

炼油工艺 基础知识

张建芳 山红红 编



中国石化出版社

炼油工艺基础知识

张建芳 山红红 编

中国石化出版社

(京)新登字048号

内 容 提 要

本书结合炼油工业生产实际,系统地介绍了石油炼制工艺的基本知识。主要包括:石油及其产品组成和性质;石油产品的应用和规格指标;主要炼油工艺过程的基本原理、工艺流程及主要工艺设备等。

本书系统性、知识性较强,简明扼要,通俗易懂,适合于非炼油专业毕业的技术管理干部和炼油工人阅读,也可供专业技术人员参考。

炼油工艺基础知识

张建芳 山红红 编

中国石化出版社出版发行

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所经销

787×1092毫米 16开本 11印张 280千字 印1—4000

1994年6月北京第1版 1994年6月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-502-4/TE·060 定价:9.80元

前 言

石油是宝贵的能源,应用价值很高。长期以来,一直是世界能源供应中的主要组成部分,约占35~50%。

建国以来,我国的石油工业已经得到了长足发展,无论是原油产量还是加工量,都已从贫油国上升为石油大国,石油化学工业已成为我国的支柱产业之一。

石油产品作为能源及化工原料直接涉及到国民经济的各个领域,深入到人民衣、食、住、行的各个环节之中。因此,作为生产石油产品的炼油工业(又称石油炼制工业)已成为国民经济重要的基础工业之一。

石油液体燃料是炼油工业的主要产品,包括车用汽油、航空汽油、煤油、喷气燃料(航空煤油)、柴油、重质燃料油以及液化石油气等,是各种现代交通运输工具、各种农业机械及各种燃油电站、工业窑炉的燃料。石油产品作为燃料,具有发热值高、燃烧完全、便于输送以及污染较少等优点。

炼油工业的另一种产品是各种类型的润滑油及润滑脂,包括工业用油、工艺加工用油和车辆用油等几大类。这类油品用于各种机械设备的润滑以减少机械磨损和动力消耗,是机械、冶金、煤炭、建筑、石油、化工、纺织、交通运输、军工等许多部门不可缺少的配套材料。

炼油工业的某些产品或中间产品,如炼厂气、馏分油、蜡和芳香烃等,是石油化工的基础原料。例如,石脑油、轻馏分油是生产乙烯和化肥的原料;催化重整生产的各种苯类产品,可用来制取化纤、农药或炸药;用炼厂气可生产顺丁橡胶、聚丙烯、丙烯腈、环氧丙烷、仲丁醇以及合成氨等产品;用液体石蜡可生产合成洗涤剂、农药乳化剂、增塑剂、石油蛋白以及合成香料等多种精细化工产品。

此外,炼油工业的其它一些产品如沥青、石油焦以及各种溶剂油等,也都是国民经济和国防建设中不可缺少的重要物资。

正是由于石油产品对一个国家如此重要,因而炼油工业在国民经济中占有举足轻重的地位。国家建设的需要,促进着炼油工业的发展。建国40多年来,经过50年代的恢复,70~80年代的大发展,目前已形成加工手段和石油产品种类比较齐全、生产装置具有相当规模的炼油工业格局,并形成了以催化加工为主体的深度加工体系。原油加工能力已超过1亿吨,石油产品品种达到千余种。在一些主要生产工艺方面,我国的炼油技术已接近世界先进水平。但是,由于我国人口众多,人均占有原油或石油产品量还很低,必须进一步提高炼油技术,加快发展速度,才能适应国民经济发展的需要。

随着炼油工业的发展,炼油行业需要大批各类专业技术人才。从事炼油事业,促进炼油工业发展,首先要了解炼油技术,熟悉炼油工艺。本书旨在以炼油工艺为主线,着重介绍与石油炼制过程有关的基本知识,期望对有关人员有所裨益。

在本书编写过程中,参考了《中国炼油技术》和《石油炼制工程》等书,并采用其中一些图表,在此对有关作者表示感谢。

全书由林世雄教授审阅，并提出了宝贵意见，在此深表感谢。
由于编者水平所限，错误及不当之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编 者
1992年11月

目 录

前言

第一章 石油及其产品的化学组成和物理性质	1
第一节 石油的化学组成	1
第二节 石油及其产品的物理性质	5
第二章 石油产品的使用要求和规格指标	11
第一节 燃料	11
第二节 溶剂油	23
第三节 润滑油	25
第四节 润滑脂	30
第三章 石油炼制概述	35
第一节 原油的分类	35
第二节 原油加工方案	37
第三节 炼油主要设备	40
第四章 原油的常减压蒸馏	55
第一节 原油的预处理	55
第二节 原油的常减压蒸馏	58
第五章 催化裂化	67
第一节 催化裂化的工艺特点及基本原理	67
第二节 催化裂化工业装置	72
第三节 催化裂化装置的主要设备	80
第六章 催化重整	87
第一节 催化重整的基本原理	87
第二节 催化重整工业装置	90
第七章 加氢精制和加氢裂化	100
第一节 加氢精制	100

第二节 加氢裂化	103
第八章 石油的热加工过程	115
第一节 热加工过程的基本原理	115
第二节 减粘裂化	117
第三节 焦炭化过程	119
第九章 炼厂气加工	123
第一节 气体精制	123
第二节 气体分离	125
第三节 烷基化	127
第四节 叠合	131
第五节 甲基叔丁基醚工艺	133
第十章 燃料油品的精制	136
第一节 酸碱精制	137
第二节 汽油、煤油脱硫醇	138
第十一章 润滑油生产	142
第一节 溶剂精制	143
第二节 溶剂脱蜡	148
第三节 丙烷脱沥青	152
第四节 白土精制	156
第五节 润滑油加氢	157
第十二章 油品添加剂与调合	161
第一节 油品添加剂	161
第二节 油品调合	163
第十三章 石油化工生产简介	165
第一节 石油化工原料	165
第二节 石油化工主要产品及其生产方法	167

第一章 石油及其产品的化学组成和物理性质

原油是从地下开采出来的、未经加工的石油。原油经炼制加工后得到各种燃料油、润滑油、蜡、沥青、石油焦等石油产品。了解石油及其产品的化学组成和物理性质，对于原油加工、产品使用以及石油的综合利用等有重要意义。

第一节 石油的化学组成

一、石油的外观性质

石油通常是一种流动或半流动状的粘稠液体。世界各地所产的石油在外观性质上有不同程度的差别。从颜色看，大部分石油是黑色，也有暗绿或暗褐色，少数显赤褐、浅黄色，甚至无色。相对密度一般都小于1，绝大多数石油的相对密度在0.80~0.98之间，但也有个别的高达1.02和低到0.71。我国主要油田的原油相对密度都在0.85以上。不同石油的流动性差别也很大，有的石油其50℃运动粘度为1.46毫米²/秒，有的却高达20000毫米²/秒。

许多石油都有程度不同的臭味，这是因为含有硫化物的缘故。

石油外观性质的差异反映了其化学组成的不同。

二、石油的元素组成

石油主要由碳(C)和氢(H)两种元素组成，其中碳含量为83~87%，氢含量为11~14%，两者合计为95~99%。由碳和氢两种元素组成的碳氢化合物称为烃，在石油炼制过程中它们是加工和利用的主要对象。此外，石油中还含有硫(S)、氮(N)、氧(O)。这些非碳元素含量一般为1~4%。但也有个别例外，如国外某原油含硫高达5.5%，某原油含氮量为1.4~2.2%。虽然石油中非碳氢元素的含量很少，但是它们对石油的性质、石油加工过程以及产品的使用性能有很大的影响。

石油中除含有碳、氢、硫、氮、氧五种元素外，还有微量的金属元素和其它非金属元素，如钒、镍、铁、铜、砷、氯、磷、硅等，它们的含量非常少，常以百万分之几计(ppm)。

以上各种元素并非以单质出现，而是相互以不同形式结合成烃类和非烃类化合物存在于石油中。所以，石油的组成是极为复杂的。

三、石油的烃类组成

石油主要是由各种不同的烃类组成的。石油中究竟有多少种烃，至今尚无法说明。但已确定石油中的烃类主要是由烷烃、环烷烃和芳香烃这三种烃类构成。天然石油中一般不含烯烃、炔烃等不饱和烃，只有在石油的二次加工产物中和利用油页岩制得的页岩油中含有不同数量的烯烃。

(一) 烷烃

烷烃是石油的主要组分。在常温常压下， $C_1 \sim C_4$ （即分子中含有1~4个碳原子）的烷烃

为气体， $C_5 \sim C_{16}$ 的烷烃为液体，大于 C_{16} 的正构烷烃为固体。

含有大量的甲烷和少量的乙烷、丙烷的天然气称为干气，除含有较多的甲烷、乙烷外，还含有少量易挥发的液态烃蒸气（如戊烷、己烷、辛烷）的天然气称为湿气。高分子烷烃是固态，但一般溶于油中，低温下析出。

在一般条件下，烷烃的化学性质很不活泼，不易与其它物质发生反应，但在特殊条件下，烷烃也会发生氧化、卤化、硝化及热分解等反应。

（二）环烷烃

环烷烃是环状的饱和烃，也是石油的主要组分之一。石油中的环烷烃主要是含五碳环的环戊烷系和含六碳环的环己烷系。从数量上看，一般是环己烷系多于环戊烷系。

随着石油馏分沸点的升高，环烷烃的相对含量增加，在高沸点的石油馏分中，还含有双环和多环的环烷烃以及环烷-芳香烃。在更重的石油馏分中，因为芳香烃的含量增加使得环烷烃的相对含量有所减少。

环烷烃的抗爆性较好、凝点低、有较好的润滑性能和粘温性，是汽油、喷气燃料及润滑油的良好组分。

环烷烃的化学性质与烷烃相近，但稍活泼，在一定条件下可发生氧化、卤化、硝化、热分解等反应，环烷烃在一定条件下还能脱氢生成芳香烃。

（三）芳香烃

芳香烃是指分子中含有苯环的烃类，一般苯环上带有不同的烷基侧链，也是石油的主要组分之一。同一种原油中，随着沸点（或分子量）的升高，芳香烃的含量增多。石油中除含有单环芳香烃外，还含有双环和多环芳香烃。

芳香烃的化学性质较烷烃稍活泼，可与一些物质发生反应，但芳香烃中的苯环很稳定，强氧化剂也不能使其氧化，也不易起加成反应。在一定条件下，芳香烃上的侧链会被氧化成有机酸，这是油品氧化变质的重要原因之一。芳香烃在一定条件下还能进行加氢反应。

（四）烯烃

石油中一般不含烯烃。烯烃主要存在于石油的二次加工产物中。

烯烃又分为单烯烃（即分子中含有一个双键）、双烯烃和环烯烃。在常温常压下，单烯烃 $C_2 \sim C_4$ 是气体， $C_5 \sim C_{18}$ 是液体， C_{18} 以上是固体。

烯烃分子中有双键，因此烯烃的化学性质很活泼，可与多种物质发生反应。在一定条件下可进行加成、氧化和聚合等各种反应。在空气中烯烃易氧化成酸性物质或胶质，特别是二烯烃和环烯烃更易氧化，影响油品的安定性。

四、石油的馏分组成

石油是一个多组分的复杂混合物，每个组分有其各自不同的沸点。石油加工的第一步——蒸馏（或分馏），就是根据各组分沸点的不同，用蒸馏的方法把石油“分割”成几个部分，这每一部分称为馏分。

通常我们把沸点小于 200°C 的馏分称为汽油馏分或低沸馏分， $200 \sim 350^\circ\text{C}$ 的称为煤、柴油馏分或中间馏分， $350 \sim 500^\circ\text{C}$ 的称为减压馏分或高沸馏分，大于 500°C 的为渣油。

必须注意，石油馏分不是石油产品。石油产品必须满足油品规格的要求。通常馏分油要经过进一步的加工才能变成石油产品。此外，同一沸点范围的馏分也可以因目的不同而加工成不同产品。例如航空煤油（即喷气燃料）的馏分范围是 $150 \sim 280^\circ\text{C}$ ，灯用煤油是 $200 \sim$

300℃，轻柴油是200~350℃。减压馏分油既可以加工成润滑油产品，也可作为裂化的原料。

国内外部分原油直馏馏分和减压渣油的含量列于表1-1。

从表1-1可以看出：与国外原油相比，我国一些主要油田原油中汽油馏分少（一般低于10%），渣油含量高，这是我国原油的主要特点之一。

表 1-1 原油直馏馏分及渣油含量

	相对密度 d_4^{20}	汽油馏分 <200℃ %(重)	煤柴油馏分 200~350℃ %(重)	减压馏分 350~500℃ %(重)	渣油 >500℃ %(重)
大庆	0.8635	10.78	24.02 (200~360℃)	23.95 (360~500℃)	41.25
胜利	0.8898	8.71	19.21	27.25	44.83
大港	0.8942	9.55	19.7 (200~360℃)	29.8 (360~500℃)	40.95
伊朗	0.8551	24.92	25.74	24.61	24.73
印尼米纳斯	0.8456	13.2	26.3	27.8 (350~480℃)	32.7 (>480℃)
阿曼	0.8488	20.08	34.4	8.45	37.07

五、石油的非烃组成

石油中的非烃化合物主要指含硫、氮、氧的化合物。这些元素的含量虽仅约1~4%，但非烃化合物的含量都相当高，可高达20%以上。非烃化合物在石油各馏分中的分布是不均匀的，大部分集中在重质馏分和残渣油中。非烃化合物的存在对石油加工和石油产品使用性能影响很大，石油加工中绝大多数精制过程都是为了除去这类非烃化合物。如果处理适当，综合利用，可变害为利，生产一些重要的化工产品。例如，从石油气中除硫的同时，又可回收硫磺。

(一)含硫化合物

硫是石油中常见的组成元素之一，不同的石油含硫量相差很大，从万分之几到百分之几。硫在石油馏分中的含量随其沸点范围的升高而增加，大部分硫化物集中在重油中。由于硫对于石油加工影响极大，所以含硫量常作为评价石油的一项重要指标。

硫在石油中少量以元素硫(S)和硫化氢(H₂S)形式存在，大多数以有机硫化物形式存在，

如硫醇(RSH)、硫醚(RSR')、环硫醚()、)等)、二硫化物(RSSR')、噻吩()及其同系物等。

含硫化合物的主要危害是：①对设备管线有腐蚀作用。元素硫、硫化氢和低分子硫醇（统称为活性硫化物）都能与金属作用而腐蚀设备和管线。硫醚、二硫化物等（统称为非活性硫化物）本身对金属并无作用，但受热后会分解生成腐蚀性较强的硫醇和硫化氢，特别是燃烧生成的二氧化硫腐蚀性更强。②可使油品某些使用性能变坏。汽油中的含硫化合物会使汽油的感铅性下降、燃烧性能变坏、气缸积炭增多、发动机腐蚀和磨损加剧。硫化物还会使油品的储存安定性变坏，不仅发生恶臭，还会显著促进胶质的生成。③污染环境。含硫油品燃烧后生成二氧化硫、三氧化硫等，污染大气，对人体有害。石油中的臭味来自其中的含硫化合物硫醇，当空气中有0.00001毫克/升的硫醇时即可嗅到。④在二次加工过程中，使某些

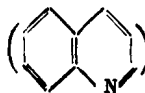
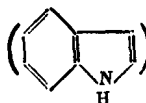
催化剂中毒，丧失催化活性。

通常采用酸碱洗涤、催化加氢、催化氧化等方法除去油品中的硫化物。

(二)含氮化合物

石油中含氮量一般在万分之几至千分之几。密度大，胶质多、含硫量高的石油，一般其含氮量也高。石油馏分中氮化物的含量随其沸点范围的升高而增加，大部分氮化物以胶状、沥青状物质存在于渣油中。

石油中的氮化物大多数是氮原子在环状结构中的杂环化合物，主要有吡啶() 喹啉

() 等的同系物（统称为碱性氮化物）及吡咯()、咪唑()等的同系

物（统称为非碱性氮化物）。

石油中另一类重要的非碱性氮化物是金属卟啉化合物，分子中有四个吡咯环，重金属原子与卟啉中的氮原子呈络合状态存在，又称卟啉化合物。

石油中氮含量虽少，但对石油加工、油品储存和使用的影响却很大。当油品中含有氮化物时，储存日期稍久，就会使颜色变深，气味发臭，这是因为不稳定的氮化物长期与空气接触氧化生成了胶质。氮化物也是某些二次加工催化剂的毒物。所以，油品中的氮化物应在精制过程中除去。

(三)含氧化合物

石油中的氧含量一般都很少，约千分之几，个别石油中氧含量高达2~3%。石油中的含氧化合物大部分集中在胶质、沥青质中，因此，胶质、沥青质含量高的重质石油其含氧量一般比较高。对以胶质、沥青质形式存在的含氧化合物在后面将作单独讨论，这里只讨论胶质、沥青质以外的含氧化合物。

石油中的氧均以有机物形式存在。这些含氧化合物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、脂肪酸和酚类，总称石油酸。中性氧化物有醛、酮和酯类，它们在石油中含量极少。含氧化合物中以环烷酸和酚类最重要，特别是环烷酸，约占石油酸总量的90%，而且在石油中的分布也很特殊，主要集中在中间馏分中(沸程约为250~400℃)，而在低沸馏分或高沸馏分中含量都比较低。

纯的环烷酸是一种油状液体，有特殊的臭味，具有腐蚀性，对油品使用性能有不良影响。但是环烷酸却是非常有用的化工产品或化工原料，常用作防腐剂、杀虫杀菌剂、农用助长剂、洗涤剂、颜料添加剂等。

酚类也有强烈的气味，具有腐蚀性。但可作为消毒剂，还是合成纤维、医药、染料、炸药等的原料。

油品中的含氧化合物在精制时必须除去。

(四)胶状沥青状物质

石油中的非烃化合物，大部分以胶状沥青状物质（即胶质沥青质）存在，都是由碳、氢、硫、氮、氧以及一些金属元素组成的多环复杂化合物。它们在石油中的含量相当可观，从百分之几到几十，绝大部分存在于石油的减压渣油中。

胶质和沥青质的组成和分子结构都很复杂，两者有差别，但并没有严格的界限。胶质一

般能溶于石油醚（低沸点烷烃）及苯，也能溶于一切石油馏分。胶质有很强的着色力，油品的颜色主要来自胶质。胶质受热或在常温下氧化可以转化为沥青质。沥青质是暗褐色或深黑色脆性的非晶体固体粉末，不溶于石油醚而溶于苯。胶质和沥青质在高温时易转化为焦炭。

油品中的胶质必须除去，而含有大量胶质沥青质的渣油可用于生产沥青，包括道路沥青、建筑沥青等。沥青是主要的石油产品之一。

从上述介绍可以看出，石油是以烃类有机物为主，还包括一定数量非烃类有机物的复杂混合物。

了解石油的化学组成，再根据石油及其产品的物理性质及实际需要，就可以确定合理的石油加工方案。

第二节 石油及其产品的物理性质

石油及其产品的物理性质是生产和科研中评定油品质量和控制加工过程的主要指标。加工一种原油之前，先要测定它的各种物理性质，如沸点范围（馏分组成）、相对密度、粘度、凝点、闪点、残炭、含硫量等，称为原油评价实验。根据原油评价才能确定原油的合理加工方案。

石油和油品的物理性质与其化学组成密切相关。由于石油和油品都是复杂的混合物，所以它们的物理性质是所含各种成分的综合表现。与纯化合物的性质有所不同，石油和油品的物理性质往往是条件性的，离开了一定的测定方法、仪器和条件，这些性质也就失去了意义。

石油和油品性质测定方法都规定了不同级别的统一标准，其中有国际标准（简称ISO）、国家标准（简称GB）、中国石油化工总公司行业标准（简称SH）等等。

一、密度和相对密度

在规定温度下，单位体积内所含物质的质量称为密度，单位是克/厘米³或千克/米³。

我国国家标准GB/T1884-83规定，20℃时密度为石油和液体石油产品的标准密度，以 ρ_{20} 表示。其它温度下测得的密度用 ρ_t 表示。

油品的密度与规定温度下水的密度之比称为油品的相对密度，用 d 表示，是无量纲的。由于4℃时纯水的密度近似为1克/厘米³（3.98℃时水的密度为0.99997克/厘米³），常以4℃的水为比较标准。我国常用的相对密度为 d^{20}_4 （即20℃时油品的密度与4℃时水的密度之比）；欧美各国常用的为 $d^{15.6}_{15.6}$ ，即15.6℃（或60°F）时油品的密度与15.6℃时水的密度之比，并常用比重指数表示液体的相对密度，也称API度，表示为°API，它与 $d^{15.6}_{15.6}$ 的关系为：

$$^{\circ}\text{API} = 141.5 / d^{15.6}_{15.6} - 131.5 \quad (1-1)$$

与通常密度的观念相反，°API数值愈大，表示密度愈小。

油品的密度与其组成有关。同一原油的不同馏分油，随沸点范围升高，密度增大。当沸点范围相同时，含芳香烃愈多，密度愈大；含烷烃愈多，密度愈小。

密度是评价石油质量的主要指标，通过密度和其它性质可以判断原油的化学组成。

二、蒸 气 压

在一定温度下，液体与其液面上方蒸气呈平衡状态时，该蒸气所产生的压力称为饱和蒸气压，简称蒸气压。蒸气压愈高，说明液体愈容易气化。

纯烃和其它纯的液体一样，其蒸气压只随液体温度而变化，温度升高，蒸气压增大。

石油及石油馏分的蒸气压与纯物质有所不同，它不仅与温度有关，而且与气化率（或液相组成）有关，在温度一定时，气化量变化会引起蒸气压的变化。

油品的蒸气压通常有两种表示方法：一种是油品质量标准中的雷德（Reid）蒸气压，是在规定条件（38℃、气相体积与液相体积之比为4:1）下测定的。另一种是真实蒸气压，指气化率为零时的蒸气压。

三、沸点与馏程

纯物质在一定外压下，当加热到某一温度时，其饱和蒸气压等于外界压力，此时液体就会沸腾，此温度称为沸点。在外压一定时，纯化合物的沸点是一个定值。

石油及其馏分或产品都是复杂的混合物，所含各组分的沸点不同，所以在一定外压下，油品的沸点不是一个温度点，而是一个温度范围。

将一定量的油品放入仪器中进行蒸馏，经过加热、气化、冷凝等过程，油品中低沸点组分易蒸发出来，随着蒸馏温度的不断提高，较多的高沸点组分也相继蒸出。蒸馏时流出第一滴冷凝液时的气相温度叫初馏点，馏出物的体积依次达到10%、20%、30%……90%时的气相温度分别称为10%点（或10%馏出温度）、30%点……90%点，蒸馏到最后达到的气体的最高温度叫干点（或终馏点）。从初馏点到干点（或终馏点）这一温度范围称为馏程，在此温度范围内蒸馏出的部分叫馏分。馏分与馏程或蒸馏温度与馏出量之间的关系叫原油或油品的馏分组成。

在生产和科研中常用的馏程测定方法有实沸点蒸馏与恩氏蒸馏，它们不同的是：前者蒸馏设备较精密，馏出时的气相温度较接近馏出物的沸点，温度与馏出的重量百分数呈对应关系；而后者蒸馏设备较简便，蒸馏方法简单，馏程数据容易得到，但馏程并不能代表油品的真实沸点范围。所以，实沸点蒸馏适用于原油评价及制定产品的切割方案，恩氏蒸馏馏程常用于生产控制、产品质量标准及工艺计算，例如馏程是汽油、喷气燃料、柴油、灯用煤油、溶剂油等的重要质量指标。

四、特性因数

特性因数(K)是反映石油或石油馏分化学组成特性的一种特性数据，应用极为普遍。

特性因数的定义为：

$$K = 1.216T^{1/3}/d_{4}^{0.8} \quad (1-2)$$

式中 T ——烃类的沸点、石油或石油馏分的立方平均沸点或中平均沸点， K 。

不同烃类的特性因数是不同的。烷烃的最高，环烷烃的次之，芳香烃的最低。由于石油及其馏分是以烃类为主的复杂混合物，所以也可以用特性因数表示它们的化学组成特性。含烷烃多的石油馏分的特性因数较大，约为12.5~13.0；含芳香烃多的石油馏分的较小，约为10~11；一般石油的特性因数在9.7~13之间。我国大庆原油 K 值为12.5，胜利原油 K 值为12.1。

特性因数 K 对原油的分类、确定原油加工方案等是十分有用的。

五、平均分子量

石油是多种化合物的复杂混合物，石油馏分的分子量是其中各组分分子量的平均值，因

此称为平均分子量（简称分子量）。

石油馏分的平均分子量随馏分沸程的升高而增大。汽油的平均分子量约为100~120，煤油为180~200，轻柴油为210~240，低粘度润滑油为300~360，高粘度润滑油为370~500。

六、粘 度

粘度是评价原油及其产品流动性能的指标，是喷气燃料、柴油、重油和润滑油的重要质量标准之一，特别是对各种润滑油的分级、质量鉴别和用途具有决定意义。粘度对油品流动和输送时的流量和压力降也有重要影响。

粘度是表示液体流动时分子间摩擦而产生阻力的大小。粘稠的液体比稀薄的液体流动得慢，因为粘稠液体在流动时产生的分子间的摩擦力较大。粘度的大小随液体组成、温度和压力不同而异。

粘度的表示方法有动力粘度、运动粘度及恩氏粘度等。国际标准化组织（ISO）规定统一采用运动粘度。

动力粘度是表示液体在一定剪切应力下流动时内摩擦力的量度，其值为所加于流动液体的剪切应力和剪切速率之比。在我国法定单位制中以帕·秒表示，习惯上用厘泊为单位。1厘泊=10⁻³帕·秒=1毫帕·秒。

运动粘度表示液体在重力作用下流动时内摩擦力的量度，其值为相同温度下液体的动力粘度与其密度之比，在法定单位制中以米²/秒表示。在物理单位制中运动粘度单位为厘米²/秒(斯)，常用单位是毫米²/秒，叫厘斯（即百分之一斯）。

$$1\text{米}^2/\text{秒}=10000\text{斯}=1000000\text{厘斯}(\text{毫米}^2/\text{秒})。$$

恩氏粘度是条件性粘度，常用于表示油品的粘度。恩氏粘度是在规定条件下，从仪器中流出200毫升油品的时间(秒)与20℃时流出200毫升蒸馏水所需时间(秒)的比值，以°E来表示。

石油及其馏分或产品的粘度随其组成不同而异。含烷烃多(特性因数大)的石油馏分粘度较小，含环状烃多(特性因数小)的粘度较大。一般地，石油馏分愈重、沸点愈高，粘度愈大。

温度对油品粘度影响很大。温度升高，液体油品的粘度减小，而油蒸气的粘度增大。

油品粘度随温度变化的性质称为粘温性质。粘温性质好的油品，其粘度随温度变化的幅度较小。粘温性是润滑油的重要指标之一，为了使润滑油在温度变化的条件下能保证润滑作用，要求润滑油具有良好的粘温性质。

油品粘温性质的表示方法常用的有两种，即粘度比和粘度指数(VI)。

粘度比最常用的是50℃与100℃运动粘度的比值，也有用-20℃与50℃运动粘度的比值，分别表示为 $\nu_{50^\circ\text{C}}/\nu_{100^\circ\text{C}}$ 和 $\nu_{-20^\circ\text{C}}/\nu_{50^\circ\text{C}}$ 。粘度比愈小，粘温性愈好。

粘度指数是世界各国表示润滑油粘温性质的通用指标，也是ISO标准。粘度指数愈高，粘温性质愈好。

油品的粘温性质是由其化学组成所决定的。烃类中以正构烷烃的粘温性最好，环烷烃次之，芳香烃的最差。烃类分子中环状结构越多，粘温性越差，侧链越长则粘温性越好。

七、低 温 性 能

燃料和润滑油通常需要在冬季、室外、高空等低温条件下使用，所以油品在低温时的流动性是评价油品使用性能的重要项目，原油和油品的低温流动性对输送也有重要意义。油品低温流动性能包括浊点、冰点、结晶点、倾点、凝点和冷滤点等，都是在规定条件下测定的。

油品在低温下失去流动性的原因有两种。一种是对含蜡很少或不含蜡的油品，随着温度降低，油品粘度迅速增大，当粘度增大到某一程度，油品就变成无定形的粘稠状物质而失去流动性，即所谓“粘温凝固”。另一种原因是对含蜡油品而言，油品中的固体蜡当温度适当时可溶解于油中，随着温度的降低，油中的蜡就会逐渐结晶出来，当温度进一步下降时，结晶大量析出，并连结成网状结构的结晶骨架，蜡的结晶骨架把此温度下还处于液态的油品包在其中，使整个油品失去流动性，即所谓“构造凝固”。

浊点是在规定条件下，清晰的液体油品由于出现蜡的微晶粒而呈雾状或浑浊时的最高温度。若油品继续冷却，直到油中出现肉眼能看得到的晶体，此时的温度就是结晶点。油品中出现结晶后，再使其升温，使原来形成的烃类结晶消失时的最低温度称为冰点。同一油品的冰点比结晶点稍高1~3℃。

浊点是灯用煤油的重要质量指标，而结晶点和冰点是航空汽油和喷气燃料的重要质量指标。

纯化合物在一定温度和压力下有着固定的凝点，而且与熔点数值相同。而油品是一种复杂的混合物，它没有固定的“凝点”。所谓油品的“凝点”，是在规定条件下测得的油品刚刚失去流动性时的最高温度，完全是条件性的。

倾点是在标准条件下，被冷却的油品能流动的最低温度。冷滤点是表示柴油在低温下堵塞滤网可能性的指标，是在规定条件下测得的油品不能通过滤网时的最高温度。

国内已开始逐渐采用倾点代替凝点、冷滤点代替柴油凝点作为油品低温性能的指标。

油品的低温流动性与其化学组成有密切关系。油品的沸点愈高，特性因数愈大或含蜡量愈多，其倾点或凝点就愈高，低温流动性愈差。

八、闪点、燃点和自燃点

油品是易着火的物质。油品蒸气与空气的混合气在一定的浓度范围内遇到明火就会闪火或爆炸。混合气中油气的浓度低于这一范围，油气不足，而高于这一范围，空气不足，都不能发生闪火爆炸。因此，这一浓度范围就称为爆炸范围，油气的下限浓度称为爆炸下限，上限浓度称为爆炸上限。

闪点是在规定条件下，加热油品所逸出的蒸气和空气组成的混合物与火焰接触发生瞬间闪火时的最低温度。

由于测定仪器和条件的不同，油品的闪点又分为闭口闪点和开口闪点两种，两者的数值是不同的。通常轻质油品测定其闭口闪点，重质油和润滑油多测定其开口闪点。

石油馏分的沸点愈低，其闪点也愈低。汽油的闪点约为-50~30℃，煤油的为28~60℃，润滑油的为130~325℃。

燃点是在规定条件下，当火焰靠近油品表面的油气和空气混合物时即着火并持续燃烧至规定时间所需的最低温度。

测定闪点和燃点时，需要用外部火源引燃。如果预先将油品加热到很高的温度，然后使之与空气接触，则无需引火，油品因剧烈的氧化而产生火焰自行燃烧，称为油品的自燃。发生自燃的最低温度称为油品的自燃点。

闪点和燃点与烃类的蒸发性能有关，而自燃点却与其氧化性能有关。所以，油品的闪点、燃点和自燃点与其化学组成有关。油品的沸点越低，其闪点和燃点越低，而自燃点越高。含烷烃多的油品，其自燃点低，但闪点高。

闪点、燃点和自燃点对油品的储存、使用和安全生产都有重要意义，是油品安全保管、输送的重要指标，在储运过程中要避免火源与高温。

九、油品的其它物理性质

(一)热性质

1. 比热

单位重量的物质温度升高 1°C （或 K ）所需要的热量称为比热，单位是千焦/（千克· K ）或千焦/（千克· $^{\circ}\text{C}$ ）。

油品的比热随密度增加而减小，随温度升高而增大。

2. 气化潜热

在常压沸点下，单位重量的物质由液态转化为气态所需要的热量称为气化潜热，单位是千焦/千克。

汽油的汽化潜热约为 $290\sim 315$ 千焦/千克，煤油的为 $250\sim 270$ 千焦/千克，柴油的为 $230\sim 250$ 千焦/千克，润滑油的为 $190\sim 230$ 千焦/千克。

3. 焓

热力学函数之一。焓的绝对值是不能测定的，但可测定过程始态和终态焓的变化值。为了方便起见，人为地规定某个状态下的焓值为零，该状态称为基准状态。物质基准状态变化到指定状态时发生的焓变作为物质在该状态下的焓值，单位是千焦/千克。

油品的焓与其化学组成有关。在相同温度下，油品的密度越小，特性因数越大，其焓值越高。

(二)折射率（折光率）

严格地讲，光在真空中的速度（ 2.9986×10^8 米/秒）与光在物质中速度之比称为折射率，以 n 表示。通常用的折射率数据是光在空气中的速度与在空气饱和的物质中速度之比。

折射率的大小与光的波长、被光透过物质的化学组成以及密度、温度和压力有关。在其它条件相同的情况下，烷烃的折射率最低，芳香烃的最高，烯烃和环烷烃的介于它们之间。对环烷和芳香烃，分子中环数愈多则折射率愈高。

常用的折射率是 n_D^{20} ，即温度为 20°C 、常压下钠的D线（波长为 589.26 纳米）的折射率。

油品的折射率常用于测定油品的烃类族组成，炼油厂的中间控制分析也采用折射率来求定残炭值。

(三)含硫量

如前所述，石油中的硫化物对石油加工及石油产品的使用性能影响较大。因此，含硫量是评价石油及产品性质的一项重要指标，也是选择石油加工方案的依据。含硫量的测定方法有多种，如硫醇硫含量、硫含量（即总硫含量）、腐蚀等定量或定性方法，通常，含硫量是指油品中含硫元素的重量百分数。

(四)胶质、沥青质和蜡含量

原油中的胶质、沥青质和蜡含量对原油输送影响很大，特别是制定高含蜡易凝原油的加热输送方案时，胶质与含蜡量之间的比例关系会显著影响热处理温度和热处理的效果。这三种物质的含量对制定原油的加工方案也至关重要。因此通常需要测定原油中胶质、沥青质和蜡的含量，均以重量百分数表示。

(五)残炭

用特定的仪器，在规定的条件下，将油品在不通空气的情况下加热至高温，此时油品中的烃类即发生蒸发和分解反应，最终成为焦炭。此焦炭占试验用油的重量百分数，叫做油品的残炭或残炭值。

残炭与油品的化学组成有关。生成焦炭的主要物质是沥青质、胶质和芳香烃，在芳香烃中又以稠环芳香烃的残炭最高。所以石油的残炭在一定程度上反映了其中沥青质、胶质和稠环芳香烃的含量。这对于选择石油加工方案有一定的参考意义。此外，因为残炭的大小能够直接地表明油品在使用中积炭的倾向和结焦的多少，所以残炭还是润滑油和燃料油等重质油以及二次加工原料的质量指标。

在表1-2中列举了我国几种原油的性质。

表 1-2 我国几种原油的性质

原 油	大 庆	胜 利	孤 岛	辽 河	华 北	中 原	新 疆	鲁宁管 输原油
取样年份	1979	1975	1983	1986	1979	1983	1982	1988
API度	33.1	24.9	17.0	24.3	27.9	34.8	33.4	26.1
密度, 克/毫升								
20℃	0.8554	0.9005	0.9495	0.9042	0.8837	0.8466	0.8538	0.8939
50℃	—	0.8823	0.9334	0.8866	0.8654	—	—	—
运动粘度, 毫米 ² /秒								
50℃	20.19	83.36	333.7	37.26	57.1	10.32	18.80	37.8
70℃	—	25.35	—	17.76	17.4	—	—	—
		(80℃)			(80℃)			
凝点, ℃	30	28	2	21(倾点)	36	33	12	26
蜡含量, %(重)	26.2	14.6	4.9	9.9	22.8	19.7	7.2	15.3
沥青质, %(重)	0	<1	2.9	0	<0.1	0	10.6	0
胶质, %(重)	8.9	19.0	24.8	13.7	22.0	9.5		16.0
残炭, %(重)	2.9	6.4	7.4	4.8	6.7	3.8	2.6	5.5
灰分, %(重)	0.0027	0.02	0.096	0.01	0.0097	—	0.014	—
元素组成								
碳, %(重)	85.87	86.26	85.12	86.35	—	—	86.13	—
氢, %(重)	13.73	12.20	11.61	12.90	—	—	13.30	—
硫, %(重)	0.10	0.80	2.09	0.18	0.31	0.52	0.05	0.80
氮, %(重)	0.10	0.41	0.43	0.31	0.38	0.17	0.13	0.29
镍, ppm	3.1	26.0	21.1	32.5	15.0	3.3	5.6	12.3
钒, ppm	0.04	1.0	2.0	0.6	0.7	2.4	0.07	1.5
馏程								
初馏点℃	85	95	—	—	85	—	70	—
馏出率, %(体)								
100℃	2.0	—	—	2.9	—	8.1	2.5	3.2
120℃	4.0	2.0	—	3.9	1.0	10.0	3.5	4.6
140℃	6.0	2.5	2.4	4.9	3.5	12.5	6.0	5.8
160℃	8.5	4.0	3.2	6.3	6.0	14.8	11.0	7.3
180℃	10.0	5.5	4.5	7.8	8.5	17.2	13.5	8.8
200℃	12.5	7.5	6.1	9.4	10.0	19.4	16.0	10.5
220℃	14.0	8.5	7.1	11.4	12.5	22.5	20.3	12.5
240℃	16.0	10.5	8.2	13.4	15.0	26.0	23.5	14.9
260℃	18.5	12.5	9.9	16.0	18.5	28.5	27.0	17.4
280℃	21.0	14.5	12.1	19.1	22.5	31.3	30.5	20.1
300℃	24.0	18.0	14.3	22.1	26.0	35.3	34.5	23.1

第二章 石油产品的使用要求和规格指标

从石油中可生产出千余种产品，根据石油产品特征和用途，可以分为六大类（GB498-87）：燃料（F）、溶剂和化工原料（S）、润滑剂和有关产品（L）、蜡（W）、沥青（B）和石油焦（C）。

从数量上看，燃料占石油产品的90%左右甚至更多，其用量最大，其中又以发动机燃料为主要产品。润滑剂仅占石油产品的5%左右，但其品种和类别却极其繁多。

第一节 燃 料

液体燃料与固体燃料相比较，具有热值高（石油产品热值为40000~48000千焦/千克，煤的热值为25000~33500千焦/千克）、灰分少、对环境污染小及输送使用方便等优点，因而广泛用于国民经济各个部门。不仅对液体燃料（特别是发动机燃料）的数量要求日益增加，而且对质量也提出了更高的要求。提高燃料的质量，可以提高发动机的效率，延长设备使用年限，降低燃料消耗，减少废气对环境的污染。

一、汽 油

汽油主要用于汽化器式发动机或点燃式发动机（简称汽油机），是小轿车、摩托车、载重汽车、快艇、小型发电机和螺旋桨式飞机等的燃料。

国产车用汽油有70、85、90、93、97等几种牌号，主要的质量要求有以下四个方面：

（一）有良好的蒸发性

馏程和蒸气压是评价汽油蒸发性能的指标。

汽油的馏程用恩氏蒸馏装置（图2-1）进行测定。要求测出汽油的初馏点、10%、

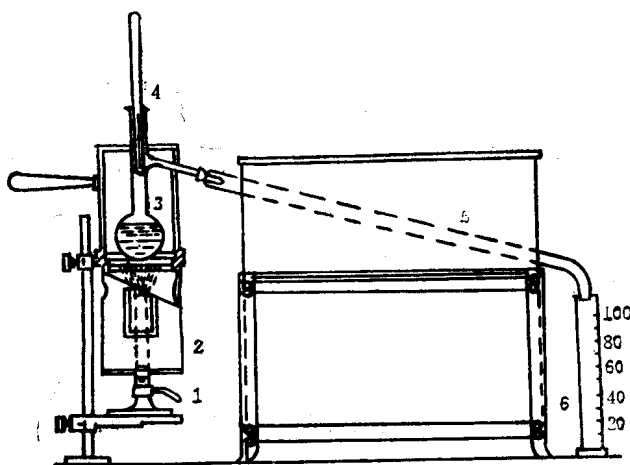


图 2-1 恩氏蒸馏装置

1—喷灯；2—挡风板；3—蒸馏瓶；4—温度计
5—冷凝器；6—接受器