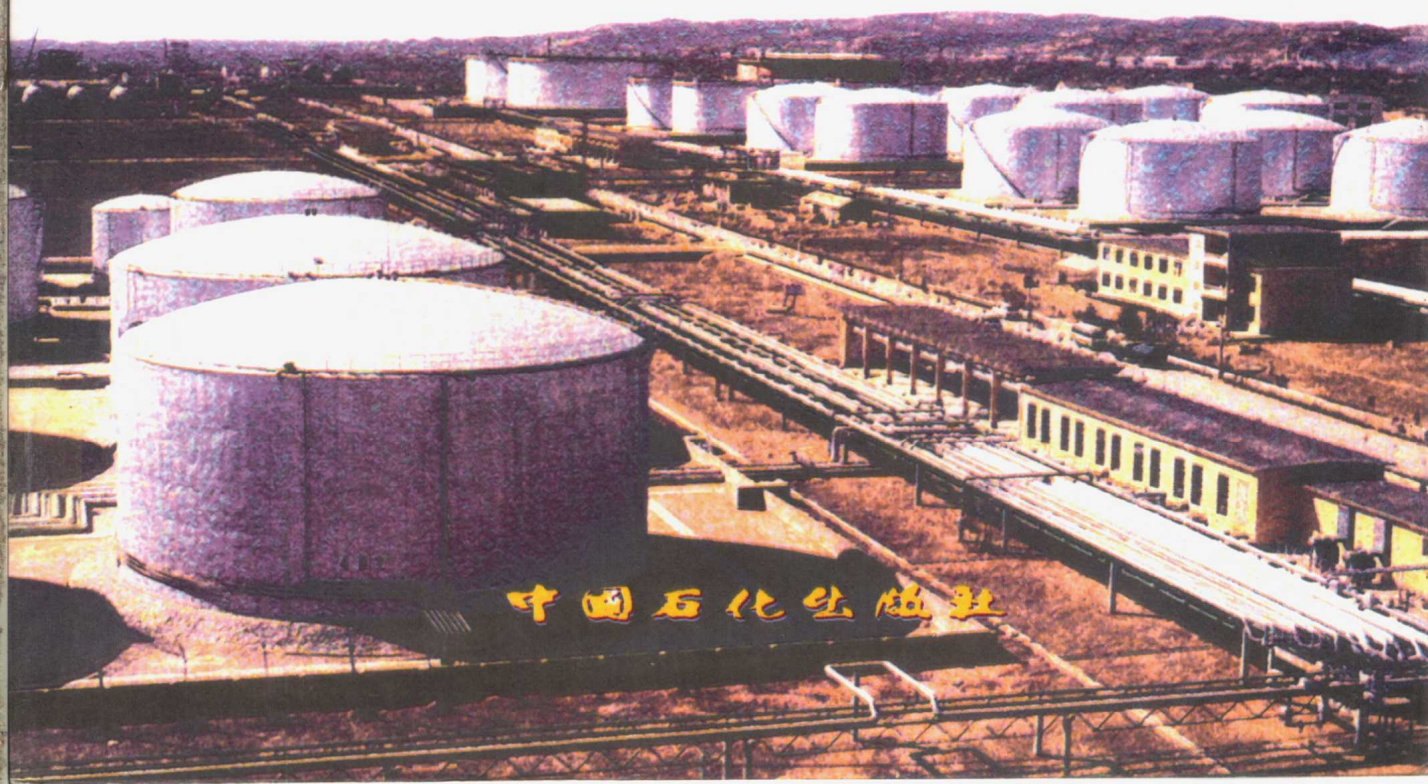


炼油厂油品储运

郭光臣 等编著



中国石化出版社

炼油厂油品储运

郭光臣 等编著

中国石化出版社

内 容 提 要

本书根据石油储运基本理论,综合炼油厂石油储运工作中经常遇到的理论、实践问题,比较全面系统地阐述了有关知识和技术措施。

全书分石油炼制过程、原油接卸和产品发放系统、炼油厂配管、泵与油泵房、油品储存、油品的加热与保温、油品损耗及其管理、液化石油气储存与灌装、油品计量、炼油厂污水处理、油品储运的安全技术等共11章。

本书可供从事炼油厂和石油库储运工作的设计、生产、管理及操作人员学习参考或作为培训教材,也可供大专院校油品储运专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

炼油厂油品储运/郭光臣等编著. —北京:中国石化出版社,1998

ISBN 7-80043-751-5

I. 炼… II. 郭… III. 炼油厂-石油产品-石油与天然气储运
N. TE8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 23786 号

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)64241850

金剑照排厂排版

机械工业出版社京丰印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 29 印张 743 千字 印 1—3000

1999 年 4 月第 1 版 1999 年 4 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

前 言

石油储运是一门综合性工程科学，基础理论知识并不高深，掌握也不困难，但它涉及面广，不同的企业和部门要求的知识面也有所区别。例如民用油库与军用油库、矿场石油储运与炼油厂油品储运，虽然它们的基本理论大体相同，但在设备和技术措施上各有特点。

《炼油厂油品储运》是以炼油厂油品储运工作经常遇到的理论、实践需要为出发点，比较系统地阐述其与基本理论相关的技术措施及技术标准，内容力求丰富、翔实，以满足炼油厂油品储运工作的需要。

本书编写过程中，参阅了炼油厂油品储运有关资料 and 培训教材，并对生产中的有关问题，尽量用较简明通俗的文字，阐明一般常用的基本理论，较详细地引进了某些公式的推导过程，并适当地介绍一些计算机求解方法，以满足不同层次读者的需求。它既可用于岗位培训，也可作为石油储运工程技术人员的技术参考资料。

本书由郭光臣、张志廉、周国雄、赵世健、李科贤、陆万林共同编写。其中第一章、第三章、第八章、第九章由郭光臣执笔；第四章、第五章、第七章由张志廉执笔；第六章、第十章、第十一章由周国雄执笔；第二章第一节由赵世健执笔；第二章第二、三节由李科贤执笔；第二章第四节由陆万林执笔。全书由郭光臣主编。

目 录

第一章 石油炼制过程.....	(1)
第一节 概述.....	(1)
第二节 原油的预处理.....	(7)
第三节 原油的蒸馏过程	(11)
第四节 石油燃料的生产及质量管理	(13)
第五节 润滑油(脂)的生产及质量管理	(18)
第六节 炼油厂工艺类型及加工方向流程	(20)
第七节 炼油厂中的石油储运	(21)
第二章 原油接卸和产品发放系统	(26)
第一节 铁路装卸系统	(26)
第二节 水路装卸系统	(45)
第三节 汽车罐车装卸系统	(65)
第四节 桶装作业	(71)
第三章 炼油厂配管	(77)
第一节 炼油厂管道的分类	(77)
第二节 管材及管件的选择	(79)
第三节 管路的水力计算	(95)
第四节 管路的强度计算.....	(108)
第五节 管路的支持装置.....	(131)
第六节 管路的配置.....	(138)
第七节 管路的维护与管理.....	(140)
第四章 泵与油泵房.....	(143)
第一节 炼油厂储运系统常用泵.....	(143)
第二节 泵的选择.....	(175)
第三节 泵的运行、维护和故障诊断.....	(186)
第四节 泵房.....	(191)
第五章 油品储存.....	(195)
第一节 油品储存方式及储存能力的确定.....	(195)
第二节 油罐类型.....	(197)
第三节 立式钢油罐.....	(202)
第四节 卧式圆柱形钢油罐.....	(222)
第五节 球罐.....	(227)
第六节 油罐的维修与保养.....	(229)
第七节 罐区管理.....	(239)
第六章 油品的加热与保温.....	(245)

第一节	油品的加热目的和方法	(245)
第二节	炼油厂储运过程中的油品温度	(248)
第三节	油罐加热器的结构	(250)
第四节	油罐加热器的计算	(254)
第五节	油罐总传热系数 K 值分析	(261)
第六节	油罐加热器的设计程序	(268)
第七节	铁路油罐车的加热分析	(270)
第八节	炼油厂热油管道设计	(272)
第九节	炼油厂管线的伴热和保温	(281)
第十节	储油罐的保温	(293)
第七章	油品损耗及其管理	(300)
第一节	油品蒸发损耗的发生过程	(301)
第二节	油品蒸发损耗计算	(311)
第三节	油品蒸发损耗的测量	(323)
第四节	降低油品蒸发损耗的措施	(328)
第八章	液化石油气储存与灌装	(338)
第一节	液化石油气的性质	(338)
第二节	液化石油气的储存与装卸	(345)
第三节	液化石油气的储运设备及附件	(350)
第四节	液化石油气的灌装	(359)
第五节	液化石油气的储存管理	(361)
第九章	油品计量	(367)
第一节	油品计量方法	(367)
第二节	容量表编制	(368)
第三节	石油标准质量换算法	(371)
第四节	检测计量	(373)
第五节	流量计计量	(376)
第六节	称重式仪表及衡器计量	(382)
第七节	油品的计量管理	(384)
第十章	炼油厂污水处理	(386)
第一节	炼油厂污水的来源及成分	(386)
第二节	炼油厂污水基本状况的分析	(387)
第三节	炼油厂污水处理技术	(392)
第四节	石油储运的污水处理	(400)
第十一章	油品储运的安全技术	(406)
第一节	防止人身中毒	(406)
第二节	防止火灾和爆炸	(409)
第三节	油品储运的消防工程设计	(417)
第四节	防雷击措施	(438)
第五节	防静电事故的措施	(442)
第六节	油品储运的安全管理	(449)
	主要参考文献	(458)

第一章 石油炼制过程

第一节 概 述

石油是从地下开采出来的可燃液体，未经炼制的石油称为原油。原油的组成极其复杂，但其元素组成却较简单，主要由碳、氢、硫、氮、氧 5 种元素组成。其中碳含量约为 83%~87%，氢含量为 11%~14%，两者合计约为 96%~99%，硫、氮、氧 3 种元素总量约为 1%~4%。此外，石油中还含有微量铁、镍、铜、钒、砷、氯、磷、硅等元素。

组成石油的化合物主要是由碳、氢元素构成的烃类，而硫、氮、氧等元素则以各种含硫、含氧、含氮化合物的形态及兼含有硫、氮、氧的胶状、沥青状物质的形态存在于石油中，它们统称为非烃类。

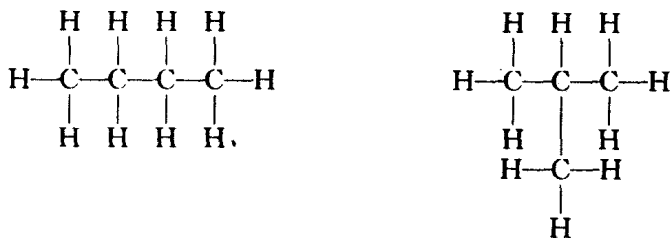
一、石油的化学组成

1. 石油中的烃类组成

碳和氢的化合物简称烃。组成石油成分的烃，由于各种烃分子中所含的碳和氢的量不同，所生成的碳氢化合物在性质上也有很大的差别，主要有：烷烃、环烷烃、芳香烃等。

(1) 烷烃

烷烃是石油的主要成分，烷烃的分子通式为 C_nH_{2n+2} ，它的分子结构特点是碳原子间以单键连成链状，其余键价为氢原子所饱和。碳数大于 3 的烷烃，存在组成相同而结构不同的同分异构体。碳呈直链的称为正构烷烃，带侧链的烷烃称为异构烷烃，如：



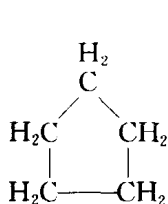
前者呈直链的是正丁烷，后者带侧链的是异丁烷。

在常温常压下，碳原子数从 1 到 4 的低分子烷烃 $C_1 \sim C_4$ 是气体； $C_5 \sim C_{16}$ 的中分子烷烃是液体； C_{17} 以上的高分子烷烃是固体。一般说来，烷烃的密度、沸点和熔点都随相对分子质量的增加而提高。而带侧链的分子比同碳数的直链分子沸点低，因此异构烷烃的沸点较正构烷烃为低。在常温下，烷烃的性质较稳定，在一定的高温条件下，烷烃易于分解，易于氧化生成醇、醛、酮、醚、酸等一系列氧化产物。

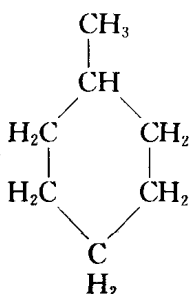
汽油馏分中正构烷烃较多时，抗爆性能弱，含异构烷烃较多时，则抗爆性能强。煤油馏分中，含烷烃较多时，火焰稳定。直链烷烃能使柴油在汽缸中燃烧良好，并且工作平稳。润滑油中烷烃较多时，则粘温性能良好。

(2) 环烷烃

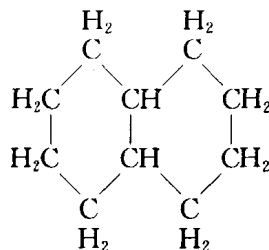
环烷烃的分子通式为 C_nH_{2n} 。它的性质和烷烃很相像，但它的分子结构不呈链状，而是呈封闭的环状结构，按环数多少，环烷烃分为单环、双环和多环 3 类，大多带有 1 个到 2 个侧链。石油中的环烷烃主要是环戊烷和环己烷的化合物。如：



环戊烷



甲基环己烷



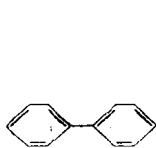
十氢萘

在常温下，碳原子数在 4 以下的环烷烃为气体，4 以上的为液体，固态的环烷烃多为 2 环和 3 环。环烷烃是一种环状饱和烃，随着碳原子的增加，烃的沸点也增加。其化学性质与烷烃比较接近。在高温下，环烷烃氧化生成环烷酸。

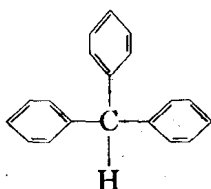
作为汽油组分，环烷烃的抗爆性能比直链烷烃要强。环烷烃也是煤油的必要的正常组分。在柴油中，它的十六烷值居中。环烷烃在润滑油中是粘度的载体。

(3) 芳香烃

芳香烃的分子结构式很像六员环烷，不过其中氢少。芳香烃中最简单的化合物是苯。芳香烃都具有苯核，因此，具有苯环结构的烃类便称为芳香烃。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 3 类。



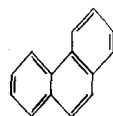
联苯



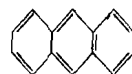
三苯甲烷



萘



菲



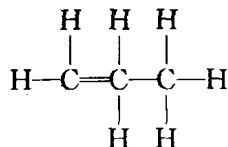
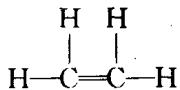
蒽

一般多环芳香烃都集中在石油高沸点馏分中，它具有非常高的稳定性。苯是最难氧化的物质之一。在苯环上加上一个或几个侧链后，芳香烃的自动氧化能力增强，链越长越容易氧化，生成酸性物质，并在一定程度上成胶状物。

芳香烃的抗爆性强，是高辛烷值汽油的组分。灯用煤油中必需含有适量(20%以下)的芳香烃才能保证照明强度。芳香烃能使柴油的燃烧性能变坏，它不是柴油中的理想组分。在润滑油中多环芳香烃和带短侧环的环烷-芳香烃是不利的成分，它们能使粘温特性及氧化安定性变坏。

(4) 不饱和烃

在烃类各碳原子间，如果由双键以上组成的叫不饱和烃。不饱和烃的分子通式是 C_nH_{2n} 。它们的结构式和烷烃很像，但是由于氢少，不能满足碳的四价需要，所以碳和碳间有双键互相连接着。如乙烯、丙烯的结构式分别为：



石油中一般不含烯烃，只是在石油加工过程中，由于大分子烷烃和环烷烃受热分解，生成少量烯烃存在于石油产品中。在高温裂解过程中，由于饱和烃发生剧烈的分解反应，生成大量烯烃。因此在石油的裂化产品中不饱和烃含量较多。

常温常压下，小于 C_5 的烯烃是气体， C_5 以上的是液体，碳原子数更多的是固体。与烷烃类似，随分子中碳数的增多，烯烃的沸点和密度增大。烯烃难溶于水，易溶于有机溶剂。

烯烃和二烯烃的化学性质不稳定，很容易氧化缩聚生成胶质。

由于不饱和烃的不稳定性，在制备润滑油时，应将它除去。在灯用煤油中不饱和烃因氧化及叠合而生成胶质，促使灯芯的空隙很快就被堵塞，降低光度。同样在柴油中如含不饱和烃，也很易生胶，而不能长期储存。虽然不饱和烃在汽油中具有较高的抗爆性，但安定性极差。

2. 石油中的非烃类化合物

石油中除烃类化合物外，还有含硫、氮、氧等非烃类化合物存在。这些元素含量虽然仅 1%~4%，但非烃类化合物的含量却很高，它们在各馏分中的分布是不均匀的，大部分集中在重组分中，特别是渣油中。它们对石油加工和油品使用性能影响很大，应给予充分重视。

(1) 含硫化合物

硫在石油中以游离状态或溶解状态的化合物形式存在。石油中的有机化合物有硫醇、硫醚、二硫化物、噻吩和氢化噻吩以及它们的衍生物。

石油中的硫化物对储油设备、加工装置等有严重的腐蚀作用。根据它们对金属的腐蚀的不同，硫化物可分为 3 类：

第一类在常温下易与金属作用，具有强烈腐蚀性的酸性硫化物，又称活性硫，其中主要有元素硫、硫化氢和低分子硫醇；

第二类在常温下呈中性，不腐蚀金属，受热后能分解产生具有腐蚀性的硫化物，主要有硫醚和二硫化物；

第三类是对金属没有腐蚀性的硫化物，如噻吩及其同系物。

含硫油品燃烧后都会生成 SO_3 和 SO_2 ，遇水成为具有强烈腐蚀性的 H_2SO_4 和 H_2SO_3 。硫化物还影响汽油的抗爆性，减弱抗爆剂的作用。石油加工中生成的含硫化氢和低分子硫醇的恶臭气体以及含硫燃料燃烧生成的含 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，所以在石油精制过程中必须尽可能地把硫化物去除。

(2) 含氧化合物

石油中的氧都以氧化物的形式存在。石油中的含氧化合物可分为两类：中性氧化物和酸性氧化物。中性氧化物有醛、酮类，它们在石油中总含量极少，并不重要。酸性氧化物有环烷酸、脂肪酸和酚类，总称石油酸。

环烷酸在有水分存在及高温时，能直接与金属起反应发生腐蚀。

(3) 含氮化合物

含氮化合物在天然石油中的含量不大，一般为千分之几到万分之几。含氮化合物在石油馏分中的分布是不均匀的，通常随馏分沸点的升高，其含量随之增加。大部分含氮化合物以胶状、沥青状物质存于渣油中。

含氮化合物在石油产品的储运过程中，由于受热和光的作用，容易氧化缩聚而生成有色的胶质溶于油品中，这些生成物即使是极少量也能加深油品的色度并产生臭味。含氮化合物还会使石油加工中催化剂中毒，所以必须从油品中除去含氮化合物。

3. 各类化合物在石油中的分布

石油的组分主要是各种烃类和非烃类化合物组成的混合物，这些化合物在不同的石油中有不同的分布，但经大量研究表明，它们有以下的分布规律：

(1) 石油中各族烃类的分布

各族烃类在石油中总的分布规律是随着石油馏分沸点的升高，所含各族烃类的相对分子质量随之增大，碳原子数也随之增多，环烷烃的环数增加，结构趋于复杂化。

石油中的烷烃通常随馏分沸点的升高而含量降低。液态烷烃是石油产品汽油、煤油、柴油、润滑油的组成部分。在汽油馏分中(低于 200℃的馏分)含有 $C_5 \sim C_{11}$ 的烷烃；煤油、柴油馏分中(200~300℃)含有 $C_{11} \sim C_{20}$ 的烷烃；润滑油馏分中(350~500℃)含有 $C_{20} \sim C_{36}$ 左右的烷烃。异构烷烃的沸点一般比同碳数的烷烃低些。

环烷烃在汽油馏分中主要是单环环烷烃；在煤油、柴油馏分中除含有单环环烷烃外，还出现了双环及三环环烷烃；而在高沸点馏分中则包含了单、双、三环及三环以上的环烷烃。

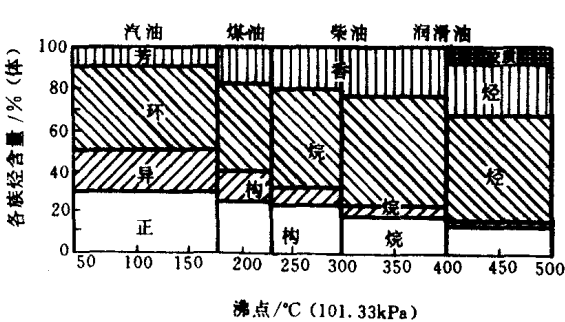


图 1-1 某一原油各馏分中各族烃的相对含量

芳香烃在石油中含量极不一致，在同一石油的各个馏分中分布亦不均匀，轻馏分中较少，重馏分中较多。汽油中的芳香烃主要是单环(苯系)芳香烃，苯、甲苯、二甲苯等。双环和三环芳香烃存在于煤油、柴油和更高沸点的馏分中，三环及稠环芳香烃主要存在于高沸点馏分和渣油中。

图 1-1 为某一原油各馏分中各族烃的相对含量。

(2) 非烃化合物的分布

随着石油沸点增高含硫化合物和胶质含量均逐渐增加。大部分含硫、含氧、含氮化合物以及胶质和沥青质都集中在石油的渣油中。

二、原油的性质与分类

1. 原油的性质

原油的性质是衡量原油质量的重要指标，也是油田油气集输、管道输送以及炼油厂加工必须掌握的重要数据。

由于石油的组成极其复杂，其组成不易直接测定，而且多数物理性质不具有可加性，所以其物理性质常常是采用一些条件性的试验方法来测定。所谓条件性试验，就是采用规定的仪器，在规定的试验条件、方法和步骤下进行试验。如果改变试验条件，会得到不同的结果。因此，制定了一系列测定标准，其中有国际标准(简称 ISO)、API 标准、国家标准、企业标准等。各种标准在不同范围内具有法规性质，必须遵循。这些标准有的是统一的，有的是不统一的，不过许多都建立了相应的换算关系，以便使用。

表示石油性质的指标通常有：密度、粘度、闪点、凝点、含蜡量、胶质、酸质、含硫量、含氮量、馏程等。我国原油以及伊朗和科威特原油的一般性质如表 1-1 所示。

2. 原油的分类

世界各地生产的原油，由于地质构造、生油条件和生成年代的不同，在性质上有很大的差别，而且组成十分复杂，确切的分类相当困难。但由于实际需要，许多部门进行了不少研究，并从地质、化学、物理及工业应用观点来加以区分分类。目前广泛被采用的有化学分类

表 1-1 我国以及伊朗、科威特原油一般性质

序 号	原油名称		大庆	胜利	孤岛	任丘	中原	南阳	大港	辽河	克拉玛依 低凝油	克拉玛依 混合原油	江汉	青海冷湖	乌鲁木齐	附：国外原油	
	原油性质	取样时间														伊朗 原油	科威特 原油
1	API°		33.1	25.4	17.5	27.9	35.9	32.0	30.4	28.7	30.6	33.4	31.5	45	15.2	33.9	31.4
2	密度(20℃)/(g/cm ³)		0.8554	0.8978	0.9460	0.8837	0.8410	0.8618	0.8697	0.8793	0.8679	0.8538	0.8460	0.8042	0.9619	0.8518	0.8648
3	运动粘度(50℃)/(mm ² /s)		20.19	74.20	498	57.1	10.13	80℃ 13.09	10.83	17.44	19.23	18.80	25.51	1.46	20391.6	306.8	7.9
4	闪点(开口杯)/℃		—	—	—	70	—	82	—	—	36	—	—	—	—	—	—
5	凝点/℃		30	27	-2	36	32	51	23	21	-50	12	31	-9	15.5	-20	-45
6	含蜡量(吸附法)/%		26.2	14.6	7.0	22.8	21.4	41.14	11.6	16.8	2.04	7.2	—	8.4 ^①	1.56 ^①	2.6	2.8
7	胶质(Al ₂ O ₃ 法)/%		8.6	18.6	32.9 ^①	23.2 ^①	8.0	12.8	9.7	11.9	12.6 ^①	10.6	—	1.9	27.48 ^③	—	—
8	沥青质(C ₇ 不溶物)/%		0	—	7.8 ^②	2.5 ^②	0	—	0	0	—	—	—	0	5.67	—	—
9	酸值/(mgKOH/g)		—	—	—	—	—	—	—	—	0.78	0.17	—	0	3.83	—	—
10	含硫/%		0.10	0.73	2.06	0.31	0.45	0.272	0.13	0.18	0.04	0.05	1.27	0.02	0.31	1.36	2.52
11	含氮/%		0.16	0.44	0.52	0.38	0.15	0.148	0.24	0.32	0.25	0.13	0.27	—	0.51	—	—
12	馏程																
	初馏点/℃		85	—	176	108	—	171	85	91	58	70	80	76.5	212	44	28
	120℃馏出/%		4.0	2.0	—	—	—	—	6	2.5	5.0	2.5	3.4	16.7	—	—	—
	160℃馏出/%		8.5	—	—	1.0	—	—	9	8.0	12.0	11.0	10.0	35.5	—	—	—
	200℃馏出/%		12.5	6.7	1.1	3.0	—	2.0	15	13.0	18.0	16.0	15.7	48	—	29	220℃馏 出 24
	260℃馏出/%		18.5	—	6.8	9.5	—	8.5	24	20.0	27.5	27.0	23.6	61	—	—	—
	300℃馏出/%		24.0	15.8	280℃馏 出 9.4	16.0	—	16.0	31	26.5	35.0	34.5	32.1	72	3.24	48	43
13	原油分类		低硫 石蜡基	含硫 中间基	高硫 环烷基	低硫 石蜡基	低硫 石蜡基	低硫 石蜡基	低硫 中间基	低硫 中间- 石蜡基	低硫 中间基	低硫 石蜡- 中间基	含硫 石蜡基	低硫 石蜡基	低硫 环烷基		

①硅胶法；②石油醚不溶物；③蒸馏法。

法和工业分类法两类。

(1) 化学分类法

原油化学分类中，最常用的有特性因数分类法及关键馏分特性分类法。

① 特性因数(K 值)分类法 是人们总结了数十种原油的馏分油性质，包括汽、煤、柴油的密度，柴油的苯胺点，煤油的烟点，润滑油的粘度指数，直馏汽油的辛烷值和直馏柴油的十六烷值等，发现可以用特性因数 K 对原油进行分类。根据 K 值的大小可分为下列 3 类：

$K > 12.1$	石蜡基原油
$K = 11.5 \sim 12.1$	中间基原油
$K = 10.5 \sim 11.5$	环烷基原油

同一类原油的性质具有显著的共同点。

石蜡基原油一般含烷烃量超过 50%，其它族烃类的含量较少，其特点是含蜡量较高，密度较小，凝点高，含硫、含胶量低；汽油的辛烷值较低；柴油的十六烷值较高；并可制得粘温性能好的润滑油。大庆和南阳油田的原油是典型的石蜡基原油。

环烷基原油密度较大、凝点较低。环烷基中的重质原油，含有大量胶质和沥青质，也称沥青基原油。孤岛原油和乌尔禾稠油属这一类原油。

中间基原油的性质介于二者之间。

这个方法多年来为欧美各国普遍应用，它能够反映原油组成的特性，但它不能反映原油中轻、重组分的化学特性。有时不能很好地反映原油组成的实际情况。因此，1935 年美国矿务局提出了另一种化学分类法——关键馏分特性分类法。

② 关键馏分特性分类法 关键馏分特性分类法是把原油在特定的简易蒸馏设备中，按规定的条件进行蒸馏，在常压下取得 250~275℃ 和 275~300℃ 两个关键馏分，并分别测定两个关键馏分的密度，然后对照分类标准(表 1-2)，确定两个关键馏分的属性是石蜡基、中间基还是环烷基。最后按照表 1-3 确定该原油的类别。

表 1-2 关键馏分分类标准

类别 关键馏分	石蜡基	中间基	环烷基	类别 关键馏分	石蜡基	中间基	环烷基
第一 关键馏分	$\rho_{20} < 0.8210$ $API > 40$	$\rho_{20} = 0.8210 \sim 0.8562$ $API = 33 \sim 40$	$\rho_{20} > 0.8562$ $API > 33$	第二 关键馏分	$\rho_{20} < 0.8723$ $API > 30$	$\rho_{20} = 0.8723 \sim 0.9305$ $API = 20 \sim 30$	$\rho_{20} > 0.9305$ $API < 20$

表 1-3 关键馏分特性分类

编 号	第一关键馏分	第二关键馏分	原油类别	编 号	第一关键馏分	第二关键馏分	原油类别
1	石蜡	石蜡	石蜡	5	中间	环烷	中间-环烷
2	石蜡	中间	石蜡-中间	6	环烷	中间	环烷-中间
3	中间	石蜡	中间-石蜡	7	环烷	环烷	环烷
4	中间	中间	中间				

由于关键馏分特性分类的分类界限，对于沸点较低和沸点较高的馏分取不同数值，这比较适合一般原油组成的实际情况，所以关键馏分分类比特性因数分类更为合理。

(2) 工业分类法

石油在市场上是一种商品，为了便于了解其属性，在分类上按照其密度、含硫量、含胶量等来进行划分。因此，工业分类法也称商品分类法。具体划分标准见表 1-4、表 1-5。我国

几种原油的分类情况见表 1-6。

表 1-4 原油按密度的分类标准

类别	API	15℃密度/(g/cm ³)	20℃密度/(g/cm ³)	类别	API	15℃密度/(g/cm ³)	20℃密度/(g/cm ³)
轻质原油	>34	<0.855	<0.851	重质原油	20~10	0.934~0.999	0.931~0.996
中质原油	34~20	0.855~0.934	0.851~0.930	特稠原油	<10	>0.999	>0.996

表 1-5 原油按含硫量、含胶量等的划分标准

分类根据	按含硫量分类			按含氮量分类			按含蜡量分类			按含氮质量分类 ^①		
原油类别	低硫	含硫	高硫	低氮	含氮	高氮	低蜡	含蜡	高蜡	低胶	含胶	多胶
分类标准/%	<0.5	>0.5	—	<0.25	—	>0.25	0.5~2.5	2.5~10.0	>10.0	<5	5~15	>15

① 为硅胶胶质含量。

表 1-6 我国几种原油的分类

原油名称	含硫/% (重)	密度(20℃) (g/cm ³)	特性因数 K	特性因 数分类	第一关键 馏分 ρ_{20}	第二关键 馏分 ρ_{20}	关键馏分 特性分类	原油分 类命名
大庆混合原油	0.11	0.8615	12.5	石蜡基	0.814	0.850	石蜡基	低硫石蜡基
玉门混合原油	0.18	0.5820	12.3	石蜡基	0.818	0.870	石蜡基	低硫石蜡基
克拉玛依原油	0.04	0.8689	12.2~12.3	石蜡基	0.828	0.895	中间基	低硫中间基
胜利混合原油	0.83	0.9144	11.8	中间基	0.832	0.881	中间基	含硫中间基
大港混合原油	0.14	0.8896	11.8	中间基	0.860	0.887	环烷-中间基	低硫环烷- 中间基
孤岛原油	2.03	0.9574	11.6	中间基	0.891	0.935	环烷基	含硫环烷基

三、炼油厂的任务

我们知道石油是极其复杂的混合物，从中可以提取数百种产品。按用途可分为以下四大类产品：

① 燃料 约占石油产品的 90%以上，主要是用作发动机和锅炉等的动力燃料，如汽油、煤油、柴油、喷气燃料和重油；

② 润滑油和润滑脂 约占石油产品总量的 5%，但品种很多，差别很大，主要用于机械润滑，减少摩擦磨损；

③ 蜡、沥青和石油焦 它们广泛用于食品工业、糖纸工业和建筑业等部门；

④ 石油化工产品 产品主要用作有机合成工业的原料或中间体。

以上各类产品，在使用过程中都有各种不同的物理、化学性能指标，有着不同的使用要求。

炼油厂的任务，就是通过一系列物理的和化学的加工方法，解决原油性质与产品应用之间的矛盾，把原油加工成符合各种质量标准的石油产品。

第二节 原油的预处理

从油田输往炼油厂的原油，往往含有不同程度的水和盐类。含水量少则百分之几，多则可达百分之几十。这些水中都溶有 NaCl、CaCl₂、MgCl₂ 等盐类。当油中含有较多的水和盐时，

不但会增加炼油成本，妨碍炼制操作的正常进行，而且还会引起设备事故。

因为原油中含水过多会造成蒸馏塔内气相线速过高，使操作不稳，严重时甚至引起冲塔事故。同时它还会增加加热炉和塔顶冷凝冷却器的负荷，增加燃料的消耗量和冷却水用量，降低装置的实际处理能力。

原油中一般含有水，但有时也有一部分微小颗粒状无机盐悬浮于油中，对装置危害极大。在管式加热炉或换热器等设备中，随着温度升高，水分蒸发，盐类就沉积在管壁上，形成盐垢，使传热困难。从而导致燃料消耗增加，甚至会引起管道堵塞或炉管烧坏等事故，使工厂被迫停工。更严重的是，盐类的存在还会对设备造成腐蚀。

当原油中含盐过多时，通过蒸馏后大多留在重馏分和渣油中，这将直接影响某些产品的质量，同时也使二次加工原料油中重金属含量增加，加剧催化剂的污染。

所以无论从平稳操作，减轻设备腐蚀，保证安全生产，还是从延长开工周期和提高二次加工产品质量等各方面来看，加工前都必须对含盐量较高的原油进行脱盐脱水的预处理。

过去，进入常减压蒸馏装置的原油，要求含水量不大于 0.5%，含盐量不大于 50mg/L。随着技术的发展，目前较先进的工厂要求原油含水量不大于 0.2%，含盐量不大于 10mg/L，甚至要求小于 5mg/L。

原油中的盐类大部分是溶于所含的水中，所以，脱盐和脱水是同时进行的。由于含水的原油是一种比较稳定的油包水型乳状液，因之脱盐脱水过程的实质就是要破坏这种乳化状态，使水滴聚结，达到油水分离的目的。

原油脱盐脱水基本上有下面几种方法：

1. 加热沉降法

利用油水互不相溶而又存在密度差的特性，通过一定的设备，让水沉降使其从油中分离出来。其沉降速度可以用斯托克斯公式表示：

$$u = \frac{d^2(\rho_1 - \rho_2)}{18\nu\rho_2}g \quad (1-1)$$

式中 u ——水滴沉降速度，m/s；

d ——水滴直径，m；

ρ_1 ——水滴密度，kg/m³；

ρ_2 ——油滴密度，kg/m³；

ν ——油的运动粘度，m²/s；

g ——重力加速度，m/s²。

上式为理想状态下推导的理论公式，在实际运用中有一定的偏差。使用时应参照具体情况予以修正。从此式可以看出，两相间密度差增大和分散介质粘度的减小，以及水滴颗粒直径增加，都有利于加速沉降。因此，可采用加热凝聚等方法，加速分离。

2. 化学脱水法

原油一般都是油包水型的乳状液，即水相以微滴形式分散于连续的油相中，并为原油中所含的天然乳化剂（如环烷酸、胶质、沥青质等）所稳定。

稳定的原油乳状液，抗油水分层的能力强，不易被破坏。

影响乳状液稳定的主要因素有以下几个方面：乳状液的分散度和原油的粘度；乳化剂的类型和性质；内相颗粒表面带电；乳状液温度和水的 pH 值以及形成的时间等。

油水混合物内有足够的乳化剂，并受到充分搅拌则形成内相颗粒小、分散度高的原油乳

状液。水滴愈小，布朗运动愈强烈，从而克服重力影响，而不下沉，保持乳状液的稳定。很明显，原油粘度愈大，水滴受粘度影响也愈不容易下降，乳状液也愈稳定。

脂肪酸、环烷酸和某些低分子有机物乳化剂，因有较强的表面活性，易在内相颗粒界面形成界面膜，由于相对分子质量低，界面膜保护强度不高，此类乳化剂所稳定的乳状液的稳定性较低。反之由沥青、沥青质等高分子所稳定的乳状液，由于它们在内相颗粒界面形成较厚的、粘性和弹性较高的凝胶状界面膜，机械强度很高，因而有较高的稳定性。

内相颗粒的界面上带有极性相同的电荷是乳状液稳定的重要原因。很明显，内相颗粒带有相同电荷，由于静电斥力，内相颗粒难于碰撞，或碰撞后又迅即分离，因而小颗粒难于合并成大颗粒，使乳状液处于稳定状态。

温度对乳状液的稳定性有很大影响，随着温度升高，乳状液的稳定性随之下降。这是因为温度升高，乳状液中的乳化剂：沥青质、胶质、石蜡等在原油中的溶解度增加，内相颗粒界面膜的机械强度降低，使水滴碰撞时易于合并成大水滴而下沉。而且，温度升高，内相颗粒体积膨胀，使界面膜变薄，机械强度降低，同时也加剧了内相颗粒的布朗运动，从而增加了碰撞的机率和合并的可能，提高了分离效果。

水的 pH 值和乳状液形成的时间对乳状液的稳定也有较大的影响。一般 pH 增加，内相颗粒界面膜的弹性和机械强度降低，乳状液的稳定性变差。分散在原油中的天然乳化剂，特别是固体乳化剂，在油水界面的吸附并构成致密的薄膜需要有一定的时间。因而，原油乳状液随时间推移变得逐渐稳定。这种性质称为乳状液的老化。在形成乳状液初期，乳状液的老化十分显著，随后逐渐减弱，常常在一昼夜后乳状液的稳定性就很少增加。

针对乳状液的性质，加入相应的化学破乳剂，可将稳定的乳状液转化为不稳定的状态，从而达到脱水的目的。

破乳剂本身也是表面活性物质，但是它的性质与乳化剂相反。因为，原油中的天然乳化剂是油包水型的表面活性剂，所以原油破乳剂就应是水包油型表面活性剂。破乳剂的破乳作用是在油水界面进行的。它能迅速浓集于界面，与乳化剂相竞争，夺取界面位置而被吸附。原有的比较牢固的吸附膜就被削弱甚至破坏，小水滴就比较容易絮凝和聚结，进而沉降分离出来。

3. 电脱水法

将乳状液置于电场中，利用电场强度对水滴作用，削弱水滴界面膜的强度，促使水滴碰撞，使水滴聚结成粒径较大的水滴，沉降分离出来。

水滴在电场中聚结的方式有：电泳聚结、偶极聚结和振荡聚结 3 种形式。

(1) 电泳聚结

将乳状液置于通电的两个平行电极中，水滴将向同自身所带电荷电性相反的方向运动，即带正电荷的水滴向负电极运动，带负电荷的水滴向正电极运动，这种现象称为电泳。

原油乳状液稳定的一个重要原因，就是原油中各种粒径水滴的界面上都带有同性电荷，故在通直流电的平行电极中乳状液的全部水滴将以相同的方向运动。

在电泳过程中，水滴受到原油阻力被拉长，界面膜机械强度减弱，同时，又因各个水滴大小不等，所带电量不同，运动时所受阻力也不相同，在电场中运动速度也有差异。它们在运动过程中互相碰撞，使削弱的界面膜破裂，并合并成大的水滴，从原油中沉降出来。

(2) 偶极聚结

乳状液中的水滴无论在交流或直流电场中，都能由于感应使水滴的两端带上不同的电荷，

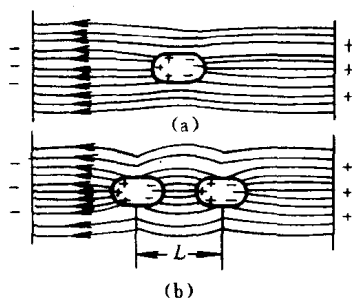


图 1-2 电场中水滴的偶极聚结

- (a) 水滴两端的带电与变形;
(b) 相邻两水滴的相互作用

产生诱导偶极。因为水滴两端同时受正负电极的吸引，水滴上作用力为零，水滴除被拉长外，不产生像电泳那样的运动，不过因水滴变形，界面膜被削弱了。原油乳状液中许多两端带电的水滴像电偶极子一样，在外电场中沿电力线方向呈直线排列形成“水链”，相邻水滴的正负偶极相互吸引，如图 1-2 所示。电的吸引力使水滴相互碰撞，合并成大的水滴，从原油中分离出来。这种聚结方式称为偶极聚结。

把电场中两个大小相等、两端所带电荷量相同的水滴，看成两个相同的电偶极子，设其中心距为 L 。原油中同样大小的水滴间的聚结力，可由下式计算：

$$F = \frac{6KE^2a^6}{L^4} = 6KE^2a^2\left(\frac{a}{L}\right)^4 \quad (1-2)$$

$$K = 4\pi\epsilon_0$$

式中 ϵ_0 ——原油的介电系数；

E ——电场强度；

a ——水滴半径；

L ——两水滴的中心距。

从上式可以看出，两水滴间的聚结力，同水滴半径 a 的平方成正比。若 a 由 $0.25\mu\text{m}$ 增大至 2.5mm ，聚结力 F 将增大 10^6 倍。因而在电场中一旦发生偶极聚结后，随着水滴直径的不断变大，水滴间的聚结力将越来越大。

从上式还可以看出，水滴间的聚结力与 $(a/L)^4$ 成正比，而 (a/L) 值取决于原油含水率的大小。若原油含水率趋于零， (a/L) 和聚结力 F 亦趋于零。这说明原油含水率很低时，偶极聚结脱水效果变差。一般认为，原油含水率小于 0.1% 时，水滴间中心距 L 将是水滴直径的 8 倍以上，偶极聚结将不起作用。

(3) 振荡聚结

水滴中常带有酸、碱、盐的各种离子。在工频交流电场中，电场方向每秒改变 50 次，水滴内各种正负离子不断地作周期性的往复运动，使水滴两端的电荷极性发生相应的变化。水滴的往复运动，使水滴界面膜不断受到冲击，使其机械强度降低，甚至破裂，水滴聚结沉降。这一过程称为振荡聚结。

根据原油一般是油包水乳状液这个特性，可以用上述方法在一定的设备和条件下破坏其乳化状态，使小水滴聚结，将水和油分离。从而脱去盐分。

原油脱盐脱水的工艺条件主要是温度、压力、注水量、破乳剂量和脱盐的级数。

原油升温虽然可以降低原油的粘度和密度，增大油水密度差，提高油水分离效果。但若温度过高，也有可能使油水两相密度差反而减少，不利于脱水。例如， 150°C 时水的密度是 917kg/m^3 ，这就有可能和某些重质原油的密度相近。而且，原油的导电率也随温度升高而增大，使电脱盐的耗电量增加。各种原油都有它自己的脱盐最佳温度范围，超出这个范围都会降低脱盐效果。一般脱盐温度以 $100\sim 120^\circ\text{C}$ 为宜。

脱盐过程是在一定的压力下进行的，其目的是为了避开原油中轻馏分的蒸发。操作压力视原油中的轻馏分的含量而定，一般在 $0.6\sim 1\text{MPa}$ ($6\sim 10\text{kgf/cm}^2$) 左右。

电脱盐时往往还要加入一定量的水。这是因为原油中通常都含有一些固体盐类，需要加

水予以溶解；另外，适当增加原油含水量，可提高水滴间的诱导偶极聚结力和降低油相中含盐的浓度，从而提高脱盐率。注水量一般为 5% 左右。

原油中加入适当的破乳剂，可显著提高破乳和洗盐效果。破乳剂的种类很多，需根据具体的原油性质和使用条件来选择。目前，常用的原油破乳剂大多是非离子型表面活性剂，并且主要是聚醚型的。破乳剂加入的位置一般在原油泵的入口处，使之在泵中与原油充分混合。

近年来，为了进一步提高脱盐效果，并脱除对导致腐蚀起主要作用的钙、镁盐类，采用了二级深度脱盐。

所谓二级脱盐，就是把两个脱盐罐串起来使用。二级脱盐的原理流程见图 1-3。

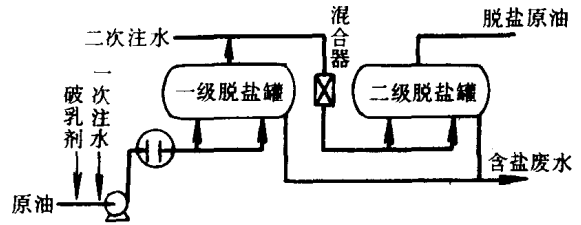


图 1-3 二级脱盐原理流程

第三节 原油的蒸馏过程

原油是一种十分复杂的混合物，它的组分多得难以数计，每种组分都有它自己的性质。在实际应用中，我们必须把它按相近的性质分割开来，组成相应的产品。

对液态混合物来说，分割的最好方法就是蒸馏。所谓蒸馏，就是利用液态或气态混合物中各组分挥发性或沸点的不同，来分离这些组分的方法。分离出来的组分其组成和性质可与原始混合物有一定的、甚至很大的差别，从而取得相应的组分。

从油品的性质来说，没有必要将其分割为单一的组分。因而在炼油时，使用蒸馏的方法，把它按沸点分割成几种不同的馏分。这些馏分就是我们对石油加工得到的最初的石油产品。沸点小于 200℃ 的馏分为汽油；175~275℃ 的馏分为煤油；200~400℃ 的馏分为柴油；350~500℃ 的馏分为润滑油；500℃ 以上的馏分则为残渣油。不过必须指出，馏分并不等于石油产品，石油产品必须经过加工，达到油品的质量标准，方能成为合格的石油产品。

另外，原油在二次、三次加工中（即原油经蒸馏装置将所处理的原油按预定方案分割成相应的直馏汽油、煤油、轻柴油以及润滑油之外，再分割出一些二次加工原料，进行深度加工），蒸馏也是必不可少的手段。

炼油厂中，蒸馏操作很多，归纳起来有下列 3 种形式：

1. 闪蒸——平衡气化

加热某一物料至部分气化，经减压设施，在容器（如闪蒸罐、蒸发塔、蒸馏塔的气化段等）的空间内，于一定温度和压力下，气、液两相迅速分离，得到相应的气相和液相产物，谓之闪蒸，如图 1-4 所示。

如果在加热汽化过程中，气、液两相有足够时间接触，气、液相产物在分离时刻达到了平衡状态，则这种气化称为平衡气化。

平衡气化的特点是所形成的气、液两相都处于同样的温度和压力下，并成平衡状态。所有的组分都同时存在于气、液两相之中，而两相中的每一个组分也都处于平衡。

平衡气化得到的气、液相是饱和蒸气和饱和液体。

实际的闪蒸过程是不可能达到真正平衡的，因为这要求气、液两相有无限长的接触时间和无限大的接触面积。不过在适当的设备和操作条件下，气、液相产物是可以接近平衡的，因