

21 世纪高等学校规划教材
Textbook Series of 21st Century



电力用油与 六氟化硫

DIANLIYONGYOU YU

LIUFUHUALIU

罗竹杰 主 编
刘吉堂 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

21 世纪高等学校规划教材

Textbook Series of 21st Century



电力用油与 六氟化硫

DIANLIYONGYOU YU

LIUFUHUALIU

中国版本图书馆CIP数据核字 (2007) 第 115385 号

主 编 罗竹杰
副主编 刘吉堂
编 写 张杏梅
主 审 李 智



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>



21 世纪高等学校规划教材

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书共分为三篇十一章，主要包括：电力用油的炼制加工、汽轮机油、抗燃油、绝缘油、电力用油的净化与再生处理、气相色谱分析基础、绝缘油中溶解气体组分含量分析、充油电气设备气潜伏性故障诊断、六氟化硫绝缘气体、六氟化硫气体的质量监督与管理、六氟化硫运行气体的管理。每章后还附有思考题，供读者自测。

本书可作为高等院校电厂化学及相关专业教材，也可作为发电、供电油务监督工作人员的培训教材和参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电力用油与六氟化硫/罗竹杰主编. —北京: 中国电力出版社, 2007

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-5952-6

I. 电... II. 罗... III. ①电力系统-润滑油-高等学校-教材②电力系统-液体绝缘材料-高等学校-教材③气体绝缘材料-氟化物-高等学校-教材 IV. TE626.3 TM213

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 112392 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 433 千字

印数 0001—3000 册 定价 28.80 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

在电力系统中,油务监督是化学监督的重要组成部分。监督质量的好坏直接影响发电机组润滑系统、调速系统、充油(充气)电气设备的安全经济运行。

电力系统中普遍使用的汽轮机油和变压器油都是从石油炼制而来的矿物油。要做好矿物油的监督工作,就必须了解和掌握石油的组成、性质以及炼制加工技术对成品油的影响。但是,随着电力事业的发展,高参数、大容量设备的日益增加,传统上普遍使用的矿物油难以满足发、供电设备的使用要求,从而使“油务监督”有了新的内涵和外延。

对发电机组而言,由原来润滑、调速液压系统采用单一的汽轮机油介质,转变为润滑、调速液压介质分离,即润滑介质仍使用矿物汽轮机油,而调速液压介质则采用人工合成的抗燃液——抗燃油。

对输电设备来说,虽然变压器仍以使用变压器油为主,但以六氟化硫气体作为绝缘介质的变压器已经在生产上得到应用。为了克服变压器油易燃、易爆的缺点,原来使用变压器油作介质的断路器、互感器、套管等充油电气设备正逐步被六氟化硫绝缘气体介质取代,六氟化硫组合电器(GIS)变电站越来越多。

由此可见,油务监督的内容不仅指传统的汽轮机油、变压器油监督,还涵盖了抗燃油和六氟化硫绝缘气体介质的监督。因此,本书以电力系统发、供电设备中使用的润滑介质、液压介质及绝缘介质的国家标准和行业标准为基础,系统阐述这些介质的物理化学及电气性质,介绍了其主要检测、诊断技术和方法,指出了维护监督中的难点和注意事项。

本书共分三篇,第一篇分五章,主要介绍电力用油的相关知识;第二篇分三章,介绍气相色谱分析基础,油中溶解气体分析及充油电气设备故障诊断技术;第三篇分三章,介绍六氟化硫绝缘气体介质的监督检测知识。本书第二章由张杏梅编写;第五章由刘吉堂编写;其余各章由罗竹杰编写。本书由罗竹杰担任主编,由广东省电力试验研究所高级工程师李智认真审阅,并提出宝贵意见,在此表示感谢!

由于作者专业知识水平有限,书中可能会有不足之处,恳请相关专家、读者给予指正。

编者

2007年5月

目 录

前言	1
第一篇 电力用油	
第一章 电力用油的炼制加工	1
第一节 石油的化学组成与分类	1
第二节 石油的炼制工艺方法	9
第三节 电力用油的特点	22
思考题	29
第二章 汽轮机油	30
第一节 汽轮机润滑系统	30
第二节 润滑与摩擦	34
第三节 汽轮机油的性能	39
第四节 影响运行汽轮机油性能的因素及危害	53
第五节 汽轮机油的监督与维护	55
思考题	63
第三章 抗燃油	65
第一节 抗燃油液压系统及其作用	65
第二节 抗燃油的特性	68
第三节 抗燃油的质量监督	75
第四节 运行抗燃油的维护	79
第五节 颗粒污染控制与监督检查	86
思考题	95
第四章 绝缘油	96
第一节 电力变压器基础知识	96
第二节 大型变压器对绝缘油的要求	102
第三节 基建阶段变压器油的质量监督	119
思考题	131
第五章 电力用油的净化与再生处理	132
第一节 油的净化处理	132
第二节 废油的再生处理	138
第三节 其他方法处理油	145
第四节 再生油的质量标准	146
思考题	148

第二篇 充油电气设备油中溶解气体组分

含量检测与潜伏性故障诊断

第六章 气相色谱分析基础	149
第一节 色谱法概述	149
第二节 气相色谱基本理论	151
第三节 色谱分离条件的选择	154
第四节 气相色谱固体固定相	159
第五节 气相色谱仪	164
第六节 气相色谱的定性、定量分析	169
思考题	174
第七章 绝缘油中溶解气体组分含量分析	175
第一节 油中溶解气体分析对仪器的要求	175
第二节 油中溶解气体分析步骤和方法	178
第三节 油中溶解气体的在线监测	189
思考题	193
第八章 充油电气设备潜伏性故障诊断	194
第一节 充油电气设备故障产气原理	194
第二节 故障气体在充油电气设备内的转移交换	197
第三节 充油电气设备产气故障的类型及特征	199
第四节 充油电气设备潜伏性故障诊断方法	202
第五节 充油电气设备故障与诊断分析	211
第六节 变压器余寿命的评估	217
思考题	222
第三篇 六氟化硫绝缘气体	
第九章 六氟化硫气体的基本性质	224
第一节 六氟化硫气体的物理化学性质	224
第二节 六氟化硫的电气性质	228
第三节 六氟化硫的状态参数及其应用	232
第四节 六氟化硫电弧作用下的分解产物	236
思考题	238
第十章 六氟化硫气体的质量监督与管理	239
第一节 六氟化硫新气的质量验收	239
第二节 六氟化硫气体绝缘设备的现场充装工艺与质量监督	241
第三节 运行六氟化硫绝缘气体湿度的控制标准	242
第四节 六氟化硫设备内气体水分的检测	246
第五节 六氟化硫电气设备故障诊断分析技术	255
思考题	258

第十一章 六氟化硫设备运行气体的管理.....	259
第一节 六氟化硫运行气体的泄漏管理	259
第二节 六氟化硫电气设备中运行气体的管理	262
第三节 六氟化硫设备运行和解体检修时的安全防护	269
思考题	270
附录 A 水的饱和水蒸气压 (0~100℃)	271
附录 B 冰的饱和水蒸气压 (0~-100℃)	274
参考文献.....	277

第一篇 电 力 用 油

电力系统主要由两大部分组成：一是由发电厂构成的电源部分，二是由供电公司和用户构成的供电部分。发电厂中的机组主要使用润滑介质，其升压站的变电设备与供电企业相同，主要使用绝缘介质。

发电机组使用的润滑介质类有汽轮机油、机械油、齿轮油等，输变电设备使用的绝缘介质类有变压器油、断路器油、电缆油、电容器油等。其中用量最大、对发供电设备运行安全产生直接影响的是变压器油和汽轮机油，这两种油通常称为电力用油。电力用油是由天然石油炼制而成的，属于矿物油的范畴，它们具有相似的性质和特点，原油的组成及炼制加工工艺对油品的性能影响很大，因此本篇第一章主要介绍了电力用油的炼制加工工艺。第二、四章介绍了汽轮机油、变压器油的相关标准和知识。

20 世纪 80 年代开始，在发电机组中普遍使用的液压介质磷酸脂抗燃油不属于矿物油的范畴，其组成和性质也与矿物油有较大的差别，该类油品尽管在发电机组中的用量不大，但其对机组的安全经济运行影响很大，且其物理化学性能的大多数指标及检测方法与矿物油相似或相同，因此也将其归于本篇，在第三章中进行系统阐述。

第四章介绍汽轮机油、变压器油、抗燃油的检测方法及分析要点，第五章则主要介绍废油的再生处理。

第一章 电力用油的炼制加工

天然石油经过炼油厂的加工而形成各类成品油。电力系统常用的汽轮机用润滑油、变压器用绝缘油及开关设备使用的断路器油等都是石油加工炼制的成品油，电力行业通常把这类油称为电力用油。

本章将简要介绍石油的组成及炼制加工技术，加工工艺对成品油组成及性能的影响。

第一节 石油的化学组成与分类

天然石油又称原油，是从埋藏在地下的石油矿层中开采出来的。依石油产地的不同，其颜色、气味及组成差别很大。尽管如此，它们却有其共同的特点，即均是一种黏稠的可燃性液体矿物，通常呈黑色、褐色，其密度一般小于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ ，在 $0.77\sim 0.96\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。

石油的分子组成十分复杂，是一种含有碳、氢、氧、氮、硫、磷及各种金属元素化合物的混合物。要精确地弄清石油的分子构成是一项十分复杂的任务，在大多情况下也无此必要。因为石油的化学组成虽然复杂，但其主要由碳、氢两种元素组成，其中碳元素约占 $83\%\sim 87\%$ ，氢元素约占 $11\%\sim 14\%$ ，表 1-1 是几种不同来源石油的典型元素组成。

表 1-1

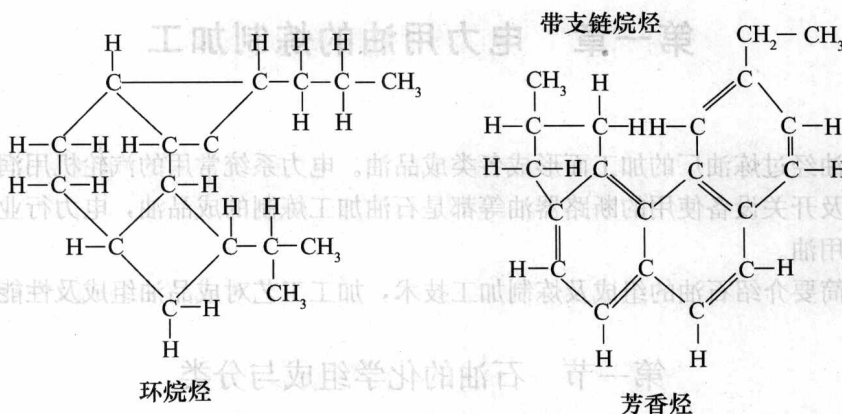
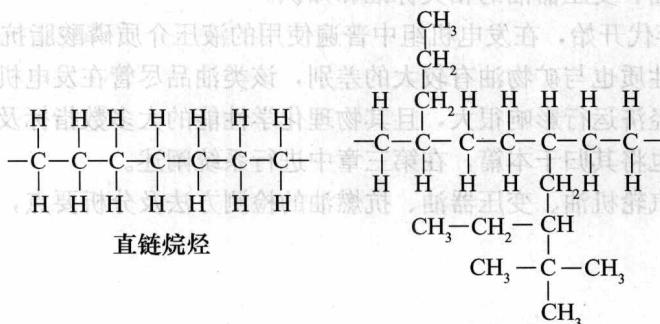
石油的典型元素组成

石油产地	密度 ρ_4^{20} (g/cm ³)	元素组成 (质量分数, %)				
		C	H	S	O	N
克拉玛依	0.8679	86.12	13.30	0.04	0.25	0.28
玉 门	0.8698	83.50	12.90	0.15	0.45	—
抚顺页岩油	0.9033	84.6	12.1	0.54	1.27	1.53
伊 朗	0.8740	85.4	12.8	1.06	0.74	—
美国宾州	0.810	85.8	14.0	0.10	0.10	—

一、石油的烃类组成

在有机化学上, 将由碳、氢两种元素构成的化合物统称为烃类化合物。烃是石油中最基本的化合物, 其他各类有机化合物都可视为其相应烃类的衍生物。

按照烃类分子中碳、氢元素排列组合方式的不同, 烃类化合物主要可分为烷烃、环烷烃和芳香烃 3 大类, 其结构特点如下:



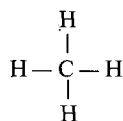
不同烃类有不同的物理化学性质, 对石油产品性能的影响也是各不相同的, 下面简单介绍 3 种烃类的化学性质及其对成品油性能的影响。

1. 烷烃

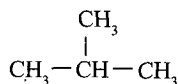
烷烃中最简单的是含一个碳原子的化合物甲烷, 其分子式为 CH_4 。含两个碳原子的化合物是乙烷, 其分子式为 C_2H_6 。随着碳原子数目的增多, 可以得到一系列的化合物。由上述化合物可以看出, 从甲烷开始, 每增加一个碳原子, 就相应增加两个氢原子, 因此可用 $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ (n 为由 1 开始的整数) 这样一个式子来表示该系列化合物的组成, 这个式子叫做

烷烃的化学通式。

这类化合物碳原子之间以单键相连，其余价键被氢原子饱和。烷烃的结构可分为直链型和支链型两类。直链型烷烃分子对碳原子数量没有限制，而支链型烷烃分子则要求碳原子数不少于 4 个，也就是说异丁烷是最简单的支链型烷烃分子。



甲烷



异丁烷

烷烃的物理性质随分子量的增加而递变。如烷烃的沸点和密度都随分子量的增加而升高，见表 1-2。在常温、常压下，含 1~4 个碳元素的烷烃呈气态，是石油天然气的主要成份；含 5~15 个碳元素的烷烃呈液态，是汽油、柴油、绝缘油、润滑油等液体石油产品的主要成分；含 16 个以上碳元素的正构烷烃呈固态，俗称石蜡，其熔点随分子量的增大而升高。

直链型烷烃也称正构烷烃，由于大分子直链型烷烃与同分子量的支链烷烃相比，在较高的温度下易于凝固，形成石蜡，故俗称为石蜡烃，简称石蜡。烷烃含量在 25%~30% 的石油称为石蜡基石油。

表 1-2

部分正构烷烃的物理性质

名 称	密度 (g/cm ³)	沸点 (°C)	熔点 (°C)	状 态
甲烷	0.4240	-161.7	-182.6	气体
乙烷	0.5462	-88.6	-172.0	气体
丙烷	0.5824	-42.2	-187.1	气体
丁烷	0.5788	-0.5	-135.0	气体
戊烷	0.6244	36.1	-127.7	液体
己烷	0.6594	68.7	-94	液体
庚烷	0.6837	98.4	-90.5	液体
辛烷	0.7028	125.6	-56.8	液体
壬烷	0.7179	150.7	-53.7	液体
癸烷	0.7298	174.0	-29.7	液体
十一烷	0.7404	195.8	-25.6	液体
十四烷	0.7680	251	5.5	液体
十八烷	0.7767	308	28.0	固体

表 1-3

己烷各异构体的沸点

结构式	沸点 (°C)	结构式	沸点 (°C)
$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$	68.7	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{C}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	49.7
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	60.3	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	58.0
$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	63.3		

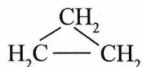
由于烷烃是非极性的饱和烃，其化学稳定性好，在一般情况下，烷烃与大多数试剂，如

强酸、强碱、强氧化剂都不起化学反应。

烷烃具有黏度高、闪点高、凝固点高、黏温性好的特点，但对水和氧化产物的溶解能力较差。正是由于烷烃的这些特点，石蜡基石油特别适合炼制要求黏温性好、而对凝固点要求不高的汽轮机用润滑油。

2. 环烷烃

环烷烃是由碳氢两种元素组成的具有环状结构的饱和化合物。环烷烃的结构较为复杂，有单环、双环和多环之分。其单环环烷烃的化学分子通式与烯烃相同，为 C_nH_{2n} (n 为大于等于 3 的整数)，最简单的环烷烃为环丙烷。



环烷烃比水轻，不溶于水，其沸点比相应的烷烃高，见表 1-4。

环丙烷和环丁烷由于分子中的张力较大，故其化学性质比较活泼，它们与烯烃相似，容易与氢气 (H_2)、溴气 (Br_2) 发生加成反应，开环而形成链状化合物。而五圆环以上的环烷烃则较为稳定，不易与氢发生加氢反应。

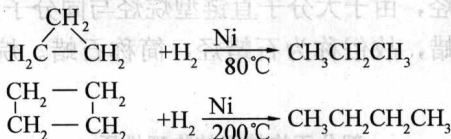


表 1-4

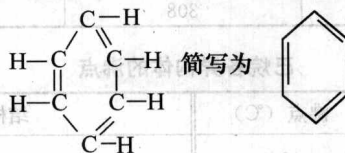
几种环烷烃的沸点

名 称	沸点 (°C)	名 称	沸点 (°C)
环丙烷	-34	环戊烷	50
环丁烷	13	环己烷	81

环烷烃含量超过 75% 的石油称为环烷基石油。由于环烷烃也是饱和烃，其化学性质与烷烃相似，其化学稳定性及热稳定性都很好，且黏度低、凝固点低、低温流动性好。故以环烷烃为主要成分的环烷基石油是炼制加工电气绝缘油的最好原料。

3. 芳香烃

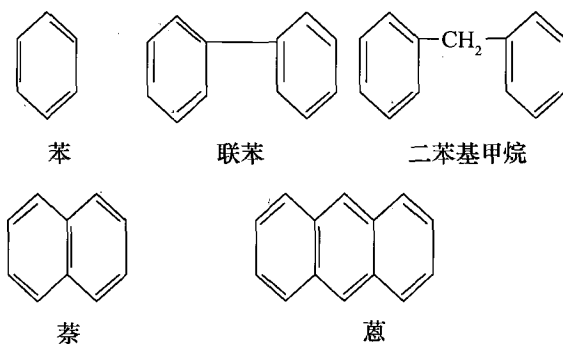
芳香烃化合物原来指的是由树脂中取得的一些有香味的物质，由于这些物质分子中都含有苯环，所以在有机化学中把含有苯环的化合物称为芳香烃化合物。



实际上，许多含有苯环的化合物不但不香，还有很难闻的臭味，故“芳香烃”这一名称并不恰当。所以芳香烃已失去了原有的具有芳香气味烃类的本意，而仅指具有苯环结构特征的碳氢化合物。芳香烃的化学通式为 C_nH_{2n-6} (n 为大于等于 6 的整数)。苯是芳香烃中最简单的化合物。

根据分子中所含苯环的数目，可将芳香烃分为单环和多环两大类。单环芳香烃包括苯、甲苯等苯的同系物。多环芳香烃是指分子中含有一个以上苯环的化合物，多环芳香烃根据苯环间的连接方式分为联苯类（如联苯）、多苯代烃（如二苯基甲烷）和稠环芳香烃（如萘、

蒽) 3 大类。



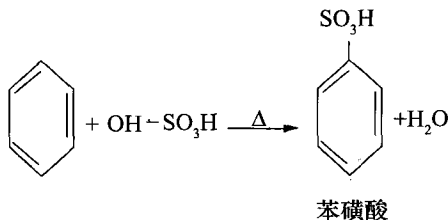
芳香烃包括苯、甲苯等苯的低分子量同系物，都是无色液体，不溶于水，而易溶于石油醚、醇等有机溶剂。芳香烃燃烧时产生带浓烟的火焰。苯及其同系物有毒，长期吸入它们的蒸汽能损坏造血器官和神经系统。稠环芳香烃都是固体，密度大于 1，大多具有致癌作用，其中萘、蒽、菲是合成染料和药物的重要原料。芳香烃的物理参数见表 1-5。

表 1-5 部分芳香烃的物理参数

名 称	沸点 (°C)	熔点 (°C)	密度 (g/cm ³)
苯	80.1	5.4	0.879
甲苯	110.6	-95	0.867
乙苯	136	-93.5	0.867
丙苯	159.5	-99.5	0.862
异丙苯	152	-96	0.862
邻二甲苯	144	-28	0.880
间二甲苯	139	-54	0.864
对二甲苯	133	13	0.861
萘	218	80.3	1.162
蒽	354	216	1.25
菲	340	101	1.179

苯的结构实际上并不像分子结构式上表示的那样，具有碳—碳双键，所以它不具备烯烃的典型化学性质。苯环相当稳定，不易被氧化，不易进行加成反应，而容易发生取代反应。

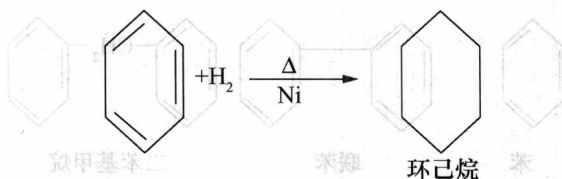
所谓取代反应，是指苯环上的氢原子被其他原子或基团替代的化学反应。苯与卤族元素（氯、溴）、硝酸、浓硫酸在一定的条件下都会发生取代反应，如苯与浓硫酸共热，苯环上的氢原子可被磺酸基（—SO₃H）取代，生成苯磺酸。



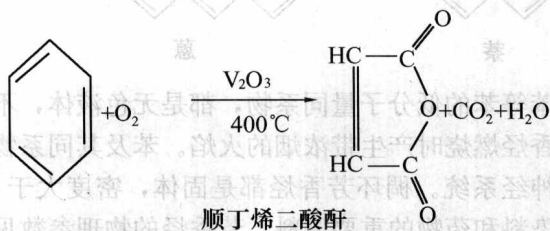
苯及其同系物虽不像烯烃和炔烃那样容易进行加成反应，但在一定条件下，仍可与氢

气、氯气等发生加成反应，生成环烷烃或其衍生物。

。类大8（意

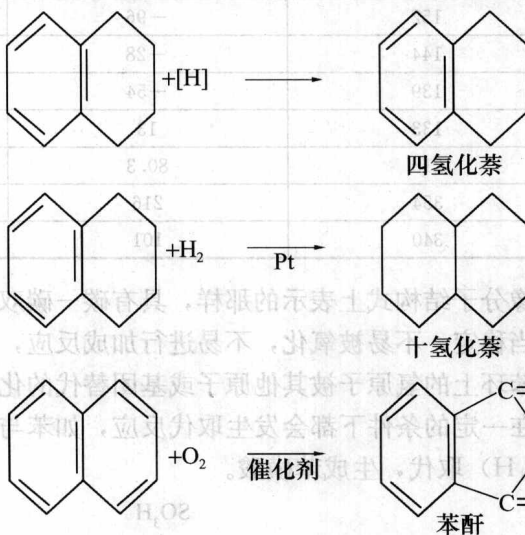


在较高温度及特殊催化剂的作用下，苯可被空气中的氧气氧化开环，生成顺丁烯二酸酐。



在天然石油中芳香烃的含量相对较低，一般不超过 30%。煤焦油则是获取芳香烃化合物的主要原料。

芳香烃因具有独特的双键结构，故其对成品油性能的影响也较为复杂。一般来说，单环芳香烃化学稳定性较好，其电气性能与环烷烃没有明显的差别；而多环芳香烃的化学稳定性差，易于与氢发生加成反应，被空气中的氧气氧化而形成酸、醛、酚等化合物，甚至形成油泥，使油品的酸值升高，颜色加深，通常是炼制、加工电力用油时要去除的不良成分。

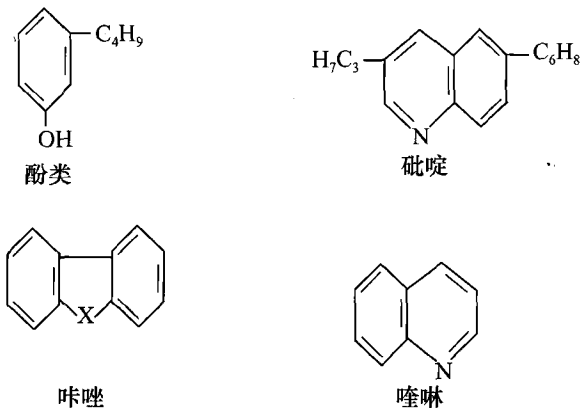


虽然多环芳香烃氧化稳定性差，但多环芳香烃对于电气绝缘油来说，也有有益的一面。如正因为其氧化稳定性差，所以它是成品油中的一种天然的抗氧化剂，即通过自身的被氧化，而保护其他结构的烃类化合物；多环芳香烃的双键化学键能相对较低，在外界能量的作用下易于断裂，极易与运行充油电气设备产生的一H、—CH₃等自由基发生加成反应，即具有一定的吸气性。另外，芳香烃化合物相对来说极性较强，具有一定的溶剂性，对运行使用中油品产生的极性氧化产物有较强的溶解能力，不致形成沉淀性油泥，这对电气设备使用

的绝缘油来说非常重要。

4. 非烃类化合物

天然石油中,除了含有上述3类烃之外,依石油的产地不同,还含有少量的非烃类化合物,如含硫化合物、含氮化合物、含氧化合物及胶质、沥青等其他化合物,其典型结构如:



非烃类化合物在天然石油中的含量少,其分子中具有极性原子或基团,化学稳定性、热稳定性及光稳定性都很差,是形成油泥沉淀的主要组分,在成品油加工过程中都应被去除。

另外,由于这些组分的存在,增加了石油加工的难度和成本,因而含非烃类化合物较高的天然石油的经济价值相对较低。

二、石油的商品分类

石油分类的主要目的是为了便于判断石油的经济价值,促进石油加工和贸易。

石油的分类方法很多,常用的工业分类法主要有密度分类法、含硫量分类法、含蜡量分类法、族组成分类法和含胶类分类法等。

1. 密度分类法

密度是石油成分组成的宏观反映。石油的密度大,说明石油的平均分子量大;反之,则说明石油的平均分子量小。

目前,石油的主要用途是作燃料。通常使用的汽油、柴油都是燃料油,是石油加工后的产品,其平均分子量均较低。由此可见,低密度轻质石油天然含有的汽油、柴油成分高,提取加工的成本低;而高密度重质石油的平均分子量均较大,其天然含有的汽油、柴油成分少,如用其生产低分子量的燃料油,则加工设备的投资大,工艺技术要求高,生产成本低。故低密度轻质石油更适合加工燃料油。石油的密度分类指标见表 1-6。如图 1-1 所示为几个不同产地石油的典型成分构成示意图。

表 1-6

石油的密度分类表

名 称	密度 $\rho_4^{15.6}$ (g/cm ³)
轻质石油	<0.830
中质石油	0.830~0.904
重质石油	0.904~0.966
特重质石油	>0.966

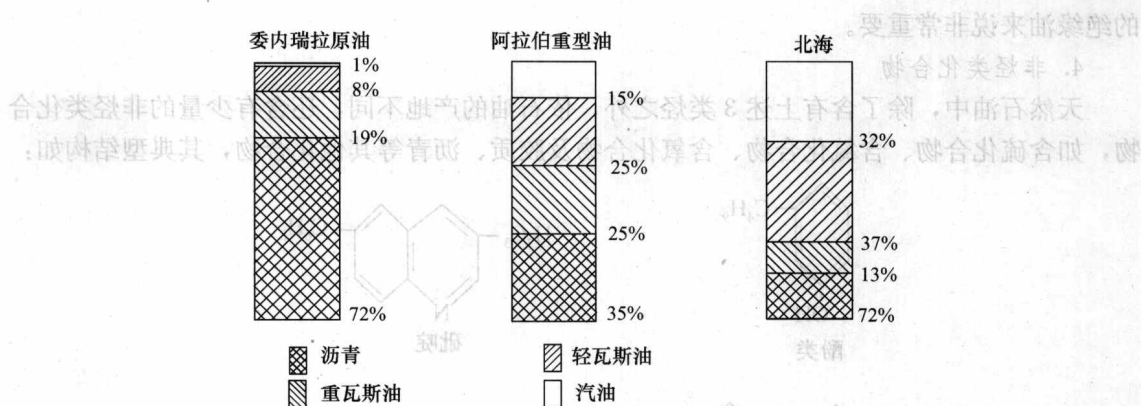


图 1-1 不同产地石油的成分示意图

2. 含硫量分类法

石油中含硫量的高低与其经济价值密切相关,含硫量越高,经济价值越低。其主要原因有 3 个:①高含硫石油加工成本高,石油中的硫元素易引起石油加工过程中所用金属催化剂中毒;②在加工过程中生成的硫化物会引起设备的腐蚀;③含硫副产物易于引发环境污染。表 1-7 是石油的含硫量分类指标。

3. 含蜡量分类法

石油的含蜡量分类法有助于指导石油炼制设备的设计及加工工艺。如高含蜡石油不适合加工低黏度及低温流动性好的成品油;而较适合加工黏度指数高,对低温流动性要求不高的润滑油及工艺用油(如医用白油等)。表 1-8 是石油的含蜡量分类指标。

表 1-7 石油的含硫量分类指标

名 称	含硫量 (质量分数,%)
低硫石油	<0.5
含硫石油	0.5~2.0
高硫石油	>2.0

表 1-8 石油的含蜡量分类指标

名 称	含蜡量 (质量分数,%)
低蜡石油	0.5~2.5
含蜡石油	2.5~10
高蜡石油	>10

4. 族组成分类法

根据石油中烃类族组成,通常把以烷烃为主的石油称为石蜡基原油;把以环烷烃、芳香烃为主的石油称为环烷基原油;把介于二者之间的石油称为混合基(中间基)原油。

烃类族组成的分类方法主要有两种,即特性因数分类法和关键馏分特性分类法。在此简单介绍特性因数分类法。

表征石油烃类组成的特性因数 k 用下式表示:

$$k = T^{1/3} / \rho_{15.6}^{15.6}$$

式中 T ——烃类的热力学沸点;

$\rho_{15.6}^{15.6}$ ——烃类的相对密度。

对于不同族类的烃,其特性因数 k 值是不同的,以烷烃的 k 值最大。这样就可根据其原油特性因数 k 值的大小,将原油大致分为 3 类。表 1-9 是特性因数 k 值的分类指标。

我国乃至世界上的石油当中,石蜡基原油居多,混合基原油次之,环烷基原油很少。我国克拉玛依油田是世界上少数的环烷基油田之一。

表 1-9

特性因数 k 值的分类指标

名称	石蜡基	中间基	环烷基
特性因数 k 值	>12.1	$11.5 \sim 12.1$	$10.5 \sim 11.5$

5. 含胶类分类法

所谓含胶类分类法，就是根据石油中胶质成分含量的高低进行分类的。前文曾提到过，石油中的胶质成分主要是非烃化合物。此类石油炼制加工成品油技术要求高，难度大，因此胶质含量高的石油，其经济价值低。表 1-10 是石油含胶量分类指标。

我国原油的特点是含蜡多、凝固点高、含氮量高，含硫量低。除个别油田外，我国原油中汽油馏分较少，油渣占 1/3。如大庆原油就属于低硫石蜡基原油，而克拉玛依部分原油则属于低硫环烷基原油。

表 1-10 石油含胶量分类指标

名称	含硫量（质量分数，%）
低胶石油	<5
含胶石油	$5 \sim 15$
多胶石油	>15

石油的组成不同，其加工炼制方法及用途也不相同。石油炼制加工的原则是，根据石油的组成，设计适宜的加工工艺，降低生产成本，做到物尽其用。

第二节 石油的炼制工艺方法

对于大多数炼油企业来说，电气设备使用的绝缘油和汽轮机使用的润滑油只是其业务的一小部分，仅占原油加工量的 2%~3%。然而由于电力用油的特殊性，炼制工艺要求却很高，炼制工艺的好坏决定着油品的使用寿命和设备的运行安全。

在炼油企业中，从原油制取电力用油，一般经过 5 步工艺流程，即预处理、常压蒸馏、减压蒸馏、精制和调和。

一、预处理

原油预处理的主要目的是去除其中的水分，分离出原油中存在的机械杂质及无机盐类。

从地下开采出的石油含有大量的水分、机械杂质和无机盐类等，虽然原油开采出后，就地经过沉降和脱水，但水分、机械杂质的分离很不彻底，尤其是乳化水和悬浮物仍然较多，含盐量（主要是氯化物）也比较高，这样的原油不能直接投入炼油设备进行加工，否则这些物质会引起设备的腐蚀、结垢，故需在加工前脱除。

原油预处理方法很多，一般常用热沉降法、离心分离法、化学药剂法等，以经济实用为原则。

原油中的大部分水分和机械杂质，可通过对原油进行加热，使其黏度降低，促使乳化水破乳，因水分和机械杂质的比重较大，自然沉降而得到分离，为加快分离速度也可使用离心机分离。

原油中含有盐类和乳化水，通过热沉降法和离心分离法往往难以取得满意的分离效果，此时一般需要向原油中添加一定剂量的破乳剂或凝聚剂等化学药品，促使乳化水破乳、盐类絮凝，再通过热沉降和离心分离的方法将其去除。

二、蒸馏

蒸馏的目的是调整成品油的黏度和闪点。换句话说，成品油的黏度和闪点指标是由蒸馏工艺决定的。

蒸馏工艺分为常压蒸馏和减压蒸馏。常压蒸馏和减压蒸馏习惯上合称常减压蒸馏。

常减压蒸馏基本属物理过程，它是在专用的蒸馏塔里，把原料油分成沸点范围不同的组分，通常称为馏分油。这些馏分油，有一小部分经调合、加添加剂后，以产品形式出厂；而相当大的部分是后续加工装置的原料，因此，常减压蒸馏又被称为原油的一次加工。

1. 常压蒸馏

常压蒸馏是在大气压力下，把石油加热至 350°C 左右后，送入炼油厂中细高的常压塔，“热油”中沸点较低的烃类汽化后，迅速上升，经过层层塔盘直达塔顶。由于常压塔塔体非常高，塔体内的温度自下而上逐渐降低，所以，被汽化的烃类气体在上升过程中会被逐渐冷却，沸点高的组分行程较短，在温度较高的低位的塔盘上冷凝成液体；而沸点低的组分会则继续上升，在温度较低的高位塔盘上冷凝成液体。

由此可见，用常压蒸馏就能把石油中的低沸点烃类组分按沸点的高低进行分离，从常压塔塔体自上而下，依次得到沸点从低到高的馏分油，即燃料油馏分，生活中常用的汽油、柴油等产品就是燃料油馏分进一步加工后的成品油。

轻质原油通过简单的常压蒸馏就可获取大量的燃料油馏分，故燃料油的生产成本相对较低。

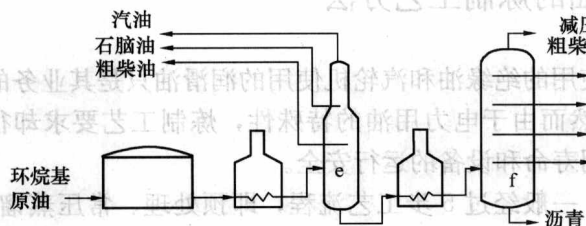


图 1-2 从石油中获取润滑油馏分的炼油装置示意图

a—轻质锭子油；b—重质锭子油；c—轻质润滑油；

d—重质润滑油；e—常压蒸馏塔；f—减压蒸馏塔

2. 减压蒸馏

在常压蒸馏塔底部没有被汽化的高沸点石油组分通常被称为“重油”。这些组分在常压塔下，其烃类的分子难以汽化，若继续提高热油的温度，烃类的分子则可能发生裂解，破坏烃类分子的原有结构，甚至因为空气的存在，会引发火灾事故。

为了得到高沸点的大分子石油馏分，通过降低蒸馏塔的大气压力，即在真空条件下，不提高“热油”的温度，而降低烃类组分的沸点，使“重油”像常压蒸馏那样，按烃类组分沸点的高低进行分离，这就是人们俗称的减压蒸馏。

减压蒸馏获得的产品是润滑油馏分，电力用油就是润滑油馏分进一步加工形成的产品。图 1-2 是从石油中获取润滑油馏分的炼油装置示意图。

由于成品油的黏度和闪点在通常情况下是其分子量或密度的函数，所以也可以说，蒸馏的作用是调整成品油的分子构成。每一馏分油中，分子量大小的范围取决于蒸馏塔的分馏效率。分馏效率越高，截取的温度范围越窄，馏分油中的分子量大小越均匀。成品油的闪点温度是由低沸点的小分子量组分决定的。

图 1-3 是润滑油馏分的蒸馏曲线。表

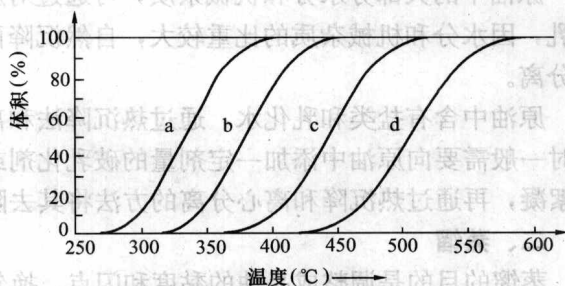


图 1-3 润滑油馏分的蒸馏曲线