对原料油和工艺条件作适当调整可以生产出优质焦(也称针状焦)。

### 第三节 石油炼制基础

石油炼制(简称炼油)是以原油为基本原料，通过一系列炼制工艺(或加工过程)，例如常减压蒸馏、催化裂化、催化加氢、催化重整、延迟焦化、炼厂气加工及产品精制等，把原油加工成各种石油产品，如各种牌号的汽油、喷气燃料(即航空煤油)、柴油、润滑油、溶剂油、重油、蜡油、沥青和石油焦，以及生产各种石油化工的基本原料。这种从原油中提取各种石油产品的过程叫石油炼制，其炼制方法叫炼油工艺，炼油工艺所使用的装置叫炼油装置。炼油装置是由一定的设备，按照一定的工艺要求组合而成的。不同的工艺过程所使用的设备也有区别。根据作用的不同，可将炼油设备大致分为六种类型，即：流体输送设备、加热设备、换热设备、传质设备、反应设备和容器等。

石油炼制以石油为原料生产各种石油产品；石油化工以乙烯、丙烯为原料生产三大合成材料及基本有机原料。本书主要介绍有关石油炼制的设备。

从原油中直接得到的轻馏分不仅数量很有限，而且质量也很难完全满足要求，因此，必须将从原油中得到的重馏分和渣油进行进一步的加工，即重质油的轻质化，以得到更多的轻质油品。通常把原油经蒸馏，切割成几个不同沸点范围即(馏分)的加工过程叫一次加工，也叫物理加工过程；而将以一次加工所得馏分，轻馏分改质与重馏分和渣油的轻质化为主的加工过程称为二次加工过程，也叫化学加工过程(亦称深度加工)。二次加工目的在于提高轻油收率，提高产品质量，增加产品品种，为炼油厂取得更大经济效益。

一次加工装置生产的产品和半成品有汽油、煤油、柴油和润滑油原料、统称直馏产品。一次加工的生产装置有常压和减压蒸馏。原油的二次加工根据生产目的的不同有许多种过程，如以重质馏分油和渣油为原料的催化裂化和加氢裂化、以汽油馏分为主要原料生产高辛烷值汽油或轻质芳烃苯、甲苯、二甲苯等的催化重整、以渣油为原料生产石油焦或燃料油的焦化或减粘裂化等。二次加工的生产装置主要有热裂化、催化裂化、加氢裂化、延迟焦化、催化重整、烷基化、重整、加氢精制、电化学精制及生产润滑油的各种装置。

尽管原油经过一系列的加工过程可生产出各种石油产品，但是不同的原油适合于生产不同的石油产品，即不同的原油应选择不同的加工方案。原油加工方案除决定于原油的组成和性质之外，还决定于市场需求这一十分重要的因素。一般情况下，组成和性质相同的原油，其加工方案和加工中所遇到的问题也很相似。

由于地质构造、原油产生的条件和年代的不同，世界各地所产原油的化学组成和物理

性质，有的相差很大，有的却很相似。即使是同一地区生产的原油，有的在组成和性质上也很不相同。为了选择合理的原油加工方案，预测产品的种类、产率和质量，有必要对各种原油进行分类。

**一、原油的分类**

目前原油分类使用的是美国石油学会(American Petroleum Institute, API)的评级体系，这一体系是基于相对密度而建立的。液体的相对密度是相对水而言的。在 API 体系中，水是 API10，阿拉伯轻油是 API34，这表明同样体积的阿拉伯轻油比水轻。比如，API 把等于或小于 22.3°API 的原油定义为稠油，把等于或小于 10°API 的原油定义为超稠油。

原油的硫含量也很重要。脱硫原油的硫含量相对较低，密度相对较高，可以被提炼成更轻的高价值产品，如汽油。酸性原油的硫含量相对较高，密度相对较低，在提炼后可生产更多的比较重的煤油和柴油。

原油的组成十分复杂，对原油的确切分类是极其困难的，至今还没有一种公认的标准分类方法。通常可以从工业、地质、物理和化学等不同角度对原油进行分类，但应用较广泛的是工业分类法和化学分类法。

**1. 工业分类法**

国际石油市场上常用的按比重指数°API(或密度)和含硫量分类的，其分类标准分别见表 1-7 和表 1-8。我国常用的按含硫量分类的标准与国际上一致。

**表 1-7 原油按°API 的分类标准**

类别	°API	密度(15℃)/(g/cm <sup>3</sup> )	密度(20℃)/(g/cm <sup>3</sup> )
轻质原油	>34	<0.855	<0.851
中质原油	34~20	0.855~0.934	0.851~0.930
重质原油	20~10	0.934~0.999	0.931~0.996
特稠原油	<10	>0.999	>0.996

**表 1-8 原油按含硫量分类标准**

原油类别	含硫量(细分)/%	含硫量(粗分)/%
特高硫原油	≥2.0	
高硫原油	≥1.3~<2.0	>2.0
中硫原油	≥1.0~<1.3	
含硫原油	≥0.25~<1.0	0.5~2.0
低硫原油	≥0.25~<1.0	<0.5
超低硫原油	<0.25	

**2. 化学分类法**

化学分类应以化学组成为基础，由于原油的化学组成十分复杂，所以通常采用原油某几个与化学组成有关系的物理性质作为分类基础。化学分类法中常用的有两种方法：特性因数分类法和关键馏分特性分类法。

关键馏分特性分类见表 1-9。

通过对原油的分类可以大致判定原油的属性，使人们对它有一个粗浅的概念，但只有通过原油的详细评价，才能确切地判断这种原油适合或不适合生产某类石油产品。我国现阶段采用的是关键馏分特性分类与含硫量分类相结合的分类方法。后者作为对前者的补充。根据这种分类方法，我国几个主要油田原油的类别见表 1-10。



表 1-9 关键馏分特性分类

序号	第一关键馏分的类别	第二关键馏分的类别	原油类别
1	石蜡	石蜡	石蜡~中间
2	石蜡	中间	石蜡~中间
3	中间	石蜡	中间~石蜡
4	中间	中间	中间~环烷
5	中间	环烷	中间~环烷
6	环烷	中间	环烷~中间
7	环烷	环烷	环烷

表 1-10 我国几种原油的分类

原油	大庆	胜利	孤岛	辽河	华北	中原	新疆
原油	低硫	含硫	含硫	低硫	低硫	含硫	低硫
类别	石蜡基	中间基	环烷~中间基	中间基	石蜡基	石蜡基	石蜡~中间基

## 二、工艺流程图及炼厂类型

一个炼厂或一个炼油装置的构成和生产程序是用工艺流程图来描述的。炼油生产是自动化程度较高的连续生产过程，正确设计的工艺流程不仅对保障日常生产，而且对提高效益具有重要的作用。根据使用目的和描述范围的不同，炼厂的工艺流程大体上可以分为以下三类。

### 1. 全厂生产工艺流程图

此图反映了炼厂的生产方案、各生产装置之间的关系。工艺流程图是炼厂和炼油装置的最基本的技术文件，无论是欲了解一个炼厂或炼油装置，或是进行设计或技术改造，都必须首先考虑此技术文件。

### 2. 生产装置工艺原理流程图

此图反映了一个炼油生产装置所采用的技术方案、装置内各主要设备之间的关系和物流之间的关系。

### 3. 炼油装置工艺管线—自动控制流程图

此图的作用主要是作为绘制工艺管线及仪表安装的依据。在此图中绘出了装置内的所有管线和仪表。

依据原油加工方案的不同炼油厂也有相应的不同分类。我国的炼油厂按照产品结构的不同，一般分为燃料型、燃料-润滑油型、燃料-化工型和燃料-润滑油-化工型 4 种类型。

典型的燃料型炼油厂生产工艺原则流程见图 1-2 和图 1-3，典型的燃料-润滑油型加工方案的原则流程图见图 1-4。典型的燃料-化工型加工方案的原则流程见图 1-5，燃料-润滑油-化工型其工艺原则流程如图 1-6 所示。

## 三、石油炼制基础工艺

石油炼制的基础工艺包括：常减压蒸馏、催化裂化、加氢裂化、延迟焦化、催化重整、烷基化、调合等，对于重油加工则常采用组合工艺技术，如：延迟焦化—催化裂化组合工艺、延迟焦化—加氢精制—催化裂化组合工艺、溶剂油脱沥青—延迟焦化—催化裂化组合工