



供电中级工培训教材

绝缘油及监督

东北电业管理局 教材编审委员会
供电中级工培训
辽宁省职工教育教材编审委员会

工 人 出 版 社

供电中级工培训教材

绝缘油及监督

东北电管局供电中级工培训教材编委会

辽宁省职工教育教材编审委员会

工人出版社出版(北京安外六铺炕)

沈阳图书服务部发行

沈阳市印刷制夹厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 11.375 字数: 246千字

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数: 1—16,370册

统一书号: 13007·14 定价: 2.10元

编 著 者：马奎雄 张素芳 江 波
审 稿 者：温念珠
责任编辑：陈凤芹
责任校对：张磊英

东电供电中级工培训教材编委会

主 任：张凤逸
副 主 任：胡恩喜 刘宗祥
编 委：范克文 郭素容
郭嘉毅 冀升山
高 莉

前 言

为适应电力工业中级工培训的需要,供电中级工培训教材和读者见面了。这套教材是根据水利电力部指示,由东北电业管理局供电中级工培训教材编审委员会组织东北电管局机关、供电企业、学校的高级工程师、工程师、讲师编写、校核、审定,由辽宁省职工教育教材编审委员会编辑、发行,工人出版社出版。全套教材包括:《数学》、《无机化学》、《有机化学》、《工程力学》、《机械制图》、《电工基础》、《电子技术基础》、《电气设备》、《变压器》、《高电压技术》、《继电保护自动装置》、《电气仪表》、《分析化学》、《绝缘油及监督》、《送电线路运行与检修》、《送电线路电气及机械计算》、《调相机》、《配电设备》、《高压并联电容器》、《带电作业》等共二十种,供不同专业、工种选用。

这套教材适用于供电系统各主要技术工种、用电单位和企业电工、农村电工;部分教材也适用于水火电厂、地方热电厂、企业自备电厂以及电力建设单位相应的技术工种;亦可作为有关技工学校、职业学校的参考用教材。同时,可供从事电气运行、检修、安装的各级技术工人自学。

《绝缘油及监督》由大连电力技术学校讲师马奎雄主编,大连电业局工程师张素芳、大连电力技术学校江波参编,东北电力试验研究院高级工程师温念珠审阅。

在编写过程中，得到了有关部门的领导 and 同志们的大力支持，在此致以衷心感谢。由于时间仓促和我们的水平所限，书中不妥之处在所难免，欢迎读者批评指正，以便今后再做修改。

东北电业管理局 教材编审委员会
供电中级工培训
辽宁省职工教育教材编审委员会

一九八六年五月

目 录

第一章 绝缘油的物理性质及测定

第一节 外观色度和透明度·····	(1)
第二节 密度和比重·····	(4)
第三节 平均沸点和特性因数·····	(18)
第四节 粘度·····	(24)
第五节 闪点和燃点·····	(41)
第六节 凝固点和低温流动性·····	(47)
第七节 界面张力·····	(51)

第二章 绝缘油的化学性质及测定

第一节 水溶性酸碱与酸值·····	(70)
第二节 抗氧化安定性·····	(79)
第三节 钠等级试验和羰基含量测定·····	(93)
第四节 油品中水分测定·····	(98)
第五节 油品中的杂质·····	(110)

第三章 绝缘油的电气性质及测定

第一节 绝缘油的绝缘强度·····	(117)
第二节 绝缘油的介质损失·····	(126)
第三节 绝缘油的体积电阻率·····	(135)
第四节 绝缘油中气体对电气性能的影响·····	(139)

第四章 油品中添加剂

第一节 油品烃类氧化机理·····	(143)
-------------------	-------

第二节	油品中加抗氧化添加剂·····	(152)
第三节	油品中加其它添加剂·····	(166)
第五章 绝缘油的运行维护管理		
第一节	绝缘油在电力设备中的作用·····	(172)
第二节	绝缘气体的特性和管理·····	(176)
第三节	变压器的防劣与防潮·····	(182)
第四节	油品的管理、维护、处理制度·····	(209)
第六章 气相色谱法检测充油电气设备内部故障		
第一节	气相色谱法简介·····	(222)
第二节	气相色谱法的分离过程·····	(226)
第三节	气相色谱法的鉴定过程·····	(248)
第四节	定性及定量分析方法·····	(259)
第五节	油中溶解气体的气相色谱分析·····	(266)
第六节	充油电气设备内部故障的检测·····	(279)
第七节	气相色谱仪简介·····	(292)
第七章 废绝缘油的净化与再生处理		
第一节	废油的净化处理·····	(302)
第二节	废绝缘油的再生处理·····	(308)
第三节	废绝缘油的其它补充处理·····	(329)
第四节	净化再生处理的有关工作·····	(331)
第五节	正交试验法简介·····	(335)

第一章 绝缘油的物理性质及测定

绝缘油物理性质可以作为评定油品质量的重要指标。此外，绝缘油的物理性质在运行中的变化很有规律，因此，了解油品的物理性质，便于监督运行中的绝缘油。

确定电气用油的物理性质应具备下述特点：测定和计算方法简便准确；容易据此定出质量指标；能在一定程度上反映油品的使用性能。

绝缘油是各种烃类化合物的复杂混合物，其单体组分难以测定，而且多数物理性质不具有可加性。但是，可以把绝缘油的物理性质理解为各种烃类化合物性质的综合表现，所以，测定油品的物理性质，通常采用条件性的试验方法，即使用特定的仪器并按照规定试验条件测定。

第一节 外观色度和透明度

油品的外观色度是一种表面物理观测，其结果直接用“颜色”来显示。油品的透明度也是一种表面物理观测，其结果以“透明程度”来表示。两者含义不同。但是，它们都与油品精炼程度及使用情况有着密切的内在联系，能在一定程

度上反映油品的性能。例如，能反映出油品内机械杂质、游离碳、脂类、胶质、沥青质等物质的多少。

最简单的试验方法是根据经验观察并加以判断。这种方法的最大缺点是粗糙，不能用数值定量化，不科学。

外观色度的测定最常用的是目视比色法。该方法将试油与标准色比较，结果用标准色的编号及名称表示。

试验时，将试油注入比色管中，选择与试油相接近的标准色，同时放入比色盒（或比色架）中，在亮处进行比较，记录最相近的标准色的标号及名称，即为试油的色度。

标准色的配制：先配母液，后制备标准比色液。

1. 母液配制

称取升华、干燥的纯碘（准确至0.0002克），按1克比100毫升的比例溶解于10%碘化钾溶液中即成。

2. 标准比色液配制

按表1—1的比例取母液，用蒸馏水稀释。

3. 标准比色液的装封

将配好的标准比色液注入内径为 15 ± 0.5 毫米的10毫升比色管中，磨口处用石蜡密封，放在避光处，注明编号及颜色。该标准比色液使用期限为三个月。

表1—1 标准比色液的配制

编 号	颜 色	母液 (毫升)	蒸馏水 (毫升)
1	淡 黄 白	0.2	100
2	淡 黄	0.4	100
3	浅 黄	0.14	25
4	黄 色	0.22	25
5	深 黄	0.32	25
6	桔 黄	0.46	25
7	淡 橙	0.64	25
8	橙 色	0.90	25
9	深 橙	1.20	25
10	桔 红	1.80	25
11	浅 棕	2.80	25
12	棕 红	4.50	25
13	棕 色	7.00	25
14	棕 褐	12.00	25
15	褐 色	30.00	25

油品的透明度取决于杂质的含量。可溶于油中的杂质，当温度降低时，会或多或少地析出，透明度会相应下降。因此，测定油品透明度总要同时测定油品温度。例如，测定变压器油的透明度，需在 5 °C 下进行，汽轮机油的透明度应在 0 °C 下测定。

测定透明度，要将试油注入干燥试管中，当达到稳定的试验温度条件时，分别将试管背面衬上白纸和黑纸，在光线充足的地方观察，如果两种情况，试油都均匀，并且无混浊现象，则认为试油透明。

第二节 密度和比重

一、油品的密度和比重

物质的密度指该物质单位体积的质量，以符号 ρ 表示。
单位：克/厘米³或公斤/米³。

物质的重度指该物质单位体积的重量，以符号 γ 表示。
工程单位：千克力/米³。

液体油品的比重，指油品在一定温度下密度与规定温度下水的密度之比。比重无因次，以符号 d 表示。由于水在 3.98°C 时密度最大，其值为 0.99997 克/厘米³。工程上，近似认为 4°C 水的密度为 1 克/厘米³，所以常以 4°C 水作基准。 d_4^t 表示 $t^\circ\text{C}$ 的油品与 4°C 水的密度比，数值等于该油品在 $t^\circ\text{C}$ 的密度，我国常用的比重是 d_{40}^{20} 。国外常用 $d_{15.6}^{60}\text{F}$ 改写成摄氏温度，用 $d_{15.6}^{60}$ 表示。

在欧美各国的液体比重，常以比重指数表示，比重指数也称比重度，比重度是美国石油协会制定的一种方法，用 API° 表示。

比重指数与 $d_{15.6}^{15.6}$ 的关系，用公式（1—1）表示。

$$\text{比重指数 (API}^\circ) = \frac{141.5}{d_{15.6}^{15.6}} - 131.5 \quad (1-1)$$

随着比重增大，比重指数的数值下降，从表 1—2 能看出这种规律。

表1—2 原油及石油产品的比重范围

油 品	比重 ($d_{15.6}^{15.6}$)	比重指数 (API°)
原 油	0.65~1.06	86~2
汽 油	0.70~0.77	70~50
煤 油	0.75~0.83	50~39
柴 油	0.82~0.83	41~31
润 滑 油	> 0.85	< 35

此外，油品在任意温度 $t^\circ\text{C}$ 时，比重 $d_{15.6}^t$ 与比重 d_4^t 的关系，以公式（1—2）表示：

$$d_4^t = 0.9990 d_{15.6}^t \quad (1-2)$$

一九七六年石化部颁布的石油产品测定方法（SY2206—76）中规定， 20°C 密度为石油产品的标准密度，以 ρ_{20} 表示。从数值看，密度 ρ_{20} 与比重 d_4^{20} 相等，但是，两者物理意

义不同。

1. 液体油品比重与温度的关系

温度升高时，油品体积膨胀，因而比重减小，或密度减小。

在 $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内，密度随温度的变化近似直线关系，可用公式（1—3）表示：

$$\rho_{2t} = \rho_t + \gamma (t - 20) \quad (1-3)$$

式中 ρ_t —— $t^{\circ}\text{C}$ 时油品的密度，克/厘米³；

γ ——平均密度温度系数，克/厘米³·度，即温度变化 1°C 时密度的变化。

γ 的数值，由表1—3查出。

表1—3 石油产品的平均密度温度系数

ρ_{20}	γ	ρ_{20}	γ
0.6500~0.6599	0.00097	0.8000~0.8099	0.00073
0.6600~0.6699	0.00095	0.8100~0.8199	0.00071
0.6700~0.6799	0.00093	0.8200~0.8299	0.00070
0.6800~0.6899	0.00091	0.8300~0.8399	0.00069
0.6900~0.6999	0.00090	0.8400~0.8499	0.00068
0.7000~0.7099	0.00088	0.8500~0.8599	0.00066
0.7100~0.7199	0.00086	0.8600~0.8699	0.00065
0.7200~0.7299	0.00085	0.8700~0.8799	0.00064

续 表

ρ_{20}	γ	ρ_{20}	γ
0.7300~0.7399	0.00083	0.8800~0.8899	0.00063
0.7400~0.7499	0.00081	0.8900~0.8999	0.00062
0.7500~0.7599	0.00089	0.9000~0.9099	0.00061
0.7600~0.7699	0.00078	0.9100~0.9199	0.00060
0.7700~0.7799	0.00077	0.9200~0.9299	0.00059
0.7800~0.7899	0.00076	0.9300~0.9399	0.00058
0.7900~0.7999	0.00074	0.9400~0.9499	0.00057

不同温度下油品的密度，除用公式（1—3）计算外，亦可从有关资料的图表中查到，不再累述。

2. 油品的混合比重

当两种或两种以上的油品混合时，混合油品的比重可近似按公式（1—4）或（1—5）计算：

$$d_{\text{混}} = v_1 d_1 + v_2 d_2 + \dots + v_i d_i \quad (1-4)$$

$$d_{\text{混}} = \frac{1}{\frac{w_1}{d_1} + \frac{w_2}{d_2} + \dots + \frac{w_i}{d_i}} \quad (1-5)$$

式中 $V_1, V_2, \dots, V$ ——混合物中各组分的体积百分数，%；

$W_1, W_2, \dots, W_i$ ——混合物中各组分的重量百分数, %;

$d_1, d_2, \dots, d_i$ ——混合物中各组分的比重。

一般情况下, 烃类混合前后, 体积变化不大, 利用公式 (1—4) 和 (1—5) 做计算, 工程上是允许的。但是, 对密度相差较大、属性极不相同的组分混合时, 上述公式不能使用, 因为前者体积可能收缩, 后者体积可能增加, 所以不存在线性组合关系。

由于液体受压后, 体积变化极小, 因此, 压力对油品比重的影响可以忽略, 只有在极高的压力时, 才考虑外压对比重的影响。

3. 油品比重与组成的关系

油品主要由各种烃类组成, 烃类分子的大小和结构不同, 则油品的比重不同。

同一种原油的各馏分, 随着沸点上升, 分子量增大, 比重也随之增大。不同原油, 取相同沸程的两个窄馏分, 比重却会有较大的差别。油品的组成对比重的影响, 从表 1—4 可以看出。

表1— 4大庆原油实沸点①蒸馏各窄馏分的比重

馏 分 号	沸 点 范 围, °C	窄 馏 分, d_{4}^{20}
1	初馏点~ 60	0.6467
2	60~ 95	0.7053
3	95~122	0.7255
4	122~150	0.7437
5	150~175	0.7597
6	175~200	0.7736
7	200~225	0.7933
8	225~250	0.7995
9	250~275	0.8074
10	275~300	0.8104
11	300~325	0.8160
12	325~350	0.8283
13	350~375	0.8560
14	375~400	0.8689
15	400~425	0.8750
16	425~450	0.8884
17		0.9102
原 油	> 450 (残油)	0.8604

① 实沸点蒸馏就是在实验室中, 用比工业上分离效果更好的设备, 把石油按照沸点高低分割成许多馏分。所谓实沸点蒸馏 (或真沸点蒸馏) 也就是分馏精度比较高, 其馏出温度和馏出物

质的沸点相接近的意思，这并不是说真正能够分离出一个个的纯烃来。蒸馏时可以按每馏出3%取一个馏分，也可以是每隔10°C取一份，从而得到许多窄馏分。

除烃类分子大小和结构影响油品的比重外，含碳、硫等类元素愈多，比重愈大。当碳原子数相同或相近时，芳香烃的比重最大，环烷烃次之，烷烃最小。胶质、沥青质含量愈多，比重也愈大。油品在使用中，比重也会发生变化。例如油品氧化，比重变大。

过去，根据油品的比重，在一定程度上，可以判断油品的质量，然而，在现代的石油产品中，广泛应用各种添加剂，则在一定程度上改变了油品的组成，如再根据比重来判断油品质量已不可靠。实验室内测油品比重，一为分析油品组成，二为计量。

二、液体油品比重的测定

测定液体油品比重有比重计（或密度计）法、比重天平（或韦氏天平）法和比重瓶法。

比重计法精确度不高，但比较简便，一般用于现场分析。比重天平法精确度较高，试油用量较少，一般用于油品的质量检验。根据SYB 2206—60的规定，在50°C时试油粘度不大于200厘沲，可用比重计法和比重天平法直接测定密度。对于50°C时，粘度大于200厘沲的油品，直接测定有困难，且误差较大。为此，将试油用同温度、同体积、已知密度的煤油稀释，然后测定混合油品的密度，再用公式（1—6）计算试油的密度：