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（厘泡），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。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

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，$\nu=\mu/\rho$。单位为沲（厘米^2／秒)或厘沲， 1 沲＝100厘沲。

相对粘度（或称比粘度）：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

$\left(\eta=\frac{\mu}{\mu_0}\right)$，称为该液体的相对粘度。$\eta$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°E表示。即温度t℃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℃时从同一粘度计流出的时间（T_{20}）之比（$°E=T_t/T_{20}$），就是该油在t℃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（°E）换算为运动粘度时，可按下式计算：

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

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。

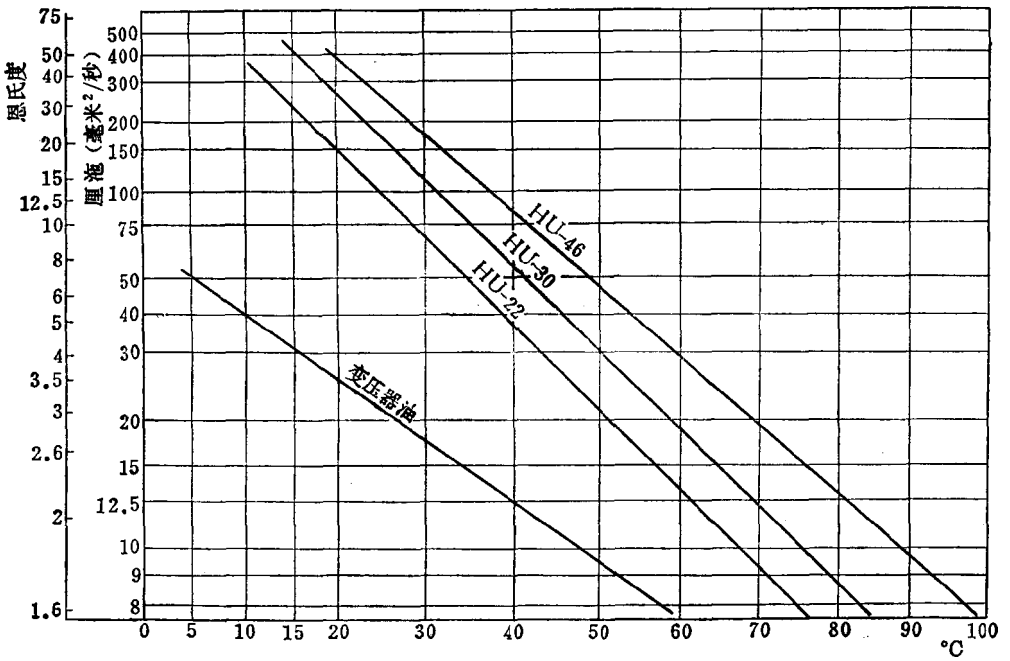


图 1-1　油的粘度与温度的关系

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，蒸发空气愈小，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，水轮机起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，如油品中若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 ～ 7 ℃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 ～ 7 ℃，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℃,中质透平油不大于 －10℃。绝缘油为 －35～－45℃。室外开关油，在长江以南可采用凝固点为 －10℃的10号油，而东北地区则需要用凝固点为 －45℃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、羟基酸和酚类等。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。

$$Fe+H_2O+\frac{1}{2}\ O_2\longrightarrow Fe(OH)_2$$

$$Fe(OH)_2+2RCOOH\longrightarrow (RCOO)_2Fe+2H_2O$$

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

需要全本请访问 www.ertongbook.com

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浊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。测定方法是将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tgδ　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_i）。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tgδ表示，而不用δ表示。介质损失角tgδ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。tgδ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，tgδ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 tgδ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。

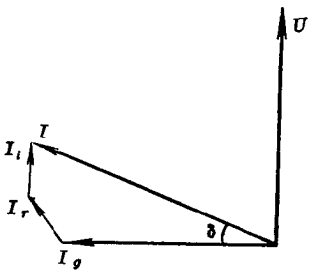


图 1-2　介质损失向量图

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注明其电极形式和极间距离。

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 (SXB1201-60)				变压器油 (SXB1351-62)				油开关用油 (SXB1352-62S)	
	HU-22	HU-30	HU-46	HU-57	*10		*25		*45	
运动粘度(厘沲)	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	
闪点 (℃，不低于)	开口				闭口					
	180	180	195	195	135		135		135	
凝固点(℃，不高于)	－15	－10	－10	0	－10		－25		－45	

续表

项目		质量标准						
		透平油 (SXB1201-60)				变压器油 (SXB1351-62)		油开关用油 (SXB1352-62S)
		HU-22	HU-30	HU-46	HU-57	*10	*25	*45
抗氧化安定性	氧化后沉淀物(%，不大于)	0.1	0.1	0.15	—	0.1	0.1	0.1
	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
机械杂质(%)		无	无	无	无	无	无	无
苛性钠抽出(级，不大于)		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
介质损失角(不大于)	20°C(%)						0.5	
	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	开口闪点测定器	GB267-64　3609型	个	1
5	闭口闪点测定器	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　KY/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	SRJX-2-9型 或 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_1C-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》。

2.油的分析化验

为了经常及时了解油的质量，防止因油的劣化发生设备事故所造成的损失，应按规定进行取样试验。在新油或运行油装入设备后，运行一个月内，每10天应采样试验一次；运行一个月后，每15天采样试验一次。

运行中油的劣化速度加快时，如油的酸价迅速增加，颜色显著发暗，或油样中有油泥沉淀物，应适当增加取样试验次数，研究原因，采取措施。当设备发生事故后，应对油进行全分析项目试验或简化试验，以研究事故的原因及判断油是否可以继续使用。

油的任何一个性质（甚至次要的性质，如颜色、气味、透明度）突然地改变，决不能轻视它，必须研究这种现象，它可能表示油规律性老化的结果，也可能予示用油设备内某种危险征兆，如过热烈解等。

1975年原水电部科技司颁发的“油化验设备配置标准（试行）”规定，一般水电站均按简化分析项目配置，对中心油务所及地处偏僻的大型水电站（总装机≥40万千瓦），可按全分析项目配置设备。简化分析与全分析项目所需配置的设备，详见表1-2。

第三节　油的劣化和净化处理

一、油劣化的原因和后果

油在运行或贮存过程中，经过一段时间之后，油会因潮气侵入而产生水分，或因运行过程中的种种原因而出现杂质，酸价增高，沉淀物增加，使油的性质发生变化，改变了油的物理、化学性质，以致不能保证设备的安全、经济运行，这种变化称为油的劣化。

油劣化的根本原因是油和空气中的氧起了作用，油被氧化了。油被氧化的后果是酸价增高，闪点降低，颜色加深，粘度增大，并有胶质状和油泥沉淀物析出。将影响正常润滑和散热作用，腐蚀金属和纤维，使操作系统失灵等危害。促使油加速氧化作用的因素有：

（1）水分　水使油乳化，促进油的氧化，增加油的酸价和腐蚀性。水分是从下面几个方面进入油中：1）放置在空气中能吸收大气中水分；2）随着空气温度和油温度的变化（这两个温度都是随设备运行情况变化的），空气在低温油表面冷却而凝结出水分；3）设备安装、检修得不好，设备联结处不严密漏水，或因油冷却器破裂漏水，如某电站由于下导轴承油冷却器的砂眼，水漏入油中；　4）变压器和贮油罐的呼吸器中干燥剂失效或效率低会带入空气中的水分；5）从油系统或操作系统混进水分。

（2）温度　油温度升高吸氧速度加快，也就是加速氧化，因此油劣化得快。实践证明：在正常的压力下，油温30℃时，氧化很少；一般在50～60℃开始加速氧化。所以一般规定透平油不得高于45℃，绝缘油不得高于65℃。

油温升高的原因是设备运行不良所造成的，如过负荷，冷却水中断或设备中油膜被破坏产生干摩擦等故障或局部产生高温。

（3）空气　空气中含有氧和水分，所以其影响同上所述。空气会引起油的氧化，空气中砂粒和灰尘增加油中机械杂质。油和空气除直接接触外，还有泡沫接触，泡沫使接触面增大，则氧化速度愈快。泡沫产生的原因：1）运行人员补油时速度太快，因油的冲击

带入空气；2）离心泵搅动剧烈时也可能发生泡沫；3）油回到油槽由于排油管设计不正确，或因速度太快造成泡沫；4）油在轴承中被搅动也会产生泡沫。

（4）天然光线　因为它含有紫外线对油的氧化起触媒作用，促使油质劣化。经天然光线照射后的油，再转到无天然光线之处，劣化还会继续进行。

（5）电流　穿过油内部的电流会使油分解，使油劣化。例如发电机转子铁芯所产生的涡流，通过轴颈然后穿过轴承的油膜时，可较快地使油颜色变深，并生成油泥沉淀物。

（6）其它因素　如金属的氧化作用，检修后清洗不良，油容器用的油漆不当，不同品种油的不良作用。

根据上述油劣化的因素采取相应的措施：1）消除水分侵入，如将设备密封，防止漏水，保护呼吸器的性能良好；2)保持设备正常工况，如不过负荷，冷却水正常供应，保持正常油膜，主要目的是使油和设备不致过热；3）减少油与空气的接触，防止泡沫形成，如在贮油槽中设呼吸器及油槽上部装抽气管，用真空泵抽出油槽内湿空气；设计安装油系统时，供排油管伸入油内避免冲击或设网子来冲击泡沫，注意供排油的速度不能过快，防止泡沫产生；4）避免阳光直接照射，如将贮油槽放置在厂房北面阴凉之处；5)防止电流的作用，如在轴承中采用绝缘垫，防止轴电流；6）其它方法，如用油设备检修后采取正确的清洗方法，选用合适的油漆（亚麻仁油、红铅油、白漆即氧化铝）。正确选用不同种类的油混合比。若要混合必须通过试验确定。

尽管采取了许多有效措施，在长期运行中，油的性质不免会改变原有品质，一般可借净化来恢复。

二、油的净化处理

轻度劣化或被水分和机械杂质污染了的油，称为污油。污油经过简单的机械净化处理后仍可使用。根据油被污染程度不同，可有不同的净化方法。

1.澄清

当油在油槽内长期处于静止状态时，比重较大的水和机械杂质便沉到底部。虽然澄清法并不能除去全部的水分和杂质，但却广泛地采用，因此方法简单、便宜和对油质没有伤害。

2.压力过滤

压力滤油是把油加压使之通过具有吸收水分阻止脏污物的滤过层，来达到净油的目的。国产的压力滤油机，是利用经过干燥的滤纸作为过滤介质的一种滤油机械。

压力过滤的设备是压滤机，工作原理如图1-3所示。

压滤机是由齿轮油泵、滤清器、安全阀、回油阀、油样阀、压力表、滤床（包括滤板、滤框、滤纸、油盘）、支架、弹性联轴节，及电动机等部件组成。齿轮泵、联轴节及电动机安装在支架下边，在滤清器上装有回油阀，并用铜管与油盘连接，滤床装于支架上边，其中滤板9块、滤框8块，顺序交替的组成各个独立的过滤室，滤纸夹在滤板与滤框之间。进出油口橡胶管连接在进出油管接头上，滤油从滤清器进油孔处吸入，通过初滤器，以便除去较大的杂质后，再进入齿轮泵。齿轮泵对于滤油产生挤压作用，因而迫使滤油流进滤床，渗透过滤油纸，因滤纸有毛细管作用，将油中水分和杂质滤净，然后从出油管流出。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

安全阀的作用是控制油管系统的压力，当油压超过最高使用压力时，安全阀就立即启动，使滤油在滤清器中自动循环，油压不再上升，以确保设备安全运转。回油阀借助齿轮泵的真空作用，将盘内的积油吸入滤清器。

压滤机操作过程和使用条件应严格按厂家产品说明书要求进行。在滤油期间，每隔一定时间应取样作耐压性能等试验，若出口油的耐压强度提高缓慢时，则表示滤纸的吸水能力已开始饱和，若进出口油的耐压强度相同时，则表示滤纸已完全饱和，需更换滤纸。压力滤油机型号及技术规格见表1-3。

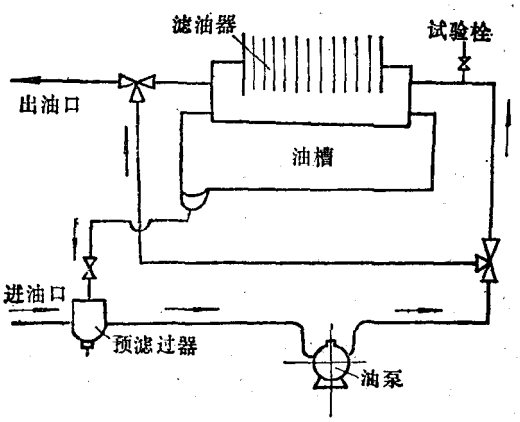


图 1-3 压力滤油机工作原理图

3.真空分离

真空分离的原理是根据油和水的沸点不同，而沸点又与压力大小有关，压力增大，沸点升高；压力减小，沸点降低。真空滤油机就是把具有一定温度(50～70℃)的油，压向真空罐内，再经过喷嘴扩散成雾状,此时,油中的水分和气体,在一定温度和真空下汽化，形成减压蒸发，油与水分和气体得到分离，再用真空泵经油气分离挡板，将水蒸汽和气体抽吸出来，达到油中除水脱气的作用。

装置原理系统图，如图1-4所示。操作程序如下：

表 1-3 压力滤油机型号及技术规格

规格 \ 型号		LY-50	LY-100	LY-150	压-120	压-50
生产能力(升/分)		≥50	≥100	≥150	120	50
工作压力(公斤/厘米²)		0～3	0～3	0～3	0～2	0～1
齿轮油泵	最高压力(公斤/厘米²)	6	6	6	5.3	4.5
	吸入高度(米水柱)	≥4	≥4	≥4		
电动机	型号	JO2-21-4T₂	JO2-31-4T₂	JO2-32-4T₂	JO-42-4	JO-32-4
	功率(千瓦)	1.1	2.2	3.0	2.8	1
进油口直径		$1\frac{1}{4}$″	$1\frac{1}{2}$″	$1\frac{1}{2}$″	$1\frac{1}{2}$″	1″
出油口直径		$1\frac{1}{4}$″	$1\frac{1}{4}$″	$1\frac{1}{4}$″	$1\frac{1}{4}$″	3/4″
外形尺寸(毫米)	长	～915	～1090	～1230	980	800
	宽	540	540	540	540	370
	高	740	740	740	920	620
重量(公斤)		～200	～230	～250	360	134
生产厂		吉林市第一机械厂			江苏省泰州市机械厂	

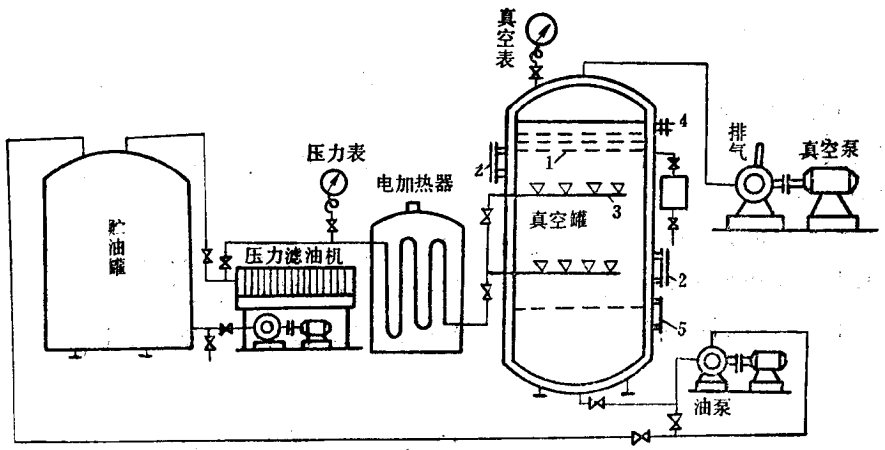


图 1-4 真空过滤原理图

1—油汽分离板；2—观察孔；3—喷嘴；4—法兰；5—油位计

（1）将需处理的污油通过压力滤油机初步在贮油罐内循环过滤除掉油中杂质；

（2）将油输入加热器，压向真空罐进行喷雾（采用一般喷雾器的喷嘴）；

（3）待真空罐内油位表达1/2的油量时用另一台滤油机或油泵，将罐内的油抽出至贮油罐，如此不断循环，并控制真空罐进油压力为2～3公斤／厘米^2，同时调节出油，达到进出油量平衡；

（4）待加热器出油温度达50～70℃时，开启真空泵（最好采用油浸式真空泵），使罐内真空度逐渐提高，至额定值为止，油循环趋于正常运行，直至污油中的除水、脱气达到合格为止（若油泵抽不出油，原因可能是出油泵吸程小于真空罐内真空值，可关小油泵出口阀门开度，使油压上升）。

这种分离法的优点：速度快，它比压滤机的效能提高二十多倍；质量好，除去油中水分和气体能力强；无油耗、纸耗，不受气候条件影响，这对于油量较大的用油设备的注油、换油、按时完成检修任务都有很大的作用。其缺点是不能清除机械杂质。

目前，真空滤油机的型号及其技术规格见表1-4。

表 1-4 真空滤油机型号及技术规格

规格 \ 型号	ZLY-50	ZLY-100	ZLY-200
工作能力(升/分)	≥50	100～160	100～200
工作压力(公斤/厘米^2)	0.4～3.5	0.4～3.5	
真空度（毫米汞柱）	720～745	720～745	
电动机功率(千瓦)	28	55	
入口管径（英寸）	$1\frac{1}{2}''$	$1\frac{1}{2}''$	
出口管径（英寸）	$1''$	$1\frac{1}{4}''$	
重量（公斤）	600	1300	
外形尺寸(长宽高)(毫米)	1500×800×1200	1850×1060×1600	

4.离心分离

离心分离是利用离心滤油机转筒沿中心轴高速旋转，在离心力作用下，把各种不同比重的杂质、水分从油中分离出来。杂质的比重大，分离在容器的最外层。油的比重小，在容器的最内层。水的比重介于两者之间，分离在油和杂质之间。这样便从油中分离出机械杂质和水分。

图1-5所示为FYQ-25型离心滤油机。离心滤油机的主要部件为滤芯和集油室。滤芯和下部转筒体内的垂直轴联结。当电动机转动时可以带动此滤芯旋转。滤芯的转速为4431～4650转／分。滤芯内有滤片组，装在垂直的轴上，滤片组起分油作用，如图1-6所示。

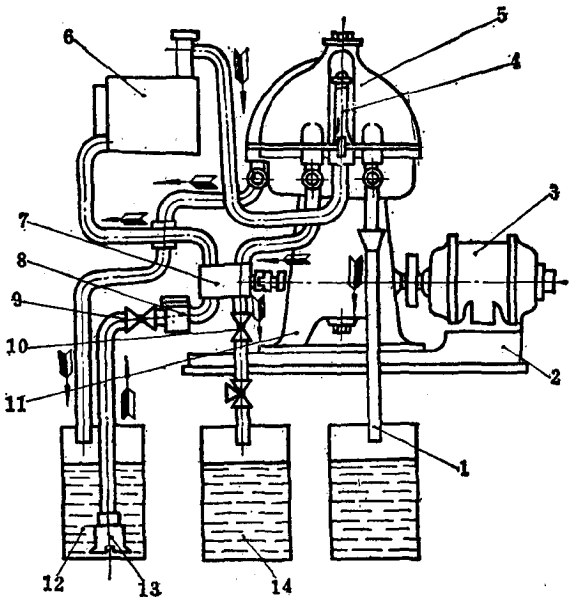


图 1-5 离心滤油机

1—排水管；2—底板；3—电动机；4—污油取样旋塞；5—滤芯；6—电加热器；7—油泵；8—滤网；9—调节阀；10—净油取样旋塞；11—本体；12—污油桶；13—止回阀；14—净油桶

离心滤油机工作时，脏油从上面沿中心油路进入滤芯下部，然后油开始在数目很多的滤片组中间上升，滤片组把油分成许多薄层。由于油层很薄，脏污和水便迅速达到上面的滤片壁上，再沿壁下滑并借离心力抛往脏污箱；清净的油则沿下面的滤片上升。

离心机可按两种方式工作，滤芯也相应地组装成滤除机械杂质和油水分离两种方式。

（1）油水分离方式 当油被水浸湿得很厉害（约3％的水），以至需要连续排出分离的水时，采用此方式。滤芯按油水分离方式组装完毕后，由滤油机本体上盖顶部的螺孔处注入4～5升40℃左右的水作为水封用，水封是为了使分离的水连续排出用的。污油经过24千瓦电热器加热至55～70℃，油要保持恒温，并且连续均匀地进入，不然水的封闭可能破坏而使油顺水路排出。

污油预热后进入滤芯的下部，从下盘2的开孔直接上升进入滤片之间的空隙（图1-6的右半部）。在离心力的作用下，油在滤片间进行油水分离过程，水被甩向体壁，油较轻，

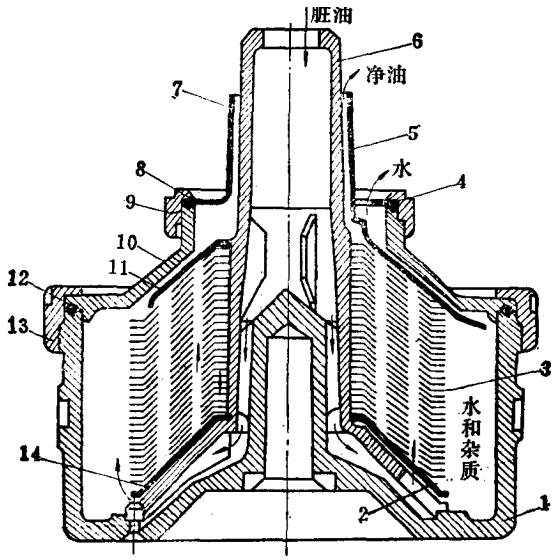


图 1-6 滤芯构造

1—芯体；2—下盘；3—滤片组；4—节流板；5—深筒；6—芯轴；7—节流筒；8—小螺母；9—橡皮圈；10—芯盖，11—盘盖；12—密封圈；13—螺母；14—下盘座

流向深筒 5。分离出的水经节流板 4 的环形间隙至上盖的水室排出。净油则由深筒 5 至中间油室流出经油泵送入净油箱。滤油机在正常工作时，排水出口处油的正常夹带量不大于分离水量的 1 %。节流板环形孔的大小是可以调节的，根据油在净化温度下的比重来选择。

在油水分离过程中，分离出的机械杂质以不致堵塞芯体与深筒外径之间的环形间隙为宜。在间隙被堵塞而水停止由汇流口流出时，应停机拆出滤芯用工具清除体壁上的杂质。

如果按油水分离方式分离不出水来，则可停机改用滤杂质方式。

（ 2 ）滤杂质方式　当油的脏污量和水不超过 0.3～0.4% 时，采用此方式。清除机械杂质的工作如图 1-6左半部所示。下盘是无孔的，污油经过加热器加热后进入滤芯的下部，从外缘进入滤片之间，在离心力作用下，较重的机械杂质至芯体内壁分出，净油经节流筒 7 进入中间油室。杂质的清除工作不是连续的，而是定期（平均两小时）进行的。

在滤芯的上部装有集油室，其内部由隔层 1 、 2 、3 分成上、中、下三个室，如图 1-7 所示。

污油是沿着集油室壳体外面的油路进入滤芯内的，温度计 5 供检查进油的温度，取样阀 6 供取样用。用旋塞 4 堵住的孔是在油水分离前由此孔向滤芯内注水以形成水封或在水封被破坏时注水用的。

顶部的油室是溢油室，为滤芯脏污或油过多时溢油用（突然停机致使室内充满油时）。

中间为净油室，出净化油。下室为排水室。

各层汇流的流体分别自集油室壳上的铸孔连接到管道排出。

不论采用何种净化方式工作，油的温度最好都在 50～60℃。因为油温较低时，粘度阻

止水和杂质从油中分离。油温超过70～80℃时，油开始汽化和水在油中的溶解度增加，分离水分较困难，同时在此温度下，油还发生激烈的氧化作用。离心滤油机技术参数见表1-5。

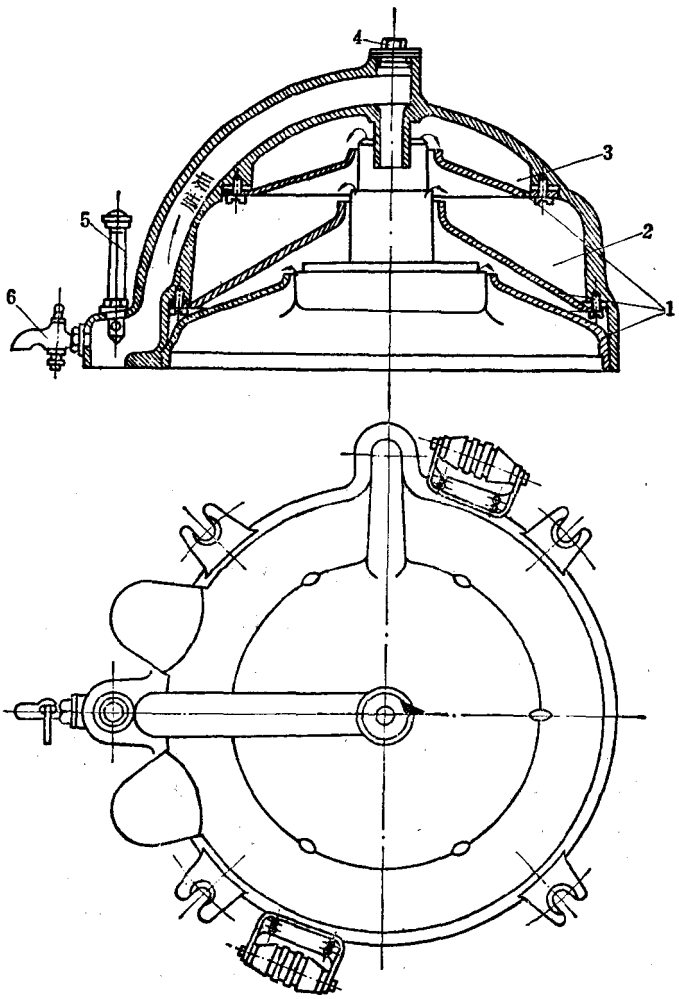


图 1-7　集油室

1—隔板；2—净油室；3—溢油室；4—旋塞；5—温度计；6—取样阀

表 1-5　　离心滤油机技术参数

型号	转数			电动机		外形尺寸(毫米)			生产厂
	转速(转/分)	生产能力(升/时)	油泵输油量(升/时)	型号	功率(千瓦)	长	宽	高	
DZY-30	6000	3000	>3000	$JO_2$42-4H	5.5	1380	940	1410	南京船用辅机厂
DZY-60	6000	5000	>5000	$JO_2$51-4H	7.5	1450	900	1520	南京船用辅机厂

离心机在电站中使用效果不够好。主要原因是操作过程中，水油容易混合乳化，难把水分分离出来，脱水效果不好；性能不易掌握，不好调整；处理的油需加热搅拌，温度掌握不好，油容易变质。此外，离心机比较笨重，转速较高，轴承、传动齿轮容易磨损。

三、油的再生

油在运行过程中，由于外界各种因素影响，油的性质逐渐发生了物理、化学变化，使粘度和酸价增高，闪点降低，出现水溶性酸等，以致最后不适合运行。要使这些油能重新使用，就要用化学方法或物理-化学方法使它恢复其原来的性质，这就叫油的再生。

特别指出，运行中油的再生对国民经济有着重要意义。油的再生可使运行中的油长期保持接近新油的标准，并防止造成较严重的劣化，以保证设备运行的安全和可靠。

1965年以后国产油都添加了抗氧化剂（ 26-二叔丁基-4-甲酚）。它能抑制油的氧化，大大地延长油的使用寿命。若再采用运行中油的再生，则对保证油的质量有较显著的效果。因此，水电站废油再生的机率很少，配置废油再生的装置，就显得没有必要了。下面介绍绝缘油和透平油在运行中再生的方法及设备。

运行中油的再生，一般都采用吸附剂的方法。如粒状白土过滤法、硅胶过滤吸附法以及活性氧化铝过滤吸附法等。这些吸附剂能再生油的原因，是由于它们具有吸附油劣化后所产生的氧化物如酸类、胶质、水分等。消除生成油泥沉淀物的可能性，提高透平油抗乳化度，以及增加油的安定性。这对防止运行中油的劣化，提高运行中油的质量有很大的作用。

1.变压器油的再生

通常将吸附剂放于变压器外的吸附器中，这种方法叫做热虹吸法。经过运行实践，被认为是比较好的方法。吸附器可装在变压器上部或下部原有的放油阀门上，也可在不影响散热的情况下，去掉变压器一个散热器，将吸附器装在散热器的上下管口上。热虹吸器与变压器的连接如图1-8所示。

热虹吸油再生工作原理：变压器带负荷时，油因受热而密度变小，油自变压器的上部流入吸附器，油在流动过程中，逐渐冷却密度变大，而从吸附器底部流回变压器。吸附器内装有吸附剂，油在运行中由于氧化所生成的氧化物通过吸附剂时而被吸附，从而使运行中的油处于合格状态，不仅增长了油有效使用期限，同时也延长了变压器的使用寿命。

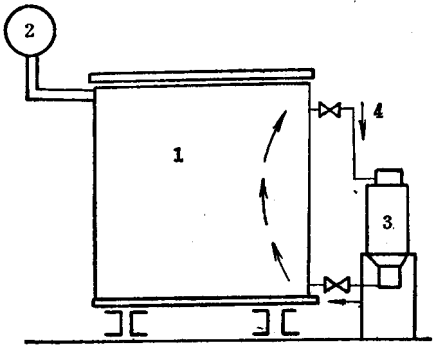


图 1-8 热虹吸再生原理图

1—变压器；2—油枕；3—吸附器；4—油的循环

将吸附剂放于变压器内部。若变压器小，可用布袋盛吸附剂悬挂在变压器油箱的上部；若变压器较大，则放在坚固的金属桶中，安装在变压器的顶盖上。要注意金属桶与变压器带电部分的距离要符合规定，且安装严密，防止空气和水分进入变压器。

此外，还有非连续性再生方法。油从变压器下部排油阀门放出，经过吸附器和压力滤油机最后进入油枕。这种方法再生效率较高。一般用于再生劣化程度较轻的油或在变压器

需要全本请访问 www.ertongbook.com