火电厂 660MW 汽轮机组润滑油系统故障机理研究

李宛宜
国家电投集团贵州金元黔西中水发电有限公司　贵州省毕节市　551500

摘　要：围绕火电厂 660MW 汽轮机组润滑油系统展开研究，阐述其由主油泵、冷油器、滤油器及油箱构成的结构特点。深入分析油质乳化、氧化变质、主油泵故障、冷油器故障和油温控制不当等常见故障的现象与机理，并提出针对性应对措施，如监测压力、升级冷却系统、优化安装和改造阀门等。同时给出养护管理策略，包括制定精细化维护制度、管控油质、优化油系统设计。为保障 660MW 汽轮机组润滑油系统稳定运行提供了理论和实践依据，有助于提高火电厂发电效率与安全性。

关键词：汽轮机；润滑油系统；故障机理；故障维护

引言

火力发电领域中，660MW 汽轮机组凭借其高产能、高效率的特性，成为众多火电厂的核心发电设备，其中润滑油系统作为汽轮机组稳定运行的关键保障，为汽轮机各部件提供必要的润滑，减少摩擦损耗，还对设备的温度、压力等关键参数起到调节与稳定作用。但是由于实际运行过程中，润滑油系统由于技术管理、维护不到位导致的故障情况较多，为此，需要结合实践工作，探寻有效的故障应对策略，对提升火电厂运行可靠性、保障电力稳定供应具有重要的现实意义。

1. 660MW 汽轮机组润滑油系统结构

660MW 机组汽轮机油系统是保障汽轮机高效稳定运行的关键闭环系统，主要由主油泵、冷油器、滤油器及油箱四大核心部件构成并协同工作 [1]。主油泵通常由汽轮机主轴直接驱动，其内部密封环、叶轮、泵壳与泵轴精密配合，通过叶轮旋转产生的离心力将油箱内润滑油加压输送至汽轮机各轴承、轴封等润滑点，确保油膜稳定形成与润滑效果。冷油器采用管壳式结构，系统配置两台互为备用，润滑油在壳侧流动，冷却水在管内逆向流动，通过金属管壁的热交换实现油温控制，确保润滑油在 40–45℃的最佳工作区间。

滤油器串联于油路中，滤芯采用高精度金属网或纸质材料，可有效拦截油液中≥ 10μm 的固体颗粒杂质，部分型号配备压差报警与自动切换功能，避免杂质堵塞油路。油箱作为油液存储与处理中心，内部设有隔板、油气分离装置及回油挡板，除存储润滑、密封、调速所需油液外，还通过重力沉降分离油中水分，利用油气分离器排出空气与挥发性气体，底部排污口定期清除沉积杂质，箱壁的电加热器与温度传感器配合维持油温稳定，各部件通过管道、阀门精准连接，共同保障油系统压力、温度、清洁度的动态平衡。

2. 汽轮机润滑油系统常见故障现象与故障机理分析

2.1 油质因素引发故障

当油液乳化时，润滑油颜色发白，呈乳状液体，油液流动性变差，油位计内出现泡沫堆积，且冷油器出口油温波动较大，汽轮机轴承温度有升高趋势。

当冷油器内部铜管出现破裂或密封不严时，冷却水压力高于润滑油压力，冷却水会渗入油系统，导致油中水分含量增加。在汽轮机高速运转过程中，润滑油与水分剧烈搅拌，形成稳定的水包油或油包水乳化液。另一方面，轴封供汽压力过高、轴封间隙过大，会使蒸汽泄漏进入轴承箱，遇冷后凝结成水混入润滑油中，引发乳化。油液乳化后，其润滑性能大幅下降，无法在轴颈与轴瓦间形成良好的油膜，加剧摩擦，严重时会导致轴瓦磨损、温度急剧升高，甚至烧瓦 [2]。

2.2 油液氧化变质

油液氧化变质时润滑油颜色变深，由淡黄色逐渐变为深褐色，油液中出现胶状物质，油的酸值升高，油系统过滤器堵塞频率增加，汽轮机各润滑点的油流量下降。

润滑油在高温、氧气以及金属催化作用下发生氧化反应，油系统长时间高温运行（如冷油器冷却效果不佳，油温长期高于 50℃），会加速润滑油的氧化进程。润滑油中的基础油成分与氧气反应生成有机酸、醇、醛等氧化产物，这些产物进一步聚合形成胶质和沥青质。随着氧化程度加深，油液的粘度增大，酸值升高，不仅会腐蚀油系统的金属部件，

还会在设备表面形成漆膜，堵塞油道和过滤器，影响润滑油的正常循环和润滑效果。

2.3 主油泵故障

主油泵故障时出口压力波动会变大，润滑油母管压力下降，汽轮机轴承温度升高，机组出现异常振动，同时油泵运行声音异常，可能伴有周期性的噪声或金属摩擦声。

主油泵内部部件磨损是常见原因，如叶轮与泵壳间隙过大、密封环磨损，会导致油泵内泄漏增加，容积效率降低，出口压力不足[3]。当油泵长期运行后，轴承磨损严重，使泵轴偏心，造成叶轮与泵壳碰撞摩擦，产生异常声音和振动。油泵入口滤网堵塞、吸入管路漏气，会导致油泵吸入不足，产生气蚀现象，气蚀产生的气泡在高压区破裂，对叶轮表面造成冲击破坏,进一步加剧油泵故障,影响润滑油的正常供应。

2.4 冷油器故障

冷油器进出口油温差减小，润滑油温升高，冷油器水侧出口有大量油花出现，油位下降，且油系统压力波动，可能伴随冷却水泵电流增大。冷油器铜管泄漏是主要故障原因。由于铜管长期受到冷却水的冲刷、腐蚀，或机组启停过程中热应力的作用，导致铜管出现裂纹或穿孔。此时，润滑油会通过泄漏点进入冷却水侧，造成油位下降和油温升高。同时，泄漏的油会堵塞冷却水通道，增加水侧阻力，使冷却水泵负荷增大、电流升高。另外，冷油器水侧积气，会阻碍冷却水的正常流动，降低冷却效果，导致油温无法有效降低。

2.5 油温控制不当

当润滑油温过高时，汽轮机轴承温度升高，机组振动增大，油液的粘度降低，可能出现油膜失稳现象；油温过低时，油液粘度增大，油泵启动困难，油系统压力波动大，各润滑点供油不畅。当冷油器冷却水流量调节不当，如冷却水阀门开度过小，会导致冷却效果不足，油温升高[4]。油温过高会使润滑油的粘度下降，油膜承载能力减弱，在转子高速旋转下，油膜容易破裂，引发轴承振动和磨损。反之，油温过低时，润滑油粘度增大，流动性变差，油泵的启动阻力增大，且油液在管道和设备中的流动阻力增加,导致油系统压力不稳定，无法及时将润滑油输送到各润滑点，影响润滑效果，还可能因油液流动性差，导致部分部位润滑不良，产生干摩擦。

3. 汽轮机润滑油系统故障应对措施

3.1 油液乳化故障应对

针对冷油器铜管破裂或密封不严导致的油水混合问题，一方面，安装高精度的压力传感器实时监测冷油器油侧与水侧压力，当水侧压力高于油侧压力 0.05MPa 时，系统立即报警并自动切换至备用冷油器运行。另一方面，定期（每季度）对冷油器进行水压试验，试验压力为工作压力的 1.25 倍，持续 30 分钟，检查铜管及密封处有无渗漏，及时更换存在问题的铜管和密封件。对于轴封供汽异常导致蒸汽泄漏进入轴承箱引发的乳化，优化轴封供汽调节系统，安装轴封压力自动调节装置，将轴封母管压力控制在 0.02–0.03MPa 之间，并设置压力上下限报警值（上限 0.035MPa，下限 0.015MPa）。同时，每半年对轴封间隙进行测量调整，确保间隙在 0.4–0.6mm 范围内，防止蒸汽泄漏。若油液已发生乳化，采用真空滤油机进行处理，通过真空脱水、脱气和过滤，去除油中的水分和杂质，恢复油液性能；当乳化严重无法恢复时，及时更换新油。

3.2 油液氧化变质故障应对

为解决因高温导致的油液氧化问题，对冷油器冷却系统进行升级改造。安装智能温控装置，根据润滑油温度自动调节冷却水量，将油温严格控制在 40–45℃之间。同时，在油箱内加装氮气保护装置，维持油箱内氮气压力在 0.005–0.01MPa，隔绝氧气与油液的接触，减缓氧化速度[5]。针对油液氧化产物对系统的影响，在油系统中增设吸附过滤装置，采用活性氧化铝或硅胶等吸附剂，定期更换吸附剂（每 3 个月更换一次），吸附油液中的有机酸、胶质和沥青质等氧化产物。加强油质检测频率，每周进行一次油液酸值、粘度检测，每月进行一次全面的油液性能分析，根据检测结果及时调整油液净化措施，当酸值超过 0.2mgKOH/g 时，进行油液再生处理或更换新油。

3.3 主油泵故障应对

为预防主油泵内部部件磨损，采用激光对中技术进行主油泵安装，确保泵轴与电机轴的同轴度误差在 0.05mm 以内，减少因偏心导致的磨损。在主油泵进出口安装振动传感器和温度传感器，实时监测振动值和温度变化，当振动值超过 50μm 或温度超过 75℃时，发出报警信号。建立主油泵运行状态评估模型，根据运行时间、负荷变化、振动和温度数据，预测部件磨损情况，提前制定检修计划，每运行 10000 小时对主油泵进行解体检查，更换磨损严重的叶轮、轴承和密封环等部件。对于油泵气蚀问题，优化油泵入口管路设计，缩短吸入管路长度，减少弯头数量，降低吸入阻力。

在油泵入口安装粗滤器，过滤较大颗粒杂质，防止堵塞滤网。同时，定期（每月）清理入口滤网，检查吸入管路密封性，防止空气进入。当发生气蚀时，立即降低油泵负荷，检查并调整油泵入口压力，确保其高于油泵最低吸入压力要求。

3.4 冷油器故障应对

减少冷油器铜管泄露可以在冷油器水侧安装流量监测装置，实时监测水侧流量变化。当水侧流量突然增大且油侧压力下降时，初步判断为铜管泄漏，立即切换至备用冷油器运行，并对故障冷油器进行详细检查。采用涡流探伤技术对铜管进行全面检测，每年至少进行一次，及时发现铜管内部的裂纹和缺陷，对存在问题的铜管进行封堵或更换。如果冷油器出现水侧积气问题，可以在冷油器水侧最高点安装自动排气阀，定期（每周）手动排气一次，确保水侧气体及时排出。优化冷却水流程，在冷却水入口管道安装水流指示器，确保冷却水均匀分布，避免局部积气。

3.5 油温失控故障应对

要更加精准的控制润滑油温，可以对冷油器冷却水阀门进行电动改造，安装电动调节阀和温度传感器，组成闭环控制系统。设定油温控制范围为 40–45℃，当油温超过 45℃时，电动调节阀自动开大，增加冷却水量；当油温低于 40℃时，电动调节阀自动关小，减少冷却水量。同时，制定油温异常处理预案，当油温持续升高或降低且调节无效时，立即采取辅助措施，如启动备用冷油器或调整机组负荷，确保油温恢复正常。如果出现油温过低的情况，在油箱内安装电加热器，设置温度自动控制装置，当油温低于 35℃时，电加热器自动启动，将油温加热至 40℃以上。在机组启动前，提前 2–3 小时启动电加热器对润滑油进行预热，确保润滑油具有良好的流动性，降低油泵启动阻力。

4. 汽轮机润滑油系统养护管理策略

4.1 精细化维护制度

技术人员应制定详细的润滑油系统维护手册，明确各设备的维护周期、维护内容和维护标准。比如规定主油泵每运行 5000 小时进行一次全面检查，包括叶轮、轴承、密封环的磨损情况检测；冷油器每月进行一次水侧清洗和铜管泄漏检查；滤油器根据进出口压差和运行时间，及时更换滤芯。建立设备维护档案，记录每次维护的时间、内容、发现的问题及处理情况，为设备的状态评估和故障分析提供依据。同时，推行预防性维护策略，通过对设备运行状态的监测和分析，提前更换接近使用寿命的易损部件，避免突发故障的发生。

4.2 加强优质全过程管控

从润滑油采购环节开始，严格把控油液质量，选择信誉良好、质量可靠的供应商，并对每批新油进行严格的质量检验，确保其各项指标符合国家标准和机组运行要求。在润滑油储存过程中，规范油箱管理，定期检查油箱的密封性，防止水分和杂质侵入。建立油质定期检测制度，除了常规的水分、酸值、粘度、颗粒度检测外，增加对油液氧化安定性、抗乳化性能等指标的检测频率。对于运行中的润滑油，采用在线油液净化设备，如真空滤油机，持续对油液进行脱水、脱气和除杂处理，延长润滑油的使用寿命。同时，根据油质检测结果，及时调整油液净化和更换策略。

4.3 油系统优化设计

对润滑油系统的管路布局进行优化，减少不必要的弯头和阀门，降低油液流动阻力，提高油系统的流通效率。采用新型管材，如耐腐蚀、抗磨损的不锈钢管或内衬陶瓷复合管，延长管道使用寿命，减少因管道腐蚀、磨损导致的泄漏风险。在油箱设计方面，增加高效的油气分离装置和油水分离装置，例如采用离心式油气分离器和聚结分离式油水分离器，进一步提高油箱对油液中气体和水分的分离效果。同时，优化油箱内部结构，合理设置隔板和回油挡板，使油液在油箱内形成更合理的流动路径，增强沉淀和分离杂质的能力。

5. 结语

本文剖析汽轮机常见故障的现象、机理，涵盖油质、设备及油温控制等方面问题，并提出了全面且针对性强的应对措施与养护管理策略。实际运用这些成果，能够有效降低故障发生率，延长设备使用寿命，减少因故障导致的停机时间与经济损失。不过，火电厂运行环境复杂多变，新的故障隐患可能不断出现，所以还需需持续关注润滑油系统运行状态，加强技术创新与管理优化，进一步完善故障诊断和预防体系。

参考文献：

[1] 郭寿斌，赵志龙，贾鹏玉，等．汽轮机润滑油在线监测与预警系统设计与实现 [J]. 电脑编程技巧与维护 ,2025,(01):20–23.

[2] 许涛，梅海龙，罗凯，等．某电厂 1000MW 汽轮发电机组润滑油压力低隐患消除 [J]. 电站系统工程 ,2025,41(01):51–53.

[3] 孙戈 . 汽轮机检修中润滑油性能评估及润滑系统优化的研究 [J]. 家电维修 ,2025,(01):125-127.

[4] 阳超 .300MW 汽轮机润滑油温高原因分析与治理 [J]. 设备管理与维修 ,2024,(19):148-151.

[5] 高明帅 , 邢智炜 , 陈振山 , 等 . 燃气 - 蒸汽联合机组汽轮机润滑油温度控制优化 [J]. 河北电力技术 ,2024,43(04):80-84+90.

作者简介：李宛宜；性别：男；出生日期：1996 年 5 月；民族：汉族；籍贯：贵州遵义；学历：大学本科；职称：助理工程师； 研究方向：火力发电厂系统研究与应用