

# 汽轮机润滑油系统的问题分析及处理

李 旭

(国能神皖池州发电有限责任公司, 安徽 池州 247100)

**摘要:** 文章分析了汽轮机组润滑油系统运行中涉及的常见问题, 解读主机润滑油温度对轴瓦影响、润滑油油质差、润滑油系统着火、盘车无法投入等问题的原因和预防措施, 希望引起业内人士的重视和关注, 确保汽轮机组润滑油系统安全、可靠、经济运行。

**关键词:** 润滑油系统; 管道及阀门; 装置

**中图分类号:** TK263

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1674-1064 (2022) 03-019-03

**DOI:** 10.12310/j.issn.1674-1064.2022.03.007

## 1 主机润滑油系统介绍

润滑油系统为汽轮发电机组的支撑轴承、推力轴承和盘车装置提供必要的润滑和冷却油, 为发电机的氢密封系统提供密封油, 为操作机械超速跳闸装置提供压力油。本机组润滑油牌号为32L-TSA/GB11120-89透平油汽轮机油<sup>[1]</sup>。

主机润滑油主要由主油泵、冷却器、顶轴装置、盘车装置、排烟系统、油箱、交流润滑油泵、DC事故油泵、滤网、加热器、油位指示器、油管和阀门、各种仪表等组成。

汽轮机润滑油系统简图如图1所示。

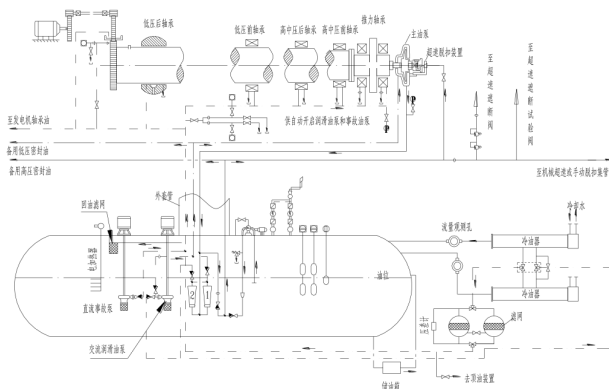


图1 汽轮机润滑油系统简图

油箱中的油被吸入注油器后分为两路。一路通向主油泵入口, 另一路通向换向阀和油冷却器, 然后通向轴承。主油泵出口的少量压力油还通过止回阀进入前轴承座中的机械超速跳闸和手动跳闸装置, 作为发电机的氢密封备用油源。主油泵启动前, 驱动高压泵(齿轮泵)供给压力油。驱动轴承润滑油泵供油, 通过换向阀和油冷却器送至各轴承。

主机停机时, 主油泵出口压力逐渐降低, 油压降至一定值时, 轴承油泵也可启动。如果油泵出口油压达不到规定值, 则启动危急油泵, 轴承油泵和危急油泵互相联锁。

## 2 润滑油系统的运行

主油泵的出口压力油分成两部分: 一路向汽轮机的机械超速危急遮断器供油, 同时作为发电机的高压备用氢密封油; 另一路作为涂油机的喷射动力油。

来自注油器的油分为三路: 主油泵的进油; 通过油冷却器输送到每个径向轴承、推力轴承和盘车装置的润滑油; 发电机低压备用氢密封油。

主油泵供应给机械超速紧急跳闸装置的油通过一个固定节流孔在紧急跳闸油路中形成压力。当危急遮断装置动作时, 它会立即使危急遮断油泄压。因为节流孔, 此时流入油路的压力油不足以影响快排油的压力损失; 流经节流孔的油量很小, 主油泵出口油压和油量不会发生太大的变化。主油泵是离心式的, 安装在前轴承座内。

油泵的叶轮安装在转子的延伸轴上。泵的进口为双吸式, 出口为截面为梨形的螺旋蜗壳。入口和出口处有排气塞。泵的下半部分有一个机械超速跳闸装置。油泵的延长轴上装有止推轴承的止推板, 延长轴的左端与高压转子连接。延长轴靠近油泵, 加工了60个齿用于测速。叶轮由青铜精密铸造而成。叶片向后弯曲。在主油泵的右侧, 也就是延长轴的右端, 有一个带内螺纹的短轴, 短轴上装有离心式危急遮断器和轴向位移测量板, 在短轴上有一个相位槽用于动平衡, 在叶轮和短轴上有小孔用于通风, 以排除叶轮入口处的空气。短轴上的紧急断路器旁边有一个通孔, 用于通风。泵壳出口法兰下有一个密封圈, 安装在前轴承座底部。密封圈的顶部和底部各有一个密封圈, 在前轴承座在座架上运动时发挥密封作用。

在机组启动和停止过程中, 当主轴转速低于2 850转/分钟时, 主油泵不能提供足够的油压和油量, 注油器不能正常输出。必须启动电动辅助油泵, 满足系统的供油需要。辅助油泵包括交流润滑油泵和氢密封备用油泵。交流润滑油泵为轴承润滑油和低压备用氢密封油提供全部用油, 氢密封备用

油泵为高压备用氢密封油和危急遮断装置提供全部用油。

发电机轴承进、出油管不是设置油管，其轴承油通过油氢分离箱排氢后排入主油箱。安装在油箱管路中的部件有溢流阀、高压泵出口止回阀、主油泵出口止回阀、孔板、喷油器及其出口可调止回阀、轴承油泵（离心式）及其止回阀、应急油泵（离心式）及其止回阀。过滤器滤网安装在喷油器、轴承油泵和应急油泵的吸入口。油过滤网也安装在油箱内的回油箱中。油箱内的回油箱内还安装有滤油网，油箱内还安装6个浸入式电加热器。

### 3 注油器结构及工作原理

喷油器又称喷射泵，可以将小流量高压油转换为大流量低压油。但运行时噪音大、效率低。滑油系统通常使用注油器向主油泵入口和滑油主管供油。注油器主要由喷嘴、混合室、喉管和扩散段组成，如图2所示。

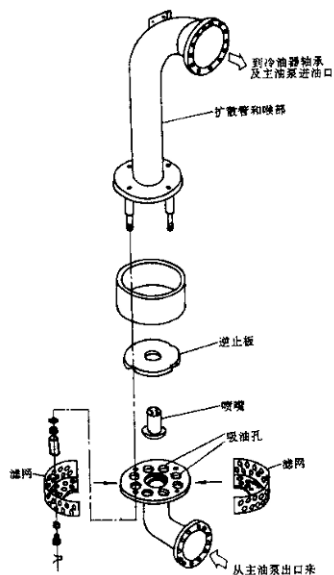


图2 注油器

喷嘴的入口与提供动力油的主油泵的出口相连。工作时，高压动力油从喷嘴高速喷出。这种高速机油流经混合室，在混合室中形成一个低压区，将油箱中的机油吸入混合室。从油箱吸出的油量基本等于主油泵供给喷嘴入口的动力油量。油流通过喉部进入扩压器后，速度降低，部分动能转化为压力能，使压力增大。最后会用到有一定压力的供油系统<sup>[2]</sup>。国产进口300 MW机组在注油器的扩散器后装有一个可调止回阀，可以防止注油器不工作时油从系统回流到油箱。在混合室吸油孔的上方，有一个可以自由移动的止回板。主油泵和注油器正常工作时，混合室内有负压，止回板顶起，油箱内的油可通过8个吸油孔吸入混合室内。

电动辅助油泵在机组启停过程中，止回板落下，防止系统中的油通过吸油孔回流到油箱中。该止回板是装置注油

器的独特结构，与扩散器后面的止回阀一起将油回流的可能性降至最低。1号、2号机组配有两个加油器，安装在油箱油位下的管道上。1号注油器入口接主油泵和氢密封备用油泵出口压力油管路，出口油送至主油泵进口。2号注油器的出口油通过油冷却器送至轴承润滑油母管。为防止喷嘴被杂质堵塞和异物进入系统，在注油器的吸油侧安装了一个可拆卸的多孔钢网。这种滤网在一定程度上也发挥了稳定注油器运行的作用。

### 4 轴瓦结构及工作原理

在汽轮机中，轴瓦作为轴承的一个关键部件，是滑动轴承与轴的接触部位，非常光滑。一般由青铜、减摩合金等耐磨材料制成，也叫“衬套”，为瓦状发半圆柱面。它的主要作用是承受轴颈给予的作用力，保持油膜稳定，使其运作稳定，减少摩擦造成的损失。

汽轮机都采用液体摩擦滑动轴承。运行时，轴颈与轴瓦之间形成油膜，建立液体摩擦，保证机组安全稳定运行（即正常运行时，轴颈支撑在油膜上润滑，发挥冷却作用，带走摩擦产生的热量和转子传递的热量）。

建立液体摩擦的条件包括：在两个表面之间形成楔形间隙；在两个表面之间注入足够的具有一定压力和粘度的润滑油；两个表面之间要有相对运动，运动方向是使润滑油从楔形间隙的宽口流向窄口。

影响油膜厚度的因素包括：

单位转速：转速高，油膜厚；不然就是薄。

润滑油温度：温度低，油膜厚；不然就是薄。

轴承轴向长度：轴向长度长，油膜厚；不然就是薄。

### 5 轴承的油膜振荡

#### 5.1 半速涡动和油膜振荡

轴颈在轴承中不失去稳定性的运动是单一运动——旋转；一旦失去稳定，其运动就是涡动（轴颈不仅自身旋转，而且轴颈也旋转），而且是半速涡动（即涡动速度是汽轮机转速的一半）。

失稳转速：转子开始涡动的转速（原因是油膜产生的力和转子的重量不在一条直线上，合力分解为恢复力和失稳分量，失稳分量大于恢复力就会失稳）。

油膜振荡：汽轮机启动过程中，当转速升至一阶临界转速的两倍时，半速涡动的频率恰好与转子的一阶临界转速重合，涡动被放大，振幅急剧增大。一旦发生油膜振荡，轴颈的涡动频率和振幅不会随着转速的增加而改变。

#### 5.2 半速涡动和油膜振荡的危害

油膜振荡的危害：一旦发生油膜振荡，会引起轴承油膜破裂、轴颈与轴瓦碰撞甚至损坏，还会激发转子共振，可能

导致转轴损坏。

半速涡动的危害：半速涡动时，虽然振幅不大，不会破坏油膜，但长期工作会引起零件的松动和疲劳破坏。因此，半速涡动和油膜振荡都应设法消除。

### 5.3 半速涡动和油膜振荡的消除

刚性转子可能出现半速涡动，但不会出现油膜振荡。然而，在大功率机组的柔性转子中可能会发生油膜振荡。因此，只要将转子的不稳定转速提高到额定转速以上，就可以避免油膜振荡。半速涡动的消除是通过提高转子的不稳定转速实现的，即提高轴颈的稳定性（减少轴颈在轴承中的径向位移会使不稳定分量变小，变得更稳定）。防止和消除油膜振荡的基本方法是提高转子的第一临界转速和不稳定转速。

具体措施：增加轴承比压；增大轴瓦工作弧段的椭圆度；在下瓦的适当位置开一个排油槽，以减小油楔的压力；提高润滑油的温度；减少轴瓦顶部间隙，增加上瓦宽度；使用稳定性好的轴瓦。

## 6 冷油器

机组投运时，为了维持轴承进油温度在 $38\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 49\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在润滑油系统中安装了两台油冷却器。在正常操作期间，一个被使用，另一个作为备用。两个油冷却器之间有一个换向阀（三通阀），使用哪一个油冷却器由换向阀控制。旁通阀可以通过连接管使备用油冷却器始终充满油，避免换向时进入轴承的润滑油瞬间中断。一根放油管连接到每个油冷却器顶部的油箱。油箱附近的这条管路上有一个流量观测器，可以显示油冷却器是否加满油。两个热电偶（一个在入口，一个在出口）和两个盘式温度计（一个在入口，一个在出口）安装在油箱的进油和出油管路上，用于显示油冷却器入口和出口的油温。两个盘式温度计用于本地显示，两个热电偶连接到主控制室以显示油温。两个机油冷却器具有相同的结构。

油冷却器的主要部件有壳体、水室、回流室、管束、进水管板和回流管板。管束两端的管板（进水管板和回流管板）与壳体之间有O形圈密封，回流管板外圆有L形密封垫片，有4个小孔检测油侧或水侧泄漏。回流管板是浮动的，允许管束和外壳之间的不同膨胀。水室和回流室由碳钢制成。回流室有一个排水孔，一般用螺塞堵住，维修时拧出螺塞即可排水。水室内有排水孔、排气孔和测量水压、水温的螺孔，都是标准管螺纹。水室末端有一个吊环，用于拆卸油冷却器时吊起管束，即先拆下水室，再将螺栓和吊环重新安装在水室的管板上。这个吊环提升整个油冷却器。

## 7 常见问题及解决方法

### 7.1 为什么主油箱上有排油烟机

在油箱内安装抽油烟机的作用是去除油箱内的气体和水蒸气。一方面，水蒸气不会在油箱中凝结；另一方面，油箱中的压力不高于大气压力，以便轴承油顺利流入油箱。反之，如果油箱是封闭的，油箱内会积聚大量的气体和水蒸气产生正压，影响轴承回油，同时油箱内也容易积水。

### 7.2 如何检查机油冷却器泄漏

如果运行中主油箱油位缓慢持续下降，且系统无明显外部泄漏，则应考虑油冷却器泄漏的可能性。打开运行侧主机油冷却器水侧放空阀，检查有无明显油迹，请化验人员取样分析。切换主机油冷却器，观察主油箱油位下降速度是否有明显变化。

### 7.3 机油净化器的规格

系统状态警报内容：当系统压力 $>7\text{ bar}$ 时，停机压力报警灯和顶部报警灯点亮。入口压力 $<-0.8\text{ bar}$ 。停止入口压力，同时顶部报警灯亮。保护过滤器压差 $\geq 2.4\text{ bar}$ 。连续2小时后停止过滤器压差。

### 7.4 水进入油的原因

正常情况下，主机机油冷却器投入使用后，油侧压力高于水侧，即使铜管泄漏，机油也会漏入水中。水泄漏到油侧的来源主要有以下方式：第一，轴封压力过高，轴封蒸汽冲入轴承，进入润滑油；第二，由于操作不当，备用油冷却器油侧先于油侧进水，导致冷却水通过破裂的铜管进入油侧。

## 8 结语

机组轴承为可倾瓦轴承，发电机轴承为椭圆轴承。可倾瓦轴承也叫径向轴承或自调中心轴承。工作时，扇形段可以在不同的转速、载荷和轴承温度下自由摆动，在轴径周围形成多个油楔。弹簧分别安装在轴承中分面的上部和背面，从扇形段的一端压住扇形段，人为建立油楔。润滑油从各瓦块之间的间隙进入轴承，从轴承的两端油封环开孔处排出。

## 参考文献

- [1] 张海丰.汽轮机润滑油系统和盘车问题的分析和处理[J].电站辅机,2014(4):38-39.
- [2] 李正平,周松.汽轮机润滑油系统压力异常问题分析[J].河南科技,2016(15):71-73.