

火力发电厂
化学技术丛书

火力发电厂 用油技术

罗竹杰 吉殿平 编著

解决技术难题
突出实用技能



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

火力发电厂
化学技术丛书

火力发电厂 用油技术

罗竹杰 吉殿平

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书为《火力发电厂化学技术丛书》之一,全书共7章:石油的化学组成与电力用油的炼制,汽轮机油监督技术,抗燃油监督技术,绝缘油监督技术,绝缘油中溶解气体组分含量分析,充油电气设备潜伏性故障诊断,六氟化硫绝缘气体。系统地介绍了汽轮机油、变压器油、抗燃油和六氟化硫绝缘气体介质的相关知识和应用技术,重点阐述了油中溶解气体分析及充油电气设备故障诊断技术。

本书资料翔实可靠、内容丰富新颖、见解精练独到,是电厂化学专业生产技术人员、监督人员不可或缺的科技书,也可作为电厂化学专业高等院校的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

火力发电厂用油技术/罗竹杰,吉殿平编著. —北京:
中国电力出版社,2006

(火力发电厂化学技术丛书)

ISBN 7-5083-4591-6

I. 火… II. ①罗… ②吉… III. 火电厂-工业用
油 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 085543 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http: 'www. cepp. com. cn)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006年12月第一版 2006年12月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 12.25印张 298千字

印数 0001—3000册 定价 20.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

火力发电在我国电源结构中占 70% 以上, 而且这种基本格局在短期内不会根本改变。电源结构不合理、电源与电网建设不协调、电力科技含量低等因素导致资源浪费严重, 是目前困扰中国电力工业健康发展的主要问题。

水、煤、油均是宝贵的资源, 是火力发电厂赖以生存和发展的物质基础。特别是水资源短缺, 已成为制约电力工业发展的重要因素, 我国水资源总量居世界第 6 位, 但人均占有量居世界第 108 位。我国是世界上 21 个贫水国之一。另一方面, 我国火力发电厂受技术条件的限制, 水、煤等资源浪费严重。例如我国火力发电厂水耗为技术发达国家同类机组的 1.8 倍, 在煤、油的利用方面也存在类似情况。

为了建设节约型社会, 为了电厂的自身发展, 就必须充分利用水、煤、油资源, 这将是火力发电厂的一项长期任务。根据我国火力发电厂各专业的配置, 水、煤、油同属于电厂化学专业的技术范畴, 为了全面阐述火力发电厂在保证机组安全经济运行的前提下, 如何用好水、煤、油, 特编写《火力发电厂化学技术丛书》。

本丛书包括《火力发电厂用水技术》、《火力发电厂用煤技术》、《火力发电厂用油技术》三个分册, 各分册具有共同的特点, 既体现如何用水、用煤、用油, 掌握火力发电厂化学技术, 避免事故的发生, 又大力节约水、煤、油资源。丛书的各个分册均分章阐述, 系统的讲述了火力发电厂用水、用煤、用油各专业相关技术问题, 说明实际生产中的技术要点与难点, 指出水、煤、油的节约方向与途径, 是火力发电厂化学专业人员所用的一套实用型科技读物。

本丛书作者既有长期从事火力发电厂化学技术试验研究工作的科研工作者, 又有来自火力发电厂生产一线的技术人员, 他们都具有丰富的实践经验。书中内容主要针对 300、600MW 机组, 并提供了众多生产实例来说明如何做好火力发电厂用水、用煤、用油工作, 并掌握其应用技术。

本书为《火力发电厂用油技术》, 书中内容密切结合我国火力发电厂实际, 全面阐述了电厂用油各个方面的技术问题。本书分七章系统介绍了汽轮机油、变压器油、抗燃油和六氟化硫气体介质的相关知识和应用技术, 重点阐述了油中溶解气体分析及充油电气设备故障诊断技术。同时本书还将一些先进的现代检测方法与应用技术介绍给读者。

本丛书主要供火力发电厂化学专业, 包括水、煤、油专业的各个岗位的一线人员使用, 同时对其他用水、用煤、用油行业的相关人员及大专院校电厂化学专业师生也具参考价值。

火力发电厂化学技术对电力生产影响很大, 其内容丰富而又庞杂, 技术性强而变化又快, 对于火力发电厂化学技术, 书中难以一一尽述, 不当之处恳请读者批评指正, 以期修订再版时加以更正。

《火力发电厂化学技术丛书》编委会

目 录

前言

第一章 石油的化学组成与电力用油的炼制	1
第一节 石油的化学组成	1
第二节 电力用油的炼制工艺特点	6
第三节 电力用油的分类	17
第二章 汽轮机油监督技术	24
第一节 汽轮机油的特性	24
第二节 发电机组对汽轮机油的要求	35
第三节 汽轮机油的运行监督及维护	40
第四节 颗粒污染控制与监督检查	57
第三章 抗燃油监督技术	65
第一节 抗燃油的特性	65
第二节 抗燃油液压系统及油质监督	72
第三节 抗燃油的运行与维护	76
第四章 绝缘油监督技术	84
第一节 大型变压器对绝缘油的要求	84
第二节 基建阶段变压器油的质量监督	99
第五章 绝缘油中溶解气体组分含量分析	107
第一节 气相色谱分析基础	107
第二节 油中溶解气体分析对仪器的要求	121
第三节 油中溶解气体分析	125
第四节 油中溶解气体的在线监测	135
第六章 充油电气设备潜伏性故障诊断	139
第一节 充油电气设备材料的热解气体	139

第二节	故障气体在充油电气设备内的转移交换·····	141
第三节	充油电气设备产生故障的类型及特征·····	143
第四节	充油电气设备潜伏性故障诊断方法·····	146

第七章 SF₆ 绝缘气体 ····· 156

第一节	SF ₆ 的基本性质 ·····	156
第二节	SF ₆ 的状态参数及其应用 ·····	161
第三节	SF ₆ 在电弧作用下的分解产物 ·····	165
第四节	SF ₆ 绝缘介质水分的控制标准 ·····	168
第五节	SF ₆ 设备内气体水分的检测 ·····	171
第六节	运行 SF ₆ 设备的气体管理 ·····	178

附录 A 水的饱和水蒸气压 (0~100℃) ····· 184

附录 B 冰的饱和水蒸气压 (0~-100℃) ····· 187

参考文献····· 190

第一章

石油的化学组成与电力用油的炼制

天然石油经过炼油厂的加工形成各类成品油。电力系统常用的汽轮机润滑油、变压器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，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，加工工艺对成品油的组成及性能的影响。

第一节 石油的化学组成

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，密度一般小于 1g/cm^3 ，在 $0.77\sim 0.96\text{g/cm}^3$ 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件十分复杂的任务，在多数情况下也无必要。因为石油的化学组成虽然复杂，但主要由碳、氢两种元素组成，其中碳元素约占 $83\%\sim 87\%$ ，氢元素约占 $11\%\sim 14\%$ 。几种不同来源石油的典型元素组成见表 1-1。

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	—
美国宾夕法尼亚州	0.810	85.8	14.0	0.10	0.10	

一、石油的烃类组成

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的方式不同，烃类化合物主要可分为烷烃、环烷烃和芳香烃三大类，其结构特点见图 1-1。

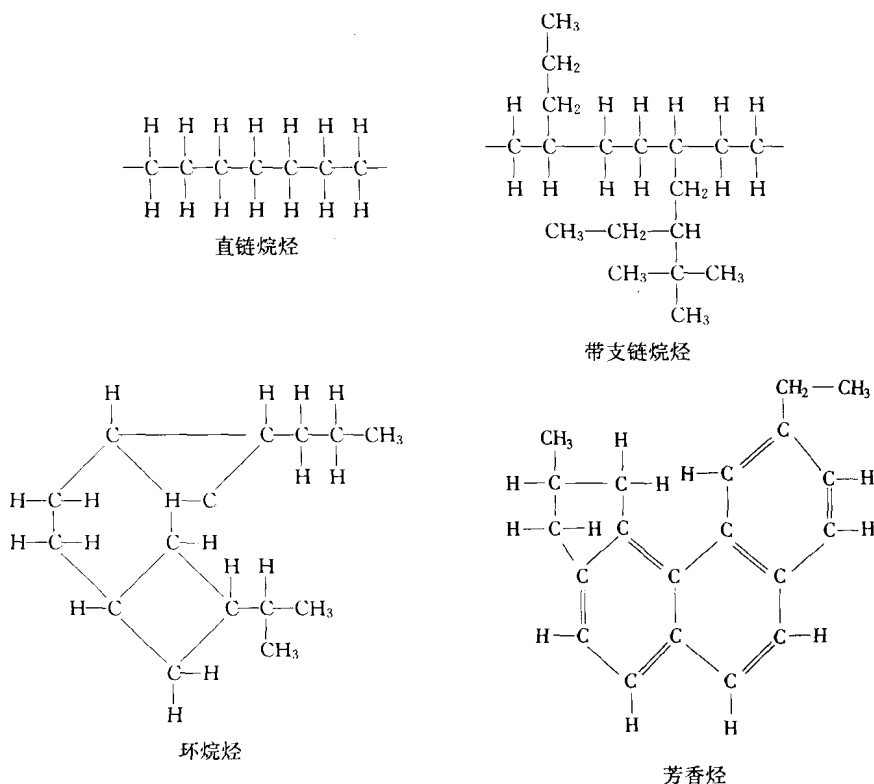
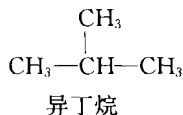
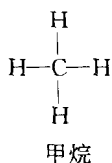


图 1-1 烷烃、环烷烃和芳香烃的基本结构示意图

不同烃类有其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，下面简单介绍三种烃类的化学性质及对成品油性能的影响。

1. 烷烃

烷烃的化学通式为 C_nH_{2n+2} (n 为由 1 开始的整数)。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，最简单的烷烃是甲烷。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。



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。

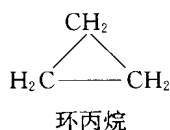
烷烃分子依其含碳原子个数的不同，即分子量的不同，其存在的形式也不同。在常温、常压下，含 1~4 个碳元素的烷烃呈气态，是石油天然气的主要成分；含 5~15 个碳元素的烷烃呈液态，是汽油、柴油、绝缘油、润滑油等液体石油产品的主要成分；含 16 个以上碳元素的正构烷烃呈固态，俗称石蜡，其熔点随分子量的增大而升高。

烷烃含量在 25%~30% 的石油称为石蜡基石油。由于烷烃是非极性的饱和烃，其化学稳定性好，且黏度、闪点、凝固点高，黏温性好，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

环烷烃的结构较为复杂，有单环、双环和多环之分。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。

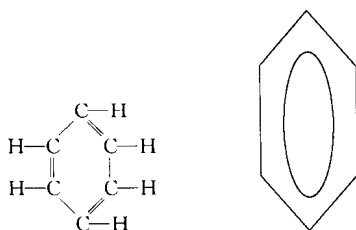


环烷烃含量超过 75% 的石油称为环烷基石油。由于环烷烃也是饱和烃，其化学性质与烷烃相似，化学稳定性及热稳定性都很好，且黏度低、凝固点低、低温流动性好。故以环烷烃为主要成分的环烷基石油，是炼制加工电气绝缘油的最好原料。

3. 芳香烃

芳香烃顾名思义，就是具有芳香气味的烃类。这类碳氢化合物的特征是具有苯环的特殊结构。

在天然石油中芳香烃的含量相对较低，一般不超过 30%。芳香烃是具有环状结构的化合物，因而与环烷烃相似，也有单环、双环和多环之分，单环芳香烃的化学通式为 C_nH_{2n-6} (n 为大于等于 6 的整数)，最简单的单环芳香烃是苯，其结构式为



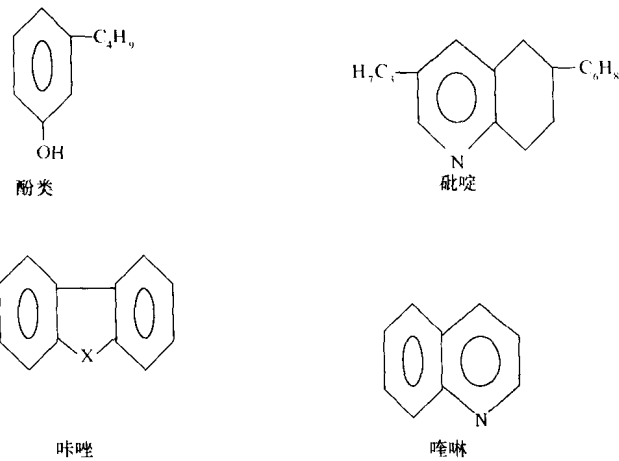
芳香烃因具有独特的双键结构，故其对成品油性能的影响也较为复杂。一般来说，单环芳香烃氧化稳定性较好，电气性能与环烷烃没有明显的差别；而多环芳香烃的氧化稳定性差，易于被氧化而形成酸、醛、酚等化合物，甚至形成油泥，使油品的酸值升高，颜色加深，通常是炼制加工电力用油时要去除的不良成分。

虽然多环芳香烃氧化稳定性差，且某些结构的物质对人体还具有致癌作用，但事物总是一分为二的，多环芳香烃对于电气绝缘油来说，也有有益的一面。因为其氧化稳定性差，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，极易与运行充电电气设备产生的一H、—CH₃等自由基发生加合反应，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，除含有上述三类烃之外，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虽低，但因其化学稳定性、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，其经济价值相对较低。

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，低密度轻质石油其天然含有的汽油、柴油成分（低沸点馏分）高，提取加工的成本低；而高密度重质石油，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，生产成本高。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 1-2。

表 1-2 石油的密度分类表

名 称	密度 $\rho_{4}^{15.6}(\text{g}/\text{cm}^3)$	名 称	密度 $\rho_{4}^{15.6}(\text{g}/\text{cm}^3)$
轻质石油	<0.830	重质石油	$0.904\sim0.966$
中质石油	$0.830\sim0.904$	特重质石油	>0.966

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。主要原因有三：①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 1-3 是石油的含硫量分类指标。

表 1-3 石油的含硫量分类指标

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

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 1-4 是石油的含蜡量分类指标。

表 1-4 石油的含蜡量分类指标

名 称	含硫量 (质量分数, %)	名 称	含硫量 (质量分数, %)
低蜡石油	0.5~2.5	高蜡石油	>10
中蜡石油	2.5~10		

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 用公式表示为

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

式中 T ——烃类的热力学沸点;

$\rho_{15.6}^{15.6}$ ——烃类的相对密度。

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, 将原油大致分为三类。表 1-5 是特性因数 k 值的分类指标。

表 1-5 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	11.5~12.1	10.5~11.5

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环烷基油田之一。

5. 含胶类分类法

含胶类分类法就是根据石油中含有胶质成分的高低进行分类的。前已述及, 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的技术要求高、难度大, 因此, 胶质含量高的石油, 其经济价值低。表 1-6 是石油含胶量分类指标。

表 1-6 石油含胶量分类指标

名 称	含硫量 (质量分数, %)	名 称	含硫量 (质量分数, %)
低胶石油	<5	多胶石油	>15
中胶石油	5~15		

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。

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 电力用油的炼制工艺特点

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，一般仅占原油加工量的 2%~3%。然而由于电力用油的特殊性，对炼制工艺的要求却很高，可以说，炼制工艺直接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，一般经过五步工艺流程，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，虽然原油在开采出后，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。

原油预处理的方法很多，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，通过自然沉降而分离，为加快分离速度也可使用离心机分离。

原油中含有的盐类和乳化水，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化剂或絮凝剂等化学药品，促使乳化水破乳、盐类絮凝或溶于水，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，有一小部分经调和、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℃ 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是逐渐降低的，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，在温度较高的低位塔盘上冷凝成液体，而沸点低的组分

则会继续上升，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。我们生活中常用的汽油、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。

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”。这些组分在常压塔内，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，破坏了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。

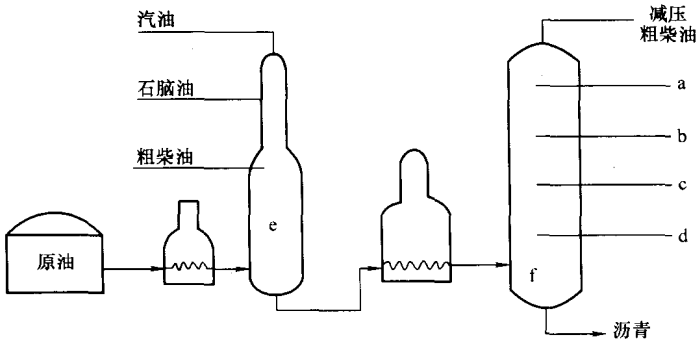


图 1-2 从石油中获取润滑油馏分的炼油装置示意

a—轻质润滑油；b—重质润滑油；c—轻质润滑油；
d—重质润滑油；e—常压蒸馏塔；f—减压蒸馏塔

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，就是减压蒸馏。

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。

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的。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。

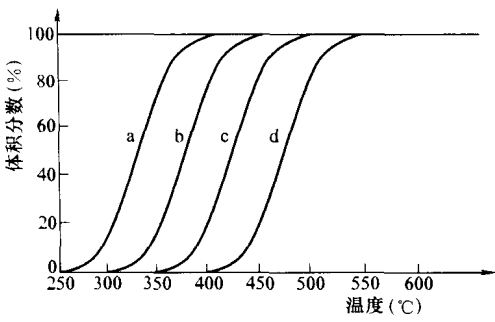


图 1-3 润滑油馏分的蒸馏曲线

图 1-3 是润滑油馏分的蒸馏曲线，表 1-7 是四种润滑油馏分的典型数据指标。

表 1-7

四种润滑油馏分的典型数据指标

油 种		常压重油	轻质锭子油	重质锭子油	轻质润滑油	重质润滑油
指 标	密度 (15℃, g/mL)	0.949	0.900	0.915	0.930	0.936
	黏度 (mm ² /s)					
	40℃	271	10.1	26.6	119	380
	100℃	21.8	2.48	4.25	9.73	19.5
黏度指数		65	52	28	36	37
闪点 (℃)		203	160	181	221	258

三、精制

成品油精制的主要目的是提高油品的氧化安定性,改善其黏温性能和低温流动性等指标。

减压蒸馏获取的润滑油馏分,与原油的族组成类似,主要含有烷烃、环烷烃和芳香烃。这三种烃类对油品性能的影响是不同的,如不控制其组成,往往难以获得符合要求的成品油,图 1-4 是三种烃类影响油品指标的示意,箭头所示方向为增强方向。

另外,馏分油中仍含有原油中存在的非烃化合物等不良组分,这些组分会使油品短期内产生颜色加深、酸值升高、黏度增大,甚至形成沉淀淤渣等现象。表 1-8 是润滑油馏分中的不良组分及其对成品油的影响。

链烷烃 环烷烃 芳香烃			表 1-8 润滑油馏分中的不良组分 及其对成品油的影响	
溶解性能	→		组 分	对成品油的影响
氧化安定性	←		酸,如环烷酸等	(1) 降低抗氧化安定性 (2) 易引起设备腐蚀
黏温性能	←		硫化物	(1) 降低抗氧化安定性 (2) 易引起设备腐蚀 (3) 产生难闻气味
颜色稳定性	←		不稳定化合物,如烯烃、芳香烃、氮化物等	降低抗氧化安定性
挥发性	→		沥青质和胶质	生成沉淀淤渣
			石蜡	低温流动性差

图 1-4 三种烃类对油品指标影响的示意

对润滑基础油而言,最理想的烃类是含 20 个碳原子的异构烷烃,该类烷烃具有高黏度指数、低倾点和极好的抗氧化性能。带有长支链烷基、侧链环基分子的化合物也是非常理想的组分,这样的烷烃分子挥发度比芳香烃低。

正构烷烃虽然具有黏度指数高和抗氧化性能强的特点,然而由于其倾点高,并不是理想的基础油成分。同样原因,一些异构烷烃、带有长烷烃支链的环烷基和芳香基化合物也不是理想的组成。环烷基、芳香烃对氧具有典型的感受性,易于被氧化。多环环烷基芳香烃黏度指数低,氧化稳定性差。含有杂质原子的有机物,其黏度指数非常低,热稳定性和氧化稳定性均很差。

在生产高质量润滑油基础油加工工艺中,希望对这些非理想化合物,或用化学转化法将其转化为需要的分子结构,或用物理和(或)化学的方法将其除去。这就是精制工艺要解决

的问题。

精制的工艺方法主要有酸碱精制、溶剂精制、白土补充精制、脱蜡和催化加氢精制等。

不同的精制方法，生产成本不同，对成品油性能指标的影响也不同。采用什么样的具体精制工艺，取决于馏分油的组成、成品油的指标要求和加工工艺的技术进步。

1. 酸碱精制

酸碱精制是电力用油加工过程中传统的经典工艺。酸碱精制工艺使用的主要化学物质有硫酸、发烟硫酸、氧化钙和苛性钠等。

酸碱精制工艺的过程是，馏分油首先与硫酸进行混合反应，分离出反应形成的酸渣；然后再与碱溶液或氧化钙混合，中和油中残存的硫酸和（或吸附）反应形成的酸性产物；最后经过水洗，去除油品中碱性产物。

酸碱精制工艺的特点是，利用硫酸与馏分油中的不良组分进行化学反应，如硫酸与馏分油中含氧、硫、氮等的非烃化合物、特定结构的芳香烃、不饱和烯烃等不稳定化合物起化学反应，形成磺化酸渣而被去除，从而显著改善成品油的抗氧化安定性。

在酸碱精制过程中，由于除去了密度较大的非烃化合物和部分芳香烃，使油品的密度有所下降，而黏度指数有所升高。

另外，由于在酸碱精制过程中除去了馏分油中大部分天然降凝剂，提高了油品的凝固点。该工艺对油品的闪点指标几乎没有影响。

酸碱精制过程中，硫酸的浓度及用量，精制的温度及硫酸与馏分油接触时间的长短，对精制深度有很大的影响。因此，应根据馏分油的组成及成品油的技术要求，通过试验来选定工艺条件。表 1-9 是某些成品油酸碱精制的工艺条件。

表 1-9 某些成品油酸碱精制的工艺条件

试 剂	产 品	硫酸用量 ^① (%)	处理温度 (℃)	馏分油精 制损耗 (%)
硫 酸	锭子油	1~3	20~30	2~3
	润滑油	2~6	25~40	3~10
	汽缸油	4~10	35~45	10~30
发 烟 硫 酸	变压器油	4~10	20~30	5~10
	工业白油	15~30	20~30	10~30
	医用白油	60~100	20~35	30~60

① 占油的质量百分数。

该工艺的主要缺点是硫酸反应物的选择性差，馏分油损耗大，既浪费资源，又产生大量难以处理的、没用的酸渣，污染环境。因此，在现代油品加工中，该工艺已极少采用，基本被淘汰。

2. 溶剂精制

溶剂精制是一种物理液—液抽提工艺，现在被世界上大多数基础油生产商所采用。

溶剂精制就是利用不同溶剂对润滑油馏分中的芳香烃及其他不良组分选择性萃取的原理，进行分离去除。

芳香烃虽然溶解性好，但由于芳香烃是天然油品中最活泼的成分，容易被氧化而大大缩

短润滑油的使用寿命，是溶剂精制所要除去的主要组分。

适合作润滑油精制的溶剂很多，主要有糠醛、N-甲基-2-吡咯烷酮（NMP）、DUO-SUL 酚苯酚等。

溶剂精制除了可以获得低芳香烃含量的油品外，其抽提液蒸去溶剂后，还可得到橡胶工业和印刷工业等需要的高芳香烃含量的工艺用油。

经溶剂精制获得的低芳香烃含量的油品与原料油相比，抗氧化安定性显著提高，其密度和黏度则有所降低。精制过程抽出的液量越大，即精制深度越深，黏度指数提高得越多。精制油的凝固点有所上升，硫含量大幅度降低，颜色变浅，闪点几乎不变。表 1-10 是糠醛精制馏分油的典型数据，表 1-11 是石蜡基润滑油溶剂精制馏分油的典型数据，表 1-12 是石蜡基润滑油溶剂精制抽出物的典型数据。

表 1-10 糠醛精制馏分油的典型数据

性能指标		原料油	精制油 (糠醛/油的精制体积比为 174%)
密度 (15℃, g/mL)		0.929	0.906
黏度 (mm ² /s)	40℃	171.5	133.9
	100℃	14.6	13.3
黏度指数		26	61
凝固点 (℃)		-32	-32

溶剂精制与酸碱精制相比，其主要优点是能有控制地萃取馏分油中的芳香烃，并可有效地予以利用，不产生无用的污染环境的废渣，馏分油几乎没有损耗。

表 1-11 石蜡基润滑油溶剂精制的典型参数

项 目	中度抽提				深度抽提			
	抽提油 1	抽提油 2	抽提油 3	抽提油 4	抽提油 11	抽提油 12	抽提油 13	抽提油 14
密度 (15℃, g/mL)	0.857	0.857	0.890	0.911	0.842	0.860	0.870	0.892
黏度 (40℃, mm ² /s)	8.8	22	35	135	7.8	19	30	112
黏度指数 (VI)	85	90	88	85	98	103	105	95
闪点 (℃)	154	200	212	270	156	200	208	260
倾点 (℃)	-17	-17	-10	-10	-15	-15	-9	-9
康氏残碳值 (%)	<0.01	0.01	0.07	0.3	<0.01	<0.01	0.05	0.15

注 表中抽提 1 与抽提 11、抽提 2 与抽提 12、抽提 3 与抽提 13、抽提 4 与抽提 14 分别是同一原料油。

溶剂精制的主要缺点是溶剂萃取不能彻底除掉所有馏分油中的不良组分，去除率仅为杂质（芳香烃、极性物质、含硫及含氮化合物）的 50%~80%。

表 1-12

石蜡基润滑油溶剂萃取物的典型参数

项 目		中度抽提		深度抽提	
密度 (15℃, g/mL)		1.005	1.032	0.982	1.00
运动黏度 (mm ² /s)	40℃	17	670	210	2800
	100℃	—	14	11	42
硫含量 (%)		2.2	2.0	1.8	1.5
烃类分布 (质量分数, %)	芳香烃	87	80	80	76
	饱和烃	6	6	12	8
	极性烃类	7	14	8	16

溶剂精制的基础油一般称为 I 类基础油, 其饱和烃含量小于 90% (芳香烃含量大于 10%), 硫含量低于 300μg/g。

3. 吸附精制 (白土补充精制)

吸附精制顾名思义就是利用吸附材料的物理吸附性能, 除去液体中的少量极性杂质。在油品加工过程中, 常使用漂白土作为吸附剂, 故又称为白土精制。由于该工艺一般不独立使用, 而常在酸碱精制和溶剂精制后, 用来去除油品中残留的胶质和沥青组分, 故又称为白土补充精制。

白土补充精制的优点是可以明显地改善油品的颜色、气味, 提高油品的氧化安定性; 其缺点是吸附剂选择性差, 产生大量污染环境的废渣, 且油品的损耗大。

为了尽可能地减少油品损耗及工业废渣, 该工艺一般只作为润滑油精制加工的最后道工序, 以降低白土的用量和馏分油的损耗。

4. 脱蜡精制

脱蜡的主要目的就是降低成品油的凝固点或倾点, 改善其低温流动性指标。

成品油凝固点高、低温流动性差的主要原因是馏分油中含有高熔点的石蜡, 因此, 含蜡量过高的润滑馏分油不适合加工电力用油。因为低温流动性好是电力用油的共同特点, 尤其对绝缘油而言, 该指标在使用上具有重要意义。因此, 尽管石蜡不是馏分油中的不良组分, 但对石蜡基馏分油来说, 在电力用油的加工工艺中, 脱蜡是一道必不可少的工序。

脱蜡工艺方法主要有冷冻脱蜡、溶剂脱蜡和加氢脱蜡等。

(1) 冷冻脱蜡。冷冻脱蜡属于物理分离工艺方法, 适用于黏度低、脱蜡深度要求不高的成品油加工。

该工艺是人为地降低馏分油的温度, 促使油品中的大分子正构烷烃——石蜡结晶析出, 然后通过低温过滤将其去除。

(2) 溶剂脱蜡。溶剂脱蜡 (SDW) 也属于物理分离工艺, 传统工艺采用的溶剂主要有糠醛、甲基乙基酮/甲苯、甲基乙基酮/甲基丁基酮、甲基乙基酮/丙酮 (MEK) 等。

实际上, 溶剂脱蜡是冷冻脱蜡工艺的改进和发展, 由于冷冻法析出的石蜡的机械过滤性很差, 滤除效率很低。为了提高石蜡的滤除效率, 人们先将溶剂与馏分油混合, 然后再将稀释油冷却到 -10~-20℃, 使蜡形成结晶并沉积, 最后经过滤除去, 以降低成品油的倾点或凝固点。

溶剂脱蜡获得的产品是脱蜡基础油 (SDWO) 和含油蜡。溶剂脱蜡与冷冻脱蜡工艺相