

张滨友 主编

汽车燃料和润滑剂

Qiche RanLiao

He

Runhuaji



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

汽车燃料和润滑剂

主编 张滨友

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车燃料和润滑剂/张滨友主编. —北京:北京理工大学出版社,
2003.9

ISBN 7-5640-0141-0

I. 汽… II. 张… III. ①汽车-燃料-基本知识 ②汽车-润
滑剂-基本知识 IV. U473

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 031105 号

出版发行/ 北京理工大学出版社

社 址/ 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编/ 100081

电 话/ (010) 68914775 (办公室) 68912824 (发行部)

网 址/ [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

电子邮箱/ chiefedit@bitpress.com.cn

经 销/ 全国各地新华书店

印 刷/ 北京地质印刷厂

开 本/ 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张/ 25

字 数/ 600 千字

版 次/ 2003 年 9 月第 1 版 2003 年 9 月第 1 次印刷

印 数/ 1~3500 册

定 价/ 40.00 元

责任校对/ 郑兴玉

责任印制/ 刘京凤

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

出版说明

为贯彻汽车工业产业政策，推动和加强汽车工程图书的出版工作，中国汽车工程学会成立了“汽车工程图书出版专家委员会”。委员会由有关领导机关、企事业单位、大中专院校的专家和学者组成，其中心任务是策划、推荐、评审各类汽车图书选题。图书选题的范围包括：学术水平高、内容有创见、在工程技术理论方面有突破的应用科学专著和教材；学术思想新颖、内容具体、实用，对汽车工程技术有较大推动作用，密切结合汽车工业技术现代化，有高新技术内容的工程技术类图书；有重要发展前景，有重大使用价值，密切结合汽车工程技术现代化需要的新工艺、新材料图书；反映国外汽车工程先进技术的译著；使用维修、普及类汽车图书。

出版专家委员会是在深化改革中，实行专业学会、企业、学校、研究所等相互结合，专家学者直接参与并推动专业图书向高水平、高质量、有序发展的新尝试。它必将对活跃、繁荣专业著作的出版事业起到很好的推动作用。希望各位同仁、专家积极参与、关心、监督我们的工作。限于水平和经验，委员会推荐出版的图书难免存在不足之处，敬请广大同行和读者批评指正。

本书由周一鸣、毛恩荣编写，阮宝湘主审，经专家委员会评审通过、推荐出版。

汽车工程图书出版专家委员会

前 言

油料作为一种材料，在汽车生产和汽车工业的技术进步方面起着越来越重要的作用。

本文所涉及的油料是汽车生产中常用的汽车产品用油，汽车生产加工用工艺介质（即金属加工油或液）。

汽车产品用油包括车用燃料、发动机油、齿轮油、自动传动油、润滑脂及特种液（制动液、防冻液）等。

汽车生产加工用介质（金属加工油或液）是在汽车生产中完成各个工序所需一类材料的总称。其中包括各种切削油、切削液、各种珩磨液，各种拉拔挤压用润滑剂，各种压铸涂料，铸造脱模剂，各种热处理淬火油及淬火剂等。

汽车产品用油作为汽车的液体元件与其他汽车零部件一起构成汽车整体。因此汽车产品用油的质量水平对汽车行驶、汽车的可靠性、安全性、经济性、动力性以及汽车的排放与节能都有重要的影响。特别是燃料油，随着人们对能源的关注和对排放的重视。目前汽车所用的主要燃料，即汽油和柴油已经成为全社会都在关心的重要问题。

汽车生产加工用工艺介质质量的优劣则标志着一个汽车企业生产加工工艺水平的先进与落后，对汽车加工件的质量和生态环境有很大影响。

国外大汽车公司都设有专门的试验室或相关机构进行这方面的研究或开发，在美国 SAE，燃料和润滑油液作为一个独立的分会和材料分会分设开来，足见其重要性。因此我们普及和提高油料产品应用技术是十分必要和十分迫切的。

为此中国工程学会油料委员会牵头组织了一批有经验的，长期从事油料应用工作的人员，编写了本书。本书分十章，第一章石油资源与石油炼制，由北京石科院祖德光教授级高级工程师编写；第二章汽油、液化石油气、天然气，由中石油兰州研发中心周惠娟工程师、张少明高级工程师编写；第三章轻柴油，由中石油兰州研发中心李雪静高级工程师编写；第四章发动机油，由上炼研究所潘文焕高级工程师及张维炯高级工程师编写；第五章车辆齿轮油，由中石油兰州研发中心伏喜胜高级工程师和付兴国高级工程师编写；第六章汽车自动传动液，由北京石科院唐俊杰教授级高级工程师编写；第七章润滑脂，由燕化集团天津润滑油脂有限公司朱振立高级工程师编写；第八章特种液体，其中制动液部分，由无锡炼油厂王训时高级工程师编写，乙二醇型发动机冷却液由总后油料所李庆年高级工程师及李建华，冷观俊，周建军等四人编写；第九章金属加工润滑技术及第十章淬火介质，由长春汽车材料研究所张克金高级工程师，张滨友研究员级高级工程师及东风汽车公司常开孝高级工程师编写。在文字和图片整理过程中得到长春汽车材料研究所付吉顺和胡赤心同志的大力支持，在此一并感谢。

由于编撰人员众多，篇幅较大，编撰时间较紧，加之我们水平有限，错误及不当之处在所难免，请读者谅解，并欢迎对本书提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一章 石油资源与石油炼制	
1.1 石油资源	(1)
1.1.1 我国的石油资源	(1)
1.1.2 石油的化学组成	(2)
1.1.3 原油的种类与分类	(7)
1.2 石油炼制	(9)
1.2.1 石油炼制的原理与流程	(9)
1.2.2 原油的常减压蒸馏	(9)
1.2.3 轻质燃料油的生产工艺	(13)
1.2.4 润滑油生产工艺	(31)
第二章 汽油 液化石油气 天然气	
2.1 主要性质和组成	(45)
2.2 汽油燃烧性能	(49)
2.2.1 爆震	(49)
2.2.2 实验室辛烷值	(50)
2.2.3 道路辛烷值	(51)
2.2.4 抗爆剂	(53)
2.2.5 辛烷值的要求值	(53)
2.2.6 爆震以外的异常燃烧	(54)
2.3 汽油挥发性	(55)
2.3.1 启动性能和气阻形成倾向	(55)
2.3.2 发动机的暖机性和加速性能	(55)
2.3.3 发动机的磨损和运转经济性	(56)
2.4 燃料的经济性	(56)
2.4.1 辛烷值的影响	(56)
2.4.2 除辛烷值以外汽油其他性能的影响	(57)
2.5 汽油的氧化安定性	(58)
2.5.1 储存安定性	(58)
2.5.2 进气系统中的沉积物	(58)
2.6 排气	(61)
2.6.1 汽车排气污染物的危害	(61)
2.6.2 汽油性质和组成对排放的影响	(62)
2.6.3 国内外减少汽车排气污染的措施及 清洁燃料的发展趋势	(64)
2.7 液化石油气	(69)
2.7.1 液化石油气 (LPG) 的性质	(69)
2.7.2 LPG 的动力性能	(71)
2.7.3 LPG 汽车与汽油车的排放比较	(72)
2.7.4 LPG 车燃料经济性	(73)
2.8 天然气	(73)
2.8.1 天然气的性质	(73)
2.8.2 天然气汽车燃料的辛烷值与动力性	(76)
2.8.3 天然气的安全性、清净性和经济性	(77)
2.9 醇醚混合汽油	(77)
2.9.1 辛烷值	(78)
2.9.2 挥发性	(79)
2.9.3 燃料消耗和排放	(79)
第三章 轻柴油	
3.1 主要性质及组成	(80)
3.2 着火性能	(83)
3.2.1 柴油发动机的燃烧与爆震	(83)
3.2.2 十六烷值和十六烷值指数	(84)
3.2.3 十六烷值改进剂	(85)
3.3 运转性、可靠性	(86)
3.3.1 低温启动性	(86)
3.3.2 低温流动性	(87)
3.3.3 粘度	(87)
3.3.4 硫含量	(88)
3.4 安定性	(89)
3.5 排放	(91)
3.5.1 柴油机的排放污染物	(91)
3.5.2 柴油性质对排放的影响	(92)
3.5.3 排气法规	(93)
3.6 燃料经济性	(95)
第四章 发动机油	
4.1 发动机油作用	(96)
4.1.1 润滑与减摩作用	(96)
4.1.2 冷却作用	(97)
4.1.3 密封作用	(98)
4.1.4 清洗作用	(98)
4.1.5 防锈和抗腐蚀作用	(99)
4.2 发动机油分类	(100)

4.2.1 发动机油的使用分类	(100)	5.3 车辆齿轮油的分类及规格	(206)
4.2.2 发动机油的粘度分类	(100)	5.3.1 车辆齿轮油使用分类	(206)
4.2.3 发动机油的质量分类	(101)	5.3.2 车辆齿轮油粘度分类	(207)
4.3 发动机油的组成	(108)	5.3.3 车辆齿轮油的规格	(208)
4.3.1 基础油	(108)	5.4 车辆齿轮油的组成	(210)
4.3.2 发动机油添加剂	(114)	5.4.1 车辆齿轮油基础油	(210)
4.4 发动机油的性能要求	(121)	5.4.2 车辆齿轮油添加剂	(211)
4.4.1 粘度和粘温性	(121)	5.5 车辆齿轮油性质	(214)
4.4.2 流变性和泵送性	(122)	5.5.1 车辆齿轮油的流变性	(214)
4.4.3 清净分散性	(124)	5.5.2 车辆齿轮油的极压抗磨性	(214)
4.4.4 抗氧化性能	(125)	5.5.3 车辆齿轮油的热氧化安定性	(214)
4.4.5 抗磨性能	(126)	5.5.4 车辆齿轮油的防锈防腐性	(215)
4.4.6 减磨性能	(126)	5.5.5 车辆齿轮油的抗泡性	(215)
4.5 发动机润滑油的选用和换油期	(127)	5.5.6 车辆齿轮油的贮存稳定性及相容性	(215)
4.5.1 选用原则	(127)	5.5.7 车辆齿轮油的密封适应性	(215)
4.5.2 换油期和换油指标	(132)	5.6 车辆齿轮油的应用	(215)
4.5.3 影响换油期的主要因素	(137)	5.6.1 车辆齿轮油的选用	(215)
4.5.4 换油期的判别方法	(138)	5.6.2 车辆齿轮油应用中存在的问题及注意 事项	(217)
4.5.5 正确的换油方法	(139)		
4.6 汽油机油	(140)		
4.6.1 汽油机油润滑	(140)		
4.6.2 汽油机油的组成及性能要求	(143)		
4.6.3 汽油机油品种及评定项目	(150)		
4.7 柴油机油	(166)		
4.7.1 柴油机油润滑	(166)		
4.7.2 柴油机油组成及性能要求	(167)		
4.7.3 柴油机油品种及模拟评定	(173)		
4.8 二冲程汽油机油	(189)		
4.8.1 二冲程汽油机工作及润滑方式	(189)		
4.8.2 二冲程汽油机油的组成及性能要求	(191)		
4.8.3 品种, 规格及台架试验	(194)		
第五章 车辆齿轮油			
5.1 齿轮和齿轮润滑油简介	(201)		
5.1.1 齿轮	(201)		
5.1.2 齿轮润滑	(201)		
5.2 车辆齿轮油及其添加剂发展概况	(202)		
5.2.1 国外车辆齿轮油及其添加剂发展趋势	(202)		
5.2.2 国内车辆齿轮油及其添加剂现状	(204)		
5.2.3 国内车辆齿轮油及其添加剂领域的 研究方向	(205)		
		第六章 汽车自动传动液	
		6.1 简介	(219)
		6.2 汽车自动传动液的作用及性能要求	(219)
		6.2.1 汽车自动传动液的作用	(219)
		6.2.2 汽车自动传动液的性能要求	(219)
		6.3 汽车自动传动液的分类	(221)
		6.4 汽车自动传动液的规格标准	(222)
		6.4.1 通用汽车公司的自动变速箱传动 液 Dexron 规格	(222)
		6.4.2 福特汽车公司的自动变速箱传动 液 Mercon 规格	(222)
		6.4.3 埃里逊公司重负荷传动液 Allison C 规格	(222)
		6.4.4 卡特皮勒 (Caterpillar) 公司的分动箱 传动液 TO 规格	(223)
		6.5 汽车自动传动液的组成	(226)
		6.5.1 基础油	(226)
		6.5.2 稠化剂	(231)
		6.5.3 功能添加剂	(232)
		6.6 汽车自动传动液的性能评定	(234)
		6.6.1 主要理化性能评定	(234)
		6.6.2 台架评定	(235)
		6.7 汽车自动传动液的选用	(237)

第七章 润滑脂	
7.1 润滑脂的概念	(238)
7.1.1 脂的定义和结构概述	(238)
7.1.2 润滑脂的组成	(239)
7.2 脂的特征	(249)
7.2.1 脂的流动性质	(249)
7.2.2 脂的稠度性质及温度性质	(250)
7.2.3 脂的润滑作用	(251)
7.2.4 脂的优缺点	(252)
7.3 脂的分类	(253)
7.3.1 脂的旧分类	(253)
7.3.2 脂的新分类	(254)
7.4 润滑脂的制造方法简介	(255)
7.4.1 皂基脂制造方法举例	(255)
7.4.2 非皂基脂制造方法举例	(256)
7.5 润滑脂的试验方法	(256)
7.5.1 一般理化试验	(256)
7.5.2 性能试验	(257)
7.6 汽车用润滑脂	(258)
7.6.1 底盘用脂	(258)
7.6.2 轮毂轴用脂	(258)
第八章 特种液体	
8.1 制动液	(261)
8.1.1 概述	(261)
8.1.2 制动液的性能要求	(263)
8.1.3 制动液的分类和规格标准	(264)
8.1.4 制动液组成及其作用	(266)
8.1.5 制动液的试验方法	(272)
8.1.6 制动液的使用	(274)
8.2 乙二醇型发动机冷却液	(277)
8.2.1 乙二醇型发动机冷却液的产生与发展	(277)
8.2.2 乙二醇型发动机冷却液标准和试验方法	(281)
8.2.3 乙二醇型发动机冷却液使用中的注意事项	(284)
第九章 金属加工润滑技术	
9.1 金属成型加工中的润滑	(287)
9.1.1 锻压加工	(287)
9.1.2 挤压加工	(288)
9.1.3 棒和线材拉拔	(289)
9.1.4 板材成型加工	(289)
9.2 金属有屑加工润滑	(291)
9.2.1 切削加工	(292)
9.2.2 磨削加工	(294)
9.3 润滑与表面质量的关系	(296)
9.3.1 表面物理特性	(296)
9.3.2 表面化学特性	(296)
9.3.3 表面结构	(297)
9.3.4 零件加工前的表面处理	(298)
9.3.5 表面涂层处理	(299)
9.4 金属加工润滑原理	(299)
9.4.1 摩擦	(299)
9.4.2 磨损	(301)
9.4.3 润滑作用机理	(302)
9.4.4 润滑剂物理特性的作用	(303)
9.5 金属加工润滑剂的化学特性	(304)
9.5.1 水基液体	(305)
9.5.2 油溶性体系	(311)
9.5.3 悬浮液、膏状物、固体润滑剂和涂层	(312)
9.5.4 添加剂	(314)
9.6 金属加工润滑剂的筛选	(319)
9.6.1 润滑剂模拟性能试验方法	(319)
9.6.2 润滑剂模拟台架试验	(320)
9.7 金属加工润滑剂的应用技术	(322)
9.8 金属加工润滑剂质量控制方法	(324)
9.9 金属加工润滑剂毒性及微生物概念	(332)
9.9.1 金属加工润滑剂的毒性概念	(333)
9.9.2 切削液中的微生物概念	(335)
9.10 润滑剂的净化、再生和排放	(338)
9.10.1 净化处理	(340)
9.10.2 换液、再生和循环利用	(343)
9.10.3 排放处理	(346)
9.11 金属成型加工润滑剂的选择	(346)
9.11.1 锻压加工	(347)
9.11.2 挤压	(348)
9.11.3 棒材、管材和线材拉拔	(349)
9.11.4 板材成型加工	(350)
9.11.5 金属塑性加工润滑剂的调配	(355)
9.11.6 常用的塑性加工润滑剂调配实例	(356)
9.12 金属有屑加工润滑剂选用	(357)
9.12.1 金属切削加工	(358)
9.12.2 金属磨削加工	(359)
9.12.3 常用金属有屑加工润滑剂调配技术	

.....	(360)	10.3.4 水溶性淬火介质的选用原则	(377)
第十章 淬火介质		10.4 淬火介质的试验	(377)
10.1 淬火介质的作用原理	(364)	10.4.1 硬度试验	(377)
10.2 淬火介质类型	(366)	10.4.2 按冷却曲线评定	(377)
10.2.1 淬火介质的分类	(366)	10.4.3 开裂试验	(378)
10.2.2 对淬火介质的要求	(367)	10.4.4 变形试验	(378)
10.2.3 水淬火介质	(367)	10.4.5 热氧化安定性试验	(379)
10.2.4 水溶性聚合物淬火介质	(368)	10.5 淬火介质的使用管理	(379)
10.2.5 淬火油	(370)	10.5.1 淬火介质使用中的化学变化	(379)
10.3 淬火介质的选用	(376)	10.5.2 淬火介质的管理	(380)
10.3.1 根据零件的材质和淬透性选用	(376)	10.5.3 系统的清理	(383)
10.3.2 根据淬火零件结构的特点选用	(376)	10.6 环保、安全健康管理	(383)
10.3.3 淬火油的选用原则	(376)	10.7 淬火介质的发展趋势	(384)
		主要参考文献	(387)

第一章 石油资源与石油炼制

1.1 石油资源

石油主要是由碳氢化合物组成的复杂混合物。

关于石油来源的说法基本上有两种，一种是无机生成说，认为石油是由水和二氧化碳与金属氧化物发生地球化学反应而生成。另一种是有机生成说，认为古代的动植物遗体经过许多世纪的堆积，被岩层覆盖后，在地下逐渐形成石油和天然气。

石油生成后需流到一定场所，形成储油层，储油层需要有多孔性的、多裂缝的或多洞穴的岩层，在这种岩层中，石油在气体压力、重力、水静压力、岩层压力和毛细管作用下，能大量集中，而且在含油岩层周围还要有使油不能穿透的岩层，以防止积聚的石油和天然气漏掉，这样，就形成了具有工业价值的石油矿藏。

通过地质调查，发现了“储油构造”，并根据大量资料选定钻井位置，再通过钻井，对岩样岩芯的分析资料证实所寻找的地方是否有工业价值的储油面积。

石油埋藏在地下深达三四千米，浅的也有几百米。要将石油从地下采集到地面上来，要用钻机将地壳打开一条通路——钻井。油井建成后就可采油。开采初期，井底压力较大，石油可以自喷，在采油过程中，油层压力逐渐下降，为保持自喷，则可向井底送入高压水或压缩天然气，或用深井泵将石油抽上地面，这就是采油。

从油井中开采出来的石油称为天然原油。天然原油在矿场上脱水脱盐后送往炼油厂进行加工。

石油在炼油厂中经过各种加工，制成了大量的汽油、煤油、柴油、润滑油、沥青等石油产品。

1.1.1 我国的石油资源

我国是世界上最早发现和利用石油的国家之一。远在 1800 年以前，我国就有关于石油的文字记载。

虽然我国劳动人民发现和利用石油很早，但由于长期的封建社会的统治，特别是解放前在帝国主义的侵略和官僚资本主义的黑暗统治下，我国的石油工业和其他工业一样，处在奄奄一息的状态中。从 1907 年在陕西延长开第一口现代化油井开始，到 1949 年的 42 年中，原油年产量最高不超过 12 万吨。

解放后，我国石油工业得到了迅速的恢复和发展。1952 年石油年产量已达 43 万吨，相当于解放前历史最高产量的 360%，1958 年以后，加速了玉门、克拉玛依等油田的开发和建设，特别是 60 年代，高速度、高质量建成了举世闻名的大庆油田，1963 年，我国石油产品已经能够自给。70 年代又陆续开发了胜利、大港、华北、中原等油田，经过 50 多年的发

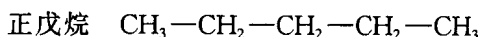
展，全国已发现各类油田 400 多个，天然气田 140 多个，基本形成了松辽、渤海湾、新疆、近海等四大产油区以及四川、陕甘宁、近海等三大产气区，1996 年全国共产原油 1.57 亿吨，居世界第五位，生产天然气 201 亿立方米，居世界第二十二位。

1.1.2 石油的化学组成

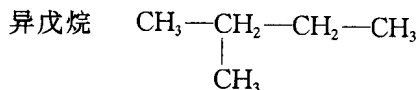
组成石油的主要元素是碳和氢。这两种元素占石油组成的 96%~99%，其中碳的质量分数约为 85%~87%，氢的质量分数为 11%~12%。碳和氢的化合物简称烃，根据其组成和结构的不同，可以分为烷烃、烯烃、环烷烃、芳香烃等，它们是构成石油产品的主要组分，石油中还含有硫、氮、氧等元素，其质量分数约为 1%~4%，它们与碳、氢相结合形成硫化物、氮化物、氧化物、胶质和沥青质等非烃化合物，这些非烃化合物一般对石油产品质量有不利影响，须在炼制过程中尽可能将它们除去。此外，石油中还含有微量的钒、镍、铁、钙、钠、镁、砷等元素，它们也是以化合物的形式存在，虽对石油产品质量影响不大，但它们在炼制过程中会使催化剂中毒，故也需将它们除去。

1.1.2.1 烷烃

凡是分子结构中碳原子之间均以一价互相结合，其余的碳价都为氢原子饱和的链状烃叫烷烃，也叫饱和烃，它们的化学通式为 C_nH_{2n+2} ，无支链的烷烃叫正构烷烃，例如：



有支链的烷烃叫异构烷烃，例如：



正构烷烃和异构烷烃虽然都属于烷烃，但由于分子结合存在差异，所以性质相似而不相同。

在常温下 $C_1 \sim C_4$ 的烷烃是气态，它是天然气和炼厂气的主要成分， $C_5 \sim C_{15}$ 的烷烃为液态，石油蒸馏时 $C_5 \sim C_{10}$ 的烷烃多进入汽油馏分中，而 $C_{11} \sim C_{15}$ 的烷烃则进入煤油的馏分中， C_{16} 以上的正构烷烃以及某些异构烷烃为固态，一般以溶解状态存在于石油中，当温度降低时，它们就呈结晶状态从油中析出，工业上称这种固体烃为蜡，通常在沸点 300℃ 以上的馏分中，即从柴油馏分开始才含有蜡。油品中含蜡量的多少，对其低温流动性有很大的影响。

蜡按其结晶形式不同，可分为两种，一种是结晶较大，呈板状结晶的称为石蜡，另一种是呈细微结晶的微晶形蜡称为地蜡。

石蜡主要分布在柴油和轻质润滑油馏分中，相对分子质量一般为 300~500，分子中碳原子数为 20~35，熔点在 30~70℃。石蜡的主要成分是正构烷烃，也含有少量的异构烷烃、环烷烃及少量的芳香烃。

地蜡主要分布在重质润滑油馏分、重油和渣油中，相对分子质量一般为 500~700，分子中碳原子数为 35~55，熔点 60~90℃。地蜡的组成较为复杂，各类烃都有，但以环状烃为主体，正、异构烷烃的含量都不高。

烷烃的化学性质不活泼，在常温下不易和空气中的氧化合，但温度较高时，各种烷烃都能和空气中的氧作用生成氧化物。

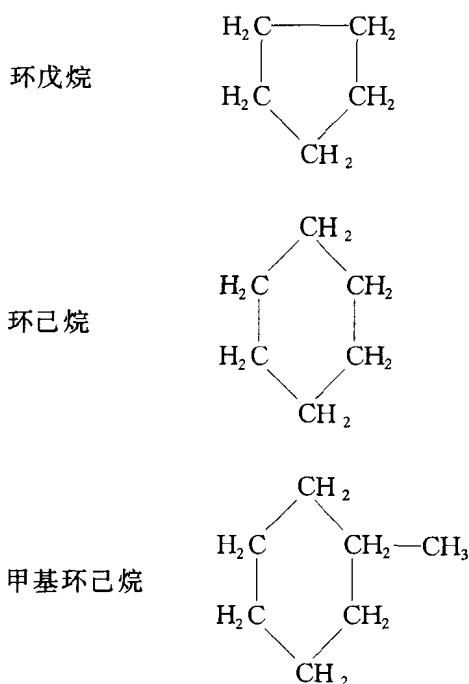
正构烷烃的自燃点低，在柴油机中其燃烧延迟期短，故柴油中含正构烷烃多，则燃烧性

能好，柴油机工作平稳，但在汽油机中易生成过氧化物，引起混合气的爆燃，故汽油中含正构烷烃多，则辛烷值低，汽油机易产生爆震。异构烷烃，特别是具有多支链的异构烷烃，其自燃点高、辛烷值高、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。烷烃的比重低，粘温性能好，但其熔点随碳链的增长而增高，随支链的增加而降低，在润滑油中高分子正构烷烃由于其熔点高故需从润滑油中除去，而异构烷烃则是润滑油的理想组分。

1.1.2.2 环烷烃

环烷烃的化学结构与烷烃有相似之处，它们分子中的碳原子之间都是以一价互相结合，其余碳价都与氢原子结合，不同之处是碳原子连接成环状，所以叫做环烷烃，由于环烷烃分子中所有的碳价都被饱和，因而它也是饱和烃。

石油中的环烷烃有单环环烷烃和多环环烷烃。环烷烃的环多为由五个或六个碳原子组成，环上还常带有不同的侧链，例如：



环烷烃在石油各馏分中的含量是不同的，它们的相对含量随馏分沸点的升高而增加，但在更重的石油馏分中，因芳香烃的增加，环烷烃则逐渐减少。一般来说，汽油馏分中的环烷烃主要是单环环烷烃（重汽油馏分中有少量双环环烷烃）；在煤油，柴油馏分中除含有单环环烷烃外（它较汽油馏分中的单环环烷烃具有更长的侧链或更多的侧链数目），还出现了双环及三环环烷烃（在煤油、柴油重组分中已出现多于三环的环烷烃）；而在高沸点馏分中则包括了单、双、三环及多于三环的环烷烃。

由于环烷烃中碳原子间以单链相连，与烷烃一样，性质也比较安定，在一般条件下不易氧化变质。

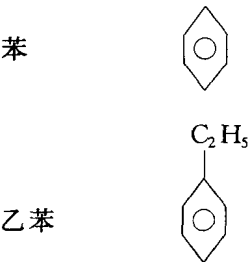
环烷烃在汽油机中的燃烧性能比正构烷烃好，较异构烷烃差，在柴油机中的燃烧性能则较烷烃差。

环烷烃是润滑油的主要组分，其中少环长侧链的环烷烃是润滑油的理想组分。

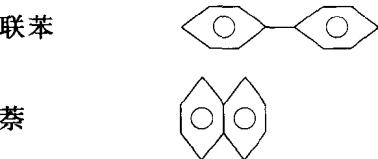
1.1.2.3 芳香烃

凡是分子中具有苯环 () 结构的烃叫做芳香烃，按照苯环的多少，可以分为单环、双环、多环芳香烃。例如：

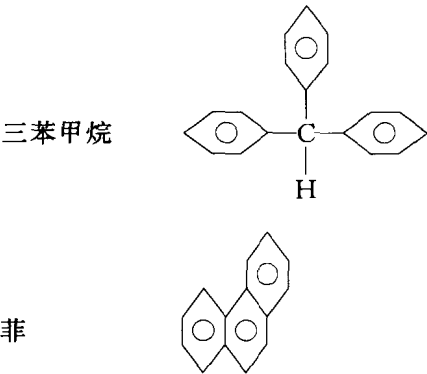
单环芳烃



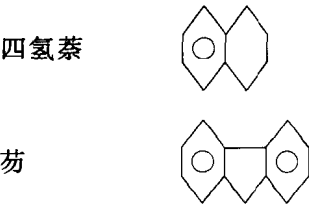
双环芳烃



多环芳烃



在石油的较高沸点的馏分中，有不少化合物既不是环烷烃，也不是芳香烃，而是由环烷烃与苯环组成的环烷-芳香烃，例如：



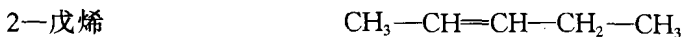
芳香烃也是石油的主要组分之一。在轻汽油 (< 120 ℃) 中含量较少，而在较高沸点

(120~300℃)馏分中含量较多，一般在汽油馏分中主要含有单环芳烃；煤油、柴油及润滑油馏分中不但含有单环芳烃，还含有双环及三环芳烃；三环及多环芳烃主要存在于高沸馏分及残油中。多环芳烃具有荧光，这是石油能发生荧光的原因。

芳香烃的抗爆性很高，是汽油的良好组分，常用做提高汽油质量的掺合剂；灯用煤油中含芳烃多，点燃时会冒黑烟和使灯芯易结焦，是有害组分；润滑油馏分中含有多环短侧链的芳香烃，它将使润滑油的粘温特性变坏，高温时易氧化而生胶，因此，润滑油精制要设法除去。

1.1.2.4 烯烃

凡是分子结构中含有碳碳双键 (>C=C<) 的烃叫做烯烃，也叫不饱和烃，例如：



如果上述分子结构中的碳原子连接成环状，则叫环烯烃，例如：



分子结构中含有两个碳碳双键的烯烃，叫做二烯烃，例如：



石油中一般不含这些不饱和烃，它们主要是在石油炼制过程中，由大分子的烷烃和环烷烃热分解生成。烯烃、二烯烃由于它们分子中含有双键，所以性质不安定，在常温下易氧化生成高分子粘稠物，即胶质，所以含有烯烃，二烯烃的裂化汽油，在保管中容易氧化变质。

1.1.2.5 含硫化合物

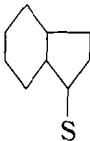
硫是石油中常见的元素之一，不同的石油含硫量相差很大，通常将硫的质量分数大于2%的石油称为高硫石油，低于0.5%的称为低硫石油，介于0.5%~2%之间的称为含硫石油，我国石油大多属于低硫石油。

硫在石油及其产品中存在的形态，有元素硫、硫化氢、硫醇、硫醚、二硫醚、环硫醚及噻吩等，根据其化学性质可以分为活性硫化物和非活性硫化物两类。

1. 硫及活性硫化物

它包括元素硫、硫化氢、硫醇。大多是石油中的含硫化合物在炼制过程中分解产生，主要分布在轻质石油产品中，它们能直接与金属作用而腐蚀设备。所以其在石油产品中的含量必须加以限制，故很多液体燃料规定了铜片、银片腐蚀试验这一指标，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 R-S-R 、二硫醚 R-S-S-R 、环硫醚 、噻吩  等，

多集中在石油的高沸点馏分中。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，不但能造成大气污染，而且遇水后生成亚硫酸和硫酸，所以非活性硫化物会间接的腐蚀金属。因此，在液体燃料规格中不仅对活性硫化物加以限制，同时还规定了硫含量指标。硫含量包括了石油产品中活性硫与非活性硫的含量。

某些石油产品中含有的硫化物应该加以限制，但对有些石油产品来说，为了改善其使用性能，尚需保留一定量的非活性硫化物，因为它们是一种天然抗氧化剂和抗磨剂。例如用溶剂精制所得到的润滑油基础油就规定其硫的质量分数应大于 0.03%。

1.1.2.6 含氧化合物

石油中的含氧量一般都很少，大约在千分之几的范围内，但也有个别石油含氧量较高，达 2.3%。石油中的氧大部分集中在胶质、沥青质中，这里讨论的是胶质、沥青质以外的含氧化合物。

石油中的含氧化合物可分为酸性氧化物和中性氧化物两类。酸性氧化物中有环烷酸、脂肪酸以及酚类，总称石油酸。中性氧化物有醛、酮、醚等，在石油中的含量极少。

在石油的酸性氧化物中，环烷酸最重要，约占石油酸性氧化物的 90% 左右，但它在石油中的质量分数一般多在 1% 以下，环烷酸在石油馏分中的分布规律较特殊，在中间馏分（沸点范围约为 250~350℃ 左右）中含量最多，而在低沸馏分及高沸重馏分中环烷酸含量都较低，大致从煤油馏分开始，随馏分沸点升高其含量逐渐增加，到轻质润滑油及中质润滑油馏分其含量达到最高点，以后又逐渐下降。

在石油的酸性氧化物中，除了环烷酸外，还有酚类，如苯酚、甲酚、二甲酚、萘酚等。酚类在石油直馏产品中的含量较少。

酸性含氧化合物都具有强烈的腐蚀性，能腐蚀设备。中性含氧化合物也会进一步氧化，最后生成胶质，会影响油品使用性能。因此，在精制过程中必须除去含氧化合物。

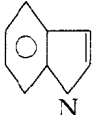
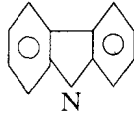
1.1.2.7 含氮化合物

石油中含氮量很少，一般在万分之几到千分之几。

石油中的含氮量一般是随馏分沸点升高而增加，因此氮化物大部分以胶质、沥青质的形式存在于渣油中。

石油中的氮化物可分为碱性和中性两类。

碱性氮化物有吡啶 、喹啉 、胺 $R-NH_2$ 以及它们的同系物。

中性氮化物有：吡咯 、吲哚 、咔唑  及其同系物。

碱性氮化物的质量分数约为 20%~50%，其余为中性氮化物，质量分数为 60%~80%。

氮化物在石油中含量虽少，但对石油加工及产品使用都有一定的影响。氮化物能使催化剂中毒，在油品储存中，会因氮化物与空气接触氮化生胶而使油品颜色变深，气味变臭，降低油品安定性，影响油品的正常使用。因此，在油品精制过程中，应尽可能把含氮化合物除去。

1.1.2.8 胶质、沥青质

在石油的非烃化合物中，胶质、沥青质是很大一类物质。它们在石油中含量相当可观，我国各主要原油中，含有约百分之十几至四十几的胶质和沥青质。

胶质、沥青质是石油中结构最复杂、相对分子质量最大的物质，在其组成中，除含碳、氢外，还含有硫、氮、氧等元素。

1. 胶质

胶质是一种很粘稠的流体或半固体状态的胶状物，其颜色为黄色至暗褐色。它的平均相对分子质量约为 600~800，最高可达 1000 左右，相对密度在 1.0~1.07 之间。胶质具有很强的着色能力，胶质的质量分数达到 0.005% 就能使无色汽油变为草黄色，所以油品的颜色主要是由于胶质的存在而引起的。

胶质能溶于石油醚、苯、乙醚中，也溶于石油馏分。胶质在石油中的分布是从煤油馏分开始，随馏分沸点的上升，其含量不断增多，在渣油中的含量最大。

胶质很易被吸附剂吸附，因此，油品用石油醚稀释后，再用硅胶吸附，就可得出油品中胶质的含量，这些胶质称硅胶胶质。

胶质受热氧化时，可以转变为沥青质，进而生成不溶于油的油焦质。

2. 沥青质

沥青质是一种黑色的、无定形脆性的固体，相对密度大于 1。它的相对分子质量很高，大约为 1300 或更高些。沥青质能溶于苯、二硫化碳、四氯化碳中，但不溶于石油醚，而石油的其他组分都能溶于石油醚中，因此，当在石油中加入适量的石油醚后，沥青质就可以沉淀出来。

沥青质没有挥发性，石油中的沥青质全部集中在渣油中，但它是以胶体状态分散在石油中，而不是像胶质一样与石油形成真溶液。

沥青质在 300℃ 以上温度时，就会分解成焦炭状物质和气体。

胶质、沥青质对油品性质影响很大，灯用煤油含有胶质，会影响灯芯吸油量并使灯芯结焦，因此灯用煤油要求精制至无色；润滑油含有胶质，会使粘度指数降低，在自动氧化过程中生成积炭，造成机器零件磨损和细小输油管路堵塞；裂化原料中含有胶质、沥青质容易在裂化过程中生焦。因此，石油馏分中的胶质、沥青质在精制过程中必须除去。

1.1.3 原油的种类与分类

为了便于选择原油加工方案，预先估算出产品的品种、产率和质量，世界各国都采用各种不同方法对不同产地的原油进行分类。现在，广泛应用的原油分类法有两种，一是特性因素分类法，另一是关键馏分特性分类法。

1.1.3.1 特性因素分类法

表示原油的密度和平均沸点与其化学组成之间存在一定关系的数值称为特性因素。利用特性因素，可以估计原油或石油馏分的化学组成特性。只要测定原油的密度和求得中平均沸点，通过下列公式就可以算出原油的特性因素。

$$K = \frac{1.216 \sqrt[3]{T}}{\rho_{15.6}}$$

式中 K ——原油的特性因素；

$\rho_{15.6}$ ——该原油在 15.6 ℃ 时的密度。

T ——该原油的中平均沸点（绝对温度，K）。

不同烃类的特性因素是不相同的，烷烃最高，芳香烃最低，环烷烃居中。按特性因素的高低，可将原油分为以下三类：

1. 石蜡基

原油的特性因素在 12.1 以上的定为石蜡基原油。这类油的特点是含有较多的石蜡（即烷烃含量较多），因而凝固点较高。我国大庆原油属于此类。

2. 中间基

特性因素在 11.5~12.1 之间的原油定为中间基原油。这类油的特点是既含有一定数量的烷烃，也含有一定数量的环烷烃和芳香烃。我国胜利原油属于此类。

3. 环烷基

特性因素在 10.5~11.5 之间的原油定为环烷基原油。这类油的特点是含环烷烃较多，凝固点较低。我国克拉玛依原油是其代表。

1.1.3.2 关键馏分特性分类法

由于原油的化学组成复杂，烃类在轻质馏分和重质馏分中的分布有较大差异，用特性因素分类比较笼统，不够确切，而且中平均沸点的数据也不容易求得准确。为了更科学、更全面地概括原油的化学组成特性，现在大多采用关键馏分特性对原油进行分类。

关键馏分特性分类的方法，是先将原油在常压下进行蒸馏，切取 250~275 ℃ 的馏分叫做第一关键馏分；再将余油在减压下（残压为 5.33 kPa）进行蒸馏，切取 275~300 ℃ 的馏分（相当于常压下 395~425 ℃ 的馏分）叫做第二关键馏分。然后测定两个关键馏分的密度和中平均沸点，用公式算出其特性因素 K ，根据关键馏分的密度及特性因素 K ，按照表 1-1 的分类指标，将原油分为七类，即：石蜡基、石蜡—中间基、中间—石蜡基、中间基、中间—环烷基、环烷—中间基、环烷基。（如表 1-2）。

表 1-1 关键馏分分类指标

关键馏分	指 标	石蜡基	中间基	环烷基
第一关键馏分	d_4^{20} ① K	$<0.821\ 0$ >11.90	$0.821\ 0 \sim 0.856\ 2$ $11.5 \sim 11.90$	$>0.856\ 2$ <11.5
第二关键馏分	d_4^{20} K	$<0.872\ 3$ >12.20	$0.872\ 3 \sim 0.930\ 5$ $11.5 \sim 12.20$	$>0.930\ 5$ <11.5

注：① 相对密度，即油在 20 ℃ 时的密度与在 4 ℃ 时水的密度之比。