



汽车燃料、 润滑油 及其应用

王毓民 主编



人民交通出版社

U473

W47

437519

QICHE RANLIAO RUNHUAYOU
JIQI YINGYONG

汽车燃料、润滑油及其应用

王毓民 主编



00437519

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要包括汽车用汽油、柴油、代用燃料、发动机润滑油、齿轮润滑油、润滑脂、自动变速器油、制动液的基本知识与性能特点,同时着重介绍了燃料与润滑剂的标准规格、分类分级、质量评定、正确选用等方法。本书可供汽车设计、汽车拖拉机专业师生和从事汽车运输、油料科研与管理人员阅读,亦可作为大专院校汽车运用工程专业的教材使用。

DW77/23

汽车燃料、润滑油及其应用

王毓民 主编

插图设计:高静芳 正文设计:崔凤莲 责任校对:杨杰

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京市顺义牛栏山印刷厂印刷

开本:850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张:15.875 插页:1 字数:430千

1994年10月 第1版

1996年3月 第1版 第2次印刷

印数:5,001—10,000册 定价:23.00元

ISBN 7-114-01976-9

U·01315

前 言

本书内容包括汽车用汽油、柴油、代用燃料、发动机润滑油、齿轮润滑油、润滑脂、自动变速器油、制动液的基本知识与性能特点，同时着重介绍燃料与润滑剂的规格标准、分类分级、质量评定、正确选用等方法。

本书由王毓民主编，第一至四章由董元虎编写，第五至九章由王毓民编写，全书由王毓民统稿。

本书可供汽车设计、汽车拖拉机专业师生和从事汽车运输、油料科研与管理人员阅读，亦可作为大专院校汽车运用工程专业的教材使用。

编 者

目 录

第一章 石油的基础知识	1
第一节 石油概述.....	1
第二节 石油的烃类组成.....	2
第三节 石油的非烃类组成.....	7
第四节 石油的分类	11
第五节 石油的炼制	12
第二章 汽油的使用性能	23
第一节 汽油的蒸发性	23
第二节 汽油的抗爆性	37
第三节 汽油的氧化安定性和物理安定性	55
第四节 汽油的腐蚀性	64
第五节 汽油中的机械杂质和水分	70
第六节 汽油规格与使用注意事项	71
第三章 轻柴油的使用性能	76
第一节 柴油的低温流动性	76
第二节 柴油的雾化和蒸发性	85
第三节 柴油的抗粗暴性	89
第四节 柴油的安定性	96
第五节 柴油的腐蚀性	98
第六节 柴油的规格及牌号选用.....	101
第四章 汽车石油代用燃料	104
第一节 汽车石油代用燃料概况.....	104
第二节 甲醇汽油混合燃料.....	107
第三节 乳化燃料.....	114
第四节 其他代用燃料.....	116

第五章 汽车发动机润滑油	120
第一节 汽车发动机润滑油的作用和要求.....	120
第二节 汽车发动机润滑油的分类和规格.....	127
第三节 润滑油的粘度及使用上的意义.....	185
第四节 发动机润滑油的主要使用性能.....	204
第五节 润滑油的理化性质试验及意义.....	234
第六节 发动机润滑油的评定方法.....	255
第七节 发动机润滑油的选用.....	274
第八节 发动机润滑油的更换.....	288
第九节 二冲程汽油发动机润滑油.....	305
第六章 汽车齿轮油	315
第一节 汽车齿轮的润滑特点.....	316
第二节 齿轮润滑油的性质.....	321
第三节 国外汽车齿轮油的分类和规格.....	329
第四节 汽车齿轮油的评定方法.....	345
第五节 汽车齿轮油的使用性能.....	352
第六节 汽车齿轮油的分类和规格.....	363
第七章 汽车用润滑脂	380
第一节 润滑脂的结构特点.....	380
第二节 润滑脂的组成.....	382
第三节 润滑脂的分类.....	391
第四节 润滑脂的主要质量指标及其在使用上的意义.....	395
第五节 汽车润滑脂的特点及使用.....	406
第六节 汽车润滑脂的选用原则.....	424
第七节 润滑脂在汽车上的应用.....	432
第八章 汽车制动液	445
第一节 汽车制动液的主要性能要求.....	446
第二节 汽车制动液的分类和规格.....	449
第三节 汽车制动液的使用与管理.....	464

第九章 汽车液力传动油	467
第一节 液力传动油的性质和组成	467
第二节 液力传动油的规格	475
第三节 液力传动油的使用性能	484
附录 石油添加剂分类与对照表	489
参考文献	501

第一章 石油的基础知识

第一节 石油概述

石油是埋藏在地下的天然矿物，未经炼制前也叫原油。在常温下，原油大都呈现液体或半液体状态，颜色多为黑色或深棕色，也有暗绿色、赤褐色或黄色，且有特殊气味。原油中如含胶质和沥青质越多，颜色越深，气味越浓；含硫化物和氮化物越多，则气味越臭。不同产地的原油，其密度也不相同。但一般都不大于1，多数在0.80~0.98之间，个别低于0.70；凝点的差异较大，有的高达30℃以上，有的却低于-50℃。表1-1所列为我国部分石油产地的原油密度及其主要性质。

我国部分石油产地的原油密度及主要性质 表 1-1

原油性质	大庆混合原油	胜利混合原油	大港混合原油	玉门原油	克拉玛依原油	孤岛混合原油
相对密度, ρ_{4}^{20}	0.8552	0.9070	0.8696	0.8698	0.8678	0.9492
粘度, 50℃, mm ² /s	22.15	121.38	20.64	15.9	19.23	243.5
凝点, ℃	24	20	20	8	-50	-4
含盐(NaCl), mg/L		140	74	1480	9	19.92
酸值, mgKOH/g		0.56		0.40	0.78	1.70

原油之所以在外观和物理性质上存在差异，其根本原因是化学组成成分不同。原油既不是由单一元素组成的单质，也不是由两种以上元素组成的化合物，而是由各种元素组成的多种化合物的混合物。因此，其性质不像单质和化合物那样肯定，而是所含各种化合物的综合表现。正由于石油的化学组成十分复杂，所以

不同产地、甚至同一产地而不同油井的原油，在组成成分上也有一定差异。

尽管石油组成成分很复杂，但科学技术现已可把石油中所含主要的化学元素大致地测定出来。不论是何产地的原油，都是主要含碳、氢、硫、氧和氮等元素。其中碳的含量约占 83%~87%，氢的含量约占 11%~14%，这两者的比例 (C/H) 约为 6~7.5。硫、氧和氮三种合计约占 1%~4%。在原油中发现的金属元素和非金属元素的种类很多，如镍、钒、铁、钾、钠、镁、铜、铝、氯、碘、磷、砷和硅等。但合计含量也很少，约占 0.003% 以下。表 1-2 为几种不同产地原油的元素组成。

石油的元素组成, % (m/m)

表 1-2

石油产地	C	H	S	O	N	C/H
大庆 (混合油)	85.74	13.31	0.11	—	0.15	6.45
胜利 (混合油)	86.26	12.20	0.80	—	0.41	7.07
大港 (混合油)	85.67	13.40	0.12	—	0.23	6.39
玉 门	83.85	12.87	0.18	—	0.45	6.46
克拉玛依	86.13	13.30	0.04	0.28	0.25	6.47
伊 朗	85.4	12.80	1.06	0.74	—	6.57
墨西哥	84.20	11.40	3.60	0.80	—	7.39

上表所列各种元素在原油中并不是以单质的结构存在，而是以相互结合的各种碳氢或非碳氢化合物而存在。

第二节 石油的烃类组成

一、石油馏分及石油的烃类

在研究石油的组成以前，首先要弄明白有关石油馏分的一些

概念。

在炼油厂里，石油加工的第一步是初馏，石油是个多组分的复杂的混合物，即由不同分子量、不同结构的复杂的化合物组成的混合物。在炼油厂中通常没有必要把石油分成单个组分，而是把石油切割成几个馏分，例如分成沸点低于 200°C 的馏分， $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的馏分等。

馏分就是液体在分馏过程中所得到的蒸馏物。馏分前常冠以汽油、煤油、柴油和润滑油等石油产品的名称。但这些馏分需要再加工才能得到各种石油产品，因此我们在研究中常以石油馏分作为对象。我们不仅希望知道各种物质在石油中的含量，而且更希望了解它们在各馏分中的含量，从而掌握其规律。因此，通常是采用馏分组成与化学组成相结合的方法来研究石油的组成，且往往从不同角度来认识石油。如从元素组成了解石油中究竟存在哪些元素，其含量关系如何；从化学组成及馏分组分角度来认识石油，了解它究竟含有哪些族的化合物，其随馏分变化的分布情况如何；此外，还可从物质性态上了解石油含有哪些气体、液体、固体的化合物等。

表 1-3 列出了按美国石油学会 (API) 检测方法第六项从 Ponca City 的标准石油中所分离出的主要烃类化合物。从此项工作所获得的数据可得出以下结论：

- (1) 所有石油基本上含有相同的烃类化合物。
- (2) 每种石油的汽油馏分中的主要化合物可分为五个类别：正构烷烃、异构烷烃、烷基环戊烷烃类、烷基环己烷烃类及烷基苯类等。

- (3) 对于不同种类的石油，这五类化合物的每一类中的各种化合物通常是按相同数量级的比例存在的。

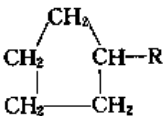
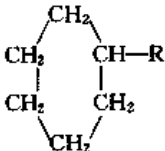
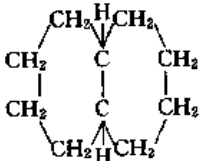
以上主要是关于汽油馏分的结论。应当指出，对于原油所含的五种主要类别化合物来说，各种原油的烃类比例差别很大，并且原油除具有汽油所含的烃类外，还含有多核烃类。

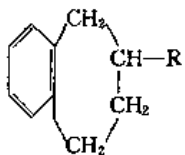
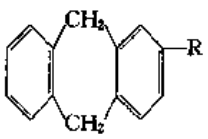
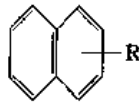
从表 1-3 可看出组成原油的烃大都是烷烃、环烷烃和芳香烃

等三大类。

按美国石油学会检测方法第六项
分离出的主要烃类化合物

表 1-3

烃类名称	烃类结构, %
链烷烃	
正构烷	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{R}$ 14
异构烷	$\left. \begin{array}{l} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{R} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{CH}_3 \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{R} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{CH}_3 \end{array} \right\}$ 18
环烷烃	
烷基环戊烷类	 10
烷基环己烷类	 6
双环烷烃	 5
芳香烃	
烷基苯	 18

烃类名称	烃类结构,%	
芳构环烷烃		5
茚		3
双核芳烃		17
三核和四核芳烃		4

二、石油中的各类烃

1. 烷烃

烷烃是开链的饱和烃, 通式为 C_nH_{2n+2} , 分子内碳与碳单键相联, 碳的剩余键为氢所饱和。凡碳链为直链者称正构烷, 有支链者称异构烷。在常温下 $C_1 \sim C_4$ 的正构烷呈气体; $C_5 \sim C_{15}$ 的正构烷呈液体 (是汽油和煤油的主要成分); C_{16} 以上的正构烷呈固体 (是石蜡的主要成分)。异构烷烃较碳原子数相同的正构烷烃沸点要低, 且异构化愈利害沸点降低愈显著。烷烃的沸点、密度、熔点和折射率均随分子量的增大而升高, 异构烷烃较碳原子数相同的正构烷烃粘度大, 粘温性差。

2. 环烷烃

环烷烃是闭链的饱和烃, 通式为 C_nH_{2n} 。分子内碳与碳单键相联且呈环状, 碳的剩余键为氢所饱和。环烷烃的物理化学性质与烷烃近似, 一般条件下性质较稳定, 不易氧化。在某些条件下, 环

烷烃表现出环状结构的特性，随环烷烃分子量的增大，环烷烃沸点和熔点升高，密度增大。

对大多数石油来说，环烷烃是主体成分。通常中间馏分和高沸点馏分中含量可达 60%~70%，贫蜡石油和无蜡石油中环烷烃含量还会更高。环烷烃无论对燃料油或润滑油都是理想组分，汽油中环烷烃的抗爆性比正构烷烃好，仅次于异构烷和芳香烃；在柴油中燃烧性能较烷烃差。少环长侧链的环烷烃是润滑油的理想组分，因其粘温性好且凝点低。

3. 芳香烃

凡具有苯环 () 结构的烃称芳香烃。芳香烃的性质十分

稳定，在几类烃中最难氧化。因为苯环中碳原子都以 SP^2 杂化构成六个 $C-C\sigma$ 键和六个 $C-H\sigma$ 键，这样六个碳原子还各有一个未杂化的 P 电子形成一个封闭的大 π 键，由于苯环上参加大 π 键的电子在整个苯环上运动受到六个碳原子核的共同吸引，从而使这个大 π 键比较稳定，不易进行加成或氧化反应，没有侧链的芳香烃是最难氧化的，多环带侧链的芳香烃容易氧化，产物为胶状物。

芳香烃的化学活性通常介于烯烃与烷烃之间。芳香烃在汽油机中抗爆性特好，其辛烷值高，可以作为汽油的组分。又因为难于自燃，十六烷值低，是柴油中的不良组分。

三、烃类在石油馏分中的分布

从总的概念来说，随着石油馏分沸点的升高，三类烃的分子量均随之增大，碳原子个数增多，环烷烃和芳香烃的环数增加。这就是说，碳原子个数少，分子量小和环数少的烃都分布在低沸点馏分中；反之，则分布在高沸点的馏分中。具体来说，三类烃在石油馏分中分布规律如下。

1. 烷烃

烷烃的分布是随馏分沸点的升高而逐渐减少。在汽油馏分中的含量可高达 50% 左右，而在 400~500℃ 的高沸点馏分中，含量

一般只有 10% 左右。含有 $C_5 \sim C_{11}$ 的正构烷大都分布在 200°C 以前的汽油馏分中， $200 \sim 350^\circ\text{C}$ 的煤油馏分中所含的正构烷烃，大都是 $C_{11} \sim C_{20}$ 的正构烷烃。含有 $C_{20} \sim C_{38}$ 左右的正构烷烃，均分布在 $350 \sim 500^\circ\text{C}$ 的润滑油馏分中。

在不同沸点范围内的馏分中，异构烷均少于正构烷烃，结构复杂的异构烷又少于结构简单的异构烷烃。由于异构烷烃的沸点均比相同碳原子的正构烷烃低，所以含碳原子的个数在各不同沸点范围内的馏分中的分布与正构烷烃有些差异。

2. 环烷烃

环烷烃在石油馏分中分布比较均匀，但中间馏分中稍多。在汽油馏分中，大都是带短烷基侧链的环戊烷和环己烷，只有极少量的双环环烷烃。在煤油和柴油馏分中，大多是带长烷基侧链的单环环烷烃，其次是双环环烷烃，三环环烷烃的含量很少。在高沸点的润滑油馏分中，大多是带烷基侧链的双环环烷烃，三环以上环烷烃的含量也比较多，但也还含有少量带长烷基侧链的单环环烷烃。

3. 芳香烃

芳香烃的分布是随馏分沸点的升高而逐渐增多。在 $400 \sim 500^\circ\text{C}$ 的高沸点馏分中，其含量可达到 30% 以上，而在低沸点的汽油馏分中，含量大多在 10% 左右。带短烷基侧链的单环芳香烃，大都分布在汽油馏分中。在煤油、柴油和润滑油馏分中，也都有单环芳香烃分布，但随着沸点的升高，其侧链越长，数目越多。双环和三环芳香烃大多分布在煤油和柴油馏分中，但双环所占比例较大，也有一部分分布在润滑油馏分中。三环以上的芳香烃，均分布在润滑油馏分中。

上述分布规律仅对原油的直馏馏分来说。

第三节 石油的非烃类组成

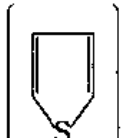
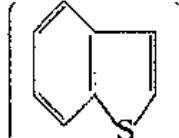
原油中除了各种烃类以外，还含有一些非烃类化合物。这些

非烃类化合物大都对原油加工和产品的质量带来不利影响，所以在炼制过程中都要尽可能将它们除去。

一、含硫化合物

任何产地的原油，都或多或少地含有硫，但含量多少却相差较大。一般来说，含有很多烷烃和环烷烃的原油，其硫含量都较低；含芳香烃和胶质较多的原油，硫含量大都比较高。通常把含硫量大于 2.0% 的原油称高硫原油，低于 0.5% 的原油称低硫原油，而介于 0.5%~2.0% 之间的原油称含硫原油。我国的石油大多数属于低硫或含硫原油。

石油中含硫量随馏分沸点升高而增加，含硫量的一半以上集中于重油中，主要存在于沥青质中。根据化学活性，石油中的硫化物可分为活性硫化物和非活性硫化物。活性硫化物能直接与金属作用引起对金属腐蚀。像硫化氢 (H_2S)、硫醇 (RSH) 和元素硫等，其中 H_2S 的腐蚀性最强。这类硫化物在原油中含量较少，大多在加工过程中由其他硫化物分解生成，主要集中在低沸点馏分中。非活性硫化物不能直接与金属起反应，但它可间接造成腐蚀，它们多集中在高沸点馏分中。根据对热稳定与否可分为两种非活性硫化物，对热不稳定的硫化物有硫醚 ($\text{R}-\text{S}-\text{R}'$)、二硫醚 ($\text{R}-\text{S}-\text{S}-\text{R}'$) 等，它们在 $130\sim 160^\circ\text{C}$ 即开始分解，生成硫醇、硫化氢等，造成对金属的腐蚀；对热很稳定的硫化物，是一些环状

硫化物。如噻吩 、苯并噻吩  等。当油燃烧

时，它们与氧反应生成二氧化硫和三氧化硫，遇水则形成酸，造成对金属腐蚀。总之，无论是哪种硫化物都是有害的。它们使金属遭腐蚀、大气被污染、催化转换器中的催化剂中毒、降低汽油的受铅性等。因此，在石油产品规格中对活性硫和总硫的含量都有限制，在加工精制时是清除的对象。

二、含氧化合物

石油中含氧量一般在千分之几范围内，个别地区的原油也有超过1%的。石油中含氧化合物的80%~90%集中在环烷酸中，大约10%左右以石油酸的形态存在（脂肪酸、酚类等）。此外，还有微量的酮、醛、酯等中性含氧化合物。

环烷酸是石油中主要的酸性含氧化合物，占石油酸总量的95%左右。所有石油中都含环烷酸，我国大港和克拉玛依的原油含环烷酸较多，其他油田原油的环烷酸含量较少。环烷酸在石油中的分布规律很特殊，中间馏分（250~350℃）含量高，而低沸点馏分和高沸点馏分中含量均低。所以环烷酸在汽油中极少，煤油中较少，润滑油中含量也少，多数集中在柴油、锭子油之中。

环烷酸是典型的一元酸，其化学性质与脂肪酸相似，具有普通羧酸的一些性质，易溶于油而不溶于水，易溶于许多有机溶剂。不仅和碱而且和金属氧化物进行中和反应，生成环烷酸盐。在水存在的高温条件下，可以与多种金属直接反应生成相应的环烷酸盐。环烷酸盐不溶于油，对油氧化起催化作用。总之，环烷酸存在对石油产品是有害的，在精制时是清除的对象。

环烷酸的密度介于0.95~1.02之间，随分子量的加大粘度增大，颜色加深，酸值降低。低分子环烷酸为油状液体，有特殊气味；高分子环烷酸为粘稠胶状暗褐色物质。

三、含氮化合物

石油中含氮化合物含量很少，一般为万分之几到千分之几。从石油中分出的含氮化合物有碱性含氮化合物、氮的杂环化合物、非碱性含氮化合物和噻（注：噻读“雷”音）族化合物。

和其他非烃类化合物一样，随馏分沸点升高氮的含量增加。氮化物性质不稳定，易氧化叠合生成有色胶质，使油品颜色变深，质量下降，不能长期贮存。氮化物还可以使酸性催化剂中毒。当其含量高时，燃烧有臭味。在精制时，氮化物应清除干净。

四、胶质和沥青质

胶质和沥青质是一些含有 C、H、O、N、S 等元素的多环化合物的混合物，其结构目前还没搞得太清楚，它大致是一些分子量很高的杂环化合物。原油中 90% 以上的氧、80% 以上的氮和 50% 以上的硫都集中在胶质和沥青质中。从元素组成来看，胶质和沥青质含碳 85% 以上，氢 10% 左右，硫、氮、氧的总含量小于 5%。胶质和沥青质是石油中非烃类化合物的主体，它的含量是相当大的。一般轻质石油含 5%~10%，重质石油含 40%~50%。

胶质和沥青质是有区别的。它们的性质见表 1-4 所示。

胶质和沥青质的性质对比

表 1-4

名 称	胶 质	沥 青 质
分 子 量	500~1000	3000~5000
密 度	1.00~1.07	>1
C/H	8~9	10~11
外观	淡黄色至黑褐色粘稠物	暗褐色至黑色非晶态粉末
溶 解 情 况	能溶于石油醚、苯、二硫化碳和氯仿等一切石油馏分中，不溶于酒精	能溶于苯、氯仿、二硫化碳、四氯化碳，不溶于石油醚及酒精
在石油中的 状态	呈溶液状态存在	当芳香烃多时呈胶体，当烷烃多时呈悬浮体
在石油中的 分布	可随石油烃类一起挥发，随沸点升高含量增加，其中 15% 的量含在馏分中，85% 的量含在渣油中	不随烃类挥发，通常馏分中不含沥青，全部集中在渣油中

石油中胶质和沥青质不是某种单一的化合物，而是多种多样复杂的杂环化合物的混合物。它的组成不是单一的，理化性质也在一定范围内波动。它的存在对石油产品有害，可使油品颜色变