

# 水轮发电机组 辅助设备及自动化

高淳生

小型水电站运行工人培训教材

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本书是针对小型水电站水轮发电机组的辅助设备及自动化的基本知识编写的一本培训教材。全书共分八章,第一章至第五章为小型水电站的油系统、压缩空气系统、供排水系统和水力监测系统,以及水轮机主阀等设备的组成、作用、设计、选择及其运行与维护。第六章至第八章为水轮发电机组的自动化部分,主要介绍自动控制元件、水轮发电机组的自动控制和辅助设备的自动控制等机组自动化内容。

本书可作为小型水电站运行工人的培训教材,或具有初中以上文化程度的自学丛书,也可作为水电系统技工学校和中等专业学校有关专业的教学参考书,亦可供地方水电部门小型水电站水机设计人员参考。

### 小型水电站运行工人培训教材 水轮发电机组辅助设备及自动化 高 淳 生

\*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

北京市地质局印刷厂印刷

\*

850×1168毫米 32开本 10.625印张 279千字

1989年10月第一版 1989年10月北京第一次印刷

印数 0001—4230册

ISBN 7-120-00954-0/TV·314

定价 6.25 元

## 前 言

近年来,我国小水电建设发展很快。为了提高小水电站、电网运行工人的技术和管理水平,充分发挥小水电的经济效益,巩固和扩大办电成果,迫切需要加强对职工进行技术培训。为此,我们组织成都科技大学的有关同志,编写了培训讲义。经多次使用并广泛征求读者意见,现修改编写成这套“小型水电站运行工人培训教材”,供各地举办技术培训班之用。全套教材共十一册:《电工数学基础》、《电工原理》、《电子技术及应用》、《电机原理和运行》、《电工仪表和测量》、《水电站电气一次部分》、《水电站电气二次部分》、《地方电力系统》、《水轮机》、《水轮机调节》、《水轮发电机组辅助设备及自动化》。本教材内容丰富、针对性较强、理论联系实际,凡小型水电站和35 kV及以下电网运行、维护、检修中应掌握的主要知识,都作了较系统的讲述。对有关领域的新设备和新技术,也有简要的介绍。

本教材适用于培训具有初中毕业文化程度的小型水电站和电网的发、供电运行工人,也可作为具有同等文化程度的有关人员的自学参考书。各地可根据实际需要,选用其中有关分册,进行培训。一般以半年为一期,总教学时数控制在500学时左右。

《水轮发电机组辅助设备及自动化》一书由高淳生编写,四川省水电勘测设计院唐心源审阅,教学时数约为70学时。

由于受经验和水平限制,本书中存在的缺点和问题,恳请读者批评指正。

四川省地方电力公司

1983年3月

# 目 录

## 前 言

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第一章 水电厂的油系统         | 1   |
| 第一节 水电厂用油的种类及其作用    | 1   |
| 第二节 油的基本性质及其对运行的影响  | 3   |
| 第三节 油的劣化分析及其防止措施    | 10  |
| 第四节 油的净化与再生         | 14  |
| 第五节 油系统的组成、作用及油系统图  | 24  |
| 第六节 油系统的计算与设备选择     | 28  |
| 第七节 油系统布置及防火要求      | 35  |
| 第八节 油系统运行中的监督与维护    | 36  |
| 第二章 水电厂压缩空气系统       | 41  |
| 第一节 压缩空气的用途、组成与任务   | 41  |
| 第二节 水电厂用气设备及用气量     | 43  |
| 第三节 水电厂综合压缩空气系统     | 66  |
| 第四节 压缩空气系统的运行与维护    | 69  |
| 第五节 空气压缩机及其运行与维护    | 71  |
| 第六节 空气压缩装置的辅助设备     | 85  |
| 第三章 水电厂的水系统         | 90  |
| 第一节 技术供水的任务及其对水质的要求 | 90  |
| 第二节 用水设备需水量计算       | 102 |
| 第三节 技术供水水源的选择       | 105 |
| 第四节 技术供水方式及供水系统     | 108 |
| 第五节 水泵及其运行与维护       | 113 |
| 第六节 技术供水设备及管道选择     | 129 |
| 第七节 水电厂的消防供水        | 139 |
| 第八节 水电厂的排水系统        | 142 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第九节 水系统的运行与维护.....       | 153 |
| 第四章 水电厂的水力监测系统.....      | 155 |
| 第一节 水电厂水力监测的目的与内容.....   | 155 |
| 第二节 水电厂上、下游水位测量.....     | 156 |
| 第三节 水头的测量.....           | 167 |
| 第四节 机组输水系统的监测.....       | 174 |
| 第五节 水轮机流量的测量.....        | 179 |
| 第六节 水电厂水力监测系统.....       | 188 |
| 第五章 水轮机主阀.....           | 192 |
| 第一节 主阀的作用和设置条件.....      | 192 |
| 第二节 主阀的类型及其结构.....       | 193 |
| 第三节 主阀的操作.....           | 207 |
| 第四节 主阀的调整试验.....         | 211 |
| 第五节 主阀的水力损失及选择计算.....    | 214 |
| 第六章 水电厂自动化及其元件.....      | 219 |
| 第一节 水电厂自动化概述.....        | 219 |
| 第二节 机组的转速、温度和压力信号装置..... | 222 |
| 第三节 液位、液流和剪断销信号器.....    | 236 |
| 第四节 电磁阀和液压阀.....         | 248 |
| 第五节 机组过速限制器.....         | 259 |
| 第七章 水轮发电机组的自动控制.....     | 267 |
| 第一节 概述.....              | 267 |
| 第二节 水轮发电机组润滑系统的自动化.....  | 267 |
| 第三节 水轮发电机组冷却系统的自动化.....  | 278 |
| 第四节 水轮发电机组制动系统的自动化.....  | 280 |
| 第五节 机组调相压水系统的自动化.....    | 283 |
| 第六节 水轮发电机组控制系统的自动化.....  | 284 |
| 第七节 水轮发电机组的保护措施.....     | 298 |
| 第八节 主阀控制系统的自动化.....      | 305 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第八章 辅助设备自动控制.....      | 315 |
| 第一节 油压装置的自动控制 .....    | 315 |
| 第二节 空气压缩装置的自动控制.....   | 319 |
| 第三节 水泵技术供水装置的自动控制..... | 323 |
| 第四节 集水井排水装置的自动控制.....  | 327 |

---

# 第一章 水电厂的油系统

## 第一节 水电厂用油的种类及其作用

### 一、用油种类

水电厂的水轮发电机组及电气设备在电能生产转换和操作控制的过程中，为了保证设备的安全和正常运行，在进行负荷调节的能量传递、机组运转的润滑散热以及电气设备的绝缘消弧时，都是用油作为介质来完成的。由于设备的工作条件和要求不同，使用的油质也不一样。水电厂的用油主要有润滑油和绝缘油两大类。

#### （一）润滑油

润滑油分为：

- （1）透平油——供机组轴承的润滑和调节系统等的液压操作用；
- （2）机械油——供电动机、起重机和水泵等设备的润滑用；
- （3）空压机油——供空气压缩机润滑用；
- （4）润滑脂（黄油）——供滚动轴承润滑用。

#### （二）绝缘油

绝缘油分为：

- （1）变压器油——供变压器及电流、电压互感器用；
- （2）开关油——供油开关用。

以上用油量最大的为透平油和绝缘油，一般中小型水电厂用油量有数吨到数十吨。为了保证水电厂机组运行时用油的需要，必须有贮油的容器、输送油的管道，以及控制它们的阀门。由这些容器、管道和阀门等所组成油的回路，称为水电厂的油系统。

### 二、油的作用

#### （一）透平油的作用

透平油在机组运行中的作用主要是润滑、散热以及对机组进

行操作控制时用以传递能量。

### 1. 润滑作用

油在机组的运动件与约束件之间的间隙中形成油膜，以润滑油膜内部的液态摩擦，代替固体之间的干摩擦，从而减少设备的磨损和发热，以延长设备的使用寿命，提高设备的机械效益和运行安全。

### 2. 散热作用

设备在运行中，由于油的润滑作用，减少了磨损，但仍有摩擦作用而产生热量，这些热量对设备及润滑油的寿命和功能，都有很大的影响，必须设法予以排出。而润滑油就能将这部分热量通过油冷却器将其带走，使得设备和润滑油的温度，都不会超过规定值，以保证设备的安全经济运行。

### 3. 液压操作

水电厂中有许多设备的操作，需要很大的能量，如水轮机调速器对不同形式水轮机的导水叶、桨叶和针阀的操作，以及水轮机主阀、空放阀和液压操作阀的操作等，都需要透平油作为传递能量的工作介质。

## （二）绝缘的作用

绝缘油主要是用在水电厂的电气设备中，其作用是用来散热、绝缘和灭弧。

### 1. 散热作用

变压器在不同的负荷特别是大负荷下运行时，其线圈通过强大的电流而产生热量，此热量如不设法排出，则线圈绝缘会因温度过高而被烧坏。绝缘油可吸收这部分热量并传至设备外壳散发，以保证设备的正常运行。

### 2. 绝缘作用

由于绝缘油的绝缘强度比空气大，其介质强度为空气的 6 倍左右，因而用绝缘油来做绝缘介质，可大大提高电气设备的运行安全效果，并可缩小设备尺寸，使设备紧凑。同时，绝缘油对棉纤维的绝缘材料，起到一定的保护作用，使其不受空气和水分的

侵蚀而变质，从而提高它的绝缘性能。

### 3. 消弧作用

当高压油开关截断负荷时，在开关触点之间会产生强大电弧，此电弧温度很高，如不很快将热量传出，就有可能烧坏设备以及引起过高电压，击穿设备。绝缘油在受到电弧作用时，迅即分解，产生约70%的氢，因氢是一种活泼的消弧气体，它能从电弧中带走大量的热量，同时将弧道冷却，从而使电弧熄灭。

水电厂常用的国产透平油牌号有HU-22、HU-30和HU-46三种；变压器油有DB-10、DB-25；开关油有DU-45。

## 第二节 油的基本性质及其对运行的影响

### 一、粘度

液体质点受外力作用后相对移动时，分子间所产生的阻力称为粘度。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又叫绝对粘度。

#### 1. 动力粘度 ( $\mu$ )

使面积各为  $1\text{ cm}^2$  相距  $1\text{ cm}$  的两层液体，以  $1\text{ cm/s}$  的速度作相对运动时，液体质点内部所产生的阻力即为动力粘度，以  $\mu$  表示，单位为帕·秒 ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$ )。 $1\text{ Pa} \cdot \text{s} = 1\text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。

$$\mu = \frac{Fh}{Av}$$

式中  $\mu$ ——动力粘度 ( $\text{Pa} \cdot \text{s}$  或  $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ )；

$F$ ——两层液体之间的作用力 ( $\text{N}$ )；

$A$ ——作相对运动液体之间的面积 ( $\text{cm}^2$ )；

$v$ ——运动速度 ( $\text{cm/s}$ )；

$h$ ——两层液体之间的距离 ( $\text{cm}$ )。

#### 2. 运动粘度 ( $\nu$ )

液体的动力粘度与同温度下该液体密度 ( $\rho$ ) 之比值，称为该液体的运动粘度，以  $\nu$  表示， $\nu = \mu/\rho$ ，单位为沱(st)或厘沱。1沱

$(\text{cm}^2/\text{s}) = 100 \text{厘 沲} (\text{mm}^2/\text{s})$ , 即  $1 \text{St} (\text{cm}^2/\text{s}) = 100 \text{cSt} (\text{mm}^2/\text{s})$ 。

动力粘度与运动粘度是理论分析和公式推导中常用的单位, 而实际上这两种粘度的大小很难测得, 工程上常用仪器直接测得液体的粘度, 即所谓的相对粘度。

### 3. 相对粘度 ( $^{\circ}\text{E}$ )

由粘度计测得的粘度称为液体的相对粘度。一般在工业上油的粘度常用恩格拉粘度计来测定, 所以又称为恩氏粘度, 以 $^{\circ}\text{E}$ 表示。恩氏粘度的测定方法是: 取某一温度下的油 200ml, 在其自重的作用下流过恩氏粘度计中直径为 2.8mm 的孔口所需要的时间  $T_1$  与同样体积的蒸馏水在  $20^{\circ}\text{C}$  时从同一粘度计下的同一孔口流过时所需时间  $T_2$  ( $T_2 = 50 \sim 52\text{s}$ ) 之比, 就是该油在该温度时的恩氏粘度 $^{\circ}\text{E}$ 。即  $^{\circ}\text{E} = T_1/T_2$ 。一般标准恩氏粘度计 200ml 体积  $20^{\circ}\text{C}$  的水流过粘度计孔口的时间  $T_2$  在 50s 与 52s 之间。

恩氏粘度与运动粘度之间的关系由下式表示:

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

油的粘度不是一个常数, 它随着本身的温度变化而不同。温度升高时, 粘度降低, 温度降低时, 粘度升高。所以表示油的粘度数值时, 总是要说明是在某一温度下油的粘度。图 1-1 表示油的粘度与温度的关系。

油的粘度大小影响到它的流动性, 还影响到两摩擦面所形成的油膜厚度, 这对机组的润滑和液压操作影响很大, 所以粘度是油的重要特性之一。

对润滑油来说, 粘度大时, 油附着在金属表面而不易被挤压出来, 保持两摩擦面之间所形成的油膜厚度。但由于粘度大, 流动时产生的阻力较大, 油就不易流到配合间隙较小的摩擦面上, 使润滑效果降低, 因而增加了摩擦损失, 同时还容易引起设备振动, 散热的能力也相应的减小。相反, 若粘度小时, 两摩擦面之间不易保持良好的油膜, 使轴承不能得到很好的润滑, 容易使两摩擦面产生干摩擦, 但其阻力较小, 散热能力也相应的增大。水

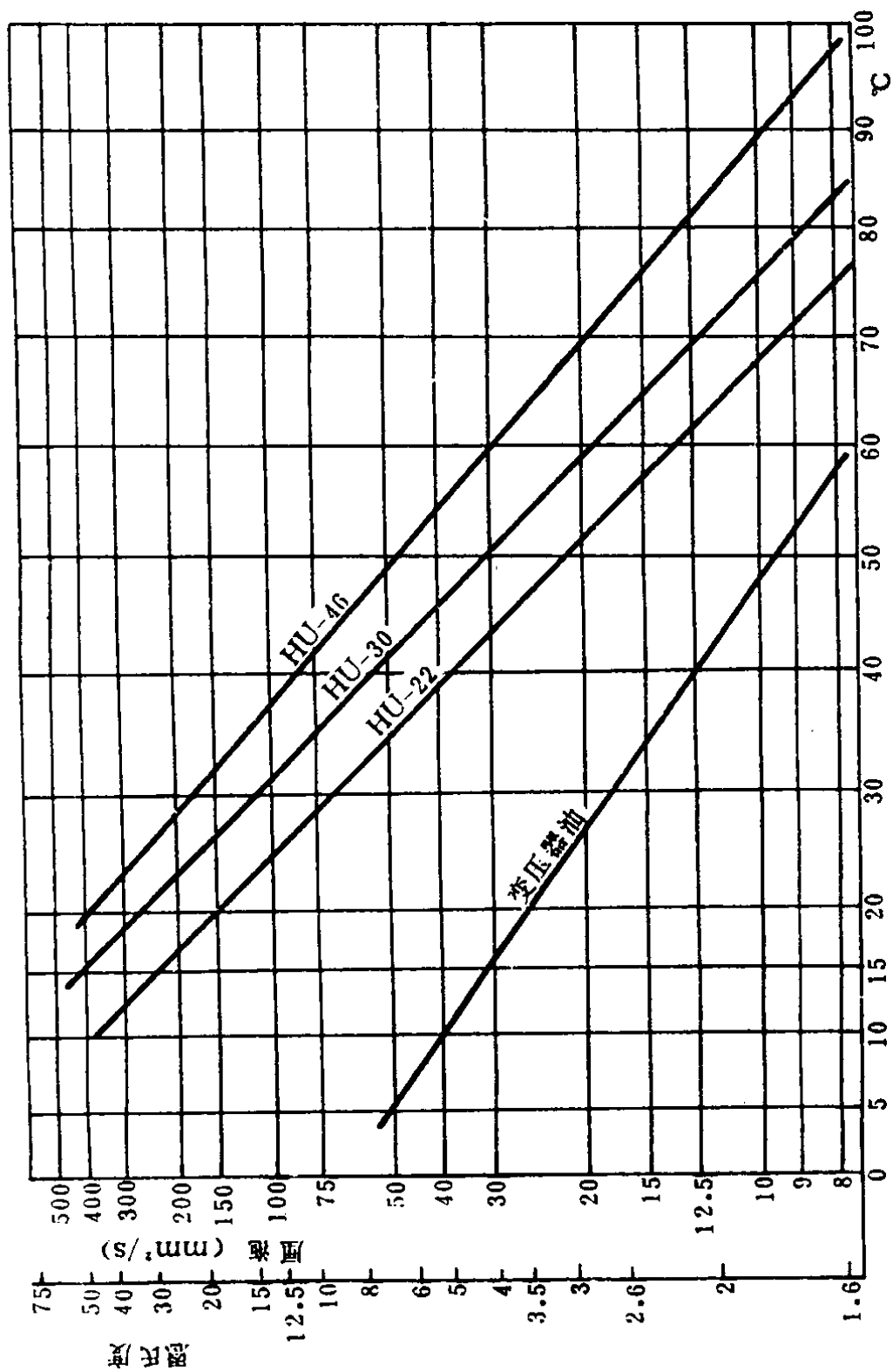


图 1-1 油的粘度与温度的关系

电厂选择用油时，一般原则是：对压力大而转数慢的设备，多选用粘度较大的油；反之，多选用粘度较小的油。目前水电厂润滑油的粘度一般选用温度在50℃时，油的相对粘度在3.2~4.3 E之间。

对绝缘油来说，一般要求粘度尽可能的小些，因变压器铁芯的绕组是靠绝缘油的对流作用进行散热，粘度小则流动性大，散热效果就好。油开关内的油要求也相同。但若粘度太小，油的闪光点也随之降低。水电厂选择绝缘油，温度为50℃时，粘度在1.8~2.0°E之间。

## 二、闪点

当油被加热至某一温度时，油的蒸气和空气混合后，遇火而闪光，随之即熄灭，油这时的温度称为闪点。若闪光时间长达5 s以上时，此温度即为油的燃点。

闪点表示油在高温下的安定性，根据闪点可以知道油中是否含有低沸点易蒸发的碳氢化合物，以及判断这种油着火爆炸的危险程度，从而促使我们注意防爆问题。水电厂对油的运行、储存和运输，都要注意油的闪点高低，以保证电厂安全可靠的运行。如某电厂的少油式开关，由于触点接触不良而发热，产生大量的油雾，引起三相短路跳弧，造成开关室油的气体和空气混合而爆炸，致使开关室的开关柜损坏。

水电厂在接受新透平油时，要求其闪点不应低于180℃；接受绝缘油时，不应小于135℃。

油的闪点高低，首先取决于油中的化学成分。如油中含石蜡较多，则闪点较高；其次是与测定的方法，仪器、温度、压力等有关；同时还与油气和空气形成混合气的蒸发速度和蒸发空间大小有关。所以油的闪点是在专门的仪器内，在一定的条件下测定的，是在一定条件下的数值。因此没有标明测定方法的闪点是没有意义的。一般新透平油的闪点用开口式仪器测定的，不小于180℃。新绝缘油的闪点用闭口式仪器测定的，一般不小于135℃。

在测定闪点时，无论是用开口仪器或闭口仪器，若油面愈高，蒸发空气的空间愈小，则蒸发空气愈小，愈容易达到闪点浓度，

所以闪点也愈低。

### 三、凝固点

当油温度下降时，使其由流动状态变为塑性状态时的最高温度，称为油的凝固点。油的凝固点的大小，取决于油中所含杂质，当油中含有水分和石蜡时，凝固点升高，若油中含有胶质和沥青质时，油的凝固点降低。

由于含的化学成分不同，油没有固定的凝固点，在不同的测验仪器和不同的试验条件下，油失去流动性开始凝固的温度也不同。当油冷却到某一温度时，把贮油的试管倾斜 $45^\circ$ ，经过一分钟后，看不出试管内油面有流动，这时就认为油已经是凝固了。产生这种现象时油的温度就是该油的凝固点。

油达到凝固点时，输送困难，使用不便。设备中的油凝固，阻力加大，设备不能很快起动。油的凝固还使散热作用变差。对于气温较低的地区，如北方的冬季，露天工作的油开关，因变稠的油对油开关的操作阻力较大，影响灭弧过程，可能使接触点熔化。因此，一般规定新透平油凝固点为 $-10\sim-15^\circ\text{C}$ ，绝缘油为 $-35\sim-45^\circ\text{C}$ 。气温不同油的凝固点又有所不同。室外开关油，在长江以南可采用凝固点为 $-10^\circ\text{C}$ 的10号油，而东北地区则需要用凝固点为 $-45^\circ\text{C}$ 的45号油。25号绝缘油用于变压器中时，可不受地区气温的限制，在全国各地区使用。

### 四、酸值

油中游离有机酸的含量，称为油的酸值，以酸价表示。酸价是以中和1克油需要的氢氧化钾的毫克数来表示，是用来鉴定油劣化的指标之一。

酸能腐蚀金属和纤维，含酸的油与设备的金属表面接触后，形成一种皂化物，它在润滑油循环流动过程中，会妨碍油在管道中的正常流动，降低油的润滑性能。一般规定：每克新透平油新绝缘油的氢氧化钾的含量，都不应超过 $0.05\text{mg}$ 。每克运行中绝缘油的氢氧化钾含量不超过 $0.1\text{mg}$ 。每克运行中透平油的氢氧化钾含量不超过 $0.2\text{mg}$ 。

## 五、抗氧化性

在高温下油和空气中的氧会发生化学变化，油的这种变化称为油的氧化性。油在高温下抵抗和氧发生化学变化的能力，称为油的抗氧化性。油温愈高，愈容易氧化。

油氧化后沉淀物增多产生的油泥，会堵塞油管，腐蚀设备。抗氧化性低的油，必然在短期内劣化变质，增加油的粘度和降低闪点，引起腐蚀性的加剧和润滑性能的变坏，以致不能保证安全经济运行。目前，我国各水电厂采用在油中添加“721”抗氧化剂，根据使用效果来看，是延长油使用时间的一项有效措施。

## 六、抗乳化性

油与水或其它一些物质混合后，生成一种很难分解的乳状混合物的性质，称为乳化性。抵抗这种作用的性质，称为抗乳化性。油与水等形成乳状液后，如能很快分层，说明油的抗乳化能力强。测定抗乳化性以时间（分钟）来表示，它表示油水分层的速度。水电厂只对透平油进行乳化性测定，一般透平油抗乳化性不应大于 8 min。

油乳化后由于粘度增高，摩擦阻力增大，油温及酸值增高而加速油的劣化。同时油被乳化后，油中的乳状物有腐蚀金属的作用，当其乳状物沉积在油循环系统中时，会妨碍油的循环，使得流速减小，造成油量供应不足。

## 七、水分

透平油中含有水分，会降低油的润滑性能，使其与接触的金属表面氧化（生锈），促进油泥的产生，从而堵塞油路，加快腐蚀作用。绝缘油中的水分，对介质强度和耐压水平影响极大，例如当含水量仅为 0.03 % 时，油的耐压强度就要降低 25 %。同时水分会加速绝缘纤维的老化。

油中水分的主要来源：一是油与外界空气接触时，空气中的水分带到油中；二是油的氧化作用而生成水。前一种水分多是与油混合在一起，不发生化学变化，很容易分开，这种水很容易除去，危害不大。后一种由氧化作用产生的水多为溶解水，即水溶

解于油中，这种水不易除去，其危害也很大。

油中水分的测定，可用定性和定量的两种方法。定性的测定是将油注入干燥的试管中，把油加热，当加热到 $150^{\circ}\text{C}$ 左右时，如听到响声，且油表面产生泡沫，这时如摇动试管，则管内的油变成混浊状，说明油中含有水分，否则为不含水分。定量方法测定油的含水量，是利用低沸点的无水溶剂携带水分的蒸馏方法测定，结果用百分数表示。不论是新油或运行油，一般都不允许含有水分。

## 八、灰分

油中含有很多矿物性杂质，当油蒸发和焙烧后所剩下的不能燃烧的无机矿物质的氧化物，即为油的灰分。用剩下的残余物重量占原来油重的百分比，来表示灰分的含量。

灰分太多的油，对水分特别敏感，从而影响油的性能。润滑油的灰分过多，将使油膜不均匀，降低润滑效果。

对新油进行灰分测定，可以判断炼制的质量；对运行中油的灰分测定，可以判断油的劣化程度和机械杂质的含量等。

## 九、水溶性酸和碱

油中酸和碱的存在，使接触部件金属表面以及输油管和油容器等，会产生剧烈的腐蚀。酸作用于铁和铁的合金，碱作用于有色金属，都会加快油的劣化。

油中酸和碱的存在，主要是油在炼制过程中处理不当。检验油中是否含有酸和碱，是根据抽出液中的酸性和碱性反应来确定的。如抽出液对甲基橙不变色时，认为试油中不含水溶性酸；若抽出液对酚酞不变色时，认为试油不含水溶性碱。水电厂要求使用的透平油和绝缘油为中性油，无酸碱反应。

## 十、透明度

油的透明度表示新油和运行油的清洁和被污染的程度。油中含有水分和机械杂质等，对油的透明度均有所影响。如油中胶质和沥青质的含量越高，油的颜色愈深。要求油质为橙黄色透明体。对透明度的测定，一般是用直径为 $18\sim 20\text{mm}$ 的玻璃试管，当油冷却到 $0^{\circ}\text{C}$ 时，液态油质仍是透明的。

水电厂对油的性质要求除以上十项外,还要求油中无游离碳、活性硫和机械杂质等,具体对透平油和绝缘油的各项要求标准,详见表1-1。

表 1-1 绝缘油和透平油的标准

| 顺<br>序 | 项<br>目              | 绝 缘 油 |                | 新透平油  |       | 运 行 中<br><br>透 平 油 |
|--------|---------------------|-------|----------------|-------|-------|--------------------|
|        |                     | 新油    | 运行中油           | 轻     | 中     |                    |
| 1      | 透明度 (5℃)            | 透明    | —              | 透明    | 透明    | —                  |
| 2      | 在50℃时粘度 (恩格列) 不大于   | 1.8   | —              | 3.2   | 4.3   | 不超过新油<br>25%       |
| 3      | 闪点不低于 (℃) ①         | 135   | 不比新油降低<br>5℃以上 | 180   | 180   | 不比新油降低<br>8℃以上     |
| 4      | 凝固点不大于 (℃)          | ②     | —              | -15   | -10   | —                  |
| 5      | 机械杂质 (%)            | 无     | 无              | 无     | 无     | 无                  |
| 6      | 游离碳                 | 无     | 无              | 无     | 无     | 无                  |
| 7      | 灰份不大于 (%)           | 0.005 | 0.01           | 0.005 | 0.005 | —                  |
| 8      | 活性硫                 | 无     | 无              | 无     | 无     | —                  |
| 9      | 酸价不大于 (KOHmg/g油)    | 0.05  | 0.4            | 0.02  | 0.02  | 0.1                |
| 10     | 钠试验等级不大于            | 2     | —              | 2     | 2     | —                  |
| 11     | 氧化后酸价不大于 (KOHmg/g油) | 0.35  | —              | 0.35  | 0.35  | —                  |
| 12     | 氧化后沉淀物不大于 (%)       | 0.1   | —              | 0.1   | 0.1   | —                  |
| 13     | 电气绝缘强度不低于 (kV):     |       |                |       |       |                    |
|        | (1) 用于35kV及以上的电气设备③ | 40    | 35             | —     | —     | —                  |
|        | (2) 用于6~35kV的电气设备   | 30    | 25             | —     | —     | —                  |
|        | (3) 用于6kV以下的电气设备    | 25    | 20             | —     | —     | —                  |
| 14     | 酸碱反应                | 无     | 无              | 无     | 无     | 无                  |
| 15     | 抗乳化强度不大于 (min)      | —     | —              | 8     | 8     | —                  |
| 16     | 水份                  | 无     | 无              | 无     | 无     | 无                  |

- ① 测定油闪点的仪器,绝缘油应用闭口式,透平油应用开口式;
- ② 气温不低于-10℃的地区为-25℃;气温不低于-20℃的地区为-35℃;气温低于-20℃的地区为-45℃;
- ③ 用于35kV及以上电气设备的新绝缘油,如因滤油设备的条件或油的质量,其电气绝缘强度不能达到40kV时,经运行单位同意后,允许采用运行中油的标准(即35kV)。

第三节 油的劣化分析及其防止措施

一、油的劣化及其危害

在贮存或运行过程中,由于封闭不严油中产生水分,出现了

杂质，增高了酸价，沉淀物增多，使油的组成及性质发生了变化，改变了油的物理和化学性质，以致不能保证设备的安全经济运行。发生的这种变化，称为油的劣化。

油劣化的性质与程度，取决的因素有：新油组成成分和原有油的质量；油运行的方式和工作条件；以及在运行过程中处于某种因素作用下的时间长短等。

油劣化的危害决定于油劣化时的生成物及其劣化程度：对于劣化时产生的溶解于油中的有机酸，增大了油的酸价，会腐蚀金属和纤维，同时还会加快油的劣化；对于劣化时产生不溶解于油中的油泥沉淀物，会沉淀在油冷却器附近或油箱及管道和阀门等处，将大大的妨碍油的散热及循环，使管道中循环油量减少，导致操作水轮机导叶或主阀时，开关动作不灵，直接影响了运行的安全；对于高温下运行所产生的氢和碳化氢等气体，它将与油面的空气相混合成为爆炸物，这对设备运行更是危险，应严加注意。

## 二、油劣化的原因及防止措施

油劣化的根本原因是由于油在高温下和空气中的氧起了化学反应，油被氧化了。氧化后的油酸价增高，闪点降低，粘度增加，颜色加深，并有胶质状油泥沉淀物析出。这不但影响了油的润滑和散热作用，同时还会腐蚀金属，使操作系统失灵等。

促使油加速氧化作用的因素有：

### （一）水分

水分进入油中使油乳化，以促进油的氧化，增加油的酸价和腐蚀性。水分从下列几方面进入油中：

（1）干燥的油放置空气中，能吸收空气中水分；

（2）随着机组运行情况的不同，空气的温度与油的温度都发生变化时，空气在油表面冷却，而空气中所含的水分凝结出来，有时大量进入润滑油中；

（3）设备中的冷却水管和油冷却器因安装或检修时密封不严，或因压力过大，使油冷却器中水管破裂而渗漏出水分混入油中；

（4）变压器的呼吸器中的干燥剂降低或失效时，会带入空气