

中国人民解放军总后勤部精品教材

中国石油和化学工业联合会优秀出版物（教材类）一等奖

重庆市“十二五”普通高等教育本科规划教材

油品应用及管理

（第三版）

熊 云 许世海 刘 晓 范林君 秦 敏 编著

中国石化出版社

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

★中国人民解放军总后勤部精品教材

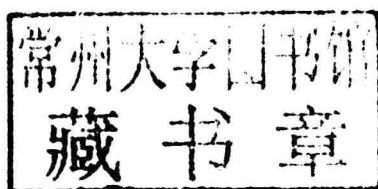
★中国石油和化学工业联合会优秀出版物(教材奖)一等奖

★重庆市“十二五”普通高等教育本科规划教材

油品应用及管理

(第三版)

熊 云 许世海 刘 晓 范林君 秦 敏 编著



中国石化出版社

内 容 提 要

本书主要介绍了油品科技工作者必须了解的有关液体燃料、润滑油和润滑脂的性质、组成、影响其质量的主要因素、质量标准及油品的合理选用。对油品的质量管理工作和石油的化学组成及炼制也作了相应介绍。内容包括：石油的化学组成、原油的分类及国产原油的性质、石油的炼制方法、燃料及润滑油添加剂、液体燃料的使用要求和规格、润滑油的性质、润滑油的使用要求和产品规范、润滑脂、特种液及油品质量管理等。

本书可供从事油品科研、应用、储运、销售和管理等工作的技术人员使用，亦可作为石油储运、油品应用、油品管理专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

油品应用及管理/熊云等编著. —3版. —北京:
中国石化出版社, 2015. 3
ISBN 978-7-5114-3235-3

I. ①油… II. ①熊… III. ①石油产品-基本知识
IV. ①TE626

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 044066 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

北京富泰印刷有限责任公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 23.25 印张 589 千字

2015 年 4 月第 3 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

定价: 58.00 元

前 言

本书主要介绍了油品科技工作者必须了解的有关液体燃料、润滑油和润滑脂的性质、组成、影响其质量的主要因素、质量标准及油品的合理选用。对油品的质量管理工作和石油的化学组成及炼制也作了相应介绍。内容包括：石油的化学组成、原油的分类及国产原油的性质、石油的炼制方法、燃料及润滑油添加剂、液体燃料的使用要求和规格、润滑油的性质、润滑油的使用要求和产品规范、润滑脂、特种液及油品质量管理等。

本书由中国人民解放军后勤工程学院熊云、许世海、刘晓、范林君、秦敏编著，全书由熊云主编。本书自 2004 年出版以来，受到各石油高等院校和石油科技工作者的一致好评，是中国人民解放军总后勤部精品教材，2008 年出版第二版，2011 年获中国石油和化学工业联合会优秀出版物(教材奖)一等奖，2012 年列为重庆市“十二五”普通高等教育本科规划教材。近年来我国油品升级更新较快，有必要对本书的相关内容进行修订。为此，对本书收录的全部油品规范进行了整理和更新，收录了截止 2014 年 7 月开始执行的最新油品规范，对部分内容进行了增加和更新。本书可供从事油品科研、应用、储运、销售和管理等工作的技术人员使用，亦可作为石油储运、油品应用、油品管理专业的教材。

编 者

目 录

第一章 石油的化学组成	(1)
第一节 石油的化学组成	(1)
第二节 石油中的非烃类化合物	(4)
第二章 原油的分类及性质	(8)
第一节 原油的分类方法	(8)
第二节 国产原油的性质	(10)
第三节 国外原油的性质	(12)
第三章 石油的炼制方法	(16)
第一节 液体燃料的生产	(16)
第二节 润滑油的生产	(22)
第四章 燃料及润滑油添加剂	(26)
第一节 石油添加剂分类标准	(26)
第二节 燃料添加剂	(36)
第三节 润滑油脂添加剂	(42)
第五章 液体燃料的性质及应用	(53)
第一节 液体燃料分类	(53)
第二节 汽油	(54)
第三节 柴油	(76)
第四节 喷气燃料	(99)
第五节 煤油	(115)
第六节 溶剂油	(118)
第七节 燃料油	(123)
第八节 替代燃料的性质及应用	(130)
第六章 润滑油的性质及应用	(149)
第一节 润滑油分类	(149)
第二节 润滑油组成	(150)
第三节 摩擦、磨损与润滑	(155)
第四节 润滑油的理化性能指标	(161)
第五节 内燃机油	(170)
第六节 齿轮油	(192)
第七节 液压油	(209)
第八节 汽轮机油	(235)
第九节 压缩机油	(246)
第十节 冷冻机油	(261)

第十一节 电器绝缘油	(273)
第十二节 全损耗系统用油	(282)
第七章 润滑脂的性质及应用	(286)
第一节 润滑脂的分类	(286)
第二节 润滑脂的组成	(288)
第三节 润滑脂的特点	(298)
第四节 润滑脂的性质	(299)
第五节 常用润滑脂品种	(308)
第六节 润滑脂的使用	(323)
第八章 特种液	(327)
第一节 制动液	(327)
第二节 冷却液	(333)
第三节 减震器油	(339)
第九章 油品在储存中的质量管理	(341)
第一节 液体燃料在储存中的质量管理	(341)
第二节 润滑油在储存中的质量管理	(356)
第三节 润滑脂在储存中的质量管理	(360)
第四节 特种液在储存中的质量管理	(362)
第五节 油品储存年限	(362)
第六节 油品在储存中的定期化验	(364)
参考文献	(366)

第一章 石油的化学组成

石油是从很深的地层内开采出来的一种可燃的流动或半流动的黏稠液体；未加工以前叫原油。无论在性质上或化学组成上，石油都和常见的动物油或植物油不同，依据来源的不同，它又称为矿物油。

天然石油的颜色，绝大多数是黑色，但也有暗黑、暗绿、暗褐色的，更有一些是赤褐、浅黄，乃至无色的，其密度一般小于 1000kg/m^3 ，介于 $800\sim 980\text{kg/m}^3$ 之间，但也有个别例外，如伊朗某石油密度高达 1016kg/m^3 ，而美国加利福尼亚州的石油低至 707kg/m^3 。凝点也有高有低，我国原油的凝点有高达 36°C ，也有低至 -50°C 的。

各种石油外观、性质上的差异，是其化学组成不同的一种反映。为此，要研究石油及其产品的性质，必须从研究石油的化学组成入手。

第一节 石油的化学组成

一、石油的元素组成

石油主要是由 C、H 及 S、O、N 五种元素组成，此外还有微量的金属元素和其他非金属元素。在金属元素中有钒、镍、铁、铜、铝以及钙、钛、镁、钠、钴、锌等。非金属元素有氯、硅、磷、砷等。它们在原油中含量(质量分数)的一般范围是：

碳 83.0%~87.0% 氢 10.0%~14.0% 硫 0.05%~8.00%
氮 0.02%~2.00% 氧 0.05%~2.00%

表 1-1 中所列为国内一些原油的元素组成。迄今，一般是用减差法估算原油中的含氧量，而并不直接进行测定。但这样得到的含氧量数据不够准确，故表中不予列出。

表 1-1 原油的元素组成

原油名称	元素组成(质量分数)/%				H/C(原子比)
	C	H	S	N	
大庆	85.87	13.73	0.10	0.16	1.90
胜利	86.26	12.20	0.80	0.44	1.68
孤岛	85.12	11.61	2.09	0.43	1.62
辽河	85.86	12.65	0.18	0.31	1.75
新疆	86.13	13.30	0.05	0.13	1.84
大港	85.67	13.40	0.12	0.23	1.86

二、石油的烃类组成

石油中的碳和氢元素组成烃。由于烃分子中所含碳氢两种原子数量不同和化学结构的不同，可以形成各种不同的烃：其中有链状烃也有环状烃；有饱和烃也有不饱和烃；有碳原子数很少相对分子质量很小的烃，也有碳原子数很多相对分子质量很大的烃。为了研究方便，

常将结构和性质相似的烃归为一类。石油主要是由烷烃、环烷烃和芳香烃三类烃组成，除个别种类的石油外，一般的石油中不含烯烃，但它可在加工过程中产生。

1. 烷烃

烷烃是石油的主要组分，其分子结构特点是碳原子间以单键相连成链状，其余价键为氢原子所饱和。碳链呈直链的称为正构烷烃，如正戊烷、正庚烷、正辛烷等。带侧链或支链的烷烃称为异构烷烃，石油中的烷烃主要为液体和固体。液体烷烃(包括正构烷烃和异构烷烃)是液体燃料的主要成分。

碳原子数大于3的烷烃，存在组成相同而结构不同的同分异构体，随分子中碳原子数的增多，同分异构体数量迅速增加，含4个碳原子的烷烃有2个同分异构体，而含10个碳原子烷烃，则可能有75个同分异构体。少一个氢原子的烷烃称为烷基，通常用R表示，如甲基，乙基，异丙基等。

常温常压下， $C_1 \sim C_4$ (即分子中含1~4个碳原子)的烷烃为气体， $C_5 \sim C_{16}$ 的正构烷烃为液体，是液体燃料的主要组分； C_{17} 以上的正构烷烃为固态，大都存在于柴油和润滑油馏分中，除甲烷和乙烷是无色无味气体外，其他易挥发的低分子烷烃具有汽油味，碳数多的高分子烷烃无气味，挥发性很小。烷烃是非极性化合物，几乎不溶于水，但易溶于有机溶剂。

正构烷烃与异构烷烃的元素组成相同，但结构不同，因而，它们的性质既有相似之处，也有一定差别。表1-2中数据表明，烷烃密度均小于 1000kg/m^3 ，正构烷烃的相对分子质量、沸点、熔点和密度随碳数增加而升高。异构烷烃由于分子中侧链的影响，使分子间距离增大，导致分子间范德华力减弱，因而异构烷烃的沸点和熔点比相同碳数的正构烷烃低。异构化程度不同，其性质也有差别。

表 1-2 几种烷烃的性质

名 称	分子式	相对分子质量	20℃ 密度/(g/cm ³)	熔点/℃	沸点/℃
正构烷烃					
丁烷	C ₄ H ₁₀	58.124	0.5788	-138.25	-0.50
戊烷	C ₅ H ₁₂	72.151	0.6262	-129.73	36.06
己烷	C ₆ H ₁₄	86.178	0.6594	-95.32	68.73
庚烷	C ₇ H ₁₆	100.205	0.6837	-90.58	98.43
辛烷	C ₈ H ₁₈	114.232	0.7025	-56.76	125.68
异构烷烃					
异丁烷	C ₄ H ₁₀	58.120	0.5572	-159.60	-11.27
2-甲基丁烷	C ₅ H ₁₂	72.151	0.6197	-159.91	27.84
2, 2-二甲基丙烷	C ₅ H ₁₂	72.151	0.5910	-16.57	9.50
2-甲基己烷	C ₇ H ₁₆	100.205	0.6786	-118.27	90.05
2-甲基庚烷	C ₈ H ₁₈	114.232	0.6979	-108.99	117.65
2, 2, 4-三甲基戊烷	C ₈ H ₁₈	114.232	0.6919	-107.37	99.24

烷烃在常温常压下化学性质很稳定，很难被空气所氧化，与强酸，强碱、强氧化剂和强还原剂都不起作用或反应很慢。

在高温下，烷烃能在空气或氧中燃烧而生成CO₂和水，放出大量热能。如果空气不足，则燃烧不完全，生成CO及黑色的游离炭。在高温隔绝空气的情况下，大分子烷烃发生多种C-C键断裂而生成小分子烃类的裂化反应，相对分子质量越大的烷烃对热越不稳定。裂化

反应是由重质石油组分生产轻质油品或化工原料的一个重要反应。裂化反应随反应条件不同而变化，反应产物通常是混合物。

烷烃在一定条件下，能同卤素或浓硫酸起取代反应而生成卤代烷或烷基磺酸。烷烃在不同催化剂作用下可以发生脱氢反应生成烯烃和脱氢环化反应生成芳香烃，后一反应是生产芳香烃和优质汽油的一个重要化学反应。

含有等于和大于 C_6 的正构烷烃能和尿素结合，形成特殊结构的固体包合物，石油加工中的尿素脱蜡过程就是利用这一特性从馏分油中除去正构烷烃的。

总之，烷烃在常温常压下化学性质不活泼，因而安定性好，在储存过程中不易氧化变质。正构烷烃在汽油机中燃烧性能不好，但异构烷烃的燃烧性能却很好。在柴油机中正构和异构烷烃的燃烧性能都很好。

2. 环烷烃

环烷烃是饱和的环状化合物，即碳原子以单键相连接成环状，其他价键为氢原子所饱和的化合物。环烷烃按环数多少分为单环、双环和多环三类，大都带有 1~2 个烷基侧链。石油中的环烷烃主要是环戊烷和环己烷的化合物。

环烷烃的沸点、熔点和密度比相同碳数的烷烃高，但密度仍小于 1000kg/m^3 。环戊烷等在常温常压下为液体，相对分子质量大的环烷烃为固体。

由于环烷烃是饱和烃，与烷烃类似，在常温常压下比较安定，在储存过程中不易氧化变质。但在不同条件下，也可能发生氧化、裂化、芳构化、异构化和取代等反应。裂化、芳构化和异构化反应都是石油加工中的重要反应。

单环环烷烃主要存在于低，中沸点的馏分如汽油和煤油之中，双环环烷烃和多环环烷烃则大多在沸点较高的柴油和润滑油中出现。

环烷烃在汽油机中的燃烧性能介于正构烷烃和异构烷烃之间。在柴油机中的燃烧性能比烷烃差。但环烷烃是喷气燃料的理想组分，它使喷气燃料具有大的热值和密度，较好的燃烧性能和低温性能。

3. 芳香烃

分子中具有苯环结构的烃类称为芳香烃，一般苯环上带有不同的烷基侧链。根据苯环的多少和结合形式的差别，芳香烃分为单环、多环和稠环芳香烃三类。分子中含有两个和两个以上独立苯环的芳香烃称为多环芳香烃，如联苯、三苯甲烷等。分子中含有两个或两个以上苯环，且苯环彼此间通过共用两个相邻碳原子稠合而成的芳香烃称为稠环芳香烃，例如萘、菲、蒽等。

芳香烃在常温下呈液态或固态。苯及其同系物具有强烈的芳香气味，其蒸气对人体有毒害作用。芳香烃的密度一般为 $860\sim 900\text{kg/m}^3$ ，比相同碳数的其他烃类密度大。芳香烃对天然橡胶有较大的浸蚀作用。水在芳香烃中的溶解度很小，例如，芳香烃中对水溶解度最大的苯，在 22°C 时， 100g 苯中也只能溶解 0.0662g 水，但这比其他烃类对水的溶解度却已大了很多倍。苯对水的溶解度对航空燃料的低温性能影响很大。芳香烃还会恶化喷气燃料的燃烧性能，因而喷气燃料中要限制芳香烃的含量。芳香烃在汽油机中燃烧性能很好，是汽油的良好组分，但在柴油机中因难以自燃而燃烧性能很差。

芳香烃中的苯环很稳定，即使强氧化剂也不能使它氧化，也不易起加成反应。在一定条件下，带侧链芳香烃上的侧链会被氧化成有机酸，带侧链的多环和稠环芳香烃很容易被氧化而生成胶状物质，这是油品氧化变质的重要原因之一。

4. 不饱和烃

分子中碳原子之间具有双键或三键的烃类称为不饱和烃，分子中含有双键的是烯烃，具有三键的是炔烃，由于石油及其产品中一般不含炔烃，因此，此处不作讨论。根据双键所在位置，数量等结构特点，烯烃可分为单烯烃(简称烯烃)、二烯烃和环烯烃等。

在常温常压下，小于 C₅ 的烯烃是气体，C₅ 以上的烯烃是液体，碳数多的烯烃是固体。与烷烃类似，随分子中碳数增多，烯烃的沸点和密度增大，但密度都小于 1000kg/m³。烯烃难溶于水，易溶于有机溶剂。

石油中一般不含烯烃，但石油在加工过程中，大分子烷烃和环烷烃受热分解，生成烯烃和二烯烃，因而石油产品中含有不同数量的不饱和烃。

不饱和烃类分子中的双键不稳定，很容易发生加成、氧化和聚合各种反应。分子中具有两个双键的二烯烃更容易发生上述反应。因而含烯烃和二烯烃的油品如裂化汽油在常温储存时容易氧化变质，生成高分子黏稠物如胶质等，在储存管理中应特别注意采取必要的预防措施。

不饱和烃在汽油机中的燃烧性能比相应正构烷烃好，在柴油机中的燃烧性能比芳香烃好，但比正构烷烃差。

第二节 石油中的非烃类化合物

石油中的硫、氮、氧元素以非烃化合物形式存在，这些元素的含量虽仅约 1%~4%，但非烃化合物的含量却相当高，可高达百分之十几。它们在各馏分中的分布是不均匀的，大部分集中在重组分特别是残渣油中。非烃化合物对石油加工、油品储存和使用性能影响很大，石油加工中绝大多数精制过程都是为了解决非烃化合物问题。

为了在储运中对油品进行正确管理，必须对石油中非烃化合物有较深刻的认识。

石油中的非烃化合物主要包括含硫、含氧、含氮化合物以及胶状、沥青状物质，下面分别进行讨论。

一、含硫化合物

硫是石油的重要组成元素之一。不同的石油含硫量差别很大，从万分之几到百分之十几，例如，克拉玛依原油含硫量为 0.04%，而华北某原油含硫量高达 9.5%~11.3%。硫在石油中的含量随馏分沸点升高而增加，大部分硫化物集中在残渣油(燃料油)中。从表 1-3 中可清楚地看到这一规律。

表 1-3 硫在不同馏分中的分布(质量分数) %

项 目	原油	<200℃	200~350℃	350~500℃	>500℃
大庆混合原油	0.10	0.02	0.045	0.055	0.17
胜利混合原油	0.80	0.15	0.32	0.47	1.26

硫在石油中少量以单质硫(S)和 H₂S 形式存在，大多数以有机硫化物状态出现。石油中的硫化物，根据它们对金属的腐蚀性不同，可以分为以下两类：

1. 活性硫化物

活性硫化物在常温下易与金属作用，是具有强烈腐蚀性的酸性硫化物，主要是单质硫、

硫化氢(H_2S)和低分子硫醇(RSH)。

石油中的单质硫和硫化氢大多数是其他含硫化合物的分解产物,两者可以互相转变。硫化氢被空气氧化可以生成单质硫,硫与烃类在高于 200°C 以上反应也可以生成硫化氢等硫化物。硫化氢是无色有毒气体,其水溶液呈酸性,能强烈腐蚀金属。

硫醇在石油中含量不多,其沸点比相应的醇类低很多,多数存在于低沸点馏分中。已从石油中分离出 $\text{C}_1\sim\text{C}_6$ 的十多种硫醇。硫醇分子式中的 R 可以是烷基、环烷基或芳香基。低分子硫醇如甲硫醇(CH_3SH)和乙硫醇($\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$)具有强烈的特殊臭味,其浓度为 $2.2\times 10^{-12}\text{g}/\text{m}^3$ 时,人的嗅觉就可以感觉出来,因而可作为臭味剂,如加在民用天然气中,当天然气泄漏时,人们会及时发现。

硫醇不溶于水,呈弱酸性,能和铁直接作用,生成硫醇亚铁 $[(\text{RS})_2\text{Fe}]$,从而腐蚀金属设备。硫醇受热能分解生成烯烃和硫化氢,硫化氢则更加剧了油品的腐蚀作用。

活性硫化物能直接与金属作用而腐蚀设备,必须从油品中除去,但一般不可能绝对清除干净,故根据需要用相应的指标来限制,如液体燃料中规定了铜片试验这一指标,喷气燃料还规定了硫醇性硫的含量不许超过一定值。

2. 非活性硫化物

这类硫化物有硫醚($\text{R-S-R}'$)、二硫醚($\text{R-S-S-R}'$)、环硫醚、噻吩等。它们多集中在高沸点馏分中。它们的化学性质较稳定,不直接腐蚀金属,但燃烧后能生成二氧化硫和三氧化硫,它们不仅能造成大气污染,而且遇水后生成亚硫酸和硫酸,可以间接腐蚀金属。因此液体燃料规格中对活性硫化物含量加以限制,同时还规定了硫含量这个指标。硫含量包括石油产品中活性硫和非活性硫的总含量。

石油中的硫化物对油品储存,石油加工和油品使用性能危害很大。硫化物能加速油品氧化,生成胶状物质,使油品变质,严重影响油品的储存安定性。硫化物能引起储油设备、加工装置等的严重腐蚀。含硫油品燃烧后都会生成 SO_2 和 SO_3 ,遇水成为强烈腐蚀性的 H_2SO_4 和 H_2SO_3 。石油加工中生成含硫化氢和低分子硫醇的恶臭气体以及含硫燃料燃烧产生的含 SO_2 和 SO_3 废气,严重污染大气,硫还是某些金属催化剂的毒物。总之,石油产品中含有硫化物一般是有害的,必须加以限制。但对于某些石油产品来说,为了改善油品性能,则需要加入一定数量硫化物。如齿轮油为了改善极压性能,需要加入一定量的硫化物作极压添加剂。

二、含氧化合物

石油中的含氧量一般约为千分之几,其中 $80\%\sim 90\%$ 集中在胶质沥青质中。其余部分主要是酸性物质——环烷酸、脂肪酸及酚类,统称为石油酸。另外还有微量醛、酮等中性含氧化合物。

石油酸中最主要的是环烷酸,约占石油酸的 90% 左右。所有的石油均含有环烷酸,含量一般在 1% 以下。我国石油中,大港、克拉玛依石油含环烷酸较多,其他石油中含量较少。

环烷酸的相对分子质量较大,沸点较高,在石油的各馏分中,分布在柴油和轻质润滑油等中沸点馏分中较多。

环烷酸的化学性质和脂肪酸相似,它易溶于油、不溶于水。环烷酸能与铅、锌、铜、锡、铁、镉等金属作用生成相应的环烷酸盐,因此对金属有腐蚀作用。环烷酸盐是润滑油氧

化的催化剂，同时这些盐类又是黏稠的物质，对润滑油的正常润滑也有不良影响，大部分环烷酸在石油产品加工过程中，可用碱洗的办法将其除掉。

如同含硫化合物一样，环烷酸在石油产品中是有害的，但它却是很有用的化工产品，可作枕木防腐剂、颜料及油漆的催干剂。环烷酸锌可作防锈添加剂。

三、含氮化合物

石油中含氮很少，一般含量为万分之几到千分之几，我国几种原油的含氮量如表 1-1 所示。

和其他非烃类化合物一样，随着馏分沸点升高，氮的含量也随之增加，大部分集中在残渣油中。属于这类的化合物有吡啶、吡咯及其同系物等。

石油中氮含量虽少，但对油品储运、油品使用及石油加工影响却很大。在储运过程中，因为光、温度和空气中氧的作用，氮化物很容易生成胶质，极少量的生成物就会导致油品颜色变深，使油品不能长期储存。液体燃料中含氮量多时，燃烧时还有较大的臭味。此外，氮化物还会使石油加工中的催化剂中毒。因此，必须从油品中除去氮化物。用酸洗或催化加氢精制等方法可以脱除油品中的部分氮化物。

四、胶质、沥青质

石油中的非烃化合物，有很大一部分是胶状沥青状物质。它们的含量相当可观，在含胶最多的重质石油中可达 40%~50%，少的一般有百分之几，其中主要是胶质，沥青质一般不超过 4%~5%。

胶状、沥青状物质是由 C、H、O、N、S 等元素所组成的非烃化合物的复杂混合物，天然石油中 90% 以上的氧，80% 以上的氮，50% 以上的硫都集中在胶状沥青状物质中。胶状沥青状物质一般分为胶质和沥青质。

所谓胶质，一般指能溶于石油醚（低沸点烷烃）、苯、三氯甲烷（ CHCl_3 ）和二硫化碳（ CS_2 ），而不溶于乙醇的物质。

沥青质是能溶于苯、三氯甲烷和二硫化碳，但不溶于石油醚和乙醇的物质。

胶质是红褐色到暗褐色并具有延性的黏稠液体或半固态物质，其密度约为 $1.0 \sim 1.1 \text{ g/cm}^3$ ，平均相对分子质量为 600~1000。随着石油馏分沸点升高，胶质含量增大，胶质的相对分子质量也增加，其颜色也由浅黄逐渐变为深褐色。胶质溶解在石油产品中形成真溶液。胶质具有极强的着色能力，在无色汽油中只要加入 0.005%（质量分数）的胶质，汽油就变成草黄色。油品的颜色主要来自胶质，颜色的深浅往往反映了胶质含量的多少。

胶质的结构十分复杂，研究认为，它是由不长的烷基（例如 $-\text{CH}_2-$ 、 $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ 等）把带少数短侧链的芳香环、环烷环及含硫、氮、氧原子的杂环构成的稠环连接起来形成的。馏分油中的胶质主要以双环为主，减压渣油中的胶质以高度稠化的稠环为主。

油品中的胶质在燃烧时易形成炭粒，引起机器的磨损和管道的堵塞。胶质受热或在常温下氧化，可以转化为沥青质，高温下甚至生成不溶于油的焦炭状物质——油焦质。但胶质是沥青的重要组成部分。

沥青质是暗褐色或深黑色脆性的非晶形固体粉末，密度稍大于胶质，是石油中相对分子质量最大，结构最复杂的组分。沥青质没有挥发性，石油中的沥青质全部集中在渣油中。它受热时不会熔融，当温度高于 300°C 时便全部分解成焦炭状物质和气体。与胶质在石油中形

成真溶液不同，沥青质先吸收溶剂而膨胀，然后均匀分散成胶体溶液，因而在石油中沥青质部分呈胶体溶液，部分呈悬浮状态。沥青质也是沥青的重要组成部分。

有些烃类与空气接触，经过一段时间就容易氧化产生胶质，使油品的颜色变深。胶质又会进一步变成相对分子质量更大的沥青质。在热加工过程中，沥青质又进一步转变为油焦质和炭青质。

石油及其产品的颜色与其中所含的胶质、沥青质有密切关系。胶质、沥青质的含量愈高，石油及其产品的颜色愈深。我国石油沥青质含量不高，但胶质含量一般都较高。胶质、沥青质对石油产品性能有不良影响，加工中应尽量除去。

第二章 原油的分类及性质

第一节 原油的分类方法

世界各国所产的原油，其化学组成和物理性质虽然各不相同，但有一些原油的性质彼此是相近的。它们的加工方案和加工中所遇到的问题也是相似的。例如，我国原油一般含蜡较多，凝点较高，由它们生产柴油和润滑油时，都要考虑脱蜡的问题。又如，世界各地许多原油，含硫较高，加工时就要考虑脱硫和防止设备腐蚀的问题。因此，为了研究和使用的方便，找到一种分类方法，把原油按一定的性质指标分类，对原油的加工和利用是很有益的。

原油的组成极为复杂，对原油的确切分类是困难的。从实质上看，原油的性质之所以千差万别，归根结底还是由于化学组成不同所致。我们看问题，需要看它的实质，所以人们一般倾向于化学分类，但有时为了应用方便，也采用工业分类。下面分别予以介绍。

一、工业分类法

1. 按原油的密度分类

轻质原油：密度小于 878kg/m^3 ；

中质原油：密度介于 $878\sim 884\text{kg/m}^3$ ；

重质原油：密度大于 884kg/m^3 。

我国原油除胜利和孤岛属重质原油，大港为中质原油，其他均属轻质原油。

2. 按含硫量分类

低硫原油：含硫量低于 0.5% ；

含硫原油：含硫量介于 $0.5\%\sim 2\%$ ；

高硫原油：含硫量高达 2% 以上。

目前我国开采的原油中，除胜利、孤岛和江汉原油属含硫原油外，其余均属低硫原油。

二、化学分类法

目前广泛应用的化学分类法有两种，即特性因数分类和关键馏分特性分类。一般认为，各种原油以此两种方法分类，可以对原油的特性有一个初步了解，易于做出对比。

1. 特性因数分类

原油按特性因数大小分为石蜡基、中间基和环烷基三种。

石蜡基原油：特性因数 $K=12.1\sim 12.9$ ；

中间基原油：特性因数 $K=11.5\sim 12.1$ ；

环烷基原油：特性因数 $K=10.5\sim 11.5$ 。

特性因数 K 是表示原油馏分的密度、平均馏点与它的化学组成之间一定关系的数值，利用它可以估计油品的化学组成，烷烃 K 值最高，芳香烃 K 值最低，环烷烃介于两者之间。

$$K = \frac{1.26\sqrt[3]{T(K)}}{d_{15.6}^{15.6}}$$

式中 K ——特性因数；
 T ——原油馏分的平均沸点，以绝对温度(K)表示。

石蜡基原油一般烷烃含量超过 50%，其他族烃类相对含量较少，其特点是含蜡量较高，凝点高，密度小，含硫、含胶量很低，直馏汽油辛烷值较低，柴油的十六烷值较高，并可以从中制得高品质的润滑油。我国大庆、四川原油是典型的石蜡基原油。

环烷基原油的密度较大，凝点低，直馏汽油的辛烷值较高，可以得到密度大、结晶点或冰点低的喷气燃料，但不易制得燃烧性能较好的柴油和黏温性能较好的润滑油。在我国，典型的环烷基原油较少。

中间基原油的性质介于这两类之间。

由于原油的组成十分复杂，在低沸点馏分和高沸点馏分中的烃类分布规律也有很大差别，而且特性因数分类也比较笼统，有一定的局限性。为了比较全面和更科学地概括原油的特性，一般多采用关键馏分的特性分类。

2. 关键馏分特性分类

将原油在常压下蒸得 250~275℃ 的馏分为第一关键馏分，再将所剩残油在 5.33kPa 的压力下，进行减压蒸馏取 275~300℃ 馏分(即常压下 395~425℃ 馏分)为第二关键馏分。测定两个关键馏分的密度，然后对照表 2-1 所列馏分的密度或 K 值来确定两个关键馏分是属于哪一个基，再按表 2-2 确定该油属哪一类。

表 2-1 关键馏分的分类指标

关键馏分	指 标	石蜡基	中间基	环烷基
第一关键馏分	密度(20℃)/(g/cm ³)	<0.8207	0.8207~0.8560	>0.8560
	特性因数 K	>11.94	11.45~11.94	<11.45
第二关键馏分	密度(20℃)/(g/cm ³)	<0.8721	0.8721~0.9302	>0.9302
	特性因数 K	>12.2	11.45~12.2	<11.45

表 2-2 关键馏分的特性分类

第一馏分类别	第二馏分类别	原油的类别	第一馏分类别	第二馏分类别	原油的类别
石蜡	石蜡	石蜡	中间	环烷	中间-环烷
石蜡	中间	石蜡-中间	环烷	中间	环烷-中间
中间	石蜡	中间-石蜡	环烷	环烷	环烷
中间	中间	中间			

关键馏分的特性分类有一定的科学性，如果再将工业分类法中所提到的含硫量分类法补充进去就更合理，更有利于对比各种原油。表 2-3 为我国几种原油按关键馏分特性与含硫量相结合分类的结果。

表 2-3 我国几种原油的分类

原油名称	含硫/ %(质量)	密度(20℃)/ (g/cm ³)	特性因数 K	特性因数 分类	第一关键馏分		第二关键馏分		关键馏分 特性分类	建议原油 分类命名
					密度/(g/cm ³)	K	密度/(g/cm ³)	K		
大庆	0.11	0.8615	12.5	石蜡基	0.814	12.0	0.850	12.5	石蜡基	低硫石蜡基
胜利	0.90	0.9040	12.13	中间基	0.832	11.8	0.881	12.05	中间基	含硫中间基

续表

原油名称	含硫/ %(质量)	密度(20℃)/ (g/cm ³)	特性因数 <i>K</i>	特性因数 分类	第一关键馏分		第二关键馏分		关键馏分 特性分类	建议原油 分类命名
					密度/(g/cm ³)	<i>K</i>	密度/(g/cm ³)	<i>K</i>		
孤岛	2.03	0.9574	11.6	中间基	0.891	10.7	0.936	11.4	环烷基	含硫环烷基
新疆	0.12	0.8766	12.15	中间基	0.831	11.82	0.887	11.9	中间基	低硫中间基
玉门	0.18	0.8520	12.3	石蜡基	0.818	11.95	0.870	12.25	石蜡基	低硫石蜡基
大港	0.12	0.8826	12.1	中间基	0.8458	11.6	0.8844	12.1	中间基	低硫中间基

第二节 国产原油的性质

我国的主要油田有大庆、胜利、华北(任丘)、中原、大港、辽河、南阳、江汉、玉门、克拉玛依等,其中产量最大的是大庆油田;其次为胜利油田。

从原油密度来看,国产原油的标准密度大多数在 $860 \sim 880 \text{ kg/m}^3$ 左右,但也有个别原油如青海冷湖原油小到只有 804 kg/m^3 左右,而乌尔禾稠油密度大到 962 kg/m^3 。原油的密度大小反映了原油化学组成上的差别,一般密度小的轻质原油,其含硫,含氮量少,胶质、沥青质含量也少,原油中轻组分含量多;密度大的原油正好相反。比较青海冷湖原油和乌尔禾稠油的性质,可以清楚地看到这一点。青海冷湖原油密度为 804 kg/m^3 ,其胶质含量为 1.9%,沥青质为零,含硫量极低,为 0.02%,200℃ 以前的馏分达 48%,小于 300℃ 馏分高达 72%。而密度高达 962 kg/m^3 的乌尔禾稠油,其含硫、含氮量均高于青海冷湖原油,含硫量为冷湖原油的 15 倍;其胶质沥青质含量为 3%,也是冷湖原油的十几倍;乌尔禾稠油的轻组分极少,初馏点高达 212℃,300℃ 以前的轻组分只有 3.24%,仅为青海冷湖原油的 4.5%。

我国原油的 50℃ 运动黏度一般在 $20 \sim 100 \text{ mm}^2/\text{s}$ 之间。由于组成不同,特别是胶质沥青质含量和轻组分含量的影响,黏度的差别也十分悬殊。例如含轻组分多、胶质沥青质少的青海冷湖原油,其 50℃ 运动黏度为 $1.46 \text{ mm}^2/\text{s}$,而重质的乌尔禾稠油其黏度竟高达 $20391 \text{ mm}^2/\text{s}$,为青海冷湖原油的 14000 倍。

不同原油之间的凝点差别,主要与原油的含蜡量有关。含蜡多的原油凝点高,例如,南阳原油含蜡量为 41.14%,其凝点也突出地高达 51℃;而含蜡量仅为 2.04% 的克拉玛依低凝原油,其凝点低至 -50℃,两种原油凝点相差 101℃。这个差别从中东原油性质中也可以看得很清楚。

原油含硫、氮等元素的数据,一般与胶质、沥青质含量有关。含硫、含氮量高的原油,通常胶质和沥青质含量也高,例如孤岛、胜利原油等。下面分别介绍几种主要国产原油的特征。

一、大庆原油

大庆原油是我国产量最高的原油,约占全国产量的一半。大庆原油的性质和国外很多原油差别很大,其主要特点是含蜡多,凝点高、含硫少,汽油馏分较少。按关键馏分特性分类法分类,属于低硫石蜡基原油。

石蜡基原油的烷烃含量高,因而其汽油馏分的抗爆性能差,辛烷值低;其柴油的燃烧性能好,十六烷值高,但是柴油凝点较高,低温流动性差;润滑油的黏温性能好,由于含烷烃量多,脱蜡的负荷大,但可以得到重要的副产品——石蜡和地蜡。石蜡基原油由于胶质沥青

含量低，不能直接生产沥青产品。大庆原油的含硫量低，炼制加工这类原油比较容易，加工和储运这类原油及其产品的设备腐蚀问题不太严重；但因含蜡多，凝点高，原油输送时必须加热或采用其他降凝措施。

任丘原油和南阳原油等的特点与大庆原油类似。

二、胜利原油

胜利原油的特点是密度较大，含硫量较高，含胶质、沥青质较多，属于含硫中间基原油。

由于含硫量、含氮量、胶质和沥青质含量都较高，所以胜利原油生产出的汽油、煤油、柴油的很多性质都不如大庆原油，必须经过适当的精制。油品的储存安定性很差，容易氧化变质；但胜利原油的汽油馏分的辛烷值比大庆原油相应馏分高 11~18 个单位。胜利原油生产的滑油，其黏温性能差，需要深度精制和脱蜡，并难以生产高黏度的柴油机油，因而一般不用胜利原油制备润滑油。渣油经过氧化可以生产出一般的道路沥青。小于 300℃ 的轻油收率低，仅为 15.8%。

胜利原油的含蜡量虽低于大庆原油，但黏度高，因而其凝点仍高达 27℃，原油的输送和储存也必须加热或采用其他降凝措施。胜利原油含硫量高，因而对储运设施和炼制加工设备的腐蚀问题比大庆原油严重。

三、孤岛原油

孤岛原油是典型的环境基原油。特点是密度大(20℃ 密度为 946kg/m³，个别油井曾出现过高达 1010kg/m³ 的原油)，黏度大(50℃ 运动黏度为 498mm²/s，是大庆原油的 25 倍)、含硫多(为 2.06%)、含胶质、沥青质多(达 40.5%)、轻组分含量很少(200℃ 以前馏分只有 1.1%，280℃ 以前馏分为 9.4%)。按我国采用的分类法属于含硫环境基原油。

孤岛原油加工时所得直馏汽油，煤油、柴油的收率很低。由于含硫量高，产品安定性很差，必须进行精制。孤岛原油不适合生产润滑油。其渣油产率很高，达 50% 以上，是国内少有的生产优质沥青的良好原料。

四、克拉玛依原油

克拉玛依油田的不同油层和油区所产原油的性质差别很大，部分原油具有低凝、少蜡、低硫、高黏度等特点，是生产某些特种低凝油品和环烷酸的良好原料。为了充分利用资源，根据低凝油品的要求，按原油和特定馏分的凝点，把克拉玛依原油分为低凝原油和克拉玛依混合原油两大类。克拉玛依低凝原油共分为三类，其原油凝点均低于 -40℃。

克拉玛依低凝原油的突出特点是凝点极低(-50℃)、含蜡很少(为 2.04%)、含硫量极少(0.04%)、酸值较高，属于低硫中间基原油。

低凝原油生产的汽油抗爆性很好，并能直接生产结晶点低于 -60℃、芳香烃含量小于 9% 的优质喷气燃料，由它生产的煤油、柴油的凝点大都低于 -60℃，可生产高寒地区用柴油。它的润滑油馏分可不经脱蜡直接生产低凝润滑油(凝点可低至 -45℃ 以下)。为了充分利用资源，对于低凝原油必须采取严格的分采、分输、分储和分炼的措施。

低凝原油的含硫量低，加工流程比较简单，加工和储运设备腐蚀问题也小。低凝原油酸值较高，为 0.78mgKOH/g，可以提取重要的化工原料——环烷酸。