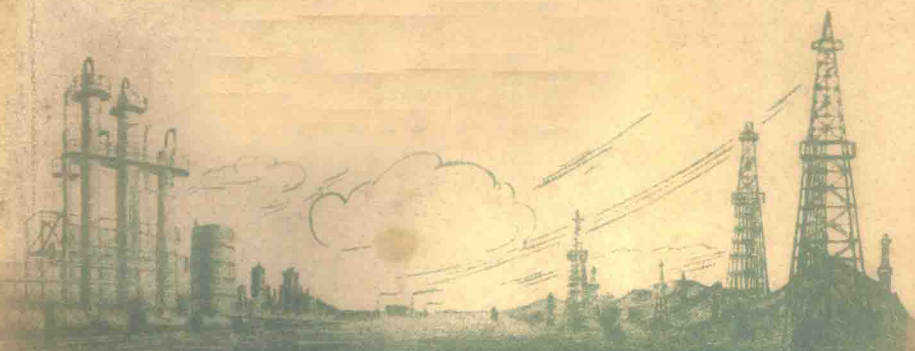




中等专业学校教学用书

石油和人造液体燃料化学

苏联 B·H·埃里赫等著

石油工业出版社

中、等 專 業 学 校 教 学 用 書

石油和人造液体燃料化学

苏联 B. H. 埃里赫 B. K. 巴仁特洛夫著

石 油 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書是苏联石油工業部教育司批准的中等石油学校教材。

全書分兩部分，第一部分詳細的介紹了石油及石油产品的化学成份、它的性質和研究方法，以及石油的生成及最新的加工和油品精制方法。第二部分主要研究固体燃料的化学性質，及用以生产人造石油的各种方法：加氢、干餾、合成及其化学机理。

本書也可供煉油厂工程技术人员閱讀。

参加本書翻譯的同志有孟志光、孙巨等。

В. Н. ЭРИХ И В. К. ПАХИТНОВ

ХИМИЯ НЕФТИ И ИСКУССТВЕННОГО

ЖИДКОГО ТОПЛИВА

根据苏联国立石油燃料科技書齋出版社(ГОСТОПТЕХИЗДАТ)

1955年列宁格勒版翻譯

統一書号：15037·690

石油和人造液体燃料化学

石油工業出版社出版(地址：北京六環路石油工業局內)

北京市書刊出版業營業許可証出字第083号

石油工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

850×1168 $\frac{1}{2}$ 开本 * 印張12 $\frac{1}{2}$ * 390千字 * 印1—4,000册

1959年3月北京第1版第1次印刷

定价(10)1.95元

序 言

本書是為石油及人造液體燃料工學、催化劑生產工學及化學分析等專業編寫的教材。

作為重工業重要部門之一的石油工業的發展和改進我們社會主義國家給了它極大的注意。

1955年6月召開的蘇聯共產黨中央委員會的全體會議上，擬定了所有工業部門的進一步，不斷發展及技術提高的遠景規劃。

擺在石油煉制和氣體工業面前的任務是：

“在石油原料的加工工藝中廣泛地運用催化過程，保證進一步提高透明油品的產率和擴大高品質的發動機燃料及潤滑油的产品種類。”

“……增加對於天然氣及石油氣的利用，應以這些氣體作為生產合成橡膠、人造纖維，去污劑和其他產品的主要原料……”。

石油煉制工業現在正在而且將來也要沿着這個主要方向，也就是沿着全面化學化及運用熱催化過程的路線發展。

在編制本教科書時，作者力求尽可能地將石油工業部門中的技術進展的趨勢反映出來。為了這個目的，除了參考了數學的書籍外，還參考了蘇聯的或國外的學者的研究報告，以及科學研究院的文集。

本教科書包括兩部分，第一部分——教科書的主要部分——包括了有關石油研究的各種問題。第二部分闡述了人造液體燃料化學。

人們將從固體燃料中獲得的液體燃料（汽油、煤油、柴油、鍋爐燃料油）稱為人造液體燃料。

應當指出，專門用於固體原料加工的生產過程，例如破壞加

氫，已經很有成效地应用于石油原料的加工中了（特別是应用于重質油品上），并且，不仅可以使使用从固体燃料中得出的气体来作为制取合成汽油的原料，而且也可以使用天然气来作为原料。此外，可以用类似的方法来改善从石油及固体燃料中得出的汽油的品質，同时，除了石油气和天然气外，也可用在制取人造液体燃料的过程中产生的廢气来合成各种有机产品。

这样，石油及固体燃料加工的方法是互相錯綜的，在可燃矿物的加工技术上和化学上的成就，就有可能使人們利用不同的原料——从天然气到煤——来制取同样的最終产品。这使我們能够將一系列固体可燃矿物的化学加工过程的敘述有系統地編入本教科書中。

在本教科書中有关石油的学說，石油产品的精制和固体燃料的热加工部分（第 I，II，III，IV，V，VI 和 VII 各章）是由 B.H. 爱尔赫編写的。

B.K. 派齐脫諾夫編写下列各部分：石油及气体的加工、破坏加氫和用一氧化碳与氫的合成（第 VIII，IX，X，XI 和 XII 各章）。

作者們对化学科学博士 И.Б. 拉波波尔教授、技术科学博士 Н.И. 澤林尼教授和化学科学碩士 B.B. 凱特林斯基表示深切的感謝，他們在評閱及校訂本教科書的原稿时曾提供了寶貴的意見。

作者們希望他們的著作对于石油及人造液体燃料化学的課程內的教学書籍的缺陷能有一定程度的弥补，同时也悬請中等技术学校的教师們和学生們以及其他的讀者們將意見和批評寄到下述地址：列宁格勒奈夫斯基大街 28 号苏联国立石油燃料科技書籍出版社列宁格勒分社。

目 录

序言

第一篇 石油化学

概 論	1
第1节 可燃性有机岩的概述	1
第2节 油田的地理分佈情况	3
第3节 石油的馏分組成	5
第 一 章 石油的化学組成	7
第4节 有关石油的元素組成和化学組成的一般知識	7
第5节 石油中的石蜡屬烴	9
第6节 环烷烴	17
第7节 芳香烴	23
第8节 不飽和烴	30
第9节 石油的氧化合物	33
第10节 石油的硫化合物	37
第11节 石油的氮化合物	43
第12节 石油的瀝青——膠狀物質	45
第13节 石油中的矿物質	54
第14节 石油的化学屬組成	55
第15节 石油的化学分类	58
第 二 章 石油的物理和物理-化学性質	63
第16节 比重(密度)	64
第17节 分子量	66
第18节 粘度	68
第19节 光性和电 性	76
第20节 溶解度和溶解能力	81
第21节 石油乳狀液	85
第22节 燃料在火花發火式發动机中的瀝青	92

第23节	烴类的抗震性	98
第24节	在压燃式内燃机(柴油机)中的苛刻操作(敲击)	102
第25节	烴类的發火性	103
第26节	噴气式發动机燃料的物理-化学性質	109
第 三 章	石油和石油馏分的化学研究方法	111
第27节	分离石油組分的方法	112
第28节	有关气体分析的簡要知識	121
第29节	不飽和烴类的測定	126
第30节	芳香烴的分出和測定	133
第31节	測定环烷烴和石腊烴	142
第32节	液态烴类混合物的化学屬分析	149
第33节	潤滑油馏分的研究	156
第34节	測定硫化化合物	170
第 四 章	石油的生成	174
第35节	石油的加工	174
第 五 章	热裂化及热解	184
第36节	前言	184
第37节	裂化的物理-化学原理	187
第38节	單体烴类热裂化的化学轉化机理	202
第39节	烴类混合物的裂化	219
第40节	各种因素对裂化过程的影响	221
第41节	热裂化的形式	227
第42节	石油的热解及焦化	231
第43节	氧化裂化及氧化热解	235
第 六 章	催化裂化	236
第44节	石油工業中的催化作用	236
第45节	催化裂化	243
第 七 章	液体石油产品的加氫、脫氫及环化	253
第46节	不飽和烴的催化加氫	253
第47节	环烷烴的催化脫氫	258

第48节	脂肪属烃类的催化环化	260
第49节	石油馏出物的催化芳构化	266
第 八 章	烃类气体的加工	268
第50节	作为化学原料用的烃类气体	268
	将气体加工为燃料产品	274
第51节	烯烃的叠合	274
第52节	石蜡烃的烷化	287
第53节	芳香烃的烷化	296
第54节	石蜡烃的异构化	299
	将气体加工成化学品(非燃料产品)	304
第55节	甲烷的转化	304
第56节	甲烷和其同系物的热解	307
第57节	甲烷同系物的脱氢	311
第58节	甲烷和其同系物的氧化	313
第59节	甲烷和其同系物的氯化	319
第60节	甲烷的同系物的硝化	323
第61节	烯烃的水化	325
第62节	氯和含氯化合物对烯烃的作用	332
第63节	将烯烃加工成氧化物、二醇和它们的衍生物	339
第 九 章	透明石油产品和石油气体的精制	343
第64节	精制的目的和任务, 裂化馏出物中胶质之生成	343
第65节	硫酸法精制	351
第66节	碱精制	354
第67节	氯化锌精制	357
第68节	白土吸附精制	357
第69节	气体和透明石油产品脱硫化合物的精制方法	359
第70节	用抗氧化剂来使裂化汽油稳定	369
第 十 章	石油的润滑油馏分之精制	372
第71节	有关润滑油及其使用性质的一般知识, 润滑油精制的任务与方法	372

第72节	硫酸、碱及白土精制	381
第73节	选择性溶剂精制	383
第74节	润滑油添加剂	392

第二篇 人造液体燃料的化学

第十一章	固体燃料的热加工	405
第75节	有关固体可燃矿物的一般知识	405
第76节	固体燃料的热加工	409
第77节	低温焦油及其加工	418
第十二章	破坏加氢过程的概论	426
第78节	绪论	426
第79节	各类化合物在破坏加氢中之转化化学机理	430
第80节	固体燃料破坏加氢之特性	441
第81节	各种因素对破坏加氢过程的影响	447
第十三章	加氢的液相段及气相段	457
第82节	制取加氢用的氢气	457
第83节	液相加氢原料的制备	462
第84节	液相加氢	463
第85节	汽相加氢	467
第86节	破坏加氢的产品	472
第十四章	以一氧化碳及氢合成石油	475
第87节	引言	475
第88节	烃类合成的机理	475
第89节	各种因素对烃类合成过程的影响	478
第90节	各种结构的烃类的合成	484
第91节	合成气的制取	486
第92节	液体燃料合成过程的叙述	487
第93节	合成产品及它们的加工	489
第94节	由一氧化碳及氢制取含氧化合物	491
第95节	奥克曼合成	493
参考文献		496

第一篇 石油化学

概 論

第1节 可燃性有机岩* 的概述

在地球的地壳中蘊藏着大量的財富——有用的矿物。它們的开采和加工組成了人类社会进步的近代工業基础，有机生成的可燃岩石——可燃性有机岩在有用的矿物中佔有特別的地位。泥煤、褐煤、煙煤、無煙煤、藻煤、可燃頁岩、瀝青、地腊、石油、可燃的天然气等都屬於此类物質。可燃的矿物的用途很广。泥煤、煤、油頁岩、石油、天然气等不仅可作为燃料，而且也是很有价值的化学原料，有机合成工業就可在这类物質的基础上發展起来。

可燃性有机岩是死亡了的动植物有机体的轉化产物。它們的有机部分主要是由碳、氫和氧所組成。它們的組成中还含有小量的硫和氮。有机源的原始物質轉变成各种可燃性有机岩的过程整个地可視為碳的积聚和氧的消失的过程(見表1)。

將各种可燃的矿物按碳、氫、氧的含量来比較，同时也考虑了它們的地質年代，地下矿床的条件和其他因素，可以得出这样的結論：可燃性有机岩的碳的积聚，按原始物質的来源的不同来分，共有两个支派。

泥煤、褐煤、煙煤以至無煙煤、石墨是属于一个演变系列，

* 該字是从希臘字而来，Каустос 意即可燃的，Бios 意即生命，Литос 意即石塊。

某些可燃性有机岩的大概元素組成 (重量%) 表 1

腐植質的可燃性有机岩	C	H	O	腐泥可燃性有机岩	C	H	O
树木	50	6	44	腐泥	55	7	38
泥煤	60	6	34	可燃頁岩	70	8	22
褐煤	65	5	30	腐泥岩	77	8	15
烟煤	85	5	10	重質石油	86.7	12.7	0.6
無烟煤	96	3	1	輕質石油	87.4	12.5	0.1
石墨	100	—	—	瀝青	88	9	3

而瀝青性可燃矿物(可燃頁岩、藻煤、石油、瀝青等)是属于另一个演变系列。

煤支派的原始的物質多半是地上的已死亡了的植物(腐植質)，而瀝青支派的原始的物質基本上是鹽水湖泊或淡水湖泊的腐敗淤泥(腐泥)。現在采用的按腐植質和腐泥的来源来划分可燃矿物是与这一点相适应的。也常常可碰到腐植質——腐泥的混合組成。

在表 1 中列出了可燃性有机岩的元素組成的平均数据；在这个表中也列出了表示树木和腐泥的組成的数据以資比較。表中氧的百分数中包括了含量甚微的氮和硫。

在可燃性有机岩中，石油佔有独特的地位。其特征虽然含碳量極高，但氢的含量最高，而氧、氮的含量極小。在許多重要性質上，石油与其他可燃矿物是很不相同的。

石油差不多不含有無机雜質(灰份)，同时按其發热量来看，它比所有的固体可燃性有机岩都好。

基本上由碳氢化合物所組成的石油的化学組成已預先决定了以热加工和化学加工的方法將它变为各种各样的燃料和高品質的潤滑产品和化学产品的可能性。

第2节 油田的地理分佈情况

在偉大的十月社会主义革命以前，在俄国仅在巴庫、格罗茲內、迈科普、恩巴和費尔干等地开采石油。由于在革命后广泛地和有計劃地进行地質勘探工作，現在已在国内的各个地区發現并开發了数十个新的油田。

下面列出了正在进行工業开采的苏联的主要含油区的清單。

I. 巴庫地区(阿塞拜疆苏維埃社会主义共和国) 这是最老的同时也是含油最多的地区之一。此处最大的油矿有：列宁油矿(巴拉罕——薩崩奇——罗曼宁地区)、苏拉罕、比比——埃巴特、卡拉——丘胡、卡拉、洛克巴坦、宾那格特、阿尔条姆島、底尔薩格特、普塔、涅弗帖恰拉等共30个以上采油場。

II. 第二巴庫(伏尔加——烏拉尔含油区) 在这个巨大的和很有前途的地区中，П.И. 潑列奧勃拉任斯基初次于1929年在莫洛托夫城附近的上婆索夫城發現石油，И.М. 古布金院士的学生，地質学家 А.Л. 勃洛赫姆在依森拜(巴什基利亞苏維埃社会主义自治共和国)發現了一个大油田。現在，除此一油田外，进行生产的油田有：克拉斯洛卡姆、雪維路卡姆、吐依馬茲、布古路斯蘭、塞茲蘭、斯塔夫罗波尔、卡尔林、庫雪雅潑果洛夫、舒古罗沃等。

III. 格罗茲內地区 石油是在格罗茲內城附近开采的(旧格罗茲內和新格罗茲內油矿、塔什卡拉)，同时也在下列油矿中开采：沃茲涅先斯克、戈里山、馬尔戈别克和古迭尔麦斯。

IV. 庫班——黑海地区(北高加索) 这个含油地区由下列各油矿所組成：迈科普(或阿普歇倫)、哈兌任、瀝青山、庫拉——采采、寬谷、庫塔伊錫、卡盧加、开斯斯立洛夫、刻赤。

V. 恩巴地区(哈薩克苏維埃社会主义共和国) 这个地区是自里海以东至烏拉尔南脉，主要是在烏拉尔河与恩巴之間，在鹽

穹窿地帶中分佈有下列油礦：多索爾、馬卡特、依斯金、巴依裘納斯、科什卡爾，科斯格爾、古薩爾、薩吉斯等。其中有許多是不久以前才開采的。恩巴油田像第二巴庫油田一樣是具有很大的前途的，因為油田中的石油蘊藏量是極大的。

Ⅴ. 達格斯坦地區(達格斯坦蘇維埃社會主義自治共和國) 沿着里海西岸在格爾班特城和馬哈奇卡拉城之間已進行生產的油礦有：阿奇——蘇、依茲別爾巴什、卡雅——肯特、馬哈奇卡拉、威塔什。

Ⅵ. 中亞細亞地區 費爾干盆地的油礦就在這個地區中：在烏茲別克蘇維埃社會主義共和國的有基姆(以前稱謝里——羅霍、紹爾蘇、奇米昂、石油城、安集延等，在塔吉克蘇維埃社會主義共和國的有豪達格和烏契——基茲爾(捷爾麥茲城以西)，在土庫曼蘇維埃社會主義共和國的有涅比特達格和契列肯島。

Ⅶ. 西烏克蘭地區 油田分佈在德羅戈貝奇城附近：博里斯拉夫、斯科特尼察、貝斯特林、比特哥夫。在烏克蘭中部(羅曼油礦)也找到了石油。

Ⅷ. 遠東地區 在遠東，產油的地方是庫頁島的東岸(奧興、埃哈賓和卡坦格林油礦)及堪察加(布加喬夫油礦)。

Ⅸ. 烏赫塔地區(科密蘇維埃社會主義自治共和國) 古老的俄羅斯油礦就位於流入依日馬河(彼喬拉河的支流)的烏赫塔河上。早在1745年，Ф. 潑列雅杜諾夫便曾在此建立世界上第一個石油蒸餾廠。目前這個地區已有很大的發展。在此處正在進行生產的油礦有：烏赫塔、雅列格和謝特——依奧利。

在格魯吉亞蘇維埃社會主義共和國(米爾贊尼、小希拉克、塔里巴米、梯比里斯城附近等)，在北冰洋沿岸(諾爾德維克)，在貝加爾湖附近和在我們遼闊祖國的許多其他地方都已經是知道有油田。

除了蘇聯以外，世界上開采石油的地方有：美國、委內瑞

拉、墨西哥、伊朗、沙特阿拉伯、科威特(阿拉伯公国)、伊拉克、羅馬尼亞人民共和国、印度尼西亞(在婆罗洲島、苏門答腊島、爪哇島)、緬甸、哥倫比亞、阿根廷、奧地利、中华人民共和国和某些其他国家。在意大利最近發現了不少石油。

第3节 石油的餾份組成

在溫度逐漸增高的石油蒸餾过程中，組成石油的各个組分按它們的沸点升高的次序或就是按其飽和蒸汽压的下降次序蒸出，在蒸餾时，取出在一定溫度範圍內沸騰的各个餾份，同时量出它們的重量或体积数量，便可得出有关石油的餾份組成，也就是有关石油中的在一定的溫度範圍中沸騰的物質的百分含量的概念。

当在工厂中蒸餾石油时，截取平均具有下列沸点範圍的餾份：40—180°C（航空汽油）、40—205°C（車用汽油）、160—200°C（里格罗因）、200—300°C（煤油）、270—350°C（柴油）。这些石油产品都是透明的。

按照技术規範，所有这些所謂透明石油产品应具有完全确定的餾份組成，即不仅需要一定的沸点範圍，而且各个窄餾份的产率也是有一定規定的。

取出300°C以前的餾份后的殘油称为重油。將重油蒸餾后，便可取得各种潤滑油餾出物，它們通常不是按沸点来截取的，而是按粘度的大小来截取的。这些餾出物的技术名称計有：索拉油、錠子油、机器油、汽缸油。

当在常压下將石油加热至360—380°C以上时，索拉油和高沸点餾份組成中的高分子烴类便会产生热分解。因此，不可能在常压下用分餾的方法將它們从石油中分离出来。为了防止高沸点餾份的分解，石油或者在减压下进行蒸餾，或是采用蒸汽蒸餾。

众所週知，只有当液体的飽和蒸汽压克服外界的压力时，液体才开始沸騰。因此，当外界压力 P （公厘汞柱）下降时，液体

的沸点 ($t^{\circ}\text{C}$) 也降低, 并且外界压力 愈低, 降低愈多。以水、苯、十二烷($\text{C}_{12}\text{H}_{26}$)为例, 具有下例的数据:

水		苯		十二 烷	
p , 公厘汞柱	$t^{\circ}\text{C}$	p , 公厘汞柱	$t^{\circ}\text{C}$	p , 公厘汞柱	$t^{\circ}\text{C}$
760	100	760	80.5	760	214.5
92.5	50	181.5	40.0	26.2	110.0
4.6	0	26.6	0	5.8	80.0
0.034	-50	3.59	-30	—	—

应用高度真空便可能將石油的高沸点馏份的沸点降低 150—200°, 而且在蒸餾时它們也不致發生分解。

当用蒸汽蒸餾时, 沸点的降低是以道尔頓定律为基础的。根据道尔頓定律, 两种不互溶的液体的蒸汽混合物的压力等于它們的分压的总和, 亦即两种液体之中的任一种液体的蒸汽佔有整个容积时的压力之和。因此在用蒸汽蒸餾时, 石油的饱和蒸汽和水蒸汽的总压力在比不用蒸汽蒸餾时的温度低时便克服了外界压力。例如, 十二烷在 760 公厘汞柱时的沸点为 214.5°, 而用水蒸汽蒸餾时, 在温度 99.6° 时十二烷便被蒸出, 因为在这个温度时,

$$P_{\text{H}_2\text{O}} + P_{\text{C}_{12}\text{H}_{26}} = 743.8 + 16.2 = 760 \text{ 公厘汞柱}$$

重油蒸餾后的殘油, 視粘度而定, 称为瀝青油或半瀝青油。这些殘油可用来制备高粘度的潤滑油和筑路材料。

不同油田所产的石油在馏分組成上彼此間是有很大的差別。也有基本上由汽油和煤油馏分所組成的很輕的石油。例如, 貝斯特林石油(烏克蘭西部)在 300° 以前便餾出了 75 %。在苏联的許多石油中, 輕馏分(300° 以前)的含量平均为 30—50 %。但是除了輕質石油外, 也有差不多不含輕質馏分的重質石油。属于这种

石油的有：若尔迪巴依侏罗紀石油（恩巴）、卡坦格林（庫頁島）石油、卡盧加（庫班）石油、穆日—比拉（格罗茲內）石油，雅列格（烏赫太）石油等，这些石油中 300° 以前的馏分的含量不大于 9—12%，并几乎不含有汽油馏分。

有关石油的馏分組成的詳細材料都已收集于 A.C. 維里考夫和 C.H. 巴甫洛娃所編輯的“苏联的石油”一書中了。

通曉石油的馏分組成便能够选出將石油加工成为这种或那种商品石油产品的合理流程。

第一章 石油的化学組成

第 4 节 有关石油的元素組成和化学組成的一般知識

石油組成中的主要元素是碳和氫。这些元素的总含量平均为 97—98%，而在个别的情况下可达 99%。对于不同的石油，碳和氫的单独含量則在較窄的範圍內波动：碳——83—87%，氫——11—14%。仅很重的、芳香經含量高的石油除外。例如裘索夫油田的石油仅含氫 9.3%。

在石油的有机部分組成中，也含有少量的氧、硫、氮。第二巴庫（依森拜、吐依馬茲、裘索夫城、布古魯斯蘭等）和中亞細亞（烏契—基茲尔、豪达格）石油的含硫量最多（达 2.5—5%）。至于苏联其余大多数石油的含硫量均不高（0.5% 以下）。氧的含量約为 0.1—1%，而仅高膠質石油的氧含量才达 2%。石油中氮的含量更少（0.05—1.3%）。

石油是各种不同种类的有机化合物組成的复杂混合物，石油的化学組成的研究难于有規可循。仅对輕質汽油馏分做过較为詳細的研究。現代的研究方法提供了获得关于高沸点馏分（煤油—柴油和潤滑油）的屬化学組成的大致概念的 可能性，但整个来

說，我們所有的关于構成石油的各物質的知識还是远远不够的。

石油由烴类、硫化物、氧化物和氮化合物組成，而且除了含有組成和結構簡單的化合物外，石油中还含有高分子的瀝青——膠狀的物質，在这些物質的組成中，除了碳和氫外，同时还含有硫、氧和氮。此外，石油还含有極微量的礦物質。

不同屬类的烴类構成了石油組分的主体，但在某些油田的石油中，非烴类組分的份量还是很高的。例如，瀝青狀——膠狀物質的含量有时达20—30%。此外必須考虑到，在硫化物、氧化物和氮化合物中，硫、氧、氮与各种烴基相結合，1份(重量)这些元素通常与10—20份的碳和氫相結合。因而，当石油中即使含有極微量(1—2%)的硫、氧、氮时，石油中硫化物、氧化物和氮化合物的含量即可达百分之数十。

石油的化学組成的研究指出，石油中含有下述烴类，包括固体石蜡的甲烷屬烴(C_nH_{2n+2})，單环环烷屬烴(C_nH_{2n})，双环及三环环烷屬烴(C_nH_{2n-2} 、 C_nH_{2n-4})，單环芳香屬烴(C_nH_{2n-6})，双环及三环芳香屬烴，多环环烷屬和芳香屬烴，以及帶加氫苯环、部分加氫苯环、帶長側鏈和短側鏈的混系烴类(从 C_nH_{2n-8} 至 C_nH_{2n-30})。沸点較高的潤滑油馏分中就含有这些复杂的、結構各自不同的烴类。

石油和石油气中几乎不含不饱和的脂肪屬烴类(單烯屬烴、二烯屬烴、炔屬烴等等)。

石油中的氧化物主要是环烷屬烴的衍生物——环烷酸。也發現过酚类和飽和的羧酸。石油中的硫或以元素形式、或以被溶解的形式，或以开鏈化合物(硫醇、硫化物、二硫化物)的形式，或以杂环化合物(噻吩、也可能是噻吩)的形式而存在。也有以硫化氫的形式而存在。石油中的氮化合物主要是吡啶、喹啉的衍生物以及它們的加氫物，也有血的氯化血紅素及植物的叶綠素的分解产物——称为卟啉的复杂化合物。