

高职高专水利水电类专业规划教材

GAOZHI GAOZHUAN SHUILISHUIDIANLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



水轮发电机组 辅助设备

郑德龙 主 编
黄少敏 副主编



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

高职高专水利水电类专业规划教材
GAOZHI GAOZHUAN SHUILISHUIDIANLEI ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



水轮发电机组 辅助设备

主 编 郑德龙
副主编 黄少敏
编 写 童文勇
主 审 侯纯泳



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为高职高专水利水电类专业规划教材。

本书共五章。主要包括：水电站的油系统，水电站的压缩空气系统，水电站的技术供水系统，水电站的排水系统，水电站的主阀。本书系统地阐述了水轮发电机组辅助设备的原理、结构、运行和维护技术，紧密结合水电厂生产实际，将新技术、新工艺、新设备引入教材，突出技能应用，强调实用性，具有理论联系实际、重点突出、针对性强的特点，有相当的先进性和实用性。

本书可作为高职高专水利水电类专业的教材，也可供其他专业的学生和相关技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水轮发电机组辅助设备/郑德龙主编. —北京：中国电力出版社，2009

高职高专水利水电类专业规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 7281 - 5

I. 水… II. 郑… III. 水轮发电机—机组—辅助系统—高等学校：技术学校—教材 IV. TM312

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 203523 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 2 月第一版 2009 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 9.5 印张 226 千字

定价 16.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书是依据教育部审定的高职高专水电站动力设备与管理专业的教学大纲编写而成的。同时结合水电厂机电设备运行与维护的岗位职责要求,从水轮发电机组辅助设备运行、维护和管理人员的知识、能力、素质结构的实际需要出发组织编写内容。

本书系统地阐述了水轮发电机组辅助设备的原理、结构、运行和维护技术。紧密结合水电厂生产实际,将新技术、新工艺、新设备引入教材,突出技能应用,强调实用性、具有理论联系实际、重点突出、针对性强的特点,有相当的先进性和实用性。主要内容包括水电站的油系统,水电站的压缩空气系统,水电站的技术供水系统,水电站的排水系统,水电站的主阀等。

本书由武汉电力职业技术学院郑德龙担任主编,福建水利电力职业技术学院黄少敏担任副主编。其中,前言、第二章由郑德龙编写。第一、三、四章由福建水利电力职业技术学院童文勇编写,第五章由黄少敏编写。

本书由武汉电力职业技术学院侯纯泳主审,并提出了宝贵的意见和建议,在此表示感谢。

在编写过程中,有关水电企业、科研设计单位、院校为我们提供了许多参考资料并提出了宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年8月

目 录

前言

第 1 章 水电站的油系统	1
1.1 水电站用油的种类及作用	1
1.2 油的基本性质及其对运行的影响	3
1.3 油的劣化分析及净化处理	9
1.4 用油量计算及设备选择	13
1.5 油系统任务、组成和系统图	20
1.6 油系统的布置与防火要求	24
习题与思考题	26
第 2 章 水电站的压缩空气系统	27
2.1 压缩空气的用途及压气系统的组成	27
2.2 空气压缩机分类及特点	27
2.3 活塞式空气压缩机	28
2.4 螺杆式空气压缩机	38
2.5 压缩空气装置的附属设备	40
2.6 机组制动供气	44
2.7 机组调相压水供气	47
2.8 油压装置供气	52
2.9 配电装置供气	55
2.10 维护检修、空气围带和防冻吹冰供气	56
2.11 综合压缩空气系统	59
习题与思考题	61
第 3 章 水电站的技术供水系统	62
3.1 技术供水系统的对象及其组成	62
3.2 用水设备对供水的要求	64
3.3 水的净化与处理	70
3.4 技术供水的水源和供水方式	74
3.5 水泵	78
3.6 技术供水系统图	91
3.7 消防供水系统	102
习题与思考题	108
第 4 章 水电站的排水系统	110
4.1 排水系统的对象和排水方式	110

4.2 排水系统的设计与布置	111
4.3 排水系统图	117
习题与思考题	120
第5章 水电站的主阀	121
5.1 主阀的作用和设置条件	121
5.2 主阀的类型及其结构	122
5.3 主阀的操作机构和操作系统	133
5.4 水电站辅助设备中常用阀门	140
习题与思考题	143
参考文献	144

水电站的油系统

1.1 水电站用油的种类及作用

在水电站各种设备的操作中,水轮机调速器的液压操作、机组及辅助设备运转的润滑和散热,以及电气设备的绝缘、消弧等,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,使用油的种类和作用也不相同。

1.1.1 用油的种类

油的种类有很多,在水电站中,机电设备使用的油主要包括润滑油和绝缘油两大类。

(一) 润滑油

水电站使用的润滑油主要有汽轮机油、机械油、空气压缩机油、润滑脂等。

(1) 汽轮机油(原称透平油)。汽轮机油按其黏度的等级分为 HU—32、HU—46、HU—68、HU—100 四种,牌号后面的数值表示在 40℃ 时该牌号油的运动黏度 (mm^2/s)。汽轮机油主要用于调速器和水轮机主阀油压装置液压操作、水轮发电机组各轴承的润滑和散热。

(2) 机械油(俗称机油)。黏度较大,抗氧化性较汽轮机油差,用于机组辅助设备的机械润滑,如电动机、水泵、机修设备、起重机等润滑用。常用的牌号有 HJ—10、HJ—20、HJ—30、HJ—40、HJ—50 等几种机械油,牌号后面的数值表示在 40℃ 时该牌号油的运动黏度。

(3) 压缩机油。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。压缩机油能在温度不高于 180℃ 的高温下正常工作,常见有 HS—13、HS—19 等牌号,牌号后面的数值表示在 100℃ 时该牌号油的运动黏度。

(4) 润滑脂(俗称黄油)。供滚动轴承及机组中具有相对运动部件之间的润滑,也对机组部件起防锈作用。常见的润滑脂主要有以下几种。

1) 钙基润滑脂。按锥入度不同分为五个牌号(ZG—1、2、3、4、5)。常用水泵、电动机等机械设备的滚动轴承以及易与水或潮气接触的润滑部位上,使用温度为 $-10\sim 60^\circ\text{C}$ 。这种润滑脂耐热性差,使用寿命短,但它有抗水性好的优点,容易黏附在金属表面,胶体安定性好。

2) 钠基润滑脂。常用的钠基润滑脂有三种稠度牌号(ZN—2、3、4)。这种润滑脂的特点是耐高温但不耐水,可在 120℃ 下较长时间内工作,并有较好的承压抗磨性能,可适应较大负荷,但遇水易乳化变质,不能用在潮湿环境或与水接触的部件。常用于低转速、重负荷的机械摩擦部位。

3) 锂基润滑脂。这种脂加有抗氧化剂,具有良好的机械安定性、胶体安定性、防锈性、氧化安定性和抗水性,适用于 $-30\sim 120^\circ\text{C}$ 温度下,进口设备润滑多为锂基,目前国内设备用量也逐渐增多。例如,针入度为 265~295,稠度牌号为 2 号(ZL—2)、滴点可达

180℃，它是最常用的一种润滑脂。

（二）绝缘油

（1）变压器油。常见的变压器油有 DB—10、25、45 三种，符号后的数值表示油的凝点（负数即为零下摄氏度数）。水电站中变压器油主要用于变压器及电流、电压互感器等。

（2）开关油。常用为 DU—45，供断路器油开关用，在南方也可使用与变压器同牌号的油。

（3）电缆油。包括 DL—35、110、220、330 四种，符号后的数值表示以千伏计电压，主要供充油电缆用。

以上各类油中，汽轮机油和变压器油用量最大，为水电站的主要用油。

1.1.2 油的作用

（一）汽轮机油的作用

机组汽轮机油的主要作用为润滑、散热及液压操作。

（1）润滑和散热作用。运行中由各轴承承受着机组的轴向和径向荷载运转，汽轮机油可在机组的运动件（轴）与约束件（轴承）之间的间隙中形成油膜，以轴承间油膜的内部摩擦代替轴承的固体干摩擦，从而降低摩擦系数。同时，润滑油在轴承和轴承油箱冷却器之间的连续循环运动，不断将轴承运转时产生的热量带出冷却，使油和轴承的温度不致超过运行规定值，以确保设备的安全经济运行。

（2）液压操作。高压液体在一定几何形体（接力器缸内）内移动时，可以传递机械能。例如，水轮机调速器的接力器对不同形式水轮机的导水机构、桨叶和针阀的操作，以及主阀、调压阀、液压操作设备的操作等，都是以汽轮机油作为传递能量的工作介质。

（二）润滑脂的作用

润滑脂有润滑、密封、防护、节约能源的作用。对于一些由于工作条件限制的机械摩擦部位，用润滑油效果不好，达不到润滑要求。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，要求长时间不得更换润滑剂；适用于温度和速度变化范围较大的摩擦部位润滑，以及某些机械设备的封存、防腐、防锈等。在上述情况下，如果采用润滑脂就能起到很好的作用。此外，试验证明，当润滑的基础油与润滑油黏度相同时，润滑脂的油膜厚度比使用润滑油薄 30%，摩擦力较小，可以降低能耗。因此，国外正在大力发展复合锂基多效通用润滑脂。

（三）绝缘油的作用

绝缘油在设备中的作用是绝缘、散热和消弧。

（1）绝缘作用。由于绝缘油的绝缘强度约为空气的 6 倍，因而用绝缘油来作为绝缘介质可以大大提高电气设备运行的可靠性，并可缩小设备尺寸，使设备结构紧凑。同时，绝缘油对棉纤维的绝缘材料，可以起到一定的保护作用，使其不受空气和水分的侵蚀而变质，进而提高其绝缘性能。

（2）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出来，温升过高将损害线圈绝缘，甚至烧毁变压器。通过绝缘油将这部分热量吸收，由于温差对流作用可使之产生内循环流动，将这部分热量传至外壳散发或通过冷却器中冷却水带走（水冷式），以保证变压器的正常运行。

(3) 消弧作用。当高压油开关切断电力负荷时,在开关触点之间会产生强大的电弧。此电弧温度很高,如不及时将热量传出,就可能烧坏设备或引起过电压击穿设备。绝缘油在受到电弧作用时,迅速发生分解,产生约含 70% 氢的气体。氢是一种活泼的消弧气体,它在被分解的过程中能从电弧带走大量的热,可将弧道冷却,从而使电弧熄灭。

1.2 油的基本性质及其对运行的影响

为了正确选择及使用油,保证设备正常运行,在取样时能判断油质的好坏,要求熟悉油的基本性质。现将润滑油和绝缘油的主要性质及性能指标介绍如下。

(一) 黏度

当液体质点受外力作用相对移动时,在液体分子间产生的阻力即液体内部摩擦力的大小,称为黏度。黏度即液体黏稠的程度。油的黏度可分为绝对黏度和相对黏度,绝对黏度包括动力黏度和运动黏度。

(1) 动力黏度是指液体中面积 1cm、相距 1cm 的两层液体,以速度为 1cm/s 相对移动时,液体质点内部所受阻力的大小,以 μ 表示,单位为帕·秒 (Pa·s), $1\text{Pa}\cdot\text{s}=1\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ 。对于 20℃ 的水,其动力黏度值为 $1\text{Pa}\cdot\text{s}$ 。

(2) 运动黏度是指同温度下该液体动力黏度与其密度之比值,常以 ν 表示,即 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$,单位为 m^2/s 。运动黏度常用于分析计算,但不便于日常测量。

(3) 相对黏度是指任一液体的动力黏度 (μ) 与同温度的水的动力黏度 (μ_0) 的比值。即 $\eta = \frac{\mu}{\mu_0}$, 是无量纲值。工程上常用恩氏黏度计测定油的黏度,即用同一恩氏黏度计分别测出温度为 $t^\circ\text{C}$ 、容积为 200mL 的油与 20℃ 同容积蒸馏水所流出时间的比值,以 E 表示,即 $E = \frac{T_t}{T_{20}}$ 。恩氏黏度的测定温度为 20℃、50℃ 和 100℃。

各种不同的黏度可通过公式或图表进行换算,恩氏黏度与运动黏度的换算可按式 (1-1) 进行:

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

油的黏度并不是一个常数,它是随着温度的变化而变化的。因此,在表示黏度数值时,要说明是什么温度下的黏度。油的黏度主要取决于它的组成成分。组成油品烃类有烷烃、环烷烃和芳香烃及少量的不饱和烃。在同样馏分的情况下,润滑油以烷烃为主要成分,其黏度较低,黏温性能较好;含芳香烃或环烷烃多的油品,黏度较高,黏温性能显著变坏;含不饱和烃的油品易氧化生成胶质,其黏度较高,黏温性能极差,且安定性也很坏。但不论哪族烃,其黏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,其黏度随压力变化的大小也各不相同。对于润滑油在高于 50MPa 压力作用下黏度才有所变化;在一般压力下可以不考虑压力对黏度的影响。通常油品的黏度都是随着油温升高及所受压力下降而降低。

黏度是润滑油最重要的质量指标之一,也是选用油品的重要依据。对于变压器中的绝缘油,黏度宜尽量小一些,因为变压器的绕组是靠油的对流作用来散热的,黏度小则流

动性大，冷却效果好。对于油开关内的用油也有同样要求。但是油的黏度降低到一定程度时，闪点亦随之降低，因此绝缘油黏度选择要适中，规定在 50℃ 时，恩氏黏度不大于 1.8，对于汽轮机油，黏度大的油易附着在金属摩擦面而形成油膜，但油的内摩擦阻力增加，散热性能降低。所以在压力大和转速低的设备中选用黏度较大的油，反之则选用黏度较小的油。

（二）闪点

油在规定条件下加热，其蒸汽与空气所形成的混合气接触火焰发生闪火时的最低温度称为闪点。若闪光时间长达 5s 以上时，此温度即为油的燃点。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。

闪点是保证油品在规定的温度范围内储运和使用的安全指标。它不仅取决于油品的化学组成，而且与测定方法、温度、压力等条件有关。石油产品闪点测定法有开杯式（GB/T 267—1988）和闭杯式（GB/T 261—1983）两种测定方法。汽轮机油用开杯式仪器测定，绝缘油用闭杯式仪器测定。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℃。

闪点反映了油在高温下的稳定性。根据闪点高低，可以判断润滑油中是否混进了轻油。闪点低，油品易燃烧或爆炸。废油闪点可以帮助确定再生工序。运行中的汽轮机油和变压器油，如发现闪点下降，说明油品已变质，需要及时处理。水电站中规定新汽轮机油的闪点不低于 180℃，新绝缘油的闪点不低于 135℃。

（三）凝固点

凝固点油品在试验条件（GB/T 510—1983）下冷却到失去流动性的最高温度。油冷却到某一温度并且将储油试管倾斜 45°，经过 1min 时间，肉眼看不出试管内液面有所移动，即可认为油品凝固了。油品中石蜡含量越高，其凝固点就越高。

根据凝固点可决定冬季在不加温条件下润滑油使用和运输的可行性。油品若失去流动性，对于绝缘油而言不利散热，对于润滑油而言其黏度增加可能导致干摩擦现象。故一般润滑油使用温度必须比凝固点高 5~7℃。为降低凝固点，未经深度脱蜡的油可加入适当的降凝剂，例如加入 0.5%~1% 的烷基萘（代号 801）后，凝固点可下降 10~20℃。通常规定：轻质新汽轮机油不大于 -15℃，中质汽轮机油不大于 -10℃，绝缘油为 -45~-35℃。变压器中变压器油 DB-25 在南方或北方均适用，而室外开关油，在长江以南可采用 25 号油，东北地区可采用 45 号油。

（四）酸值

中和质量为 1g 油中含有的有机酸性物质所需氢氧化钾的毫克数，称为酸值（或酸价），单位以 mgKOH/g 表示。酸值按国家标准 GB 264—1983 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。

酸值是保证储油容器和使用设备不受腐蚀的重要指标之一，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；尤其对铜、铝及其合金的腐蚀性更为严重，并且酸和有色金属接触形成皂化物会堵塞管道，影响油的润滑性能。酸值也是确定运行油品劣化程度的重要指标之一。油在运行过程中，会产生氧化作用，油的酸值就会逐渐升

高。因此，油中的酸值要严格地控制在一定范围内，对于新汽轮机和绝缘油的酸值均不能超过 0.03mgKOH/g ；运行中的绝缘油不能超过 0.1mgKOH/g ；运行的汽轮机油不能超过 0.2mgKOH/g 。

（五）抗氧化性

油在较高温度使用过程中，抵抗与氧发生化学反应的性能，称为抗氧化性。油的抗氧化性以试油在氧化条件下生成的沉淀物和酸值的数值来表示。

油在使用中劣化变质的主要原因是发生氧化。影响氧化的因素很多，如温度、压力、水分、催化剂等。油氧化后，沉淀物增加，酸值提高，会使油质劣化，影响油的使用性能。按规定，运行中的绝缘油氧化后酸值应不大于 0.2mgKOH/g ，沉淀物不大于 0.05% 。汽轮机油及变压器油为了减缓氧化速度，可加入适量抗氧化剂，例如，2，6—二叔丁基对甲酚（代号 T501），加入量为 $0.1\%\sim 0.3\%$ 。

（六）灰分与机械杂质

油品燃烧后所剩下的无机矿物质占原来油重的百分比，称为灰分。油中所含灰尘、金属屑、纤维物、砂粒、结晶盐等固体物质，称为机械杂质。灰分与机械杂质均会破坏油的润滑性能和绝缘性能，其中机械杂质加速破坏机械部件的磨损，故规定油中不允许含有机械杂质。

（七）破乳化时间

在规定条件下，试油与水蒸气形成乳浊液达到完全分层所需的时间，称为破乳化时间，单位为 min。

汽轮机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。但水轮机使用的汽轮机油难免与水接触，容易形成乳化液。油被乳化后润滑性能会降低，摩擦阻力增大，黏度增加，同时会有泡沫产生，析出的水分会破坏油膜，并促进氧化，加速部件的破损。通常，黏度小的油抗乳化性能较好。

（八）水分

油中水分的来源主要有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。其中结合水是由于油氧化而生成，是油初期老化的象征；乳化状态的水，由于水分是以极其细小的颗粒分布于油中，难以除去，对设备危害性较大。因此，规定油中不允许含有水分。对油中水分进行定量测定，将试油注入干燥的试管中，加热至 150°C 左右，当可以听到响声，且产生泡沫，如果摇动试管变成混浊状态，即可确定油中含有水分。

汽轮机油中混进水分时，不但会形成乳化，而且会加速油的劣化，使油膜强度降低，并造成油的酸值增大，助长对金属的腐蚀。绝缘油中混入水分时，会使绝缘强度大大降低：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；如果绝缘油中有水分和固体杂质同时存在时，油的绝缘强度会下降更快。

（九）透明度

清洁油是淡黄色透明液体。用透明度可以简易判断新油及运行油的清洁或被污染程度。将试油注入直径 $30\sim 40\text{mm}$ 管内，冷却至 5°C ，肉眼看去应呈透明。

（十）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。油中水溶性酸或碱的判断方法是以等体积的蒸馏水和试油混合摇动，取其水抽液，并注入指示剂，观察其变色情况。指示剂可用甲基橙等。使用中油品出现水溶性酸或碱，主要是由于氧化变质生成的。它对金属有强烈腐蚀性，并使油加速水化。按规定，无论新油或运行中的油均为中性，无酸或碱性反应。

(十一) 绝缘强度

在规定的试验条件下，绝缘油承受击穿电压的能力，称绝缘强度。以绝缘击穿时的电场强度 E 来表示，以 kV/mm 为单位，按式 (1-2) 计算：

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

式中 U ——试油的平均击穿电压， kV ；

d ——电极间距离， mm 。

影响绝缘油耐电压的因素很多，如水分、杂质、压力、温度、电压等，其中水分因素影响最大。因此，变压器油装入前要经过反复过滤以除去水分。对于再生变压器油要在过滤后耐电压达到 35kV 才能出厂。对新油、运行油和再生油均应作击穿电压试验，以保证用油设备生产安全。

(十二) 介质损耗因素

绝缘油受到交流电压作用，要消耗部分电能转变为热能，单位时间内这种消耗的电称作为介质损耗。

作为电介质的绝缘油，如果没有介质损耗，加于介质上的电压与通过介质的电容电流 I_C 之间的相位差为 90° 。但是，因为绝缘油中包含有极性分子和非极性分子，在交变电场的作用下，极性分子不断地运动，因而产生热量，造成电能的消耗，相应消耗的电流称为吸收电流 I_{RC} ，此电流是电阻电容电流，如图 1-1 所示；同时，部分电流直接穿过介质，即泄漏电流，

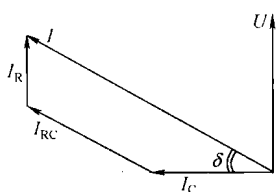


图 1-1 介质损耗角向量图

I_C —电容电流； I_R —传导电流；

I_{RC} —吸收电流

也造成电能损耗，称为传导电流 I_R 。由于有上述两部分介质损耗，使施加的电压 U 与所产生的电流 I 的相位差总小于 90° ， 90° 与实际相角之差，称为介质损耗角 (δ)。由于电气用油的损耗功率与介质损耗角的正切值成正比，因此介质损失通常以 $\tan\delta$ 值来表示，称为介质损耗角正切，它是绝缘油电气性能中的一个重要指标。此值越大，不仅功率损耗大，其绝缘性能也越差。由于介质损耗角可以很灵敏地显示出油的污染程度，它比油的其他指标较早地发出信号，因而作为油的检查及预防性试验，效果是显著的。

根据用油设备和工作条件不同，对油的质量要求也不尽相同，不管新油还是运行油都必须符合国家标准。在 GB 11120—1989《汽轮机油》中，国产汽轮机油有 32 号、46 号、68 号和 100 号四种牌号，牌号的数值表示油在 40°C 时的运动黏度。目前，中小型水电站常用的国产汽轮机油牌号有 32 号和 46 号两种，通常选择防锈型的。GB 2536—1990《绝缘油（变压器油）》中，国产绝缘油中变压器油有 10 号、25 号及 45 号三种牌号，开关油有 45 号，牌号的数值表示油的凝固摄氏温度值（负值）。绝缘油一般选用 25 号绝缘油；在月平均最低气温不低于 -10°C 的地区，如无 25 号绝缘油时，可选用 10 号绝缘油；当月平均最低气温低于 -25°C 的地区，宜选用 45 号绝缘油。常用汽轮机油和绝缘油的质量标准见表 1-1，运行中的汽轮机油质量标准见表 1-2。

表 1-1

常用汽轮机油和绝缘油质量标准

L—TSA 汽轮机油标准 (摘自 GB 11120—1989)

项 目		优级品		一级品		合格品		试验方法
黏度等级		32	46	32	46	32	46	GB/T 3141—1994
运动黏度, 40℃ (mm ² /s)		28.8~35.2	41.4~50.6	28.8~35.2	41.4~50.6	28.8~35.2	41.4~50.6	GB/T 265—1988
黏度指数 不小于		90	90	90	90	90	90	GB/T 1995—1998
倾点 (℃) 不高于		-7	-7	-7	-7	-7	-7	GB/T 3535—2006
闪点 (开口,℃) 不低于		180	180	180	180	180	180	GB/T 267—1988
密度, 20℃ (g/cm ³)		报告	报告	报告	报告	报告	报告	GB/T 1884—2000
酸值 (mgKOH/g) 不大于		0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	GB/T 264—1983
机械杂质		无	无	无	无	无	无	GB/T 511—1988
水分		无	无	无	无	无	无	GB/T 260—1977
破乳化时间, 54℃ (min) ≤		15	15	15	15	15	15	GB/T 7305—2003
起泡性试验 (mL/mL)	24℃ 不大于	450/0	450/0	450/0	450/0	600/100	600/100	GB/T 12579—2002
	93.5℃ 不大于	100/0	100/0	100/0	100/0	100/25	100/25	
	后 24℃ 不大于	450/0	450/0	450/0	450/0	600/100	600/100	
氧化安定性	a. 总氧化物 (%)	报告	报告	报告	报告	报告	报告	SH/T 0124— 2000(2006)
	沉淀物 (%)	报告	报告	报告	报告	报告	报告	
	b. 氧化后酸值达 2.0mgKOH/g 的时间 (h) 不小于	3000	3000	2000	2000	1500	1500	GB/T 12581—2006
液相锈蚀试验 (合成海水)		无锈	无锈	无锈	无锈	无锈	无锈	GB/T 11143—2008
铜片腐蚀, 100℃, 3h(级) ≤		1	1	1	1	1	1	GB/T 5096—1985
空气释放值, 50℃ (min) 不大于		5	6	5	6			SH/T 0308— 1992(2004)

绝缘油质量标准

绝缘油类别		变压器油 (摘自 GB 2536—1990)			断路器油 [摘自 SH0351—1992(1998)]		
项 目		质量指标			试验方法	质量指标	试验方法
牌 号		10	25	45			
外观		透明, 无悬浮物和机械杂质			目测	同左	
密度 (20℃, kg/m ³) 不大于		895			GB/T 1884—2000 GB/T 1885—1998	895	GB/T 1884—2000 GB/T 1885—1998
运动黏度 (mm/s)	40℃ 不大于	13	13	11	GB/T 265—1988	5 200	GB/T 265—1988
	-10℃ 不大于	—	200	—			
	-30℃ 不大于	—	—	1800			
倾点 (℃) 不高于		-7	-22	报告	GB/T 3535—2006	-45	GB/T 3535—2006
酸值 (mgKOH/g) 不大于		0.03			GB/T 264—1983	0.03	GB/T 264—1983
凝点 (℃) 不高于		—			GB/T 510	—	—
闪点 (闭口,℃) 不低于		140		135	GB/T 261—1983	95	GB/T 261—1983
腐蚀性硫		非腐蚀性			SH/T 0304— 1999(2005)	—	—
铜片腐蚀 (T ₂ 铜片, 100℃, 3h) 不大于		—			—	1	GB/T 5096—1985
氧化安定性					SH/T 0206—1992	—	—

续表

绝缘油质量标准						
绝缘油类别	变压器油（摘自 GB 2536—1990）			断路器油 [摘自 SH0351—1992(1998)]		
项 目	质量指标			试验方法	质量指标	试验方法
牌 号	10	25	45			
氧化后酸值（mgKOH/g） 不大于	0. 2			SH/T 0206—1992	—	—
氧化后沉淀（%） 不大于	0. 05					
水溶性酸或碱	无			GB/T 259—1988	—	—
击穿电压（间距 2.5mm， kV） 不小于	35			GB/T 507—2002	—	—
介质损耗因数 不大于	（90℃） 0. 005			GB/T 5654—2007	（70℃） 0. 003	GB/T 5654—2007
界面张力（mN/m） 不大于	40	38		GB/T 6541—1986	（25℃不小于 35）	GB/T 6541—1986
水分 不大于	mg/kg（报告）			SH/T 0207—1992	35ppm	SH/T 0255— 1992(2004)
介电强度（电极间隙 2.5mm， kV） 不小于	—			—	40	GB/T 507—2002

- 注 1. 把产品注入 100mL 量筒中, 在 (20±5)℃ 下目测, 如有争议时, 按 GB 511—1988 测定机械杂质含量为无。
 2. 氧化安定性为保证项目, 每年至少测定一次。
 3. 击穿电压为保证项目, 每年至少测定一次。用户使用前必须进行过滤并重新测定。
 4. 测定击穿电压允许用定性滤纸过滤。

表 1-2

运行中的汽轮机油质量标准

序号	项 目	设备规范	质量指标	检 验 方 法
1	外 状		透 明	外观目测
2	运动黏度 (40℃), m ² /s		与新油原始测值偏离≤20%	GB/T 265—1988
3	闪点 (开口杯), °C		与新油原始测值相比不低于 15	GB/T 267—1988
4	机械杂质		无	外观目测
5	颗粒度 ^①	250MW 及以上	报告 ^②	SD/T 313—1989 或 DL/T 432—2007
6	酸值, mgKOH/g	未加防锈剂油	≤0.2	GB/T 264—1983
		加防锈剂油	≤0.3	
7	液相锈蚀		无锈	GB/T 1143—2004
8	破乳化度, min		≤60	GB/T 7605—1987
9	水分 ^③ , mg/L	200MW 及以上 200MW 以下	≤100 ≤200	GB/T 7600—1987 或 GB/T 7601—1987
10	起泡沫试验 ^④ , mL	250MW 及以上		GB/T 12579—2002
11	空气释放值 ^⑤ , min	250MW 及以上		SH/T 0308—1992(2002)

- ① 对 200MW 机组油中颗粒度测定, 应创造条件, 开展检验。
 ② 参考国外标准控制极限值 NAIS638 规定 8~9 级或 MOOG 规定 6 级 (见下面国家规定防油质劣化措施); 有的 300MW 汽轮机油润滑系统和调速系统共用一个油箱, 也用矿物汽轮机, 此时油中颗粒度指标应按制造厂提供的指标。
 ③ 在冷油器处取样, 对 200MW 及以上的水轮机油中水分质量指标为 ≤200mg/L。
 ④ 参考国外标准极限值为 600/痕迹 mL。
 ⑤ 参考国外标准控制极限值为 10min。

表1-2中,对闪点、水分两项指标做了修正;而颗粒度、气泡沫试验和空气释放值三项指标是新增加的;颗粒度的标准参考国际标准。

1.3 油的劣化分析及净化处理

1.3.1 油劣化的原因及防止

油在使用或储存的过程中,由于某种原因产生有机酸及氧化物,使得油被氧化后酸值增高,闪点降低,黏度增大,颜色加深,并有胶质及油泥沉淀物析出,油的性能指标变坏,从而不能保证设备的安全可靠运行。这种使油的性能恶化的变化称为油的劣化。这将影响正常润滑及散热作用,腐蚀金属及纤维,使操作控制系统失灵等。油劣化后在高温下运行如产生氢和碳化氢等气体,气体将与油面的空气混合而成为爆炸物,更危及设备安全运行,应严加防范。油劣化的根本原因是被氧化,而促使油加速氧化的因素有水分、温度、空气、天然光线、电流等。

(1) 水分。水使油乳化,加速油的氧化。水分从几方面进入油中:油与空气接触而吸收大气中水分;空气在低温油表面冷却后而析出水分;设备的密封漏水或冷却器破裂漏水;变压器、储油罐的呼吸器中干燥剂失效,使得空气中的水分进入设备;油系统或操作系统中混进的水分,以及油氧化后也会生成水分等。为了避免和预防油中混入水分,应将用油设备密封,与空气隔绝,运行人员注意监视冷却器水压,防止油冷却器渗漏,并注意油位和油色的变化等。

(2) 温度。当油的温度很高时,会造成油的蒸发、分解、碳化,闪点降低,同时加速油氧化。根据试验可知,在正常压力下,油温 30°C 时氧化很少;油温升高至 $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ 时开始加速氧化;当温度超过 60°C 时,每增加 10°C 氧化速度增加一倍。所以,一般规定汽轮机油温度不得高于 45°C ,绝缘油不得高于 65°C 。水电站油系统油温升高的主要原因是设备运行不良造成的,如机组甩负荷、冷却水中断、冷却效果下降等。

(3) 空气。空气中含有氧、水分、沙粒、尘埃等,促使油发生氧化,并增加油中的水分和机械杂质。油与空气直接接触或以泡沫形式接触,会造成不同的接触面,接触面越大,氧化速度越快。产生泡沫的原因有:运行人员加油时速度太快,因油的冲击而产生泡沫;回油管设计不正确或流速太大造成泡沫,以及设备对油搅动也会产生泡沫。

(4) 天然光线。天然光线含有紫外线,对油的氧化起触媒作用,加速油的劣化。

(5) 轴电流。当轴承绝缘损坏时,电流通过油膜,使油分解劣化,引起油颜色变深甚至发黑,并产生油泥沉淀物。例如,发电机转子铁芯所产生的涡流通过轴颈后穿过轴承的油膜时,促使油劣化。

(6) 其他因素。如金属与油接触(特别是铜)促使油品氧化变质,检修清洗不良,净油与污油相混合而污染,以及不同牌号油混合等。

为了防止油产生劣化,延长油的使用寿命,应采取相应的措施加以防护:保证设备密封正常,保持呼吸器的性能良好,以防止水分混入;保证冷却水供水正常,防止油和设备过热;油系统的供排油管应伸入油面下,防止油泡沫产生;应在阴凉干燥处存储,避免阳光直接照射;在轴承等处加绝缘垫,以防止轴电流;保持设备检修后清洁等。在运行中,如果油有劣化现象,应根据劣化程度采取不同措施加以净化,以恢复原来的使用性能。

1.3.2 净化处理

水电站习惯上把新出厂的油称为新油；不含水分和机械杂质，符合质量标准的油称为净油；符合运行标准的油称为运行油；对于劣化变质的油，根据劣化程度不同分为污油和废油两种。轻度劣化或被水分和机械杂质污染的油称为污油，污油采用简单机械净化法处理后可继续使用，称为油的净化。对油发生了深度劣化称为废油，需要采用化学或物理化学的方法进行处理，方能使油恢复原有的性能，这种处理废油的方法称为油的再生。

(一) 油的净化

(1) 澄清。

油长时间在储油设备中静置，密度比油大的水和机械杂质便会沉到底部，然后将其排出。澄清时，其速度与油的黏度成反比，又与温度及油层的高度有关系。油的黏度越大、油层高，澄清速度慢；适当提高油温可减小油的黏度，提高沉淀速度。

这种方法无需添置设备，使用简便，对油质无损害，在中小型水电站中应用较广泛。缺点是净化时间长，不能完全除去油中的水分和杂质，还需采用其他方法。

(2) 压力过滤。

压力过滤是利用压力滤油机把油加压，使之通过具有吸收水分和阻止机械杂质通过功能的过滤层，以达到使油净化的目的。

压力滤油机的工作原理如图 1-2 所示。压滤机由齿轮油泵 3、预过滤器 2、三通阀 4、回油阀 10、滤油器 6（包括滤框、滤板、滤纸、油盘）等组成。滤油器是压力滤油机的主要工作部件，它由 15~20 块铸铁滤板和滤框顺序交替地组成各个独立的过滤室，滤板和滤框之间放有特制的滤纸，且用螺旋夹将三者压紧，结构如图 1-3 所示。滤油时，油泵将污油从压力滤油机进油口吸入，通过预过滤器，除去较大的杂质，再经油泵加压后进入滤油器，通过滤框孔口流入两层滤纸间的空腔中，再透过滤纸，从滤板上的沟道网汇集到滤油器下方的管孔流出。油在透过滤纸时，因滤纸纤维有极细小的孔洞而形成毛细管作用，不仅能阻止杂质通过，还能吸收油中的水分。当滤纸的纤维管孔吸饱水分，布满杂质后，必须更换清洗，再经过烘箱烘干后可继续使用。

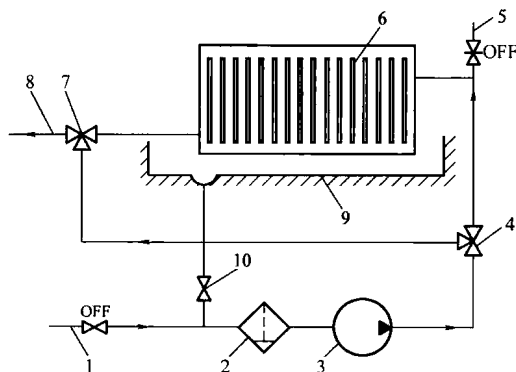


图 1-2 压力滤油机工作原理图

1—进油口；2—预过滤器；3—油泵；4、7—三通阀；5—油样口；
6—滤油器；8—出油口；9—油槽；10—回油阀

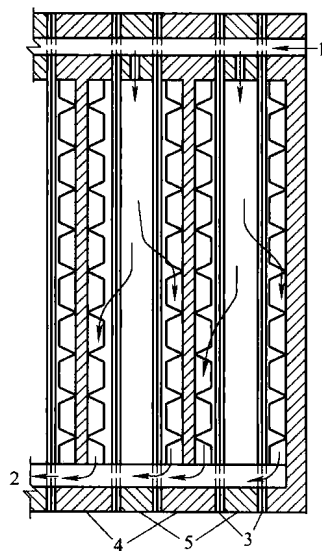


图 1-3 滤油器结构图

1—污油进口；2—净油进口；3—滤纸；
4—滤板；5—滤框

压力滤油机在使用时应注意：滤油工作宜在空气干燥、天气晴朗的情况下进行，滤纸应在烘箱内以 80°C 温度烘干 24h 后方可使用。滤油纸若被机械杂质堵塞，滤油工作压力将会上升，当超过正常工作油压的 3~5 倍（即 588kPa 以上）时应停机检查，更换滤纸。在每次更换滤纸后开机时，油中会发生很多泡沫且含有纤维，故重新开机的最初 3~4min 应当把滤出的油送回污油中重新过滤。滤油过程中，每隔一段时间应取油样化验检查，合格后方能使用。

压力滤油机过滤油的质量较高，能彻底消除机械杂质，但无法彻底消除水分。虽然操作简单方便，但其生产率较低，且过滤纸耗损较大。水电站中压力滤油机普遍用于汽轮机油的净化。

(3) 真空过滤。

真空过滤是利用油和水的汽化温度不同，在真空罐内水分和气体形成减压蒸发，从而将油中的水分及气体分离出来，以达到除水脱气的目的。真空过滤是一种快速除水的好方法，在水电站应用广泛。

真空滤油机的工作原理如图 1-4 所示。将污油由压力滤油机 2 输送至加热器 3 加热至 $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ ，用油泵 5 经过喷嘴 11 扩散成雾状压向真空罐 4 内，由于油与水的沸点不同，而沸点又与压力有关，在一定温度和真空下，沸点降低，使油中的水分与气体汽化，形成减压蒸发，油与水分及气体得到分离，再利用真空泵 6 经油气隔板 10，将水蒸气及气体抽吸出来。

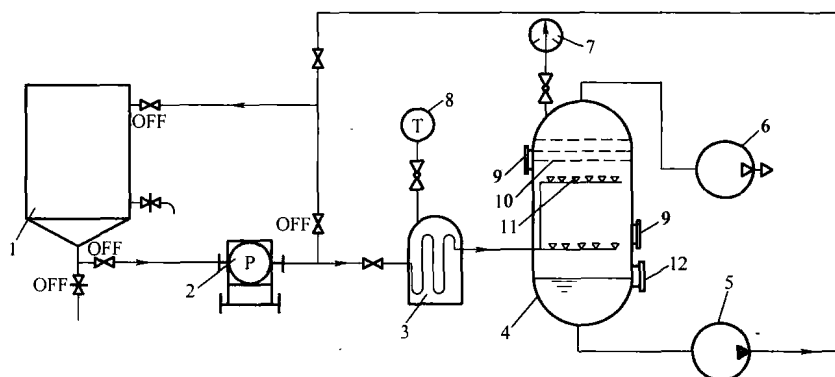


图 1-4 真空滤油机工作原理图

1—储油罐；2—压力滤油机；3—加热器；4—真空罐；5—油泵；6—真空泵；7—真空表；
8—温度计；9—观察孔；10—油气隔板；11—喷嘴；12—油位计

真空滤油的操作程序如下。

- 1) 将油先用压滤机在储油罐内循环过滤，初步过滤除掉油中杂质和水分。
- 2) 将初步过滤的油送入加热器，并由油泵通过喷雾喷嘴成雾状压向真空罐。
- 3) 当真空罐上油位计达到 1/2 油位时，用另一台压滤机或油泵将罐内的油抽出至储油罐。如此不断循环，并控制真空罐进油压力为 $200\sim 300\text{kPa}$ ，同时调节出油，使进出油量平衡。
- 4) 待加热器出油温度达到 $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ 时，开启真空泵，使罐内真空度逐渐提高至额定值，油循环趋于正常，直至污油中的除水、脱气达到合格为止。

真空滤油的优点是速度快（比压滤机除水效能高二十多倍）、质量好、效率高；缺点是不能清除机械杂质。真空过滤对汽轮机油和绝缘油都适用，特别是对于变压器等用油量大、油中机械杂质少的设备，在检修后注油或运行时换油，常用这种净化方法。