

电力用油及监督

上册

(油质及监督)

温念珠 等 编写



东北电力试验研究院

一九八八年八月

目 录

前 言	1
绪 论	2
第一章 油的成分和炼制一般概念	4
1.1 油的化学成分	4
1.2 油的炼制	5
1.3 油品中的添加剂	8
1.4 电力用油的性质和要求	6
第二章 绝缘油	11
2.1 绝缘油概述	11
2.2 绝缘油的物理性质	12
2.2.1 外观颜色和透明度	12
2.2.2 密度和比重	12
2.2.3 粘度和粘温性	14
2.2.4 凝点、倾点和低温流动性	16
2.2.5 闪点、燃点、自燃点	17
2.2.6 界面张力	18
2.3 绝缘油的化学性质	20
2.3.1 水溶性酸碱与酸值	20
2.3.2 抗氧化安定性	21
2.3.3 水份	23
2.3.4 活性硫(硫腐蚀)	25
2.3.5 苛性钠试验	26
2.4 绝缘油的电气性能	26
2.4.1 击穿电压(绝缘强度)	26
2.4.2 介质损耗因数	28
2.4.3 体积电阻率	30
2.4.4 析气性(气稳定性)	32
2.5 绝缘油的标准	34
2.5.1 国内标准	35
(1) 新油标准	35
(2) 运行油标准	36
2.5.2 国外标准	42

(1) 新油标准 (IEC、ASTM、JIS、BS)	42
(2) 运行油标准 (IEC、ASTM、ГОСТ、JIS)	47
2.6 绝缘油监督维护及防劣	58
2.6.1 新油的验收	58
2.6.2 常规检验周期及检验项目	58
2.6.3 安装热虹吸器 (净油器)	59
2.6.4 添加抗氧化剂	64
2.6.5 隔膜密封装置	67
2.6.6 各类防劣措施联合使用	79
2.6.7 关于混油和补油的问题	80
2.7 超高压用绝缘油	81
2.7.1 超高压用绝缘油的特性研究和探讨	82
2.7.2 超高压用绝缘油的运行监控和有关技术指标的探讨	89
2.7.3 对超高压用油的几点意见	93
2.8 SF ₆ 绝缘气体	94
2.8.1 SF ₆ 气体的基本特性	95
2.8.2 SF ₆ 气体的检测、监督与管理	97
2.8.2.1 六氟化硫气体技术条件 (试行)	105
2.8.2.2 六氟化硫(SF ₆)气瓶及气体使用安全技术管理规则 (试行)	107
2.8.2.3 六氟化硫电气设备气体监督条例 (试行)	109
2.8.2.4 用于电气设备的SF ₆ 气体质量监督与运行管理导则	112
2.8.2.5 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	121
第三章 汽轮机油	126
3.1 汽轮机油概述	126
3.2 汽轮机油的物理性质	128
3.2.1 透明度、水份	128
3.2.2 粘度和粘度指数	128
3.2.3 凝点	130
3.2.4 闪点、自燃点	130
3.2.5 灰分	131
3.2.6 机械杂质 (颗粒度)	132
3.3 汽轮机油的化学性质	134
3.3.1 酸值	134
3.3.2 抗氧化安定性 (旋转氧弹法)	135
3.3.3 苛性钠试验	136
3.3.4 液相锈蚀	136
3.3.5 破乳化度	137

3.3.6 抗泡沫性	137
3.3.7 空气释放值	138
3.4 汽轮机油质标准	141
3.4.1 国内标准	141
(1) 新油标准	142
(2) 运行油标准	144
3.4.2 国外标准	148
(1) 新油标准 (ISO、IEC、BS、ГОСТ)	148
(2) 运行油标准 (ISO、IEC、JIS、ГОСТ)	151
3.5 汽轮机油的监督维护与防劣	155
3.5.1 新油的验收	155
3.5.2 常规检验周期及检验项目	156
3.5.3 安装连续再生器(净油器)	157
3.5.4 添加抗氧化剂	158
3.5.5 添加防锈剂	159
3.5.6 添加破乳剂	164
3.5.7 各类添加剂的复合添加	167
3.5.8 关于混油和补油的问题	169
3.6 抗燃汽轮机油	170
3.6.1 抗燃汽轮机油概况	171
3.6.2 抗燃汽轮机油的成分及性质	171
3.6.3 抗燃汽轮机油的规格标准和监督维护	172
第四章 油的净化与再生处理	180
4.1 油的净化处理	180
4.1.1 沉降法净化油	180
4.1.2 压力过滤法净化油	181
4.1.3 真空过滤法净化油	183
4.1.4 离心分离法净化油	185
4.1.5 绝缘油的净化指标	186
4.2 废油的再生处理	187
4.2.1 吸附剂再生法	187
(1) 接触法	187
(2) 过滤法	187
4.2.2 硫酸—白土再生油	190
4.2.3 硫酸—碱—白土再生油	194
4.3 其它方法处理油	196
4.3.1 油品的脱硫处理	196
4.3.2 低闪点绝缘油的处理	196

4.4 再生油的质量标准.....	197
4.5 废物的处理与回收.....	197
4.6 废油再生的安全与防护.....	198

前 言

为适应电力工业的发展，确保发、供电用油设备的安全经济运行；为了更好的贯彻执行1988年国家标准局颁布的《运行中变压器油质量标准》、《运行中汽轮机油质量标准》和有关试验方法；而编写了此资料，以对提高广大油务工作者的技术理论和管理水平有所帮助。

本资料共分八章，绪论和第一章介绍了电力系统用油的基本知识；第二、第三章较系统的论述了变压器油、汽轮机油的理化性质、使用性能、质量标准、监督维护、防劣措施，并对超高压用绝缘油、SF₆绝缘气体、抗燃汽轮机油等也作了概括的论述；第四章叙述了废油净化再生处理的方法及原理；第五章介绍“国标”及“部标”油质试验方法；第六、七、八、章论述了气相色谱法的原理和对充油电气设备内部故障的检测、分析、判断以及微机数据处理方法等。

本资料可供电力系统、农电系统以及其他用油单位广大油务工作者自学的参考书，也可供有关技术人员、学校师生的参考资料。

本资料中的第一、二、三、五章为温念珠同志编写；第四章为郝有明同志编写；第六、七、八章为范玉华同志编写；色谱仪的数据处理由吴翎同志编写；第五章油质试验方法的有关注释及补充由苏淑芬同志编写。

限于编写者水平，不妥之处在所难免，希望读者指正。

绪 论

由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。但其中用量最大和对发、供电设备有直接影响的是绝缘油和汽轮机油。仅辽宁地区电力系统用油设备中，就充有一万多吨绝缘油和一千多吨汽轮机油。可以说没有上述油品，发、供电设备就无法投入生产。故本资料重点论述绝缘油和汽轮机油的性质和监督。

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

绝缘油又称变压器油，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。因此要求绝缘油要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油和SF₆绝缘气体，其主要优点是安全、设备占地面积较少。

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，为了保证汽轮发电机组的安全运行，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。

现在电力系统中所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，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：

一、必须认真贯彻执行国家标准局、水利电力部和有关上级颁布的油质标准、试验方法、各项规章制度及指令性文件。

二、负责新油（包括机械油、润滑脂等）质量的验收和运行中油质的监督试验，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（或验收单位提出的化验单），否则不应购买。

三、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。

四、负责和协助用油单位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，并认真做好监督维护工作，以延长油质的使用寿命。对再生油质

应进行全分析，以达到合格标准。

五、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。

六、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更大的贡献。

第一章 油的成分和炼制一般概念

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的。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，这个混合物和其他物质一样，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”，石油是由各种烃类和氧化合物、氮化合物、树脂及沥青等化合物的极复杂的混合物。因此石油或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。所以将被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、化学性质有很大影响，是炼制电力用油的关键，是本章重点论述的内容。

1.1 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，也不是由简单的化合物组成，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 $84\%\sim 85\%$ ，氢含量约为 $12\%\sim 14\%$ ，还含有少量硫、氧、氮约为 1% 左右。此外还含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—1。

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。

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。

1. 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、高闪点和其他优越的性质。因为它所有的碳键都完全达到了饱和状态；但在室温下便失去流动性，即其凝固点较高。烷烃含量超过25%~30%的石油称为烷基石油。

2. 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，低凝固点及较好的润滑性，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。

3. 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）和带短侧链的芳香烃（如甲苯）。所有润滑油的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来决定。芳香烃是生成渣滓的主要物质，但要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。石油中芳香烃的含量约在14%~30%之间变化。

关于不饱和烃，因其安定性差，为油的有害成分，所以应完全从油中除去。另外石油中还含有非烃化合物，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。

1.2 油的炼制

一般石油的加工为：原油子处理——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，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，概括起来有下述几个主要炼制工艺。

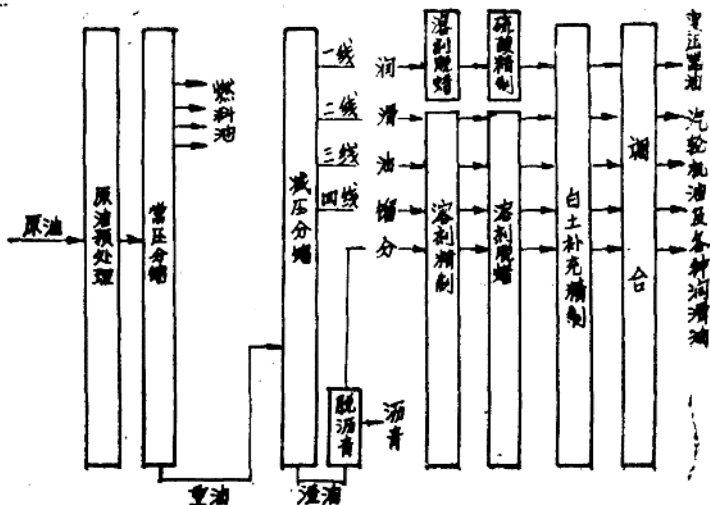


图1-1 电力用油一般生产流程示意图

1. 原油的予处理

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，即原油的予处理。

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。

如某种石油即是加温到 $110\sim 120^{\circ}\text{C}$ 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，被广泛采用的是磷酸钠盐的水溶液，用量一般为原油的 $0.5\sim 0.6\%$ ，可使水在原油中的含量降低到 $0.5\sim 0.8\%$ 。

最近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 $10,000\sim 20,000$ 伏的电报，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，会自油中分出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。

2. 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，生成低分子烃，大大地影响了炼制润滑油的质量。如会使凝固点升高，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。

3. 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乎规格的润滑油成品，必须将上述有害物质除去，以提高润滑油的稳定性和粘性，减低酸值及树脂，焦炭及灰分的含量，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。

(a) 硫酸精制 用硫酸精制油品是一种最古老而又最普遍的方法，特别适用于电力用油的精制。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。

(b) 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

越大，这种溶剂的选择性就越好。

目前应用最广泛的溶剂有糠醛（分子式 $C_5H_4O_2$ ）、酚（分子式 C_6H_6O ）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极其微小，故使油得到精制。

(c) 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环或开环，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。

(d) 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 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。因此一般还需要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的温度下充分混合，使残留在油中的上述极性物质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。

(e) 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，以降低油品凝固点，解决油品在低温使用条件的流动性。

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（ $H_2N-C(=O)-NH_2$ ）与高分子正构烷烃、长

侧链的环烷等形成包合物，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。

1.3 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。是满足不了新的要求的。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。

目前国内外生产添加剂的种类很多，我国大约就有30余种。根据添加剂加入后能改善油的哪种性质（并与电力用油有关的），可以把添加剂归纳为如下几类；

1. 粘度添加剂 可以增加润滑油的粘度,改善润滑油的粘温特性。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、绝缘油的凝固点,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($C_{22}\sim_{24}$)及其缩合物,如聚甲基丙烯酸酯(C_{12} 以上的烷基酯),其次是聚丙烯酸酯和长链烷基酚及其缩合物。

3. 抗氧化添加剂,可以增加油的抗氧化安定性,减缓油品的诱导期,延长油质使用寿命。抗氧化剂的种类较多,如苯基 β -萘胺、 α -萘胺、 α -萘酚、 β -萘胺、 β -萘酚、2,6-二叔丁基对甲酚等。2,6-二叔丁基对甲酚是电力系统较广泛采用的抗氧化剂,代号T501。

4. 防锈添加剂可以防止金属由于周围环境的化学或电化作用而磨损生锈。近几年来电力系统较广泛的采用十二烷基丁二酸(代号“746”)作为汽轮机油的防锈剂。

5. 抗泡沫添加剂 润滑油在使用过程中,往往容易形成泡沫而影响其润滑效果。为了消除和避免泡沫的发生,可以往油中加入抗泡沫添加剂。目前常用的有效抗泡沫剂是硅的有机化合物,我国生产的为甲基硅油,原代号“201”。

目前我国生产的绝缘油、汽轮机油等,在出厂之前均添加有0.3%~0.5%的2,6-二叔丁基对甲酚抗氧化剂。部分汽轮机油中还加有0.02%~0.03%的十二烷基丁二酸防锈剂,以改善和提高油的质量。

1.4 电力用油的性质和要求

电力系统所采用的绝缘油和汽轮机油,是发、供电设备的重要绝缘介质和调滑介质,它们质量的好坏,直接影响发、供电设备的安全、经济运行,所以电力系统对绝缘油、汽轮机油的质量有严格的规定和较高的要求。概括简述如下。

1. 要有良好的抗氧化安定性 一般绝缘油在变压器中的运行温度约为60~80°C(与负荷和气温也有关),并经常与空气接触,同时还受电场、电暈等的作用,油品是要发生热老化和电老化(统称老化或氧化)的;汽轮机油在运行中温度60°C左右,并直接与空气、金属等接触,且其在机组中循环速度较快、次数较多(每小时约6~10次),油品也是要不老化的。因此要求油品有良好的抗氧化安定性,一般要求绝缘油能使用10~20年;汽轮机油能使用10~15年。

2. 要有良好的电气性能和润滑性能 一般评定绝缘油电气性能的指标是,绝缘强度(或称击穿电压)和介质损耗因数。但近几年来50万伏超高压系统投入后,对绝缘油的电气性能提出了更高的要求,增加了体积电阻率、析气性等电气性能指标,如达不到上述性能、指标要求的油,根本不能采用。

对汽轮机油来说,选择适当的粘度,是保证机组正常润滑的重要因素。汽轮机油不但要有良好的润滑性能,而且要求其粘温特性要好,即要求其粘度不随温度的急剧变化而变化。

3. 高温安全性要好 油的高温安全性通常以闪点表示,闪点愈低,油的挥发性愈大,则安全性愈小,故对绝缘油、汽轮机油的闪点,有严格的要求和规定。

4. 对室外用绝缘油特别是油开关用油, 要求有良好的低温流动性和较低的凝固点; 对汽轮机油还要求有良好的抗乳化性能, 防锈性能和抗泡沫性能。

第二章 绝 缘 油

2.1 绝 缘 油 概 述

目前我国生产的绝缘油是石油产品之一，或称矿物性绝缘油，是电力系统充油电气设备如变压器、断路器、互感器、套管等的良好绝缘液体介质。近几年来断路器用油质的要求略有差异，我国正在研制断路器专用油。

我国炼制绝缘油所选用的原料有：环烷基原油、石蜡基原油和混合原油三种。对炼制绝缘油采用环烷基原油比较好，但环烷基原油在世界各地都比较缺乏，而石蜡基原油比较多，我国生产的45号变压器油，多是由新疆产环烷基原油炼制而成的；由于大庆原油含蜡量较高，故10号、25号变压器油多为大庆石蜡基原油炼制的产品。

国产变压器油的炼制工艺，大部分是在常压三线切取馏分，总称为润滑油馏分，其切取温度约在260~380℃范围内。切取馏分的温度与炼制出油品的密度、闪点、粘度等有密切关系，如切取的温度低，则馏分中含轻质物质多，其油品的密度、闪点、粘度就偏低，反之则偏高。润滑油馏分的主要化学组成为：烷烃、环烷烃及芳香烃，还有少量胶质物，氧、氮化合物等。

精制绝缘油的目的是去掉馏分中的非理想组分，精制的方法以往我国多采用硫酸、碱法，目前我国则多采用选择性溶剂法（如采用**康醛**）。采用选择性溶剂法的主要优点是溶剂可以回收使用，省去废酸渣的处理问题等，溶剂精制后再经白土补充精制。

我国炼制绝缘油的工艺，是采取深度精制加抗氧化剂的方法，故在白土补充精制后，即加入0.3%~0.5%抗氧化剂——2,6-二叔丁基对甲酚（代号T501）。因此国产绝缘油的抗氧化安定性较好，在运行中氧化沉淀物较少，设备大修吊芯时，一般都比较干净。

由于矿物绝缘油是各种烃类组成的，因此在运行中受温度、空气、电场等的影响，是要逐渐氧化（或称劣化、老化的），如遇高温过热等设备故障，则油质老化加速。油老化后从外观上看其颜色加深，通常产生酸、羧基酸、醛、酮、酯等，以及它们的缩合、聚合物——胶质、沥青质等。油的这些老化产物不但使油的理化、电气性能变坏，并在油中起催化剂作用，进一步加速油的老化。

电力系统对绝缘油的性能、质量是有严格要求的。要求新绝缘油要具有良好的物理性能、化学性能和电气性能。通常绝缘油的物理性能项目有：外观颜色、透明度、密度（比重）、粘度、凝点（倾点）、闪点、界面张力等；化学性能项目有：水溶性酸碱、酸值、水分、活性硫、苛性钠试验、抗氧化安定性等；电气性能项目有：击穿电压、介质损耗因数、体积电阻率，对超高压用油还需测定其析气性、芳香烃含量或比色散等。对于充入设备后的油和运行中油也都有较严格的性能要求和具体的质量指标，以及在运行中

如何监督维护等，均将在以后几节中详述之。

2.2 绝缘油的物理性质

只有化学纯净的均匀物质才具有一定物理性质。如众所周知，水在常压下， 0°C 时即凝固， 100°C 时开始沸腾。但这个原则仅适合于化学纯净除盐水。

绝缘油不是化学纯净的均匀物质，而是由很多不同的液态烃组成的混合物，因而其物理性质并不是恒定的，而是随其所含的各种物质而变的。如原馏份油切取的温度偏低，含轻质油的部分多，则炼出成品油的比重、粘度等就相应的偏低。但绝缘油的物理性质，经多年实践证明，在运行中的变化是有一定规律的。

绝缘油的物理性质，是评定新油和运行中油重要指标的一部分。但由于绝缘油是各种烃类化合物的复杂混合物，不能测定单体组分，只能把绝缘油的物理性质，理解为各种烃类化合物的综合表现。故测定油的物质性质，通常采用条件性的试验方法，即使用特定的试验仪器，并按照规定试验条件进行测定。通过测定了解其物理性能。

2.2.1 外观颜色和透明度

石油及石油产品的颜色，决定于其中沥青—树脂物质及其他染色化合物的含量。如原馏分油中沥青—树脂物质越少，轻馏分越多，一般来说颜色就越浅，也越透明。如果原油的颜色是它的一般特性，那么就可判断绝缘油中除去沥青—树脂物质及其他染色物质的程度，即判断绝缘油的精制程度。

新绝缘油一般为淡黄色。而我国生产的绝缘油，特别是#45变压器油，由于切取馏分较低，采用过度精制加抗氧化剂的工艺，故其外观颜色较浅，几乎是无色的。绝缘油在运行中，受环境的污染和自身氧化生成的树脂质等的影响下，其颜色会逐步变深。绝缘油颜色的剧烈变化，一般是油内发生电弧时产生炭质造成的。总之，油在运行中颜色的迅速变化，是油质变坏或设备存在内部故障的表现。

油的透明度是在一定的温度、油量及环境条件下，察观油的透明程度。如降低规定的温度，则含在油中的渣滓和石蜡等，会成为雾状分离出来，油即失去透明性，呈浑浊状态。运行中油可由油的透明度来判断机械杂质，游离碳、水分等的存在。

绝缘油的颜色和透明度的测定方法目前均为目视比色法（关于试验方法均在第五章详述）。这两项物理性能在某些方面虽有联系，但在实际应用中，两者的含义是不同的。

2.2.2 密度和比重

密度在物理学上的定义是：单位体积内所含物质的质量。其单位为 Kg/m^3 （或 g/cm^3 、 g/ml ），以符号 ρ 表示。油品的密度与温度有关，如规定油在 20°C 时的密度为标准密度，可以 ρ_{20} 表示；测定油在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的密度，则以 ρ_t 表示。因此，在实际应用中必须标明温度。

比重是物质与同体积纯水，在 4°C 时重量之比，故比重无因次，以符号 d 表示。油