

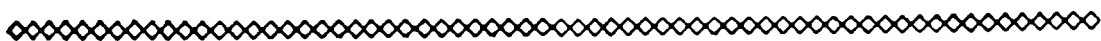
中等专业学校教材

水轮发电机组的辅助设备

成都水力发电学校 熊道树 主编

中国水利水电出版社

中等专业学校教材



水轮发电机组的辅助设备

成都水力发电学校 熊道树 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书共七章,全面阐述水电站的油系统、压缩空气系统、技术供水系统、排水系统、水力监测系统、主阀以及厂房布置等方面的内容。全书着重介绍水电站辅助设备的基本原理、典型结构以及应用、计算方面的知识,力求理论联系实际。

本书可作为中等专业学校“水电站动力设备”专业的教材及有关专业的教学参考书,也可供从事水电站机械设备安装、检修与运行的技术人员参考。

中等专业学校教材

水轮发电机组的辅助设备

成都水力发电学校 熊道树 主编

*

中国水利水电出版社 出版
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号 100044)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

北京市兴怀印刷厂印刷

*

787mm×1092mm 16开本 14.75印张 350千字

1987年11月第1版 2006年3月第7次印刷

印数 23921—25920册

ISBN 7-80124-287-4/TV·151

(原 ISBN 7-120-00058-6/TV·45)

定价 18.00 元

前 言

本书是根据 1983 年水利电力部“(83)水电教字第 64 号”文件的规定组织编写的。

辅助设备课程的教学大纲,是由参加 1982 年 11 月“水利电力部中等专业学校水动专业教学计划及教学大纲讨论会”的各校代表共同制定的。本教材的编写工作原则上以此为依据。各校在使用本教材时,可按实施性教学计划及所在地区的实际情况,对有关章节作适当取舍。

本书绪论、第一、三、四章由成都水力发电学校熊道树同志编写;第二、七两章及供水系统计算实例(二)由东北水电专科学校邬承玉同志编写;第五、六两章由成都水力发电学校王铁汉同志编写。全书由熊道树同志主编,由云南电力学校金少士同志负责主审。

本书编写过程中,得到葛洲坝水电厂、水利电力部东北勘测设计院、水电部成都勘测设计院、成都石油公司等单位有关同志的支持和协助,在此一并致谢。

由于编者水平所限,加之时间仓促,疏漏及不当之处恐难避免,请使用本书的各校老师、同学及其他读者批评指正。

编 者

1987 年 3 月

绪 论

水电厂是利用水能生产电能的企业。水轮发电机组是水电厂中的主体设备。水轮机将水能转变为机械能，发电机则将机械能转变为电能。但是，仅有主体设备，水力发电厂的任务还是不能完成的。通常水力机组的辅助设备和全厂共用的设备有：控制机组用的调速设备；机组润滑等用的油供应设备；机组冷却等用的技术供水设备；机组停机制动等用的压缩空气设备；排出渗漏水及检修时排出尾水管内积水等用的排水设备；为保证机组安全并减少停机漏水量等用的主阀；为防止火灾用的消防设备以及起重、机修、监测设备等等。

辅助设备对水电厂及机组的安全经济运行，保证机组出力及供电质量等方面有着十分重要的作用。根据我们对全国一些大中型水电厂调查的结果来看，机械方面的事故或故障大部分是由于辅助设备发生问题而引起的，例如辅助设备的“四漏”（漏油、漏水、漏气、漏电）。有的同志往往不予注意，结果有的因漏油而酿成全厂大火。水电厂的容量愈大；自动化水平愈高，则辅助设备的内容愈复杂，其作用也愈重要。

随着生产的发展和科学技术的进步，对辅助设备的自动化程度及可靠性必将提出更高的要求。这就需要注意采用新的技术，努力促进辅助设备向前发展。

水电厂辅助设备既各具特点自成系统，又与其它设备互相配合组成一个整体。因此，分析和处理问题，应根据具体情况，从整体出发全面加以考虑。为了把辅助设备的运行维护与检修工作搞好，对水泵、空压机等主要辅助设备的结构、工作原理和特性应给予足够的重视。按大纲要求，本书内容包括油、气、水、监测系统，以及主阀与厂房布置共七章，辅助设备的其余内容或另设专课或纳入其它课程去讲。本书“厂房布置”一章，可放在《水电站概论》中讲，也可放在本课中讲，各校可根据课程设置情况灵活掌握。

目 录

前 言

绪 论

第一章 水电站的油系统	1
第一节 水电站用油的种类及作用	1
第二节 油的基本性质及其对运行的影响	2
第三节 油的劣化分析及净化措施	10
第四节 用油量的计算及设备选择	15
第五节 油系统的任务、组成和系统图	19
复习思考题	22
第二章 水电站的压缩空气系统	23
第一节 压缩空气的用途及压气系统的组成	23
第二节 活塞式空气压缩机	24
第三节 压缩空气装置的附属设备	31
第四节 机组制动供气	34
第五节 机组调相压水供气	38
第六节 维护检修和空气围带供气	43
第七节 油压装置供气	44
第八节 配电装置供气	47
第九节 防冻吹冰供气	52
第十节 压缩空气系统设计计算实例	55
复习思考题	59
第三章 水电站的技术供水系统	61
第一节 技术供水系统的任务及其组成	61
第二节 用水设备对水的要求	64
第三节 水泵	69
第四节 水源、取水方式与水的净化	91
第五节 供水方式与供水系统的设计布置	98
第六节 供水系统水力计算及主要设备选择	104
第七节 消防供水	112
第八节 供水系统图	118
第九节 技术供水系统水力计算实例	122
复习思考题	129
第四章 水电站的排水系统	131

第一节 排水系统的任务和排水方式	131
第二节 渗漏排水	131
第三节 检修排水	133
第四节 排水系统图	135
第五节 排水系统设计计算实例	139
复习思考题	144
第五章 水电站的水力监测系统	145
第一节 水电站水力监测的目的和内容	145
第二节 水电站上、下游水位及装置水头的测量	145
第三节 水轮机工作水头的测量	152
第四节 压力计	153
第五节 机组过水系统的监测	159
第六节 水轮机流量测量	162
第七节 机组相对效率的测量	170
第八节 水电站水力监测系统举例	174
复习思考题	175
第六章 水电站的主阀与快速闸门	176
第一节 主阀的作用和设置条件	176
第二节 主阀的型式及其结构	177
第三节 主阀的操作机构和操作系统	183
第四节 主阀上的作用力及力矩计算	188
第五节 快速闸门	193
复习思考题	197
第七章 水电站厂房的设备布置	198
第一节 概述	198
第二节 起重机的选择	200
第三节 厂房的设备布置	203
第四节 主厂房主要尺寸的确定	215
第五节 副厂房	223
复习思考题	227

第一章 水电站的油系统

第一节 水电站用油的种类及作用

一、用油的种类

油脂的种类很多。根据工作需要，水电站机电设备选用的主要是润滑油（H）、润滑脂（Z）及电气绝缘油（D）三类。

润滑油常用的有以下几种：

（1）透平油（即汽轮机油）——多用 HU—20、HU—30、HU—40 等种（符号后的数值表示油在 50℃ 时的运动粘度，单位为 $10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$ ），供机组轴承润滑及调速系统、主阀等液压操作作用。

（2）机械油（简称机油）——多用 HJ—10、HJ—20、HJ—30 等种，供电动机、水泵、机修设备及起重机等滑动轴承润滑用。

（3）压缩机油——有 HS—13 和 HS—19 两种，除供活塞式空气压缩机润滑外，还承担活塞与气缸壁间的密封作用。

电气绝缘油有：

（1）变压器油——一般用 DB—10、DB—25、DB—45 三种（符号后的数值表示油的凝点，零下摄氏度数），供变压器及电流、电压互感器用。

（2）开关油——多用 DU—45，供开关用。

（3）电缆油——有 DL—35、DL—110、DL—220、DL—330 4 种（符号后的数值表示以千伏计的电压），供充电电缆用。

常用的润滑脂有：

（1）钙基润滑脂——按针入度分为 1~5 个牌号（ZG—1、2、3、4、5），号数越大，脂越硬，熔点也愈高。其特点是耐水不耐热，最高使用温度为 55~65℃。常用于水泵、电动机的滚动轴承以及易与水或潮气接触的润滑部位上。

（2）钠基润滑脂——常用 ZN—2、3、4 三个牌号。特点是耐热不耐水，最高使用温度为 110~120℃，常用于低转速、重载荷的机械摩擦部位。

（3）锂基润滑脂——牌号为 ZL—2。进口设备用的润滑脂大多为锂基，国内设备用量也逐渐增多。

上述用量最大的是透平油及变压器油。大型水电站用油量达数百吨乃至数千吨，中型水电站也有数十吨到百余吨。

二、油的作用

（一）透平油的作用

透平油在设备中的作用主要是润滑、散热及液压操作。

润滑作用：在轴瓦与转动部分之间形成油膜，以润滑油内部摩擦代替固体干摩擦，从

而大大减小摩擦系数、减少设备的摩擦功率损失和磨损。据估算，全世界消耗于摩擦损失的能，约占全部产生的动力能的 $1/3$ ，因而改善润滑以减小摩擦阻力是具有重大意义的。润滑油还能保护机械不受腐蚀，延长设备寿命，保证设备的功能和安全。

散热作用：设备转动部件因摩擦所消耗的功以热能形式表现出来，促使轴承温度升高，这对设备及润滑油本身的寿命和功能都有很大影响，因此必须设法散出其热量。根据润滑理论，润滑油在对流作用下将热量传出，再通过冷却器将热量传给冷却水（水冷式），从而使油和设备的温度升高不致超过规定值，保证设备安全运行。

液压操作：水电站的调速系统以及绝大多数的主阀或液压阀，都是用高压油来操作，常用透平油作传递能量的工作介质。

（二）绝缘油的作用

绝缘油在设备中的作用是绝缘、散热和消弧。

绝缘作用：油的绝缘强度比空气大得多，用油作绝缘介质可以大大提高电气设备运行的可靠性，缩小设备尺寸。

散热作用：变压器等设备运行时，线圈通过强大的电流，损耗的功率将产生大量的热，若不及时将这些热量散发，温升过高将损害线圈绝缘，甚至烧毁变压器。绝缘油吸收了这些热量，利用温差对流作用，在变压器内循环流动，通过冷却器将热量传给冷却水带走（水冷式），保证变压器温度正常。

消弧作用：当油开关切断电力负荷时，在触头之间产生电弧。电弧温度很高，如不及时将热量传出，弧道分子的高温电离就会迅速扩展，电弧将会不断地发生，这样就可能烧坏设备。此外，电弧的继续存在，还可能使电力系统发生振荡，引起过电压，损坏设备。绝缘油在受到电弧作用时，发生分解，产生约含 70% 氢的气体。氢是活泼的消弧气体，它在被分解的过程中从弧道带走大量的热，同时直接钻进弧柱地带，将弧道冷却，限制弧道分子的离子化，使电弧熄灭。

（三）润滑脂的作用

润滑脂有润滑、密封、防护及节约能源等作用。某些机械摩擦部位由于工作条件的限制，用润滑油不能满足要求。例如：开放式润滑部位要求润滑剂不得流失或滴落；在有尘埃、水分或有害气体侵蚀的情况下，要求有良好的防护性；由于使用条件的限制，要求长时间不换润滑剂；温度和速度变化范围较大的摩擦部位的润滑以及某些机械设备的封存、防腐、防锈等。如果采用润滑脂就能起到很好的作用。此外，试验证明，当润滑脂的基础油与润滑油的粘度相同时，润滑脂的油膜厚度比使用润滑油薄 30%，摩擦力减小，可以降低动力消耗。为节约能源，国外正在大力发展复合锂基多效通用润滑脂。

第二节 油的基本性质及其对运行的影响

为了正确地选择与使用油以及判断油质的好坏，我们必须掌握油的基本性质。油的质量指标有许多项目，现将润滑油、绝缘油及润滑脂的主要性质介绍如下。

一、润滑油

(一) 粘度

当液体质点受外力作用而相对移动时，在液体分子间产生的阻力称为粘度。粘度即液体粘稠的程度，表示液体内部摩擦力的。油的粘度大小有以下几种表示方法：

$$\text{粘度} \begin{cases} \text{绝对粘度} \begin{cases} \text{动力粘度} \\ \text{运动粘度} \end{cases} \\ \text{相对粘度 (条件粘度): 常用恩氏粘度} \end{cases}$$

动力粘度：面积各为 1cm^2 并相距 1cm 的两层液体，当其中一层液体以 1cm/s 的速度作相对移动时，所产生的内部摩擦力，称为动力粘度，以 μ 表示。单位为帕·秒 ($\text{Pa} \cdot \text{s}$)。 $1\text{Pa} \cdot \text{s} = 1\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

运动粘度：动力粘度与同温度下该液体密度的比值，称为运动粘度，以 ν 表示。 $\nu = \mu/\rho$, 单位为 m^2/s 。

相对粘度：任一液体的动力粘度 (μ) 与同温度的水的动力粘度 (μ_0) 的比值 ($\eta = \frac{\mu}{\mu_0}$)，称为相对粘度。常用的恩氏粘度 ($^\circ\text{E}$) 是指：用同一恩格拉粘度计分别测出温度为 $t^\circ\text{C}$ 、容积为 200ml 的油与 20°C 同容积蒸馏水所流出的时间，其比值 $^\circ\text{E} = \frac{T_t}{T_{20}}$ 就是该油品在 $t^\circ\text{C}$ 时的恩氏粘度。

各种不同的粘度可通过公式或图表进行换算，恩氏粘度与运动粘度的换算可按下式进行

$$\nu = 7.31^\circ\text{E} - \frac{6.31}{^\circ\text{E}} \quad (10^{-6}\text{m}^2/\text{s}) \quad (1-1)$$

油的粘度随着温度的变化而变化。因此，在表示粘度数值时，要说明是什么温度下的粘度，电站常用的透平油与变压器油，其粘度随温度而变化的关系（常叫粘温性能）见图 1-1。油的粘温性能如果不好，则在常温时很稠，高温时又变得很稀，使用性能就不好。

油的粘度主要取决于它的组成成分。组成油品的烃类有烷烃、环烷烃和芳香烃以及少量的不饱和烃。在同样馏分的情况下，润滑油以烷烃为主要成分的，其粘度较低，粘温性能较好；含芳香烃或环烷烃多的油品，粘度较高，其粘温性能显著变坏。含不饱和烃的油品易氧化生成胶质，其粘度较高，粘温性能极差，且安定性也很坏。但不论哪族烃，其粘度都随着分子量和沸点的增加而增大。组成成分不同的油品，其粘度随压力变化的大小也各不相同。通常油品的粘度，都是随着油温升高及所受压力下降而降低。

粘度是润滑油最重要的质量指标之一。绝大多数润滑油的牌号是根据粘度来划分的。粘度大小是选用油品的重要依据，从粘度的变化可以判断油在使用中变废的程度，对废油的再生工艺也有很大的影响。变压器中的绝缘油，粘度宜尽可能地小一些，因为变压器的绕组靠油的对流作用来散热，粘度小则流动性大，冷却效果好。开关内的油也有同样要求，粘度小易于散出切断电路时电弧产生的热量，提高灭弧能力，以免损坏开关。但是油的粘度降低到一定限度时，闪点亦随之降低，因此绝缘油的粘度要适中，规定在 50°C 时，粘度不大于 1.8°E 。对透平油，粘度大时，承受的负荷较大，易附着于间隙小的金属摩擦

面而不易被压出，从而保持液体摩擦状态。但产生的阻力较大，摩擦损失增加。通常在压力大和转速低的设备中选用粘度较大的油，反之则选用粘度较小的油。

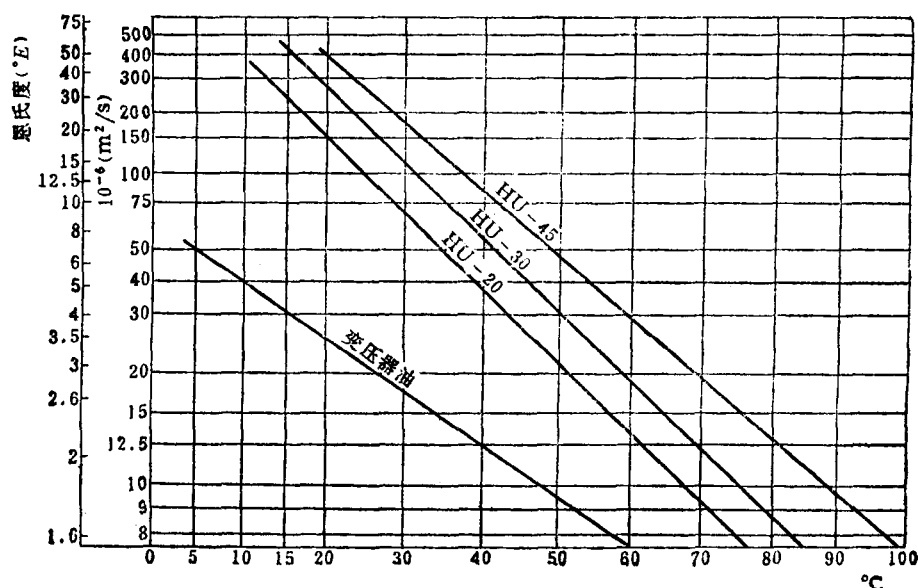


图 1-1 油的粘度与温度的关系

(二) 闪点

在一定条件下将油品加热，油的蒸气与周围空气所形成的混合气，在接触火源时即呈现蓝色火焰并瞬间自行熄灭（初次闪光）的最低温度，称为闪点。并不是任何油气与空气的混合气都能闪光，混合气中油气的浓度要有一定范围，低于这一范围，油气不足；高于这一范围则空气不足，均不能闪光。此范围称为闪光范围。

闪点不仅决定于油品的化学组成，而且与测定方法、温度及压力等物理条件有关。闪点有开杯式（GB627）和闭杯式（GB621）两种测定方法。透平油用开杯式仪器测定，绝缘油用闭杯式仪器测定。同一油品开杯式闪点高于闭杯式闪点。

闪点不是自燃点（火焰产生后不再熄灭），一般润滑油的自燃点比闪点高 50~100℃。

闪点是表示油品蒸发倾向和储运、使用与再生的安全指标。油品的危险等级是根据闪点来划分的。闪点在 45℃ 以下的为易燃品，45℃ 以上的为可燃品，在储运和使用中，禁止将油品加热到闪点，加热的最高温度应低于闪点 20~30℃。

根据闪点高低，可以判断润滑油中是否混进了轻油。废油闪点可以帮助确定再生工序。运行中的透平油和变压器油，如发现闪点下降，说明油品已变质，需要及时进行处理。

(三) 酸值

中和 1g 油中的酸性物质所需氢氧化钾的毫克数，称为酸值（酸价）。中和 100mL 油中酸性物质所需的氢氧化钾毫克数，称为酸度。

酸值表示油中游离有机酸的含量。新油中的酸性组成是油品在精制过程中由于操作不

善或精制木够而残留在油中的酸性物质，使用中的油品则系氧化而生成的酸性物质，因此，习惯上常用酸值来衡量油的氧化程度。

酸值按国家标准 GB264 进行测定。它是用热的乙醇将油中的有机酸抽提出来，然后滴定，测出中和时所需的氢氧化钾数。

酸值是控制油品精制深度及运行油品劣化程度的重要指标之一。有机酸对机械设备具有一定的腐蚀性，在有水分存在的条件下，其腐蚀性会增大。酸和有色金属接触形成一种皂化物，它在循环式润滑油系统中，妨碍油在管道中的正常流动，并降低油的润滑性能。

目前，由于添加剂的大量使用，如防锈剂、抗氧化剂等都是酸性的，允许酸值增大，但基础油（未加添加剂的油）应按规定控制酸值。一般，新透平油和绝缘油的酸值均不能超过 $0.05\text{mg} \cdot \text{KOH/g}$ ；运行中的绝缘油不能超过 $0.1\text{mg} \cdot \text{KOH/g}$ ；运行中的透平油不能超过 $0.2\text{mg} \cdot \text{KOH/g}$ 。

（四）凝固点

油品在试验条件（GB510）下冷却到液面不移动时的最高温度。即油品冷却到某一温度并且将贮油试管倾斜 45° 角，经过一分钟时间，肉眼看不出试管内液面有所移动，这时油品就被认为凝固了。

油品凝固的含义有两种：一是含蜡很少或不含蜡的油品，在温度降低时，其粘度很快上升，待粘度增加到一定程度时，变成无定形的玻璃状物质而失去流动性，这种情况称为粘温凝固；二是含蜡油品受冷，温度逐渐下降，油品中的蜡逐渐结晶，最后结晶骨架使整个油品失去流动性，这种情况称为构造凝固。

油的凝固点除与油中含蜡量有关外，还受油中水分和苯等高结晶点的烃类影响。如油中含有千分之几的水便可造成凝固点上升。油中若含有胶质或沥青质，则可妨碍石蜡结晶的长大，并破坏石蜡结晶的构造，使其不能形成网状骨架，从而使凝固点有所降低。

根据凝固点可以大致判断冬季在不加温条件下润滑油的使用和运输的可能性。有的油即使凝固点很低，但由于低温粘度很大，用泵仍无法抽动。在北方冬季，油开关等用油的温度与环境温度有关，宜选用低凝固点的油。

为降低凝固点，未经深度脱蜡的油可加入降凝剂，如加入 $0.5 \sim 1\%$ 的烷基萘（代号 801）后，凝固点可下降 $10 \sim 20^\circ\text{C}$ 。一般润滑油使用温度必须比凝固点高 $5 \sim 7^\circ\text{C}$ ，否则，因油的粘度显著增大而产生干摩擦现象。通常规定：轻质新透平油不大于 -15°C ，中质透平油不大于 -10°C ，绝缘油为 $-35 \sim -45^\circ\text{C}$ （25 号绝缘油用于变压器内，可不受地区限制）。室外开关油，在长江以南可采用凝固点为 -10°C 的 10 号油或凝固点为 -25°C 的 25 号油，东北地区要用 -45°C 的 45 号油。

（五）氧化安定性

油在使用过程中，抵抗与氧发生化学反应的性能，称为氧化安定性。油在使用中劣化变质的主要原因是氧化。氧化速度与温度、压力、催化剂等外界条件有关，还与油品本身抗氧化能力有关。油的氧化程度以氧化后酸值和沉淀物的数值来表示。

测定油的氧化安定性的方法很多。我国常用的两种方法是：对透平油及各种电气开关用油，试验系在铜铁催化剂的作用下，当温度达到 125°C 时通入氧气 8 小时，然后测定氧化油中的沉淀及酸值；对变压器油，试验系在铜铁催化剂作用下，向油样通入氧气 164 小

时，氧化温度，含添加剂的油为 110℃，不含的为 100℃，然后测定氧化油中的沉淀及酸值。

油氧化后，沉淀物增加，酸价提高，使油质劣化，并引起腐蚀和润滑性能变坏，不能保证安全运行。按规定，油在规定条件下氧化后酸价应不大于 $0.35\text{mg} \cdot \text{KOH/g}$ ，沉淀物不大于 0.1%。

透平油及变压器油为了能获得良好的氧化安定性，往往需要进行深度精制，必要时加入适量抗氧剂，如 2,6-二叔丁基对甲酚（代号 T-501），加入量为 0.1%~0.3%。因抗氧剂加入油中，能破坏烃类氧化过程中的连锁反应，抑制有机酸的生成，所以能提高油的抗氧化能力。

（六）破乳化时间

在试验条件下，试油与水蒸气形成乳浊液达到完全分层所需的时间（以分钟计），称为破乳化时间。它是透平油的专用指标，按部颁标准 SY2610 进行测定。

透平油的耐用期要求不少于 2 年，一般希望能连续使用 4~8 年或更长些。但水轮机使用的透平油难免与水接触，甚至混合，形成乳化液。油一旦被乳化，其润滑性能降低，摩阻增大。为了保证油品正常循环和润滑机件，要求油暂时乳化后能迅速与水分离（一般要求分离时间不超过 8 分钟），定期将水排除，以利循环使用。

经过深度精制的油，油中的氧化物（大多是表面活性物质）除净后，其抗乳化性能就会很好。因为易溶于水的酚环烷酸等有机酸及溶于油的胶质、沥青等这样一些表面活性物质，一旦乳化液形成时，这些活性物质聚积在油和水之间的界面上，包围着水滴，形成牢固的薄膜，妨碍着各个水滴的融合，从而使油水分离性能变坏。通常，粘度小的油抗乳化性能好。

（七）水溶性酸或碱

油品中的水溶性酸或碱，是指能溶于水中的无机酸或碱，以及低分子有机酸和碱性化合物等物质。新油中的水溶性酸或碱，一般是油品在酸碱精制过程中没有处理好，有剩余的无机酸或碱存在；或在储运过程中受到污染。使用中油品出现水溶性酸或碱，主要是由于氧化变质造成。

油中水溶性酸或碱存在与否，是根据油中的水抽出液的酸性反应或碱性反应来确定的。如水抽出液对于酚酞不变色时，可认为不含水溶性碱；对于甲基橙不变色时，可认为不含水溶性酸。水溶性酸或碱对金属有强烈的腐蚀性，还会使变压器油的绝缘性能以及透平油的抗乳化性能降低。按规定，无论新油或运行中的油均为中性，不允许有水溶性酸或碱存在。

（八）水分

油中水分的来源，多是外界侵入，或油氧化而生成。水在油中存在的状态为游离水、溶解水、结合水及乳化状的水。游离水即从外界侵入的水，在油劣化不严重时，它能迅速与油分开，油与水是两相的，易于除去，危害不大；溶解水，即水溶于油中，水和油是均匀的单一相，这种水能急剧降低油的耐压；结合水，即油中结合有一定数目的水分子，由于油氧化而生成，是油初期老化的象征；乳化状态的水，即水以极其细小的颗粒分布于油中，这种水难以除去，危害甚大。

油中水分，按国家标准 GB260 进行定量测定。一般定性测试，可将试油注入干燥的试管中，当加热到 150℃ 左右时，可以听到响声，而且油中产生泡沫，摇动试管变成混浊状态，这时便认为试油中含有水分。电站值班人员常用干纸从油盆取样管浸上试油，用火点燃，听其响声，可以大致判断油中是否混入水分。

润滑油中混进水分，会使油膜强度降低、产生泡沫或乳化变质、加速油的氧化、助长有机酸对金属的腐蚀，还使添加剂分解沉淀，使其性能降低乃至失去作用。绝缘油中混入水分，会使耐压能力大大降低，如变压器油中有 0.01% 的水分时，就使其耐电压降低到 1/8 以下；会使介质损失角增大；能加速绝缘纤维的老化。规定新油或运行中的油均不允许有水分存在。

(九) 灰分

油品在规定条件 (GB508) 下燃烧后所剩下的不燃物质，以重量百分数表示，称为灰分。这种不燃物质主要是无机盐。

透平油含有过多的灰分时，会增大机械磨损，使油膜不均匀，润滑性能变差。不含添加剂的基础油灰分应该很小，规定透平油的灰分应小于 0.03%。

(十) 机械杂质

在油中以悬浮状态及沉淀状态而存在的各种固体物质，如灰尘、金属屑、纤维物、泥沙及结晶盐类等，称为机械杂质。测定方法是將试油 100 克用汽油稀释，过滤，测出机械杂质重量，以其占油重量的百分数表示之。

油中的机械杂质，多是在储运及使用过程中混入的。润滑油中的机械杂质会破坏油膜，磨损机件，使油路堵塞，并增大残炭和灰分数量。变压器油中含有机械杂质，就会严重降低它的绝缘性能。机械杂质可用过滤或沉淀等方法除掉。规定透平油及变压器油均不含机械杂质。

(十一) 氢氧化钠试验

氢氧化钠试验是变压器油及透平油的专用指标。按 SYB2651 进行测定，定性判断油中高分子有机酸及其金属盐和醋的存在量。量越大，其钠抽出级数越大，油的抗氧化性、抗乳化性及抗腐蚀性越差。钠抽出试验也可作为油再生精制好坏的指标。规定新透平油及变压器油的氢氧化钠试验均不大于 2 级。

(十二) 透明度

清洁油是黄色透明的。目测油品透明度时，可将油品注入 100mL 洁净量筒中，油品应均匀透明。用透明度可以简易判断新油及运行中油的清洁或污染程度，如油中含有水分及机械杂质等，透明度将发生变化。若油中胶质或沥青质含量增大，油的颜色将变深。

(十三) 介质损失角正切值

油在电场作用下，引起的部分电能损失，称为介质损失。作为电介质的绝缘油，如果没有介质损失，加于介质上的电压与通过介质的电流之间的相角将准确地等于 90°。实际上，由于存在介质损失，电压与电流间的相角总是小于 90°。90° 与实际相角之差，称为介质损失角 (δ)。由于电气用油的损失功率与介质损失角的正切值成正比，故介质损失通常以 $\text{tg}\delta$ 值来表示。此值越大，不仅功率损失大，其绝缘性能也越差。造成介质损失的原

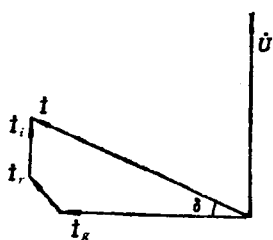


图 1-2 介质损失角
向量图

因，一是电流穿过介质而泄漏，叫做传导电流 (I_c)；二是绝缘油中存在极性分子，随交流电场方向不断变化而不断地运动，产生热量损失，这样消耗的电流叫吸收电流 (I_r)，如图 1-2 所示。介质损失角可以很灵敏地显示出油的污染程度，它比油的其他指标能较早地发出信号，因而作为油的检查及预防性试验，效果是显著的。

介质损失可以判断绝缘油的极性物质（如胶质和酸类）含量和受潮程度，是检验电气用油干燥、精制程度及老化程度的重要指标。规定在 90℃ 时，变压器油的介质损失角不大于 0.5%。

(十四) 击穿电压

在规定的试验条件下，均匀地逐渐升高电压，直至试油绝缘被击穿，这时的电压叫平均击穿电压 U （耐电压），绝缘击穿时的电场强度叫绝缘强度 E ，以 MV/m 为单位，按式 (1-2) 计算

$$E = \frac{U}{d} \text{ (MV/m)} \quad (1-2)$$

式中 U ——试油的平均击穿电压 (MV)；

d ——电极间距离 (m)。

因试验用的油杯中的两个电极间的距离固定为 2.5mm，如测得某油品的平均击穿电压为 35kV，便可立即算得其绝缘强度 E 为 14MV/m。

油的耐电压取决于很多因素，但决定性的因素是含水量。微量的溶解水会使油品耐电压大大降低，如图 1-3 所示。绝缘强度严重降低时，会发生电气设备被击穿，造成重大事故。为此，变压器油装入前要经过反复过滤以提高耐电压。再生变压器油要在过滤后耐电压达到 35kV 才能出厂。出厂后经过一段时间的储存，耐电压又会降低，还得再次过滤。为保证绝缘油能安全可靠地长时间连续工作，要求其具有很高的耐压能力和良好的安全性。

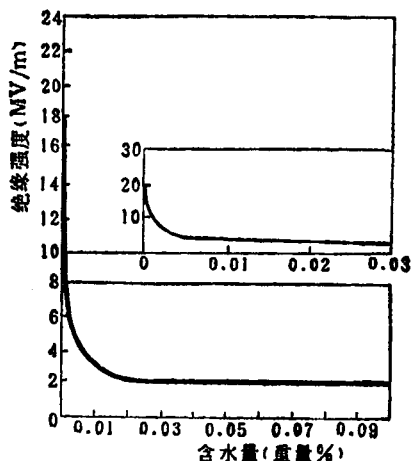


图 1-3 水含量对耐电压的影响

无论新油或运行中的油，其性能都有严格的要求。新油的质量标准见表 1-1，运行中油的质量指标见表 1-2。

二、润滑脂

(一) 滴点

润滑脂在规定的加热条件下，从脂杯中滴出第一滴液体或流出脂柱 25mm 时的温度称为滴点。根据滴点的高低，可以大致判定该润滑脂能够在什么工作温度下使用，一般润滑脂的工作温度应低于它的滴点 20~30℃，甚至 40~60℃才合适。滴点还可以大致判断润滑脂的种类。

表 1-1

透平油及绝缘油质量标准

项 目	质 量 标 准									
	透 平 油						绝 缘 油			
	HU-20	HU-30	HU-40	HU-45	HU-55	试验方法	DB-10	DB-25	DB-45	试验方法
运动粘度 (50℃) (10 ⁻⁶ m ² /s)	18~22	28~32	37~43	43~47	53~57	GB265	20℃不大于 30 50℃不大于 9.6			GB265
酸值 mg·KOH/g 不大于	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	GB264	0.03	0.03	0.03	GB264
闪点℃不低于	180	180	180	195	195	GB267	140	140	135	GB261
凝固点℃不高于	-15	-10	-10	-10	-5	GB510 注 (1)	-10	-25	-45	GB510
氧化安定性 (酸值 至 2mg·KOH/g) 小时 (h) 不低于	1000	1000	实测	实测	实测	SY2680 注 (2)	氧化后沉淀物不大 于 0.05% 氧化后酸值不大于 0.2mg·KOH/g			
灰分 (%) 不大于	0.005	0.005	0.01	0.02	0.03	GB508				
破乳化时间 (分钟) 不大于	8	8	8	8	8	SY2610				
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	GB259	无	无	无	GB259
机械杂质 (%)	无	无	无	无	无	GB511				
氢氧化钠试验 (级) 不大于	2	2	2	2	2	SY2651	2	2	2	SY2651
透明度	透明	透明	透明	透明	透明	注 (3)				
介质损失角正切 (90℃) 不大于							0.005	0.005	0.005	SY2654
击穿电压 (kV) 不小于							35	35	35	GB507 注 (4)

注 1. 凝固点指标根据生产和使用情况, 经与用户协商, 可不受本标准限制。

2. 氧化安定性为保证项目, 对出厂油品一年至少测定一次。

3. 将产品注入洁净的 100mL 量筒中, 油品应均匀透明。如有争议, 将油温控制在 20±5℃下目测。

4. 击穿电压为变压器油保证项目, 不作出厂每批控制指标, 每年至少测定两次。用户使用前必须进行过滤并重新测定。

表 1-2

运行中透平油及变压器油质量标准 (试行)

项 目	透 平 油		绝 缘 油	
	允许指标	检验周期	允许指标	备 注
酸值 (mg·KOH/g)	≤0.2	每季一次	≤0.1	
闪点 (℃)	(1) 不比新油标准 低 8℃ (2) 不比前次测定值 低 8℃	每季一次	(1) 不比新油标准低 5℃ (2) 不比前次测定值 低 5℃	

续表

项 目	透 平 油		绝 缘 油	
	允许指标	检验周期	允许指标	备 注
粘度 (50℃, °E)	$\leq 1.2 \times$ 新油标准	每季一次		
水 分	透 明	每周一次	无	
机械杂质	无	每周一次	无	
水溶性酸 (pH 值)			≥ 4.2	
击穿电压 (kV)			(1) $\leq 15\text{kV}$ 设备 ≥ 20 (2) $20 \sim 35\text{kV}$ 设备 ≥ 30 (3) $44 \sim 220\text{kV}$ 设备 ≥ 35	
介质损失角 (70℃)			≤ 2	暂定标准
游离碳			无	

- 注 1. 透平油发现油中混入水分, 应增加检验次数, 并作液相锈蚀试验;
 2. 主变压器油的 pH 值接近 4.4 或颜色突然变深时, 应加强监督。如这时测出油的羰基、界面张力已接近允许值或不合格时, 即应采取措施;
 3. 闪点下降, 应查明原因;
 4. 户外开关油应增加凝固点试验, 其值不可高于当地最低气温。

钙基脂的滴点约在 $75 \sim 95^{\circ}\text{C}$;

钠基脂的滴点约在 $140 \sim 150^{\circ}\text{C}$;

钙钠基脂的滴点约在 $120 \sim 135^{\circ}\text{C}$;

锂基脂的滴点约在 $170 \sim 185^{\circ}\text{C}$;

烃基脂 (凡士林) 的滴点约在 $40 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

(二) 针入度

在试验条件下, 标准圆锥体在 5s 内沉入润滑脂的深度, 单位为 10^{-1}mm 。针入度越大, 润滑脂就越软, 即稠度愈小。这种润滑脂虽容易充满摩擦面之间的间隙, 但也易于漏损。绝大多数润滑脂是按针入度大小来编号的。

表 1-3 润滑脂的号数和针入度

润滑脂编号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
针入度 (10^{-1}mm)	355~385	310~340	265~295	220~250	175~205	130~160	85~115	60~80	35~55	10~30

上述两项是最常用、最重要的性能指标。除此之外, 油脂的化学安定性 (氧化安定性) 及胶体稳定性 (油脂结构变化性能), 也是表征油脂性能的两个重要指标。润滑脂的其它物理、化学指标就不再一一介绍了。

第三节 油的劣化分析及净化措施

油在使用或储存过程中, 由于种种原因而生成酸和其它各种氧化物, 使油的酸值增大及杂质增多, 油的使用性能变坏, 这种变化称为油的劣化。根据劣化程度的不同, 可采取