



## 光期能化：初识石油炼制——石油炼化专题报告系列（一）

### 光大期货研究所

#### 能化研究团队

研究总监：钟美燕

品种：原油

分析师：杜冰沁

品种：天然气、燃料油、  
沥青、航运

分析师：邱艺琳

品种：PTA、MEG、  
天然橡胶、  
20 号胶

分析师：彭海波

品种：甲醇、PE、  
PP、PVC

期市有风险

入市需谨慎

石油及其衍生产品不仅是能源市场的重要组成部分，也是期货市场中的关键交易品种。对于期货投资者而言，深入理解石油炼制和化工的基础知识，掌握产业链的动态和市场分析，是制定明智投资决策的前提。

本篇专题是石油炼制与化工系列专题的开篇之作，旨在为投资者提供一个全面的视角，以了解石油炼制的核心技术、主要产品。报告将从石油炼制的历史发展、馏分特性、烃类组成，到主要炼制流程和原油加工方案，逐一展开。

后续我们将陆续推出多篇化工专题报告。在化工专题中，我们将探讨化工产品的生产过程、市场需求以及它们在期货市场中的表现。报告将涵盖从基础化学品到复杂的聚合物和塑料的广泛领域，分析它们在日常生活中的应用，以及在全球经济中的作用。

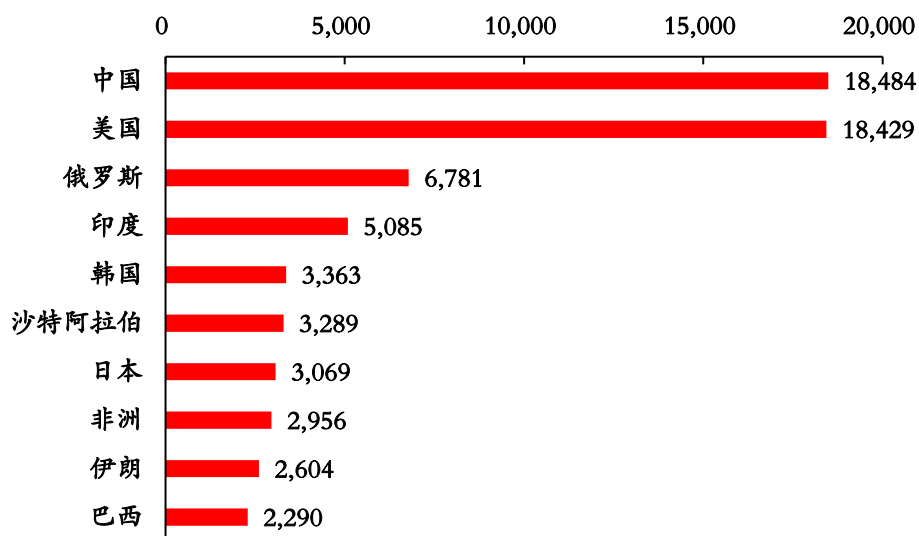
## 光期能化：初识石油炼制——石油炼化专题报告系列（一）

### 一、石油炼制工业发展历史

石油炼制工业的早期主要以生产家用煤油为主，采用的主要加工方法是简单蒸馏。随着 20 世纪初汽车工业的蓬勃发展以及第一次世界大战期间汽油需求的激增，单纯依靠石油蒸馏提取的汽油已无法满足市场需求。为此，从较重的馏分油或重油中生产汽油的热裂化技术应运而生，并迅速推广。进入 20 世纪 40 年代，催化裂化技术逐渐取代了热裂化，成为生产汽油的核心技术，而润滑油的生产技术也获得了显著进展。20 世纪 50 年代，随着对汽油抗爆性能要求的提升，铂重整技术应运而生，催化重整技术进入快速发展阶段。由于催化重整能够产生廉价的副产品氢气，进一步推动了加氢技术的广泛应用，在此期间，炼油工业中各种催化反应技术均得到全方位发展。到了 60 年代，分子筛催化剂的发明使催化裂化技术发生了革命性变化，并迅速应用于其他催化反应过程中。70 年代，由于中东石油禁运引发的石油危机，全球对节能技术的需求增加，同时重质油轻质化技术也逐步发展壮大。计算机技术和过程系统优化技术在此期间也广泛应用于炼油行业，进一步推动了炼油工艺的现代化。进入 80 年代，全球炼油工业规模和技术架构趋于稳定，但在工艺设备、催化剂、系统优化、过程模拟、先进控制和环保技术等方面仍取得了显著进步。

中国的炼油工业起步较晚，尽管早在 1907 年陕西石油官矿局建立了炼油房，但到 1949 年，全国仅有少量小规模炼油厂。1958 年，我国第一座现代化炼油厂建成，年处理量为 10 万吨。随着大庆油田的发现和开发，20 世纪 60 年代我国炼油工业迅速崛起。如今，中国已成为全球最大的炼油国，千万吨级以上炼油厂占总产能的比重超过 50%，炼油技术的自主创新能力和市场竞争力显著增强，总体技术水平已达到世界先进水平。

图表 1：2023 年全球炼油能力排名前十的国家（单位：千桶/日）



资料来源：Wind、光大期货研究所

## 二、石油的馏分

石油是一个多组分的复杂混合物，其沸点范围很宽，从常温一直到 500℃ 以上。所以，无论是对石油进行研究或进行加工利用，都必须对石油进行分馏。分馏就是按照组分沸点的差别将石油“切割”成若干“馏分”，例如 < 200℃ 馏分，200~350℃ 馏分等等，每个馏分的沸点范围简称为馏程或沸程。

馏分常冠以汽油、煤油、柴油、润滑油等石油产品的名称，但馏分并不就是石油产品，石油产品要满足油品规格的要求，还需将馏分进一步加工才能成为石油产品。各种石油产品往往在馏分范围之间有一定的重叠。为了统一称呼，一般把原油在常压蒸馏时从开始馏出的温度（初馏点）到 200℃（或 180℃）之间的轻馏分称为汽油馏分（也称轻油或石脑油馏分），200（或 180）~350℃ 之间的中间馏分称为煤柴油馏分，或称常压瓦斯油（简称 AGO）。由于原油从 350℃ 开始即有明显的分解现象，所以对于沸点高于 350℃ 的馏分，需在减压下进行蒸馏，再将减压下蒸出馏分的

沸点换算成常压沸点。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℃的油称为减压渣油（简称 VR）；同时人们也将常压蒸馏后 >350℃的油称为常压渣油或常压重油（简称 AR）。

从石油直接分馏得到的馏分称为直馏馏分，它们基本上保留着石油原来的性质，例如基本上不含不饱和烃。石油直馏馏分经过二次加工（如催化裂化等）后，所得的馏分与相应直馏馏分的化学组成不同，例如催化裂化产物的化学组成中就含有不饱和烃。

与国外原油相比，我国主要油区原油中的 >500℃减压渣油的含量较高，<200℃的汽油馏分含量较少。原油中的汽油馏分含量低、渣油含量高是我国原油馏分组成的一个特点。

图表 2：国内外部分原油的馏分组成

原油名称	馏分组成(质量分数),%			
	初馏点~200℃	200~350℃	350~500℃	>500℃
大庆	11.5	19.7	26	42.8
胜利	7.6	17.5	27.5	47.4
孤岛	6.1	14.9	27.2	51.8
辽河	9.4	21.5	29.2	39.9
华北	6.1	19.9	34.9	39.1
中原	19.4	25.1	23.2	32.3
新疆(管输油)	15.4	26	29.9	29.7
新疆(库尔勒)	19.6	31.1	26.1	23.2
新疆(九区)	2.3	18.9	28.9	49.9
单家寺	1.2	12.2	18.3	68.3
沙特(轻质)	23.3	26.3	25.1	25.3
沙特(轻重混合)	20.7	24.5	23.2	31.6
阿联酋(麦瑞波)	31.5	30.6	23.2	14.7
英国(北海)	29	27.6	25.4	18
印尼(米纳斯)	11.9	30.2	24.8	33.1

资料来源：《石油炼制工程》第四版、光大期货研究所

## 三、石油气体及石油馏分烃类组成

### 1、石油气体的烃类组成

石油气体主要由气态烃组成。石油气体因其来源不同，可分为天然气和石油炼厂气两类。

## (1) 天然气的组成

天然气是指埋藏于地层中自然形成的气体。天然气可分为伴生气和非伴生气。伴生气伴随原油共生与原油同时被采出；非伴生气包括纯气田天然气和凝析气田天然气，两者在地层中均为气相。凝析气田天然气从井口流出后，经减压、降温分离成气液两相。气相经净化后成为商品天然气，液相主要是凝析油。纯气田天然气的主要成分是甲烷，一般占 90%（体积分数）以上，此外还有少量的乙烷、丙烷、丁烷和非烃气体，例如氮、硫化氢和二氧化碳等。纯气田天然气一般称为干气。凝析气田天然气虽然以甲烷为主，但其中乙烷、丙烷、丁烷的含量明显增高，可达 10%~20%（体积分数），甚至还含有少量戊烷和己烷。凝析气田天然气一般称为湿气。原油伴生气的组成与凝析气田天然气的组成比较接近。

## (2) 炼厂气的组成

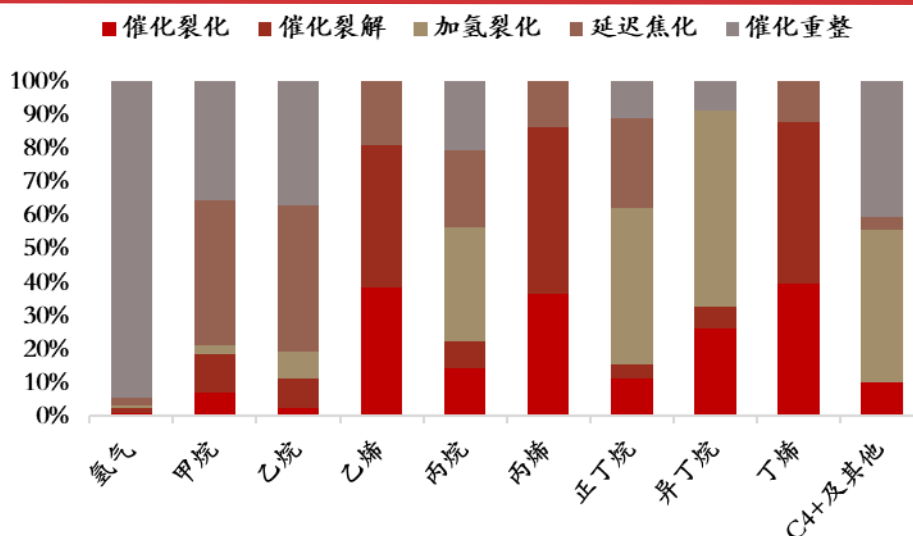
石油炼厂气的组成因加工条件及原料的不同，可以有很大差别。在石油单纯受热分解反应所得的气体中，除了含有烷烃外，普遍都含有烯烃。在高温热解反应的气体中含有大量的乙烯；在催化裂化反应的气体中含有大量的丙烯、丁烯和异丁烷；在催化裂解反应的气体中含有大量的丙烯和丁烯；而在催化重整反应的气体中其主要成分是氢气。

图表 3：石油炼厂气的典型组成

装置		催化裂化	催化裂解	加氢裂化	延迟焦化	催化重整
原料		减压馏分	重质原料油	减压馏分	减压渣油	轻油
反应温度℃		480~530	~550	350~450	~500	~500
气体组成 (质量分数) %	氢气	0.16	0.5	0.19	0.66	26.66
	甲烷	4.21	7	1.56	26.61	21.81
	乙烷	1.03	4.3	3.95	21.23	17.98
	乙烯	7.86	8.8	—	3.97	—
	丙烷	11.04	6.6	27.11	18.09	16.62
	丙烯	27.64	37.6	—	10.55	—
	正丁烷	4.37	1.8	18.77	10.78	4.44
	异丁烷	18.43	4.5	41.54	—	6.29
	丁烯	23.75	29	—	7.53	—
C <sub>4</sub> <sup>+</sup> 及其他		1.51	—	6.88	0.58	6.2

资料来源：《石油炼制工程》第四版、光大期货研究所

图表 4：不同装置产出气体的分布（%）



资料来源：《石油炼制工程》第四版、光大期货研究所

## 2、汽油馏分的烃类组成

通过对比我国几大油田汽油馏分的烃族组成，可以看出烷烃和环烷烃占直馏汽油馏分的大部分，芳香烃含量一般不超过 20%（质量分数）。就其分布规律而言，随着沸点的增高，芳香烃含量逐渐增加。芳香烃含量的这种分布规律，对国内外大多数原油的直馏汽油馏分都具有普遍意义。

图表 5：我国原油汽油馏分的烃族组成（%）

沸点范围℃	大庆			胜利			大港			孤岛		
	烷烃	环烷烃	芳香烃	烷烃	环烷烃	芳香烃	烷烃	环烷烃	芳香烃	烷烃	环烷烃	芳香烃
60~95	56.8	41.1	2.1	52.9	44.6	2.5	51.5	42.3	6.2	47.5	51.4	1.1
95~122	56.2	39	4.8	45.9	49.8	4.3	42.2	47.6	10.2	36.3	59.6	4.1
122~150	60.5	32.6	6.9	44.8	43.6	11.6	44.8	36.7	18.5	27.2	64.1	8.7
150~200	65	25.3	9.7	52	35.5	12.5	44.9	34.6	20.5	13.3	72.4	14.3

资料来源：《石油炼制工程》第四版、光大期货研究所

在实际应用中，原油的轻馏分既可作为直馏汽油的调合组分，也可作为催化重整的原料。因此，轻馏分油的烃族组成对直馏汽油及催化重整产品的性质及产率有直接影响。生产过程中，重整原料切割的终馏点一般为 130~180℃。



另外催化裂化、催化重整、焦化等二次加工后所得的汽油馏分，其烃族组成与直馏汽油馏分的烃族组成有较大差别。大多数经二次加工（尤其是经纯热加工）后的汽油馏分，均含有程度不同的不饱和烃。此外，因各加工工艺不同，各族烃类的含量也有差异。例如，催化裂化汽油馏分含有较多的异构烷烃，正构烷烃含量比直馏汽油馏分少得多，而芳香烃含量较直馏汽油馏分有显著增加。在催化重整汽油馏分中，其芳香烃含量远比直馏汽油馏分高得多。

### 3、中、高沸点馏分的烃类组成

石油中间馏分（200~350℃）中的烷烃主要包括从  $C_{11}$  到  $C_{20}$  左右的正构烷烃和异构烷烃。环烷烃和芳香烃以单环及双环为主，三环及三环以上的环烷烃和芳香烃含量较少。与汽油馏分的烷烃、环烷烃、芳香烃的不同之处在于中间馏分烷烃的碳原子数增多，环烷烃和芳香烃的环数增加（不仅有单环而且有双环、三环等），单环环烷烃和单环芳香烃的侧链数目或侧链长度增多或增长。

石油高沸点馏分（350~500℃）的烃类类型和中间馏分相似，只是其烃分子中碳原子数、环数更多，而且环的侧链数更多或侧链更长。高沸点馏分的烷烃主要包括从  $C_{20}$  到  $C_{36}$  左右的正构烷烃和异构烷烃。环烷烃包括从单环直到六环的带有环戊烷环或环己烷环的环烷烃，其结构主要是以稠合类型为主。芳香烃以单环、双环、三环芳香烃的含量为多，同时还含有一定量的四环以及少量高于四环的芳香烃。此外，在芳香环外还常并合有环数不等的环烷环（多至 5~6 个环烷环）。

## 四、石油主要炼制流程

### 1、石油蒸馏

蒸馏技术是石油加工最经济、最容易实现的分离方法，炼油过程第一套加工装置就是常减压蒸馏。常减压蒸馏装置将原油分割成一次加工产品和二次加工原料。一次加工产品包括：直馏汽

油、煤油、轻柴油或重柴油馏分及各种润滑油馏分等，这些馏分油经过适当的精制和调配便成为合格的石油产品。二次加工原料包括：重整原料、催化裂化原料、加氢裂化原料、乙烯裂解料等，这些馏分油既可经过二次加工提高轻质油的收率和产品质量，也可以作为石油化工装置的生产原料。

在炼油厂的各种二次加工装置中，蒸馏同样也发挥着至关重要的作用。如重整装置的原料预处理及产品的分离，催化裂化装置和焦化装置的主分馏以及后续产品分离，汽油或柴油加氢装置产品分离，溶剂回收等，蒸馏装置贯穿炼油生产过程的始终。在石油化工、天然气加工和炼厂气加工过程中，蒸馏过程依然是主导分离的单元操作，广泛应用于各种加工过程的原料提纯、中间产物的分离和最终产品的分离过程中。

## 2、催化裂化

催化裂化是重质石油烃类在催化剂的作用下反应生产液化气、汽油和柴油等轻质油品的主要过程，在汽油和柴油等轻质油品的生产中占有很重要的地位。特别是在我国，大约 80% 的汽油和 1/3 的柴油均来自该工艺。

传统的催化裂化原料是重质馏分油，主要是直馏减压馏分油（VGO），也包括焦化重馏分油（CGO，通常须经加氢精制）。一些重质油或渣油也作为催化裂化的原料，例如减压渣油、溶剂脱沥青油、加氢处理重油等。一般都是在减压馏分油中掺入上述重质原料，对于一些金属含量很低的石蜡基原油也可以直接用常压重油作为原料。当减压馏分油中掺入更重质的原料时则通称为重油催化裂化。

原料油在 500℃ 左右、0.2~0.4MPa 及与裂化催化剂接触的条件下，经裂化反应生成气体、汽油、柴油、油浆（可循环作原料）及焦炭。在一般工业条件下，气体产率约 10%~20%，其中主要



是 C3、C4，且其中的烯烃含量可达 50% 左右，是宝贵的化工原料和合成高辛烷值汽油的原料，例如，丁烯与异丁烷经烷基化反应可合成高辛烷值汽油，异丁烯与甲醇可合成高辛烷值组分 MTBE 等，丙烯是合成聚丙烯及聚丙烯腈等的原料，干气中的乙烯可用于合成苯乙烯等，C3、C4 还可用于民用液化气；汽油产率约 30%~60%，辛烷值约为 85~95，安定性较好；柴油产率约 20%~40%；焦炭产率约 5%~7%，如果原料中掺入渣油，产率可达 8%~10%，但由于它沉积在催化剂的表面上，只能用空气烧去而不能作为产品分离出来。

### 3、催化加氢

催化加氢是指石油馏分在氢气存在下催化加工过程的通称。目前炼油厂采用的加氢过程主要有两大类：加氢精制和加氢裂化。加氢精制主要用于油品精制，其目的是除掉油品中的硫、氮、氧杂原子及金属杂质，使烯烃饱和，有时还对部分芳经进行加氢，改善油品的使用性能。加氢裂化是在较高压力下，烃分子与氢气在催化剂表面进行裂化和加氢反应生成较小分子的转化过程。加氢裂化按加工原料的不同，可分为馏分油加氢裂化和渣油加氢裂化。馏分油加氢裂化的原料主要有减压蜡油、焦化蜡油、裂化循环油及脱沥青油等，其目的是生产高质量的轻质油品，如柴油、航空煤油、汽油等，其特点是具有较大的生产灵活性，可根据市场需要，及时调整生产方案。渣油加氢裂化与馏分油加氢裂化有本质的不同，由于渣油中富集了大量硫、氮化合物和胶质、沥青质大分子及金属化合物，使催化剂的作用大大降低，因此，热裂化反应在渣油加氢裂化过程中有重要作用。一般来说，渣油加氢裂化的产品尚需进行加氢精制。

### 4、催化重整

催化重整（Catalytic Reforming）是在一定温度、压力、临氢和催化剂存在的条件下，使石脑油（主要是直馏汽油）转变成富含芳烃（苯、甲苯、二甲苯，简称 BTX）的重整汽油并副产氢气

的过程。催化重整汽油是高辛烷值汽油的重要组成部分，在发达国家的车用汽油组分中，催化重整汽油约占 30%。BTX 是一级基本化工原料，全世界所需的 BTX 有近 70%是来自催化重整。氢气是炼厂加氢过程的重要原料，而重整副产氢气是廉价的氢气来源。

催化重整的原料主要是直馏汽油馏分，生产中也称石脑油（Naphtha）。在生产高辛烷值汽油时，一般用 80~180℃馏分，馏分的终馏点过高会使催化剂上结焦过多，导致催化剂失活快及运转周期缩短。沸点低于 80℃的 C<sub>6</sub> 环烷烃的调合辛烷值已高于重整反应物苯的调合辛烷值，因此没有必要再去进行重整反应。当以生产 BTX 为主时，则宜用 60~145℃馏分作原料，但在生产实际中常用 60~130℃馏分作原料，因为 130~145℃馏分是在航空煤油的馏程范围内。二次加工所得的汽油馏分如加氢裂化重石脑油、焦化汽油、催化裂化石脑油、乙烯裂解抽余油等馏分经加氢精制脱除烯烃及硫、氮等非烃化合物后也可掺入直馏汽油馏分作为重整原料。

## 5、延迟焦化

延迟焦化是当前重质油加工的核心技术之一，随着渣油深度加工的需求不断增加，其处理能力和工艺技术水平也在持续提升。延迟焦化主要以重质减压渣油或其他难以处理的重质油品为原料，具有极高的原料适应性，能够加工各种高硫含量、品质较差的劣质油。这使其在处理复杂、难加工的油品时具备显著优势。

延迟焦化的工艺流程主要是将原料通过换热器和加热炉加热至高温后，进入焦炭塔进行热裂化反应。在这一过程中，产生的石油焦被收集，油气则进入分馏塔进一步分离，生成气体、汽油、柴油以及焦化蜡油。为提高气体产品中高价值组分的回收率，部分装置配备了吸收稳定系统，进一步分离出液化气组分。

然而，除了石油焦外，延迟焦化产生的其他产品（如汽油、柴油、焦化蜡油）均需进一步加

工处理。汽油、柴油需通过精制工艺提纯，蜡油则需进入其他二次加工装置，如催化裂化或加氢处理，以转化为轻质油品后出厂。

#### 6、溶剂脱沥青

溶剂脱沥青是用于从减压渣油中提取高粘度润滑油料和催化裂化原料。通常使用丙烷或丁烷作为溶剂，通过抽提工艺将渣油中的轻组分与重胶质及沥青质分离。分离出的轻组分称为脱沥青油，可用于生产润滑油基础油或作为催化裂化的原料。相比渣油，脱沥青油的裂化性能更好，减少了难裂化、易生焦的重组分。重组分则称为脱油沥青，经过进一步加工可用于生产石油沥青，广泛应用于道路和建筑工程。

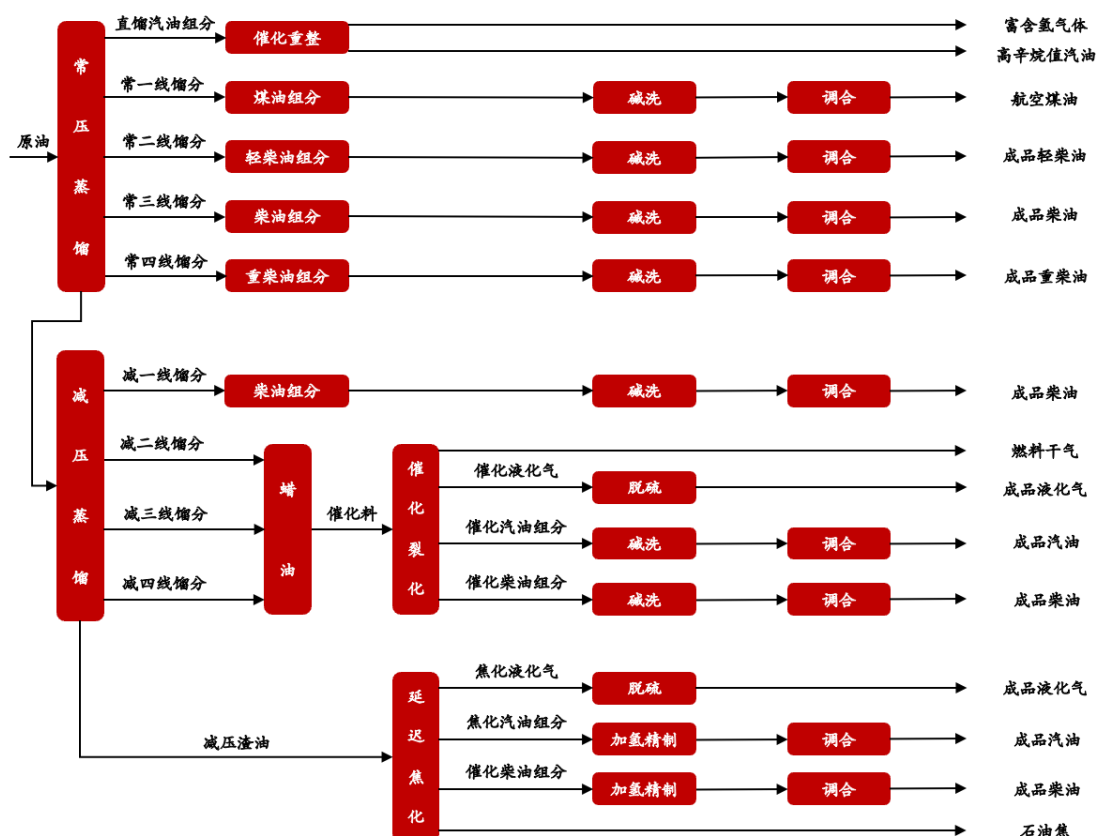
## 五、原油加工方案

通常炼厂会根据原油的特性和生产目的来确定原油加工方案，一般来说，原油加工方案大体上可以分为燃料型、燃料——润滑油型和燃料——化工型三种基本类型，在此基础上，各个炼厂的具体加工方案是多样的，不存在严格的区分，主要目标是提高经济效益和满足市场需求。

### 1、燃料型

主要生产用作燃料的石油产品。减压馏分油和减压渣油除了生产部分重质燃料油外，还通过各种轻质化过程转化为各种轻质燃料。

图表 6：燃料型加工方案流程图（%）

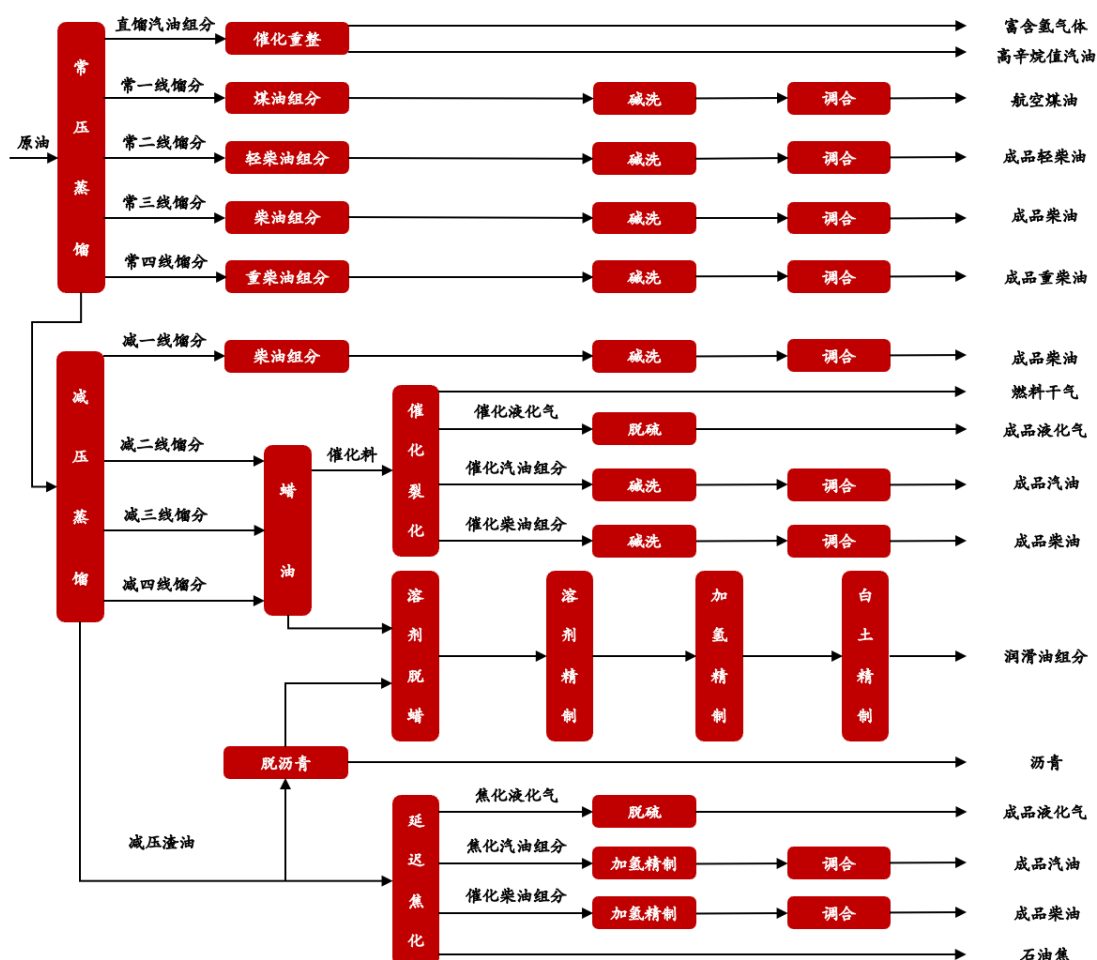


资料来源：光大期货研究所

### 2、燃料——润滑油型

除了生产用作燃料的石油产品外，部分或大部分减压馏分油和减压渣油还被用于生产各种润滑油产品。

图表 7：燃料——润滑型加工方案流程图

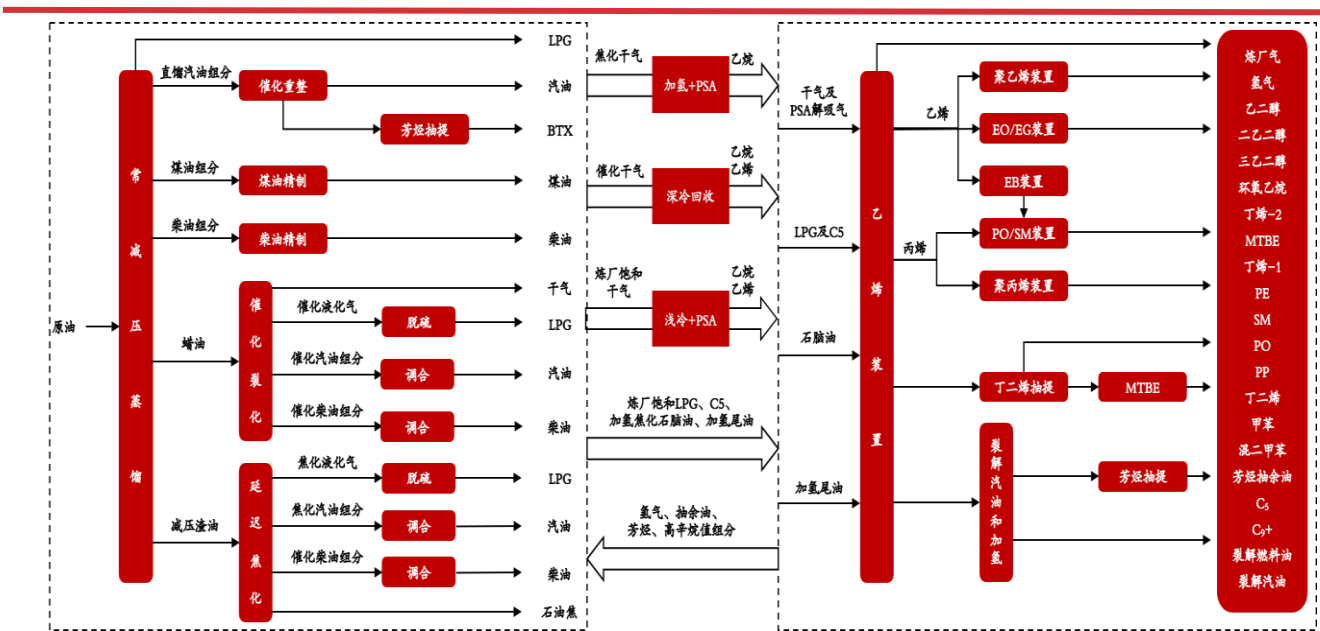


资料来源：光大期货研究所

### 3、燃料——化工型

除了生产燃料产品外，还生产化工原料及化工产品，例如某些烯烃、芳烃、聚合物的单体等。这种加工方案体现了充分合理利用石油资源的要求，也是提高炼厂经济效益的重要途径，是石油加工的发展方向。

图表 8：燃料——化工型加工方案流程图



资料来源：光大期货研究所



## 光期能化研究团队成员介绍

- **所长助理兼能化总监：钟美燕**

现任光大期货研究所所长助理兼能化总监，上海财经大学硕士，荣获 2019 年度、2021 年度、2022 年度上期能源“优秀分析师”，带领能源研究团队获得上期能源 2021 年、2022 年优秀产业服务团队奖，2022、2023 年度期货日报最佳工业品分析师。十余年期货衍生品市场研究经验，服务于多家上市公司及国内知名企业，为其量身定制风险管理方案及投资策略。曾获郑商所高级分析师，并长期担任《第一财经》、《期货日报》等媒体特约评论员。2020 年能化团队主讲的“原油衍生品精品系列直播‘油’刃有余”入选中期协 2020 年期货投资者教育优秀案例。

期货从业资格号：F3045334；期货交易咨询资格号：Z0002410。

- **原油/燃料油/天然气/沥青/航运分析师：杜冰沁**

现任光大期货研究所原油、天然气、燃料油、沥青和航运分析师，美国威斯康星大学麦迪逊分校应用经济学硕士学位，山东大学金融学学士；荣获 2022 年度上海期货交易所优秀能化分析师奖，2022、2023 年度期货日报最佳工业品分析师称号，所在团队获得上期能源 2021 年、2022 年优秀产业服务团队奖；扎根国内外能源行业研究，深入研究产业链上下游，关注行业热点事件，撰写多篇深度报告，获得客户高度认可。长期在《期货日报》、《第一财经》等国内主流财经媒体发表观点，并接受《央视财经》和《21 世纪经济报道》等媒体采访。

期货从业资格号：F3043760；期货交易咨询资格号：Z0015786。

- **橡胶/聚酯分析师：邱艺琳**

现任光大期货研究所橡胶、聚酯分析师，上海大学金融学硕士、金融学学士。主要从事天然橡胶、20 号胶、PTA、MEG 等期货品种的研究工作，擅长数据分析，逻辑能力较强。

期货从业资格号：F03107645。

- **甲醇/PE/PP/PVC 分析师：彭海波**

中国石油大学（华东）工学硕士，中级经济师，主要从事甲醇、PE、PP、PVC 的研究工作，多年能化期现贸易工作，通过 CFA 三级考试，具备将金融理论与产业操作相结合的经验。

期货从业资格号：F03125423。

## 联系我们

公司地址：中国（上海）自由贸易试验区杨高南路 729 号 6 楼、703 单元

公司电话：021-80212222                      传真：021-80212200

客服热线：400-700-7979                      邮编：200127

## 免责声明

本报告的信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性、可靠性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，并不构成任何具体产品、业务的推介以及相关品种的操作依据和建议，投资者据此作出的任何投资决策自负盈亏，与本公司和作者无关。