

水力机组辅助设备与自动化

武汉水利电力学院
华北水利水电学院 合编
华东水利学院

水利电力出版社

水力机组辅助设备与自动化

武汉水利电力学院
华北水利水电学院 合编
华东水利学院

W735
W971
水利电力出版社

内 容 提 要

本书共分两篇，第一篇为水力机组辅助设备，包括油系统、压缩空气系统、技术供水系统、排水系统、水力监测系统、主阀、起重设备与机修设备以及辅助设备系统的设计；第二篇为水力机组控制自动化，包括自动控制概论、自动控制元件、水力机组自动控制、辅助设备自动控制、弱电集中控制及计算机应用。全书着重阐述水力机组辅助设备系统和自动控制系统及其主要元件的基本原理、设计计算方法和运行调试要求。

本书可作为高等院校“水电站动力设备”专业的教材和有关专业的教学参考书，也可供从事水电站动力设备系统和自动控制技术工作的工程技术人员参考。

水力机组辅助设备与自动化

武汉水利电力学院

华北水利水电学院 合编

华东水利学院

(根据电力工业出版社纸型重印)

*

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 26.5印张 604千字

1981年3月第一版

1984年11月新一版 1984年11月北京第一次印刷

印数 0001—4960册 定价 2.85元

书号 15143·5533

绪 论

电是现代文明的重要标志，电力已成为一切生产部门的最主要动力源泉，对工农业生产和人民生活都有很大的影响。水力发电是电力工业的重要组成部分，而水力又是最廉价的、取之不尽用之不竭的能源资源。因此，各国对于开发利用水力资源，发展水电事业都十分重视。

水力机组是水电站中的主体设备，它的辅助设备和全厂共用设备有：调速调压、油供应维护、压缩空气、技术供水、排水、水力监测设备，以及主阀、起重和机修设备等。这些辅助设备是为控制机组的起动、并入电网、调整负荷、保持转速恒定、转为调相运行、停机润滑、冷却、制动、水力参数的监测和防止飞逸等服务的。因此，辅助设备对保证水电站和水力机组的安全经济运行、机组出力和电能质量等方面起着决定性作用。水电站的容量愈大，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。在此情况下，研究辅助设备对水力机组、水电站及电力系统的影响，探讨各辅助设备系统的设计和运行问题，是水电站动力设备系统技术工作的重要组成部分。

机组自动控制的基本任务是将生产过程中所有手动操作的局部操作过程，借助于自动化元件及装置组成一个不间断进行的操作过程，即实现机组调速操作系统、油气水辅助设备系统和同期并列系统的逻辑控制与监视，以实现单机水电生产流程的自动化，在此基础上进而实现全厂综合自动化。

水电站的自动化具有极大的技术经济意义，它可以大大地提高设备的工作可靠性、操作速度和劳动生产率。同时提高水能利用的效益和调度管理的水平。

本书包括下面两部分内容：

(1) 水力机组辅助设备，包括：油、气、水、监测系统，主阀，起重与机修设备，以及有关设计问题。

(2) 水力机组及辅助设备自动控制，主要是介绍常规自动化装置。但为了适应发展的需要，还增加了弱电集中控制及计算机应用一章。各院校在使用本教材时可作适当的删减和补充。

前 言

本书是根据1978年4月原水电部召开的“水电站动力设备专业教学计划与教材编审规划”会议的决定，按照“水电站动力设备”专业培养目标的要求，并注意到本专业设计和运行人员的实际需要而编写的。

本书内容包括两部分：水电站水力机组辅助设备；水力机组及辅助设备自动控制。由于涉及的内容十分广泛，因此，本书只着重介绍水力机组辅助设备系统和自动控制系统及其主要元件的基本原理，设计计算的主要方法和运行调试要求。

参加本书编写的同志有：武汉水利电力学院徐睦书（第一、十二章），范华秀（绪论、第二、九、十一章）；华北水利水电学院张利（第五章），徐珍芝（第七章），寿梅华（第八、十三章）；华东水利学院骆如蕴（第三、四章的一部分及第十章），胡沛成（第三、四章的一部分及第六章）。

全书由范华秀主编。

本书经华北水利水电学院和长江流域规划办公室机电处审稿，主审寿梅华同志。

在编写过程中，有关科研、设计和运行单位以及高等院校，为我们提供了许多参考资料和宝贵意见，在此表示衷心的感谢！

由于我们学识水平和实践经验有限，编写时间仓促，书中缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正！

编 者

一九七九年十二月

目 录

前 言 绪 论

第一篇 水力机组辅助设备

第一章 油系统.....	1
第一节 水电站用油种类及其作用	1
第二节 油的基本性质和分析化验	2
第三节 油的劣化和净化处理	10
第四节 油系统的作用、组成和系统图	18
第五节 油系统的计算和设备选择	23
第六节 油系统的布置及防火要求	29
第七节 透平油系统设计计算实例	32
第二章 压缩空气系统	38
第一节 水电站压缩空气的用途	38
第二节 活塞式空气压缩机	39
第三节 机组制动供气	58
第四节 机组调相压水供气	64
第五节 风动工具和空气围带供气	71
第六节 油压装置供气	73
第七节 配电装置供气	76
第八节 防冻吹冰供气	84
第九节 水电站压缩空气的综合系统	87
第十节 压缩空气系统设计计算实例	91
第三章 技术供水系统	95
第一节 供水对象及其作用	95
第二节 用水设备对水的要求	100
第三节 水的净化与处理	109
第四节 水源及供水方式	118
第五节 技术供水系统图	121
第六节 技术供水系统设备及管道选择	122
第七节 技术供水系统水力计算	138
第八节 消防供水	145
第九节 供水系统设计计算实例	152
第四章 排水系统	158

第一节 排水内容和方式	158
第二节 渗漏排水	159
第三节 检修排水	162
第四节 排水系统图	163
第五节 排水系统设计计算实例	166
第五章 水力监测系统	173
第一节 水电站水力监测的目的和内容	173
第二节 电站上、下游水位及水头的测量	173
第三节 水轮机工作水头的测量	181
第四节 机组过水系统的监测	189
第五节 水轮机流量的测量	197
第六节 水轮机汽蚀和机组相对效率的测量	211
第七节 水力监测系统的设计	214
第六章 主阀	221
第一节 主阀的作用和设置条件	221
第二节 主阀的型式及其主要构件	222
第三节 主阀的操作方式和操作系统	231
第四节 主阀的水力计算	235
第五节 机组防飞逸措施	239
第七章 厂内起重机和机修设备	240
第一节 水电站安装和检修的特点	240
第二节 起重机的选择和试验	243
第三节 机修设备的选择和布置	250
第八章 辅助设备系统的设计	257
第一节 概述	257
第二节 设计阶段和基本资料	259
第三节 方案的拟定和比较	261
第四节 可靠性基本概念	267

第二篇 水力机组控制自动化

第九章 自动控制概论	278
第一节 工业程序控制	278
第二节 程序控制中的数制	279
第三节 逻辑代数及其在程序控制中的应用	283
第十章 自动控制元件	286
第一节 转速、温度和压力信号器	286
第二节 液位、液流和剪断销信号器	293
第三节 电磁阀和液压阀	303
第四节 GC型过速限制器	311
第十一章 水轮发电机组自动控制	313

第一节	概述	313
第二节	水轮发电机的润滑、冷却和制动系统	317
第三节	水轮机的润滑、排水和调相压水系统	323
第四节	水轮发电机组的自动控制系统	327
第五节	水轮发电机组的保护及信号	342
第六节	主阀的自动控制系统	347
第十二章	辅助设备自动控制	355
第一节	电力拖动自动控制的基本原理	355
第二节	油压装置的自动化	361
第三节	空气压缩装置的自动化	365
第四节	技术供水装置的自动化	369
第五节	集水井排水装置的自动化	373
第六节	进水口闸门的自动化	376
第十三章	弱电集中控制及计算机应用	380
第一节	弱电选线控制	380
第二节	水电站应用电子计算机控制简论	398
第三节	自动巡回检测	410

第一篇 水力机组辅助设备

第一章 油 系 统

第一节 水电站用油种类及其作用

一、用油种类

水电站的机电设备在运行中，由于设备的特性、要求和工作条件不同，需要使用各种性能的油品，大致有润滑油和绝缘油两大类。前者包括润滑油（H）和润滑脂（Z）两类。

润滑油分为：

（1）透平油——一般有HU-22、HU-30和HU-46三种，符号后的数值表示油在50℃时的运动粘度（厘沲），供机组轴承润滑及液压操作用（包括调速系统、主阀、调压阀、液压操作阀等）；

（2）机械油——一般有HJ-10、HJ-20、HJ-30等三种，供电动机、水泵轴承和起重机等润滑用；

（3）压缩机油——有HS-13和HS-19，供空气压缩机润滑用；

（4）润滑脂（黄油）——供滚动轴承润滑用。

绝缘油分为：

（1）变压器油——一般有DB-10、DB-25两种，符号后的数值表示油的凝点℃（负值），供变压器及电流、电压互感器用；

（2）开关油——一般有DU-45，符号后的数值表示油的凝点℃（负值），供开关用；

（3）电缆油——有DL-38、DL-66、DL-110三种，符号后数字表示以千伏计的电压，供电缆用。

其中用量最大的为透平油（又称汽轮机油）和变压器油（又称绝缘油）。大型水电站用油量达数百吨乃至数千吨，中、小型水电站也有数十吨到百余吨。为了保证如此大量的油经常处于良好状态，以完成其各项任务，需要有油供应维护设备组成的油系统。

二、油的作用

1. 透平油的作用 透平油在设备中的作用主要是润滑、散热和液压操作。

润滑作用：在轴承间或滑动部分间造成油膜，以润滑油内部摩擦代替固体干摩擦，从而减少设备的发热和磨损，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转变为热量，使它们的温度升高，这对设备和润滑油本身的寿命、功能有很大的影响，因此必须设法散出其热量。根据油的润滑理论，润滑油在对流作用下将热量传出，再经过油冷却器将其热量传导给冷却水，从而使油和设备的温度不致升高超过规定值，保证设备的安全运行。

液压操作：在水电站中有许多设备，如调速系统，主阀，调压阀以及管路上的液压阀等，都必须用高压油来操作，透平油可以作为传递能量的工作液体。

2. 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：由于绝缘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器设备的运行可靠性，缩小设备尺寸。同时绝缘油还对棉纱纤维的绝缘材料起一定保护作用，提高它的绝缘性能，使之不受空气和水分的侵蚀而很快的变质。

散热作用：变压器运行时因线圈通过强大电流而产生大量的热，此热量若不及时散发，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，在油流温差作用下利用油的对流作用，再通过油冷却器将热量传给水流而往外散发，保证变压器功能和安全。

消弧作用：当油开关切断电力负荷时，在触头之间发生电弧，电弧的温度很高，如果不设法很快将热量传出，使之冷却，弧道分子的离子化运动就会迅速扩展，电弧也就会不断的发生，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，击穿设备。绝缘油在受到电弧作用时，发生分解，产生约含70%的氢，氢是一种活泼的消弧气体，它一方面在油被分解过程中从弧道带走大量的热，同时也直接钻进弧柱地带，将弧道冷却，限制弧道分子的离子化，而且使离子结合成不导电的分子，使电弧熄灭。

由此可见，透平油和绝缘油对水电站的安全运行具有重大意义。

为了正确地选择与使用油，首先需要了解油的操作条件，油的性质，以及在设备中工作时可能发生的变化；油劣化后对设备运行的影响，劣化的原因，防止劣化的措施和劣化后的处理。

第二节 油的基本性质和分析化验

一、油的基本性质及其对运行的影响

1. 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，即液体的内摩擦力。油的粘度表示油分子运动时阻止剪切和压力的能力。油的粘度分为动力粘度、运动粘度和相对粘度。动力粘度和运动粘度也称为绝对粘度。

动力粘度：液体中有面积各为1平方厘米和相距1厘米的两层液体，当其以1厘米/秒速度作相对移动时液体分子间产生的阻力（以达因为单位），即为此液体的动力粘度，以 μ 表示，单位为泊或厘泊。1泊=100厘泊。在CGS制中，其因次为1泊=达因·秒/厘米²=克/厘米·秒。在温度20.2℃时水的动力粘度 $\mu_0=0.01$ 泊。故比粘度均以20.2℃为准，任何一种液体的比粘度都将比它的动力粘度大100倍。在液体的动力学计算时，粘度的意义是很大的。

运动粘度：在相同的试验温度下，液体的动力粘度与它的密度比，称为运动粘度，以 ν 表示， $\nu=\mu/\rho$ 。单位为沱（厘米²/秒）或厘沱，1沱=100厘沱。

相对粘度（或称比粘度）：任一液体的动力粘度 μ 与20.2℃的水动力粘度 μ_0 的比

$\left(\eta = \frac{\mu}{\mu_0}\right)$, 称为该液体的相对粘度。 η 是无因次的。

工业上常用恩格拉尔 (Engler) 粘度计来测定, 故也称恩氏粘度, 以 $^{\circ}\text{E}$ 表示。即温度 $t^{\circ}\text{C}$ 时200毫升的油从恩氏粘度计中流出的时间 (T_t), 与同体积的蒸馏水在 20°C 时从同一粘度计流出的时间 (T_{20}) 之比 ($^{\circ}\text{E} = T_t/T_{20}$), 就是试油在 $t^{\circ}\text{C}$ 时的恩氏粘度。时间 T_{20} 称为恩氏粘度计的“水值”, 以标准仪器校验应不小于50秒和不大于52秒。

将恩氏粘度 ($^{\circ}\text{E}$) 换算为运动粘度时, 可按下式计算:

$$\nu = \left(0.0731^{\circ}\text{E} - \frac{0.0631}{^{\circ}\text{E}} \right) (\text{厘米}^2/\text{秒})$$

油的粘度并不是一个常数值, 它是随着温度变化而变化的, 所以表示粘度数值时, 总是说在什么温度下的粘度。图1-1表示油的粘度与温度的关系。

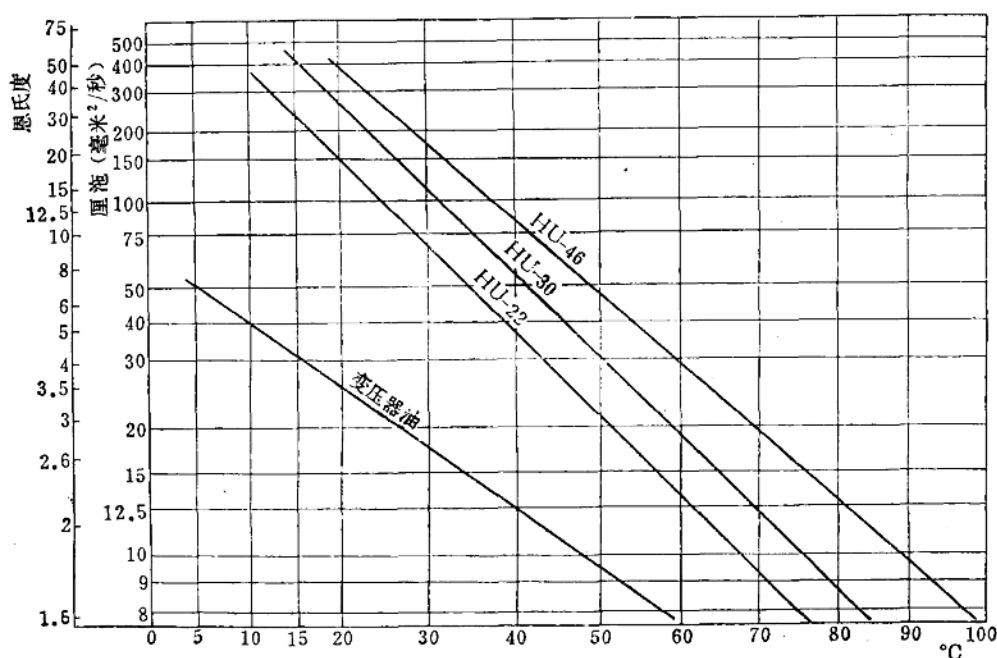


图 1-1 油的粘度与温度的关系

在实际工作中的油品的粘度, 并不是一般在实验室里所测得的粘度, 而是随工作温度和压力变化的一种暂时粘度。

油品的粘度和粘度性质主要决定于它的组成。组成油品的三族烃—烷烃、环烷烃和芳香烃中, 在碳原子数相同时, 芳香烃的粘度最高, 而烷烃的粘度最低, 但不论那族烃, 其粘度都随着分子量和沸点的增加而逐渐增大。所以, 组成不同的油品其粘度随压力的变化大小各有不同。但一般油品的粘度, 都是随着该油当时的温度上升或所受的压力下降而降低, 温度下降或压力上升而增高。

油的粘度是油的重要特性之一。对变压器中的绝缘油, 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进行散热, 粘度小则流动性大, 冷却效果愈好。开关内的

油也有同样的要求，否则在切断电路时，电弧所形成的高温不易散出，并减低消弧能力而损坏开关。但是油的粘度降低到一定限度时，闪光点亦随之降低，因此绝缘油需要适中的粘度，规定在50℃时，粘度不大于1.8°E。

对透平油，粘度大时，易附着金属表面不易被压出，易于保持液体摩擦状态，但产生较大阻力，增加摩擦损失，此外散热能力也减小；当粘度小时，则性质相反。一般地说在压力大和转速低的设备中使用粘度较大的油，反之，用粘度较小的油。规定在50℃时，新透平油粘度：轻质的不大于3.2°E，中质的不大于4.3°E。

透平油或绝缘油的粘度，一般在正常运行中，随着使用时间的延长而增大。

2. 闪点 油品都是极易着火的物质，因此研究它们与着火、燃烧、爆炸有关的性质——闪点，与油品的生产、贮运和使用有着很重要的意义。

闪点是保证油品在规定的温度范围内贮运和使用上的安全指标，也就是用以控制其中轻馏分含量不许超过某规定的限度，同时这一指标也可以控制它在贮运和使用中的蒸发损失，并且保证在某一温度（闪点）之下，不致发生火灾和爆炸。对于变压器还可预报内部故障。

闪点是在一定条件之下加热油品时，油的蒸气和空气所形成的混合气，在接触火源时即呈现兰色火焰并瞬间自行熄灭（闪光现象）时的最低温度。如果继续提高油品的温度，则可继续闪光且生成的火焰越来越大，熄灭前所经历的时间也越来越长。

并不是任何油气——空气混合气都能闪光，其必要条件是混合气中烃或油气的浓度要有一定的范围，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，因此这一浓度范围称为闪光范围。

据研究，混合气中油品蒸气的分压达到40~50毫米汞柱时，不会闪光，因此油品的闪光与其沸点或蒸气压有密切关系，沸点越低，闪点也越低。

对于运行中的绝缘油和透平油，在正常情况下，一般闪点是升高的，但是若有局部过热或电弧作用等潜伏故障存在，油品因高温而分解致使油的闪点显著降低。

油品的闪点，不仅决定于化学组成，如含石蜡烃较多的油品，闪点较高，而且与物理条件有关，如测定的方法，仪器、温度、压力等。油气和空气形成混合气的条件——蒸发速度和蒸发空间，对闪点的测定也是有影响的。所以闪点是在特殊的仪器内，于一定的条件下测定的，是条件性的数值。所以没有标明测定方法的闪点是毫无意义的。新透平油的闪点用开口式仪器测定，不小于180℃，新绝缘油闪点用闭口式仪器测定，不小于135℃。

在测定闪点时，无论是开口或闭口仪器，若油面愈高，蒸发空间愈小，愈易达得闪点浓度，所以闪点也越低。

3. 凝固点 各种油都可能在低温下使用，例如在冬季或在北方，水轮机启动时或油开关的温度就基本上与环境温度相同。因此，油品在低温时的流动性就成为评价油品使用性能的重要问题，同时对于油品装卸或输送，也有很大的意义。如果油品失去流动性，这对于变压器和开关的工作都是不利的。

油品在低温时，失去流动性或凝固的含义有两种情况：一是对于含蜡很少或不含蜡的油品而言，当温度降低时，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。此种情况称为粘温凝固，油品刚刚失去流动性时的温度称为凝固点。

另一种情况是由于蜡的影响，当含蜡油受冷，温度逐渐下降，油品中所含的蜡到达它的熔点时，就逐渐结晶出来，起初是少量的极微细的结晶，使原来是透明的油品中出现了云雾状的混浊现象。若进一步使油品降温，则结晶大量生成，靠分子引力连接成网，形成结晶骨架，由于机械的阻碍作用和溶剂化作用，结晶骨架便把当时尚处于液态的油包在其中，使整个油品失去流动性，此种情况称为构造凝固。此时的温度也称为凝固点。

油的凝固点还受到油品中水分和苯等高结晶点的烃类影响，如油品中含有千分之几的水时即可造成凝固点上升。油中若含有胶质、沥青质则能降低凝固点，因为胶质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，而使凝固点有所降低。

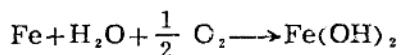
油品作为一种有机化合物的复杂混合物，没有固定的凝固点。它是在一定的仪器中，在一定的试验条件下，油品失去流动性时的温度。所谓丧失流动性，也完全是条件性的，即当油品冷却到某一温度，并且将贮油的试管倾斜 45° 角，经过一分钟的时间，肉眼看不出试管内液面有所移动，此时油品就被看作凝固了，相当于产生这种现象的最高温度就称为该油品的凝固点。

一般润滑油在凝固点前 $5 \sim 7^\circ\text{C}$ 时粘度已显著增大，因此，一般润滑油的使用温度必须比凝固点高 $5 \sim 7^\circ\text{C}$ ，否则起动时必然产生干摩擦现象。一般规定：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 $-35 \sim -45^\circ\text{C}$ 。室外开关油，在长江以南可采用凝固点为 -10°C 的10号油，而东北地区则需要用凝固点为 -45°C 的45号油。25号绝缘油用于变压器内时，可不受地区气温限制，能在全国各地使用。

4. 酸值 油中游离的有机酸含量称为油的酸值（酸价）。酸值是用以中和1克油中所含的酸性组分，以氢氧化钾的毫克数来表示。酸值是保证贮运容器与使用设备不受腐蚀的指标之一。

新油中酸性组分是油品在精制过程中由于操作不善或精制不够，而残留在油中的酸性物质如无机酸，环烷酸等；使用中的油品则是由于氧化而产生的酸性物质如脂肪酸、羧基酸和酚类等。因此油品在使用过程中一般酸值是逐渐升高的，习惯上常用酸值来衡量或表示油的氧化程度。

在有水存在的情况下，能生成金属的氢氧化物，而后者则易与高分子有机酸作用生成相应的盐类。



生成有机酸铁又是油品氧化的催化剂，更进一步加速油品的氧化。还有一种低分子酸如：甲酸、乙酸、丙酸等。这些低分子酸的酸性比大分子酸性强。这些化合物是油品深度氧化的产物。因为能与金属直接作用而腐蚀金属，特别是对铅、铜及其合金腐蚀就更严重。由于这些低分子酸本身的特性及其对油品使用性能的影响，所以通常把它单独提出来叫做强酸或水溶性酸，亦应及时采取措施予以消除。

酸还会腐蚀纤维。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

油在管道内正常流动，并降低油的润滑性能。一般规定：新透平油和新绝缘油的酸值都不能超过0.05KOH毫克/克油；运行中的绝缘油不超过0.1KOH毫克/克油；运行中的透平油不超过0.2KOH毫克/克油。

5. 抗氧化性 使用过程中的油在较高温度下，抵抗和氧发生化学反应的性能称为抗氧化性。由于油氧化后，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。因此要求抗氧化性能高。按规定油在规定条件下氧化后的酸价不大于0.35KOH毫克/克油，沉淀物不大于0.1%。目前我国各电厂采用添加“721”抗氧化剂，根据各厂使用情况看来，是延长油使用时间的一项有效措施。

6. 抗乳化度 在一定条件下，试油与水蒸汽形成乳液达到完全分层所需的时间，称为抗乳化度，以分钟表示。

透平油的耐用期要求不少二年，一般希望能连续使用4~8年或更长。但水轮机使用的透平油都难免与水直接接触，故易形成乳化液。一旦油乳化则它的润滑性能降低，摩擦增大。为了保证设备润滑良好与正常运行，必须要求油品在循环系统中的油箱里，乳化液能很快地自动破坏，使油水完全分离，定期将水排除，以利循环使用，所以要求透平油具有良好的抗乳化能力（一般要求分离时间不超过8分钟）。由于低粘度的油的抗乳化度好，因而在允许的范围内，可以采用粘度小的透平油，而且粘度小的油抗氧化性也好，有利于酸值的控制。

油与水形成乳化液的能力，决定于油中是否存在有能降低油品表面张力的物质，如易溶于水的酚环烷酸、有机酸及溶于油的胶质、沥青等，统称为表面活性物质，一旦乳化液形成时，这些表面活性物质聚积在油和水之间的界面上，包围着水滴，形成牢固的包着每个水滴的薄膜，阻碍着各个水滴的融合，从而使油水分离性能变坏。此外，水和固体颗粒愈分碎，愈容易形成稳定的乳化液。

影响表面张力变化的因素很多，其中最重要的是温度，液体本身的性质及与接触相的性质，若接触相也是液体则称为界面张力，通常液体的表面张力指在空气中的情况。

7. 水溶性酸或碱 油在精制过程中若处理不当，很可能有剩余的无机酸或碱存在，它们的存在与否，是根据水抽出液的酸性或碱性反应来确定。酸碱的存在使接触部件的金属表面和油管剧烈腐蚀，酸作用于铁和铁的合金；碱作用于有色金属，并且会加快油的劣化。水或乙醇水溶液的抽出液对于酚酞不变色时，认为试油不含水溶性碱；抽出液对于甲基橙不变色时，认为试油不含水溶性酸。按规定无论新油或运行中的油都要求中性油，无酸碱反应。

8. 透明度 作透明度测定在于判断新油及在运行中的油的清洁和被污染的程度。如油中含有水分和机械杂质等，油的透明度要受影响。若胶质和沥青质含量越高，油的颜色也愈深。要求油呈橙黄色透明。

9. 水分 油品中水分的来源，一是外界侵入，二是油氧化而生成的。水在油中存在的状态为：游离水，当油劣化不严重时，外界侵入的水和油不发生什么变化，很快分开，即油和水是两相的，这种水很容易除去，危害性不大；溶解水，即水溶于油中，水和油是均匀的单一相，这种水能急剧的降低油的耐压，采用高度真空下的雾化方能除去；结合水，

是油初期老化的象征，由于油氧化而生成；乳化状态的水，水分以极其细小的颗粒分布于油中，这种水很难从油中除掉，其危害很大。

油中含有水分会助长有机酸的腐蚀能力，加速油的劣化，使油的耐压降低，当油中含水量超过0.01~0.02%时，油的绝缘强度则降低到最小值（1.0KV），使油的介质损失角升高，水分也会加速绝缘纤维的老化。

油中水分的测定方法分定性及定量两种。而且都是条件性的，如定性测定时，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，此时即认为试油含有水分，否则认为不含水。定量法测定则是利用低沸点的无水溶剂携带水分的蒸馏方法测定油中的水分含量，结果用百分数表示。规定不论新油或运行油都不允许有水分存在。

10. 油的灰分 油中矿物性杂质（如溶解在油中的各种盐类，环烷酸的钙盐和钠盐），当试油在坩埚内灼烧时，剩下的不能燃烧的无机矿物质的氧化物，即油的灰分。用残余物重量占原油重量的百分比来表示灰分的含量。

透平油含有过多灰分时，油膜便不均匀，润滑作用不好。作灰分测定可以判断新油的炼制质量，对运行中的油可以判断是否受了无机盐等影响，和油劣化的程度，机械杂质的含量等。

11. 油中的机械杂质 在油中以悬浮状态及沉淀状态而存在的各种固体，如灰尘、金属屑、纤维物、泥、砂和结晶性盐类等固体物质。测定方法是將100克油用汽油稀释，再用已干燥的和已称量过的过滤纸过滤。滤纸上的残留物用汽油洗净，然后再将滤纸烘干称量，得到的机械杂质重量，以占油重量的百分数表示之。机械杂质有的是在地下油层中固有的，有的是开采时带上来的，有的是加工精制过程中遗留下来的，也有的是在运输、保存和运行中混入的。如果机械杂质超过规定值，润滑油在摩擦表面的流动便会遭受阻碍，破坏油膜，使润滑系统的油管或滤网堵塞和使摩擦部件过热，加大零件的磨损率等。此外，还促使油劣化，减低油的抗乳化性能。

12. 油的介质损失角正切 $\tan \delta$ 当绝缘油受到交流电作用时，就要消耗某些电能，转变成热能，单位时间内这种消耗的电能（亦称功率）称为介质损失。造成介质损失的原因，是因为绝缘油中包括有极性分子和非极性分子。极性分子是由于本身内部电荷的不平衡，或由于电场作用而引起的，它是偶极体，在交流电场中，由于不断变化电场的方向，使极性分子在电场中不断运动，因而产生热量，造成了电能的损失。这种原因消耗的电流称为吸收电流（ I_r ）。除此之外，电流穿过介质，即泄漏电流，也造成电流损失，我们称为传导电流（ I_l ）。如无上述原因造成介质损失，则加于绝缘油的电压（ U ）和通过绝缘油的电流（ I_g ）的相角将准确地等于90°；但由于绝缘油有介质损失，电流和电压的相角总小于90°。90°和实际相角之差，称为介质损失角，以 δ 表示。介质损失角的大小，是绝缘油电气性能中的一个重要指标。通常以 $\tan \delta$ 表示，而不用 δ 表示。介质损失角 $\tan \delta$ 越大时，电能损失也就是介质损失越大。质量好的绝缘油，介质损失角不应该很大。 $\tan \delta$ 对判断变压器油的绝缘特性是一个很灵敏的数值，它可以很灵敏地显示出油的污染程度。油质的轻微变化在化学分析试验尚无从辨别时， $\tan \delta$ 试验却能明显地发生变化。这种试验作

为油的检查和予防性试验，效果是显著的，它比油的其它指标能较早期发出信号。当然这决不是说用 $\text{tg}\delta$ 可以代替油的其它性质指标。

13. 绝缘强度 绝缘强度是评定绝缘油电气性能的主要指标之一。在绝缘油容器内放一对电极，并施加电压。当电压升到一定数值时，电流突然增大而发生火花，这便是绝缘油的“击穿”。这个开始击穿的电压称为“击穿电压”。绝缘强度是以在标准电极下的击穿

电压表示，即以平均击穿电压（千伏）或绝缘强度（千伏/厘米）表示。质量很好的油的击穿电压要比质量坏的油的击穿电压大得多，也就是由击穿电压的大小可大致判断绝缘油的电气性能的好坏。

击穿电压的大小取决于很多因素，电极的形状和大小，电极之间的距离，油中的水分、纤维、酸和其它杂质、压力、温度、所施加电压的特征等。在提及击穿电压时一定要注明其电极形式和极间距离。

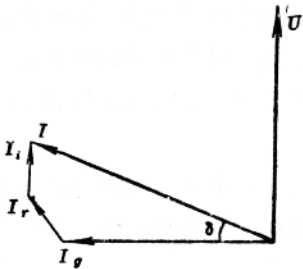


图 1-2 介质损失向量图

绝缘油的电气绝缘强度是保证设备安全运行的重要条件，运行中很多因素皆会降低其绝缘强度，严重时会发生电气设备击穿现象，造成重大事故。故对新油、运行油、再生油皆要作击穿电压试验，并合乎一定的要求。

绝缘油在使用上要求安全可靠、连续工作时间长，所以都希望有很高的耐压能力和良好的安定性。

透平油在使用上的特点都要求有良好的抗氧化安定性和抗乳化度。

二、油的质量标准和分析化验

1. 透平油和绝缘油的质量标准

从上述可见油质对运行设备影响甚大，因而对油的性能有严格要求。不论是新油还是运行油都要符合国家标准。新透平油标准是“SYB1201-60”，新绝缘油标准是“SYB1351-62”和“SYB1352-62S”，详见表1-1。

表 1-1 透平油和绝缘油质量标准

项 目	质 量 标 准								
	透 平 油 (SYB1201-60)				变 压 器 油 (SYB1351-62)				油 开 关 用 油 (SYB1352-62S)
	HU-22	HU-30	HU-46	HU-57	*10	*25	*45		
运 动 粘 度 (厘 厘)	50℃				20℃	50℃	20℃	50℃	20℃ 50℃
	20~23	28~32	44~48	55~59	≥30	≥9.6	≥30	≥9.6	≥30 ≥9.6
恩 氏 粘 度 (°E)	3.19	4.2	6.8		≥4.2	≥1.8	≥4.2	≥1.8	
酸 值 (毫 克 KOH/克 不 大 于)	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
闪 点 (℃, 不 低 于)	开 口				闭 口				
	180	180	195	195	135	135	135	135	
凝 固 点 (℃, 不 高 于)	-15	-10	-10	0	-10	-25	-25	-25	-45

项 目	质 量 标 准							
	透 平 油 (SYB1201-60)				变 压 器 油 (SYB1351-62)		油开关用油 (SYB1352-62S)	
	HU-22	HU-30	HU-46	HU-57	*10	*25	*45	
抗氧化	氧化后沉淀物(%, 不大于)	0.1	0.1	0.15	—	0.1	0.1	0.1
安定性	氧化后酸值(毫克 KOH/克, 不大于)	0.35	0.35	0.45	—	0.35	0.35	0.35
灰 分 (%)	(不大于)	0.005	0.005	0.02	0.04	0.005	0.005	0.005
抗乳化度(分钟, 不大于)	8	8	8	8	—	—	—	—
水溶性酸或碱	无	无	无	无	无	无	无	无
机械杂质(%)	无	无	无	无	无	无	无	无
苛性钠抽出物(级, 不大于)	2	2	2	2	2	2	2	2
透明度(5°C)	透 明	透 明	透 明	透 明	透 明	透 明	透 明	透 明
介质损失角	20°C(%)	—	—	—	—	0.5	—	—
(不大于)	70°C(%)	—	—	—	—	2.5	—	—

表 1-2

油 化 验 设 备

序号	设 备 名 称	规 格 型 号	单 位	数 量
一、简 化 试 验 设 备				
1	久保斯克比色计		套	1
2	比重计或韦氏天平		个	1
3	pH值酸度计	PHS-1 DK-1	个	1
4	开口闪点测定仪	GB267-64 3609型	个	1
5	闭口闪点测定仪	GB261-64 3205型	个	1
6	恩氏粘度计	GB266-64 3608型	个	1
7	水 浴 锅	4 孔 40~100°C	个	1
8	架盘天平	台秤式药物天平	个	1
9	电光分析天平	TG328B	个	1
10	电热恒温干燥箱	202-1型	套	1
11	绝缘油耐压试验器	ijj-60 KV/2KVA	套	1
12	万用电炉	500~1000W	个	2
13	残炭测定器		个	1
二、完 全 分 析 化 验 设 备				
1	高温电炉	或 SRJX-2-9型 SRJX-4-9型	个	1
2	超级恒温箱	501型	套	1
3	超级恒温油浴	602型	套	1
4	气体成分分析仪	奥氏5902	套	1
5	鼓风电热恒温干燥箱	S ₁ C-101型	个	1
6	真 空 泵	YQ01、10型、1升/分	台	1
7	电动搅拌机	6531型	台	1

注 1. 全分析设备应包括简化分析各项(除项10外);

2. 油质的试验方法可参照原水电部78年出版的《电力系统油质试验方法》。