

29
高等学校教材

电力用油

武汉水利电力学院 何志 编

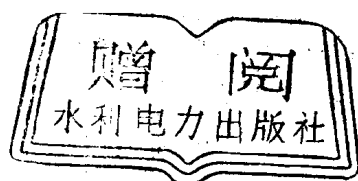
水利电力出版社

1.8
0

高等学校教材

电 力 用 油

武汉水利电力学院 何 志 编



水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要包括：电力系统常用的绝缘油、汽轮机油、六氟化硫绝缘气体(统称“电力用油”)的理化性质和使用性能，运行中的监督、维护和管理，油浸式电力变压器内部故障的检测等；此外，对电力用油的化学组成、炼制和再生等也作了适当的介绍。每章末均附有习题及思考题。

本书系高等院校“电厂化学”专业的教材，也可供电力工程技术人员及其它专业有关人员参考。

高等学校教材

电 力 用 油

武汉水利电力学院 何 志 编

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 7.5 印张 165千字

1986年6月第一版 1986年6月北京第一次印刷

印数0001—4130册 定价1.30元

书号15143·5942

113

前 言

本书是根据1983年水利电力部制定的高等院校水利电力类专业教材编审出版规划的要求，参照1982年12月在上海召开的全国“电厂化学”专业教学大纲审定（扩大）会通过的《电力用油》教学大纲和1983年通过的该教材编写大纲编写而成的。

全书共八章。绪论和第一章介绍了电力用油的基本知识；第二章至第四章重点论述了电力用油的理化性质和使用性能；第五章和第六章叙述了电力用油运行维护与监督的方法和原理、油浸式变压器内部故障的检测；第七章论述了六氟化硫气体的绝缘、灭弧特性，运行中的监督、管理等；第八章简述了废油再生的方法及原理。

本书由东北电业管理局技术改进局温念珠高级工程师主审，同时在编写过程中得到水电部西安热工研究所、电力科学研究所、有关电力试验研究所、电业局和电厂等单位的大力支持，在此一并致以深切的谢意。

限于水平和编写时间匆促，书中错误和不妥之处在所难免，恳切希望读者批评指正。

编 者

1984年8月

ADDS/1.9

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 电力用油的化学组成	3
第一节 石油的化学组成	3
第二节 电力用油的化学组成	7
第三节 电力用油的炼制	9
第四节 电力用油的质量标准	11
第二章 电力用油的性质	16
第一节 密度和分子量	16
第二节 闪点	19
第三节 粘度和粘温性	21
第四节 低温流动性和凝点	26
第五节 表面现象	28
第六节 酸碱组分和抗腐蚀性	31
第七节 热学性质	33
第八节 油中杂质	34
第三章 电力用油的抗氧化安定性	39
第一节 油品的氧化现象	39
第二节 油品烃类氧化的机理	40
第三节 油品烃类的氧化及其对使用的影响	42
第四节 影响油品氧化的因素	44
第五节 抗氧化添加剂	47
第六节 油品的抗氧化安定性试验	50
第四章 绝缘油的电气性能	52
第一节 绝缘油的电导	52
第二节 绝缘油的极化	53
第三节 绝缘油的介质损耗	55
第四节 绝缘油的击穿	57
第五章 电力用油的运行监督和维护	61
第一节 绝缘油的作用	61
第二节 运行变压器油的维护	64
第三节 运行变压器油的监督	68
第四节 汽轮机油的作用	70
第五节 运行汽轮机油的维护	72

第六节 运行汽轮机油的监督	74
第七节 合成电力用油简介	74
第六章 变压器的气体监督和潜伏性故障的检测	77
第一节 电介质放电的基本知识	77
第二节 变压器内的产气故障	78
第三节 变压器内的故障气体	80
第四节 变压器内潜伏性故障的判断	88
第七章 六氟化硫绝缘气体	94
第一节 概述	94
第二节 SF ₆ 的基本性质	95
第三节 SF ₆ 的绝缘特性	97
第四节 SF ₆ 的灭弧特性	98
第五节 SF ₆ 的电弧分解产物及其处理	100
第六节 SF ₆ 的监督与管理	102
第八章 废油的再生	107
第一节 废油再生的方法及其选择	107
第二节 废油的净化处理	108
第三节 废油的化学再生法	109
第四节 废油再生中污水及废渣的处理	111

绪 论

一、电力系统中的常用油品及其作用

电力系统的用油设备中，通常使用的油品主要有：

1. 汽轮机油

汽轮机油又称“透平油”，属润滑油类。主要用于汽轮发电机组（以下简称“机组”）的油系统中，起润滑、冷却散热、调速和密封作用。该类油品的用量较大，例如，一台国产50MW机组一般需用17t(吨)左右的汽轮机油。一个大电厂若加上必需的备用油量，那就更多了。此外，汽轮机油也用于水能发电机组中。

2. 绝缘油

绝缘油是重要的液体绝缘介质，又称“电气用油”。其中包括变压器油、油开关油等。变压器油主要用于油浸式电力变压器、电流和电压互感器等电气设备中，起绝缘、冷却散热等作用。油开关油（简称“开关油”）用于油浸式高压断路器中，主要起熄灭电弧和绝缘作用。该类油品的用量也较大，例如，一台300MVA的主变压器约需30~50t变压器油。

3. 合成油和绝缘气体

近年来某些用油设备已采用性能较好的人工合成油和绝缘气体（SF₆等）来代替上述的矿物绝缘油和汽轮机油。例如，在机组内使用抗燃油，在充油电气设备中使用合成的有机绝缘油和六氟化硫绝缘气体等。

此外，电力系统的有关设备还使用电容器油、润滑脂等；烧油电厂以燃料油作燃料^①。

上述三类油品中，第一、二类用量较大，使用广泛，又皆由天然石油炼制而成，故统称“电力用油”（简称“油品”）。随着电力技术的发展，人工合成油和SF₆绝缘气体在电力系统也得到了广泛应用，故在本书一并加以介绍。

二、电力系统的油务工作

随着电力工业的不断发展，目前在电厂、电力试验研究所和电业局都建立了油务监督、管理机构，加强了对油质的管理、监督和维护。

电力系统的油务工作主要有：新油的验收和保管；运行油的监督和维护；废油的更换、收集和再生处理；设备、系统检修时的检查和验收；用气相色谱法检测充油电气设备内的潜伏性故障；SF₆绝缘气体的验收、监督和维护；结合油务工作开展科研、试验，进一步提高油质监测技术和维护油质的有效措施，寻找更理想的油品添加剂等。

此外，在油品的贮存、运输和使用中，应特别注意防止油品的氧化变质；防止水分渗

① 燃料油在电厂化学专业课“电厂燃料”中讲述。

入、杂质污染；防止油品在流动过程中产生静电；以及防火、防爆、防受SF₆气体的窒息等。油品使用中，应加强油质、油量的监督、管理；建立油品和用油设备的技术档案；防止混油和用错油，并注意节约用油。

三、电力系统中油质不合格造成的危害

运行设备中的油品需要善管理，若油质监督、维护不良，可使油品严重劣化，从而产生各种危害。这些危害归纳起来，主要有三方面：

1. 加速油品的劣化，缩短油品和设备的使用寿命

这是由于油质不合格而造成的“慢性病”。在事故未发生之前，往往不被人们所重视，但实践表明这种慢性病的危害是较大的。运行油中的劣化产物如不能及时除去，会加速油品自身的劣化，也会加速用油设备中部分材料的老化变质。这一方面造成油质不合格的恶性循环，另一方面将大为缩短油品和设备的使用寿命，严重者可酿成重大事故。

2. 造成用油设备的腐蚀

长期使用的运行油中的酸性产物，若未能及时除去并超过规定含量时，则可造成机组油系统和用油电气设备中与油接触部件的腐蚀。当机组油系统进水后，因油质劣化所生成的油-水乳状液不易分离，可能导致轴和轴承的表面锈蚀或磨损，调速系统动作不灵，乃至卡死，造成停机、停电的危险。

3. 油路被堵，可能造成严重的事故

因油质劣化生成较多的油泥、沉淀物，或因外界掺入的固体杂质未能及时除去，有可能使油路不畅通，甚至被堵塞，油品不能及时到达设备的有关部位，不能起到良好的润滑、绝缘、冷却散热作用，有可能造成各种严重的事故。

从生产实践中也证实了油质不合格所造成的危害性。据国内有关资料的不完全统计，前些年出现与油务工作有关的电气设备故障较多，例如，1970~1975年，110kV以上的油浸式电力变压器发生的事故为932台次，事故容量达5790MVA；高压断路器发生的事故更多，如1974~1978年发生的事故达1408次。据分析，变压器发生事故的主要原因是由于运行中维护不良，造成油中进水或混入其它杂质，致使油质不合格而引起；高压断路器事故，除设计、制造、安装的原因外，主要是因漏水、漏油和油质不合格引起。

在汽轮发电机组中，因油质不合格或监督、维护不良所引起的事故未作详细的统计，但因油质不合格也曾发生过主轴被腐蚀、调速系统被卡涩等重大事故。

从上述可知，油务工作的好坏、油质合格与否，直接关系到电力系统用油设备的使用寿命，电力生产的安全运行和经济效益。特别是近年来，随着高电压、大容量输变电线路的建成；大容量、高参数机组的投运，从而给电力系统的油务工作提出了更高的要求。

第一章 电力用油的化学组成

目前我国电力系统常用的变压器油、开关油、汽轮机油等,主要是由天然石油加工炼制而成。为了深入了解电力用油的物理、化学性质,在机、电设备中的作用,运行中的监督与维护等,本章将重点讨论石油和电力用油的化学组成,简介电力用油的炼制等。

第一节 石油的化学组成

一、石油的元素组成

天然石油(石油或原油)通常是淡黄色乃至暗黑色的粘稠液体,有强烈的特殊气味,密度一般小于 $1\text{g}/\text{cm}^3$ 。组成石油的基本化学元素比较简单,主要是碳和氢,其含量约占96%~99%,其中碳含量约占83%~87%,氢含量约占11%~14%。其次是氧、硫、氮三种元素,含量一般在1%以下,个别石油可高达5%~6%。此外,还含有微量的金属元素:铁、铜、锌、钙、镁、钾等,以及微量的非金属元素:氯、硅、碘、磷等。国内外几种石油的主要元素组成见表1-1。石油中的这些元素并非以单质存在,而是相互结合组成了极为复杂的烃类和非烃化合物。

表 1-1 石油的主要元素组成(重量%)

石油产地	C	H	S	N	O
克拉玛依	86.13	13.30	0.04	0.25	0.28
大港	85.67	12.90	0.12	0.23	
大庆	85.47	12.21	0.11	0.27	0.24
胜利	85.31	12.36	0.90	0.24	1.26
印度	86.5	12.4	0.35	0.13	0.68
宾州(美)	85.8	14.0	0.10	0.10	
墨西哥	84.2	11.4	3.6		0.80
伊朗	85.4	12.8	1.06	0.74	
杜依玛兹(苏)	85.33	12.73	1.47	0.14	0.33

注 表中数据并非恒定值,仅为某一时期的实测值。

二、石油的烃类组成

石油中的烃类主要有:烷烃、环烷烃和芳香烃等,通常不存在不饱和烃。这些烃类的组成和含量在不同的石油及其馏分中各不相同。

1. 石油馏分

石油是多组分的混合物,每一组分有各自不同的沸点。石油的分馏是按组分间沸点的差别,用蒸馏装置将各组分分开的工艺过程。为了得到理想的石油产品,同时为了加工方

便，可把整个石油按一定的沸点范围分成若干个部分，每个部分称为一个“馏分”（即馏出部分的油品）。馏分仍是一个多组分的混合物，但它所包含的组分数比整个石油少，而且各组分的沸点均在一个较窄的范围内。一般，常把 $<200^{\circ}\text{C}$ 的石油馏分称汽油馏分或低沸点馏分； $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的称为煤油、柴油馏分或中间馏分； $350\sim 500^{\circ}\text{C}$ 左右的称为润滑油馏分或高沸点馏分。汽轮机油、变压器油等皆由润滑油馏分精制而成。

2. 石油及其馏分的烃类组成表示法

通常可用以下三种方法表示石油及其馏分的烃类组成：

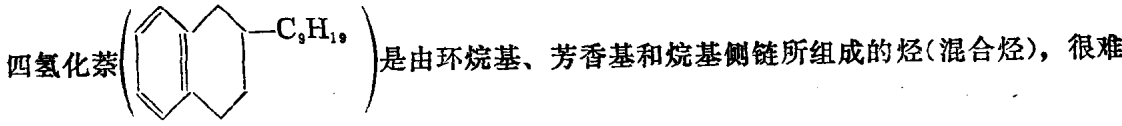
（1）单体烃组成 用单个烃的含量表示石油及其馏分中的烃类组成，即为单体烃组成。该种表示方法一般适用石油气和低沸点石油馏分。

（2）族组成 用烷烃、环烷烃、芳香烃等烃化合物的总含量表示石油及其馏分中的烃类组成，即为族组成。由于所用的分析方法不同，中沸点以上馏分的族组成通常以饱和烃（烷烃和环烷烃）、轻芳烃（单环芳烃）、中芳烃（双环芳烃）、重芳烃（多环芳烃）等的含量表示，如表1-2所示。该方法简单而实用。

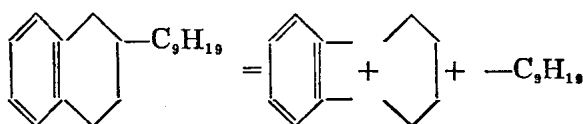
表 1-2 润滑油馏分脱蜡油的烃类组成

原油名称	沸点范围 ($^{\circ}\text{C}$)	族组成 (重量%)				结构族组成					
		饱和烃	轻芳烃	中芳烃	重芳烃	$C_F\%$	$C_N\%$	$C_A\%$	R_N	R_A	R_T
大庆原油	350~400	76.8	6.5	8.1	8.6	62.5	23.8	13.7	1.21	0.51	1.72
	400~450	75.6	6.4	9.8	8.3	63.0	23.8	13.2	1.78	0.67	1.48
	450~500	66.2	17.5	7.9	8.6	60.5	25.0	14.5	2.10	0.92	3.02
大港原油	350~400	63.1	12.6	8.3	16.0	62	23.4	14.6	1.09	0.48	1.57
	400~450	66.0	10.6	7.7	15.7	60	28	12.0	1.92	0.48	2.4
	450~500	60.5	12.9	8.0	18.6	57.9	27.7	14.4	2.08	0.67	2.75
胜利原油	355~399	58.1	18.1	11.8	12.0	66	21.8	12.2	1.0	0.5	1.5
	399~450	59.4	18.1	11.0	11.5	64	25.0	11.0	1.7	0.5	2.2
	450~500	66.2	15.6	15.2	14.5	60	27.5	12.5	2.3	0.7	3.0

（3）结构族组成 高沸点馏分中的烃类，由于其结构复杂、性质相近，很难定量分析出所有的单体烃，因此无法用单体烃表示。而且某些单体烃还具有混合结构，如 β -壬基



说它属于哪一族烃，无法用族组成表示。为此，提出了一种具有实际意义的结构族组成表示法。该表示法是把整个馏分（各种烃分子的混合物）当作一种“平均分子”组成，并认为它是由某些“结构单位”（芳香环、环烷环和烷基侧链）所组成，因而可用“平均分子”中的环数以及每种“结构单位”在“平均分子”中所占的分量（每个结构单位上的碳原子数占分子中总碳原子数的百分数）表示。假设 β -壬基四氢化萘为一“平均分子”，可看成由三个“结构单位”组成：



该化合物中碳原子的总数为19，其中芳香环上的碳原子数为6，环烷环上的碳原子数为4，烷基侧链上的碳原子数为9。若用 C_A 、 C_N 和 C_P 分别表示芳香环、环烷环和烷基侧链上碳原子的百分数，则 C_A 为31.6%， C_N 为21.0%， C_P 为47.4%；总环数 R_T 为2，芳香环 R_A 为1，环烷环 R_N 为1。通常测定石油及其馏分结构族组成的主要方法有色谱法、红外光谱法、 $n-d-M$ 法和 $n-d-\nu$ 法^①等。

应注意，用结构族组成法表示烃类组成时，并不表明石油及其馏分中的每个分子都具有其结构族组成所表示的那种结构，而只表示其中所有分子的平均结构，因此，环数有可能出现非整数值。

我国几种石油的润滑油馏分，经脱蜡后的烃类族组成和结构族组成的分析数据如表1-2所示。

3. 石油中的主要烃类

石油中主要含有以下几种烃类：

(1) 烷烃 烷烃是石油的主要烃类之一。 $C_1 \sim C_4$ 的烷烃在常温和常压下为气体，是石油气的主要成分； $C_5 \sim C_{17}$ 的正构烷烃在25℃和101.325kPa(760mmHg)大气压下为液体，是液态石油及其产品的主要成分之一； C_{18} 以上的正构烷烃为固体，常温下溶于石油中，为石蜡的主要成分。各种烷烃的沸点随其碳原子数增加而升高；同碳数烷烃的沸点随其异构化程度的增大而有所降低。

(2) 环烷烃 环烷烃是润滑油的主要成分。它的结构比较复杂，有单环、双环和多环，并带有烷基侧链。低沸点馏分中含有环戊烷和环己烷的同系物；高沸点馏分中还含有双环和多环环烷烃的同系物。

(3) 芳香烃 石油中的芳香烃主要是苯、萘、蒽、菲及其同系物。低沸点馏分中含芳香烃较少，且多为单环芳烃及其同系物；中、高沸点馏分中的含量逐步增大，多为双环和多环芳烃的同系物。

(4) 混合烃 混合烃是由烷基、环烷基、芳香基组成的混合结构的烃类，如

等。该类烃的沸点较高，多存在于高沸点馏分中。

点馏分中。

石油中还存在部分高熔点烃类，在常温下成固态，通称“蜡”。该类烃主要分布在300℃以上的馏分中，润滑油馏分中较多。蜡可分为石蜡和地蜡两大类。石蜡：主要来自

① n 、 d 、 M 和 ν 分别为试油的折射率、密度、平均分子量和运动粘度，测定方法详见《石油化学组成分析》中国工业出版社(1961)。

润滑油馏分，为片状或带状白色结晶。它主要由高熔点的正构烷烃组成，还含有部分异构烷烃和混合烃。地蜡：主要来自残渣油。它主要由带侧链的环状固体烃组成，其分子量较大，熔点高。该类烃在液体石油产品中为有害组分，应除去。

除上述几种烃类外，只有极少数石油中含有微量的烯烃。经高温加工后的石油也可产生一定量的烯烃。

三、石油中的非烃化合物

该类化合物是由氧、硫、氮元素与碳、氢元素组成的有机化合物。如含氧化合物、含硫化合物、含氮化合物、胶状及沥青状物质等。它们对石油的加工和产品的使用皆有一定的不良影响，应尽量除去。

1. 含氧化合物

含氧化合物可分为中性和酸性。中性含氧化合物，如醛、酮、醚等，在石油中含量极少。酸性含氧化合物，如脂肪酸、环烷酸、酚类等，这三类化合物又统称“石油酸”。环烷酸是石油酸的主要成分，约占石油酸的95%，主要存在于中沸点馏分中。从石油中分离出来的环烷酸多为一元羧酸，其羧基一般是通过一个或几个次甲基与环相连，环上可能有

烷基侧链（-R表示），其结构通式为： $R-\text{环}-(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ 。低分子环烷酸主要是五元或六元环的单环环烷酸；高分子环烷酸多为含有双环、多环和混合结构的环烷酸。

环烷酸呈弱酸性，可腐蚀部分金属和非金属材料，易与铅、锌、铁、铜等作用，也可与碱金属作用生成环烷酸盐。生成的碱金属环烷酸盐不溶于油而溶于水，因此可利用此性质，采用碱洗、水洗等方法除去石油及废油中的环烷酸等有害组分（第八章）。

酚类和脂肪酸在石油中的含量极少，其性质与环烷酸相似，可用上述同样的方法予以除去。

2. 含硫化合物

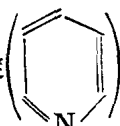
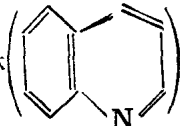
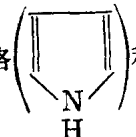
硫是石油中的常见元素之一。除少量硫以单质和硫化氢存在外，主要是以有机硫化物

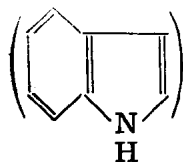
存在于石油之中，如硫醇（RSH）、硫醚（RSR）、二硫醚（RSSR）、噻吩（)及

其同系物等。其中硫化氢、元素硫和硫醇等活性较强，易腐蚀金属，因而又称“活性硫”。硫醚、二硫醚等对热不稳定，在较高温度下可分解并生成硫化氢、元素硫、硫醚和硫醇等，可腐蚀金属。噻吩及其同系物受热稳定，一般不腐蚀金属。

由上可知，石油中的硫化物对石油加工和产品使用通常都有不良影响，应除去。

3. 含氮化合物

存在于石油中的该类化合物有：吡啶（)、喹啉（)、吡咯（)和吲" data-bbox="151 822 869 890"/>



等，它们在石油中的含量不多。吡啶和喹啉呈弱碱性，可与无机酸成盐。吡

咯和喹啉即使遇浓酸也不能形成稳定的盐，只可聚合成胶质，却可与碱金属成盐。该类化合物在石油加工和产品使用中不良影响，应除去。

4. 胶状及沥青状物质

石油中的氧、硫、氮等元素除组成上述的简单非烃化合物外，绝大部分以胶状、沥青状的形态存在。这类物质是石油中结构最复杂、分子量最大的一类物质，其结构尚不清楚，但大致可分为三种：

(1) 胶质（中性胶质） 该类物质在石油中的含量较大，随石油馏分沸点的升高而增加。该类物质通常是深黄色或棕色的粘稠液体或半固体物质，密度稍大于 1g/cm^3 ，可溶解于液态石油产品和部分有机溶剂，如苯、氯仿、二硫化碳等。在油品中具有较强的着色力。

(2) 沥青质 为深褐色或暗黑色的非晶态的中性固体物质，密度大于 1g/cm^3 ，不溶于正庚烷、石油醚和乙醇，能溶于苯、氯仿和二硫化碳。几乎全部存在于残渣油中。

(3) 沥青质酸 其外观类似于胶质，但具有酸性。可溶于碱液、苯、乙醇和氯仿，不溶于石油醚和正庚烷。

在高温下，胶质可变成沥青质，还可进一步生成焦炭状的油焦质和炭青质。

胶状、沥青状物质在石油加工，特别是在油品使用中的危害较大，应除去。

除上述几类非烃化合物外，石油中还含有无机矿物盐、水分、机械杂质等。这些物质在石油的加工中均应除去。

第二节 电力用油的化学组成

常用的汽轮机油、绝缘油等的化学组成与润滑油馏分相似，只不过除去了其中的非理想组分。

一、润滑油馏分的化学组成

该馏分的化学组成与中、低沸点馏分有所不同：混合结构的烃增多，分子中碳原子数增多，平均分子量增大，一般约为240~500左右；环状化合物中的环数增多，胶状、沥青状物质含量增大，密度增大。我国几种润滑油馏分的化学组成如表1-3所示。

从表1-3可知，润滑油馏分中饱和烃的含量最大，约在60%以上；芳香烃含量次之；胶质含量较少。从表1-2也可知，经脱蜡的润滑油馏分中，其烃类含量的趋势与表1-3基本相似，饱和烃的含量仍最大。

二、电力用油的烃类组成

润滑油馏分经过精制后，除去了其中的非烃化合物和易凝固、易氧化以及粘温性能差的烃类组分，剩下的几乎都是性能较好的烃类化合物，因而可认为电力用油是由各种理想

表 1-3

石油润滑油馏分 (350~500°C) 的化学组成 (重量%)

石油产地	正构烷烃	异构烷烃 —环烷烃	轻芳烃	中芳烃	重芳烃	胶质
延长	33.0	47.8	5.1	6.4	5.5	2.1
克拉玛依	5.0	72.0	8.1	7.5	3.2	4.2
川中	49.0	39.0	4.8	3.2	3.0	0.5

的烃类组成的。

国内外几种变压器油的烃类组成如表 1-4 所示。从该表可知, 变压器油的烃类结构族组成的总趋势: $C_N\%$ 和 $C_P\%$ 的值最大, 表明饱和烃的含量最多; $C_A\%$ 的值最小, 表明芳香烃的含量最少。

表 1-4

变压器油的烃类组成

产地	$C_A\%$	$C_P\%$	$C_N\%$	R_A	R_N	R_T
日本	16.08	36.40	47.52	0.53	1.55	2.08
中东	16.93	42.27	40.80	0.52	1.72	2.24
兰州(DB-25)	4.46	45.83	49.71			
新疆(DB-45)	4.56	45.38	50.06			

三、电力用油的化学组成对其性质的影响

由前述可知, 电力用油的性质、作用与其组成是密切相关的。要使电力用油在设备中发挥应有的作用, 保证设备安全运行, 就需保证油品的理化性质和使用性能达到一定的要求。例如, 为了减少油品在使用时的蒸发, 防止着火, 要求油品有较高的闪点 (油品闪火时的温度); 为了延长油品的使用寿命, 减缓油品的氧化, 要求油品具有较好的抗氧化性能; 为了使油品起到良好的冷却散热、润滑作用, 要求油品具有适当的粘度和粘温性 (粘度随温度变化的性质); 为了使油品起到良好的绝缘作用, 要求油品具有优良的电气性能 (第四章) 等。

若油品中存在低沸点烃类, 则其闪点会降低; 若存在熔点较高的正构烷烃等, 则油品

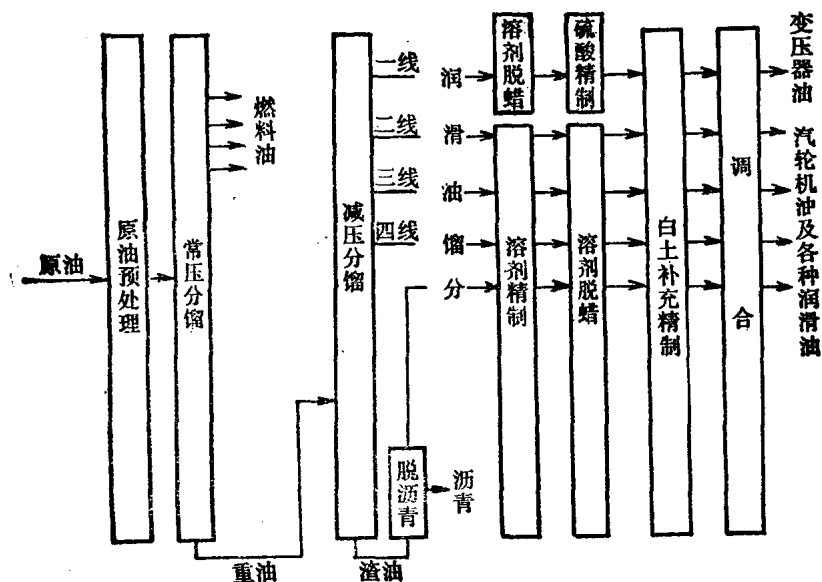
表 1-5

烃类对油品性质的影响简介

烃类		密度	闪点	粘度	粘温性	低温流动性	抗氧化性 (各烃类单独存在时)
烷烃	正构 异构	小	低 高	小	最好(液态)	差(高分子) 好	好 差(分支多)
环烷烃	少 多	中	中	大	好(长侧链) 差(短侧链)	好	好 差(多侧链)
芳香烃	少 多	大	高	大	好(长侧链) 差(短侧链)	中	好(无侧链) 差(长侧链)

应注意,上述分析仅是从油品某些方面或单项的性质和作用考虑的,而在油品炼制和再生时应加强综合分析,以确定最佳的炼制和再生方案。

由天然石油炼制电力用油的工艺过程大致可分为，馏分油的制备和电力用油的精制、调合等。炼油厂生产电力用油的程序如图1-1所示。



一、馏分油的制备

将天然石油加工成馏分油（润滑油馏分）的主要工艺过程包括：原油的预处理、常压分馏、减压分馏等。

1. 原油的预处理

从油田开采出来的原油虽经过沉降、脱水等，但其中仍含有一定量的泥沙、水分、无机盐等杂质，因而在常压分馏前仍需进行脱盐、脱水，即原油的预处理。

原油脱盐、脱水的方法较多。广泛采用、效果较好的方法是电-化学方法，即将原油置于高压电场下，并加入破乳化剂（破坏油中乳状液），其工艺流程如图1-2所示。

2. 常压分馏

经预处理的原油送入常压分馏塔中，按不同的沸点范围截取馏分，一般在 350°C

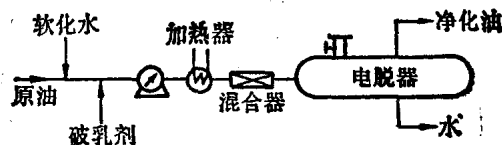


图 1-2 原油电-化学法脱盐脱水工艺流程

以下可得到汽油、煤油馏分；塔底所余下的350℃以上的重油送减压分馏塔分馏。若在常压下将原油直接加热到400℃以上，则该馏分中的许多理想组分将被裂解生成低分子烃，无法制得润滑油组分，因此，必须采取减压分馏。

3. 减压分馏

将常压塔内、沸点较高的重油送入减压分馏塔后，利用抽真空的方法〔塔内真空一般约为98.7kPa (740mmHg)〕降低重油的沸点，其中的高沸点馏分便可在不太高的温度下从不同侧线——分馏出来，即得润滑油馏分。

二、电力用油的精制及调合工艺

除去馏分油中非理想组分的工艺过程，称“精制”。电力用油与一般润滑油的来源相同，皆是从润滑油馏分精制而成，其精制方法也大体相同，一般有以下几种：

(1) 硫酸精制：是用浓硫酸处理馏分油的工艺过程，该法主要适用于变压器油和轻质润滑油的精制。硫酸可与馏分油中的含氧、含硫、含氮化合物以及部分芳香烃等起缩合、叠合、磺化反应；还可与烯烃等起加成反应。它们的反应产物，以及部分不起反应的芳烃和非烃化合物能溶解于硫酸，形成“酸渣”，利用其密度差可将酸渣从油层中分离出去。油层再经碱洗、水洗等流程可得精制产品。

(2) 溶剂精制：是用有机溶剂处理馏分油的工艺过程，该法为常用的精制方法。某些极性有机溶剂，如糠醛、苯酚等，对馏分油中的多环芳烃、胶状、沥青状物质等的溶解度较大，而对理想组分的溶解度小得多，由此可将非理想组分除去。

(3) 加氢精制：是采用加氢的方法，在一定条件下处理馏分油的工艺过程，这是一种较新的精制方法。该法是在一定温度、压力和催化剂的作用下，加入氢使部分芳环变成环烷环或开环，不饱和烃变成饱和烃；含氧、含氮和含硫化合物分别变成 H_2O 、 NH_3 和 H_2S 等气体，从而与油分离。

(4) 脱蜡：是通过一定方法除去馏分油中熔点较高、易从油中析出晶粒的各种烃类（蜡）的工艺过程。常用的方法有：冷榨脱蜡、溶剂脱蜡、尿素脱蜡和分子筛脱蜡等。冷榨脱蜡是将馏分油冷至低温，通过压榨机将凝固的蜡从油中分离，该法只适用于变压器油和轻质润滑油等的脱蜡。溶剂脱蜡是在粘度较大馏分油中加入适当的溶剂（丙酮和苯-甲苯等混合溶剂），使其粘度变小，然后再用冷冻、过滤等方法将蜡状物除去。尿素脱蜡一般只

适用于变压器油，是利用尿素 $\left(\begin{array}{c} H_2N-C-NH_2 \\ || \\ O \end{array} \right)$ 与高分子正构烷烃、长侧链的环状烃等形成包合物，从而将其除去。分子筛脱蜡，是利用分子筛对蜡状物的选择吸附，来达到脱蜡的目的。

(5) 白土补充精制：经上述精制的油品，一般皆残存有未除尽的溶剂、酸、碱、水分和机械杂质等，通常可利用活性白土的吸附作用将其除去，以达到再次净化之目的。

在采用硫酸、溶剂等精制方法时，药剂的用量（或浓度）对油品的性质影响较大。若其用量不足，则非理想组分不能完全除去，造成“精制不足”，使油品的性能变差；反之，则造成“过度精制”。为消除馏分油中某些天然抗氧化剂（油本身含有的）的有害影

响，在电力用油的精制中常常采用过度精制，然后加入合成抗氧化添加剂以提高其抗氧化安定性。

电力用油的精制一般选用图1-1中的工艺过程。究竟选用哪几种工艺过程为好，应根据产品质量的要求、馏分油的化学组成、加工条件、经济效益等多种因素综合分析而定。

调合工艺是制取电力用油的最后工序。这一工艺是根据牌号不同的油品，在粘度等方面的不同要求，将精制后所得的基础油按不同的比例进行调合，并根据要求加入抗氧化剂等类添加剂，经充分混匀、检验合格后便可得商品性的电力用油。

第四节 电力用油的质量标准

一、电力用油的分类

1. 石油及其产品的分类

石油较为简单而常用的分类方法有工业分类法，如表1-6所示。此外，还可按烃类组成的大约含量分为三种石油：烷烃含量超过50%的，为“石蜡基石油”；环烷烃含量超过50%的，为“环烷基石油”；含有一定数量的烷烃、环烷烃和芳香烃的石油，为“混合基（或中间基）石油”。

表 1-6 石 油 的 工 业 分 类

按 密 度 (ρ_{420}) 分 类		按 含 硫 量 分 类	
名 称	密 度 (g/cm^3)	名 称	含 硫 量 (重量%)
轻质石油	<0.878	低硫石油	0.5
中质石油	$0.878\sim0.884$	含硫石油	$0.5\sim2.0$
重质石油	>0.884	高硫石油	>2.0

2. 石油产品的分类

石油产品的分类如表1-7所示。

表 1-7 我 国 石 油 产 品 的 分 类

油 品 类 别	表示符号 ^①	油 品 类 别	表示符号 ^①	油 品 类 别	表示符号 ^①
溶剂油类	N	工艺用油类	C	沥青类	Q
燃料油类	R	润滑脂类	Z	石油添加剂类	T
润滑油类	H	真空油脂类	K	焦炭类	J
液压油类	Y	防锈油脂类	F	石油化学品及其它类	X
电气用油类	D	蜡及其制品类	L		

① 表示符号为汉语拼音字母。