

船用燃料油的使用与管理

CHUANYONG RANLIAOYOU DE SHIYONG YU GUANLI

魏海军 尹 峰 王吉喆 编著



大连海事大学出版社

船用燃料油的使用与管理

魏海军 尹 峰 王吉喆 编著

大连海事大学出版社

© 魏海军, 等 2011

图书在版编目 (CIP) 数据

船用燃料油的使用与管理 / 魏海军, 尹峰, 王吉喆编著. — 大连: 大连海事大学出版社, 2011.11

ISBN 978-7-5632-2631-3

I. ①船… II. ①魏… ②尹… ③王… III. ①船用燃料油—基本知识
②船用燃料油 IV. ①TE626.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 215492 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌海路 1 号 邮编: 116026 电话: 0411-84728394 传真: 0411-84727996

<http://www.dmupress.com>

E-mail: cbs@dmupress.com

大连美跃彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2011 年 11 月第 1 版

2011 年 11 月第 1 次印刷

幅面尺寸: 180 mm × 230 mm

印张: 16.25

字数: 337 千

印数: 1~2000 册

责任编辑: 姜建军

版式设计: 晓江

封面设计: 王艳

责任校对: 杨冠尧

ISBN 978-7-5632-2631-3

定价: 39.00 元

前 言

随着造船技术的提高,船舶的自动化程度也日益提高,从而对船舶的可靠性提出更高的要求。此外,随着IMO立法增多,对船舶的技术条件也更为苛刻,那么,船舶燃料油的使用和管理就成为改善船舶技术条件较为重要的环节之一。

随着石油冶炼技术的发展,船舶燃料油质量呈现以下发展趋势:(1)硫的含量更高(低硫油除外);(2)钒、钠的含量增加;(3)黏度上升;(4)残炭值增加;(5)质量上差异很大;(6)废油/化学废物污染;(7)铝与硅颗粒物污染。

使用更为劣质的燃料油也是船舶柴油机的一个发展趋势,并由此带来以下问题:(1)燃油的稳定性与相容性差,如:油泥过多、过滤网堵塞、离心分油机负荷过重、油泥包裹住加热器,降低热传导、燃油与水的乳化、铝与硅颗粒物污染、雾化效果不理想等;(2)燃烧不完全,如:积炭、增加运动部件磨损、排气温度偏高、降低废气涡轮增压器的功能、增加废气锅炉积炭、降低热交换效率等;(3)高温腐蚀和低温腐蚀。

至今,业界还未见正式出版的,较系统的有关船用燃料油使用与管理方面的书籍。作者在多年的理论和实践研究的基础上,撰写了此书,希望能给广大船员和机务管理人员提供一些帮助和指导。

编写本书的目的在于:使船舶轮机管理人员和机务管理人员重视船舶燃料油的使用与管理,并用它来分析和解决机械设备的故障。

本书在撰写过程中,得到了张世昌、田文国、张存有、徐新源、李国宾、王国有、顾耀国、袁士春、杨宏志、唐振研、王宏立、胡庆存、刘永安、齐运永等同志的帮助,在此表示感谢。

由于编著者水平有限,书中必然存在一些疏漏与错误,恳请读者批评指正。

编著者

2011年9月于大连

目 录

第一章 燃料油的基本知识.....	1
第一节 石油的一般性质.....	1
第二节 燃油的理化性能指标及相关术语.....	14
第三节 重质燃料油市场概况.....	40
第二章 燃料油的生产工艺及调和.....	51
第一节 燃料油的生产工艺.....	51
第二节 燃料油的调和.....	60
第三节 燃料油的储存与装卸.....	73
第三章 燃料油的规范标准及分类.....	77
第一节 概述.....	77
第二节 国际船用燃料油标准的发展历程.....	80
第三节 我国石油产品的分类及标准.....	90
第四章 燃料油燃烧过程及其影响因素.....	97
第一节 燃烧过程.....	97
第二节 燃油燃烧对柴油机的影响.....	102
第五章 船舶燃油的使用及管理.....	114
第一节 轻柴油和重柴油选用原则、质量规格及验收.....	114
第二节 船用燃料油选用原则、质量规格及验收.....	122
第三节 船用重油的使用管理.....	129
第六章 船用燃油添加剂.....	145
第一节 燃油与燃油处理添加剂概述.....	145
第二节 燃油处理添加剂的使用与管理.....	150
第三节 燃油稳定性检测方法.....	167
第四节 世界知名燃油添加剂公司及产品简介.....	170

第七章 燃油与柴油机故障案例.....	184
第一节 燃油与柴油机故障的关系.....	184
第二节 船舶中速柴油机燃用重油时滑油防污染问题探讨.....	189
第三节 船用发电柴油机燃用劣质燃油的管理.....	193
第四节 Sulzer RTA 系列船用主机燃用高黏度燃油探讨.....	196
第五节 船舶加装燃油溢油原因分析及预防措施.....	198
第六节 燃油使用管理的建议.....	201
第八章 船舶燃用低硫油的管理与对策.....	203
第一节 船舶燃用低硫的相关法律及引发的问题.....	203
第二节 船舶使用低硫油的要求.....	207
第三节 船舶的应对及管理措施.....	213
附录 1 船舶供受燃油管理规程.....	223
附录 2 新加坡海事和港口当局对港口限制加油船的标准.....	228
附录 3.....	241
一、原油重量与体积平均换算系数表.....	241
二、石油产品吨数与桶数换算系数表.....	241
三、主要能源热量换算系数表.....	242
四、石油产品加仑与公斤换算系数表.....	242
五、原油API度与比重换算表.....	243
附录 4 石油工业常用单位换算表.....	244
附录 5 石油体积与重量单位的换算方法.....	248
附录 6 各种燃料热值.....	251
参考文献.....	253





第一章 燃料油的基本知识

第一节 石油的一般性质

一、石油的来源

根据被广泛承认的石油成因假说,人们认为石油是由古代的浅海、湖泊沼泽等地的动植物和海藻等有机物,沉积在海底,并经过长期变化而形成的。堆积的动植物遗体由于地层的变动或自然沉积埋在闭塞的海湾或湖泊沼泽下的泥中,几百万年到几千万年来长期隔绝空气或空气极少,在水底泥岩深到数百至数千米之下,受到自然温度 100°C 以上和压力 300 个大气压以上,经过地壳中自然催化作用,以及发生发酵、还原等作用,最后形成天然的石油。

这种有机成因说被石油中发现叶绿素衍生物,以及发现 3 000 多种靠吃石油进行繁殖的细菌而得到证实。

我国另一石油原料,油母页岩的成因,也是动植物,主要是动物和水生植物,受地层变动或自然沉积而埋在碱性的内湖或海滨的水下泥泞之中,受到地热及地压,以及一些无机物和有机物的催化作用,进行分解和转化,在尚未形成石油之前,由于地层变动在陆地上与泥岩一起在地压作用下形成了油母页岩。油母页岩含碱性物和氮化物,大部分为含镁泥灰岩,并发现有鱼化石。

石油的形成演变历程及组分如表 1-1 所示。石油的分子量随地球年代的增加而降低,轻质馏分增加,含氢比例增大,石蜡烃含量增加,环烷烃的含量减少,最终形成低级烷烃,甚至变成甲烷和乙烷,即成为天然的石油气。

表1-1 石油演变历程及组分状况

动植物油脂(蛋白质)	沥青基石油	环烷基石油	混合基石油	石蜡基石油
密度/ (g/cm^3)	0.95	0.92	0.90	0.87
轻质油部分	少	稍多	较多	多
汽油辛烷值	60~70	60~70	50~60	30~50
柴油十六烷值	20~30	30~40	35~55	45~65
黏度指数	0	0~2	50~70	80~100
蜡组分	无	无	有	多
沥青组分	多	少	更少	极少

二、原油及化学构成

(一) 石油的成分

根据一些原油的分析证明,一般石油的元素组成大体为: C%—84%~87%、H%—12%~14%、C:H%—6.1%~7.2%、S%—0.1%~5.5%、N%—0.01%~2.2%、O%—0.2%~1.4%。除此之外,石油中还含有微量的氯、碘、砷、磷、钾、钠、铁、镍等元素,以化合物形式存在。

开采出来的未经加工的石油称作原油,一般为深色黏稠性液体,由于产地不同,它们的组成及性质有很大差异。

石油中主要成分是碳和氢,二者合计占 96%~99%,存在形式是二者组成的碳氢化合物,称之为烃类,分子量从十几到几千,因而在很大程度上决定了石油的性质,是石油加工和利用的主要对象。石油产品经燃烧产生能量、制作润滑油、制作化工产品等都主要利用的是各类型烃类及其衍生物。

石油中含有的硫、氮、氧等元素,含量占 1%~3%,它们与碳、氢形成的硫化物、氮化物、氧化物和胶质、沥青质等非烃化合物,其含量常达 10%~20%,它们的含量虽然不大,但对石油产品的性质却有很大的影响。这些非烃类化合物大都对原油加工和产品质量带来不利影响,炼制中应尽量除去。

石油中含有的各类其他微量元素,也是以化合物形式存在,虽对石油产品影响不大,但砷会使铂重整催化剂中毒,铁、镍、钒会使催化裂化的催化剂中毒,所以在加工时,对原料要有所选择或予以处理。

(二) 石油的结构、性质

石油中的烃类按其结构不同,大体上可分为烷烃、环烷烃、芳香烃和不饱和烃四大类。不同烃类对各种石油产品性质的影响各不相同。

石油组分的四大烃类的分子式如下:

(1) 烷烃— C_nH_{2n+2} ; (2) 环烷烃— C_nH_{2n} 、 C_nH_{2n-2} 、 C_nH_{2n-4} 、 C_nH_{2n-x} ; (3) 芳香烃— C_nH_{2n-6} 、 C_nH_{2n-12} ; (4) 不饱和烃如单烯烃— C_nH_{2n} 、二烯烃— C_nH_{2n-2} 、炔烃— C_nH_{2n-2} 。

因此,石油又可以分为烷基石油、环烷基石油和芳基石油。

烷基石油,又称石蜡基石油,含烷烃 50%以上,它的特点是凝固点高,生产出来的汽油辛烷值低,但滑油的黏温特性好,润滑性能也好,主要产于我国的大庆。

环烷基石油,含环烷烃 50%以上,它的特点是凝固点低,生产出来的航空煤油、电器用油及冷冻机油质量好,但润滑油的黏温特性差,主要产于我国的新疆。

芳基石油,含芳香烃 50%以上,凝固点低,生产的汽油辛烷值高,油品安定性好,这类石油在



我国还未发现。

(三) 烷烃的性质及作用

烷烃又名石蜡烃，属饱和碳氢化合物，其氧化性及化学性质都较稳定，一般在常温下不致与空气中的氧发生作用。在常温常压状态下，其 CH_4 到 C_4H_{10} 范围内的化合物均为气体，从 C_5H_{10} 到 $\text{C}_{17}\text{H}_{36}$ 的化合物均为液体， $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ 以上的化合物则为固体，其液态部分的沸点在 $28\sim 300^\circ\text{C}$ 。

烷烃中的每个碳原子均独立链合 4 个氢原子，为碳原子所能链合氢原子的最大数目。烷烃的分子结构有两种形式，一为直链式，也叫正构，另一种为支链式，叫异构，这两种分子结构不同的烷烃在化学性能上有很大的差别。在碳原子和馏程相同的条件下，正构烷烃的自燃点比芳香烃和环烷烃都低，在高温、有氧条件下，容易生成过氧化物，因而其辛烷值低，十六烷值高并由于其表面张力较小，所以含正构烷烃成分多的柴油，对喷射和燃烧均较有利。异构烷烃则抗氧化性能较强，其自燃点较高，因而辛烷值也较高，为优良汽油的主要组分。

烷烃的性质及作用是：

- (1) 常温下，化学安定性好，但不如芳香烃；
- (2) 密度小，黏温性能好；
- (3) 正构烷烃的自燃点低，异构烷烃自燃点高；
- (4) 高分子正构烷烃是蜡的主要成分。

烷烃在常温下化学安定性比好，但是不如芳香烃。在一定的高温条件下，烷烃容易分解并生成醇、醛、酮、醚、羧酸等一系列氧化产物。

烷烃的密度最小，黏温性能最好，是燃料和润滑油的良好成分。煤油中含烷烃较多时，点灯时火焰稳定；润滑油含烷烃较多时，黏温性能良好。

烷烃分为正构烷烃和异构烷烃两类。正构烷烃的自燃点最低，在柴油机中其燃烧迟缓期短，因此柴油含正构烷烃多，则燃烧性能好，柴油机工作平稳。

高分子正构烷烃是蜡的主要成分，故在柴油和润滑油中含量不宜过多，以免低温流动性不好。

异构烷烃特别是高度分支的异构烷烃的自燃点高，辛烷值高，在汽油中抗爆性强，是高辛烷值汽油的理想组分，但不是柴油的理想组分。

目前，工业上评定柴油、轻柴油的燃烧性能时，以正十六烷作为标准，将它的十六烷值定为 100。评定汽油时，则以异辛烷为标准，将它的辛烷值定为 100。

烷烃的熔点随其结构中碳链正链增长而增高，随支链的增多而降低。正烷烃的熔点较高，因而含正烷烃组分较多的石蜡基油所生产的成品油中，其凝点也较高，为此，石蜡基油被认为是润滑油的良好基础油。



（四）环烷烃的性质及作用

环烷烃又称环状石蜡族。环烷烃的碳原子是以闭合的环状链相结合，为饱和碳氢化合物，其化学性能非常稳定，在某些条件下，其化学性能较烷烃更为稳定。环烷烃为石油的主要成分之一，一般在石油中的组分含量仅次于烷烃而居第二位。它与烷烃相似，在高温下才能与氧化合而生成碳原子相同的二元酸。

环烷烃的性质及作用是：

- （1）常温下，化学安定性良好，与烷烃相当，但不如芳香烃；
- （2）密度大，自燃点较高；
- （3）单环环烷烃黏温性能好，多环环烷烃黏温性能差；
- （4）辛烷值居中；
- （5）凝点低、润滑性好。

环烷烃在常温下化学安定性与烷烃近似，但不如芳香烃，其密度较大，自燃点较高；辛烷值居中，它的燃烧性较好、凝点低、润滑性好，也是汽油、煤油和润滑油的良好组分。

环烷烃有单环环烷烃和多环环烷烃两类，润滑油含单环环烷烃多则黏温性能好，含多环环烷烃多则黏温性能差。

（五）芳香烃的性质及作用

芳香烃是由6个碳原子结合成一个环状结构，其中每个碳原子结合一个氢原子，碳原子相互之间为单链与双链交替结合。

芳香烃的基本成分为苯，通常被称为苯核，因此，苯类化合物都是苯的衍生物。芳香族烃其化学性能属中等活泼，比较稳定，在一般情况下不起氧化反应，并具有较高的热稳定性。

芳香烃的密度较烷烃、环烷烃大，同质量的发热值较烷烃、环烷烃低。芳香烃的密度、黏度、表面张力和汽化潜热都比其他烃类大，因而油品的黏度、密度、蒸发量等特性都受其含有芳香烃比例的大小的影响，对柴油机的喷油量、雾化程度等也会产生影响。

芳香烃的性质及作用是：

- （1）常温下，化学安定性良好；
- （2）密度最大，自燃点最高；
- （3）辛烷值最高；
- （4）毒性较大，对有机物的溶解力强。

芳香烃在常温下化学安定性良好、密度最大，自燃点最高，辛烷值最高，是汽油的良好组分，对柴油则是不良成分。煤油中需有10%~20%的芳香烃才能保证照明亮度，但含量大，点灯时易



冒黑烟。含芳香烃组分较高的石油，因其燃烧后积炭的倾向性较大，燃烧游离碳的辐射热较高，不宜作为柴油机燃油。

芳香烃对有机物的溶解力强，毒性也较大。橡胶溶剂油和油漆溶剂油中，需有适量芳香烃以保证有良好的溶解能力，但因其毒性较大，故含量要适当的控制，润滑油中含有多环芳香烃使其黏温性能显著变坏，应尽量除去。

（六）不饱和烃的性质及作用

不饱和烃主要是在二次加工过程中产生的。热裂化产品中含有较多不饱和烃，其化学安定性极差，易氧化生成胶质，但辛烷值较高，凝点较低。有时将热裂化馏分掺入汽油以提高其辛烷值，掺入柴油以降低其凝点。但因安定性差，不易长期储存，有时要加入稳定剂。

不饱和烃的性质及作用是：

- （1）常温下，化学安定性最差，易氧化结胶；
- （2）辛烷值较高；
- （3）凝点较低。

不饱和烃主要是烯烃，烯烃比烷烃所含的氢原子要少一些，是由于其部分碳原子与碳原子之间以双键相结合的缘故。烯烃为非饱和碳氢化合物，与烷烃相比，具有一些特定的化学性质，如只要打破其中一个双键，便可与其他元素，如硫、氯等相互发生加成反应，生成相应的衍生物。特别是双烯烃，以及多烯烃，其化学性质更为活泼，在常温下也易与氧化物生成胶状物。

一般正构烯烃的熔点比同碳原子数的正烷烃的熔点低 $16\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，密度较相应的烷烃稍大，辛烷值也稍高。烯烃与烷烃相比，自燃点高，难于自燃，在燃烧中也易于形成积炭，对柴油机，特别是高速柴油机的燃烧不利。

一般天然石油中，几乎不含有烯烃，即使有，其含量也很微小。但通过石油加工、分解、裂化而产生烯烃，可占到成品油总组分的 $20\%\sim 30\%$ ，特别是采用二次精炼工艺后，在高温裂化过程中，会较大量地分解生成烯烃。表 1-2 为各种烃类对石油产品性质的影响。

（七）其他化合物成分的影响

除四大烃类组分，对成品油构成影响的还有氧化物、硫化物、氮化物。

1. 氧化物的影响

这类化合物为环烷酸、胶质和沥青质。氧化物主要有胶质、沥青质和环烷酸等。其中 95% 以上分布在胶质和沥青质中，汽油中没有含氧化合物，随着馏分加重含量逐渐增加，但到轻一中润滑油中又下降。



表1-2 各种烃类对石油产品性质的影响

烃类		密度	自燃点	辛烷值	十六烷值	化学安定性	黏度	黏温性能	低温性能
烷烃	正构	小	低	低	高	好	小	最好	差(高分子)
	异构		高	高	低	差(分支多)			好
环烷烃	少环	中	中	中	中	好	大	好	好
	多环					差(多侧链)		差	
芳香烃	少环	大	高	高	低	好	大	好	中
	多环					差		差	
不饱和烃	烯烃	稍大烷烃	高	高	低	差			好
	二烯烃	小于烷烃				最差			

(1) 胶质在一般石油中含量为 4%~20%，高胶质石油含量可达 50%。胶质的分子量很大，一般是几百甚至到一千，C:H:S:O 约为 83:9:2:6。胶质在石油提炼后大部分留在重质油中，易溶于苯，在 260℃左右就有一部分转化为沥青，长期受氧化或缩合作用，将转变为沥青状物质。

一般石油类烃，特别是环烷烃可能经氧化反应按环烷烃→氧化、叠和→胶质→氧化、叠和沥青的顺序变化。

胶质本身通常含碳为 80%~85%，氢为 9%~10%，以及氧分子和其他元素，如硫、钠等。石油经炼制加工，特别是经裂化后，烃分子脱氢成为非饱和的分子结构，易于被分解和发生叠合作用，相互聚合而生成聚合物，如环烷烃，特别是环烯烃在加热的情况下易发生氧化，氧化物相叠合即生成石油胶，胶质再继续氧化则成为沥青。

(2) 沥青质比胶质分子大，分子量可大到几千，是多环含氧、含硫的高度芳香烃化的化合物，分子结构目前不明确，性质类似胶质，由胶质生成，密度大于 1 g/cm³，不溶于酒精和汽油，易溶于苯。沥青质含碳多，C:H:S:O 约为 86:6:1:7。沥青质受热达 400℃时会发生分解，生成低分子烃类和一些焦炭(碳青质)。

沥青的密度大于 1.00 g/cm³，不溶于酒精、汽油，但易溶于苯、氯仿、二硫化碳而成为胶质溶液。沥青主要残留在渣油中，通常含芳香烃较少的柴油或轻柴油，仅溶有极少量的沥青。沥青本身含碳为 85%~87%，含氢在 1%~7.5%。通常石油中含沥青量不大，仅在百分之零点几至百分之几。

(3) 环烷酸主要存在于环烷基原油中，结构主要以五碳和六碳环为本体。环烷酸在石油中一般含量也很少，为百分之零点几至百分之几，但在环烷酸原油中则较多，它能溶于碱液而生成环



烷酸钠。在成品油中，环烷酸通常存在于煤油、轻柴油中，对铅、锌等有色金属的腐蚀作用很大，因而必须完全除掉。此外环烷酸对炼油设备有腐蚀，一般用碱洗法除去。

大多数氧化物对生产和使用都极为不利。胶质、沥青质存在于燃料和润滑油中会生成硬质的沉积胶膜和大量的积炭，从而加剧机械磨损，降低机械效率。

2. 硫化物的影响

硫化物主要有有机硫化物、极少量元素硫和硫化氢存在，有机硫化物主要为硫醇（RSH）、硫醚（RSR）、二硫化物（RSSR）、多硫化物（RSNR）、环状硫化物、噻吩及其衍生物等。硫化物的危害是在高温下分解为 H_2S 、 SO_2 ，腐蚀机件。排放出的 H_2S 、 SO_2 会污染大气。

它也存在于重质油品中较多，随馏分加重而含量增加，有酸性、中性及热稳定性化合物。它的危害是对炼油设备有腐蚀，产生恶臭及使催化剂中毒。柴油中的硫化物燃烧后产生硫酸，腐蚀柴油机部件，使油变质加快。但润滑油中适量的硫化物也提高其抗磨损能力。由于硫化物对炼油厂设备腐蚀大，因此，原油中含硫量是原油品质的重要指标之一。世界原油含硫量情况如表 1-3 所示。

表1-3 世界原油含硫量（%）

产地 \ 含硫量/%	<0.5	0.5~1.0	1~2	>2
美国	65.9	13.1	13.0	8.1
加拿大	40.9	33.7	12.7	12.7
南美	8.9	3.5	15.2	78.4
非洲	63.7	14.4	21.6	0.3
中东	/	/	44.8	55.2

我国大多原油的含硫量均在 0.5% 以下，山东原油的含硫量稍高。

石油价格的迅速上涨，使轻质成品油与重质燃料油（渣油）之间的价格差越来越大。更由于市场上对轻质成品油的需求量大，在需求数量上与燃料油相比为 3:1 左右，因此各大石油公司及炼油厂均把生产重点放在轻质油方面。近年来在炼制工艺上采取二次精炼，以炼取更多的轻质成品油，使渣油的分量减少，以及使渣油中所含有的有害成分增加，降低了燃油质量。同时，因通过催化裂化等强制裂化流程后，燃油中的芳香族成分、沥青及胶质都明显增加，燃油的燃烧性能的不利影响加大。

3. 氮化物的影响

氮化物一般只有万分之几，在煤焦油和页岩油中较多些。氮化物大都属于碱性有机氮化物，有链状和环状结构，如甲基胺 CH_3NH_2 、吡啶等，氮化物在石油储运中，极易受光、受热、叠合或氧化成胶质，使石油产品变红。燃烧时，生成 NO_2 ，污染大气，形成机械腐蚀，但一般由于来

源极少，可以不必考虑。

这类化合物的含量也随馏分的加重而增加，主要存在于胶质及沥青质中，它的主要危害是使催化剂中毒，使油品的颜色变深，也使氧化安定性变差，易生成胶质及沉淀物。

三、原油的分类

原油的分类方法有（1）根据含硫量分类；（2）根据特性因数 K 值分类；（3）根据关键馏分分类三种。

（一）根据含硫量分类

由于硫含量对于原油的炼制、石油产品的使用意义重大，因此以硫含量多少对进行石油分类非常重要。硫含量小于 0.5% 为低硫原油，硫含量介于 0.5%~1.5% 的为中硫原油，硫含量大于 1.5% 为高硫原油。

（二）根据特性因数 K 值分类

特性因数 K 值的计算公式如式（1-1）所示：

$$K = 1.216 \times T^3 / d^{15.6} \quad (1-1)$$

式中： T 取平均沸点； $d^{15.6}$ 为相对密度。

K 值大小为烷烃 > 环烷烃 > 芳香烃。轻油部分： $K > 11.9$ 为石蜡基（烷基），11.5~11.9 为中间基，10.5~11.5 环烷基（沥青基）。重油部分： $K > 12.2$ 为石蜡基（烷基），其余判断同轻油。

由于该方法数据不容易求准，因此应用较少。

（三）根据关键馏分分类

油品的密度与其化学组成有着密切的关系，因此，选择原油中有代表性的关键馏分，测定密度就可以确定原油的基本组成情况。

主要分类方法如下：首先测取原油的第一关键馏分（常压，250~270℃），第二关键馏分（减压 40 mmHg，275~300℃）（常压下 395~425℃），然后分别测定其密度，分别用表 1-4 和表 1-5 的指标判定。

表1-4 关键馏分分类的指标

	石蜡基	中间基	环烷基
第一关键馏分	$\rho_{20} < 0.8207$ API > 40	$0.8207 < \rho_{20} < 0.8560$ $33 < \text{API} < 40$	$0.8560 < \rho_{20}$ API < 33
第二关键馏分	$\rho_{20} < 0.8721$ API > 30	$0.8721 < \rho_{20} < 0.9302$ $20 < \text{API} < 30$	$0.9302 < \rho_{20}$ API < 20



表1-5 关键馏分特性分类

第一关键馏分分类别	第二关键馏分分类别	原油类别
石蜡基, P	石蜡基, P	石蜡基, P
石蜡基, P	中间基, I	石蜡—中间基, P—I
中间基, I	石蜡基, I	中间—石蜡基, I—P
中间基, I	中间基, I	中间基, I
中间基, I	环烷基, N	中间—环烷基, I—N
环烷基, N	中间基, I	环烷—中间基, N—I
环烷基, N	环烷基, N	环烷基, N

四、原油的冶炼对燃油质量的影响

我国石油加工主要工艺主要包括：常减压蒸馏、热裂化、催化裂化、加氢裂化、加氢精制、催化重整、丙烷脱沥青、延迟焦化、减黏工艺，此外，还有一些配套工艺，如叠合、烷基化、尿素脱蜡、糠醛精制工艺等。

（一）常减压蒸馏

常减压蒸馏原理是加热和分馏，利用各组分沸点的不同，分馏各组分馏油品。

常压直馏产品一般不含不饱和烃，易于长期储存。汽、柴油组分一般性质不理想，用作二次加工原料或调和。常压渣油可作润滑油原料，减压蒸馏后效果更好。

现代炼油厂加工原油时，首先要对原油进行常压和减压蒸馏分馏，在分馏塔内进行，原油经过分馏后，组成原油的各种组分根据沸点的不同被切割成沸点接近的馏分段，如塔顶分出沸点较低的汽油组分（95℃以下）；塔底分出沸点较高的组分（370℃以上）；两者中间，根据需要可以开出不同的侧线，分出介于二者的各种馏分作为产品或原料，如典型的常减压蒸馏：

初馏塔顶——汽油馏分或重整原料，-95℃或130℃；

常压塔顶——汽油馏分或重整原料，95~200℃或95~130℃；

常压一线——灯煤油或喷气燃料，200~250℃或130~250℃；

常压二线——轻柴油组分，250~300℃；

常压三线——重柴油或轻柴油组分，300~350℃；

常压四线——变压器油原料或裂化原料，350~370℃；

减压一线——裂化原料或农用柴油组分，370~400℃；

减压二线——润滑油原料或裂化原料，400~450℃；

减压三线——润滑油原料或裂化原料，450~500℃；

减压四线——润滑油原料或裂化原料，500~535℃；



减压塔底——渣油，535℃以上。

遗憾的是常减压的汽、煤、柴油收率仅占原油的40%左右。

（二）热裂化

热裂化原理是利用高温和压力作用使重质油的大分子裂解为汽油一类的小分子烃。其产品特点为汽、柴油的产率高，但安定性不好。

1890年，世界上出现了第一套热裂化装置，利用400℃（甚至500~600℃）以上的高温使大分子的烷烃C-C、C-H发生断裂生成低分子烷烃加烯烃；环烷烃侧链断裂生成低侧链环烷烃及烷烃，更高温（575℃以上）环断裂生成烷烃，或脱氢生成双键环状烃；芳香烃侧链断裂生成低侧链芳香烃及烷烃，更高温脱氢生成双苯环、多苯环甚至生成大分子稠环，芳香烃进一步生成沥青质、炭青质、石油焦，含氢量下降，碳氢比升高。

热裂化使用原料一般为常压重油，减压馏分，焦化蜡油。热裂化可使汽、煤、柴油的产率达80%，同时也带来了不饱和烃超过30%的不良结果。

与热裂化类似的生产工艺，有焦化和减黏裂化。焦化使用更重质的原料，加热温度更高（500℃以上），时间更长，进行深度裂化，其反应类似热裂化，但分解和缩合反应更深。可使渣油转变为轻质油和焦炭。减黏裂化是以重质油为原料，在470~500℃条件下轻度裂化过程，分解和缩合反应较浅，主要反应是烷烃裂解及带长链环烷、芳香烃的侧链断裂，通过减黏裂化可降低燃料油的黏度和凝点，得到轻质组分较少。

（三）催化裂化

催化裂化是将价值低的重质馏分油，利用高温和催化剂（合成硅酸铝）作用转化为高价值轻质油品和化工产品原料。主要发生三种化学反应：脂肪烃反应、环烷烃反应和芳香烃反应。

经催化裂化得到的产品辛烷值提高，轻质油收率提高，渣油部分可能混入催化剂微粒。

催化裂化（450~500℃）使用原料一般为减压馏分，焦化柴油、蜡油，也有用脱沥青的常压重油。

催化裂化的化学反应与热裂化类似，但由于催化剂的作用，其断链烷烃多为碳三和碳四，少有碳一和碳二。芳香烃环烷烃断链从环上断开，并伴有异构化反应。单环的环烷烃脱氢成芳香烃，脱出的氢又与裂化产生的烯烃加成生成饱和烃，所以其组分辛烷值高。催化产品在产率和质量上优于热裂化产品，是我国正在普及的工艺。

（四）加氢裂化

加氢裂化原理是在有催化剂和氢气存在的条件下，使重质油受热后通过裂化反应转化为轻质油的加工工艺。其产品特点主要是产品不饱和烃少，安定性好，凝点、冰点低，十六烷值高。



加氢裂化是 20 世纪 60 年代发展起来的新工艺,使用原料很广,可以是直馏馏分、减压馏分、焦化馏分、蜡油、脱沥青油、重油、渣油等。

加氢裂化的添加剂以铂、钨、钼、镍、钴等金属分散在分子筛担体上组成,由于高压加氢,使不饱和烃饱和,环烷烃不发生脱氢,多环芳香烃加氢并裂化,非烃化合物转变为气体被其他辅助工艺吸收。产品富含异构烷烃和环烷烃,柴油的硫含量低,凝点低,十六烷值高,是理想的工艺。

我国目前 60% 以上的炼厂必须上此工艺方可生产 2000 版标准的柴油。

此外,还有加氢精制、催化重整和丙烷脱沥青等工艺。加氢精制是在高温高压下向被精制油中通入氢气,除去不饱和烃。催化重整是对所取馏分,在催化剂存在下,使汽油的烃类分子结构进行重新排列,可得到高辛烷值汽油,有铂、铼和多金属重整。丙烷脱沥青是利用丙烷在一定温度下对于减压渣油中润滑油组分和蜡油组分有相当大的溶解力,将不溶的组分沉降。还有许多辅助工艺在此不一一列举。

原油的冶炼工艺的发展由馏制流程过渡到二次精炼流程。随着原油冶炼工艺的发展,对燃油质量带来了很大影响。现以 100 t, 50℃ 时黏度为 400 mm²/s, 含硫量为 3.1%, 原产于阿拉伯的原油为例,说明不同的冶炼工艺过程对燃油质量的影响。

(1) 常压蒸馏: 100 t 原油泵送至加热器加温 360~380℃ 后,送至常压塔分离出液化气 3 t、汽油 16 t、煤油 11 t、柴油 28 t,共产轻质成品油 58 t, 剩余渣油 42 t (理想状态)。

(2) 减压蒸馏: 将 42 t 常压渣油在减压、加热的情况下送至减压塔分离出馏出油 23.4 t, 塔底剩余 18.6 t 减压渣油,调入 6.8 t 粗柴油,产出 25.4 t、380 cSt 燃料油。

(3) 催化裂化: 将减压蒸馏的馏出油 23.4 t 送至催化裂化装置,产出轻汽油 5.1 t、重汽油 6.9 t、柴油 3.7 t、液化气 5.1 t、焦炭 1.2 t,渣油 1.4 t 列入调和。

(4) 减黏裂化: 将减压蒸馏塔底剩余 18.6 t 减压渣油,送至减黏裂化工艺,产生液化气 1.2 t、汽油 2.1 t, 15.3 t 渣油黏度由 30 000 mm²/s 减至 700 mm²/s。

如合并催化裂化渣油 1.4 t 及 0.9 t 柴油,可得 17.6 t、380 mm²/s 渣油。

采用二次精炼工艺后,对燃油质量上所产生的主要变化有:

- (1) 密度超过 0.991 g/cm³ 的一般限制,达到或超过 1.00 g/cm³;
- (2) 沥青含量由一般的 4%~5% 上升到 8%~12%;
- (3) 康氏残炭由 10%~12% 增加到 18%~22%;
- (4) 硫含量上升至 5%,个别燃油甚至超过 5%;
- (5) 钒钠含量得到 400 ppm~600 ppm;
- (6) 通过催化裂化工艺后,增加了催化剂微粒,铝硅混合物可达 100 ppm 以上。