

电力用油 实用技术

温念珠 编著



 中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书从基础理论并结合生产实际,对电力工业用绝缘油、汽轮机油、六氟化硫绝缘气体、超高压用绝缘油、抗燃汽轮机油等的分类、化学成分、炼制工艺、理化电气性能、规格标准、维护管理、监督方法、净化再生、试验方法等,作了较系统的介绍。书中还探讨了近年来随着电力工业中高电压、大容量、高参数设备的投入所带来的用油技术上的新问题,并提出了一些解决办法。

本书可作为电力、农电系统和其它单位从事油务工作人员的培训教材,也可供有关专业技术人员和学校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电力用油实用技术/温念珠等编著. —北京:中国水利水电出版社,1998
ISBN 7-80124-460-5

I. 电… II. 温… III. ①电器-润滑油 ②液体绝缘材料 IV. TE626.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 00897 号

书 名	电力用油实用技术
作 者	温念珠 编著
出版、发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京金剑照排厂
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 18 印张 417 千字
版 次	1998 年 5 月第一版 1998 年 5 月北京第一次印刷
印 数	0001—5000 册
定 价	28.00 元

前 言

为适应电力工业的飞速发展,确保发、供电用油设备的安全、经济运行;为更好地贯彻执行国家标准局颁布的和电力、石油等部门颁发的有关“油质标准”、“维护管理导则”、“试验方法”以及有关的“规章制度”;更为了适应电力工业中高电压、大容量、高参数设备的投入和解决一些技术上新问题的需要,特编写了本书,希望对提高广大油务工作者的技术理论和管理水平有所帮助。

本书共分8章:绪论和第1章介绍了电力工业用油的基本知识;第2章至第4章较系统地论述了绝缘油和汽轮机油的理化、电气性能、质量标准,以及监督维护,防劣技术措施等;第5章论述了超高压用绝缘油和抗燃汽轮机油使用特性,技术指标及运行维护等;第6章叙述了六氟化硫绝缘气体的特性、质量标准以及检测与维护管理等;第7章叙述了废油的再生、净化处理原理及方法;第8章介绍了油质试验方法(以国家标准为主)及六氟化硫气体检测方法(电力部标准)等。

本书中的绪论及第1、2、3、4、5、6、8章为温念珠同志编写;第7章为郝有明同志编写;第8章中第3节为苏淑芬同志编写。

本书可供电力系统、农电系统及其它有关用油单位广大油务工作者学习参考,也可供有关技术人员、学校师生参考。

本书由电力工业部西安热工研究院孙桂兰教授级高级工程师主审。在编写过程中得到东北电力科学研究院培训中心王贵轩、蒲德芳高级工程师热情帮助和大力支持。在此一并致以深切的谢意。

限于编写者水平,不妥之处在所难免,希望读者指正。

作 者

1997年11月

目 录

前 言	
绪 论	1
第 1 章 油品的分类、成分和炼制的一般概念	3
第 1 节 石油及石油产品的分类	3
第 2 节 石油的化学成分	8
第 3 节 油的炼制	9
第 4 节 油品中的添加剂	12
第 5 节 电力用油的特性要求	13
第 2 章 油的理化、电气性能	14
第 1 节 油的物理性能	14
第 2 节 油的化学性能	28
第 3 节 油的电气性能	42
第 3 章 油质标准	50
第 1 节 国内标准	50
第 2 节 国外标准	61
第 4 章 油质监督维护及防劣	82
第 1 节 新油的验收	82
第 2 节 油质维护及防劣	82
第 5 章 超高压用油及抗燃汽轮机油	110
第 1 节 超高压用绝缘油	110
第 2 节 抗燃汽轮机油	119
第 6 章 六氟化硫绝缘气体	127
第 1 节 SF ₆ 气体的基本特性	127
第 2 节 SF ₆ 气体的检测、监督与管理	129
第 7 章 油的净化与废油的再生处理	135
第 1 节 油的净化处理	135
第 2 节 废油的再生处理	140
第 3 节 其它方法处理油	146
第 4 节 再生油的质量标准	147
第 5 节 废物的处理和回收	147
第 6 节 废油再生的安全与防护	148
第 8 章 油质试验方法及六氟化硫气体质量检测方法介绍	149
第 1 节 油质试验方法介绍	149

第2节 六氟化硫气体质量检测方法介绍	165
第3节 有关试验方法在实践中的体会	168
附 录	
附录一 变压器油(GB2536—90)	188
附录二 超高压变压器油(SH0040—91)	190
附录三 L-TSA 汽轮机油(GB11120—89)	192
附录四 运行中变压器油质量标准(GB7595—87)	194
附录五 电厂用运行中汽轮机油质量标准(GB7596—87)	197
附录六 六氟化硫气体技术条件(试行)	200
附录七 六氟化硫 SF ₆ 气瓶及气体使用安全技术管理规则(试行)	202
附录八 六氟化硫电气设备气体监督条例(试行)	205
附录九 用于电气设备的 SF ₆ 气体质量监督与运行管理导则	208
附录十 六氟化硫电气设备制造运行及试验检修人员安全防护暂行规定	215
附录十一 电厂运行中汽轮机用矿物油维护管理导则(GB/T14541—93)	220
附录十二 运行中变压器油维护管理导则(GB/T14542—93)	240
附录十三 501 抗氧剂(SH0015—90)	264
附录十四 746 防锈剂(SH0043—91)	266
附录十五 有关油品的规格标准	268
附录十六 油质分析常用单位、名称、符号与国际单位制对照关系	275
附录十七 常用酸、碱溶液的配制和标定	277
参考文献	279

绪 论

电力系统中所使用的绝缘介质和润滑介质种类较多。如绝缘油、SF₆绝缘气体、汽轮机油、抗燃汽轮机油、机械油、润滑脂、电缆油等。但用量最大和对发、供电设备有直接影响的是绝缘油和汽轮机油。它们好比是机器中的血液，可以说没有上述油品，发、供电设备就无法投入生产。故本书重点论述绝缘油和汽轮机油的性能和监督维护等。

电力系统中所使用的油品，不但种类多、数量大，而且要求油品的质量也比较严格，否则便不能发挥其应有的作用。其主要性能作用如下。

一、绝缘油

绝缘油是电力系统中重要的矿物液体绝缘介质，如变压器、断路器、电流和电压互感器、套管等中大都充以绝缘油，以起绝缘、散热冷却和熄灭电弧作用。因此要求绝缘油具有优良的理化性能及电气性能，特别对超高压用油，更有其特殊性能要求。近几年来国内外某些充油电气设备，已采用性能较好的合成有机绝缘液和SF₆绝缘气体，其主要优点是安全，设备占地面积少。

二、汽轮机油

汽轮机油又称透平油，是电力系统中重要的润滑介质，主要用于汽轮发电机组、水轮发电机组及调相机的油系统中，起润滑、散热冷却、调速和密封等作用。对汽轮机油的质量无疑是有严格要求的，为了保证汽轮机组的安全运行，对300MW及以上机组的调速系统，已采用合成抗燃汽轮机油代替矿物汽轮机油。

现在电力系统中使用的绝缘油和汽轮机油，其绝大多数是矿物油。由于受运行条件的影响，油在运行中是要不断老化的。油的老化产物会损坏设备，威胁机组安全运行，严重者会造成设备事故。为此，从建国以来，电力系统就相继成立了各级电力试验研究院所，各电业局和发电厂也都建立了油务监督管理机构，以加强对用油质量的监督管理和运行维护工作。电力系统广大油务工作者的主要任务是：

(1) 必须认真贯彻执行国家技术监督局、有关行业(专业)颁布的油质标准、试验方法、各项规章制度及指令性文件。

(2) 负责新油(包括机械油、润滑脂等)质量的验收和运行中油质量的监督试验，根据试验结果研究油质存在的问题，提出处理意见。并与有关部门协作，保证不因油质问题而引起发、供电设备事故。在购买新油时，必须有供油单位的化验单及验收单位提供的化验单，否则不应购买。

(3) 负责对运行绝缘油中溶解气体进行气相色谱监督试验，根据试验结果，提出分析处理意见。并与有关部门协作，及时消除充油电气设备内部潜伏性故障。

(4) 负责和协助用油部门开展预防油质老化和废油再生工作。对主要设备都应有防止油质老化的技术措施，并认真作好监督维护工作，以延长油质的使用寿命。对再生油的质量应进行全面分析，以达到合格标准。

(5) 负责设备在检修期间油系统的检查和验收，在检查前有关部门不应消除设备内部的附着物和进行检修。对新安装的设备，应协助有关部门对将投运设备的油系统根据要求制订技术措施。

(6) 应建立各种油务监督，运行维护的记录、档案、图表及卡片，以掌握油质运行工况，积累运行数据，总结油质运行规律。

电力工业在我国“四化”建设中要走在前面，近几年来高参数、大容量的发电机组，高电压、大容量的输变电路正在陆续投运，因而要求广大油务工作者更要加倍努力作好工作，为电力工业的飞速发展作出新的贡献。

第1章 油品的分类、成分和 炼制的一般概念

电力系统中所采用的绝缘油、汽轮机油等主要是由天然石油炼制而成。石油是一种粘稠油状的可燃性液体矿物。颜色多为黑色、褐色或暗绿色,也偶有黄色。一般情况下,石油比水轻,石油的密度大部分为 $0.77\sim 0.96\text{g/cm}^3$ 。石油是各种化学物质的复杂混合物,这个混合物和其它物质一样,是肉眼看不见的颗粒极微小的原子的化合物。石油的主要成分是碳和氢的化合物,碳氢化合物通常叫做“烃”,石油是由各种烃类及氧化合物、氮化合物、树脂、沥青等化合物的极复杂的混合物。因此石油和任何一种石油产品的化学成分的精确定量,是一极其复杂的任务。所以只能将彼此之间相似的烃类归纳入一族或一类内,并用所谓族化学成分测定法分类,测定时不测定石油或石油产品中个别的烃类的含量,而是测定一族或一类烃的含量。石油或石油产品的化学成分对其物理、化学性质有很大关系,是炼制电力用油的关键,是本章重点论述的内容。

第1节 石油及石油产品的分类

石油及其产品的分类较繁多,仅将与电力工业用油有关部分,介绍如下。

一、石油的分类

1. 商品分类法(或称工业分类法)

- (1) 密度分类法。见表 1-1。
- (2) 含硫量分类法。见表 1-2。
- (3) 含蜡分类法。见表 1-3。
- (4) 含胶量分类法。见表 1-4。

表 1-1 石油的密度分类

名 称	$\rho_{4}^{20}(\text{g/cm}^3)$
轻质石油	<0.830
中质石油	$0.830\sim 0.904$
重质石油	$0.904\sim 0.966$
特重质石油	>0.966

表 1-2 石油的含硫量分类

名 称	含硫量(重量)(%)
低硫石油	<0.5
含硫石油	$0.5\sim 2.0$
高硫石油	>2.0

表 1-3 石油的含蜡分类

名 称	含蜡量(重量)(%)
低蜡石油	$0.5\sim 2.5$
含蜡石油	$2.5\sim 10$
高蜡石油	>10

表 1-4 石油的含胶量分类

名 称	硅胶胶质含量(重量)(%)
低胶石油	<5
含胶石油	$5\sim 15$
多胶石油	>15

2. 化学分类法

(1) 特性因数分类法。特性因数(K)是表征石油烃类组成的一种特性数据。以热力学温度表示的烃类的沸点(T)的立方根与其相对密度($\rho_{15.6}^{15.6}$)成直线关系,不同族的烃,其斜率不同,因此定义比斜率为特性因数 K 。

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

按特性因数分类法,石油分为三类,见表 1-5。

(2) 关键馏分特性分类法。用特定的仪器,将原油分别在常压和减压条件下蒸馏出两个馏分:常压馏分时,馏程为 250~275℃的称第一关键馏分;减压蒸馏时,馏程为 395~425℃的称为第二关键馏分,测定两个关键馏分的密度和密度指数,然后对照表 1-6 中的密度分类标准,决定两个馏分的属性为石蜡基、中间基或环烷基。最后按照表 1-7 确定该原油的类别。

表 1-5 石油的特性因数分类

名 称	石蜡基	中间基	环烷基
特性因数	>12.1	11.5~12.1	10.5~11.5

表 1-6 关键馏分的分类指标

关 键 馏 分	石 蜡 基	中 间 基	环 烷 基
第一关键馏分	$\rho^{20} < 0.8210\text{g/cm}^3$, 密度指数 >40	ρ^{20} 为 0.8210 ~ 0.8562g/cm ³ , 密度指数为 33~40	$\rho^{20} > 0.8562\text{g/cm}^3$, 密度指数 <33
第二关键馏分	$\rho^{20} < 0.8723\text{g/cm}^3$, 密度指数 >30	ρ^{20} 为 0.8723 ~ 0.9305g/cm ³ , 密度指数为 20~30	$\rho^{20} > 0.9305\text{g/cm}^3$, 密度指数 <20

二、石油产品的分类

1. ISO(国际标准化组织)石油产品分类

1986 年 ISO 发表了石油产品总分类标准,其名称为 ISO8681—86《石油产品和润滑剂的分类方法和类别的确定》,见表 1-8。

表 1-7 关键馏分特性分类

编号	轻油部分的分类	重油部分的分类	原油分类
1	石蜡基	石蜡基	石蜡基
2	石蜡基	中间基	石蜡—中间基
3	中间基	石蜡基	中间—石蜡基
4	中间基	中间基	中间基
5	中间基	环烷基	中间—环烷基
6	环烷基	中间基	环烷—中间基
7	环烷基	环烷基	环烷基

表 1-8 ISO8681—86《石油产品和润滑剂的分类方法和类别的确定》

类别	相 应 的 含 义
F	燃料(Fuels)
S	溶剂和化工原料(Solvents and raw materials for the chemical industry)
L	润滑剂、工业润滑油和有关产品(Lubricants industrial oil and related products)
W	蜡(Waxes)
B	沥青(Bitumen)

注 ISO 的标准级有: ISO 为正式标准; ISO/DIS 为标准草案; ISO/DP 为建设草案; ISO/DIR 为技术报告。

2. 我国石油产品的分类

我国于 1987 年发布了石油产品分类的标准,标准代号为 GB498--87,见表 1-9。

表 1-9

GB498—87 石油产品和润滑剂的总分类

类 别	F	S	L	W	B	C
类别的含义	燃料	溶剂油和化工原料	润滑剂和有关产品	蜡	沥青	焦

三、润滑剂、工业润滑油及有关产品的分类

1. ISO 粘度分类

ISO/TC28(石油产品技术委员会)于1975年2月发布了ISO3448—75《工业液体润滑剂粘度分类标准》，见表1-10。

表 1-10

ISO 工业液体润滑剂的粘度分类及有关粘度号对照

ISO 粘 度 等 级			我国新粘度等级 (GB3141—82)	按 40℃赛氏通用秒 (SUS)划分的粘度
40℃运动粘度中心值 (mm ² /s)	中心值运动粘度范围 (mm ² /s)	ISO VG (ISO3448—75)		
2.2	1.98~2.42	2	2	32
3.2	2.88~3.52	3	3	36
4.6	4.14~5.06	5	5	40
6.8	6.12~7.48	7	7	50
10	9.00~11.0	10	10	60
15	13.5~16.5	15	15	75
22	19.8~24.2	22	22	105
32	28.8~35.2	32	32	150
46	41.4~50.6	46	46	215
68	61.2~74.8	68	68	315
100	90.0~110	100	100	465
150	135~165	150	150	700
220	198~242	220	220	1000
320	288~352	320	320	1500
460	414~506	460	460	2150
680	612~748	680	680	3150
1000	900~1100	1000	1000	4650
1500	1350~1650	1500	1500	7000

根据ISO3448—75标准，目前各国制定了相应的本国标准：如美国的ASTMD2422—75，英国的BS—4231—75，法国的NFT—60—141—75，原联邦德国的DIN—51519—76，日本的JISK2001—78，以及我国的GB3141—82《工业润滑油粘度分类》。

2. ISO 产品分类

ISO于1981年发布了ISO6743/0—81正式标准，见表1-11。其主要内容是把润滑剂、工业润滑油和有关产品(L类)按应用场合分为18个组，每个组可单独制订一个分类标准，共有19个分类标准(ISO6743/0~ISO6743/18)。

表 1-11 ISO6743/0—81 润滑剂、工业润滑油和有关产品(L类)的分组——第0部分：总分组

组 别	应 用 场 合	发布的分组标准
A	全损耗系统(Total loss systems)	ISO6743/1—81
B	脱模(Mould release)	

续表 1-11

组 别	应 用 场 合	发布的分组标准
C	齿轮(Gears)	ISO/DP6743/6—85
D	压缩机(包括冷冻机和真空泵)(Compressors, including refrigerators and vacuum pumps)	ISO6743/3A—87 ISO/DIS6743/3B—85
E	内燃机(Internal combustion engine)	
F	锭子、轴承和有关离合器(Spindles bearings and associated clutches)	ISO6743/6—81
G	导轨(Slideways)	ISO/DP6743/13—86
H	液压系统(Hydraulic systems)	ISO6743/4—82
M	金属加工(Metal working)	ISO6743/7—86
N	电气绝缘(Electrical insulation)	
P	风动工具(Pneumatic tools)	ISO/DP6743/11—86
Q	热传导(Heat transfer)	ISO/DP6743/12—86
R	暂时保护防腐蚀(Temporary protection against corrosion)	ISO6743/8—87
T	透平机(Turbine)	ISO/DIS6743/5—85
U	热处理(Heat treatment)	
X	用润滑脂的场合(Applications requiring grease)	ISO/DIS6743/9—86
Y	其它应用场合(Other applications)	ISO/DP6743/10—86
Z	蒸汽气缸(Steam cylinders)	

3. 我国产品分类

我国的产品分类标准, 见表 1-12。

表 1-12 GB7631.1—87 润滑油和有关产品(L类)的分类第1部分

组别	应 用 场 合	待制订的各组分类标准	组别	应 用 场 合	待制订的各组分类标准
A	全损耗系统		N	电气绝缘	
B	脱膜		P	风动工具	
C	齿轮	第 7 部分	Q	热传导	
D	压缩机(包括冷冻机和真空泵)	第 9 部分	R	暂时保护防腐蚀	第 6 部分
			T	汽轮机	第 10 部分
E	内燃机	第 3 部分	U	热处理	
F	主轴、轴承和离合器	第 2 部分	X	用润滑脂的场合	第 8 部分
G	导轨		Y	其它应用场合	
H	液压系统	第 2 部分	Z	蒸汽气缸	
M	金属加工	第 5 部分	S	特殊润滑剂应用场合	

四、电力用油的分类

1. 绝缘油的分类

(1) IEC(国际电工委员会)的绝缘油分类, 见表 1-13。

表 1-13

IEC1039 绝缘油的总分类

类别	组别	IEC 出版物编号	IEC 次级分类	观察报告
L	NT	296	I、I _A 、I _B	IEC296, 矿物油
L	NT	296	I _A 、I _B 、I _C	IEC296, 加抑制剂矿物油
L	NY	465	I、I _A 、I _B	IEC465, 电缆油
L	NC	588	C-1、C-2	IEC588-3, 电容器阿斯克雷尔(Askarel)
L	NT	588	T-1、T-2、T-3、T-4	IEC588-3, 变压器阿斯克雷尔(Askarel)
L	NY	867	1	IEC867, 表 1, 烷基苯
L	NC	867	2	IEC867, 表 2, 烷基二苯基乙烷
L	NC	867	3	IEC867, 表 3, 烷基萘
L	NT	836	1	IEC836, 硅液体
L	NY	963	1	IEC963, 聚丁烯

(2) 绝缘油的组成性质分类, 见表 1-14。

表 1-14

绝缘油的组成性质分类

名称	制 造
矿物油型	石油分馏经不同加工工艺制成
合成油型	由各种有机化工原料, 经合成等工艺制成, 如烷基苯、聚丁烯、烷基萘、硅油、氟化油等
混合油型	由矿物油和合成油按不同比例调和而成

2. 汽轮机油的分类

(1) 一般分类, 见表 1-15。

表 1-15

汽轮机油的一般分类

按汽轮机种类分	按应用地点分	按油的组成成分	按油的特性分
汽轮机油	陆用汽轮机油	不含添加剂的汽轮机油	抗氧防锈汽轮机油
水轮机油	船用汽轮机油	含添加剂的汽轮机油	极压汽轮机油
燃汽轮机油			抗燃汽轮机油 抗氧汽轮机油 高温汽轮机油

(2) ISO 分类。见下表 1-16。我国标准 GB7631.10-92 等效采用此标准。

表 1-16 ISO6743/5-88E 润滑剂、工业润滑油和有关产品(L 类)的分类——

第 5 部分: T 组(汽轮机)

类别字母 符号	一般 应用	特殊应用	更特殊应用	组成和特质	符号	典 型 应 用
T	汽轮机	蒸汽、 直接或齿 轮连接到 负荷	一般应用	具有防腐性和氧化安 定性的深度精制石油润 滑剂	TSA	发电机工业装置及其配套的控制 系统不需要改善齿轮承载能力的船 舶驱动装置
			特殊应用	不具有特殊耐燃性的 合成液 ^②	TSC	要求使用某些特殊性能, 如氧化安 定性和低温性液体的发电机、工业装 置及其配套的控制系統
			耐燃性	磷酸酯润滑剂 ^①	TSD	要求使用具有耐燃性液体的发电 机、工业装置及其配套的控制系統

续表 1-16

类别字母 符号	一般 应用	特殊应用	更特殊应用	组成和特质	符号	典型应用
T	汽轮机	蒸汽、 直接或齿 轮连接到 负荷	高承载能力	具有防锈性、氧化安 定性和高承载能力的深 度精制石油润滑油剂	TSE	要求改善齿轮承载能力的发电机、 工业装置和船舶齿轮装置及其配套 的控制系统
		气体、 直接或齿 轮连接到 负荷	一般应用	具有防锈性和氧化安 定性的深度精制石油润 滑剂	TGA	发电机、工业装置及其相配套的控 制系统,不需要改善齿轮承载能力的 船舶驱动装置
			较高温度 下使用	具有防锈性和改善氧 化安定性的深度精制石 油润滑油剂	TGB	由于热点出现,要求耐高温的发电 机、工业装置以及相配套的控制系 统
			特殊应用	不具有特殊耐热的合 成液 ^{①②}	TGC	要求使用具有某些特性如氧化安 定性和低温性液体的发电机、工业装 置及相配套的控制系
			耐热性	磷酸脂润滑油剂 ^③	TGD	要求使用具有耐热性液体的发电 机、工业装置及相配套的控制系
			高承载能力	具有防锈性、氧化安 定性和高承载能力的深 度精制石油润滑油剂	TGE	要求改善齿轮承载能力的发电机、 工业装置和船舶齿轮装置及其相配 套的控制系统
		控制系 统	耐热性	磷酸脂控制液	TCD	要求使用与润滑油剂分别供应,并有 耐热要求的蒸汽汽轮机、燃气汽轮机 和液压汽轮机控制机构
		航 空 器 ^④			TA	
		液压传 动装置 ^⑤			TH	

① 此类产品可以与石油基产品完全相容;

② 此类产品包括合成烃以及其它化学产品;

③ 此类产品尚未健全。

第2节 石油的化学成分

石油的化学成分比较复杂,它既不是由单一的元素组成,也不是由简单化合物组成,而是由许多种元素组成的多种化合物的混合物。在其化学组成中,碳含量约为84%~85%,氢含量约为12%~14%,还有少量硫、氧、氮约为1%左右。此外还有极微量的金属元素:铁、镍、铜、铅、钒、镁、钾、钙、锰等,以及微量的非金属元素:磷、硅、氯等。

国内外几种石油的主要元素组成,见表1-17。

表 1-17

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(前苏联)	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。

石油和石油产品中的烃类主要有: 烷烃、环烷烃和芳香烃等, 一般原油中不含不饱和烃, 但裂化过程及高温热解产物中有一定含量。

一、烷烃

烷烃又称石蜡烃, 其分子通式为 C_nH_{2n+2} , 在一般情况下, 分子中含有 1~4 个碳原子的烷烃为气态; 含 5~15 个碳原子的烷烃为液态, 是石油的主要成分; 含 16 个碳原子以上的烷烃为固态, 悬浮在石油中。从化学观点来看, 烷烃有较稳定的化学安定性, 高闪点和其它优越的性质。因为它所有的碳链都完全达到了饱和状态, 但在室温下便失去了流动性, 即凝点较高。烷烃含量超过 25%~30% 的石油称为烷基(或称石蜡基)石油。

二、环烷烃

环烷烃的分子通式为 C_nH_{2n} 、 C_nH_{2n-2} 、 C_nH_{2n-4} 等。环烷烃几乎是一切石油的主要成分。它的结构比较复杂, 有单环、双环和多环, 并带有烷基侧链。由于环烷烃具有较高的抗爆性, 低凝点及较好的润滑性, 并会使制得的油品具有良好的热安定性和化学安定性, 是电力用油的主要理想成分之一。石油中含有 75%~83% 的环烷烃称为环烷基石油, 是炼制绝缘油的最好原油。

三、芳香烃

芳香烃的分子通式为 C_nH_{2n-6} 、 C_nH_{2n-12} 等。最简单的芳香烃是苯 C_6H_6 。芳香烃分为对称结构的烃(如苯、萘、蒽)和带侧链的芳香烃(如甲苯)。所有的润滑油成分中都含有芳香烃, 电力用油中当然也不例外。芳香烃比环烷烃化学性质活泼, 它们的活性是完全由侧链的数量和大小决定。芳香烃是生成渣滓的主要物质, 但完全除去芳香烃而不使油过度净化是不可能的, 也是不必要的。石油中含芳香烃的量约在 14%~30% 之间变化。

关于不饱和烃, 因其安定性差, 为油品的有害成分, 所以在炼制中应完全从油中除去。另外石油中还有非烃化合物, 如含氧化合物、含硫化合物, 含氮化合物、胶质及沥青质等, 它们对石油产品的质量和使用均有一定的不良影响, 一般在炼制过程中应尽量除去。

第 3 节 油的炼制

一般石油的加工为: 原油预处理——去掉油中水分、杂质及盐类; 蒸馏——常压蒸馏和减压蒸馏, 切取馏分油; 精制——去掉油中有害成分, 得到半成品或称基础油; 调制——

改善油品的某些指标和质量，如添加适当的添加剂等，最后得到成品油。电力用油的一般生产程序示意图如图 1-1 所示，概括起来有下述几个重要炼制工艺。

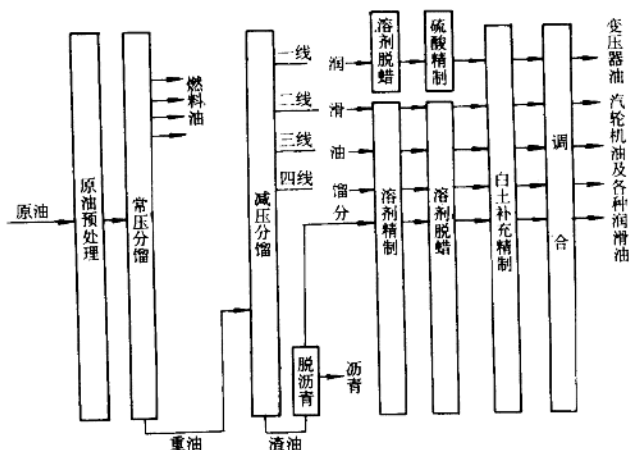


图 1-1 电力用油一般生产流程示意图

一、原油的预处理

自油井采取后送往石油炼制厂的原油，虽经过沉降、脱水等，但其中仍含有一定量的水分、机械杂质和盐类，这些有害物质应在炼制之前除去，即为原油的预处理。

由于石油与水相混合的结果，含于油内的一部分水在原油中散布成极细的细滴，形成乳浊液。自此乳浊液中将水分离，往往是一件很复杂的工作。但经验证明最简单的方法是加热和沉淀。即利用水和石油比重不同的原理，将原油先在具有蒸汽蛇管的沉降槽或蒸汽换热器中，加热至 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 后，进行沉淀。加热原油可促使乳浊液分解，降低油的粘度，并促使水及机械杂质沉淀。沉淀的程度及时间，决定于石油加热的温度及乳化的固定情况。

如某种石油加热到 $110\sim 120^{\circ}\text{C}$ 或更高一些，仍不能破坏乳浊液，则可采用化学方法。即往原油中添加破乳剂，破乳剂加到乳浊的原油中，能使包着水滴，妨碍水滴结成易于沉淀到器底的大水滴的油膜破坏或降低其稳定性。原油破乳剂的品种较多，被广泛采用的是磺酸钠盐的水溶液，用量一般为原油量的 $0.5\%\sim 0.6\%$ ，可使水在原油中的含量降低到 $0.5\%\sim 0.8\%$ 。

近来在原油乳浊液的破除方法方面，多用电解法，此方法是将乳浊原油压经电气脱水器。此器为一立式圆筒，筒上横放着电压 $10000\sim 20000\text{V}$ 的电极，在电极中间形成电场。由于电流的作用，乳浊液的保护膜就被破坏。应用通电脱水法，可使原油的含水量降低至 0.5% 左右。

在乳浊原油脱水的同时，会自油中分离或除去溶于水中的盐类。但大多数原油要除去其中的盐类，需进行专门的脱盐操作。一般是将原油与 $40\sim 60^{\circ}\text{C}$ 的热软化水相混合，软化水的用量约为油量的 $5\%\sim 10\%$ ，当水自油中沉淀出来时，就将盐自油中析出。因此，原油的除盐过程和去乳化过程的区别，仅在于脱盐时是往原油中加入热软化水。但在实际炼油厂中，石油脱盐也加添加剂，多为环烷酸铝。

二、油的蒸馏及馏分

石油蒸馏的目的,是在各个不同的温度范围内,将原油分成许多在指定温度范围内的沸点不同的馏分,然后将这些馏分再经过适当加工处理,使之成为合格产品。电力用油的馏分,是属于润滑油馏分范围内(即绝缘油、汽轮机油都在润滑油馏分内)。

1. 常压蒸馏

原油经过预处理后,送入常压蒸馏装置中进行分馏,按不同的沸点温度范围截取馏分,一般在 350°C 以下可馏出较透明的汽油、煤油等馏分。在常压蒸馏装置的底部余下的 350°C 以上的称为重油,重油需再进行减压蒸馏。

2. 减压蒸馏

在常压蒸馏时所得到的重油,是制造各级润滑油的原料。由于重油分馏成润滑油时,需在 400°C 以上才开始沸腾,但在这样高的温度下,重油中的许多理想组分将被裂解,生成了低分子烃,大大地影响了炼制润滑油的质量。如会使凝点升高,粘度降低,颜色变坏,闪点降低等。故必须在减压的条件下进行重油的蒸馏,即利用抽真空的方法。减压装置内一般真空度约为 98.7kPa (740mmHg),以降低重油的沸点,得到较理想的润滑油馏分。

三、油的精制

因减压蒸馏所得到的润滑油馏分中,含有一些不良的有害成分,即润滑油馏分还是一种不能直接应用的半成品。其中有害的成分为沥青、树脂物质、不饱和化合物、环烷酸、硫化化合物、氮化合物及一些高分子的烃类。这些成分会使油在运输、贮存和使用中不稳定,腐蚀金属,形成积焦等。

为使从润滑油馏分中制得合格的润滑油成品,必须将其中的有害物质除去,以提高润滑油的稳定性和粘温性,降低酸值及树脂、焦炭及灰分等的含量,改善油品的颜色和气味等。除去润滑油馏分中有害物质的工艺,称为油的精制。精制的主要方法,通常有下列几种。

1. 硫酸精制

用硫酸精制油品是一种经典而又最普遍的方法。硫酸几乎对油中所有的有害物质均起化学反应,但对烃的影响并不显著。如硫酸可与含氧、含硫、含氮化合物以及部分芳香烃等起缩合、叠合、硫化反应,还可与烯烃等起加成反应。其反应后的产物,以及部分不起反应的芳香烃和非烃化合物能溶解于硫酸,形成“酸渣”,利用其比重差可将酸渣从油层中分离出去。油层再经碱处理、水洗等流程,而得到精制产品。

2. 选择性溶剂精制

选择性溶剂精制润滑油是一种物理方法,它不改变润滑油中任何组分的分子结构,即不起化学反应,只是通过物理溶解除去润滑油馏分中的非理想组分。润滑油馏分中所含各种烃类,在某些有机试剂中具有不同的溶解度。非理想组分在溶剂中的溶解度较大,理想组分在溶剂中的溶解度相对很小,从而把理想组分和非理想组分分开。工业上将这种分离过程称为液液抽提(或液液萃取)过程,这种溶解度的差别,称为溶剂的选择性。润滑油馏分中理想组分和非理想组分在某种溶剂中,溶解度相差愈大,这种溶剂的选择性就愈好。

目前应用最广泛的溶剂有糠醛(分子式 $\text{C}_5\text{H}_4\text{O}_2$)、酚(分子式 $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$)等。糠醛是选择性很强、溶解能力较小的一种选择性溶剂,且毒性小,回收容易,因此在我国采用糠醛比较

普遍。润滑油馏分中芳香烃最容易溶于糠醛，高分子多环烃在一定温度下也溶于糠醛，石蜡烃、沥青、胶质化合物溶解较小，而对理想组分的溶解度极其微小，故使油得到精制。

3. 加氢精制

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，加入氢气使部分芳环变成环烷烃或开环，不饱和烃变成饱和烃，含氧、含氮及含硫化合物，分别变成 H_2O 、 NH_3 及 H_2S 等气体，从而与油分离，使油得到精制。

4. 白土精制

润滑油经过硫酸或糠醛精制后，油中仍含有少量胶质、沥青质、环烷酸皂酸渣、残余的无机盐、残余的选择性溶剂等。这些杂质的存在，不仅腐蚀设备，磨损机件，而且降低了油品的安定性。因此还须再经过一次补充精制，才能得到成品润滑油。常用的补充精制为白土精制法，它是使油与白土在一定温度下充分混合，使残留在油中的上述有害物质，被吸附在白土的表面上，从而改善了油的颜色，降低残炭值，提高抗氧化安定性，抗腐蚀性等。

5. 脱蜡

润滑油脱蜡过程的目的是从润滑油馏分中，分离出在低温下容易从油中析出，且熔点较高的结晶烃类——蜡，以降低油品的凝点，解决油品在低温使用条件下的流动性。

近代脱蜡的方法有很多种，如冷榨脱蜡、溶剂脱蜡、尿素脱蜡和吸附脱蜡等，其中冷榨脱蜡和溶剂脱蜡是目前比较广泛使用的脱蜡方法。冷榨脱蜡是将油冷至一定温度，使蜡结晶出来，再用板框过滤机，通过压榨的方法，将蜡和油加以分开。此方法适用于变压器油和轻质润滑油的脱蜡。对粘度较大的馏分油，一般采用溶剂（如酮、苯类等）脱蜡，其原理是通过溶剂来稀释润滑油馏分，降低油品粘度，利用溶剂溶解油而不溶解蜡的选择性，在低温下使蜡生成结晶从溶液中析出来，再用过滤的方法使蜡和油分离。尿素脱蜡一般只适用于变压器油，是利用尿素（分子式 $H_2N-CO-NH_2$ ）与高分子正构烷烃、长侧链的环烷等形成混合物，从而将其除去。吸附脱蜡是利用吸附剂对蜡状物的选择性吸附，以达到脱蜡的目的。

第4节 油品中的添加剂

随着工农业的高速发展，新型设备的使用，对油品的质量提出了越来越高的要求。前面所述炼制工艺所得油品的质量，是有一定限制的，是满足不了日新月异的新要求的。为解决此问题，目前国内外采取的有效措施之一，是在精制后的油中加入相应的添加剂，以改善油品的某些指标，提高油品的质量。

目前国内外所生产的添加剂的种类很多，我国大约就有 30 余种。根据添加剂加入后能改善油品的哪种性质，并与电力用油有关的，可以把添加剂归纳如下几类。

（1）粘度添加剂。可以增加润滑油的粘度，改善润滑油的粘温性。我国目前主要的粘度添加剂有：聚异丁烯、聚甲基丙烯酸酯、聚乙烯基正丁基醚等。

（2）降凝剂。可以降低润滑油、绝缘油的凝点，改善油品的低温流动性。目前使用最广泛的降凝剂是长链烷基萘（ C_{22-24} ）及其缩合物，如聚甲基丙烯酸酯（ C_{12} 以上的烷基酯），其