

孙坚明 李荫才 编著

矿物汽轮机油 维护与管理



 中国标准出版社

矿物汽轮机油

维护与管理

孙坚明
李荫才

编著

中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

矿物汽轮机油维护与管理/孙坚明,李荫才编著.

北京:中国标准出版社,2006

ISBN 7-5066-4274-3

I. 矿… II. ①孙…②李… III. 矿物—油—应用
—汽轮发电机组—维护 IV. TM311

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 117835 号

中国标准出版社出版发行
北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/32 印张 4.375 字数 115 千字

2006 年 12 月第一版 2006 年 12 月第一次印刷

*

定价 14.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

前

言

随着电力工业的不断发展,特别是近年来 300 MW 和 600 MW 的汽轮机组迅速增多,对汽轮机油的质量、性能及运行中的维护管理都提出了更高和更新的要求。

本书紧密配合《GB/T 14541—2005 电厂用运行矿物汽轮机油维护管理导则》的要求,强调应将维护管理措施由原来的以防劣措施为主转变为重点放在加强油系统污染控制上,并从机组的设计、制造、安装、运行及检修等各个环节对控制污染提出具体要求和维护措施,包括油系统的清洁与冲洗、油的净化处理的各种方法以及金属防锈等。

本书还针对大机组油系统由于受杂质污染使油系统的洁净状况不良而导致运行油寿命缩短的影响因素作了重点的叙述;此外还增加了运行油试验项目的主要内容并对其试验的意义进行了叙述。

本书内容紧密结合实际,对广大的电力油务工作人员(包括管理人员)以及电力院校相关专业的师生都有一定的参考价值。

由于我们的水平所限,谬误之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006.8

目

录

第一章 汽轮机油的功能与特性	1
第一节 汽轮机油的性能	1
一、汽轮机油的功能	1
二、汽轮机油的特性	5
第二节 新汽轮机油的技术规范	11
第二章 运行汽轮机油的性能变化	19
第一节 油质劣化的原因	19
一、受热和氧化的变质	19
二、影响汽轮机油变质的因素	19
三、辐射对汽轮机油的影响	23
四、油品的化学组成影响	25
五、润滑油系统检修质量的影响	26
第二节 汽轮机油劣化的危害性	26
一、润滑功能的危害	26
二、调速作用的影响	27
三、散热冷却作用的影响	27
第三节 运行中汽轮机油的试验项目及意义	28
一、物理性能试验	28
二、化学性能试验	32

三、其它试验	39
四、汽轮机严重度	47
第三章 运行汽轮机油的评定	51
第一节 取样	51
一、新油到货时的取样	51
二、运行中的取样	52
三、颗粒计数测定的取样	52
四、取样容器	56
第二节 汽轮机油的检验监督	57
一、设备中新油的检验	57
二、运行中汽轮机油的监督	59
三、试验结果的解释及相应措施	66
四、油的相容性(混油)要求	69
第四章 运行汽轮机油的维护	71
第一节 油系统的污染控制	71
一、油循环设备的优化设计与完善	71
二、油系统在基建安装阶段的污染控制	73
三、油系统冲洗技术措施	75
四、油系统冲洗	82
五、运行油系统的污染控制	83
第二节 化学添加剂的防护措施	85
一、抗氧化添加剂	86
二、防锈蚀添加剂	90
三、辅助型添加剂	93
四、复合添加剂	97

第三节 油净化的处理	97
一、颗粒过滤器(滤油器)	98
二、重力沉降净油器	111
三、离心分离净化	112
四、水分聚集/分离净油器	114
五、真空净油	115
六、磁性过滤	118
七、吸附净油器	119
第五章 汽轮机油的管理	123
一、储存和输送的管理	123
二、技术管理	124
三、安全和卫生管理	124
附录 润滑油氧化稳定性测定法(旋转氧弹法)	126
参考文献	131

第一章 汽轮机油的功能与特性

第一节 汽轮机油的性能

一、汽轮机油的功能

1. 润滑功能

对于电力工业的发电系统目前主要分为热力发电和水力发电两大类。热力发电所使用的固定式汽轮机主要是蒸汽轮机(包含核电)和燃气轮机发电机组。它们的润滑要求十分相似,但也存在着重要的区别。如燃气轮机的润滑油受到的“局部热点”的温度会很高,而受到水分的污染则较少。

由石蜡基原油经过高度精制而成的汽轮机油能在汽轮机一发电机组的轴颈轴承内和止推轴承内形成一定厚度的油膜,使机轴被托起而离开轴瓦,所形成的油膜承受着全部轴承荷载的压力(见图 1-1 和图 1-2),从而避免了轴承的干摩擦,也就是汽轮机油起到了润滑的作用。由于汽轮机油在轴承内的润滑,使得轴承的摩擦系数很小,一般为 $0.0001 \sim 0.005$ 之间。对于一个给定的汽轮机一发电机组的滑动轴承来说,汽轮机油的最低粘度一般是受机器的转速和轴承荷载而决定的,不能随意更换。

因此,汽轮机油的润滑功能主要体现为:能在一定的运行温度变化范围内和油质合格的条件下,保持油的粘度;能在轴承和轴颈之间形成一定厚度的能承载荷载压力的薄的油膜,以抗拒轴颈和轴承之间的磨损并使摩擦减小到最低程度。

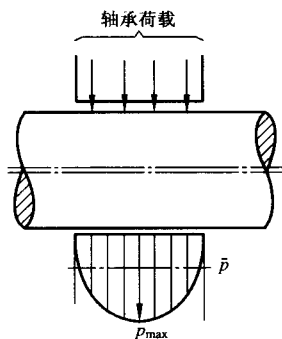


图 1-1 轴承轴向上油膜压力 p 的分布情况

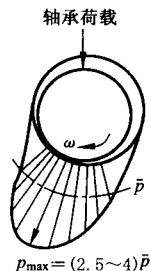
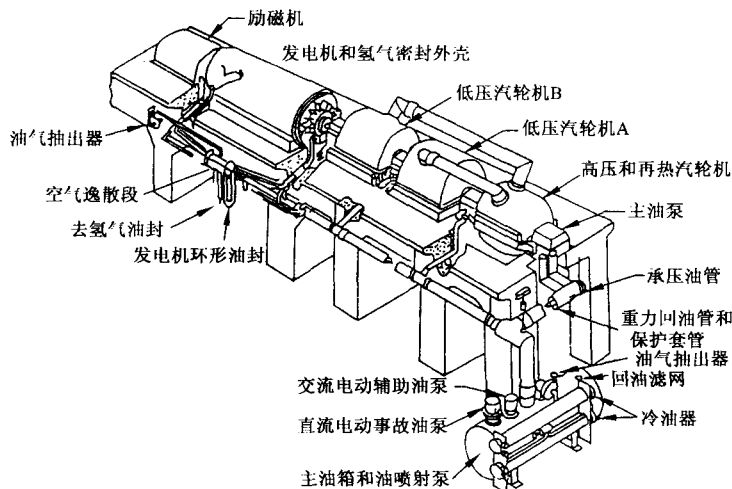


图 1-2 轴承周围油膜压力 p 的分布情况

2. 热传导和冷却功能

汽轮机油在对汽轮发电机组的轴颈轴承、止推轴承和轴瓦进行润滑的同时，还能将它们互相因摩擦所产生的热量，迅速吸收到油中并通过自身的流动而将热量带走，从而避免因摩擦而产生的高温聚结，而导致轴承和轴瓦的烧损。而吸收了热量的汽轮机油通过润滑油系统进入油冷却器，油在这里可将循环中获得的热量散发，它是通过油与管内的冷却水进行热交换而达到使热油冷却的目的。冷油器是安装在油泵的出口侧，油被冷却到合适的温度后再通过增压油泵向主油泵供油，最后由主油泵向所有的轴承、轴封提供连续不断的油流进行润滑和吸收热量，达到使轴承、轴颈冷却的目的。润滑油就是这样周而复始地循环，起到润滑和散热冷却的作用。图 1-3 为润滑油系统结构图。

通常情况下，冷油器由两台并联，运行中如果一台发生渗漏或堵塞，另一台即可发挥备用作用。冷油器的冷却水在管内流动，因此管子有可能被污染或堵塞，需要经常进行清理，以保证对润滑油的冷却效果。



(不包括油处理设备及其补给供油系统接口以外的设备)

图 1-3 汽轮机—发电机组润滑油系统结构布置图

3. 汽轮机油的调节功能

汽轮机油除了起润滑和传热冷却功能以外,还可以作为汽轮机调节保安系统提供控制汽门的动力。汽轮机油通过油动机控制调节阀的开度按指令变化,它可以满足机组运行启动(冲转、升速、并网和接带负荷)需要;调频、负荷调度(厂内或调度中心遥控)需要以及甩负荷和停机等各种运行工况对调节功能的要求。图 1-4 为伺服阀构造。

矿物汽轮机油自身存在局限性,它的自然点较低,只有 350°C 左右。而随着电力工业的发展,大容量、高参数机组相继得到了普遍的使用,汽轮机的主汽门、调节汽门及其执行机构的尺寸也相应加大,为了减小液压部套的尺寸,必须提高调节系统的压力。同时,随着机组输出功率的增大,控制系统的设计要求更加紧凑,它的压力已升至 $10.0\text{ MPa}\sim 15.0\text{ MPa}$,润滑系统的用水量也有显著的增加。表 1-1 为大容量汽轮发电机组相关条件的变化。

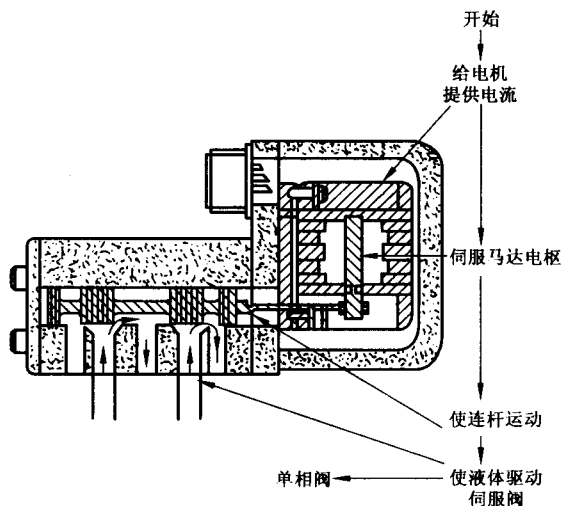


图 1-4 单向伺服阀

表 1-1 500MW~1000MW 汽轮发电机组相关条件变化情况

项 目	结 果
汽轮机主蒸汽的温度/ $^{\circ}\text{C}$	565
矿物汽轮机油的自然温度/ $^{\circ}\text{C}$	300~350
调节系统(液压系统)的压力/MPa	1.5~15.0
润滑系统的压力/MPa	0.2~0.4
油系统的总油量/t	25~110

图 1-5 为汽轮机输出功率与润滑系统用油量的近似关系曲线。

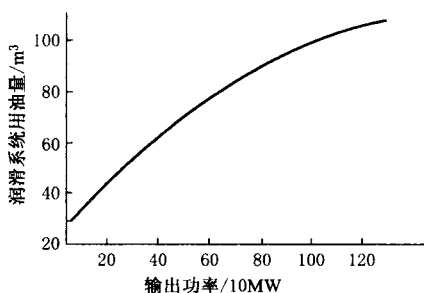


图 1-5 汽轮机输出功率与润滑系统容量的近似关系

此时如果调节系统中使用矿物汽轮机油,就增加了油泄漏到主蒸汽管道($>530^{\circ}\text{C}$)的可能而导致火灾的危险性。国内过去曾不只一次发生过汽轮机油因泄漏到主蒸汽管道而发生火灾,烧毁机组的事故。因此,目前国内 300 MW 及以上的机组,采用将调节系统与润滑系统分开,在调节系统中使用高自燃点($>510^{\circ}\text{C}$)和极压性能良好的磷酸酯类抗燃油,以代替矿物汽轮机油。将机械液压改为电液调节系统(EHC),以改善调节系统的动态特性,降低甩负荷时的飞升转速,减少油动机的时间常数,保证机组的安全经济运行。

二、汽轮机油的特性

1. 粘度

粘度是汽轮机油最重要的一个特征,因此必须根据机件结构及特定的运行条件进行选择。汽轮机油的粘度对汽轮机的轴颈和轴承面形成的油膜厚度和决定轴承的效能及稳定特性都是非常重要的。对一个给定的滑动轴承来说,汽轮机油的最低粘度一般是受机组的转速和轴承荷载制约的。油的粘度决定了油的流动能力和油支撑负荷及传送热量的能力。

润滑油的粘度等级,目前世界上已公认以 ISO(国际标准化组织)的分类标准为准。它规定在 40°C 下油的粘度中心值(mm^2/s),分为 VG32、VG46、VG68 及 VG100 等。

从安全角度考虑,一般趋向于选择粘度较高的油。较高的粘度,虽然会导致一定的温升,但是温度的升高却又使粘度相对降低。只要油温和摩擦部位的温度均在允许范围内,这种相互影响的关系反而可以创造满意的工作条件。但过高粘度的油会延迟液压系统的动作时间(如调节系统),但是油质过稀又会引起设备的磨损、滑转和漏损,并降低液压泵的容积效率。

汽轮机一发电机组所用的汽轮机油在选择粘度等级牌号时,是根据所设计的机组转速参数由制造厂建议规定的,运行部门应遵照厂家的建议执行,不得擅自更改汽轮机油的等级牌号。但运行部门

可以向设计、制造厂家建议或协商,统一汽轮机油的粘度等级牌号,以便尽量减少在同一电厂中使用不同粘度等级规格的汽轮机油,造成管理上的混乱。

汽轮机油除了要求具有适当粘度外,还要求油的粘温特性要好。因为油的粘度随温度不同而有显著的变化,正常的汽轮机油的运行温度范围内允许的变化幅度是由汽轮机的设计和制造厂规定的。为了保证机组在不同的温度下都能得到可靠的润滑,要求汽轮机油的粘度随温度的变化愈小愈好。粘温特性或称粘度指数,它是以同一粘度等级牌号的油,除测定 40°C 的粘度值外,还测定 100°C 的粘度值,然后根据方法规定的计算公式而得到的一个无名数字,即为粘度指数,一般取整数表示。数字越大,表明它的粘度指数越高,粘温性能越好。一般要求粘度指数应 ≥ 90 ,有的标准要求粘度指数应 ≥ 95 。

润滑系统启动前,油泵允许的汽轮机油的最大粘度值和最低的油温,也是由汽轮机制造厂规定的。

正确地选择汽轮机一发电机组所用的汽轮机油粘度额定值(即粘度等级牌号),它可以减小轴承的摩擦力,并可以降低轴承的动力损失。虽然油在转轴高速运转时,能为轴颈与轴承间提供相当丰厚的油膜,可是在起动、盘车、停机时仍会发生金属对金属的摩擦。轴颈转速低时,为了保护轴承,必须保持轴承轻负荷,还应有适当的油膜强度,以最大地减小摩擦。汽轮机油可以形成高强度的油膜,以适应不同转速时的轴承润滑。所以对精炼的汽轮机油,必需粘度指数要高,油的粘温性能才会好。

2. 防锈和防腐蚀性能

汽轮机油本身是无腐蚀性的。但在运行中汽轮机油不可避免地会有蒸汽或水分侵入,从而使油系统产生锈蚀。水分还能加速汽轮机油的氧化变质,其氧化产物中可能还有水溶性酸存在,使锈蚀的情况更为严重,它能引起调速系统卡涩、机组振动、轴承的磨损等不良后果。而在油流动的空间、游离水所覆盖的表面以及由于润滑系统产生溅污的表面都容易产生锈蚀。因此,保护措施是需要的。所以



新汽轮机油均应含有防锈蚀添加剂,以确保汽轮机油具有良好的防锈性能。虽然锈蚀是汽轮机油润滑系统中最重要腐蚀来源,但还有其它类型的腐蚀存在,如被活性硫或强酸性物质腐蚀。但通常这些因素的腐蚀影响是相当小的,因为新油对活性硫有很严格的要求,不允许油中有活性硫的存在。但若使用的是再生汽轮机油或是非正规的厂家生产的汽轮机油时,我们不应该忽视活性硫或其它物质带来腐蚀的可能性。

3. 破乳化和析水性能

破乳化性能是汽轮机油的重要指标之一。油中有水分存在和有激烈的搅动是产生乳化的主要原因,同时汽轮机油因氧化变质而生成的环烷酸皂、胶体或者润滑系统受到了某些表面活性物质的污染,它们都是乳化剂。润滑系统如果存在有这些表面活性物质,则更易使油乳化。

乳化油可分为两种型态:油包水型和水包油型。如果油中存在的表面活性物质若为一价金属(如 K、Na 等)皂化物时,由于其极性较强,易溶于水中,此时水作为外相将油滴包住而形成水包油型。若乳化剂物质为高价金属(如 Ca、Mg、Al、Mn 等)皂化物,由于其极性较弱,从而形成油包水型。但是油相和水相随着各自浓度的变化而在一定条件下会相互影响和转换。如将少量的水加入大量的油中,结果会形成油包水型乳化油;若增大水的量至某一限量时,则油包水型乳化液也可以转变成水包油型乳化液。若再增大油的量至某一限量时,则水包油型乳化液又可转变为油包水型乳化液。在汽轮机润滑油系统中,如果存在的是油包水型的乳化液,则它在对轴颈和轴承的润滑时,所形成的油膜就难以承载轴承荷载的压力,会使轴承磨损、甚至引起机组的振动;如果在油系统中存在的是水包油型乳化液,则使水与金属表面直接接触,而导致系统的锈蚀。

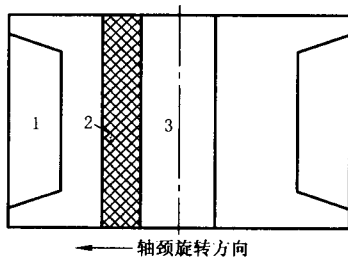
若使用的汽轮机油具有良好的析水能力,即使水分侵入到油中,水则会从油中较快的分离而沉降到油箱底部,可及时排出而不会形成乳化液;若油品析水能力差,就会有一定量的水混合在油系统中,

可能形成乳化油。其结果不但影响了油的润滑性能,还会使油中的添加剂损失。因此,要求汽轮机油应具有良好的破乳化性能和析水能力。

4. 氧化稳定性

新汽轮机油氧化稳定性是最重要的性能之一。汽轮机油在系统中循环时,由于油处在一种紊流状态下流向轴承、联轴器和排油口时,都会挟带着空气,因而汽轮机油不可避免地会与大量的空气接触而发生氧化。油的轻度氧化一般危害不大,这是由于最初的氧化生成物是可溶性的,对油没有明显的影响。但若氧化不加以抑制任其发展下去,则会产生有害的不溶性产物,随着油的深度氧化将会在轴承通道内、冷油器、过滤器、主油箱和联轴器内,形成胶质、沥青质和油泥。这些物质的堆积,会形成绝热层而限制了轴承部件的热传导。而氧化形成的部分可溶性的氧化物,在低温时又会转化为不溶性的物质沉析出来,堆积在润滑油系统中的较冷部位,特别是在冷油器内,而影响到油的散热冷却功能。图 1-6 为油泥在轴承中的堆积区域。

运行中油由于金属的催化作用(如铜、铁)而加速了油的劣化,使油的氧化稳定性降低。同时油的氧化稳定性还与油中抗氧化剂含量也有关系,而抗氧化剂的含量随着它在控制氧化进程中,链的中止阶段的化学活性的下降或伴随着抗氧化剂的挥发损失而发生变化。一般新汽轮机油中的抗氧化剂含量应维持在 0.5% 左右。而随着运行时间的延长,应不定期检验抗氧化剂(T501)的含量以便补充油中的抗氧化剂的量,延长汽轮机油的运行寿命。



1—油室;2—沉积区;3—承重力

图 1-6 轴瓦中的油泥沉积

测定汽轮机油的抗氧化稳定性有两种方法:第一种方法是在有



铜和铁的催化剂存在下,在 120°C 温度下通入氧气。每隔一定时间,测定一次酸值,一直到酸值KOH达到 2.0 mg/g 时所需要的时间。一般要求酸值KOH达到 2.0 mg/g 的时间应大于 $2\,000\text{ h}$ 才符合新汽轮机油的要求。该方法耗时较长,一般运行单位无法开展。但生产汽轮机油的供货厂家是必需开展的一项试验,最少应每年对出厂的产品进行一次检测,因为氧化稳定性是标准规定的保证项目。第二种方法是用旋转氧弹方法作为测定油的氧化稳定性的一种快速评定方法(详见附录)。它是将油在有水和铜催化剂的存在下,将试样放入氧弹内,氧弹在室温下充入 620 kPa 压力的氧气并置于 150°C 的油浴中,氧弹以 100 r/min 的速度轴向旋转,当氧弹中氧气的压力降到规定的 175 kPa 时,停止试验并记录试验时间。根据氧弹的试验时间以分钟(min)表示,作为试样的氧化稳定性。一般要求新汽轮机油应不小于 200 min 。该方法较为简单、快速,一般试验室均可开展,但设备费用较高。

运行汽轮机油的氧化稳定性的下降,是由于油中酸性化合物的不断产生,并进一步反应形成混合的化合物,这一过程的最终产物是不溶性油泥沉淀。尽管这些沉淀只占油量的很小部分,但这些不溶性的油泥沉淀物会在系统的循环区中沉积堆积起来,从而影响正常的润滑和轴承及运动部件的冷却。

酸值是油品氧化程度的指示。大多数用于汽轮机油中的防锈剂(如 T746)是酸性物质,因此对新油的酸值有影响。若运行中汽轮机油的酸值超出了上述新油的值,则表明运行汽轮机油中有酸性氧化物的生成,或者多半伴有酸性物质的污染。从而说明该运行油的氧化稳定性下降。因此准确地测定运行汽轮机油的酸值是很重要的。但必须指出,由于防锈剂(如 T746)在运行油中有可能随水分而流失或其它原因的消耗,使运行油的酸值反而低于新油的酸值,但这并不能说明运行汽轮机油的氧化稳定性寿命没有下降。作者认为最好是不定期的用旋转氧弹方法来测定运行汽轮机油的氧化稳定性情况,便于及时采取措施(如补加 T501 抗氧化剂)。